

Mikko Nieminen

ENERGIAPUUN VARASTOINNIN
KULMAKIVET
Puun kuivumiselle suotuisimmat olosuhteet

Opinnäytetyö
Metsätalouden koulutusohjelma

Marraskuu 2015



MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI



Opinnäytetyön päivämäärä

4.11.2015

Tekijä(t) Mikko
Nieminen

Koulutusohjelma ja suuntautuminen
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalous

Nimeke

Energiapuun varastoinnin kulmakivet: Puun kuivumiselle suotuisimmat olosuhteet

Tiivistelmä

Opinnäytetyönäiheena oli tutkia energiapuupaalien kuivumista ja varastointia. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Fixteri Oy, joka on pienläpimittaisen puun korjuuteknologian ja kokonaisvaltaisen toimitusketjun kehittämiseen erikoistunut yritys. Tutkimustehtävänä oli selvittää varastointitapojen yhteyttä energiapuupaalien mitattuun kosteuteen valaisemalla energiapuun varastoinnille suotuisimpia olosuhteita neljän tutkimuskysymyksen avulla. Näitä kysymyksiä olivat: 1) miten energiapuupaaleja varastoidaan (selvittämällä millaisia ominaisuuksia varastointipaikoissa on sekä millaisia varastointimenetelmiä käytetään), 2) mikä on energiapuupaalien varastointitavan ja mitatun kosteuden yhteys, 3) mitkä ovat energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet sekä viimeisimpänä 4) miten tämän opinnäytetyön tulokset vertautuvat kerättyyn vertailuaineistoon.

Tutkimuksen näytteet kerättiin neljästä pinosta Konnevedeltä Keski-Suomesta. Jokaisesta neljästä pinosta otettiin kustakin kolme näytettä. Samoista pinoista otettiin myös vertailunäytteet. Tämän opinnäytetyön näytteet murskattiin ja kuivattiin Mikkelissä. Vertailuaineiston näytteet käsiteltiin Jyväskylässä. Kuivauksen jälkeen näytteistä laskettiin kosteusprosentit.

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan tulkita, että varastoinnin olosuhteilla on vaikutusta energiapuun kuivumiselle. Tuloksissani kaikista paras, eli kuivin pino, oli toukokuun pino neljä. Samassa pinossa (pino 4) varastointi on ollut onnistunein myös jokaiselta muultakin kolmelta tutkimuskuukaudelta (huhtikuulta kesäkuuhun). Myös kerättyssä vertailuaineistossa samassa pinossa mitattiin alhaisin kosteus.

Kun yhdistettiin oma ja vertailuaineisto, eroa kuukausittaisen alimman ja korkeimman kuukausittaisen keskiarvon välillä oli 12,8 %. Eroa yksittäisten suurimman ja pienimmän mitatun kosteuden välillä oli jopa 32,58 %. Voidaan päätellä että eroja kuivumisessa tapahtuu eri varastointiolosuhteiden välillä.

Analyysia varten on kerätty kirjallisuudesta kahdeksan onnistuneen varastoinnin edellytystä. Nämä varastoinnin kulmakivet (*kustannustehokas ja turvallinen etäisyys, riittävä vapaa ilmatila pinon alla, pieni kastumiselle altis pintala, sopiva varastointiaika, luonnon oman lämmitystehon hyödyntäminen, ilman kierto, hyvä varastointipaikka sekä peittely*) toteutuivat suurimmaksi osaksi kuivimman pino neljän kohdalla. Tässä kuivimmassa pinossa onnistuneen varastoinnin voidaan nojata yksityiskohtaisemmin etenkin seuraaviin seikkoihin: elävä puusto oli pinosta sopivan kaukana, pino oli tukeva ja peitelty sekä hyvällä hiekkapohjalla.

Asiasanat (avainsanat)

Energiapuu, kosteusprosentti, varastointi

Sivumäärä

21 s. + liitteet 2 s.

Kieli

Suomi


Huomautus (huomautukset liitteistä)

Liitteenä on taulukoita kosteusprosentteista.

Ohjaavan opettajan nimi Timo
Antero Leinonen

Opinnäytetyön toimeksiantaja
Fixteri Oy

DESCRIPTION

| | |
|---|---|
|  | Date of the bachelor's thesis 4.11.2015 |
| Author(s) Mikko Nieminen | Degree programme and option Forestry |
| Name of the bachelor's thesis The cornerstones of energy wood warehousing: The most favorable conditions for drying wood | |
| Abstract <p>The subject of my bachelor thesis was (research for) energy wood warehousing and energy wood drying. This thesis was assigned by Fixteri Oy, a company specialized in (the) harvesting technologies and the development of a comprehensive logistics chain of small-dimensioned wood.</p> <p>The aim of my thesis was to examine the connections between the warehousing methods and the calculated moisture content. Four research questions were formulated to shed light on the most effective methods of warehousing. These were: 1) How are the energy wood bales warehoused? 2) What is the connection between warehousing methods and the calculated moisture content? 3) What are the most favorable methods of warehousing? 4) Are the results of these samples and control samples in connection?</p> <p>The samples for the analysis were collected from four different piles in Konnevesi, Central Finland. Three samples were taken from each pile. Control samples were gathered from the same piles. The samples were crushed and dried in Mikkeli and in Jyväskylä. After the drying I calculated the moisture content in Mikkeli.</p> <p>I found out that the warehouse number four was the driest, and therefore considered as the best warehouse of my samples. This thesis also briefly reviewed the recommendations for successful warehousing. These eight main points of warehousing (<i>a cost-effective and safe distance, sufficient free air space below the stack, a small area prone for water splashes, suitable duration of warehousing, the utilization of nature's own heating power, the air circulation, a good warehousing place and the covering of the energy wood</i>) were observed in the driest pile.</p> <p>When combining my own samples and the control samples the difference between the highest and the lowest moisture content averages was 12,8 %. When observing individual samples, the difference between the highest and the lowest moisture content was 32,58 %. It could be concluded that the warehousing methods had a strong effect on energy wood drying. The results of my thesis can be utilized for planning a sustainable use of forest biomass for energy.</p> | |
| Subject headings, (keywords) Energywood, moisture content, energywood warehousing. | |
| Pages 21 s. + app 2 s. | Language Finnish |
| Remarks, notes on appendices The attachment include table of moisture content | |
| Tutor Timo Antero Leinonen | Bachelor's thesis assigned by Fixteri Oy |

