

**Heikki Hannula**  
**HAKETTAMATTOMAN ENERGIAPUUN KOSTEUDEN**  
**MITTAUS**

**Opinnäytetyö**  
**KESKIPOHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU**  
**Kone- ja tuotantotekniikka**  
**Syyskuu 2012**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                             |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Yksikkö</b><br>Tekniikka ja liiketalous,<br>Kokkola – Pietarsaari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Aika</b><br>Syyskuu 2012 | <b>Tekijä/tekijät</b><br>Heikki Hannula |
| <b>Koulutusohjelma</b><br>Kone- ja tuotantotekniikka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                             |                                         |
| <b>Työn nimi</b><br>Hakettamattoman energiapuun kosteuden mittaus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                             |                                         |
| <b>Työn ohjaaja</b><br>TkT Martti Härkönen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Sivumäärä</b><br>26      |                                         |
| <b>Työelämäohjaaja</b><br>Petri Ahokangas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                             |                                         |
| <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hakettamattoman energiapuun kosteuden mittauksen mahdollisuutta Kokkolan Voima Oy:lle. Kosteuden mittaukseen oli hankittu Gann UNI 2 kannettava mittari. Työssä oli tarkoituksen testata mittarin luotettavuutta ja käytettävyyttä voimalaitos ympäristössä.</p> <p>Työssä otettiin näytteitä kaikista voimalaitoksen käyttämistä energiapuista. Näytteet mitattiin valitulla mittarilla ja tuloksia verrattiin punnitus/kuivausmenetelmällä varmistettuihin kosteusarvoihin. Työssä selvitettiin mittarin antamien lukemien tarkkuus ja soveltuuko se voimalaitoksen käyttöön.</p> <p>Tuloksien tarkastelussa selvisi, ettei mittari sovellu voimalaitoksen käyttöön. Mittarin ei anna kyllin tarkkoja ja luotettavia tuloksia. Mittaria ei myöskään voinut käyttää ympärivuotisesti, koska se ei kykene mittaamaan jäätynyttä puuta.</p> |                             |                                         |

|                                                  |
|--------------------------------------------------|
| <b>Asiasanat</b><br>Energiapuu, Kosteudenmittaus |
|--------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>Unit</b><br>Technology and Business,<br>Kokkola – Pietarsaari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Date</b><br>September 2012 | <b>Author</b><br>Heikki Hannula |
| <b>Degree programme</b><br>Mechanical and Production Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                               |                                 |
| <b>Name of thesis</b><br>Measuring the moisture of unchipped energy wood                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                               |                                 |
| <b>Instructor</b><br>Matti Härkönen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               | <b>Pages</b><br>26              |
| <b>Supervisor</b><br>Petri Ahokangas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                                 |
| <p>The aim of this thesis project was to determine the possibility for Kokkolan Voima Oy of measuring moisture from unchipped energy wood. The instrument for measuring moisture was Gann UNI 2 handheld meter. The aim of this thesis was to measure the reliability of the meter and if it can be used at power plant environment.</p> <p>During the research samples from every energy wood that power plant uses were collected. Samples were measured with the chosen meter and results were compared with results from the weigh/drying method. The aim of the thesis was to determine the accuracy of the results provided by the meter and if it can be used in power plant.</p> <p>The examination of the results showed that the chosen meter was not fit to be use at the power plant. The results from meter were not reliable and accurate enough. Also the meter could not be used year-round, because it cannot measure frozen wood.</p> |                               |                                 |

|                                                       |
|-------------------------------------------------------|
| <b>Key words</b><br>Energy wood, Moisture measurement |
|-------------------------------------------------------|

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>1 JOHDANTO</b>               | <b>1</b>  |
| <b>2 KOSTEUDEN MITTAUS</b>      | <b>2</b>  |
| 2.1 Punnitus/kuivaus –menetelmä | 2         |
| 2.2 Sähköiset menetelmät        | 3         |
| 2.3 Muut menetelmät             | 3         |
| 2.3.1 Optiset menetelmät        | 4         |
| 2.3.2 Radiometriset menetelmät  | 4         |
| 2.4 Gann UNI 2                  | 5         |
| <b>3 ENERGIAPUU</b>             | <b>7</b>  |
| 3.1 Puun rakenne                | 7         |
| 3.2 Energiapuun mittaus         | 11        |
| <b>4 TYÖN SUORITUS</b>          | <b>13</b> |
| <b>5 TULOKSET</b>               | <b>17</b> |
| <b>6 POHDINTA JA OMA ARVIO</b>  | <b>21</b> |
| <b>LÄHTEET</b>                  | <b>22</b> |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli testata Gann UNI 2 kosteusmittarin toimintaa voimalaitosympäristössä. Työhön kuului mittausten tekeminen ja vertaaminen punnitus/kuivaus -kokeisiin. Työssä tutkittiin myös eri puulajien sekä sääolojen vaikutusta mittarin toimintaan. Mittarina oli Gann hydromette UNI 2, jossa mittapäänä oli M 18 iskuanturi puulle. Työ tehtiin Kokkolan Voima Oy:lle.

Kokkolan Voima Oy kuuluu Kokkolan Energiaan, joka on Kokkolan kaupungin omistama liikelaitos. Kokkolan Energian liiketoimintaan kuuluu sähkön hankinta ja myynti, sähkönsiirto ja kaukolämmön tuotanto ja jakelu. Kokkolan Voima perustettiin 1995 hyödyntämään Kemiran jätelämpöjä ja esisuunnittelemaan voimalaitosta. Kokkolan Voima myytiin Pohjolan Voima Oy:lle ja samalla kaupunki osti osakkeet, jotka oikeuttavat saamaan tuotetun sähkön ja kaukolämmön omakustannehintaan. Biovoimalaitos valmistui 2001 ja se pystyy tuottamaan sähköä 20 MW, kaukolämpöä 50 MW ja prosessihöyryä 15 MW.

Kokkolan Voima käyttää polttoaineena turvetta, puu-aineita ja ruokohelppiä. Puuta hankitaan useissa eri muodoissa: sahanpuruna, kantomurskana, hakkeena ja kokonaisena energiapuuna. Kosteus vaikuttaa puun energia-arvoihin ja täten myös hankintahintaan. Kosteutta voidaan mitata punnitus/kuivaus -kokeella. Kokonaiset energiapuut pitää hakettaa ennen käyttöä. Kokkolan Voimalla oli tarvetta selvittää kokonaisen energiapuun kosteus sen hankintahetkellä. Puun tarkka kosteus voidaan selvittää vasta kun se on haketettu. Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää kuinka tarkasti voidaan mitata hakettamattoman energiapuun kosteus. Mittariksi oli hankittu Gann hydromette UNI 2.

