

OPINNÄYTETYÖ

Antti Tervonen ja Lasse Kumpuniemi

**KOSTEUDEN VAIKUTUS HAKKEEN
POLTTOON JA KULJETUKSEEN
SIMON ALUELÄMPÖLAITOKSELLA**



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

Metsätalouden koulutusohjelma



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

Luonnonvara- ja ympäristöala

Metsätalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyö

KOSTEUDEN VAIKUTUS HAKKEEN POLTTOON JA KULJETUKSEEN SIMON ALUELÄMPÖLAITOKSELLA

Antti Tervonen ja Lasse Kumpuniemi

2013

Simon Hakeosuuskunta

Hiltunen Oiva

Hyväksytty _____ 2013 _____

Työ on ladattavana Theseuksessa

Tekijä	Lasse Kumpuniemi ja Antti Tervonen	Vuosi	2013
Toimeksiantaja	Simon Hakeosuuskunta		
Työn nimi	Hakkeen kosteuden vaikutus hakkeen polttoon ja kaukokuljetukseen Simon aluelämpölaitoksessa		
Sivu- ja liitemäärä	45		

Tutkimuksemme käsitteli hakkeen kosteuden vaikutusta polttoon ja kaukokuljetukseen Simon aluelämpölaitoksella. Tilaajana toimi Simon hakeosuuskunta.

Tutkimme aiheita mittaamalla Simon aluelämpölaitokselle saapuvien hake-erien kosteusprosentin. Hakkeen kosteusprosentin saimme kun tiesimme hakkeen painon märkänä ja kuivana. Kuivaus tapahtui lämpölaitoksella uunin avulla. Saimme myös valmiiksi mitattuja näyte-eriä, joita saimme käyttää hyväksi tutkimuksessamme. Eri kaavojen avulla vertailimme kosteuden vaikutusta polttoainekuluihin ja kuormasta saatavaan energian hintaan.

Kosteuden noustessa hakkeesta saatava hyöty pienenee ja kuljetuskustannukset kasvavat. Haketta poltettaessa ja kuljettaessa olisi hyvä, jos hake olisi mahdollisimman kuivaa. Simon aluelämpölaitosta hoitava hakeosuuskunta hyötyy siitä, mitä kuivempaa haketta laitoksella poltetaan. Kuivemmasta hakekuormasta saatava hinta on parempi kuin kosteammasta, koska siitä saadaan enemmän energiaa irti. Polttoainekulut vähenevät myös, koska kuivempaa haketta kuljettaessa paino ei ole niin suuri kuin kosteampaa haketta kuljettaessa.

Avainsanat lämpölaitos, hake

Author	Lasse Kumpuniemi ja Antti Tervonen	Year	2013
Commissioned by	Simon Hakeosuuskunta		
Subject of thesis	Affection of moisture in wood chips when burning and transporting in Simo's district heating plant		
Number of pages	45		

Our research handled affection of moisture in wood chips when burning and transporting them in Simo's district heating plant. It was commissioned by Simo's woodchip cooperative.

We studied our subject by measuring incoming woodchip transports moisture content. We calculated wood chips moisture level by weighing them wet and dry. We dried wood chips in an oven. We also got predetermined samples, which we could use in our research. By using different mathematical formulas, we compared affects of different moistures in fuel expenses and also the price of energy in a load of wood chips.

As the moisture rises in wood chips, the profit of burning wood chips diminishes and also it increases expenses in transporting. It is more beneficial to burn wood chips which have less moisture. Simos wood chip cooperative benefits also from drier wood chips. Less moisture in wood chips also means that the cooperative gets a better price from wood chip load and also you get more energy from drier wood chips. Tranporting expenses are smaller when the moisture level of wood chip load is smaller because the load is lighter.

Keywords wood chip, heating plant

SISÄLTÖ

KUVIOLUETTELO	1
1. JOHDANTO.....	2
2. HAKKEEN POLTTO JA KULJETUS.....	4
2.1 SIMON ALUELÄMPÖLAITOS.....	4
2.2 KATTILAN TIETOJA	8
2.3 VARASTOINTI	10
2.4 KUORMIEN TIIVIYS.....	14
2.5 HAKETUKSEN LAATUTEKIJÄT	14
2.6 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET.....	16
3. KOSTEUDEN VAIKUTUS HAKKEEN KULJETUKSEEN	17
4.KOSTEUDEN VAIKUTUS POLTTOON.....	21
5.AINEISTO JA MENETELMÄT	25
5.1 KULJETUS	25
5.2 POLTTO	27
5.3 TUHKAPITOISUUS.....	30
6. TULOKSET.....	33
6.1 KOSTEUDEN VAIKUTUS KULJETUKSESSA	33
6.2 KOSTEUDEN VAIKUTUS POLTON KANNATTAVUUTEEN	35
7. TULOSTEN TARKASTELU.....	39
7.1 TULOSTEN TARKASTELU	39
7.2 KOSTEUDEN VAIKUTUS KUORMIEN HINTAAN VUODESSA.....	40
8. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	42
LÄHTEET	44

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1 Simon sijainti Suomen kartalla.....	4
Kuvio 2 Simon aluelämpölaitos (Pekka Kumpuniemi, 2009)	5
Kuvio 3 Simon aluelämpölaitoksen hakevarasto (Pekka Kumpuniemi 2009).....	6
Kuvio 4 Simon hakeosuuskunnan organisaatio	7
Kuvio 5 Simon aluelämpölaitoksen tuhkalava	9
Kuvio 6 Simon aluelämpölaitoksen PC-valvomo (kumpuniemi 2013)	10
Kuvio 7 Oikenlainen ladontajärjestys. (Lepistö 2010, 20).....	12
Kuvio 8 Eri varatomenetelmien vaikutus kosteuteen. (Hillebrand 2009, 6).....	13
Kuvio 9 Simon aluelämpölaitoksen hakekuljetin. (Kumpuniemi 2013)	15
Kuvio 10 Simon aluelämpölaitokselle tuotavan metsähakkeen osuudet.....	31
Kuvio 11 Tuhkan ja palamattoman aineksen määrä tuhkalavassa	32
Kuvio 12 Kosteusprosentin vaikutus kuorman hintaan.	33
Kuvio 13 Kosteusprosentin vaikutus polttoainekuluihin.	34
Kuvio 14 Kosteusprosentin vaikutus kuorman painoon.	35
Kuvio 15 Kosteusprosentin vaikutus lämpöarvoon.	36
Kuvio 16 Kosteusprosentin vaikutus irtokuution painoon	37
Kuvio 17 Kosteusprosentin vaikutus irtokuution hintaan.	38
Kuvio 18 Kosteusprosentin vaikutus kuormasta saatavaan hintaan vuositasolla.	41

1. JOHDANTO

Suomeen on rakennettu useita hakkeella toimivia aluelämpölaitoksia. Erityisesti öljyn hinnan nousu on johtanut siihen, että hakkeella toimivia lämpölaitoksia on tullut kannattavammaksi perustaa. Perusajatus on, että haketta polttamalla tuotetaan lämpöä tilaajille. Haketta poltettaessa vapautuu lämpöä, jota sitten toimitetaan asiakkaille.

Meitä kiinnosti aiheena kosteuden vaikutus hakkeen polton kannattavuuteen ja pyritettyämme aihetta päätimme tutkia myös kosteuden vaikutuksia kuljetuskustannuksiin. Simossa toimivaa aluelämpölaitosta hoitava osuuskunta kiinnostui myös aiheestamme ja ryhtyikin opinnäytetyömme tilaajaksi.

Simon aluelämpölaitoksella pääasiallisena polttoaineena on hake. Haketta poltettaessa on otettava huomioon sen sisältämä kosteus. Aikaisemmin saattoi ilmetä käsityksiä, että suurissa laitoksissa haketta poltettaessa hakkeen laadun merkitys on toissijainen, koska hake saadaan palamaan muiden polttoaineiden kanssa suuressa kuumuudessa. Kokemus on kuitenkin opettanut, että laadusta kannattaa huolehtia. Nykyään hakkeen laadun hallintaan on panostettu ja alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Hakkeen laatu vaihtelee silti vuosittain, vuodenaikojen ja autokuormien välillä.

Simon Aluelämpölaitoksella energiapuuta poltettaessa onkin tärkeää, että poltetaan laadukasta haketta. Hakkeen poltto tulee sitä taloudellisemmaksi mitä kuivempaa puuaines on. Puu jonka lämpöarvo on huono, ei kannata polttaa, koska sen sisältämää ylimääräistä vettä ei ole kannattavaa kuljettaa. Tutkimuksessa käytämme termejä hake ja metsähake.

Lapin läänin puusto on keskimääräisesti läpimitaltaan selvästi pienempää kuin eteläisemmän puuston. Ainespuun mitat täyttämätöntä puuainesta, eli läpimitaltaan alle 6 senttimetristä puuta on metsissä paljon ja sitä syntyy korjuun yhteydessä runsaasti. Tämän vuoksi on hyvä keksiä tälle puulle käyttöä ja se sopiikin lämmöntuotantoon erinomaisesti. (Laine — Okkonen 1985, 9)

Energiapuun tuotanto on tulossa pysyväksi osaksi metsätalouden arkea. Se luo alalle vihreää imagoa, sekä työllisyyttä. Se myös edistää metsänhoitoa, koska vajaatuottoiset nuoret metsät on mahdollisesti hakattavissa energiapuuksi. Energiapuun tuotanto on myös merkittävä kasvunala metsäsektorilla. (Hakkila 2004, 7)

Metsähakkeeseen panostus kannattaa myös panostus-tuotossuhteen takia. Se on edullinen, noin 1 suhde 30. Tästä huomaamme, että metsähake on potentiaalinen korvaaja fossiilipolttoaineille ja näin myös hiilidioksidipäästöjen alentamiselle. Verrattain metsäteollisuuden prosessitähdeillä tuotettu energia kuluu kokonaan tai ainakin suureksi osaksi itse tuotantoprosessissa. (Hakkila 2004, 7)

Puuenergia on puuperäisestä raaka-aineesta (puu, kuori, neulaset, teollisuuden puujäte, sulfaattiteollisuuden jäteliemi) tai sen jalosteesta tuotettua energiaa. (Hakkila — Fredriksson 1996).

Rajasimme alueen Simon kunnan alueelle, mistä aluelämpölaitos hankkii puutavaransa. Kosteuden vaikutusta kuljetukseen rajasimme myös yhteen yrittäjään, koska kyseinen kuljetusyrittäjä hoitaa suurimman osan kuljetuksista. Materiaalia ei myöskään ollut saatavilla muilta yrittäjiltä. Haluamme tutkimuksellamme osoittaa, mikä merkitys hakkeen kuivatuksella on sen polttoon ja kuljetukseen Simon aluelämpölaitoksella. Kuljetusalan yrittäjät voisivat huomata myös sen, miten hakekuorman paino muuttuu hakkeen kosteuden muuttuessa. Emme puutu siihen, millä eri menetelmillä hakkeen laatua voitaisiin parantaa.

Opinnäytetyössämme tavoitteena oli kartoittaa, miten hakkeen kosteus vaikuttaa kuljetukseen ja polttoon ja laskea miten hakkeen kosteus vaikuttaa kuluihin. Tuloksista on laadittu kuvaajat, joissa esitetään polton kannattavuudelle ja kuljetuskustannuksille.

Tutkimuksessa on otettu myös huomioon muita laatutekijöitä. Näitä laatutekijöitä ovat mm. tuhkapitoisuus ja varastointi.

2. HAKKEEN POLTTO JA KULJETUS

2.1 Simon aluelämpölaite

Toimitusorganisaatiot metsähakkeelle ovat kehittyneet nopeasti. Esimerkiksi Biowatti ja UPM Metsä tuottivat vuonna 2003 metsähaketta 1TWh:n edestä ja toimitukset ovat edelleen hyvässä kasvussa. Suurien toimittajien avulla ala on saanut uskottavuutta, jota siltä on puuttunut. Pelkät isot tekijät eivät kuitenkaan riitä, vaan alalle tarvitaan myös pieniä toimijoita suurien rinnalle. (Hakkila 2004, 7)

Simon kunta sijaitsee 80 km päästä ja Kemiin sieltä on matkaa 26 km. Sijainti näkyy alla olevasta kuviosta. (Simon Kunta 2013.)



Kuvio 1 Simon sijainti Suomen kartalla

Simon alueella toimii aluelämpölaite, joka tuottaa kaukolämpöä. Aluelämpölaite toimii Simon keskustan tuntumassa. Simossa toimiva aluelämpölaite on toiminut vuodesta 2004 (Kuvio 2). Sitä hoitaa Simon hakeosuuskunta, jonka toiminta on alkanut vuonna 2004.