SISÄLTÖ

| | |
|---------------------------------|---|
| 1 JOHDANTO..... | 1 |
| 2 VARASTOINNIN KULMAKIVET | 2 |

| | |
|---|----|
| 3 TAVOITTEET | 4 |
| 4 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT AINEISTOT | 5 |
| 5 MENETELMÄT | 6 |
| 6 TULOKSET | 8 |
| 6.1 Energiapuupaalien varastointi aineistossa..... | 8 |
| 6.1.1 Pino 1 | 8 |
| 6.1.2 Pino 2 | 10 |
| 6.1.3 Pino 3 | 11 |
| 6.1.4 Pino 4 | 11 |
| 6.2 Energiapuupaalien varastointitapa ja mitattu kosteus | 13 |
| 6.3 Energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet..... | 14 |
| 6.4 Opinnäytetyön tulokset ja vertailuaineisto | 14 |
| 7 POHDINTA..... | 15 |
| 7.1 Varastoinnin kulmakivet ja tutkittujen pinojen kuivuus | 15 |
| 7.2 Aineiston keskikosteus kuukausittain ja alin ja korkein mitattu havainto | 17 |
| 7.3 Opinnäytetyön haasteet ja luotettavuus | 18 |
| 7.4 Loppupäätelmät..... | 19 |
| LÄHTEET..... | 20 |
| LIITE 1. VERTAILUDIAGRAMMIT | 22 |
| LIITE 2. VERTAILUTAULUKKO | 22 |

1 JOHDANTO

Puun kuivuminen on energiapuun varastoinnissa tärkein tehtävä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja tuoda lisätietoa energiapuupaalien kuivumisen prosessista varastoinnin yhteydessä. Energiapuun tutkimus edistää osaltaan bioenergian käyttöä (Roos 2002). Aihe on ajankohtainen, sillä energiapuun käyttämisellä katsotaan nykyään olevan paljon etuja fossiilisen energiantuotannon sijaan, esimerkiksi ilmastonmuutoksen ehkäisyssä ja paikallisen työllisyyden lisäämisessä (Stupak 2007).

Kun puuta käytetään polttoaineena, kuivuuden merkitys vain korostuu. Puun energiaarvo on huomattavasti alhaisempi kosteana kuin kuivana. Kuivaan verrattuna kostea puuaines, johon sitoutunut vettä, on myös kalliimpaa kuljettaa voimalaitokselle. (Bioenergian verkkopalvelu 2015.) Hyvät varastointitavat edesauttavat myös työturvallisuutta.

Varastointiajan lisäksi puun kuivumiseen vaikuttaa ilmankosteus. Syksyllä ilmankosteus on korkeampi kuin kesällä, jolloin myös puuston biomassan kosteus on korkeampaa (Bioenergian verkkopalvelu 2014). Voidaankin päätellä, että talviaikana ei kuivumista tapahdu yhtä tehokkaasti kuin kesällä.

Opinnäytetyössä haastateltiin kahta asiantuntijaa, joiden tiedoksiannot toimivat myös osana tämän työn viitekehystä. Tuloksien analysoinnissa käytetään apuna opinnäytetyötä varten kerättyä vertailuaineistoa, joka on kerätty Konnevedellä.

Tutkimustehtävänä oli selvittää varastointitapojen yhteyttä energiapaalien mitattuun kosteuteen valaisemalla energiapuun varastoinnille suotuisimpia olosuhteita neljän tutkimuskysymyksen avulla. Näitä kysymyksiä ovat: 1) miten energiapuupaaleja varastoidaan (selvittämällä millaisia ominaisuuksia varastointipaikoissa on sekä millaisia varastointimenetelmiä käytetään), 2) mikä on energiapuupaalien varastointitavan ja mitatun kosteuden yhteys, 3) mitkä ovat energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet sekä viimeisimpänä 4) miten tämän opinnäytetyön tulokset vertautuvat kerättyyn vertailuaineistoon.

2 VARASTOINNIN KULMAKIVET

Puun kestävään energiankäyttöön on paljon kansallisia ja kansainvälisiä suosituksia (Stupak 2007). Varastointiin liittyviä yleisiä suosituksia on paljon ja energiapuun hyvä varastointi koostuukin useista tekijöistä. Olen koonnut kahdeksan varastoinnin päätekijää, jotka takaavat puun kustannustehokkaan ja aikaa säästävän hyödyntämisen. Nämä varastoinnin kulmakivet voidaankin katsoa olevan: *kustannustehokas ja turvallinen etäisyys, riittävä vapaa ilmatila pinon alla, pieni kastumiselle altis pinta-ala, sopiva varastointiaika, luonnon oman lämmitystehon hyödyntäminen, ilman kierto, hyvä varastointipaikka sekä peittely.*

Kustannustehokas ja turvallinen etäisyys. Hyvä varastopaikka ei sijaitse 10 metriä lähempänä sähkö- tai puhelinlinjoja. (Tiihonen, 2015; Äijälä, Kuusinen & Koistinen, 2010, 27). Pinon tulee olla tarpeeksi lähellä tietä, jolloin kuormain ylettää poimimaan ne vaivatta. Sopiva etäisyys varastopinon takareunaan tien keskilinjasta onkin noin 10 metriä tiestä, jolloin myös kauimmaisat tiensuuntaiset paalit saadaan kyytiin. (Tiihonen 2015; Luiri 2013,10.) Pinoa suunnitellessa tulisi huomioida kaukokuljetuksen seikat, eli pinon tulee olla riittävän kantavalla maaperällä ja siellä tulee olla tilaa muulle liikenteelle (Bioenergian verkkopalvelu 2014). Koska neulaset tekevät paalista myös tiiviin, kuivana neulaset pienentävät korjuukertymää ja nostavat korjuukustannuksia (Ranta 2003,76). Voidaankin päätellä, että neulasten runsasta määrää tulisi välttää

Riittävä vapaa ilmatila pinon alla. Hyvä varastopaikka on perustettu riittävän korkealle maanpinnasta, jolloin vältetään epäpuhtauksien mukaantulo ja maastokosteus. Epäpuhtaudet, kuten kivet, rikkovat muun muassa hakkureiden terät ja ovat ongelmallisia polttolaitoksilla poltettaessa (Metsänhoitoyhdistysten Palvelu MHYP Oy ja Metsänhoitoyhdistykset 2014). Ojien päälle ei vesiensuojelun vuoksi tulisi rakentaa. (ks. Metsäkeskus 2014). Tienhaltijan luvalla varaston rakentaminen ojan päälle on kuitenkin sallittua. Yleisillä teillä ojien päälle ei rakenneta näkyvyyden ja tien kunnossapidon vuoksi. Kun ojassa on paljon vettä, siitä voi siirtyä kosteutta alempiin paaleihin. Kuivana kautena ojat eivät aiheuta puun kuivumisen kannalta merkittävää ongelmaa. (Tiihonen 2015.)

Pieni kastumiselle altis pinta-ala. Kuivumisen kannalta on oleellista, että kastumiselle altis pinta-ala olisi mahdollisimman vähän. Tämä aikaansaadaan rakentamalla pino korkeaksi ja hieman etunojaan. (Bioenergian Pikkujättiläinen 2014.) Energiapuupaalipinon ihannekorkeus on yleensä 3 - 4 metriä. Silloin pino on riittävän tukeva ja työturvallinen. (Tiihonen 2015.)