## 2 KOSTEUDEN MITTAUS

Kosteuden tarkka mittaus on vaikeaa verrattuna muihin suureisiin. Bioperäisissä aineissa, kuten puumateriaalissa, mittaamiseen vaikuttaa puun rakenne. Vesimolekyylit ovat jakautuneet epätasaisesti pinnan ja sisäosan välille. Suurin osa vedestä on huokosissa, sekä kuitujen ja solurakenteiden sisällä. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

Kosteuden mittaamiseen on tarjolla eri menetelmiä, riippuen siitä mitä materiaalia mitataan. Eri menetelmiä ovat: punnitus/kuivaus -menetelmä, laajaa aluetta sähkömagneettista spektriä käyttävät menetelmät (röntgen, gamma, ir, if, mikroaalto), sähkömagneettikentän muutoksiin perustuvat menetelmät (vastus, dielektrisyys), ydinmagneettista resonanssia ja neutroneja käyttävät menetelmät. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

### 2.1 Punnitus/kuivaus -menetelmä

Standardin mukaan puun kosteus määritetään kuivaamalla näytepalaa uunissa (lämpötilassa  $105 \pm 2$  °C) 16 – 24 tuntia. Kuivatun kappaleen paino vähennetään kostean kappaleen painosta, jolloin saadaan kappaleen sisältämä veden määrä. Tämän avulla pystytään laskemaan veden massaprosentti märkäpainosta. Massaprosentin avulla voidaan määrittää kosteussuhde, eli kuinka monta kiloa vettä on jokaista puun kuiva-aineskiloa kohti. Punnitus/kuivaus -menetelmä on varmin tapa määrittää kappaleen kosteus. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

## 2.2 Sähköiset menetelmät

Puun sähköinen vastus vaihtelee kosteuden mukaan. Kosteuden ollessa alle puun syiden kyllästymispisteen, puun sähköinen vastus kasvaa logaritmisesti. Tämän ilmiön avulla voidaan kosteus määrittää sähköisesti. Sähköiset kosteusmittarit ovat nopeita, helppoja ja halpoja kosteuden mittaamiseen. Kaksi yleisimmin käytettyä sähköistä mittaamenetelmää ovat puun sähköisen vastuksen mittaus sekä dielektrisyyden mittaus.

(Käsikosteusmittareiden vertailu ja luetettavuus)

Vastus mittareissa elektrodit hakataan tai työnnetään puun sisään, joten pintaa joudutaan rikkomaan. Tulokseen vaikuttaa puun tiheys ja sääolot. Jäätynyttä vettä ei pystytä mittaamaan. Tiheyden vaikutuksesta mittaustulokset vaihtelevat eri puulajeilla, mutta kuivan ja märän puun ero on silti huomattavan suuri. Kosteuden mittaamisen maksimiarvo on puun syiden kyllästymispiste. Tämän jälkeen sähköinen vastus ei enää muutu kosteuden funktiona ja mittaus tarkkuus heikkenee. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

Dielektrisyyden mittaukseen riittää pelkkä pintakosketus, joten kappaleen pintaa ei tarvitse yleensä rikkoa. Pintakosteusmittareiden tarkkuus on yleensä huono, koska mittaus menetelmään vaikuttaa sekä ilman- että pinnankosteus. Dielektrisyyteen perustuvilla mittareilla voidaan mitata puun kosteutta (kosteussuhdetta) kyllästymispisteen yli aina 100 % asti. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

## 2.3 Muut menetelmät

Muut kosteuden mittaamenetelmät perustuvat optisiin tai radiometrisiin menetelmiin.

### 2.3.1 Optiset menetelmät

Infrapunamenetelmä perustuu veden absorptio kykyyn. Infrapunakosteusmittauksessa käytetään IR- tai NIR- aallonpituuksia, jotka vastaavat parhaiten veden absorptiotaajuutta. Infrapunasäde heijastuu kappaleesta takaisin, lukuunottamatta veteen imeytynyttä osaa. Tämän avulla voidaan selvittää kappaleen kosteus. Infrapunakosteusmittauksen tarkkuus heikkenee voimakkaasti materiaaleilla, joilla on suuri absorptiokerroin. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

Radiotaajuus ja mikroaalto menetelmät käyttävät joko vaimenemaa tai aaltojen nopeutta hyväksi mittauksessa. Kun tiedetään veden ja mitattavan materiaalin permittiivisyys eli kyky kuinka hyvin aine antaa sähkökentän läpäistä itseään, voidaan kappaleen kosteus mitata. Mitä suurempi kosteus, sen nopeammin aallot läpäisevät sen. Radio- ja mikroaaltomenetelmän huonopuoli on materiaalin rakenteen suuri vaikutus. Tarkkuus heikkenee jos materiaalin tiheys tai johtokyky muuttuu tai jos siinä esiintyy ilmakuplia tai huokosia. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)

### 2.3.2 Radiometriset menetelmät

Radiometriset menetelmät käyttävät ionisoivaa kappaleen läpäisevää säteilyä. Kaikki mittalaitteet perustuvat kappaleen ja mittarin väliseen vuorovaikutukseen. Näitä ovat absorptio, sironta, atomien virittyminen, ydinreaktiot ja sekundääri säteilyn syntyminen. Radiometrisiin menetelmiin kuuluvat: röntgen- ja gammasäteilylähteet, ionisoivat säteilylähteet, neutronilähteet sekä ydinmagneettinen resonanssimenetelmä. Radiometriset laitteet ovat tarkkoja ja niiden ei tarvitse olla kiinni mitattavassa kappaleessa, joten kappaleen ominaisuudet tai rakenne eivät muutu. Osalla mittalaitteista on kalliit käyttö- ja hankinta kustannukset. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)



## 2.4 Gann UNI 2

Gann hydromette UNI 2 on Saksalaisen Gann Mess-. Regeltechnik GmbH:n valmistama kosteusmittari, joka toimii vastusmenetelmällä. Mittarin mukana on iskuanturi M18 rakennekosteuden mittaamiseen, sekä anturi B50 ainetta rikkomattomaan kosteudenmittaukseen (KUVIO 1). Mittarilla voidaan mitata ilmankosteutta, rakennekosteutta ja lämpötiloja riippuen mitä mittapäätä käytetään. Mittarissa on elektroninen kalibrointi, joten sitä ei tarvitse erikseen käyttää kalibrointivälineenä. Mittarissa on neljä eri mittausaluetta. Rakenteellisen kosteuden mittaus, jossa käytetään piikkianturia. Rakenteellisen kosteuden mittaus, jossa käytetään pintaa rikkomatonta anturia. Samalla alueella voidaan myös eri anturilla mitata ilmankosteutta. Lämpötilan mittaukseen on kaksi aluetta 200 °C ja 600 °C.

(Gann Mess-. Regeltechnik GmbH)



KUVIO 1 Gann Hydromette UNI 2

Mittari ei anna kosteutta suoraan, vaan se ilmoittaa numeroarvon joka pitää muuttaa kosteudeksi erillisen muuntotaulukon avulla. Kaikissa vastusmenetelmällä toimivissa mittareissa mitattavan aineen tiheys vaikuttaa mittaustulokseen. Mitattavan materiaalin tiheyden tiedettyä, voidaan katsoa sitä vastaava kosteusarvo muuntotaulukosta. Ohjekirjassa olevasta taulukosta nähdään mitattavan kappaleen tiheyden kohdalta mitä mittarin näyttämä lukema merkitsee (KUVIO 2). Taulukossa on lukemaa vastaava suhteellinen ilmankosteus ja sanallinen kuvaus kosteudesta.