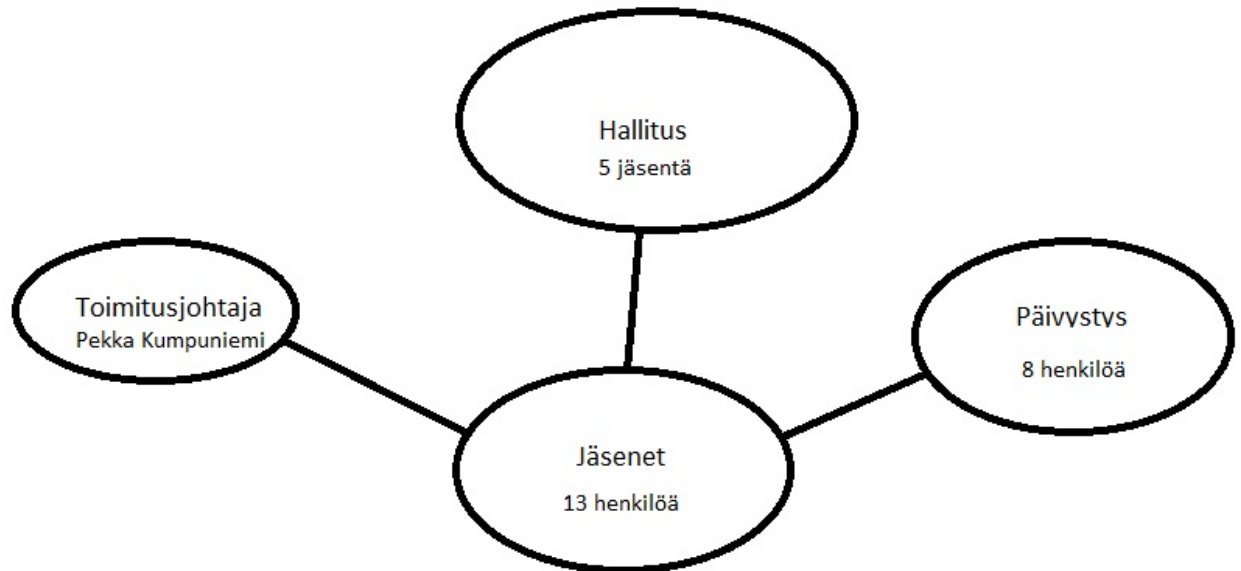
Kuvio 2 Simon aluelämpölaitos (Pekka Kumpuniemi, 2009)

Laitoksella on Kiinteän polttoaineen kattila (KPA), joten siinä on tarkoitettu poltettavaksi biomassaa kuten, haketta, pellettejä, yms. Hakelaitoksen KPA-kattilateho on n. 1MW. Laitoksella on käytössä myös kevytöljykattila, ja vara- ja huipputeho ovat n. 2MW. Hakevaraston koko aluelämpölaitoksella on 375 m² ja sen sisäkorkeus on 7 metriä, kuten kuviosta 3 voi huomata. Tämä varasto riittää pakkaskautena 1-2 kuukautta. (Kumpuniemi 2013).



Kuvio 3 Simon aluelämpölaitoksen hakevarasto (Pekka Kumpuniemi 2009)

Simon aluelämpölaitoksen hoidosta ja lämmön toimittamisesta vastaa Simon hakeosuuskunta. Osuuskunnan tarkoituksena on jäsentensä taloudenpidon tai elinkeinon tukemiseksi harjoittaa taloudellista toimintaa siten, että jäsenet käyttävät hyväkseen osuuskunnan tarjoamia palveluita taikka myytäviä tuotteita (www.yrittajat.fi). Osuuskunta toimittaa aluelämpölaitokselle haketta ja turvaa näin puukauppaansa. Simon hakeosuuskunnassa jäseniä on 13. (Kumpuniemi 2013). Kuviosta 4 näkyy hakeosuuskunnan organisaatio.



Kuvio 4 Simon hakeosuuskunnan organisaatio

Hakeosuuskunta toimittaa pääasiallisesti kaiken hakkeen aluelämpölaitokselle, mutta haketta ostetaan myös ulkopuolisilta toimittajilta. Simon aluelämpölaitos toimittaa kaukolämpöä Simon kunnan kaukolämpöverkkoon. Lämpöä tuotetaan mm. Simon kunnan virastotalolle ja kouluille. Tarvittava vuotuinen hakemäärä Simon aluelämpölaitoksella on n. 7000 i-m³. (Kumpuniemi 2013)

Aluelämpölaitoksen pääasiallisena polttoaineena toimii metsähake, jolla tarkoitetaan ainespuun korjuussa syntyneistä hakkuutähteistä ja ainespuuksi kelvottomasta nuorten metsien pienpuusta metsässä, tienvarsivarastolla, terminaalissa tai käyttöpaikalla tehtyä polttohaketta. Se valmistetaan puubiomassasta, joka ei ole kelvollista raaka-ainetta metsäteollisuudelle koostumuksensa, pienen läpimittansa, laho- ja muitten vikaisuuksien tai epäedullisten leimikkotekijöiden myötä. (Hakkila — Nousiainen — Kalaja 1999, 22). Laitoksella voidaan polttaa myös puutähdehaketta, joka on tehty teollisuuden kuorellisista ja kuorettomista puutähteistä, kuten rimat ja tasauspätkät, joka ei sisällä maalattua tai muuten käsiteltyä puuta (Alakangas 2000, 18). Rankahake on myös vaihtoehto haketta poltettaessa. Se on karsitusta runkopuusta tehtyä haketta (Alakangas 2000, 18).

2.2 Kattilan tietoja

Polttoainevarastossa on kolme kappaletta hydraulitoimisia tankopurkaimia. Vastaanottoaseman kuljetin on rakenteeltaan teräsrakenteinen tankopurkainkuljetin, joka muodostuu rinnakkaisista tankopurkaimista. Tankojen käyttölaitteena ovat hydrauliset sylinterit. Polttoaineen siirtävänä osana kuljettimessa ovat rakenneputkeen kiinnitetyt kulmarauta työntötangot. Tankopurkaimet pudottavat kuljetettavan polttoaineen ketjukolakuljettimelle. Ketjukolakuljetin kuljettaa polttoaineen polttoainesuppiloon. Polttoainesuppilossa on kaksi hydraulitoimista syöttöpeltiä, joista toinen on aina kiinni polttoainetta syötettäessä. Polttoaineen pinnankorkeuden tarkkailuun ja ohjaukseen on uunissa mikroaaltotutka. Polttoaineen syöttö arinalle tapahtuu hydraulikäyttöisellä syöttölaitteella, joka työntää tarvittavan määrän polttoainetta arinalle. Kattilan asennusalusta toimii tuhkatilana. (Kumpuniemi 2013)

Palamisilma syötetään kattilan ohjausjärjestelmän ohjaamana ensiö- ja toisioilmapuhaltimilla. Ensiöilma syötetään arinan alle ensiöilmapuhaltimella. Puhaltimen nopeutta säädetään ohjelman määräämässä suhteessa tarvittavaan tehoon. Toisioilma puhalletaan toisiopuhaltimella, jonka nopeutta korjataan savukaasujen jäännöshappipitoisuuden mukaan. Laitos on varustettu automaattisella tuhkanpoistolla, joka huolehtii tuhkan poistamisesta kattilasta ja arinalta sekä savukaasupuhdistimelta märkäkolakuljettimella tuhkalavaan. Kuviossa 5 on esitetty tuhkalava.



Kuvio 5 Simon aluelämpölaitoksen tuhkalava

Laitoksessa on PC- valvomo, josta voidaan valvoa laitoksen toimintoja. Laitoksessa oleva automaatiotaso mahdollistaa miehittämättömän ajon, joten jatkuvaa valvontaa ei tarvita. Laitos on riittävästi automatisoitu 48 tunnin miehittämätöntä ajoa varten. Ohjausjärjestelmä toimii sähkökaapin oveen asennetulla operointipaneelilla. Operointipaneelista nähdään tärkeimmät ajoarvot sekä pystytään muuttamaan tarvittaessa järjestelmän asetusarvoja. Järjestelmä on liitetty PC kauko-ohjauksella toimivaksi. (Kumpuniemi 2013). Kuviossa 6 on esitetty Simon aluelämpölaitoksen PC- valvomo.



Kuvio 6 Simon aluelämpölaitoksen PC-valvomo (kumpuniemi 2013)

2.3 Varastointi

Varastointi on oleellinen osa hakkuutähteen hankintaketjua ja logistiikkaa. Hakkutähteen eriasteisilla varastoinneilla varmistetaan polttoaineen saatavuus vuoden kaikkina aikoina sekä parannetaan polttoaineen laatua. Varastoinnin suunnittelussa on tärkeää varaston sijaintipaikka ja toisaalta varastoinnin ajoitus hankintaketjun muiden toimintojen mukaisesti. Hakkuutaähdettä voidaan varastoida kuormatraktorin tekemissä suurissa kasoissa palstalla, hakkuukoneen tekemissä pienissä kasoissa palstalla tai keskitettyä haketusta sovellettaessa suurissa aumoissa terminaalissa tai käyttöpaikalla. (Hillebrand 2009, 11)

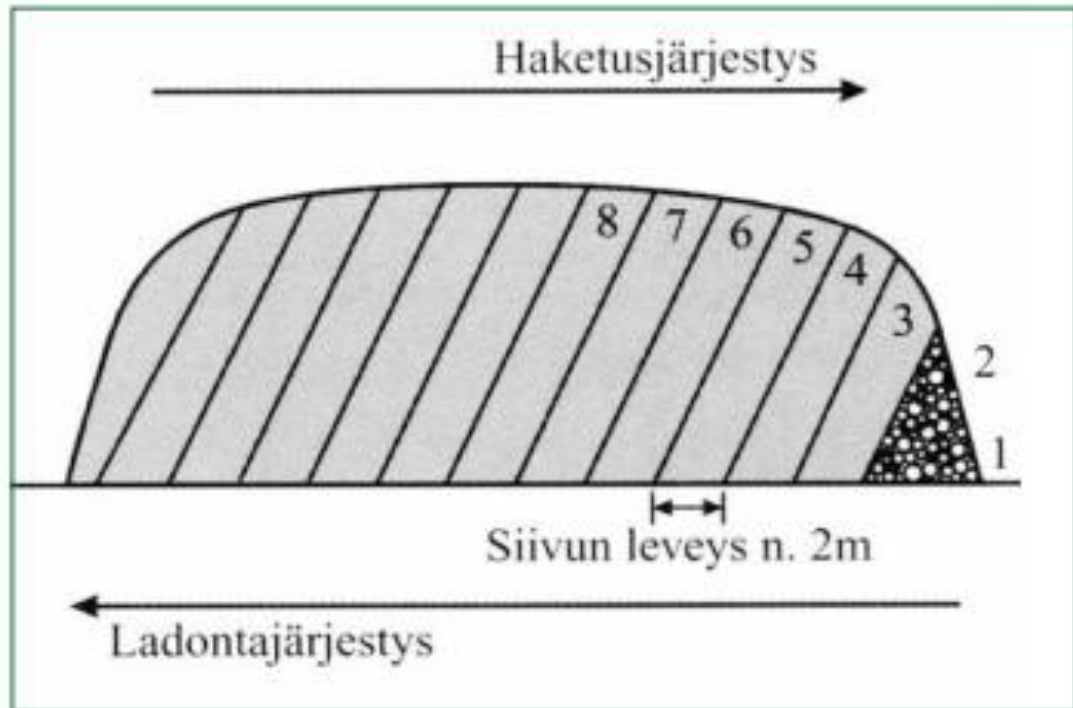
Varastokasojen peittämisen vaikutusta kosteuteen on tutkittu peittämällä osa kasoista kahdella rinnakkaisella peittopaperilla Hillebrandin tutkimuksessa. Varastoja tehtäessä kasojen keskikosteus on ollut 52 prosenttia ja haketuksen yhteydessä peittämättömien varastokasojen keskikosteus 42 prosenttia ja peitettyjen kasojen 36 prosenttia. Varastokasojen peittämällä saatiin 6 prosenttia kuivempaa polttohaketta. Nämä tulokset saatiin, kun tutkimuksessa käytettiin pienpuuta. (Hillebrand, 2009, 5)

Poutaisena kesäpäivänä kosteutta haihtuu 4-6 millimetriä. Hellepäivinä taas 8-9 millimetriä, jos kuurosateita ei satu kohdalle. Viileämpinä ja pilvisempinä päivinä haihdunta putoaa 1—3 millimetriin vuorokaudessa. (Hillebrand, 2009, 14)

Hakkuutähteillä saatiin jopa 10—15 prosenttiyksikön verran kuivempaa haketta. Tästä voimme päätellä, että hakkuutähdekasojen peittäminen on huomattavasti kannattavampaa, kuin pienpuukasojen peittäminen. (Hillebrand, 2009, 5)

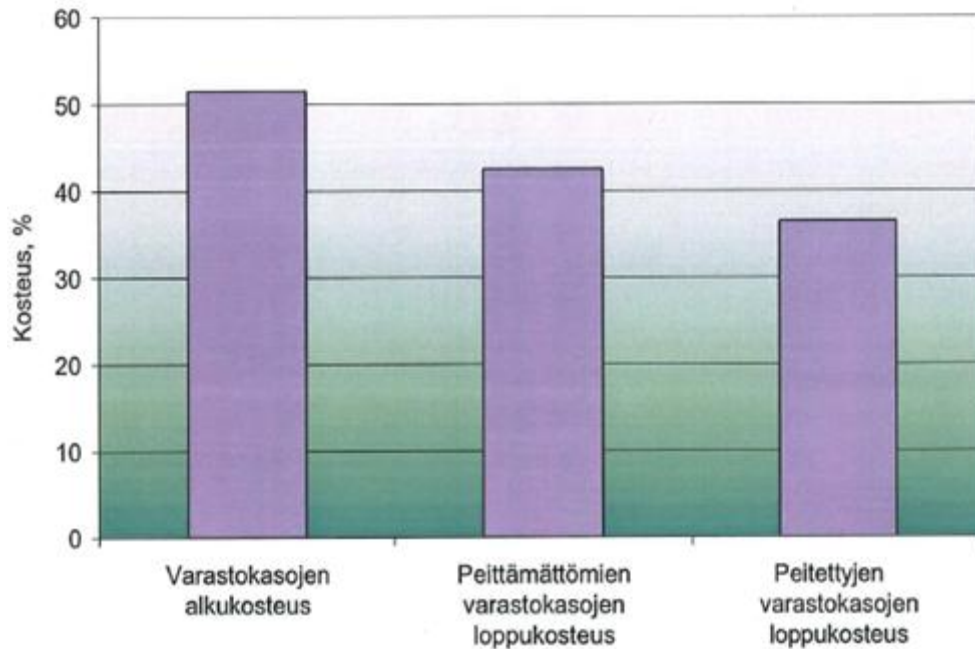
Varaston tiivydellä ja korkeudella on peittämisen kustannuksiin suuri vaikutus. Mitä tiiviimpi ja korkeampia kasa on, ovat peittämiskustannuksetkin alhaisemmat. Peittämisen kustannuksista suurin osa tulee itse peitteestä, itse työn kustannuksen ollessa noin 20 prosenttia. (Hillebrand, 2009, 6)

Korkeassa varastoinnissa on myös etuna se, että sateelle altistuvan osuuden pinta-ala on pienempi kuin leveämmän kasan. Kantava alusta ja reilut aluspuut ovat hyvän varaston tunnusmerkkejä. Kasan tulee olla selvästi irti maasta. Kun kasaa järeästä kuitu- ja tukkipuusta monikerroksisen ristikon, saa varastolle ilmavan perustan. Maan kantavuus vaikuttaa siihen kuinka monta kerrosta aluspuita tarvitaan. Tukeva ristikko syntyy, kun varastoitavien puiden suuntaisia aluspuita ladotaan 3—5 metrin välein ja poikittaissuuntaisia puita vähintään kolme riviä. Tiheällä ristikoinnilla vältytään aluspuiden katkeamiselta ja varaston romahtamiselta. (Lepistö 2010, 20) Kuviossa 7 on kuvattu oikeanlainen ladontajärjestys.