Sopiva varastointiaika. Energiapuuta ei tule varastoida liian pitkään. Liian pitkä varastointiaika johtaa etenkin lehtipuiden varastoinninaikaiseen lahoamiseen. Voidaankin päätellä, että lahossa energiapuussa on tapahtunut energiahävikkiä. Äijälä Kuusinen & Koistinen (2010) toteavat ettei varastointiajan tule kestää kahta vuotta pidempään. Varastopaikalla tulee lisäksi olla riittävästi tilaa puukuljetuksille ja haketukselle.

Luonnon oman lämmitystehon hyödyntäminen. Jotta pystyttäisiin hyödyntämään parhaiten luonnon oma lämmitysteho, tulee pino rakentaa kuivapohjaiselle maaperälle, johon aurinko pääsisi paistamaan mahdollisimman paljon. Tällöin aurinko pääsee lämmittämään mahdollisimman lämpimästi pinoa. (Bioenergian Pikkujättiläinen 2014.) Hyvä paikka varastolle olisikin etelärinteessä. Pino tulisi rakentaa siten, että aurinko ja tuuli pääsevät lämmittämään ja kuivaamaan varaston puita. Mahdollisimman aukea varastopaikka olisikin parempi. (Forest Fire 2012 - 2014.) Tällaisessa pinossa kuivuminen on tehokkaampaa kuin esimerkiksi laaksossa ja kuusikon varjossa sijaitsevassa varastossa.

Ilman kierto. Kuivumisen kannalta on oleellista, että ilma pääsee liikkumaan varastossa hyvin (Tiihonen 2015). Tästä johtuen energiapuupaalit ladotaan ristikon muotoon. Ilma kuivattaa paaleja paremmin kuin perinteisessä ”yhdensuuntaisesti” varastoidussa pinossa, jotka ovat monesti tiiviitä. Energiapuupaalivarastossa kosteus poistuu kiertävän ilman mukana. Yhdensuuntaista ladontaa käytetään esimerkiksi kokopuun varastoinnissa. Ilman kiertämistä pyritään kokopuun varastoinnissa parantamaan välipuilla, jotka tulee laittaa 1 - 1,5 m korkuisten kerrosten välille (Tiihonen 2015). Energiapaalien varastossa ei ole perinteisiä aluspuita, vaan alimmat paalit on jätetty aluspuiksi. Ne jäävät muita paaleja kosteammiksi, mutta niiden kosteus ei vaikuta merkittävästi pinon kokonaiskosteusprosenttiin. Kuitenkin erityisesti talviaikaan

varastoa purettaessa ovat alimmat paalit ravistettava huolella, koska niihin on saattanut tarttua maa-ainesta. (Tiihonen 2015.)

Hyvä varastointipaikka. Varastointipaikan ei ole hyvä sijaita kasvavien puiden alla, koska niiden oksat kastelisivat ja mädättäisivät varaston puut niin sanotun sivuttaissateen vuoksi (Kauppinen 2015; ks. Karjalan Metsä ja Energia Oy 2014). Ympäröiviin puihin aiheutuisi myös puustovaurioita. (ks. Äijälä Kuusinen & Koistinen 2010, 20). Sopiva etäisyys kasvavista puista on puiden oma pituus, silloin kun se esimerkiksi maaston tai puuston puolesta mahdollista (Tiihonen 2015). Hyvään varastointipaikkaan vaikuttavat myös ilmansuunta ja maaperä.

Peittely. Internetportaali Bioenergian Pikkujättiläinen (2014) huomauttaa että peittelyllä on suuri merkitys varaston kuivumisena pysymiseen. Peitteenä olisi hyvä käyttää materiaalia, jonka voi hakettaa puun mukana. Tällaista on esimerkiksi peitinpaperi. Koska pino sijaitsee kuivumiselle tärkeällä tuulisella paikalla, pinoa ei peitellä kokonaan, jotta tuuli pääsisi kulkemaan. Peiton tehtävä on estää muun muassa sadeveden, jään ja lumen pääsy puiden väliin, jotka aiheuttavat puuaineksen kostumista. Peitteellä saadaankin paras hyöty syys- ja talviaikaan. Lämmityskaudella varastojen kosteus pysyy tasalaatuisena toisin kuin peittelemättömässä pinossa. Peitetyn energiapinon hakkeella voidaan saada jopa viiden prosentin hyöty peittelemättömään pinoon. Ihanteellisin kosteusprosentti kuljetuksen ja käytön kannalta on 35–40 %. (Tiihonen 2015). Tuoreella koivulla kosteus on 40- 50 %, lepällä 45–55%, männyllä 50–60% ja kuusella 50– 60% (Alakangas 2003, 31). Peittämisessä käytetään apuna kuormatraktoria, joka levittää peitinpaperin. Lopuksi kasan päälle laitetaan painoksi yksi paali, jolloin peitinpaperi pysyy paikallaan tuulisellakin säällä (Hillebrand 2009).

3 TAVOITTEET

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää ja tuoda lisätietoa energiapuupaalien kuivumisen prosessista varastoinnin yhteydessä. Tutkimustehtävänä oli selvittää varastoinnin yhteyttä energiapuupaalien mitattuun kosteuteen. Mittausten tulosten avulla

voitiin päätellä energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet. Tutkittavat energiapuupaalit olivat varastoituina neljään pinoon.

Tuloksien analysoinnissa käytettiin apuna opinnäytetyötä varten kerättyssä vertailuaineistossa, jotka kerättiin Konnevedeltä. Tutkimustehtävä koostuu tutkimuskysymyksistä ja tarkentavista osakysymyksistä:

- 1) Miten energiapuupaaleja varastoidaan?
 - A) Millaisia ominaisuuksia on energiapuupaalien varastointipaikoissa?
 - B) Millaisia varastointimenetelmiä käytetään?
- 2) Mikä on energiapuupaalien varastointitavan ja mitatun kosteuden yhteys?
- 3) Mitkä ovat energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet?
- 4) Miten tämän opinnäytetyön tulokset vertautuvat kerättyyn vertailuaineistoon?

Tutkimuskysymyksiin vastataan opinnäytetyön tuloksissa. Kolmannessa tutkimuskysymyksessä kootaan yhteen kahden ensimmäisen kysymyksen päätulokset.