**Display Values (Digits) in Relation to the Material Bulk Density**

| Density<br>(specific wt.)<br>of the<br>building<br>material<br>kg/m <sup>3</sup> | Corresponding Relative Air Humidity |               |             |          |               |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|----------|---------------|------------------|
|                                                                                  | 30 — 50 — 70 — 80 — 90 — 95 — 100   |               |             |          |               |                  |
|                                                                                  | Display in Digits                   |               |             |          |               |                  |
|                                                                                  | very<br>dry                         | normal<br>dry | semi<br>dry | moist    | very<br>moist | wet              |
| up to 600                                                                        | 10 - 20                             | 20 - 40       | 40 - 60     | 60 - 90  | 90 - 110      | more than<br>100 |
| 600 -1200                                                                        | 20 - 30                             | 30 - 50       | 50 - 70     | 70 - 100 | 100 - 120     | more than<br>120 |
| 1200 -1800                                                                       | 20 - 40                             | 40 - 60       | 60 - 80     | 80 - 100 | 110 -130      | more than<br>130 |
| above 1800                                                                       | 30 - 50                             | 50 - 70       | 70 - 90     | 90 - 120 | 120 - 140     | more than<br>140 |

KUVIO 2 Gann UNI 2 kosteuden muuntotaulukko (Gann Mess-. Regeltechnik GmbH)

Esimerkki taulukon käytöstä (KUVIO 2). Mitattavan materiaalin tiheys on alle 600 kg/m<sup>3</sup> ja mittari antaa lukeman 45. Taulukosta katsotaan oikean tiheyden kohdalta mittarin antama lukema (display in digits). Lukemaa vastaava kosteus on semi dry eli puolikuiva.

### 3 ENERGIAPUU

Energiapuulla tarkoitetaan harvennusenergiapuuta, latvusmassaa ja kantopuuta, sekä näistä valmistettua haketta ja murskaa. Energiapuuta on kaikki puu jota käytetään energian eli sähkön ja lämmön tuotantoon. Harvennusenergiapuu on harvennus hakkuussa kerätty puu. Harvennuspuu voi olla kokopuu jossa on runko ja kaikki rungon osat tai rankapuu josta on karsittu oksat pois. Kantopuu on puun katkaisukohtaan alapuolinen ja maanalainen puuaines. Latvusmassa on hakkuun sivutuote, johon luetaan latvat, oksat, neulaset, lehdet ja pienikokoiset puut eli raivauspuut. Hake ja murske ovat mekaanisesti leikattua tai murskattua energiapuumassaa. (Bioenergia Ry)

#### 3.1 Puun rakenne

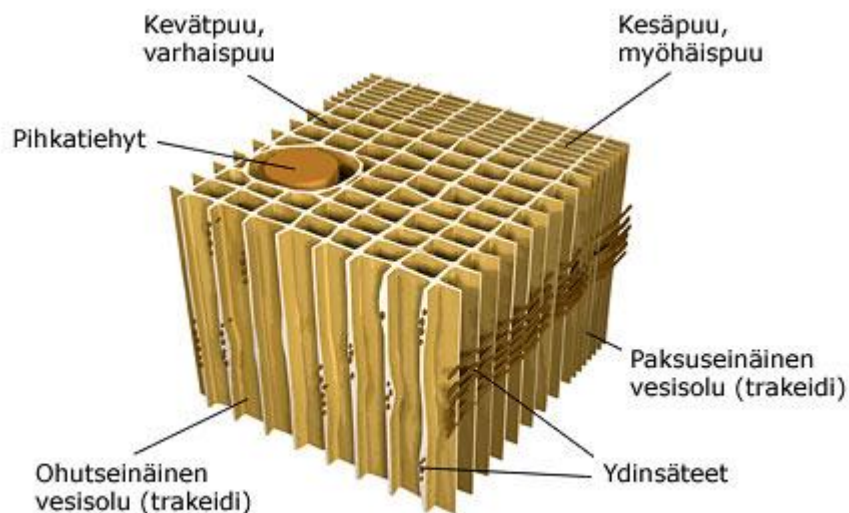
Puulajit voidaan jakaa rakenteen mukaan kahteen ryhmään, joko havu- tai lehtipuihin. Havupuista Suomessa yleisimpinä lajeina ovat mänty ja kuusi, sekä lehtipuista koivu ja leppä. Kaikissa puulajeissa on samat kerrokset: kuori, pintapuu, sydänpuu, nuorpuu ja ydin (KUVIO 3). Ydin on keskellä puuta, nuorpuu käsittää sisimmät noin 10–15 vuosirengasta ja nuorpuun sekä kuoren välissä oleva puuaines on pintapuuta. Kuori ja sydänpuu ovat kuollutta solukkoa ja vain pintapuu on kasvavaa puuta. Tämän takia vesi on jakaantunut epätasaisesti puun rakenteisiin. Havu- ja lehtipuiden solurakenteet eroavat toisistaan muodoltaan ja järjestykseltään.

(Pro Puu Ry)



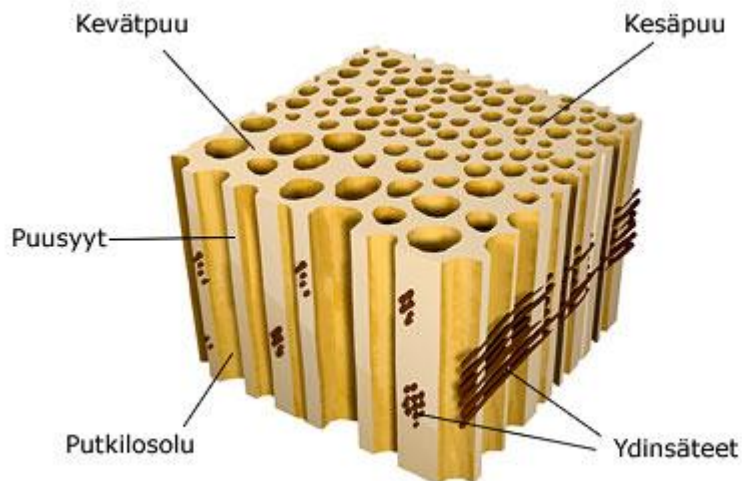
KUVIO 3 puun sisärakenne (Pro Puu Ry)

Puun solut voidaan jakaa neljään ryhmään riippuen siitä, mikä solun tehtävä on: kasvu-, ravinne-, veden siirto- ja lujuus solut. Soluseinät koostuvat kolmesta pääaineesta: selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä, joka on liima-aine. (Pro Puu Ry). Havupuiden solukkorakenteesta (KUVIO 4) suurin osa (90–95%) on vettä siirtäviä soluja eli trakeideja. Trakedit ovat kuin pitkiä onttoja kuituja, pituus 2,5–7 mm ja halkaisija noin sadasosa pituudesta. Niiden kyky liikuttaa vettä ylöspäin puussa perustuu kapilaariilmiöön sekä puun ja neulasten haihduttaman veden luomaan imuun. (VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta)



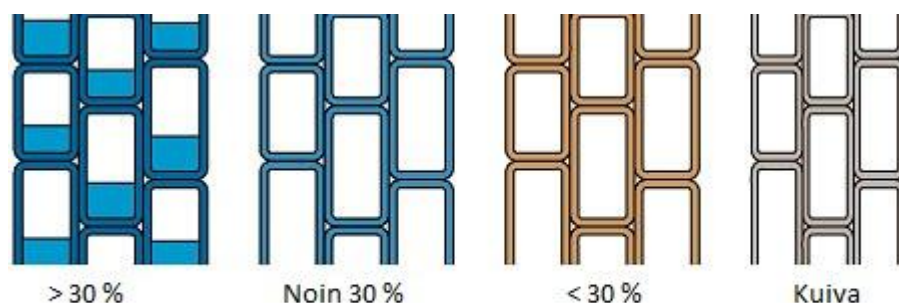
KUVIO 4 Havupuun solukkorakenne (Pro Puu Ry)