Kuvio 7 Oikealainen ladontajärjestys. (Lepistö 2010, 20)

Hakkeen peittämisen kannattavuutta on myös määritelty. Kun otetaan huomioon hakkeen kosteuden vaikutus hakkeen lämpöarvoon, hakkeen kosteuden tulisi alentua peittämisellä 6—8 prosenttiyksikköä, jotta peittämisen kustannukset tulisivat katetuiksi. Peittämistä tärkeämmäksi on kuitenkin osoittautunut varastointipaikkojen sijainti. Varjossa sijainneiden varastokasojen kosteus oli 7—17 prosenttia suurempi kuin avoimella paikalla sijainneiden kasojen. Kuviossa 8 on esitetty eri varastomenetelmien vaikutuksia kosteuteen. (Hillebrand, 2009, 6)



Kuvio 8 Eri varastomenetelmien vaikutus kosteuteen. (Hillebrand 2009, 6)

Varastoidun puun tulisi antaa kuivua vähintään yhden kesän yli. Jos on hyvä kuivatuskesä ja kasan paikka on aukealla ja varastointitapa ilmava, voi hakkeen kosteus laskea jopa alle 40 prosentin. Kuivunut ja varastoitu pienpuu ei kostu talven aikana hakkuutähteen tavoin. Kokopuiden ja joukkokäsiteltyjen puiden on todettu kuivuvan yhtä tehokkaasti. (Lepistö 2010, 26)

Metsähake voi sisältää runsaasti neulasia. Nuorilla metsillä kokopuuhakkeen raaka-aineessa neulasten osuus on alun pein männyllä 5—9 prosenttia ja kuusella 10—18 prosenttia. Päätehakkuualoilla neulasten osuus on noin kaksinkertainen nuoriin metsiin verrattuna. Neulas- tai lehtimassassa on huomattava osa puuston sisältämisestä ja kasvulle tärkeistä ravinteista. Kokopuu korjuussa ravinteita poistuu metsiköstä. Puuston kannalta olisi edullista päästä eroon neulasista ja lehdistä ennen puiden välivarastolle ajoa. (Hillebrand, 2009, 7)

2.4 Kuormien tiiviys

Kuorma voi myös jäädä vajaaksi, jos hake ei mene tiiviisti kuormaan. TiiviYTEEN vaikuttavia tekijöitä ovat mm. palan muoto, palakokojakauma, oksat, puulaji, vuodenaika, kuormaustekniikka ja myös painauma kuljetuksessa. Litteämmät hakepalaset takaavat sen, että kuormatiiviys on alhaisempi. Korkeampaan tiiviYTEEN vaikuttaa myös epätasainen palakokojakauma. Suurempien palasten väliin mahtuu helposti pienemmillä hakepalasilla. Haketuksen yhteydessä hakkeen mukana kulkee myös oksia, jotka taas alentavat tiiviYTtä. (Knuuttila 2003, 30)

Hakkeen tiiviYTEEN myös puulajilla on oma merkityksensä. Leppähakkeella esimerkiksi on korkeampi tiiviys kuin koivuhakkeen, koska hauraasta ja pehmeästä puusta tehty hake sisältää enemmän hienojakoista ainesta kuin kovasta puusta tehty hake. Hakekuorman tiiviYTEEN vaikuttaa myös se mihin vuodenaikaan haketus tapahtuu. Talvella tehtävän haketuksen yhteydessä jäätyneestä puusta tehdyllä metsähakkeella on korkea tiiviys, koska hauraasta jäätyneestä puusta syntyy enemmän hienoainesta kuin sulaneesta puusta. (Knuuttila 2013, 30)

2.5 Haketuksen laatutekijät

Hakkeen laatuun vaikuttaa myös hakkuri. Tylsillä terillä haketus on hidasta ja hakkeen laatu huonoa. Tylsät terät hakkurissa johtavat siihen, että hakkeen joukossa on paljon pitkiä tikkuja. Tämä aiheuttaa käyttöpaikalla kuljettimien tukkeutumista ja sitä kautta polttoaineen syöttöhäiriöitä (Kuvio 9). Erityisesti pienkohteet kärsivät jos hakkeessa on pitkiä tikkuja. Hakuspaikan siisteys on myös yksi laatutekijöistä. Peitemateriaali ja hakkuriin kelpaamaton puuaines ei saa jäädä epäsiististi sotkemaan maisemaa. Tarkka lastaus kuorma-autoon vähentää hukkaan menevän hakkeen määrää. (Lepistö 2010, 31).



Kuvio 9 Simon aluelämpölaitoksen hakekuljetin. (Kumpuniemi 2013)

Luonnon kuivaaman hakkeen lisäksi on kehitetty erilaisia hakkeen keinokuivausmenetelmiä. Näitä voisi potentiaalisesti soveltaa myös Simon aluelämpölaitoksessa. Keinokuivaus on myös tehokas keino kuivattaa haketta, koska sillä voidaan saavuttaa jopa 15 prosentin kosteussuhde hakkeessa.

Keinokuivausta voidaan käyttää tuorehakkeen kuivaamiseen tai parantaa varastokuivauksessa saatua kuivumistulosta. Keinokuivauksen huonona puolena on sen kuluttama energia ja siitä nousevat hakkeen tuotantokustannukset. Kaikissa kuivurimalleissa on yhteisenä tekijänä ilman ohjaus lattiassa olevista ilma-aukoista. Näistä aukoista kuivatusilma johdetaan hakkeeseen. Puhallusilma voi kulkea joko puurakenteen päälle asennettujen reikälevyjen tai lattiaan valettujen ilmakehien kautta. (Lepistö 2010, 33)

Hakkeeseen puhallettava ilma voi olla joko kylmää tai lämmitettyä. Yleisesti hakkeen keinokuivaus Suomessa tapahtuu kylmäilmakuivauksella. Isoissa laitoksissa voidaan poikkeuksellisesti kuivattaa haketta lämpölaitoksessa syntyvässä hukkalämmössä. Kaikissa kuivaajamalleissa tulee ottaa huomioon kuivattavan hakkeen keskimääräinen tilavuus. Tällöin voidaan laskea tarvittava ilmamäärä, sekä riittävä virtaamisnopeus ilmalle. Kuivatuksessa hakkeesta

lähtevä kosteus tiivistyy hallin kattoon. Hallin päätyihin voidaan tässä tapauksessa asentaa poistoilmapuhallin, tai rakentaa harjan alle rakennuksen molempiin päihin poistoluukut. (Lepistö 2010, 33)

2.6 Aikaisemmat tutkimukset

Kosteuden vaikutuksesta polttoon ja kuljetukseen on tehty myös aikaisempia tutkimuksia. Seinäjoen ammattikorkeakoulussa aiheeseen ovat tutustuneet Tuomas Hakonen ja Jussi Laurila. Heidän tutkimuksensa keskittyy Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle. Heidän tutkimuksensa keskittyi tarkastelemaan aihetta Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella kun taas meidän tutkimuksemme keskittyi Simon kunnan alueelle. Heidän tutkimuksestaan käy myös ilmi, että kosteudella on suuri merkitys hakkeen kuljetuksessa. Heidän tutkimuksessaan kuljetuskaluston kuormatilavuus oli suurempi, joten emme tehneet suoraa vertailua heidän tutkimukseensa painorajoitteiden vuoksi. Painorajat olivat heidän tutkimuksessaan isommat, mutta niin olivat myös kuormakoot.

Hakkeen kosteuden vaikutuksesta polttoaineen kulutukseen oli myös tehty aikaisempi tutkimus, josta me saimme omaan tutkimukseemme myös tietoa. Tutkimuksen olivat tehneet Väkevä, Pennanen ja Örn. Tutkimuksen nimi on puutavara- autojen polttoaineen kulutus. Heidän tutkimuksessaan keskikuljetusmatka on 129 kilometriä, kun taas Simon aluelämpölaitoksella ja meidän tutkimuksessamme keskikuljetusmatka oli 25 kilometriä.

Aikaisempia tutkimuksia kosteuden vaikutuksista polttoon ei ollut kovin montaa. Hakosen ja Laurilan tekemä tutkimus hakkeen kosteuden vaikutuksesta polttoon on vuodelta 2011, joten meidän tutkimuksemme on tuoreempi ja tehty uudemmilla arvoilla. Meidän tutkimuksessamme olemme laskeneet itse lämpöarvot ja saaneet niitä Simo aluelämpölaitoksen laskelmista, kun taas Hakosen ja Laurilan tutkimuksessa lämpöarvona on käytetty männyn kokopuunhakkeen lämpöarvoa. Polttoaineiden hinnat ovat muuttuneet heidän käyttämistään arvoista.

3. KOSTEUDEN VAIKUTUS HAKKEEN KULJETUKSEEN

Kävimme tutustumassa Simon aluelämpölaitokseen. Paikan päällä tutustuimme aluelämpölaitoksen toimintaan. Tutustuimme myös kosteuden mittauksen perusteisiin ja mittasimme itse kosteusprosentteja hake-eristä ja haastattelimme aluelämpölaitoksen toimitusjohtajaa Pekka Kumpuniemeä. Saimme työhömmme materiaalia häneltä.

Valtaosa Simon aluelämpölaitokselle tuotavasta hakkeesta kuljetetaan teitse hakeautoilla. Tutkimuksessamme selvitämme kosteuden vaikutusta hakkeen kuljetuksen kannattavuuteen aluelämpölaitoksella. Kosteudella on vaikutuksensa polttoaineen kulutuksen lisäksi myös renkaiden ja öljyn kulutukseen. Muita kulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat myös ajotapa, teiden kunto, märkyys ja tien pintarakenne. Näistä tekijöistä johtuvat muutokset vaikuttavat polttoaineen keskikulutukseen (Väkevä—Pennanen—Örn 2004, 28). Tässä tutkimuksessamme tarkastelemme kosteuden vaikutusta vain polttoaineen kulutukseen.

Väkevän, Pennasen ja Örnin (2004, 14—18) tekemässä tutkimuksessa on myös selvitetty, että yhden tonnin massan kuorman lisäys aiheuttaa sen, että keskikulutus nousee 0.6 litraa/ 100 km. Tämä tulos saatiin käyttämällä Skalnet-palvelua, jossa autoon asennettiin tiedonkeruuyksikkö eli musta laatikko, joka sitten rekisteröi auton tapahtumat, kuten ajomatkan, polttoaineen kulutuksen, ajonopeuden, ajo- ja pysähdysajat, jarrujen käytön ja auton sijainnin. Tämä yksikkö asennettiin tutkimusautoon, joka oli Sisu vuosimallia 1999, jossa oli euro2-luokan, Cummins'in 14 litran moottori.

Tutkimuksessa olemme itse laskeneet kosteuden vaikutuksen kuormasta saatavan hinnan megawattituntien mukaan. Polttoaineen kulutusta laskettaessa hyödynsimme Väkevän, Pennasen ja Örnin (2004) aikaisemmin tekemää tutkimusta aiheesta. Siitä saimme tietoomme polttoaineen kulutusarvon (0,6 l / 1 000 kg / 100 km), jonka avulla pystyimme laskemaan kosteuden vaikutuksen polttoaineen kulutukseen Simon aluelämpölaitoksessa. Automallit ovat kehittyneet tutkimuksessa käytetystä automallista (1999 vuosimallin Sisusta,

jossa on Cummins:in 14 litran moottori). Polttoaineen kulutus on pienentynyt kehityksen edetessä. Polttoaineen hinta on taas puolestaan kallistunut tutkimuksen ilmestymisestä. Tutkimuksessamme ei myöskään ole huomioitu miten kosteus vaikuttaa renkaiden kulumiseen ja öljyn kulutukseen.