4 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT AINEISTOT

Opinnäytetyössä käytettiin tutkimusaineistona energiapuupaaleja. Puupaalit ovat UPM Kymmene Oyj:n omistuksessa. Näytteet otettiin puupaalista noin 20 cm mitalta moottorisahaa käyttäen. Aineistot kerättiin neljästä Metsäkuljetus Vesterinen Oy:n korjaamasta energiapuupaalipinosta, joista jokaisesta otettiin kolme näyte-erää. Näyte-erät kerättiin puupaalipinon päältä, keskeltä ja alta. Näytteet jaettiin tunnuksiin a, b, c. Tunnus a:n näytteet on otettu pinon päällimmäisestä paalista, b pinon keskeltä ja c pinon pohjalta.

Näyte-erät on koottu jätesäkkeihin (kuva 1) (yksi säkki/näyte) ja viety analysoitaviksi Labtiumin laboratorioon Jyväskylään sekä Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan laboratorioon. Säkit nimettiin analyysissä käytetyin tunnuksin (esimerkiksi 1 a = ensimmäisen pinon ylin näyte-erä).



KUVA 1. Näytesäkit

Vertailuaineistona käytettiin Ismo Tiihosen keräämiä ja mittaamia aineistoja. Vertailunäytteet kerättiin samaan aikaan kuin Mikko Niemisen näytteet ja niiden keräämisessä käytettiin samaa tekniikkaa. Ismo Tiihosen aineistot on merkitty tekstiin vertailuaineistona.

5 MENETELMÄT

Kasoilta otetut näytteet säilytettiin muovisäkeissä. Näytteet murskattiin Mikkelin ammattikorkeakoulun sekä Labtiumin laboratorioissa (kuvat 3 ja 4). Tämän jälkeen mursketta otettiin vähintään 300 grammaa (punnittu) jokaisesta näyte-erästä (kuva 2). Näin saatiin puun alkupaino, joka kirjattiin muistiin. Näyte-eriä otettiin kolme kappaletta 300 gramman näytteinä (eli yhteensä vähintään 900 grammaa näytettä). Tämän jälkeen näyte laitettiin uuniin 105 asteeseen. Tällä tavoin saatiin murskeesta kaikki vesi pois. Näytteet olivat uunissa 24 tuntia (kuva 5). Uunista otetut näytteet punnittiin uudestaan. Astian paino vähennettiin punnituksen tuloksesta. Kosteusprosentti saatiin käyttämällä seuraavaa laskentakaavaa (Bioenergian Pikkujättiläinen 2015):

$$(\text{puun märkäpaino-kuivapaino}) / \text{märkäpaino} \times 100$$

Keskiarvot laskettiin niin alkupainosta kuin loppupainosta. Tällä tavoin saatiin selville kasojen kosteusprosentit.



KUVA 2. Punnitus



KUVA 3. Murskain



KUVA 4. Murskaaminen



KUVA 4. Hake



KUVA 5. Kuivatusuuni

6 TULOKSET

Vastaan esittämiini tutkimuskysymyksiin tuloksien pohjalta. Kuvailen energiapuupaalien varastointia sekä varaston kosteutta mittaustuloksien pohjalta kahdessa ensimmäisessä kappaleessa. Kolmannessa kappaleessa vedän yhteen edellisten kappaleiden päätulokset suotuisimmasta varastointimenetelmästä.

6.1 Energiapuupaalien varastointi aineistossa

Energiapuuta varastoitiin aineistossa neljässä erilaisessa pinossa. Seuraavassa neljässä jäsentelyssä kuvataan kunkin pinon erityispiirteitä, jotka vaikuttavat osaltaan myös energiapuun kosteuteen. Kaikki muut pinot paitsi 4 on pystytetty saviselle maapohjalle. Pinossa 4 on hiekkapohja.

6.1.1 Pino 1

Pinon 1 puut oli hakattu aikavälillä 6. - 18.2.2015. Paalit oli ajettu pinoon viikolla 9. Näytteet otettiin kasoista 8.4.2015, 6.5.2015 ja 13.6.2015

Pinon 1 puut oli pinottu eteläsuunnassa, jossa puut pääsivät kuivamaan niin auringon kuin tuulenkin vaikutuksesta (kuvat 6 ja 7). Aurinko pääsee paistamaan kolmeen pinoon jatkuvasti kuivattaen kasoja koko päivän. Kesäaikana kasojen takana kasvavien koivujen lehdet vaimentavat hiukan tuulen vaikutusta. Puut eivät ole kuitenkaan liian

lähellä kasoja kastellakseen paaleja. Kuormain ei myöskään pääse kolhimaan puita ja aiheuttamaan näin puustovaurioita kasvaviin puihin.

Paalit on ladottu siten, ettei aluspuiden ja välipuiden käyttö ole tarpeellista. Ilma pääsee kiertämään ladontatekniikan avulla. Kasojen päällä on peite, jonka tarkoituksena on estää lumen ja jään, sekä myös veden pääsyn puihin. Kuten kuvasta 6 pystyy huomaamaan, alimmaisten paalien alla on lunta, joka sulaessaan heikentää pinon kantavuutta. Pino tulisikin rakentaa kantavalle maaperälle, sillä kuvassa 7 on mahdollista, että pino kaatuu. Luultavimmin pino kaatuisi kuitenkin metsänpuolelle, jolloin on tärkeää pitää huoli siitä, ettei kasvavia puita ole liian lähellä. Kuvassa 6 on käytetty kasojen välillä

”välipuuta” joka tukevoittaa toista pinoa. Maakosteus ei pääse vaikuttamaan, koska ilma kiertää pinon alla. Pino on rakennettu saviselle maapohjalle. Lähtökohtaisesti tämä pino 1 on rakennettu neljästä näytepinosta parhaimmalle paikalle.



KUVA 6. Pino 1. Eteläsuuntaiset varastot



KUVA 7. Pino1

6.1.2 Pino 2

Pinon 2 puut oli hakattu aikavälillä 19. - 25.2.2015. Paalit oli ajettu pinoon viikolla 9. Näytteet otettiin 8.4.2015

Pino 2 on rakennettu ojan päälle, mitä tulisi yleisesti ottaen välttää (kuvat 8 ja 9). Kyseisessä kohteessa ei ole kuitenkaan ollut mahdollista rakentaa pinoa esimerkiksi metsän puolelle, jolloin kuormaimen pituus ei olisi välttämättä riittänyt. Pino on itä-etelä suuntainen, joten myös aurinko pääsee kuivattamaan tehokkaasti. Takana kasvavan puuston vuoksi aurinko ei kuivata pinoa koko päivää, kuten pinossa 1, joka sijaitsi aukeammalla paikalla (kuvat 8 ja 9). Pinossa on peitto suojaamassa sään vaihteluilta. Lisäksi pinossa on sopivasti aukkoja, jolloin tuuli pääsee kiertämään pinossa ja kuivattamaan puuta. Pinon takana kasvavat puut saattavat olla liian lähellä, sillä jos pino pääsee kaatumaan, alimmaisat kuuset kokevat vaurioita. Pino on rakennettu saviselle maapohjalle.