Lehtipuiden solukkorakenne (KUVIO 5) on putkilomainen ja niiden osuus on pienempi (65 % kaikista soluista). Putkilot kulkevat rungon suuntaisesti ja niiden pituus on pienempi ja halkaisija suurempi kuin havupuissa esiintyvät kuidut. Lehtipuut voidaan jakaa vielä kahteen eri ryhmään putkiloiden rakenteen vuoksi. Hajaputkiloisilla putkiloita esiintyy tasaisesti kaikkialla puun osissa, kaikki havupuut ovat myös hajaputkiloisia. Kehäputkilollisessa rungossa putkilot ovat suuria, jopa paljaalla silmällä erottuvia karkeita putkiloita. Ne sijaitsevat ainoastaan kevätpuussa. (Pro Puu Ry)



KUVIO 5 Lehtipuun solukkorakenne (Pro Puu Ry)

Vesi sitoutuu ensimmäisenä puun soluseiniin ja vasta kun soluseinät ovat täynnä, alkaa vesi sitoutua soluonteloihin. Puunkosteussuhteen noustessa noin arvoon 30 %, ovat soluseinät täynnä vettä, tätä pistettä kutsutaan puun syiden kyllästymispisteeksi. Kyllästymispisteen alapuolella tapahtuu puussa myös muodonmuutoksia: turpoamista ja kutistumista. Mitä kuivempi puu, sen lähempänä solut ovat toisiaan ja puun lujuusominaisuudet parantuvat. Kyllästymispisteen jälkeen vesi varastoituu soluonteloihin. Muodonmuutosta ei enää tapahdu kyllästymispisteen jälkeen. Soluonteloissa olevaa vettä kutsutaan vapaaksi vedeksi. Kuivuessaan puusta haihtuu ensimmäisenä vapaa vesi. (KUVIO 6) on esitetty veden varastoituminen puun soluihin. (Pro Puu Ry)



KUVIO 6 Solukkojen sisältämä vesi (Pro Puu Ry). Kuvan prosentit tarkoittavat kosteussuhdetta.

### 3.2 Energiapuun mittaus

Energiapuuta voidaan mitata sen tilavuuden, painon tai energiasisällön perusteella. Tilavuutta mitataan kiintokuutiometrinä  $m^3$  tai irtokuutiometrinä  $i-m^3$ . Kiintokuutiometri tarkoittaa yhtä kuutiota kiinteää puuta. Irtokuutiometri on kuutio, jossa on puuta sekä ilmaa, esimerkiksi lavalle kasattu puupino. Yksi irtokuutiometri on noin 0.4 kiintokuutiometriä.

(Polttopuupörssi)

Paino mitataan asettamalla puukuorma erilliselle vaa'alle tai punnitsemalla kuorma täynnä ja tyhjänä, jolloin mittaustulosten erotuksena saadaan puun massa. Energiasisältö voidaan ilmoittaa joko kiloa tai tilavuutta kohti. Kosteudella on suuri vaikutus energia sisältöön. (Energiapuun mittaus)

Energiasisällön selvittämiseksi pitää tietää massan ja tilavuuden välinen suhde eli tiheys. Kuivatiheys on absoluuttisen kuivan puun tiheys, joka tiedetään tarkasti. Tuoretiheys on puun tiheys punnitushetkellä. Tuoretiheyteen vaikuttaa puun kosteus ja ilman erillisiä mittauksia sen määrittäminen tarkasti on vaikeaa. Energiapuun mittausohjeen mukaisesti tuoretiheys määritetään tuoretiheystaulukoiden perusteella. Taulukkojen käyttämistä varten on mitattavasta puuerästä tiedettävä: alue, energiapuutavaralaji, hakkuuajankohta ja mittausajankohta. (Energiapuun mittaus)

Alue tarkoittaa metsikön maantieteellistä sijaintia. Metsäalueet on jaettu viiteen eri osaan: etelä-suomi, pohjanmaa, Kainuu-Koillismaa, lappi ja ylälappi. Energiapuutavaralajilla tarkoitetaan puulajia sekä energiapuutyyppejä esim. mänty ja hake. Hakkuuajankohta vastaa puun harvennus- tai varastointihetkeä. Mittausajankohta on hetki jolloin mittaus suoritetaan. Varastoinnin eli hakkuu- ja mittausajankohdan erotuksen välisenä aikana puu kuivuu ja täten myös tuoretiheys muuttuu. (Energiapuun mittaus)

Esimerkki tuoretiheystaulukon käytöstä (KUVIO 7). Paikkakuntana on Pohjanmaa ja puulajina koivu. Taulukon lukeminen aloitetaan hakkuuajankohdasta. Vuorokausien kuluessa siirrytään nuolien osoittamaan suuntaan taulukossa. Kun päivät tulevat sarakkeessa täyteen siirrytään viereiseen sarakkeeseen, samaan painoluokkaan. Koivu on kaadettu 10.6. ja se on kuivunut 35 vuorokautta, taulukon mukaan sen kosteus on <35 % ja tuoretiheys 700 kg/m<sup>3</sup>.(Energiapuun mittaus)

Harvennusenergiapuun tuoretiheysluvut koivulla Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla.

| Painoluokat | Kosteus<br>% | Ajankohta                   |                 |                 |               | Tuoretiheys<br>kg/m <sup>3</sup> |
|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------------------------|
|             |              | 1.4. - 30.4.                | 1.5. - 15.8.    | 16.8. - 30.9.   | 1.10. - 31.3. |                                  |
| 1           | > 50         | Tuore, jossa lunta ja jäätä |                 |                 |               | 1000                             |
| 2           | 45-50        | Tuore, 30 vrk ↓             | Tuore, 10 vrk ↓ | Tuore, 30 vrk ↓ | Tuore         | 900                              |
| 3           | 40-44        | ≥ 30 vrk                    | ⇒ 25 vrk ↓      | ≥ 30 vrk        | ≥ 30 vrk      | 830                              |
| 4           | 35-39        | -                           | 30 vrk ↓        | 30 vrk ↑        | 30 vrk ↑      | 770                              |
| 5           | < 35         | -                           | ≥ 65 vrk        | 30 vrk ↑        | -             | 700                              |

KUVIO 7 (Energiapuun mittaus)



#### 4 TYÖN SUORITUS

Näytteiden otto suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäiset näytteet otettiin 27.1.2012 (TAULUKKO 1). Ulkolämpötila oli näytteiden ottohetskellä -11°C. Vertailun vuoksi osa näytteistä sulatettiin ja osa pidettiin jäisenä mittaus hetkellä. Toinen näytteiden ottopäivä oli 4.5.2012 (TAULUKKO 2, TAULUKKO 3). Ulkolämpötila oli tuolloin +10°C. Näytteitä otettiin kaikista niistä puulajeista, joita voimalaitos käyttää. Näytteitä valittiin eri tuoreusasteilla olevista puukasoista, jotta otokseen saataisiin mahdollisimman monta eri kosteusasteella olevaa näytettä.