Tutkimuksessa käytetystä lukuarvosta (0,6 l / 1 000 kg / 100 km) ei saa täysin oikeaa kuvaa kosteuden vaikutuksesta polttoaineen kasvuun, mutta sen avulla saadut arvot kuitenkin suuruusluokaltaan sopivia ja pystyimme näin ollen tarkastelemaan tuloksia. Simon aluelämpölaitokselle haketta tuovien yrittäjien ajotapaa ja heidän kalustonsa polttoaineen kulutusta oli mahdoton selvittää, joten käytimme hyväksi aikaisempaa tutkimusmateriaalia. Jos polttoaineen vaikutus haluttaisiin selvittää tarkasti, olisi luotava malli, jossa otettaisiin huomioon kaikkia eri tekijöitä kuten ajotapa, kuormakoko, kuorman massa, tien kunto, tien pintarakenne ja vuodenajat. Emme huomioineet Simon aluelämpölaitokselle haketta toimittavien kuljetusyrittäjien ajotapaa tai kalustoa, vaan tutkimme polttoaineen kulutusta Väkevän, Pennasen ja Örnin (2004) aikaisemmin tekemän tutkimuksen lukuarvojen avulla.

Kosteudella olisi suurempi vaikutus polttoainekustannuksiin silloin, kun kuorman massa kasvaisi yli sallitun kantavuusrajoitteen ja kuormaa ei saataisi täyteen. Tällöin jouduttaisiin tekemään ylimääräisiä ajokertoja, jotta saataisiin metsähake tuotua Simon aluelämpölaitokselle. Simon aluelämpölaitokselle haketta kuljettaa Kumatra Oy, jonka kuljetuskalustoa käytimme tutkimuksessamme vaikka haketta tuovat muutkin yrittäjät. Kun Kumatra Oy:n täysperävaunuyhdistelmässä painorajoite on 54 000 kiloa ja tilavuus kuljetuskalustossa on n.74 i-m³, eivät kantavuusrajoitteet ylity näyte- erissämme. Näin ollen emme ole huomioineet tutkimuksessamme ylimääräisten ajokertojen tuomaa polttoainekulutusten kasvua.

Tutkimuksessamme ei myöskään ole huomioitu alle 32,2 prosentin kosteutta, koska mittauksissamme ja Simon aluelämpölaitokselta saaduista näyte- eristä ei ollut tämän pienempää kosteusprosentin omaavaa näytettä.. Tuloksista näkyy selvästi, että kosteudella on vaikutusta hakkeen kuljetuskustannuksiin.

Tutkimme myös kosteuden vaikutusta metsähakkeen megawattitunneista saatavaan hintaan kuormakohtaisesti. Kosteuden kasvaessa kuormasta saatava hinta vähenee. Metsähakkeen lämpöarvoon vaikuttaa moni muukin asia kuin kosteus esimerkiksi puulaji. Eri puulajeilla on omat lämpöarvonsa. Nämä arvot ovat lähellä toisiaan, mutta niillä on voinut olla vaikutusta kuormassa olevaan energiatiheyteen ja näin ollen siitä saatavaan hintaan. Lämpölaitokselle tuotavasta hakkeesta pääasiallisena puulajina toimii mänty, mutta osassa eristä on ollut puulajeja sekaisin. Emme huomioineet eri puulajien lämpöarvojen merkitystä tutkimuksessamme. Aineistossamme ei myöskään ollut eriteltyä mitä puulajeja erissä oli. Kuorman energiatiheyteen vaikuttaa myös puulajin lisäksi se, kauanko puut ovat olleet tienvarressa kuivaamassa, kuivausmenetelmä ja myös se milloin puut on kaadettu. Tutkimuksessamme emme myöskään puuttuneet näihin kohtiin vaan tutkimme vain kosteuden vaikutusta yleisesti kuormasta saatavaan hintaan energiatiheyden mukaan.

Simon aluelämpölaitoksessa kuljetukset hoitaa mm. Kumatra oy, Vapo ja Posti ja pojat Ky. Tässä tutkimuksessa otamme huomioon Kumatra Oy:n kuljetuskaluston. Suurimman osan lämpölaitoksen hakkeesta toimittaa Kumatra Oy. Hakekuorman koko onkin määritetty Kumatra Oy:n täysperävaunuyhdistelmän koon mukaan. Haketta kuljetetaan pääasiassa Simon kunnan alueelta , mutta myös jonkin verran kunnan rajojen ulkopuolelta. Haketta voidaan joutua kuljettamaan pitkänkin matkan päästä, mutta osa hakkeesta saadaan kohtalaisen läheltä. Lyhimmillään matka jää kahteen kilometriin ja pisimmillään haketta voidaan tuoda 55 kilometrin päästä. (Kumpuniemi, 2013)

Kosteus vaikuttaa myös hakkeen energiatiheyteen ja selvitimmekin kosteuden vaikutuksen kuormakohtaisiin näyte-eriin. Hakkeesta saatava hinta määräytyy megawattituntien mukaan ja selvitimme minkälaista hintaa kuormista saa ja miten kosteus vaikuttaa kuormasta saatavaan energiatiheyteen ja hintaan.

Simon aluelämpölaitokselle kuljetukset hoitavalla Kumatra Oy:llä on käytössään Scania R420. Irtokuutioita hakeautoon mahtuu 74. Kumatra Oy:n hakeauto on täysperävaunuyhdistelmä. Täysperävaunuyhdistelmässä on vetoauto, jossa on

vetokytkin. Vetokyttimeen on liitetty myös perävaunu. Kumatran Oy:n täysperävaunuyhdistelmässä, nupissa suurin sallittu kantavuusrajoite on 28 000 kiloa. Perävaunussa suurin sallittu massa on taas 24 000 kiloa. Täysperävaunuyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on siis 54 000 kiloa. (Ylikärppä 2013)

Tutkimuksessamme käytämme termejä kosteus ja kosteussuhde. Tämä tarkoittaa puuainesta mitattaessa sitä, että jos puukappale joka painaa tuoreena 1 kg, jossa on vettä 0,3 kg tulee kosteudeksi tällöin 30 prosenttia. Tämä saadaan laskettua kaavalla $0,3\text{kg}/1\text{kg}=0,3$. Kosteussuhde taas määritellään veden massan ja näytekappaleen kuivan massan suhteeksi. Laskettaessa kosteussuhdetta veden massa jaetaan kappaleen absoluuttisen kuivan massan kanssa. (Kärkkäinen 1977, 124)

Laskuissamme olemme laskeneet kosteusprosentin vaikutukseen täyteen kuormaan, emmekä huomioineet vajaiden kuormien vaikutusta kuljetuksen kannattavuuteen.

4.KOSTEUDEN VAIKUTUS POLTTOON

Puulla polttoaineena on etuna uusiutuvuus ja ympäristöystävällisyys. Haittana on laadun vaihtelu ja varsinkin ennalta tuntematon vaihtelu tuottaa ongelmia. Metsähakkeen laadun osalta keskeisiä tekijöitä on useita. Kosteus on näistä tärkein ja se vaikuttaa kuljetuskustannuksiin, lämpöarvoon, polton hyötysuhteeseen ja kosteus heikentää myös tuntuvasti hakkeen varastoitavuutta.

Haketus lämpölaitokselle tapahtuu pääasiassa tienvarsihaketuksena, eli haketus tapahtuu tienvarsilla, joissa puusto on hakattu. Osittain haketusta tehdään käyttöpaikkahaketuksena eli haketus tapahtuu lämpölaitoksella. (Kumpuniemi 2013)

Haketta poltettaessa puun sisältämän veden määrä on tärkeä. Puubiomassassa tehollista lämpöarvoa olevan veden höyrystyminen vaatii energiaa 0,68 kWh/kg (Hakkila—Fredrikson 1996, 9). Hakkeen kosteudella onkin siis suuri merkitys sitä poltettaessa, sillä tuoreessa puussa vettä voi olla 360—500 kg/m³, kun taas hyvin kuivuneessa puussa 100—170 kg/m³ (Hakkila—Fredrikson 1996, 9). Tuoreessa puussa kosteus vaihtelee yleensä 50—60 prosentin välillä vuodenajasta riippuen (Hillebrand, 2009, 11).

Kattilan huipputehoon vaikuttava tekijä on energiatiheys (MWh/i-m³). Energiatiheys vaikuttaa myös kuljetuskustannuksiin ja varastotilan käyttöön. Hakkeen koko eli palakokojakauma vaikuttaa hakkeen käsiteltävyyteen ja haketiheyteen. Neulaspistoisuus vaikuttaa taas säilyvyyteen, tuhkan määrän, sulamispisteeseen ja typpi-, kloori- ja alkalipitoisuuteen. Hakkeen on myös tärkeää olla puhdasta, koska sen puhtaus vaikuttaa pintojen kulumiseen, tuhkan määrään ja sulamispisteeseen. Mitä puhtaampaa hake on, sitä vähemmän tulee tuhkaa. Tuhkapitoisuus vaikuttaa lämpöarvoon, kattilan puhdistustarpeisiin sekä käsittelykustannuksiin (Hakkila—Nousiainen—Kajala, 27).

Metsähaketta poltettaessa Simon aluelämpölaitoksella hakkeesta jää jäljelle tuhkaa, joka kerätään talteen ja toimitetaan pois laitokselta. Metsähakkeen sisältävästä tuhkan määrästä käytetään termiä tuhkapitoisuus. Tuhkapitoisuus

määräytyy tuhkan paino- osuus polttoaineen kuiva- aineen painosta (Alakangas 2000, 15).

Laatutekijöiden merkitys korostuu erityisesti pienissä laitoksissa. Hakkeen laatuun on alettu kiinnittämään koko ajan enemmän huomiota ja parannuksia on saatu aikaan. Siitä huolimatta hakkeen laadussa on suuria heittoja laitosten välillä, vuosittain, vuodenajoittain ja autokuormittain. Näistä tärkeimpänä on kosteus, koska se vaikuttaa hakkeen lämpöarvoon ja hake hinnoitellaan lämpöarvonsa perusteella, joten se vaikuttaa myös hakkeen lämpöyksikköä kohti laskettuihin kustannuksiin. Kosteus vaihtelee vuodenajoittain. Se on alhaisimmillaan keskikesällä, jolloin sitä käytetään vähiten. Korkeimpana kosteus on alkutalvesta, jolloin haketta tarvitaan eniten. Kosteudessa on vaihtelua myös laitoksen koon mukaan. Erot johtuvat osittain eroista raaka-ainepohjassa. Pienet laitokset käyttävät enemmän pienpuuta, jonka kosteuden hallinnoiminen on helpompaa. Suurilla laitoksilla käytetään paljon hakkuutähdettä, jonka korjuulogistiikka toimii parhaiten, kun tuotetaan vihreää haketta. Pienet laitokset kiinnittävät kosteuteen enemmän huomiota, koska ne polttavat suhteessa isoihin laitoksiin enemmän metsähaketta. (Hakkila—Nousiainen—Kalaja 1999, 27—28)

Neulasets ovat yksi hakkeen laatutekijä. Neulasissa on myös alkalimetalles ja klooria. Neulasten osuuden pienentäminen polttihakkeessa vähentää osaltaan voimalaitosten kattiloiden tulistinpintojen korroosion riskiä. Varastoinnilla ei ole vaikutusta näiden kattilalle haitallisten aineiden vähenemiseen. On myös suotavaa jättää latvusmassaa metsikköön mikäli puuston kasvu ja maaperän ravinnetasapaino vaativat neulasmassan jättämistä palstalle. Oksien karsiminen on tähän ratkaisu, mutta menetelmä alentaa kuitenkin raaka-aine kertymää kohteelta. (Hillebrand, 2009, 7)

Kattilan koko vaikuttaa hakkeen laatuvaatimuksiin. Pienkohteilla 20—200 kW lämpökattilat ovat vaativimpia hakkeen suhteen. Hakkeen tulisi olla tasalaatuista ja suhteellisen kuivaa, jotta mahdollisten häiriöiden tuleminen olisi mahdollisimman vähäinen. Keskikokoisissa lämpölaitoksissa 200 – 1 000 kW voidaan käyttää kokopuu- ja latvusmassasta tehtyä haketta. Myös tässä

kokoluokassa on huolehdittava hakkeen tasaisesta palakoosta. Vaihtelu saa olla suurempaa kuin pienillä lämpökattiloilla. Isot lämpölaitokset >1 000 kW eivät ole polttoaineen laadun suhteen niin tarkkoja. Tässä kokoluokassa tekniikka mahdollistaa sen, että kosteampiakin hake-eriä voidaan polttaa. Laitteiston järeys sallii myös suuremman palakoon hakkeelle. (Lepistö 2010, 6—7)

Puussa olevaa veden määrää pystytään kuvaamaan monella eri tavalla. Keskeisimpiä käsitteitä nykyisin ovat kosteus ja kosteussuhde. Kosteudesta puhuttaessa sillä tarkoitetaan veden massan ja näytteen kokonaismassan suhdetta (Kärkkäinen 1977, 124). Kosteussuhdetta ja kosteutta ilmoitettaessa käytetäänkin yleensä prosentteja.

Hakkeessa tulee olemaan aina vettä, jonka höyrystämiseen kuluu energiaa. Puun tehollinen lämpöarvo osoittaa vapautuvan energian määrän vähennettynä energialla mikä kuluu veden höyrystämiseen (Hakkila — Fredrikson 1996, 9). Hyötysuhde on myös termi jota, käytämme työssämme. Polton hyötysuhteen avulla kuvataan talteen saatavan energian määrää suhteessa polttoaineen sisältämän energian kokonaismäärään eli energiasisältöön.