KUVA 8. Pino 2



KUVA 9. Pino 2

6.1.3 Pino 3

Pinon 3 puut oli hakattu aikavälillä 19. - 25.2.2015. Paalit oli ajettu pinoon viikolla 9. Näytteet otettiin 8.4.2015

Pino 3 oli itä-länsi suuntainen. Pino ei sijaitse aukkoisella paikalla, sillä sen takana oleva kuusikko varjostaa auringon kuivatustehoa (kuva 11). Pinon etupuolella tuuli pääsee kiertämään pinossa hyvin ja kuivattaa sitä siltä osin. Takana kasvava puusto vaikuttaa tuulen kulkemiseen. Pino on rakennettu saviselle maapohjalle (kuvat 10 ja 11).



KUVA 10. Pino 3



KUVA 11. Pino 3 ja takana kasvavat puut.

6.1.4 Pino 4

Pinon 4 puut oli hakattu aikavälillä 25. -26.2.2015. Paalit oli ajettu pinoon viikolla 10 alussa. Näytteet otettiin 8.4.2015

Pinosta 4 kuivumiselle haasteellisen tekee pinon ympärillä kasvava iso metsä. Tuuli ei välttämättä pääse kiertämään pinossa yhtä hyvin kuin aikaisemmin esitellyssä pinossa 1. Voidaankin arvella, että kosteusprosentti voisi olla tästä syystä hiukan korkeampi esimerkiksi pinon 1 puihin verrattuna. Pino 4 on kuitenkin tukeva ja siinäkin on peitto suojana. Elävä puusto on riittävän kaukana, jolloin ei vaurioita pääse syntymään, jos pino sattuu kaatumaan (kuva 13). Pinossa on myös varoitusmerkki kaatumisvaaran vuoksi (kuva 12). Kuusikon oksat eivät myöskään pääse kastelemaan paaleja. Lisäksi puut on pinottu siten, että ilma pääsisi kiertämään. Pinon maapohja on kuitenkin hiekkapohja, joka on savipohjaa suotuisampi alusta.



KUVA 12. Pino on peitetty ja tuettu välipuvin.



KUVA 13. Pino 4 ja ympäröivä puusto

6.2 Energiapuupaalien varastointitapa ja mitattu kosteus

Mittaustulokset on koottu diagrammin ja taulukon muotoon, jotka havainnollistavat samaa aineistoa eri näkökulmista (ks. liitteet 1 ja 2). Liitteessä on myös Ismo Tiihosen vertailuarvot, joita tarkastellaan myös omana tutkimuskysymyksensä.

Mittauksissa pyrittiin löytämään varastoinnin ja puuaineksen kuivuuden välisiä yhteyksiä. Analyysiin on koottu tutkimuksen kannalta keskeisimmät tulokset kuivimmista ja kosteimmista kuukausittaisista näytteistä taulukkoon (ks. kuvio 1).

Kuviosta voidaan päätellä että näyte-erältään kuivin yksittäinen erä oli kesäkuussa viimeisen pinon keskimäinen näyte (4 b). Kosteimmaksi puolestaan on jäänyt huhtikuun erän ensimmäisen pinon alimmainen näyte (1 c). Suurimmassa osassa kuivin näyte oli pinon ylin paali. Poikkeuksia oli huhtikuun kasoissa 4c ja kesäkuun 4b. Kosteimmissa näytteissä oli näyte-erien kohdalla eroja. Syitä tähän kerron opinnäytetyön haasteissa ja luotettavuudessa.

TAULUKKO 1. Kuivin ja kostein näyte Mikko Niemisen näytteistä

| | Huhtikuu | Kasa | Toukokuu | Kasa | Kesäkuu | Kasa |
|----------------|----------|------|----------|------|---------|------|
| Kuivin | 45,05 % | 4c | 39,44 % | 4a | 27,09 % | 4b |
| Kostein | 59,38 % | 1b | 56,43 % | 1c | 50,08 % | 3a |

6.3 Energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet

Kuten edellä on kuvattu, kosteusprosentin määrittäminen auttaa onnistuneen varastoinnin selvittämisessä. Jotta pystytään selvittämään onnistuneen varastoinnin kokonaisuus, on hyvä määrittää myös pinon kosteusprosenttien keskiarvot. Määrittämällä pinon mitattujen kosteusprosenttien keskiarvot, voidaan arvioida myös varastoinnin onnistumista.

Keskiarvot on laskettu manuaalisesti.

Taulukkoon 2 on koottu edellisen kappaleen tuloksista energiapuun varastoinnille suotuisimmat olosuhteet tutkielmani tulosten perusteella. Keskiarvoltaan kuivin pino voidaan tulkita onnistuneimmaksi varastointimuodoksi.

TAULUKKO 2. Mikko Niemisen ottamien näytteiden keskiarvo

| | Huhtikuu | Toukokuu | Kesäkuu |
|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Pino 1 | 52,82 % | 51,65 % | 43,21 % |
| Pino 2 | 52,67 % | 48,05 % | 35,18 % |
| Pino 3 | 50,93 % | 47,35 % | 44,70 % |
| Pino 4 | 49,62 % | 27,57 % | 32,95 % |

Näytteessä onnistunein varastointi voidaan katsoa olleen joka kuukaudelta pino neljä. Kaikista paras, eli kuivin, pino on aineistossani toukokuun pino 4.

Pinon 4 ympärillä kasvoi iso metsä, josta elävä puusto oli pinosta sopivan kaukana. Pino oli tukeva ja peitelty sekä hyvällä hiekkapohjalla. Vaikka tuuli ei pääse kiertämään pinossa yhtä hyvin kuin esimerkiksi pinossa 1, voidaan todeta, että kuivumista tapahtui kuitenkin tätä pinoa paremmin.

6.4 Opinnäytetyön tulokset ja vertailuaineisto

Tulokset havainnollistettiin Ismo Tiihosen vertailuaineistoa käyttämällä (ks. taulukko 3). Tiihosen vertailuaineisto tukee tässä opinnäytetyössä saatuja tuloksia. Tiihosen tulosten ääriarvot ovatkin samankaltaisia Mikko Niemisen mittaustulosten kanssa. Keskiarvot on laskettu manuaalisesti sekä Mikko Niemisen näytteistä että Ismo Tiihosen vertailuaineistosta.

TAULUKKO 3. Kuivin ja kostein näyte Ismo Tiihosen vertailuaineiston näytteistä

| | Huhtikuu | Kasa | Toukokuu | Kasa | Kesäkuu | Kasa |
|----------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|----------------|-------------|
| Kuivin | 48,2 % | 4c | 38,1 % | 4a | 26,8 % | 4b |
| Kostein | 58,5 % | 4a | 55,4 % | 3c | 48,0 % | 1c |

Kaikista paras, eli kuivin, pino on Niemisen aineistossa toukokuun pino 4, Tiihosen vertailuaineistossa kesäkuun pino 4. Sekä opinnäytetyön näytteissä että Ismo Tiihosen näytteissä onnistunein varastointi voidaan katsoa olleen joka kuukaudelta pino neljä.

Ismo Tiihosen vertailuarvot ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Ismo Tiihosen ottamien vertailunäytteiden keskiarvo

| | Huhtikuu | Toukokuu | Kesäkuu |
|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Pino 1 | 52,96 % | 50,20 % | 43,93 % |
| Pino 2 | 53,63 % | 45,20 % | 36,83 % |
| Pino 3 | 51,50 % | 46,90 % | 43,63 % |
| Pino 4 | 52,16 % | 43,60 % | 33,50 % |

7 POHDINTA

7.1 Varastoinnin kulmakivet ja tutkittujen pinojen kuivuus

Opinnäytetyössä tehtyjen mittausten tulokset vahvistavat aikaisempia käsityksiä energiapuun kuivumisesta. Kuivin mittaustulos tulkitaankin parhaaksi yksittäiseksi onnistuneen varastoinnin tulokseksi. Paalin kokonaiskuivuuteen kuitenkin vaikuttavat varastoinnin kokonaistilanne, joka saattaa poiketa yksittäisen näytteen antamasta tuloksesta. Pohdinnassa on käytetty aiemmin määriteltyjä varastoinnin kulmakiviä (ks. luku 2). Kuviossa yhdeksän pohditaan tuloksia näiden varastointiin vaikuttavien tekijöiden valossa. Taulukossa 5 osoitetaan pelkistetysti se, kuinka varastoinnin kulmakivet ovat pinoissa täyttyneet.

TAULUKKO 5. Tulokset ja varastoinnin kulmakivet

| <i>PINOT</i> | <i>Kustannustehokas ja turvallinen etäisyys</i> | <i>Riittävä vapaa ilmatila pinon alla</i> | <i>Pieni kastumiselle altis pinta-ala</i> | <i>Sopiva varastointiaika</i> | <i>Luonnon oman lämmitystehon hyödyntäminen</i> | <i>Ilman kiertö</i> | <i>Hyvä varastointipaikka</i> | <i>Peittely</i> |
|--------------|---|---|---|-------------------------------|---|---------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 2 | X | | X | X | | X | | X |
| 3 | X | X | X | X | | X | | X |
| 4 | X | X | X | X | | X | X | X |

Luonnon oman lämmitystehon hyödyntäminen näkyi aineistoissa. Osassa kasojen paaleista keskimmäiset paalit kuivuivat hitaammin. Voidaan päätellä tämän johtuvan siitä, että aurinko on pystynyt lämmittämään varaston päällimmäisiä paaleja sekä pohjimmaisista puista, koska auringonvalon lämmittäessä maata lämmitysteho kohdistuu alimmaisiiin puihin. Kevään myötä keskimmäiset paalit kuitenkin kiihdyttivät kuivumisnopeuttaan.

Kuten tulososion taulukosta ja diagrammista huomataan, pinon 1 kuivin paali on 1a. Syy siihen, miksi 1b näytteet ovat varaston kosteimpia huhtikuussa, on siinä, että keskimmäiset paalit kuivuvat pinon muita osia hitaammin.

Puulajilla on myös merkitystä pinon kuivumiselle. Myös näytteen koolla on kuivumisen kannalta merkitystä. Tiuhosen (2015) mukaan esimerkiksi lehtipuut kuivuvat havupuista hitaammin, sillä havupuut hengittävät paremmin. Isosta puusta lähtee käsittelyssä enemmän kaarnaa, mikä nopeuttaa kuivumista. (Tiuhonen 2015.)

Peittelyllä ja maaston kastumiselle alttiilla pinta-alalla on havaittu olevan myös osuutta puuaineksen kosteuteen. Syy siihen, miksi pinon 2 keskimmäiset paalit ovat olleet alkuun kuivimpia, voi johtua kevään viileästä ja kosteasta ilmasta. Näytteiden ottamisen aikana suojapeite on saattanut revetä tai se on voinut läpäistä vettä jostain muusta syystä. Tämän vuoksi päällimmäiset paalit ovat keskimmäisiä paaleja kosteampia.

Alimmaisat paalit ovat luonnollisesti kosteampia, mutta myös siksi, että oja viilentää paalin puita.

Varastointipaikan alustan maastolla sekä ympäröivällä puustolla on ollut myös merkitystä mitattuun kosteuteen. Pinon 4 puut ovat hiekkapohjaisella maalla. Pinossa neljä mitattiinkin kuivin lukema. Ympäröivät puut ovat kuitenkin saattaneet aiheuttaa yökosteutta, joka on hidastanut puiden kokonaiskuivumista. Pinot 1 - 3 sijaitsevat savisella maaperällä, joka ei ole yhtä hyvä kuin hiekkapohja. Tämän lisäksi kasojen 2 ja 3 takana kasvaa tiheää puustoa.

Kun pinon ympärillä kasvaa tiheää puustoa, vaikuttaa se kuivumiseen. Uutta opinnäytetyön tuloksissa on kuitenkin se, että pino 1 ei kuivunut yhtä tehokkaasti kuin pino 4. Alkuoletus oli, että pino 1 on parhaalla paikalla kuivumisen kannalta. Syy siihen, miksi pino 1 ei ollut paras, voi olla se, että pinon takana kasvavien koivujen lehdet ovat vaikuttaneet kuivattavaan ilmaan.

7.2 Aineiston keskikosteus kuukausittain ja alin ja korkein mitattu havainto

Tässä kappaleessa on kuvattu kuukausittain koko aineiston keskikosteus ja alin ja korkein mitattu havainto. Tämä on laskettu yhdistämällä tätä tutkimusta varten kerätty aineiston vertailuaineiston kanssa. Tämä antaa havainnollisen kuvan kuivumisnopeudesta (%-yksikköä/kk) ja vaihteluväistä (%-yks.).

TAULUKKO 6. Keskikosteus kuukausittain ja alin ja korkein mitattu havainto

| | Huhtikuu | Toukokuu | Kesäkuu |
|---|-------------------|----------------------|------------------------|
| Kuukausittainen koko aineiston keskikosteus | 52,04 % | 47,04 % | 39,24% |
| Alin mitattu havainto | 45,04 % (4C, oma) | 38,1% (4A, vertailu) | 26,8 % (4B, vertailu) |
| Ylin mitattu havainto | 59,38 % (1B, oma) | 56,43 % (1C, oma) | 50,08 % (3A, vertailu) |

Taulukon valossa voidaan todeta että tätä tutkimusta varten kerätyssä Niemisen aineistossa löytyy koko aineiston korkein mitattu kosteus, kun puolestaan vertailuaineistosta mitattiin koko aineiston kuivin löytö.

Korkein keskikosteus mitattiin huhtikuussa, alin puolestaan osui kesäkuulle. Eroa näiden välillä oli 12,8 %. Eroa suurimman ja pienimmän mitatun kosteuden välillä oli jopa 32,5%. Voidaankin päätellä varastoinnilla olevan suuri merkitys energiapuun kuivumiseen.

Huhtikuussa vaihteluväli koko aineiston keskikosteuden ja ylimmän mitatun havainnon välillä oli 14,1 % ja alimman havainnon välillä oli 14,5 %. Toukokuussa ylimmän havainnon välillä oli 19,9 % ja alimman välillä oli 19,0 %. Kesäkuussa ylimmän havainnon välillä oli 27,6 % ja alimman välillä oli 31,7 %.

7.3 Opinnäytetyön haasteet ja luotettavuus

Luotettavuuteen vaikuttavat seikat voidaan opinnäytetyössä jakaa kahteen pääkohtaan, joita ovat *mittauksen suorittaminen ja näytteiden säilytys*. Näytteiden kosteusprosentteihin tuli vaihtelua puuraaka-aineen paksuudesta ja neulasten määrästä johtuen, koska näytteet otettiin paalin eri puolilta. Vaihtelu aiheutti hajontaa yksittäisten mittaustulosten kohdalla.

Mittauksen suoritus. On huomattava että kosteusnäytteitä otettaessa neulaset ja lehdet vääristävät kosteutta. Ne tekevät paalista tiiviin, ja tällöin paali ei kuivu kovin tehokkaasti. Tämän vuoksi karsiminen edistäisi kuivumista paremmin (Tiihonen 2015; Kauppinen 2015). Näytteiden tulisi edustaa mitattavaa materiaalia mahdollisimman hyvin. Täten voidaan ajatella, että koska materiaalissa on neulasia ja lehtiä, myös näytteissä tulee olla neulasia ja lehtiä saman verran kuin näytteissä keskimäärin. Tätä vaihtelevuutta pyritään tasoittamaan näytteiden satunnaisotannalla. Pinotussa puutavarassa tämä on haasteellista. Kuten aiemmin on kuvattu, tämän opinnäytetyön näyte-erät ovat sisältäneet näytteitä eri osasta pinoa. Onkin mahdollista että tutkituissa eri näyte-erissä oli eri määrä neulasia tai lehtiä, mikä on vaikuttanut kosteusprosentteihin. Näytteet a ja b sisältävätkin todennäköisesti enemmän muuta aineista (esim. neulasia ja lehtiä) verrattuna c näytteeseen. Näytteiden ottoa varten pino purettiin. Näytteiden oton jälkeen puut pinottiin uudelleen. Voidaan myös olettaa, että

koska näytteitä ei otettu joka näytteenottokerralla samasta paalista, on sillä vaikutusta tuloksiin. Tämän lisäksi päällyspeite on voinut repeytyä näytteenottokerroilla, tästä johtuen sadevesi on päässyt kastelemaan pinon paaleja. Näin on voinut käydä esimerkiksi pinossa 2, jossa keskimäinen paali oli kuivin (ks. liitteet 1 ja 2).

Näytteiden säilytys. Haastetta aiheutti myös näytteiden säilytys viileässä. Tarkoituksena oli pitää näytteiden kosteus normaalina, jotteivat tulokset vääristyisi.

7.4 Loppupäätelmät

Opinnäytetyöni tulosten perusteella voidaan tulkita, että varastoinnin olosuhteilla on vaikutusta energiapuun kuivumiselle. Tämä vahvistaakin jo aiempaa tietoa varastoinnin merkityksestä. Hiekkapohjainen, eli kuivapohjainen maaperä, kuivattaa puita tehokkaammin kuin esimerkiksi savipohjainen maaperä. Parhaimman kosteusprosentin saikin pino 4, vaikka oletusarvona pino 1 olisi kuivumiselle suotuisin. Pinon 4 kuivumista edesauttoivatkin ennen kaikkea ympäröivät olosuhteet.

Tutkimuksesta on hyötyä energiapuupaalien varastointia suunniteltaessa. Puu energiamuotona on tulevaisuudessa yhä tärkeämpi ja varastoinnin merkitys kustannustehokkaassa energiapuun käytössä korostuu.

Jatkotutkimuksen haasteena on saada parannettua olosuhteita mittauksen suorittamiseen sekä näytteiden säilytykseen. Näin näytteiden mittaustuloksista saadaan luotettavammaksi.

LÄHTEET

Alakangas, Eija. 2003. Puuenergia. Puuenergia ry

Bioenergian Pikkujättiläinen. 2014a.

WWWdokumentti.<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/energiapuunvarastointi>. Luettu 23.7.2015.

Bioenergian Pikkujättiläinen 2015b, WWW-dokumentti.

<http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus/>. Luettu 12.4.2015

Bioenergian verkkopalvelu. 2012. WWW-dokumentti

<http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/metsaenergia/polttoaineet/metsahake/varastointi/>. Luettu 23.7.2015.

Forest Fire. 2012_2014. 2015. Hankkeen koulutusmateriaali. Rieska_Leader ry ja Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto. Luettu 1.9.2015

http://www.forestfire.eu/sites/forestfire.eu/files/files/4%20ForestFire_Energiapuu_varastointi_2015.pdf

Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi: Yhteenveto aikaisemmista tutkimuksista. VTT:n raportteja. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/VTT-R07261-09.pdf>. Luettu 3.9.2015.

Kauppinen, Veli-Pekka 2015. Haastattelu 9.5.2015. Polttoainevastaava. Metsäkeskus.

Karjalan Metsä ja Energia Oy. 2014. Ohjeita onnistuneeseen energiapuun valmistukseen. Pdf tiedosto.

http://www.kmeoy.fi/kme_ohjeita_energiapuun_valmistukseen.pdf. Luettu 5.6.2015.

Luiro, J. P. 2013. Energiapuun varastointi. Energiapuun korjuun laatukoulutuspäiväEVO 4.6.2013. Pdf-tiedosto. Viitattu 5.6.2015.

http://tapahtumat.ahjoon.fi/eTaika_Tiedostot/2/TapahtumanTiedostot/1647/3Energiapuun%20varastointi_Luiro.pdf

Metsäkeskus. 2014. Energiapuun varastointiohje. Pdf tiedosto. <http://www.puuenergiafoorumi.net/docs/lagringfi.pdf>. 2008-2010. Luettu 24.11.2014.

Metsänhoitoyhdistysten Palvelu MHYP Oy ja Metsänhoitoyhdistykset, 2014. WWWdokumentti.

<http://www.mhy.fi/kalajokilaakso/omayhdistyksesi/metsaenergia/energiapuun-varastoinnin-ohjeet>. Luettu 27.8.2015.

Ranta, T. 2003. Puuenergia. Puuenergia ry

Roos, A. 2002. Policy and Institutional Factors Affecting Forest Energy. Teoksessa J. Richardson, R. Björheden, P. Hakkila, A.T Lowe, C. T. Smith, C.T. (Toim.). Bioenergy from Sustainable Forestry: Guiding Principles and Practice. Springer, 299 - 320.

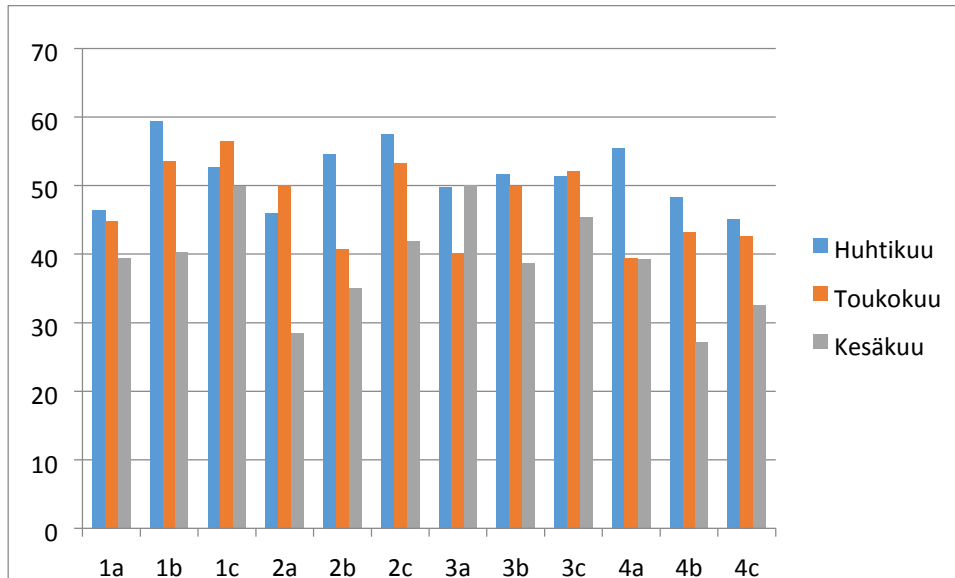
Stupak, I. et al. (29 authors, from Metla Asikainen, A., Pasanen, K., Röser, D., Saarsalmi, A., Helmisaari, H.-S., Kukkola, M. & Tamminen, P.). 2007. Sustainable utilisation of forest biomass for energy - Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. Biomass & Bioenergy 31(10), 666 - 684.

Tiihonen, Ismo 2015. Haastattelu 9.7.2015. tuotekehitysinsinööri/maatalousyrittäjä.

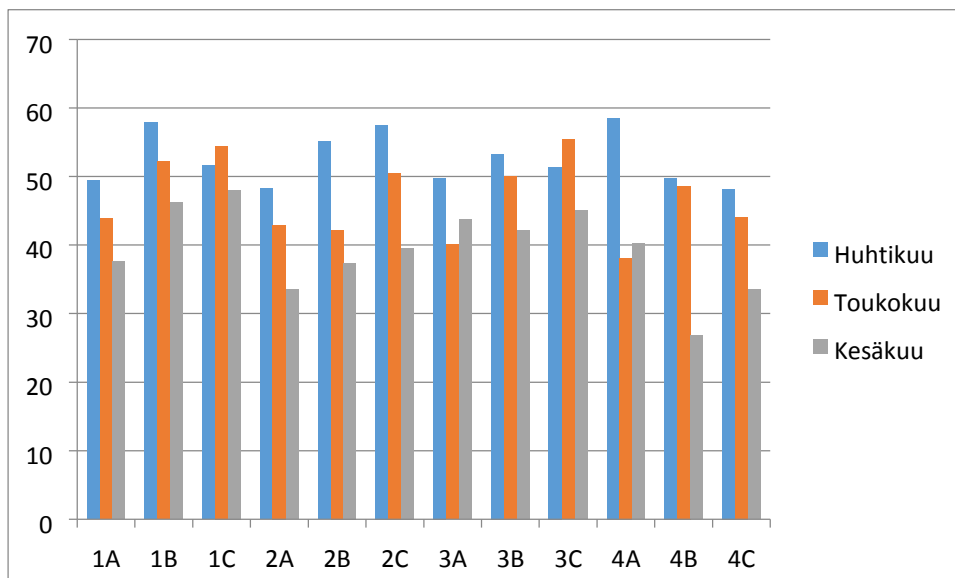
Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.) 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

LIITE 1. VERTAILUDIAGRAMMIT

Diagrammi Mikko Niemisen näytteiden kosteusprosesteista ja vertailudiagrammi Ismo Tiihosen näytteiden kosteusprosesteista.



A. Mikko Niemisen näytteet



B. Ismo Tiihosen vertailudiagrammi

LIITE 2. VERTAILUTAULUKKO

**Taulukko Mikko Niemisen näytteiden kosteusprosentista ja vertailutaulukko
Ismo Tiihosen näytteiden kosteusprosentista**

| | Huhtikuu | Toukokuu | Kesäkuu |
|----|----------|----------|---------|
| 1A | 46,47 | 44,89 | 39,38 |
| 1B | 59,38 | 53,63 | 40,27 |
| 1C | 52,62 | 56,43 | 49,96 |
| 2A | 45,94 | 50,10 | 28,54 |
| 2B | 54,63 | 40,72 | 35,07 |
| 2C | 57,44 | 53,35 | 41,91 |
| 3A | 49,76 | 40,11 | 50,08 |
| 3B | 51,71 | 49,87 | 38,64 |
| 3C | 51,31 | 52,08 | 45,39 |
| 4A | 55,51 | 39,44 | 39,23 |
| 4B | 48,31 | 43,26 | 27,09 |
| 4C | 45,04 | 42,63 | 32,52 |

A. Mikko Niemisen näytteet

| | Huhtikuu | Toukokuu | Kesäkuu |
|----|----------|----------|---------|
| 1A | 49,4 | 43,9 | 37,6 |
| 1B | 57,9 | 52,2 | 46,2 |
| 1C | 51,6 | 54,5 | 48,0 |
| 2A | 48,3 | 42,9 | 33,5 |
| 2B | 55,1 | 42,2 | 37,4 |
| 2C | 57,5 | 50,5 | 39,6 |
| 3A | 49,8 | 40,1 | 43,7 |
| 3B | 53,3 | 50,1 | 42,2 |
| 3C | 51,4 | 55,4 | 45 |
| 4A | 58,5 | 38,1 | 40,2 |
| 4B | 49,8 | 48,6 | 26,8 |
| 4C | 48,2 | 44,1 | 33,5 |

B. Ismo Tiihosen vertailudiagrammi