Mitattavasta puusta leikattiin moottorisahalla kiekkoja. Leikattava kohta valittiin mahdollisimman ehjästä kohdasta, jossa kuori on vielä kokonaan tallella. Leikatut kiekot laitettiin suljettuun muovipussiin ja numeroitiin. Itse mittaus suoritettiin sisätiloissa (KUVIO 8). Näin vältettiin ulkoilman vaikutus mittaustuloksiin.



KUVIO 8 Näytteen mittaus Gann UNI 2

Mittarin antama lukema kirjattiin ylös ja näyte laitettiin takaisin suljettuun muovipussiin. Näytteet murskattiin pienemmäksi uunitusta varten. Ennen uunitusta punnittiin sekä mittausastian, että näytteen paino. Näytteet merkittiin ja laitettiin kuivaus uuniin (KUVIO 9).



KUVIO 9 Näytteet kuivaus uunissa

Näytteiden oltua uunissa vuorokauden, ne otettiin pois ja punnittiin uudelleen. Kuivan näytteen paino saadaan vähentämällä uunitetusta painosta astian paino. Näytteen kosteusprosentti saadaan kaavasta:

$$Kosteus = \frac{Märkänäyte - Kuivanäyte}{Märkänäyte} * 100\%$$

Kaikki mitatut tulokset kirjattiin ylös ja siirrettiin Excel taulukkoon jonka avulla suoritettiin laskelmat ja piirrettiin kaaviot. Näytteitä tehtiin yhteensä 54 kappaletta, joista 18 ensimmäisellä kerralla ja 36 toisella kerralla. Taulukossa puu tarkoittaa mitatun puun lajia. (TAULUKKO 1). Taulukossa on myös maininta puunäytteille, jotka ovat mitattu jäisinä. Mittarikohtaan on kirjattu Gann UNI 2:n näyttämä lukema kyseisenä mittaushetkenä. Astian paino on alumiini astian paino, jossa näyte laitettiin uuniin. Kaikki painot on ilmoitettu grammoina. Märkäpaino on puuaineksen paino ennen kuivausta. Kuivapaino on näytteen ja astian yhteispaino. Näytteen kuivapaino on astiassa olleen pelkän puuaineksen paino, joka saadaan vähentämällä astian paino kuivapainosta. Kosteusprosentti on laskettu kosteusnäytteelle.

Taulukko 1: Ensimmäisen vaiheen mittaus- ja laskentatuloksia.

|    | Puu          | Mittari-<br>lukema | Astian<br>paino (g) | Märkä-<br>paino | Kuivapaino | Näytteen<br>kuivapaino | Kosteus % |
|----|--------------|--------------------|---------------------|-----------------|------------|------------------------|-----------|
| 1  | Mänty        | 72,5               | 18,61               | 255,44          | 147,66     | 129,05                 | 49,48     |
| 2  | Mänty        | 74,5               | 18,63               | 223,2           | 138,41     | 119,78                 | 46,34     |
| 3  | Koivu        | 76                 | 19,13               | 181,45          | 134,83     | 115,7                  | 36,24     |
| 4  | Koivu        | 72,3               | 19,1                | 169,24          | 133,06     | 113,96                 | 32,66     |
| 5  | Kuusi        | 76,6               | 19,22               | 107,33          | 94,39      | 75,17                  | 29,96     |
| 6  | Kuusi        | 73,6               | 19,5                | 113,23          | 98,09      | 78,59                  | 30,59     |
| 7  | Jäinen Koivu | 22,5               | 19,36               | 469,02          | 266,73     | 247,37                 | 47,26     |
| 8  | Jäinen Koivu | 21,8               | 19,29               | 240,63          | 144,29     | 125                    | 48,05     |
| 9  | Jäinen Kuusi | 19,4               | 19,65               | 329,66          | 172,69     | 153,04                 | 53,58     |
| 10 | Jäinen Kuusi | 18,8               | 19,55               | 489,48          | 263,7      | 244,15                 | 50,12     |
| 11 | Jäinen Mänty | 19,2               | 19,54               | 572,71          | 244,47     | 224,93                 | 60,73     |
| 12 | Jäinen Mänty | 26,5               | 17,86               | 415,88          | 158,22     | 140,36                 | 66,25     |
| 13 | Jäinen Leppä | 26,2               | 17,92               | 764,05          | 386,57     | 368,65                 | 51,75     |
| 14 | Leppä        | 71,5               | 18,02               | 511,76          | 309,18     | 291,16                 | 43,11     |
| 15 | Jäinen Mänty | 22,1               | 18,22               | 725,21          | 321,32     | 303,1                  | 58,21     |
| 16 | Mänty        | 65,5               | 18,28               | 676,62          | 338,02     | 319,74                 | 52,74     |
| 17 | Jäinen Koivu | 26,4               | 17,67               | 304,16          | 194,89     | 177,22                 | 41,73     |
| 18 | Koivu        | 67,5               | 18,32               | 357,18          | 240,16     | 221,84                 | 37,89     |

Taulukko 2: Toisen vaiheen mittaus- ja laskentatuloksia

|    | Puu   | Mittari-<br>lukema | Astian paino<br>(g) | Märkä-<br>paino | Kuiva-<br>paino | Näytteen<br>kuivapaino | Kosteus % |
|----|-------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------|
| 19 | Mänty | 56,5               | 21,78               | 147,47          | 111,98          | 90,20                  | 38,84     |
| 20 | Mänty | 53,2               | 21,47               | 379,36          | 241,10          | 219,63                 | 42,11     |
| 21 | Mänty | 43,5               | 20,04               | 136,37          | 125,00          | 104,96                 | 23,03     |
| 22 | Kuusi | 62,3               | 21,82               | 242,60          | 177,27          | 155,45                 | 35,92     |
| 23 | Kuusi | 44,0               | 19,19               | 223,58          | 166,65          | 147,46                 | 34,05     |
| 24 | Mänty | 65,6               | 21,47               | 248,61          | 134,02          | 112,55                 | 54,73     |
| 25 | Mänty | 51,2               | 20,81               | 281,77          | 179,10          | 158,29                 | 43,82     |
| 26 | Mänty | 58,5               | 20,81               | 262,29          | 159,11          | 138,30                 | 47,27     |
| 27 | Mänty | 52,5               | 19,88               | 406,99          | 179,86          | 159,98                 | 60,69     |
| 28 | Mänty | 65,0               | 20,93               | 249,52          | 118,31          | 97,38                  | 60,97     |
| 29 | Mänty | 54,0               | 22,04               | 144,30          | 109,39          | 87,35                  | 39,47     |
| 30 | Mänty | 54,3               | 21,83               | 146,39          | 104,84          | 83,01                  | 43,30     |
| 31 | Mänty | 78,9               | 21,28               | 111,79          | 89,33           | 68,05                  | 39,13     |
| 32 | Kuusi | 69,8               | 19,71               | 400,75          | 207,10          | 187,39                 | 53,24     |
| 33 | Kuusi | 72,5               | 18,67               | 408,98          | 195,75          | 177,08                 | 56,70     |
| 34 | Kuusi | 49,0               | 20,78               | 91,95           | 84,39           | 63,61                  | 30,82     |
| 35 | Kuusi | 58,7               | 21,30               | 311,87          | 190,70          | 169,40                 | 45,68     |
| 36 | Kuusi | 74,0               | 20,37               | 218,77          | 110,23          | 89,86                  | 58,92     |
| 37 | Koivu | 68,4               | 20,11               | 384,60          | 253,72          | 233,61                 | 39,26     |
| 38 | Koivu | 66,6               | 20,05               | 141,27          | 95,21           | 75,16                  | 46,80     |