Haketta poltettaessa tulee myös esille sana lämpöarvo. Lämpöarvo on kemiallinen tunnus, jolla tarkoitetaan energiamäärää joka saadaan kun poltetaan massayksikkö puuta (Kärkkäinen 1977, 269). Havupuilla on hieman pienempi lämpöarvo kuin lehtipuilla. Energiatiheys koivulla 20 prosentin kosteudessa on 1040 kWh/i-m³. Kuusella se on 790 kWh/ i-m³ ja männyllä 810 kWh/i-m³ (Alakangas, 2000).

Yksikkönä SI-järjestelmässä on J/kg. Energiämäärää ilmoitettaessa käytetäänkin muotoja J/kg ja Wh/kg. Energiämäärää ilmoittaessa voidaan myös käyttää etuliitteitä kilo (k), mega (M), giga (G) ja tera (T). Etuliitteiden arvot ovat kilo= 1000, mega= 1000 000, giga= 1000 000 000 ja tera= 1000 000 000 000 (Hakkila—Fredrikson, 7). Hakkeen sisältämää energiamäärää voidaan kuvata termillä energiasisältö. Kostean hakkeen energiasisältö ilmoitetaan yleensä yksikössä kWh/i-m³ eli kilowattituntia irtokuutiota kohden. Puun lämpöarvo

määräytyy hiili- ja vetypitoisuuden mukaan, koska palavia ovat vain hiili ja vety (Hakkila—Fredrikson, 1996, 8).

Kosteudella on hakkeessa suora vaikutus teholliseen lämpöarvoon. Talvikaatoisen havupuun alkuperäinen vesimäärä putoaa puolella, jos kosteusprosentti laskee 55 prosentista 40:en prosenttiin. Tehollinen lämpöarvo nousee tällöin 8 prosenttia. Hakkeen ollessa korkeaa kosteudeltaan (yli 40 prosenttia), pyrkii palaminen jäämään epätäydelliseksi, eikä puun lämpöarvoa pystytä hyödyntämään optimaalisesti. Epätäydellinen palaminen lisää myös laitoksen päästöjä. (Hakkila 2004, 68)

Hake-erästä pystytään selvittämään erilaisia tunnuksia. Näitä tunnuksia ovat mm. näyte-erän irtotiheys ja näyte-erän kosteuden saapumistilassa. Näiden tunnuksien avulla saadaan selvitettyä näyte-erästä polttoaineen lämpöarvo, jonka perusteella voidaan selvittää mittaamalla hake-erän irtotiheys, jonka perusteella hakeosuuskunnan jäsen saa maksun toimittamastaan hake-erästä.

5.AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Kuljetus

Aineistoa saimme 18:sta eri hake-erästä, joiden koko vaihteli 30 i-m³ ja 475 i-m³ välillä. Haketta näissä näyte-erissä oli yhteensä 2919 i-m³.

Simon aluelämpölaitoksella keskipuljetusmatka on 25 km (Kumpuniemi 2013). Polttoaineen hinta tänä päivänä 8.4.2013 on 1,599 € / litra (Polttoaine.net). Kun tiedämme, että yhden massatonnin lisäyksellä keskipulutus nousi 0,6 litraa / 100km (Väkevä—Pennanen—Örn 2004, 14—18). Pystyimme siten laskemaan kuorman painosta johtuvan keskipulutuksen nousun Simon aluelämpölaitoksen keskipuljetusmatkalla kaavalla.

$$x = m * n / \left(\frac{100}{k} \right), \text{ missä}$$

x= keskipulutuksen nousu (€)

m= polttoaineen hinta

n= yhden massatonnin tuoma keskipulutuksen nousu

k= aluelämpölaitoksen keskipuljetusmatka

Tutkimme keskipulutuksen nousua eri hake-erillä ja miten kosteus vaikutti painon nousuun ja näin ollen kulutukseen. Kun tiesimme hake-erän painon eri kosteusprosentteilla, pystyimme laittamaan kuormat painojärjestykseen ja laskemaan erotuksen eri hake-erille verrattaessa keveimpään kuormaan. Pystyimme laskemaan kosteuden vaikutuksen hake-erien keskipulutukseen Simon aluelämpölaitoksella kaavalla.

$$x = \left[\frac{m}{1000} * \frac{n}{\frac{100}{k}} \right], \text{ missä}$$

x= keskipulutus

m= painon erotus

n= yhden massatonnin tuoma keskipulutuksen nousu

k = aluelämpölaitoksen keskikuljetusmatka

Tämän selvitettyämme pysyimme laskemaan kosteudesta johtuvan lisäkulutuksen nousun euroissa kaavalla. (Kumpuniemi 2013)

$x = o * m$, missä

x = kulutuksen hinnan nousu (€)

o = kulutuksen nousu keskikuljetusmatkalla

m = polttoaineen hinta

Irtokuutiometri ($i\text{-m}^3$) haketta vastaa noin 0,4 kiintokuutiometriä haketta. (Härkönen 2011,2) Hake-erän massan selvittäminen tapahtui käyttämällä puun kuiva-tuoretiheyttä. Kuiva-tuoretiheys saadaan mittaamalla puun massa kuivana ja tilavuus puun syiden kyllästymispistettä korkeammassa kosteudessa. (Kärkkäinen 1977, 149)

Tutkimuksessamme selvitimme myös kosteuden vaikutuksen koko hakekuormasta saatavaan energiaan (Mwh/ $i\text{-m}^3$) ja painoon. Selvitimme miten eri kosteuksilla hake-erän energiatiheydelle kävi ja miten kosteus vaikutti kokonaispainoon. Tarkkailimme myös hake-erästä saatavaa hintaa eri energiatiheyksillä ja tutkimme miten kosteusprosentti vaikutti saatavaan hintaan.

Hakkeesta oleva energiatiheys ilmoitetaan megawattitunneissa. Megawattitunnin hinta on 19.4.2013 19,12 € / Mwh (Bioenergiapörssi). Kun selvitimme hakekuorman energiatiheyden, hakekuorman koon ($74 i\text{-m}^3$) ja hakkeesta maksettavan Megawattitunnin hinnan pystyimme laskemaan hakekuormasta saatavan hinnan kaavalla.

$x = m * n * y$, missä

x = kuormasta saatava hinta

m = kuorman energiatiheys

n = hakekuorman koko

y = hakkeen megawattitunnin hinta

Tutkimme myös miten eri kosteusprosentit vaikuttavat hakkeesta saatavaan hintaan vuositasolla, jos koko vuoden käytössä olisi pelkästään Kumatra Oy:n kuljetuskalusto. Tämä voitiin laskea kun tiedettiin Simon aluelämpölaitoksen vuotuinen haketarve ja Kumatra Oy:n täysperävaunuyhdistelmä. Ensiksi selvitimme vuotuisen hakkeen tarpeen kaavalla.

$$X = \frac{y}{m}, \text{ missä}$$

x = Simon aluelämpölaitoksen vuotuinen haketarve kuormina

y = vuotuinen hakemäärän tarve Simon aluelämpölaitoksella

m = täysperävaunuyhdistelmän tilavuus ($i\text{-m}^3$)

Tämän jälkeen selvitimme vuotuisten hake-erien hinnan eri kosteusprosentteilla kaavalla.

$$X = p * r, \text{ missä}$$

x = vuotuinen hake-erien hinta

p = hake-erän hinta

r = vuotuinen kuormamäärä

5.2 Poltto

Hakekuorman saapuessa aluelämpölaitokselle ensimmäisenä hakekuormasta otetaan näyte, josta määritellään hakkeen irtotiheys. Tämä tapahtuu laittamalla 45 litran astia täyteen haketta ja punnitsemalla se. Kun tiedämme saapumiserässä olevan näytteen massan astiassa, voimme laskea näyte-erän irtotiheyden ($\text{kg}/i\text{-m}^3$) kaavalla. (Pekka Kumpuniemi, 2013).

$$X = \frac{m}{n}, \text{ missä}$$

x = irtotiheys

m = näytteen massa

n = näyteastian tilavuus

Simon aluelämpölaitoksella saapuneesta näyte-erästä voidaan määrittellä kosteusprosentti, joka saadaan mitattua, kun suhteutetaan hakkeen paino märkänä sen kuivapainoon. Yksinkertaisin ja myös käytetyin keino on laskea se mittaamalla ensin puun paino märkänä ja sitten kuivata se uunissa n. 16 tunnin ajan mikä riittää puun täydelliseen kuivaukseen ja sitten määrittää puun massa uudelleen kuivauksen jälkeen. Kosteussuhteen määrittäminen Simon aluelämpölaitokselle tapahtuu kaavalla (Linna—Järvinen, 1983, 2).

$$x = \frac{m-n}{m} * 100, \text{ missä}$$

x = kosteussuhde

m = puun märkäpaino

n = puun kuivapaino

Hake-erästä otetusta näytteestä selvitetyn kosteusprosentin jälkeen voidaan selvittää saapumistilassa olevan hakkeen lämpöarvo. Kun tiedetään kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo ja veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä +25 celsiusessa voidaan laskea saapumistilassa olevan polttoaineen lämpöarvo (Mj/kg) kaavalla (Kumpuniemi 2013).

$$X = h * \frac{100-m}{100} - j * m, \text{ missä}$$

x = saapumistilaisen polttoaineen lämpöarvo

h = kuiva- aineen tehollinen lämpöarvo

m = kosteus saapumistilassa

j = veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä

Saapuneesta hake-erästä otetusta näytteestä selvitetään hakkeen sisältämä energiatiheys (Mwh/i-m^3). Kun tiedetään näytteestä otetun polttoaineen lämpöarvo, saadaan hakkeen sisältämä energiatiheys selvitettyä. (Alakangas, 2000, 30).

$\mathcal{X} = g * l * f$, missä

x= energiatiheys

g= energiayksikön muuntokerroin

l= saapumistilaisen polttoaineen lämpöarvo

f= saapumistilaisen polttoaineen irtotiheys

5.3 Tuhkapitoisuus

Määrittelimme tutkimuksessa myös tuhkapitoisuuksia. Tuhkapitoisuuden pystyy määrittämään seuraavan kaavan avulla.

$$Ad = \frac{m^2 * 100}{m^3} * \frac{100}{100 - x}$$

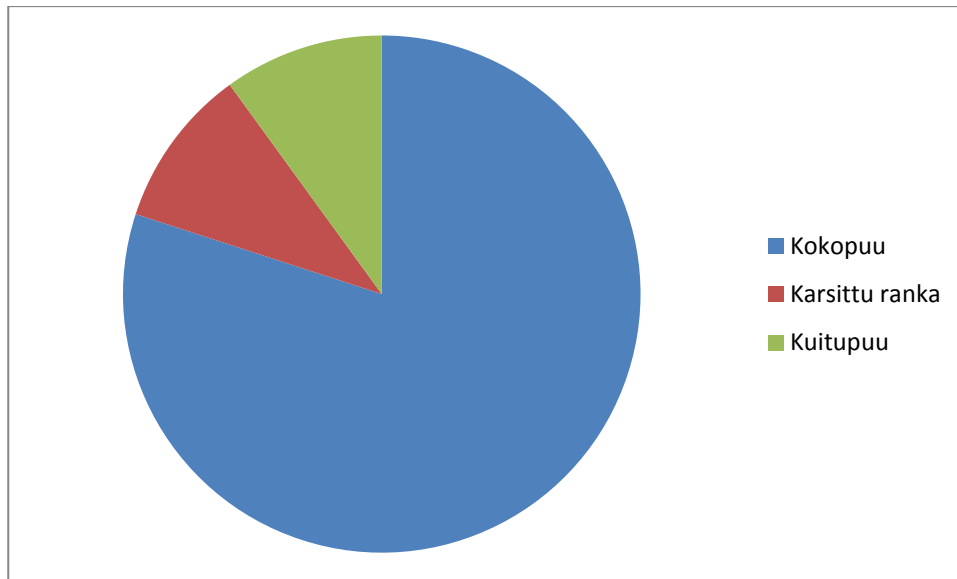
Ad= kuiva-aineen tuhkapitoisuus prosentteina

m²= polttojäännöksen massa

m³= analyysikostean näytteen massa

x= näytteen analyysikosteus

Aluelämpölaitoksella käytettävissä olevissa polttoaineissa on omat tuhkapitoisuutensa. Simon aluelämpölaitoksella tuotavasta metsähakkeesta 10 prosenttia on karsittua rankaa, 80 prosenttia kokopuuta ja kymmenen prosenttia kuitupuuta (Kumpuniemi 2013). Kokopuusta tehdyssä metsähakkeesta tuhkapitoisuus sekapuulla on 0,5 prosenttia (Alakangas 2000 ,38). Karsitun rangan ja kuitupuun tuhkapitoisuus männyllä on 0,74 prosenttia, kuusella 1,04 prosenttia ja koivulla 0,68 prosenttia (Alakangas 2000, 62). Karsitun rangan ja kuitupuun tuhkapitoisuuden keskiarvoksi saamme tällöin 0,82 prosenttia. Tulokset saadaan käyttämällä kaavaa (0,74+1,04+0,68)/3=0,82. Kuviossa 10 nähdään Simon aluelämpölaitokselle tuotavan metsähakkeen osuudet.



Kuvio 10 Simon aluelämpölaitokselle tuotavan metsähakkeen osuudet.

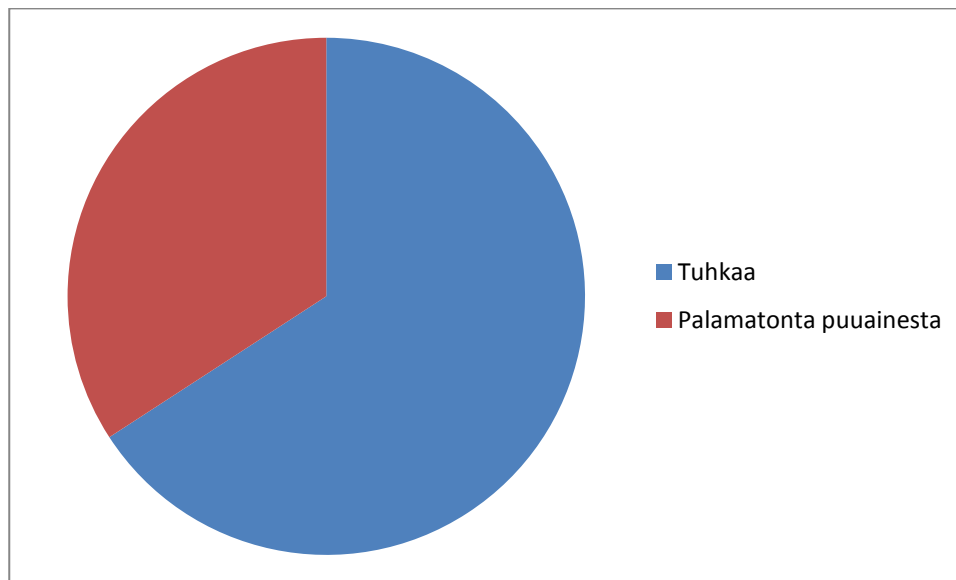
Tuhkapitoisuus on suurinta neulasissa ja lehdissä. Männyn neulasissa tuhkapitoisuus on 2,2 prosenttia, kuusella se on 4,2 prosenttia, kun taas hies- ja rauduskoivun tuhkapitoisuudet ovat 4,2 prosenttia ja 4,9 prosenttia. Itse puuaineessa tuhkapitoisuus ei ole kovinkaan korkea vaan se on sekapuulla noin 0,4 prosenttia. (Alakangas 2000, 38).

Simon aluelämpölaitoksella käytetään metsähaketta vuodessa 7000 i-m³. Tästä suurin osa on kokopuuta eli 80 prosenttia, joka on 5600 i-m³. Tämä on laskettu kaavalla $7000 \cdot 0,8 = 5600$. Karsittua rankaa käytetään 10 prosenttia eli 700 i-m³. Myöskin kuitupuuta käytetään 10 prosenttia eli 700 i-m³. Nämä tulokset saadaan käyttämällä kaavaa $7000 \cdot 0,1 = 700$.

Tuhkaa Simon aluelämpölaitoksella tulee siellä poltettavasta karsitusta rangasta ja kuitupuusta tehtävästä metsähakkeesta. Karsitun rangan ja kuitupuun tuhkapitoisuuden ollessa 0,82 prosenttia ja niiden yhteenlaskettu määrä metsähakkeesta on 1400 i-m³. Tämä saadaan kaavalla $700 + 700 = 1400$. Tuhkaa tulee tällöin tuosta määrästä tuhkapitoisuuden ollessa 0,82 prosenttia 11,48 i-m³. Tämä saadaan käyttämällä kaavaa $1400 / 100 \cdot 0,82 = 11,48$. Suurin määrä tuhkaa tulee Simon aluelämpölaitoksella kokopuusta tehtävästä metsähakkeesta. Metsähakkeen osuus on 80 prosenttia mikä on 5600 i-m³. Tuhkapitoisuuden

ollessa kokopuulla 0,5 prosenttia tuhkaa kokopuusta tehtävästä metsähakkeesta kertyy 28 i-m^3 . Tämä saadaan laskettu kaavalla $5600/100 \cdot 0,5 = 28$.

Tuhkaa Simon aluelämpölaitoksella tulee vuodessa siis noin $39,5 \text{ i-m}^3$. Tuhkalavan koko Simon aluelämpölaitoksella on 6 m^3 (Kumpuniemi, 2013). Tuhkalava täytyy tyhjentää tällöin 7 kertaa vuodessa. Tämä saadaan käyttämällä kaavaa $39,5/6 = 6,58$. Tuhkan ja palamattoman puuaineksen osuudet kokonaispalojätteestä nähdään kuvassa X. Todellisuudessa tuhkalava joudutaan tyhjentämään noin 10 kertaa vuodessa, koska metsähake ei aina pala niin hyvin kuin mahdollista ja tuhkan joukossa voi olla puuainesta, joka ei palanut uunissa (Kumpuniemi, 2013). Puuainesta, joka ei palanut uunissa voi olla kokonaistuhkamäärän joukossa $20,5 \text{ i-m}^3$. Tulos saadaan käyttämällä kaavaa $10 \cdot 6 - 39,5 = 20,05$. Simon aluelämpölaitokselta tuhka viedään välivarastoon. Sieltä tuhkaa toimitetaan mm. hakeosuuskunnan osakkaille, jotka levittävät sitä metsiinsä (Kumpuniemi, 2013). Kuviossa 11 näkyy tuhkan ja palamattoman puuaineksen osuudet.



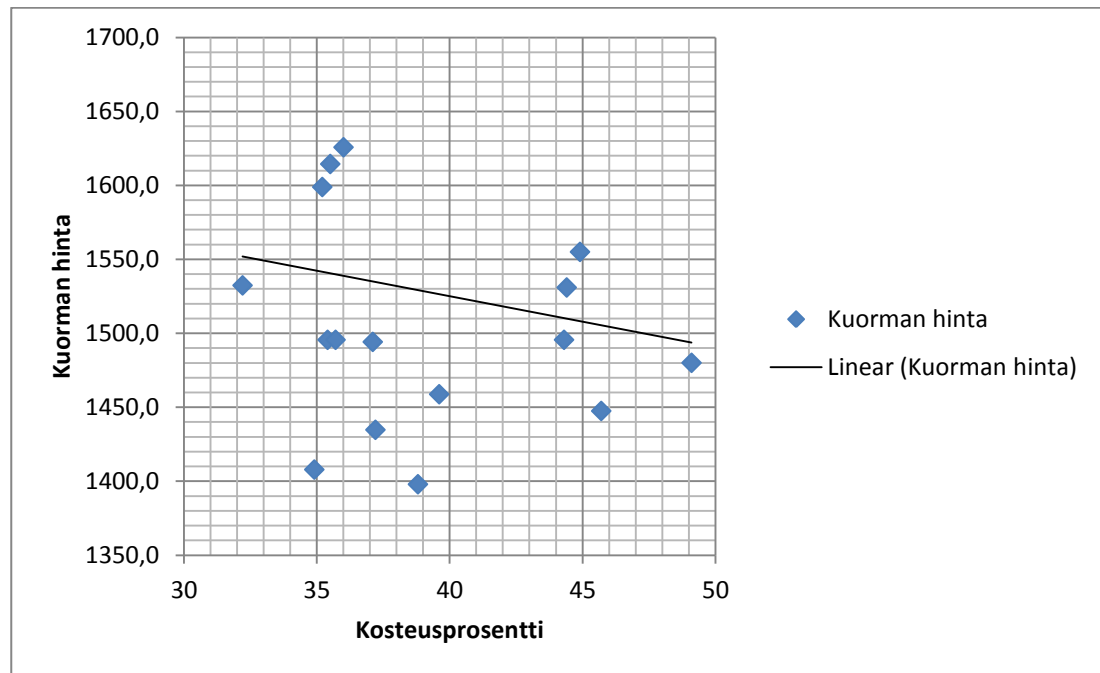
Kuvio 11 Tuhkan ja palamattoman aineksen määrä tuhkalavassa

6. TULOKSET

6.1 Kosteuden vaikutus kuljetuksessa

Kuljetusyrittäjälle maksetaan palkka kuljettamastaan hakkeesta painon mukaan, joten Simon aluelämpölaitoksen kannalta onkin tärkeää, että kuljetetaan mahdollisimman kuivaa haketta. Kosteuden lisääntyessä myös hakkeen energiasisältö vähenee ja näin ollen siitä maksettu hinta alenee.

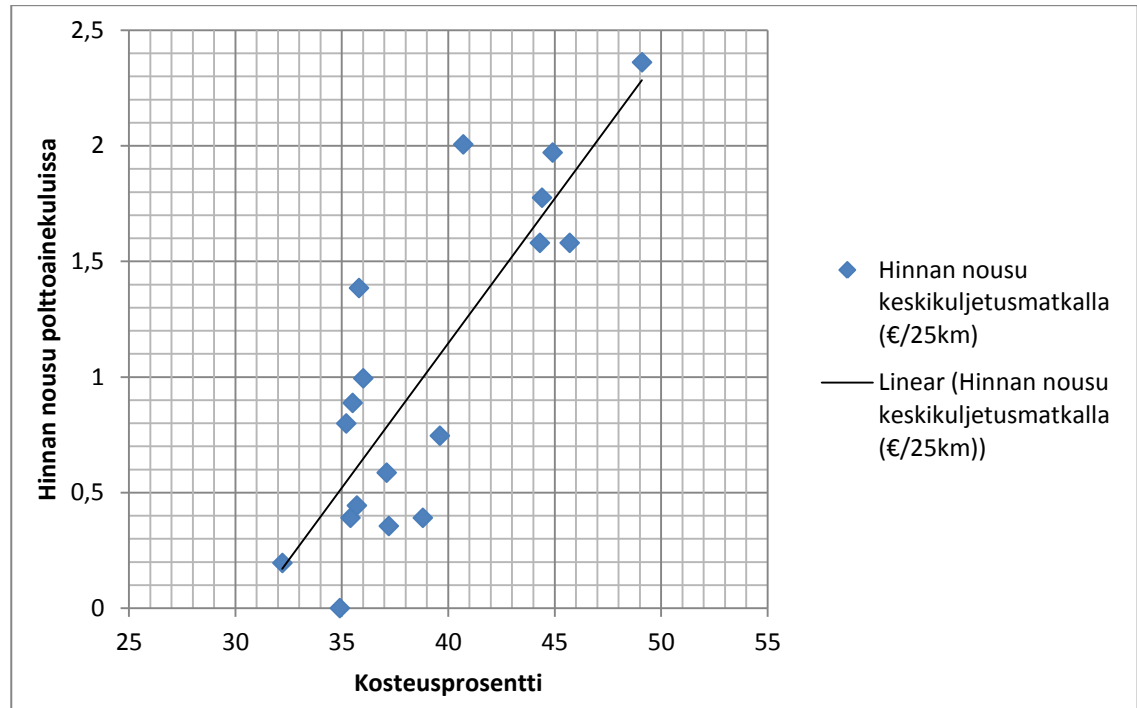
Onkin huomattavissa, että kuormasta saatava hinta laskee usealla kymmenellä eurolla kosteusprosentin noustessa 10 prosentilla. Kosteuden lähentyessä 50 prosenttia hakkeesta saatava raha laskee alle 1 500 euron. Kosteuden lisääntyessä 33 prosentista 46 prosenttiin hakkeesta saatava rahamäärä vähenee n. 3,2 prosenttia, kuten kuviosta 12 voi huomata. Kuormien koko on 74 i-m³.



Kuvio 12 Kosteusprosentin vaikutus kuorman hintaan.

Kosteusprosentin vaikutusta polttoainekuluihin tutkimme kuviossa 13. Voimme huomata myös, että kosteusprosentin noustessa 35 prosentista 47 prosenttiin hinnan nousu on n. 1,5 euroa. Kosteusprosentin ylittäessä 47 polttoaineen kulutukseen tulee kuormalta yli kahden euron lisäkulu (Kuvio 13).

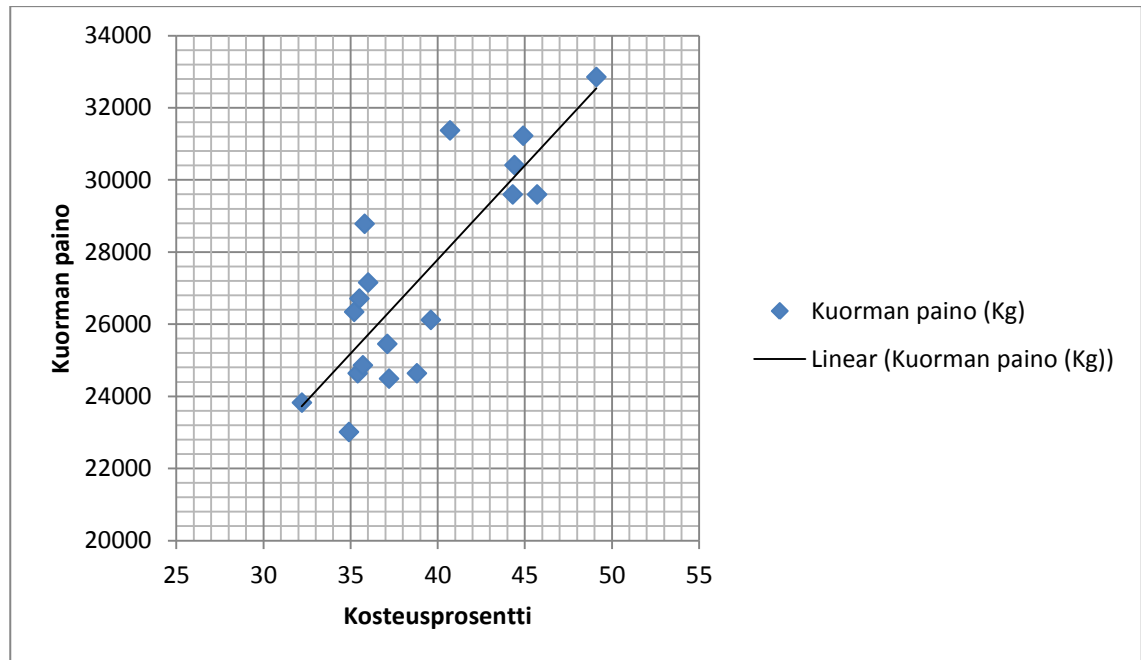
Kuljetusmatkan kasvaessa polttoainekulut lisääntyvät ja tällöin kosteudella on vieläkin suurempi vaikutus kertyneisiin lisäkuluihin.



Kuvio 13 Kosteusprosentin vaikutus polttoainekuluihin.

Yhden massa tonnin lisäys kuormassa aiheuttaisi keskimäärin siis n. 0,24 euroa lisäkuluja keskilähetysmatkalla ($1,599 \cdot 0,6 / (100/25) = 0,23985$). Tämä ei tunnu paljolta, mutta pitkällä aikavälillä kulut voivat olla suuret. Kun kuorman paino kasvaa ja kilometrimäärät nousevat kulut voivat nousta suuriksikin. Kauempaa metsähaketta noudettaessa kulut nousevat suuremmiksi kuin, jos kuljetus tapahtuu vain parin kilometrin päässä laitokselta. 50 kilometrin päästä haketta ajaessa yhden massatonnin lisäys tuottaa jo ($1,599 \cdot 0,6 / (100/50) = 0,4797$) 0,48 euron lisäkulun.

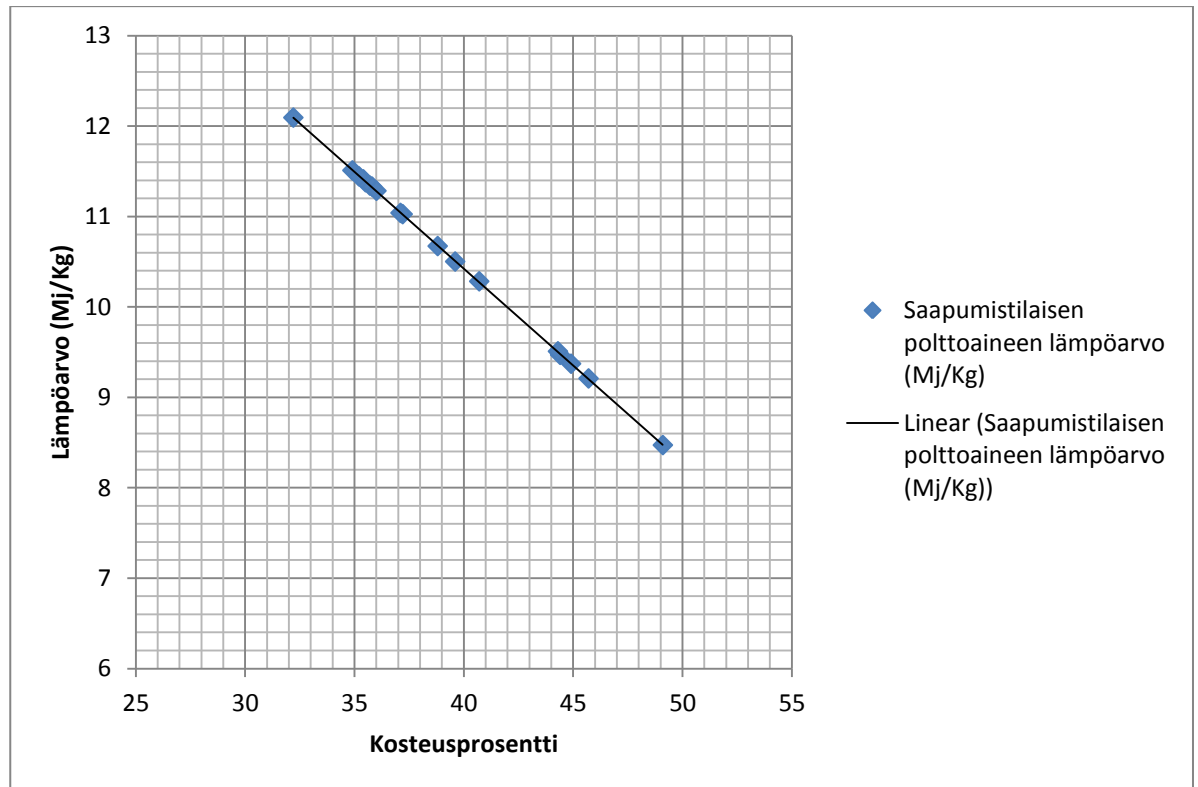
Hakkeessa oleva kosteus nostaa kuorman painoa. Kuorman tilavuuden ollessa 74 m^3 paino voi nousta usealla tonnilla kosteuden noustessa. Kosteuden noustessa 29 prosentista 46 prosenttiin painon lisäys on n. 7 000 kg. Kosteusprosentin ylittäessä 44 painoa voi kuormalla olla jo 30 000 kg. (Kuvio 14)



Kuvio 14 Kosteusprosentin vaikutus kuorman painoon.

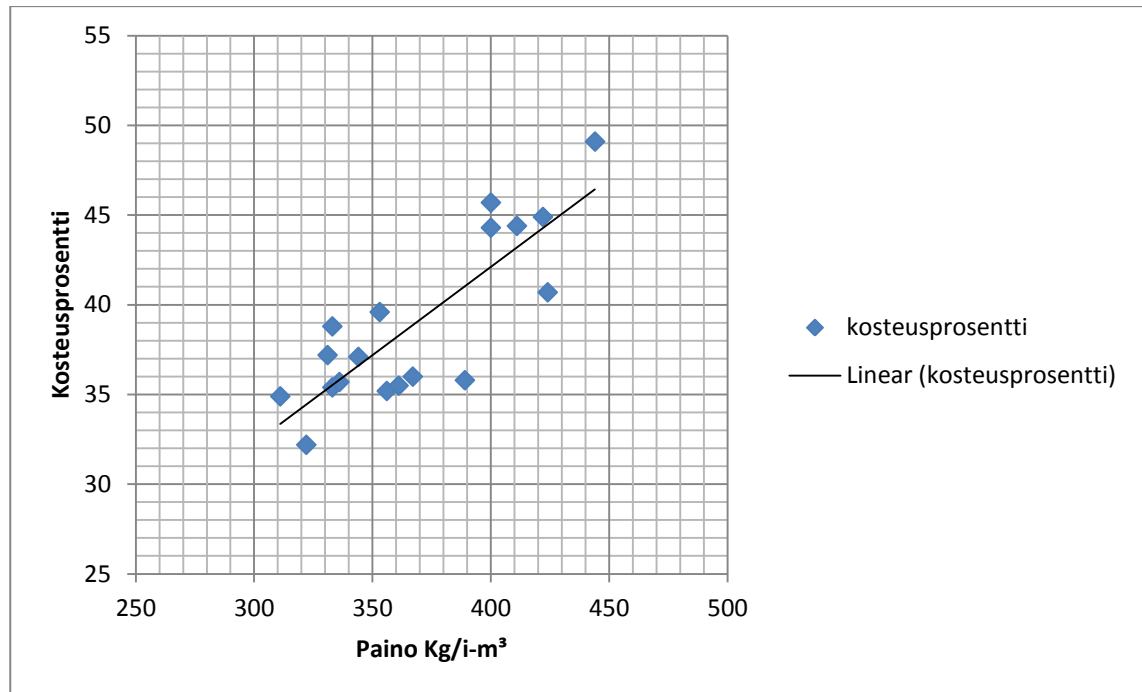
6.2 Kosteuden vaikutus polton kannattavuuteen

Hakkeen kosteuden ja lämpöarvon välillä näkyy selkeä yhtenäisyys. Kosteus vaikuttaa teholliseen lämpöarvoon koska veden höyrystyminen vaatii energiaa. Energia hyöty kasvaa merkittävästi hakkeen kuivamassan kasvun myötä. Tutkimuksen kuivimmalla hakkeella lämpöarvo oli 12,1 Mj/Kg ja märimmällä taas 8,2 Mj/Kg. (Kuvio 15) Ero lämpöarvossa kosteimman ja kuivimman hake-erän välillä oli noin kolmanneksen.



Kuvio 15 Kosteusprosentin vaikutus lämpöarvoon.

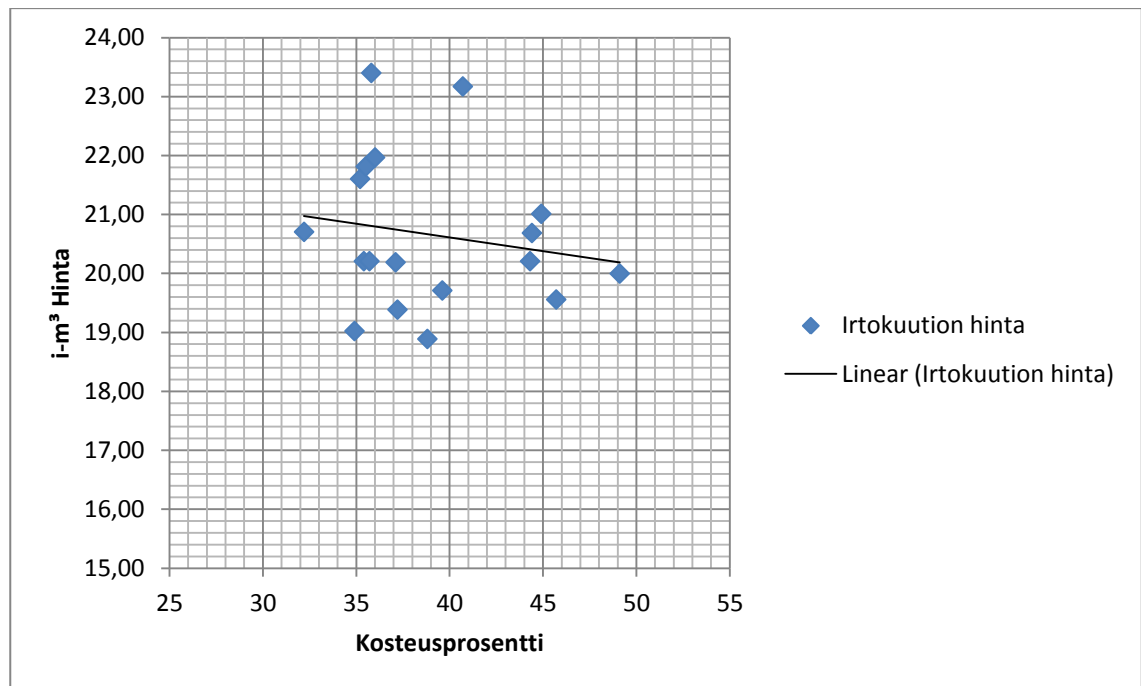
Tämän taulukon avulla näemme paljon irtokuutio haketta painaa. Kuviosta 16 selviää, että 45 prosentin kosteudella irtokuutio painaa noin 430 kg. Saatava lämpöarvo kilolta on 9,2 MJ/Kg. Irtokuution lämpöarvoksi tulee tällä kosteudella 3 956 MJ. Taas 35 prosentin kosteudella irtokuutio painaa noin 330 kg ja saatava lämpöarvo on 11,5 MJ/Kg. Irtokuution lämpöarvoksi tulee 3 795 MJ. Hakekuormien lämpöarvoksi tulee 45 prosentin kosteudella 292 744 MJ (81,3 MWh) ja 35 prosentin 280 830 MJ (78 MWh). Liki neljänneksen lisääntyneellä painolla ei saada vastaavaa hyötyä lämpöarvossa.



Kuvio 16 Kosteusprosentin vaikutus irtokuution painoon

Irtokuution hinnan vaihtelu kosteuden mukaan vaikuttaa ensin merkityksettömältä, mutta kun otetaan huomioon kuormakoko johon mahtuu 74 i-m³, oli vaihtelu jo merkittävää. Kosteus lisää myös kuljetuksen kuluja.

Kuvioista 16 ja 17 huomaamme, että kosteuden noustessa hinnalla ei ole niin merkittävää pudotusta kuin lämpöarvolla. Hakkeesta saatava lämpöarvo kosteuden noustessa putoaa merkittävästi. Hakkeesta maksettavassa hinnassa ei taasen tapahdu niin merkittäviä muutoksia, vaikka saatava lämpöarvo kosteammasta hakkeesta on huomattavasti pienempi. Esimerkiksi 35 prosentin kosteudella olevasta hakkeesta saadaan noin 11,5 Mj/kg ja irtokuution hinta on noin 21 euroa. 45 prosentin kosteudessa lämpöarvo on 9,2 Mj/kg ja hinta on noin 20,4 euroa irtokuutiolta. (Kuvio 17)



Kuvio 17 Kosteusprosentin vaikutus irtokuution hintaan.

Nettotulojen tarkastelu ainoastaan ei kerro lämpöyrittäjyyden kannattavuudesta yrittäjän näkökulmasta, koska lämmönmyyntitulojen lisäksi lämpöyrittäjä saa korvausta lämpölaitoksen valvonnasta, huoltotoimista sekä puunmyyntituloja. Myös osuuskuntien vuoden nettotulojen tarkastelu on harhaanjohtavaa, koska yleensä lämpöyrittäjinä toimivat osuuskunnat palauttavat ylijäämäpalautuksina mahdollisen voiton osuuskunnan jäsenille toimitetun energiamäärän mukaan. Osuuskunnan tarkoitus ei ole sijoittajien voiton maksimointi. (Sauvala—Seppälä 2010, 6)

7. TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Tulosten tarkastelu

Yllä olevista taulukoista ja teksteistä huomataan, että kosteudella on merkitystä hakkeen painoon ja näin ollen kuljetuksen kannattavuuteen. Kosteuden kasvaessa hakkeessa sen vaikutus näkyy selvästi hakekuorman painossa. Kosteuden noustessa polttoainekulut nousevat sitä mukaan mitä kosteampaa metsähake on. Niin kuin Väkevän Pennasen ja Örnin (2004) tekemässä tutkimuksessa on todettu. Vaikka puhutaan pienistä summista niin suurella aikavälillä säästöä voi syntyä runsaasti kun kuljetetaan mahdollisimman kuivaa haketta. Vaikka hakekuorman paino on suurempi, kosteusprosentin kasvaessa siitä ei saada tuotettua yhtä paljon megawattitunteja, koska ylimääräisen veden haihtumiseen menee myös energiaa. Kosteuden nousu näkyy siis polttoainekulujen kasvussa ja myös siinä minkälaisen hinnan Simon aluelämpölaitos saa metsähakkeesta.