|    | Puu   | Mittari | Astian paino<br>(g) | Märkä<br>paino | Kuiva<br>paino | Näytteen<br>kuivapaino | Kosteus % |
|----|-------|---------|---------------------|----------------|----------------|------------------------|-----------|
| 39 | Koivu | 68,5    | 21,75               | 326,44         | 201,45         | 179,70                 | 44,95     |
| 40 | Koivu | 69,5    | 21,43               | 191,45         | 130,26         | 108,83                 | 43,15     |
| 41 | Koivu | 38,0    | 19,99               | 311,99         | 258,07         | 238,08                 | 23,69     |
| 42 | Koivu | 73,2    | 21,88               | 344,04         | 224,69         | 202,81                 | 41,05     |
| 43 | Koivu | 73,0    | 19,17               | 516,14         | 367,12         | 347,95                 | 32,59     |
| 44 | Koivu | 67,5    | 21,49               | 183,61         | 130,11         | 108,62                 | 40,84     |
| 45 | Koivu | 53,1    | 20,75               | 167,54         | 144,45         | 123,70                 | 26,17     |
| 46 | Leppä | 77,2    | 20,81               | 213,84         | 169,59         | 148,78                 | 30,42     |
| 47 | Leppä | 70,8    | 19,86               | 237,45         | 177,06         | 157,20                 | 33,80     |
| 48 | Leppä | 80,0    | 20,91               | 143,46         | 125,55         | 104,64                 | 27,06     |
| 49 | Leppä | 78,4    | 22,00               | 240,55         | 169,86         | 147,86                 | 38,53     |
| 50 | Leppä | 78,5    | 21,90               | 238,43         | 152,69         | 130,79                 | 45,15     |
| 51 | Leppä | 76,7    | 21,29               | 361,25         | 205,58         | 184,29                 | 48,99     |
| 52 | Leppä | 70,8    | 19,68               | 225,59         | 143,06         | 123,38                 | 45,31     |
| 53 | Leppä | 18,4    | 18,63               | 202,40         | 189,85         | 171,22                 | 15,41     |
| 54 | Leppä | 51,5    | 20,69               | 293,45         | 230,13         | 209,44                 | 28,63     |

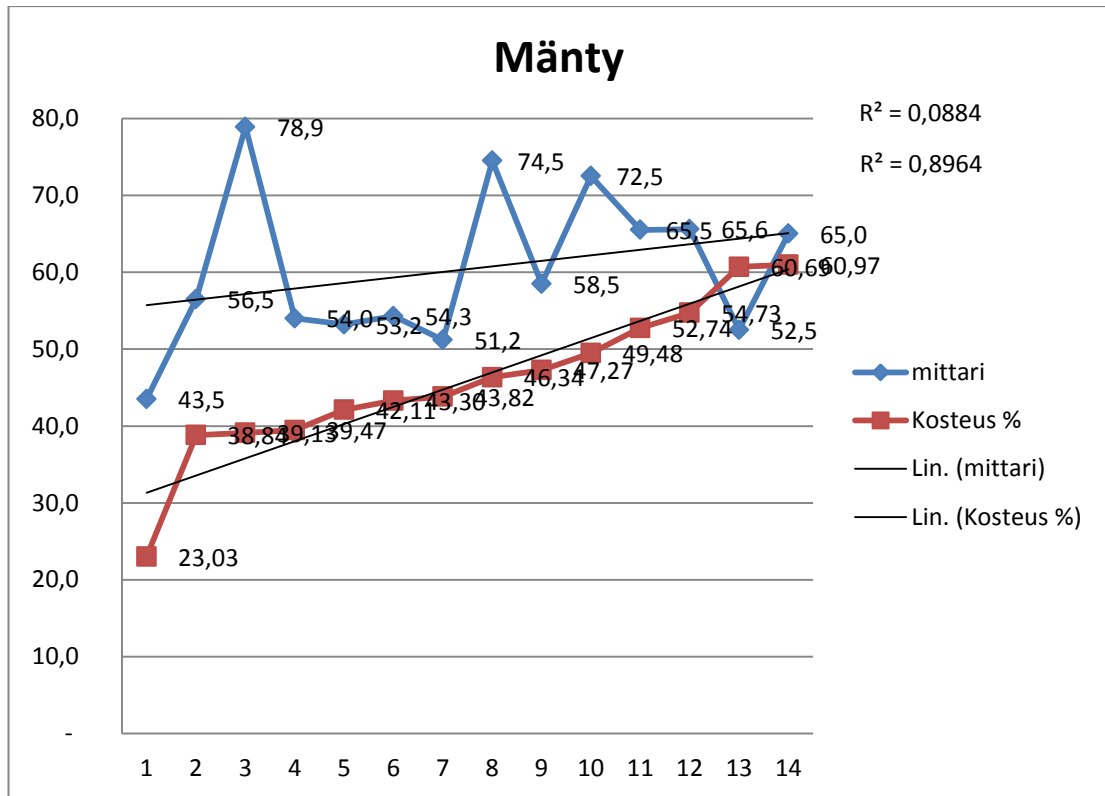
## 5 TULOKSET

Mittarin Gann UNI 2 muuntotaulukko ei anna tuloksia suoraan numeroarvoina, josta näkisi mitä mittarin antama tulos tarkoittaa kosteusprosenttina. Tuloksien avulla voidaan luoda muuntotaulukko jokaiselle puulajille, josta näkee mittarin antaman lukeman suoraan kosteusprosenttina. Tuloksien tarkastelemiseksi laitettiin kuivauskokeella varmistettu kosteus nousemaan pienimmästä suurimpaan. Mittarin antaman lukeman pitäisi oikein toimiessaan nousta samalla tavalla pienimmästä suurimpaan. Vertailussa käytettiin hyväksi Exceliä ja korrelaatiokerrointa. Korrelaatio tarkoittaa kahden muuttujan välistä riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen ollessa 1, on muuttujien välinen yhtenäisyys täysin lineaarinen. (Valtanen 2008,157). Tulosten vertailussa pitäisi kosteusarvojen sekä mittarin antaman tuloksen korrelaatiokertoimen olla samanarvoisia tai hyvin lähellä toisiaan.

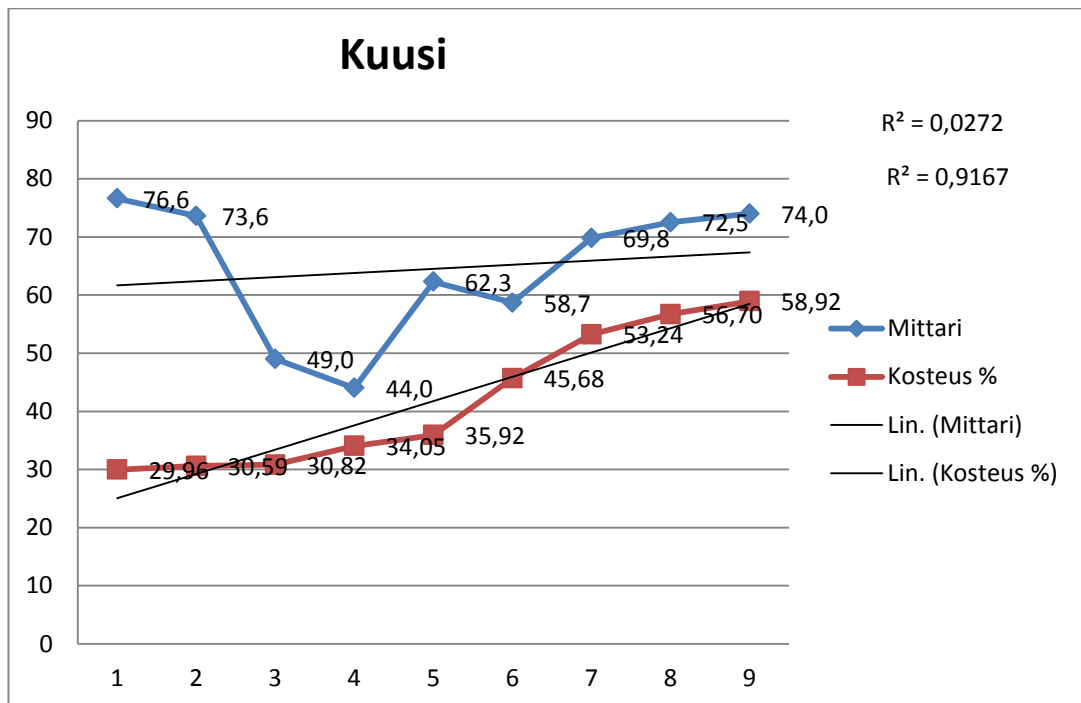
Mitattujen puulajien tiheydet ovat mittarin muuntotaulukossa samalla alueella (0 – 600), tämän vuoksi voidaan mitattuja tuloksia käsitellä yhtenäisenä kaaviona. Puun tiheys ei ole vakio, joten puun tiheys voi olla suurempi kuin käytetyn mitta-alueen. Vertailun vuoksi myös jokaiselle puulajille tehtiin oma kaavio (KUVIOT 10 – 14). Taulukoihin ei otettu mukaan jäisinä mitattuja näytteitä. Ilman tarkempaakin analyysiä pystyi tuloksista heti toteamaan, ettei mittari näytä jäisten näytteiden kosteutta oikein. Taulukkoon 4 on koottu kaikkien kaavioiden korrelaatiot vertailua varten.

Taulukko 4: Korrelaatiot

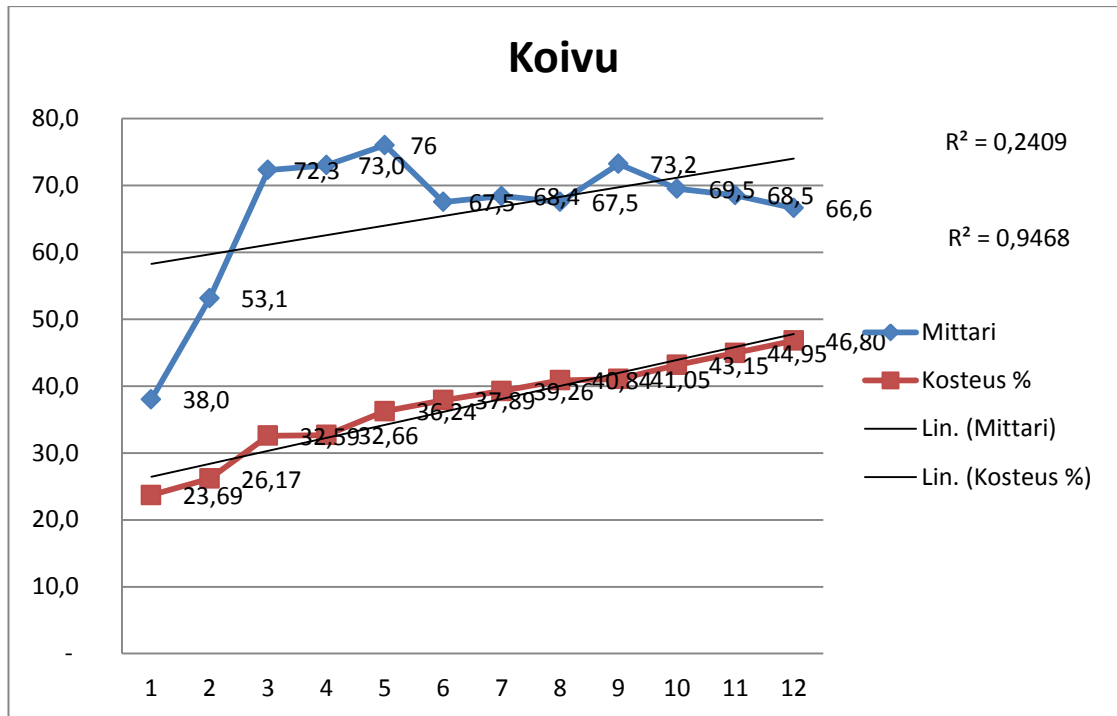
| Korrelaatio | Mänty  | Kuusi  | Koivu  | Leppä  | Kaikki |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kosteus     | 0,8964 | 0,9167 | 0,9468 | 0,945  | 0,9598 |
| Mittari     | 0,0884 | 0,0272 | 0,2409 | 0,3171 | 0,0888 |