Kosteudella on myös vaikutuksensa hakkeen polttovaiheessa. Kosteuden nousu laskee hakkeen energiasisältöä. Mitä kosteampaa hake on sitä huonompi energiasisältö sillä on, eikä siitä saada niin paljon energiaa, kuten on todettu Härkösen (2011) tutkimuksessa.

Tutkimuksemme tuloksia on mahdollista hyödyntää myös valtakunnallisesti, koska hakkeen energiasisältö säilyy samana niin kauan, kun poltetaan kotimaisia pääpuulajeja (mänty, kuusi, koivu) ja pääpainon ollessa havupuissa. Mittauksissamme pääpuulajina toimi mänty. Eri pääpuulajeista saatava lämpöarvo ei poikkea merkittävästi toisistaan, mutta jos kyseessä on pelkkä koivu, voi latvusmassan puute vaikuttaa energiasisältöön.

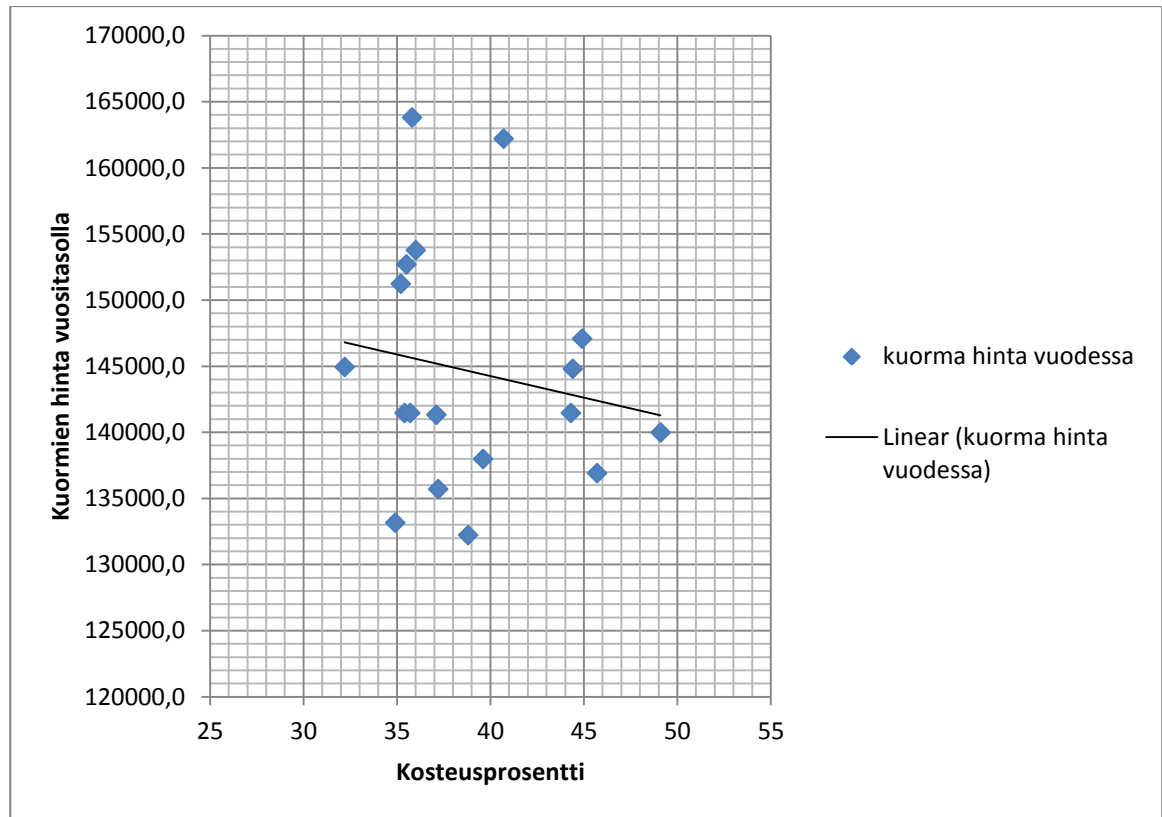
Varastoinnin merkitys metsähakkeen kuivaamiselle on huomattava. Varastoinnissa peittely ja metsähakekasan oikeaoppinen latominen nopeuttivat hakkeen kuivumisprosessia huomattavasti. Peitettyä hakekasaan ei pääse kertymään kosteutta syksyn ja talven kosteilla keleillä.

Taulukot on rajattu 25 prosentin ja 55 prosentin väliin, koska kosteudet eivät tältä väliltä tutkimuksissa poikenneet. Myös nollapistettä lähellä olevat kosteudet ovat täysin teoreettisia, koska hake ei kuiva maastossa tällaisiin lukemiin.

Hakkeen kuivatuksessa tulee kuitenkin kuiva-ainetappioita, joka tarkoittaa hakkeesta irtoavaa kuiva-ainetta (neulasia, oksia, kuorta). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ole tutkittu kuiva-ainetappioita.

7.2 Kosteuden vaikutus kuormien hintaan vuodessa

Jos Kumatra Oy toimittaisi vuodessa kaikki hakekuormat Simon aluelämpölaitokselle, olisi kosteudella suuri merkitys hakkeesta saatavaan hintaan vuositasolla. Kosteusprosentin noustessa hakkeesta saatavat tulot voivat pienentyä usealla tuhannella eurolla. Jos ajettaisiin ympäri vuoden kosteusprosenttiltaan 35 omaavaa haketta, vuositulot olisivat n. 146 000 euroa. Jos taas ajettaisiin 45 prosenttista haketta, tulot olisivat n. 143 000 euroa. (Kuvio 18). Kosteusprosentin noustessa kymmenellä tulot pienenevät 3 000 eurolla mikä vuositasolla on kohtalaisen paljon.



Kuvio 18 Kosteusprosentin vaikutus kuormasta saatavaan hintaan vuositasolla.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Energian myyntihinta tulee todennäköisesti tulevaisuudessa nousemaan. Tämä korostaa hakkeen kuivatuksesta saatavaa hyötyä. On myös todennäköistä, että energiapuun hinta seuraa ainakin jossain määrin nousevaa energian hintaa. Sähkön verotus on ollut nousussa ja sähkön hinta kallistunut. Todennäköistä on tällöin, että myös metsähakkeesta maksettava energian hinta tulee nousemaan. Kuivauksen luoma tuotto on kannattava myös tulevaisuudessa.

Tuloksissa voidaan arvioida energiapuun kuivattamisen kannattavuutta polton ja kuljetuksen näkökulmasta. Hake-osuuskunta hyötyy tutkimuksesta huomattavasti. Tutkimus paljastaa, kuinka paljon hyötyä on hakkeen kuivatuksesta, sekä antaa suunta kosteuden vaikutuksesta kuluihin.

Haketta kuljettavat yritykset voivat myös nähdä kosteuden vaikutuksen hakkeen painoon ja näin ollen myös kokokuorman painoon. Suuret 150 i-m³ hakeautot voivat nähdä miten kosteusprosentti vaikuttaa hakkeen painoon ja näin ollen koko auton kantavuusrajoitteisiin. Alle 150 i-m³ hakeautot voivat myös huomata kosteuden vaikutuksen painoon ja näin ollen kantavuusrajoitteisiin. Kuljetusyrittäjät voivat myös hyötyä tutkimuksestamme, tarkkailemalla kulujen nousua kosteuden kasvaessa.

Lämpöyrittäjät voivat nähdä kosteuden vaikutuksen energiatihyteen ja näin ollen irtokuutiosta saatavaan hintaan. Kosteuden vaikutuksen voi myös huomata kuormasta saatavaan energiatihyteen ja näin ollen kuormasta saataviin megawattitunteihin. Tutkimuksestamme voi myös huomata kuivatuksen merkityksen hakkeesta lämpöarvoon ja hintaan. Osuuskunta hyötyy näin ollen tutkimuksestamme.

Jatkotutkimuksena olisi hyvä selvittää hakkeen eri kuivausmenetelmien vaikutuksesta hakkeen kosteuteen. Vuodenaikojen merkitys puiden kaatamisen yhteydessä kosteuteen olisi hyvä selvittää. Hyvä on selvittää myös eri kuivaustekniikoita Simon Aluelämpölaitokselle. Hakekasojen peittämisen vaikutusta olisi myös hyvä tarkastella.

Opinnäytetyömme aikana opimme enemmän Simon aluelämpölaitoksen toiminnasta ja miten hakkeen kuivauksella on iso vaikutus polton kannattavuuteen. Opimme myös laskemaan hakkeen kosteusprosentin mistä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa alallamme. Varastoinnin tärkeys tuli myös hyvin ilmi työmme aikana ja miten suuri merkitys sillä voi olla metsähakkeen laatuun. Parityöskentelykykymme parani myöskin huomattavasti opinnäytetyömme aikana ja opimme jakamaan työmme eri osa- alueita keskenämme.

Microsoft office wordin, excelin ja powerpointin käyttö taidot paranivat huomattavasti opinnäytetyön edetessä ja opimme wordin käytöstä aivan uusia asioita mitä emme olleet tienneetkään. Ajankäyttö oli myöskin tehokkaampaa opinnäytetyön loppuvaiheessa kuin alkuvaiheessa, joten opimme myös paremmin käyttämään aikaa hyväksemme ja aikatauluttamaan tekemisemme. Tiedonhakeminen parantui myös huomattavasti työmme aikana, koska jouduimme hakemaan tietoa monesta eri lähteestä emmekä turvautuneet vain kirjastoon ja internettiin vaan haimme tietoa myös puhelimitse haastatteluilla ja myös käymällä suoraan paikan päällä Simon aluelämpölaitoksella.

Opimme myös hahmottamaan paremmin metsähakkeen tuotantoketjun rakenteen. Tutkimusta tehdessämme näimme konkreettisesti hakkeen matkan metsästä polttoainekattilaan. Tiedämme myös paremmin hakelämpölaitoksen toiminnasta organisoinnin ja huollon puolelta. Yhdellä käyntikerralla nuohosimme kattilan lämmönsiirto-osat ja saimme näin kuvaa laitoksen kunnossapidosta. Tämä ylläpitää kattilan lämmönsiirto tehokkuutta, koska ylimääräinen tuhka heikentää kattilan lämmönsiirtoa.

Näimme myös hakkurin toiminnassa ja seurasimme myös hakettajan huoltotoimenpiteitä, kuten terien teroitusta ja maataloustraktorin huoltotoimenpiteitä.

Opinnäytetyössä ajankäytönsuunnittelu oli haastavaa ja tämän takia työ venyi syksylle.

Lähteet

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Bioenergiapörssi. Metsähakkeesta maksettu hinta laitoksella. Osoitteessa <http://www.bioenergiaporssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/hakkeen-ja-mets%C3%A4energian-hintatietoa>. 9.4.2013

Polttoaine.net. 4-tie. Osoitteessa <http://www.polttoaine.net/4-tie>. 8.4.2013

Hakkila P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Helsinki: TEKES.

Hakkila P, Fredriksson T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos

Hakkila P, Nousiainen I, Kalaja H. 1999. Metsähakkeen käyttö Suomessa: tilannekatsaus vuodesta 1999. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus

Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi. Tutkimusraportti. Jyväskylä: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus

Härkönen, M. Kostean puun tiheys ja hakkeen irtotiheys. Osoitteessa http://www.forestpower.net/data/liitteet/11231=1019_kostean_hakkeen_energiasialto.pdf. 19.9.2011

Laine R, Okkonen J. 1985. Hakepuun hyödyntäminen Lapin läänissä. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus.

Lepistö, T. 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Sastamala: Vammalan Kirjapaino.

Linna, Veli – Järvinen, Timo 1984. Hakkeen keinokuivatuksen tekniset ratkaisut ja taloudellisuus. Helsinki: Poly kopio OY

Knuuttila, K. 2003. Puuenergia. Jyväskylän Teknologiateollisuus Oy. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Kumpuniemi, Pekka. 2013. Haastattelu 19.3.2013. Simon aluelämpölaitoksen toimitusjohtaja.

Kärkkäinen, M. 1977. Puu: Sen rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus

Sauvula- Seppälä T. 2010. Lämpöyrittäjyyden kannattavuus lämmönostajan ja -myyjän sekä metsänomistajan näkökulmasta. Maataloustieteen päivät. Osoitteessa <http://www.smts.fi/jul2010/poste2010/001.pdf>. 2010

Väkevä, Pennanen, Örn. 2004. Puutavara- autojen polttoaineen kulutus. Helsinki: Metsäteho. Metsätehon raportti 166.

Ylikärppä, Jari. 2013. Puhelinkeskustelu 24.4.2013. Kuljetusyrittäjä ja Kumatra Oy:n toimitusjohtaja

Yrittäjät. Osuuskunnan perustamistoimet ja vastuut. 2004. Osoitteessa <http://www.yrittajat.fi/fi-FI/minustakoyrittaja/perustamistoimet/osuuskunta/>