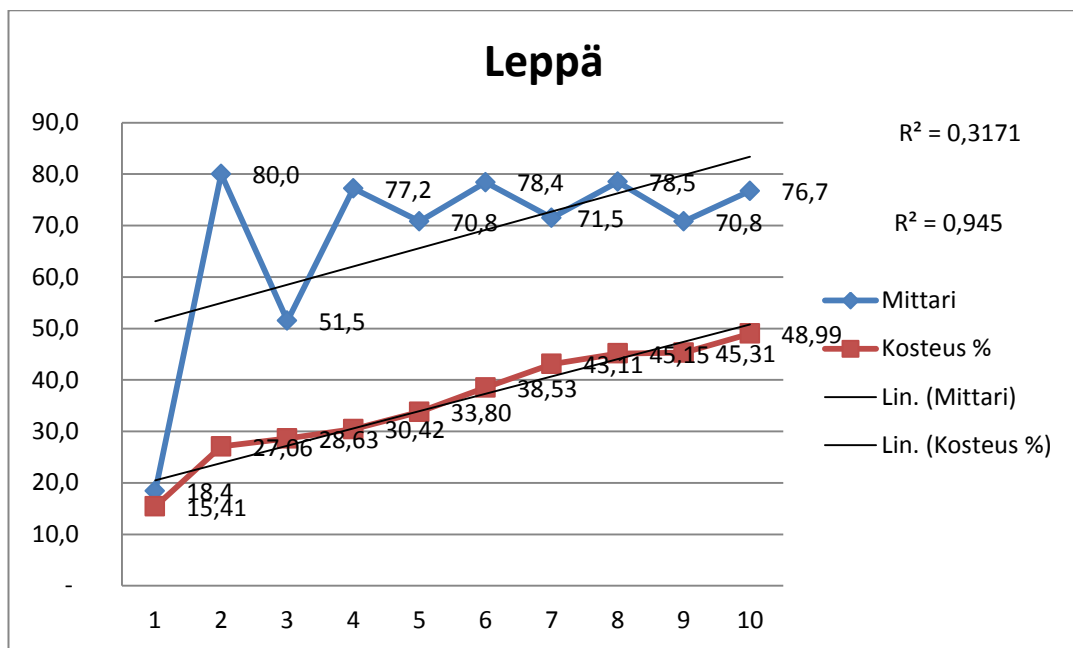
KUVIO 10 Mänty



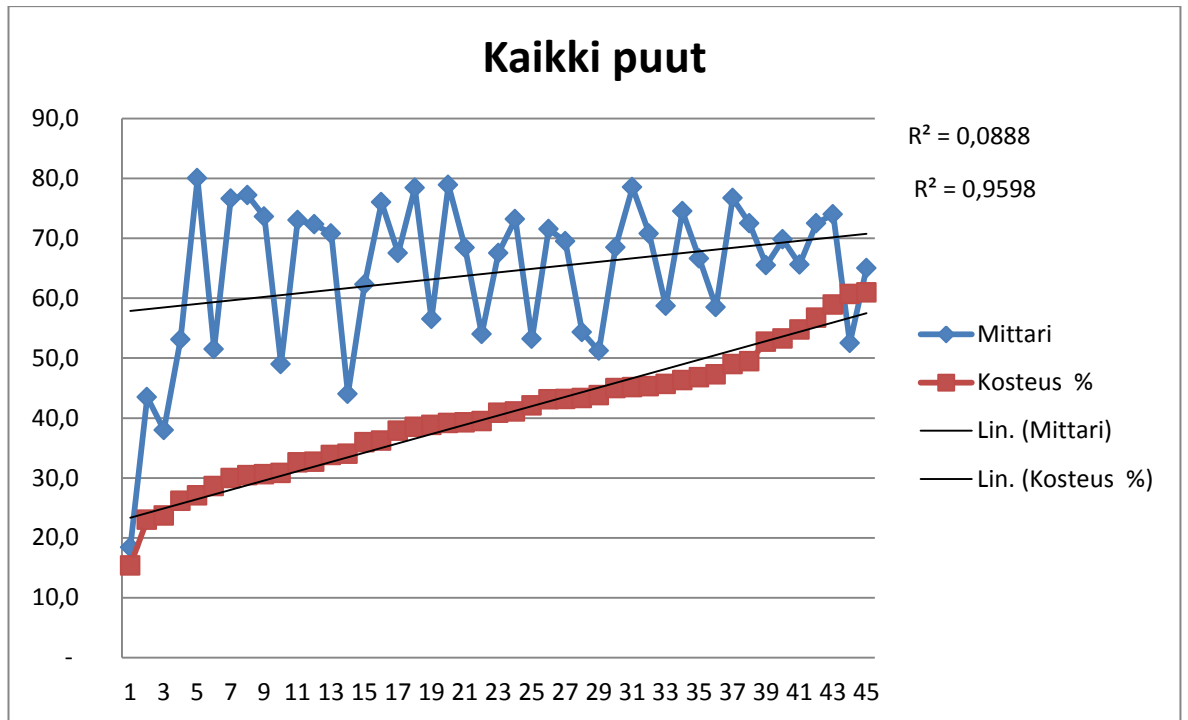
KUVIO 11 Kuusi



KUVIO 12 Koivu



KUVIO 13 Leppä



KUVIO 14 Kaikki puut



## 6 POHDINTA JA OMA ARVIO

Työn valmistuttua pidimme työntilaajan kanssa palaverin, jossa tulimme siihen tulokseen, että mittari ei ole tarpeeksi tarkka ja luotettava voimalaitos ympäristössä käytettäväksi. Mittari ei sovellu voimalaitoksen tarpeisiin koska se ei kerro luotettavasti onko mitattava aine kuivaa vai märkää, eikä sillä voi mitata jäätynyttä puuta, joten sitä ei voi käyttää ympärivuotisesti. Vaikka kosteus on vaikea suure mitattavaksi tarkasti, pitäisi mittarilla saada vähintään suuntaan antava arvio puun kosteudesta luotettavasti jotta sitä voisi hyödyntää voimalaitoksella.

Omia ajatuksia siitä mitkä voisivat vaikuttaa mittaustuloksiin: ympäristö, mittarin mekaaninen vika tai puun ominaisuudet. Puunkosteus pyrkii sitä ympäröivän ilman kosteuden kanssa tasapainoon. Tämä voi vaikuttaa mittaus tuloksiin, vaikka kaikki mittaukset suoritettiin samassa paikassa ja useana eri ajankohtana. Näytteitä liikutellessa käytettiin suojapusseja vähentämään ympäristön vaikutusta. Mittarissa on kaksi piikkiä, jotka työnnetään mitattavaan puuhun. Käytössä nämä piikit voivat vääntyä tai katketa. Täten niiden välinen etäisyys toisistaan muuttuu ja se voi vaikuttaa mittaus tulokseen. Työtä tehdessä pyrittiin aina suoristamaan ja vaihtamaan rikkoutuneet piikit, jotta ne eivät haittaisi mittausta. Jokaisen mitattavan puun ominaisuudet ovat erilaiset. Puun tiheyden vaihtelu vaikuttaa mittaus tulokseen. Puun muut ominaisuudet, kuten kaarnan paksuus, voivat myös vaikuttaa mittaukseen. Mittauskohdiksi valittiin joka näytteestä samanlainen kohta. Kohta jossa kaarna on vielä päällä, jottei puu olisi kuivunut nopeammin. Myös kaikkia oksien kohtia tai muita koloja vältettiin näytteissä. Työn suorituksen jälkeen olin myös yhteydessä kosteusmittarin maahantuojaan. Lähetin mittaustulokset sekä selityksen mitä työssä on tehty ja kysyin kommentteja tai mahdollisia virheitä mitä mittauksessa olisi tehty. Vastausta tai mitään kommenttia ei saatu koskaan.

## LÄHTEET

VTT Tutkimusraportti State of art- selvitys puun kosteusmittauksesta. 8.5.2007. Www-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Erillisjulkaisut/State\\_of\\_art\\_selvitys\\_puun\\_kosteusmittauksesta\\_2007\\_VTT.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Erillisjulkaisut/State_of_art_selvitys_puun_kosteusmittauksesta_2007_VTT.pdf). Luettu: 25.1.2012

Käsi-kosteusmittareiden vertailu ja luetettavuus.12.11.1997. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/jurelinkit/forsen.pdf>

Luettu:1.2.2012

Gann Mess-. Regeltechnik GmbH. Käyttöohjeet. Gann hydromette UNI 1 + UNI 2 operating instructions

Bioenergia Ry. Www-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa\\_bioenergiasta/energias\\_anastoa/](http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energias_anastoa/) Luettu:14.2.2012

Pro Puu Ry. Www-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.puuproffa.fi/arkisto/puun\\_rakenne.php](http://www.puuproffa.fi/arkisto/puun_rakenne.php) Luettu: 6.2.2012

Polttopuupörssi. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.polttopuuporssi.fi/index.php?page=2> Luettu: 14.2.2012

Energiapuun mittaust. 27.9.2010. Www-dokumentti. Saatavissa:

[http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun\\_mittausopas\\_EMT\\_hyvaksytty\\_27092010.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksytty_27092010.pdf) Luettu:25.1.2012

Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. 16 Painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy