

Seinäjoen
ammattikorkeakoulun
julkaisusarja

B

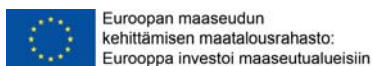
Tuomas Hakonen &
Jussi Laurila

**Metsähakkeen
kosteuden vaikutus
polton ja
kaukokuljetuksen
kannattavuuteen**

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
B. Raportteja ja selvityksiä 55

Tuomas Hakonen & Jussi Laurila

Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen



Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

- A. **Tutkimuksia** Research reports
- B. **Raportteja ja selvityksiä** Reports
- C. **Oppimateriaaleja** Teaching materials
- D. **Opinnäytetöitä** Theses

Myynti:

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Keskuskatu 34 PL 97, 60101 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-24-6
ISBN 978-952-5863-25-3 (verkkójulkaisu)

ISSN 1456-1743
ISSN 1797-5573 (verkkójulkaisu)

Esipuhe

On yleisesti tiedossa, että kosteus on merkittävä metsähakkeen käytön kannattavuuteen vaikuttava tekijä. Euromääräisiä laskelmia kosteuden vaikutuksesta kannattavuuteen on kuitenkin aiemmin julkaistu varsin niukasti. Tällä tutkimuksella selvitettiin kuinka suuri euromääräinen vaikutus kosteudella on metsähakkeen polton ja kaukokuljetusten kannattavuuteen sekä millä tavoin tämä vaikutus ilmenee. Tekstissä asiat on pyritty esittämään selkeästi ja perusteellisesti, että myös asiaa tuntematon kykenee tutkimuksen etenemistä helposti seuraamaan.

Tämä tutkimus on tehty Kestävä metsäenergia -hankkeella, joka on Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun yhteinen kolmivuotinen (2011 - 2013) hanke. Hanketta rahoittaa Manner-Suomen maa-seutuohjelma ja rahoituksen on myöntänyt Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan ELY-keskukset. Hankkeen tavoitteena on tuottaa tutkimustietoa metsäenergian tuotannosta, hankinnasta ja käytöstä Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella. Lisäksi tavoitteena on välittää tutkimustietoa ja muuta metsäenergiatietoa alueen toimijoiden tarpeisiin.

Ähtärissä 29.9.2011

Tuomas Hakonen

Jussi Laurila

Sisällys

1 JOHDANTO	7
2 KOSTEUDEN VAIKUTUS METSÄHAKKEEN POLTON KANNATTAVUUTEEN	10
2.1 Metsähakkeen lämpöarvo	10
2.2 Hyötysuhde	12
2.3 Kuormakoko	13
2.4 Tulokset	15
2.4.1 Energiasisältö.....	15
2.4.2 Myyntitulot	15
2.4.3 Hakkeella tuotetun energian myyntitulot Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella	18
2.5 Tulosten tarkastelu.....	19
3 KOSTEUDEN VAIKUTUS METSÄHAKKEEN KAUKOKULJETUS- KUSTANNUKSIIN	22
3.1 Lähtökohdat	22
3.2 Tulokset	23
3.2.1 Polttoainekustannusten kasvu.....	23
3.2.2 Polttoainekustannusten kasvu Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus- alueella	25
3.3 Tulosten tarkastelu.....	26
KIITOKSET	28
LÄHTEET	29
TAULUKOT	
Taulukko 1. Hakelajien lämpöarvot.....	10
Taulukko 2. Hakkeen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa eri kosteus- prosentteilla	12
Taulukko 3. Kosteusprosentin vaikutus hake-erän (120 i-m ³) massa.....	14
Taulukko 4. Hake-erän (120 i-m ³) massa ja energiasisältö eri kosteus- prosentteilla	15
Taulukko 5. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen vuotuisen metsäenergia- potentiaalın energiasisältö ja energian kulutukseen perustuvat myyntitulot	19
KUVAT	
Kuva 1. Hake-erästä (120 i-m ³) saatavat energian myyntitulot (31 €/MWh) eri kosteusprosentteilla	16
Kuva 2. Energiapuun kuivattamisesta saatava korkoprosentti, kun tuoreen puun kosteus on 55 %.....	17
Kuva 3. Kosteuden vaikutus polttoainekustannusten kasvuun 40 km matkalla hake-erällä 120 i-m ³	23
Kuva 4. Polttoaineen kulutuksesta saatavat kustannussäästöt eri kosteus- prosentteilla tuoreen (kosteus % 55) energiapuun kuljetukseen verrattuna, kun auton kuormakoko on 48 m ³ ja kantavuus 37 000 kg	24
Kuva 5. Kosteuden vaikutus hakekuljetusten polttoainekustannusten kasvuun vuositasolla Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella, jos hyödynnetään koko kestävä metsäenergiapotentiaali	26

1 Johdanto

Energiapuun käyttö on sitä taloudellisempaa mitä kuivempaa puuaines on. Lämpöarvoltaan huonoa märkää puuta ei kannata polttaa, eikä myöskään ylimääräisen massan kuljettaminen veden muodossa ole järkevää. Näiden tekijöiden lisäksi energiapuun kosteudella on myös muita negatiivisia vaikutuksia käytettävyyteen. Tämän tutkimuksen alussa näitä vaikutuksia käydään lyhyesti läpi, minkä jälkeen keskitytään tarkastelemaan kosteuden vaikutusta polton ja kaukokuljetusten kannattavuuteen. Kotitalouskäyttöä lukuun ottamatta energiapuu joko murskataan tai haketetaan lähes poikkeuksetta ennen käyttöä. Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan juuri edellä mainituilla tavoilla työstettyä energiapuuta ja nimityksinä käytetään joko metsähaketta tai haketta.

Ensimmäisenä on kuitenkin määriteltävä, mitä kosteudella tarkoitetaan. Käsitteinä on tärkeää erottaa kosteus ja kosteussuhde. Kosteudella tarkoitetaan veden massan ja kappaleen kokonaismassan suhdetta (Kärkkäinen 2007). Puuaineksen tapauksessa tämä tarkoittaa, että puukappale punnitaan tuoreena, jonka jälkeen kappale kuivataan täysin kuivaksi eli teoriassa vedettömäksi (absoluuttisen kuiva) ja punnitaan uudelleen. Näiden kahden massan erotus kertoo veden massan kappaleessa. Tämän jälkeen veden massa jaetaan tuoreena punnitun kappaleen massalla, jolloin saadaan tietää puukappaleen kosteus. Esimerkiksi tuoreena 10 kg painavalle puukappaleelle, jossa on vettä 4 kg, saadaan kosteudeksi 40 % ($4 \text{ kg}/10 \text{ kg} = 0,4$). Kosteussuhde taas määritellään veden massan ja kappaleen kuivan massan suhteeksi (Kärkkäinen 2007). Muilta osin laskeminen tapahtuu samoin kuin kappaleen kosteutta laskettaessa, mutta nyt veden massa jaetaan absoluuttisen kuivan kappaleen massalla. Tässä tutkimuksessa käytetään kosteudesta puhuttaessa sanoja kosteus tai kosteusprosentti ja näillä molemmilla tarkoitetaan nimenomaan veden massan ja kappaleen tuoreena punnitun kokonaismassan suhdetta.

Kosteutta pidetään yleisesti hakkeen laatutekijöistä merkittävimpänä (Hakkila 2004). Sillä on monia vaikutuksia hakkeen käytön kannattavuuteen ja laatuun. Kosteus vaikuttaa hakkeesta saatavaan energiamäärään sekä tehollisen lämpöarvon että polton hyötysuhteen kautta. Tehollinen lämpöarvo laskee, koska kosteuden haihduttaminen kuluttaa poltettaessa energiaa. Polton hyötysuhteen aleneminen taas johtuu kosteuden aiheuttamasta epätäydellisestä palamisesta ja toisaalta matalammasta palamislämpötilasta (Hakkila 2004). Korkea kosteusprosentti lisää suuremmasta painosta johtuen kuljetuskustannuksia sekä myös polttolaitosten hiilimonoksidi-, hiilivety- ja hiukkaspäästöjä. Kosteus huonontaa lisäksi selvästi polttoaineen varastoitavuutta. Kemiallisten ja biologisten prosessien seurauksena puumateriaalissa syntyy sekä kuiva-ainetappioita että terveydelle

haitallisia mikrobikasvustoja. Prosessit hidastuvat vasta alle 25 % kosteudessa, johon hakkeen tuotannossa päästään harvoin (Hakkila 2004). Tämä käytännössä estää metsähakkeen pitkäaikaisen ulkovarastoinnin. Liian kostea hake myös jäätyy talvella, mikä aiheuttaa tukoksia polttolaitosten syöttölinjoille ja kuljettimille sekä vaikeuttaa hakeauton kuorman purkamista. Kosteudella on siis metsähakkeen käytön kannattavuuden ja laadun kannalta monia haitallisia vaikutuksia.

Tämä tutkimus keskittyy selvittämään kosteuden vaikutusta metsähakkeen polton ja kuljetusten kannattavuuteen. Tutkimuksella selvitetään laskennallisesti eri kosteusprosentteja omaavien tasakokoisten hake-erien energiasisältöä ja tähän perustuen hake-erien polton kannattavuutta. Puun lämpöarvo eri kosteuksissa on aiemmalla tutkimuksella varsin kattavasti selvitetty ja näitä tuloksia hyödynnetään hake-erän energiasisältöä määritettäessä. Myös polttolaitosten energiasta saamasta keskimääräisestä hinnasta on tehty selvityksiä. Näitä tietoja yhdistämällä tehdään laskelmia kosteuden vaikutuksesta hakkeen polton kannattavuuteen.

Seuraavaksi määritellään käsitteiden ”lämpöarvo” ja ”energiasisältö” välinen ero. Lämpöarvolla tarkoitetaan sitä energiamäärää, joka saadaan polttamalla massayksikkö polttoainetta (Kärkkäinen 2007). SI-järjestelmässä massayksikkönä käytetään kiloa. Energiamäärä voidaan ilmaista joko jouleina tai wattitunteina. Yksiköt ovat tällöin muotoa J/kg ja Wh/kg. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi etuliitteitä kilo (k), mega (M), giga (G) tai tera (T) (kilo = 1000, mega = 1000 000, giga = 1000 000 000, tera = 1000 000 000 000). Energiasisältö kuvaa myös polttoaineen sisältämää energiamäärää, mutta tässä tapauksessa energiamäärä voidaan laskea mitä tahansa paino- tai tilavuusyksikköä kohti (esim. MWh/1000 kg tai J/10 m³). Tässä tutkimuksessa energiasisältö tullaan määrittämään keskimääräiselle hakeauton kuormatilavuudelle. Kuormatilavuuden määrittäminen kuvataan tarkemmin kappaleessa *2.3 Kuormakoko*.

Kuljetusyrittäjälle maksettava taksa perustuu kuljetusmatkan lisäksi useimmiten puukuorman massaan eli painavamman kuorman kuljettamisesta maksetaan luonnollisesti enemmän kuin kevyemmän kuorman kuljettamisesta. Tästä seuraa, että mitä korkeampi puutavaran kosteusprosentti on, sitä kalliimpaa on sen kuljettaminen. Viime aikoina on otettu jonkin verran käyttöön myös energiasisältöön perustuvaa taksakäytäntöä, jolloin maksu perustuu toimitettuun energiamäärään. Toimitettu energiamäärä saadaan joko laskennallisesti (massa ja kosteusprosentti) tai todellisen, polttovaiheessa mitatun, energiasisällön perusteella. Tässä tutkimuksessa kaukokuljetuskustannuksia tarkastellaan kuitenkin yksinomaan kuorman massa perustuen. Koska yritykset eivät ymmärrettävistä syistä luovuta taksataulukkoitaan ulkopuolisille, on kustannuksiin pureuduttava muulla tavoin. Yksittäisellä kuljetusmatkalla kuorman massan kasvu aiheuttaa merkittävimmän

kustannuslisäyksen polttoainekuluissa. Muita vaikutuksia ovat esimerkiksi renkaiden kulumisen ja öljyn kulutuksen kasvaminen. Tässä tutkimuksessa keskitytään selvittämään kuorman massan kasvun vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Kosteuden vaikutusta kaukokuljetuskustannuksiin selvitetään laskemalla eri kosteusprosenttien vaikutusta hakekuorman massaan ja edelleen polttoaineen kulutukseen.

Euromääräisiä laskelmia kosteuden vaikutuksesta metsähakkeen käytön ja kuljetusten kannattavuuteen on varsin niukasti. Tällä tutkimuksella pyritään osaltaan korvaamaan tätä puutetta. Tuloksissa esitetään kuvaajat sekä polton kannattavuudelle että kuljetuskustannuksille. Tutkimus tehtiin kirjallisuustutkimuksena ja laskelmia laatien.

2 Kosteuden vaikutus metsähakkeen polton kannattavuuteen

2.1 Metsähakkeen lämpöarvo

Metsähakkeen lämpöarvo on tiedettävä, jotta voidaan laskea kosteuden vaikutusta polton kannattavuuteen. Yleisesti määritellään kolme erilaista lämpöarvoa: kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo (ylempi lämpöarvo), kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (alempi lämpöarvo) ja saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo.

Kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo on lukuarvoltaan edellä mainituista suurin. Sen laskemisessa otetaan huomioon polttoaineessa olevan vedyn palamisessa muodostuvan veden höyrystymiseen tarvittava energia siten, ettei se vähennä lämpöarvoa. Kuiva-aineen tehollisessa lämpöarvossa höyrystymiseen tarvittava energia sitä vastoin vähentää lämpöarvoa. Eli kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on näin ollen vedyn palamisessa muodostuvan veden höyrystymiseen tarvittavan energiamäärän verran kuiva-aineen kalorimetristä lämpöarvoa alempi. Saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo huomioi myös polttoaineessa olevan ”ylimääräisen” veden eli tällöin ei lasketa lämpöarvoa pelkästään kuiva-aineella, vaan sekä polttoaineessa olevan veden että vedyn palamisessa muodostuvan veden vaikutus lämpöarvoon otetaan huomioon. (Alakangas 2000.)

Taulukko 1. Hakelajien lämpöarvot (Alakangas 2000).

Hakelaji	Puulaji	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa kWh/kg
Harvennusten kokopuuhake	Mänty	19,6	5,44
	Kuusi	19,2	5,33
	Koivu	19,0	5,28
Hakkuutähdehake neulasitta	Mänty	20,4	5,67
	Kuusi	19,7	5,47
	Koivu	19,7	5,47
Hakkuutähdehake neulasineen	Mänty	20,5	5,69
	Kuusi	19,8	5,50
Kanto- ja juuripuuhake	Mänty	19,5	5,42
	Kuusi	19,1	5,31

Tässä tutkimuksessa ei tehdä mittauksia metsähakkeen lämpöarvoista, vaan hyödynnetään aiempien tutkimusten tuloksia. Alakangas (2000) on koonnut yhteen tietoja hakelajien lämpöarvoista (kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo) useista eri

lähteistä [Hakkila ym. 1978, Laine & Sahrman 1985, Pellikka & Saviharju 1993, Tahvanainen 1995, Taipale 1996, Wilén ym. 1996]. Kuiva-aineen teholliset lämpöarvot massaa kohti ovat varsin lähellä toisiaan (Taulukko 1). Erillisten laskelmien tekeminen monille hakelajeille ei näin ollen ole tarpeellista, vaan tutkimus voidaan tehdä yhteen lämpöarvoon perustuen. Tutkimuksessa käytetään kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona harvennusten kokopuuhakkeen arvoa männyllä (19,6 MJ/kg). Tämä arvo on lähellä taulukossa esitettyjen arvojen keskiarvoa (19,65) ja lisäksi kokopuusta tehty hake on varsin yleinen hakkeen raaka-aine. Lämpö- ja voimalaitosten käyttämästä metsähakkeesta (m³) noin 26 % oli kokopuuhaketta vuonna 2009 (Ylitalo 2010).

Koska tavoitteena on selvittää kosteuden vaikutusta lämpöarvoon, lasketaan tulokset saapumistilassa olevan polttoaineen teholliselle lämpöarvolle. Tämä lämpöarvo huomioi polttoaineessa olevan veden, kun muut lämpöarvot lasketaan kuiva-aineelle eli täysin vedettömälle polttoaineelle. Näin ollen valittu kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (19,6 MJ/kg) on muutettava saapumistilassa olevan polttoaineen teholliseksi lämpöarvoksi. Tämä tehdään käyttämällä yhtälöä (CEN/TS 14918:2005):

$$Q_{\text{net, ar}} = Q_{\text{net, d}} \times ((100 - M_{\text{ar}})/100) - 0,02443 \times M_{\text{ar}}$$

$Q_{\text{net, ar}}$ = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)

$Q_{\text{net, d}}$ = tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)

M_{ar} = kosteus saapumistilassa [p- %]

0,02443(MJ/kg) on veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä (+ 25 °C)

Yhtälöä hyödyntämällä lasketaan saapumistilaisen polttoaineen teholliset lämpöarvot eri kosteuksissa (Taulukko 2). Yhtälö antaa tulokset MJ/kg, jonka jälkeen ne muunnetaan yleisimmin käytettyyn kWh/kg muotoon. Muunnos perustuu SI-oppaassa (2001) esitettyyn tosiseikkaan, että 1 W = 1 J/s. Tämä voidaan yhtä hyvin ilmaista muodossa 1 W/s = 1 J. Tästä seuraa, että 1 W/h = 3600 J. Eli 1 MJ/kg saadaan muunnettua 1 kWh/kg:ksi jakamalla 3,6:lla. Taulukossa on esitetty tulokset sekä MJ/kg että kWh/kg. Jatkossa käytetään vain wattitunteihin (Wh/kg) perustuvia lukuarvoja.

Taulukko 2. Hakkeen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa eri kosteusprosentteilla (1 kWh/kg = 3,6 MJ/kg). Laskennassa kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona on käytetty arvoa 19,6 MJ/kg.

Polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa %	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kWh/kg
55	7,48	2,08
50	8,58	2,38
45	9,68	2,69
40	10,78	3,00
35	11,89	3,30
30	12,99	3,61
25	14,09	3,91
20	15,19	4,22
15	16,29	4,53
10	17,40	4,83
5	18,50	5,14
0	19,60	5,44

Nyt hakkeelle on määritetty teholliset lämpöarvot saapumistilassa eri kosteusprosentteilla. Tämä mahdollistaa energiasisällön laskemisen eri kosteuksissa oleville hake-erille.

2.2 Hyötysuhde

Polton hyötysuhteella kuvataan talteen saatavan energian määrää suhteessa polttoaineen sisältämän energian kokonaismäärään eli energiasisältöön (Wahlroos 1980). Hyötysuhde on, energiasisällön ohella, toinen polttoaineesta saatavaan energiamäärään vaikuttava tekijä. Hyötysuhteeseen vaikuttavat monet tekijät. Flyktman ja Helynen (2004) ovat esittäneet kolmeksi tärkeimmäksi hyötysuhteeseen vaikuttavaksi tekijäksi polttoaineen kosteutta, savukaasujen loppulämpötilaa ja ilmakerrontia. Ilmakertoimella tarkoitetaan palamiseen tarvittavan todellisen ja teoreettisen ilmamäärän suhdetta. Tilanteessa, jossa polttoaineen sisältämien palavien alkuaineiden ja hapen sekoittuminen on täydellistä, riittää polttoaineen palamiseen teoreettinen ilmamäärä. Todellisuudessa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista ja täydellisen palamisen saavuttamiseksi tarvitaan teoreettista arvoa suurempaa ilmamäärää eli todellista ilmamäärää (Vuorelainen 1978).

Yllä mainituista kolmesta tärkeimmästä hyötysuhteeseen vaikuttavasta tekijästä savukaasujen loppulämpötilaan ja ilmakertoimeen vaikuttaa voimakkaasti polttokattilan koko ja tyyppi. Eri polttokattilat on tehty toimimaan tietyn tyyppisellä ja

myös tietyssä kosteudessa olevalla polttoaineella. Toiset kattilat myös sietävät polttoaineen kosteuden vaihtelua paremmin kuin toiset. Hyötysuhdekuvaajat poikkeavat joka tapauksessa selvästi eri kattilatyypin välillä (Liukkonen H, suullinen tiedonanto 21.4.2011). Yleisesti ottaen pienen kokoluokan kattiloissa polttoaineen kosteuden vaihtelu vaikuttaa hyötysuhteeseen voimakkaammin kuin suuremmissa kattiloissa (Flyktman M, sähköpostitiedonanto 5.5.2011).

Savon voimalle tehdyssä selvityksessä (Savon Voima Oy:n... 2004) kosteus heikensi hyötysuhdetta noin 1,5 prosenttiyksikköä kosteuden muuttuessa 40 %:sta 55 %:iin kattilakokoluokassa 3 – 10 MW. Samansuuntainen tulos on saatu myös Flyktmanin ja Helysen (2004) tekemässä tutkimuksessa. Tutkimuskohteena oli 120 MW:n leijupetikattila. Kummassakaan tutkimuksessa ei ole tarkasteltu hyötysuhteen muuttumista, kun kosteus laskee alle 40 %:iin. Kosteuden vaikutus hyötysuhteeseen kuitenkin hyvin todennäköisesti suhteellisesti vähenee, kun kosteusprosentit pienenevät (Flyktman M, sähköpostitiedonanto, 5.5.2011). Tämä tarkoittaa, että kosteusprosentin muuttuessa 20:stä 40:een hyötysuhde heikkenee korkeintaan kaksi prosenttiyksikköä ja todennäköisemmin jäädään lähemmäs yhtä prosenttiyksikköä.

Yllä mainituissa tutkimuksissa kosteuden vaikutus hyötysuhteeseen on korkeintaan muutama prosenttiyksikkö, kun kosteusprosentti on 20 – 55. Tutkimusten kuvaajat kuitenkin päättyvät kosteusprosenttiin 40, joten siitä alaspäin hyötysuhteen muutos perustuu arvioon. Toisaalta kattilan koolla ja tyyppillä on merkittävä vaikutus siihen, kuinka paljon kosteus vaikuttaa hyötysuhdekuvaajaan. Hajonta eri kattiloiden välillä on suurta. Hyötysuhteeseen vaikuttavat tekijät myös korreloivat voimakkaasti keskenään ja voimistavat toistensa vaikutusta (Flyktman & Helynen 2004). Yllä mainituilla perusteilla kosteuden vaikutusta hyötysuhteeseen ja edelleen tämän vaikutusta polton kannattavuuteen ei oteta tämän tutkimuksen tulosten laskennassa huomioon.

2.3 Kuormakoko

Jotta tutkimuksen tavoitteena olevan energiasisällön laskeminen hakekuormalle olisi mahdollista, on tiedettävä hakekuorman massa. Seuraavassa kappaleessa esitetään kuinka tutkimuksessa käytettävän hakekuorman massa on määritetty.

Hakekuorman massa lasketaan kuormatilavuuteen perustuen. Halosen ja Vesisenahon (2002) sekä Kuiton (2005b) selvitysten mukaan kiinteäkuormatilaisen hakeauton kuormatilavuus on noin 120 i-m³. Irtokuutiometri haketta vastaa noin 0,4 kiintokuutiometriä (Kuitto 2005a). Eli 120 m³ kuormatilaan mahtuvan hake-

erän tilavuus on näin ollen 48 kiintokuutiometriä (m^3) haketta ($120 m^3 \times 0,4 = 48 m^3$). Nyt hake-erän massa saadaan selville käyttämällä puun kuiva-tuoretiheyttä. Kuiva-tuoretiheys tarkoittaa, että puun massa on mitattu absoluuttisen kuivana (kosteus 0 %) ja tilavuus puun syiden kyllästymispistettä korkeammassa kosteudessa (Kärkkäinen 2007). Männyn ja kuusen kuitupuuhakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys vaihtelee hieman $400 kg/m^3$ molemmin puolin, koivulla vastaava arvo on noin $490 kg/m^3$ (Lindblad & Verkasalo 2001). Koska valtaosa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella käytettävästä hakkeesta on havupuuperäistä ja lämpöarvon laskennassa on käytetty männyn lämpöarvoa, on perusteltua käyttää kuiva-tuoretiheytenä arvoa $400 kg/m^3$. Kiintokuutioiden ja kuiva-tuoretiheyden avulla lasketaan hake-erän massa, joka on näin ollen $48m^3 \times 400 kg/m^3 = 19200 kg$. Koska kuiva-tuoretiheys määritetään 0 % kosteudessa olevalle puuaineelle, on määritetyn massan (19200 kg) päälle lisättävä vielä veden massa.

On mahdollista, että korkeilla kosteusprosentteilla kuorman massa nousee niin korkealle, että auton sallittu kokonaiskantavuus ylitetään. Tällöin kuormakoon rajoittavaksi tekijäksi tulee massa ja koko kuormatilavuutta ei voida enää hyödyntää. Kiinteäkuormatilaisen hakeauton kantavuus on noin 37000 kg (Halonen & Vesisenaho 2002, Kuitto 2005b). Kuorman ja hakeauton sallittu yhteismassa on 60000 kg. Laskettaessa tuloksia hakekuorman massalle eri kosteusprosentteilla ja edelleen näiden energiasäiltöjä, on hakeauton kantavuus otettava huomioon rajoittavana tekijänä.

Taulukko 3. Kosteusprosentin vaikutus hake-erän ($120 i-m^3$) massaun. Lihavoidulla tekstillä on esitetty massat, joita ei voida kuormata kokonaan kantavuuden (37000 kg) ylittymisen takia.

Kosteus %	Hake-erän massa kg	Hakeauton + hake-erän massa kg
55	42667	65667
50	38400	61400
45	34909	57909
40	32000	55000
35	29538	52538
30	27429	50429
25	25600	48600
20	24000	47000
15	22588	45588
10	21333	44333
5	20211	43211
0	19200	42200

Veden massa riippuu hake-erän kosteusprosentista. Taulukossa 3 on esitetty kosteusprosenttien vaikutus kuorman kokonaismassaan (veden massa + kuorman massa absoluuttisen kuivana). Hakeauton kantavuus tulee vastaan kosteusprosentilla 50. Tarkemmin ottaen kosteus rajoittaa kuorman kokoa jo hieman yli 48 % kosteudella.

2.4 Tulokset

2.4.1 Energiasisältö

Kappaleessa 2.1 *Metsähakkeen lämpöarvo* määritettiin metsähakkeelle teholliset lämpöarvot saapumistilassa eri kosteuksilla (Taulukko 2). Nämä arvot on esitetty muodossa kWh/kg. Kertomalla nämä lämpöarvot taulukossa 3 esitetyillä hake-erän massoilla saadaan energiasisällöt eri kosteusprosentteilla. Lisäksi näin saadut arvot muunnetaan kWh:sta MWh:ksi. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Hake-erän (120 i-m³) massa ja energiasisältö eri kosteusprosentteilla.

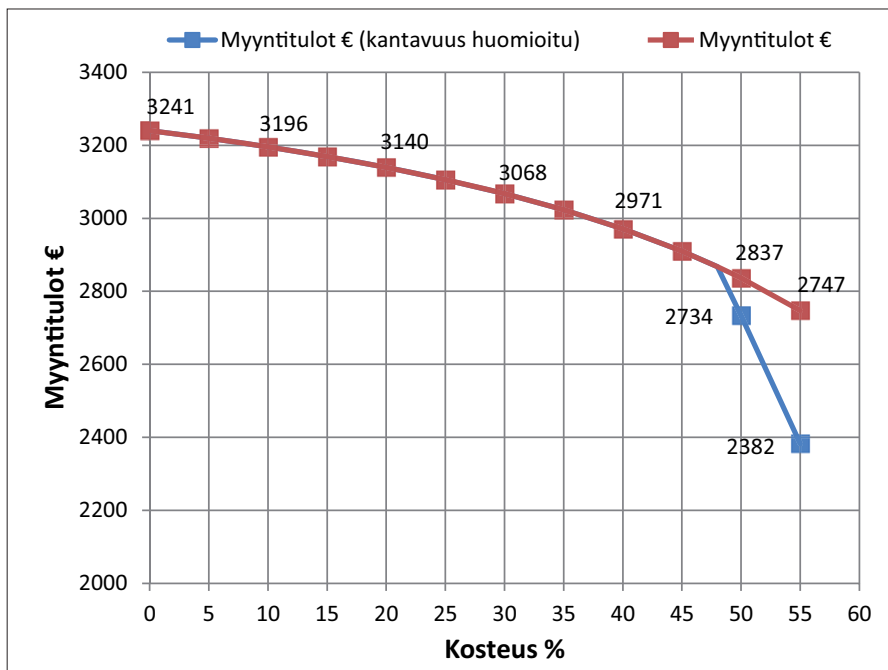
Kosteus %	Hake-erän massa kg	Hake-erän energiasisältö MWh/kuorma	Hake-erän massa (auton kantavuus huomioitu) kg	Hake-erän energiasisältö (auton kantavuus huomioitu) MWh/kuorma
55	42667	88,6	37000	76,8
50	38400	91,5	37000	88,2
45	34909	93,9	34909	93,9
40	32000	95,8	32000	95,8
35	29538	97,5	29538	97,5
30	27429	98,9	27429	98,9
25	25600	100,2	25600	100,2
20	24000	101,3	24000	101,3
15	22588	102,2	22588	102,2
10	21333	103,1	21333	103,1
5	20211	103,8	20211	103,8
0	19200	104,5	19200	104,5

2.4.2 Myyntitulot

Tieto hake-erän energiasisällöstä eri kosteusprosentteilla mahdollistaa myyntitulojen vertailun. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella toimivien lämpöyrittäjien kokonaistulot vuosina 2006 - 2007 olivat keskimäärin 56,2 €/MWh (alv:ton). Tästä 31 €/MWh tuli energiankulutukseen perustuvista maksuista ja 13,1 €/MWh kiinte-

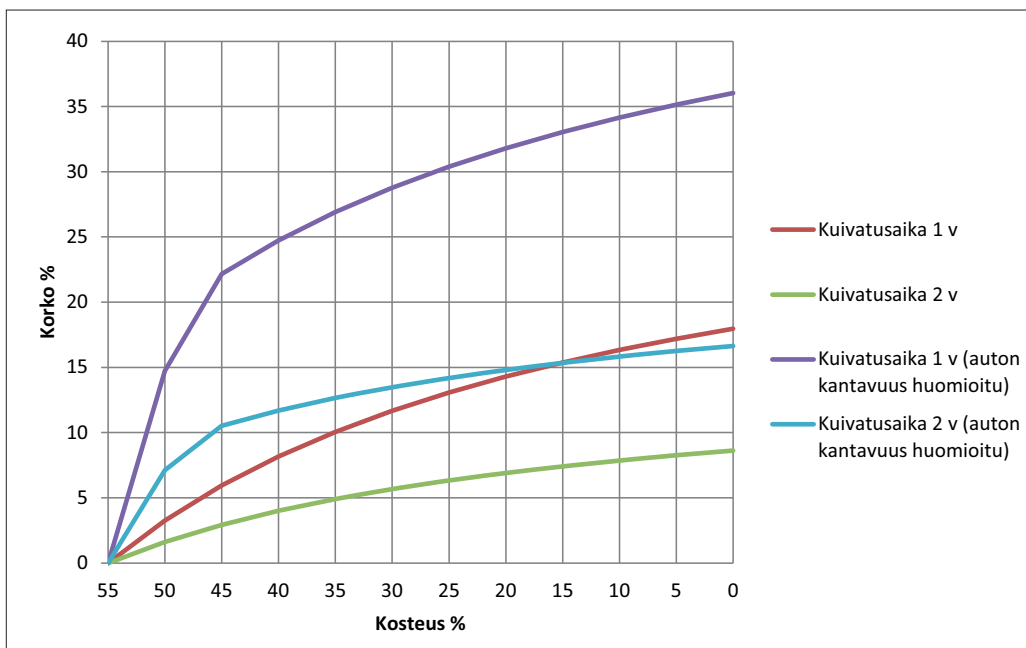
ästä maksusta. Muusta liiketoiminnasta lämpöyrittäjät saivat tuloja keskimäärin 12,2 €/MWh. Muuta liiketoimintaa olivat energiapuun ja hakkeen myynti, haketus sekä hakkeen kuljetus. (Sauvula-Seppälä 2010.)

Energiakulutuksen perustuvaa hintaa (31 €/MWh) käytetään myyntitulojen vertailulaskentaan. Tämän lukuarvon käyttäminen on perusteltua, koska vain se on suoraan riippuvainen tuotetusta energiamäärästä ja kuvaa näin parhaiten kosteuden vaikutusta polton kannattavuuteen. Kiinteät maksut ovat nimensä mukaisesti kiinteitä, eikä tuotetulla energiamäärällä ole niihin suoraa vaikutusta. Yhtä lailla muusta liiketoiminnasta saatavat tulot ovat tuotetusta energiamäärästä riippumattomia. Energiakulutukseen perustuvalla hinnalla (31 €/MWh) kerrotaan hake-erälle eri kosteusprosentteilla saadut energiasisällöt. Näin saatuja lukuarvoja vertaamalla nähdään kuivattamisella saatava euromääräinen hyöty. Kosteusprosentin vaikutusta hakekuormasta saataisiin energian myyntituloihin on havainnollistettu kuvassa 1. Lukuarvot eivät kuvaa lämpöyrittäjän energian tuottamisesta saamia kokonaistuloja, koska kiinteät maksut eivät ole laskennassa mukana.



Kuva 1. Hake-erästä (120 i-m³) saatavat energian myyntitulot (31 €/MWh) eri kosteusprosentteilla. Sininen kuvaaja ottaa huomioon auton kantavuuden (37000 kg) eli kuormatila jää vajaaksi. Punaisen kuvaajan tapauksessa kuormatila täytetään kokonaan. Huom! 31 €/MWh on energiankulutukseen perustuva hinta, jossa ei ole mukana kiinteitä maksuja.

Myös korkoprosentteja tarkastellen energiapuun kuivaaminen on hyvin kannattavaa. Yhden kesän aikana palstalla tai varastossa energiapuu kuivuu yleensä alle 40 % kosteuteen (Hillebrand 2009). Tämä lukema pätee pienkokopuun tapauksessa. Hakkuutähteet ja kannot kuivuvat yhdessä kesässä jopa alle 30 % (Hillebrand 2009, Laurila & Lauhanen 2010). Syksyn ja talven aikaan kosteus nousee hieman kesän lukemista, mutta palaa taas seuraavana keväänä edeltävän kesän tasolle (Laurila & Lauhanen 2010). Jos kuivatusta jatketaan vielä toisen kesän yli, laskee kosteus vielä joitakin prosenttiyksiköitä. Kuvassa 2 esitetty korkoprosentti on laskettu vertaamalla tuoreena (kosteus % 55) poltettavasta hakkeesta saatavia tuloja kuivuneesta hakkeesta saataviin tuloihin. Laskennan perustana ovat edelleen energiankulutukseen perustuvat myyntitulot (31 €/MWh) edellisessä kappaleessa esitetyn mukaisesti. Korkoprosentit on laskettu kuivatusajoille 1 vuosi ja 2 vuotta, mutta käytännössä merkitystä on kesien määrällä. Keväällä kuivamaan laitettu energiapuu on ensimmäisen kesän jälkeen kutakuinkin yhtä kuivaa kuin vuoden päästä keväällä. Eli jos energiapuu hakataan sopivaan aikaan keväällä ja päästään suoraan hyödyntämään kesän kuivattava vaikutus, saavutetaan kolmen kuukauden kuivatuksella suunnilleen sama lopputulos kuin vuoden kuivatuksella. Tällöin korkoprosentti on ymmärrettävästi selvästi taulukossa esitetyjä lukuarvoja korkeampi. Toisaalta kantojen nosto ja hakkuutähteiden kerääminen on sidottu ainespuuhakkuihin, eikä kuivatuksen aloitusajankohta ole näin vapaasti valittavissa. Myös energiapuun käyttö ohjaa kuivatusaikoja. Energiapuuta tarvitaan ympäri vuoden, mutta käytön painottuessa talveen joudutaan käyttämään kesään verrattuna kosteampia hake-eriä.



Kuva 2. Energiapuun kuivattamisesta saatava korkoprosentti, kun tuoreen puun kosteus on 55 %.

2.4.3 Hakkeella tuotetun energian myyntitulot Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella

Laurila ym. (2010) ovat selvittäneet Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen metsäenergiapotentiaalia. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalue käsittää Etelä- ja Keskipohjanmaan maakunnat sekä kolme kuntaa (Isokyrö, Vähäkyrö ja Laihia) Pohjanmaan maakunnasta. Alueen teknis-taloudelliseksi metsäenergiapotentiaaliksi tutkimuksessa saatiin 1,6 TWh/v (= 1600 000 MWh/v). Kyseinen energiamäärä kuvaa alueen metsistä korjattavissa olevaa keskimääräistä energiamäärää vuositasolla. Energiamäärän laskennassa on otettu huomioon pienpuu (nuorenmetsänhoitokohteet ja ensiharvennukset), hakkuutähteet (kuusivaltaiset kohteet) ja kannot (kuusivaltaiset kohteet). Tutkimuksessa on oletettu tuoreen kuorellisen puun energiasisällön olevan 2 MWh/m³, johon perustuen alueen metsäenergiapotentiaali on laskettu. Alueellinen metsäenergiapotentiaali (1,6 TWh/v) on näin ollen määritetty tuoreelle puulle ja kuivattamalla energiasisältöä on vielä mahdollista nostaa.

Laurilan ym. (2010) tutkimuksessaan käyttämä puun energiasisältö (2 MWh/m³) on hieman korkeampi kuin mitä tämän tutkimuksen lukuarvoista voidaan laskea. Ero perustuu pääasiassa siihen, että tässä tutkimuksessa on käytetty laskelmien pohjana yksinomaan männyn kokopuuhakkeen lämpöarvoa. Laurilan ym. (2010) tutkimuksessa ovat mukana myös kanto- ja hakkuutähdehake. Hakkuutähdehakeen energiasisältö (MWh/m³) on kotimaisilla pääpuulajeilla kokopuuhakkeen energiasisältöä korkeampi. Havupuilla myös kantohakkeen energiasisältö (MWh/m³) on kokopuuhakkeen energiasisältöä korkeampi (Hakkila ym. 1978, Alakangas 2000, Kärkkäinen 2007). Yllä mainituista tekijöistä aiheutuva pieni ero energiasisällöissä ei ole tutkimuksen lopputulosten kannalta merkittävä.

Etelä-Pohjanmaan metsäenergiapotentiaali on tuoreelle puuaineelle (kosteus % 55) määritettynä 1,6 TWh/v (Laurila ym. 2004). Tähän energiasisältöön perustuen lasketaan energiasisällöt myös muille kosteusprosentteille. Tämä tehdään hyödyntämällä taulukon 4 sarakkeen ”Hake-erän energiasisältö MWh/kuorma” tietoja. Lukuarvo 1,6 TWh/v asetetaan kyseisessä sarakkeessa kosteusprosentille 55, jonka jälkeen loput energiasisällöt lasketaan suhteessa sarakkeessa esitettyihin lukuarvoihin. Tämän jälkeen energiasisällöille lasketaan vielä myyntitulot. Myyntitulojen laskennassa käytetään samaa energian kulutukseen perustuvaa hintaa kuin edellä yksittäisen hakekuorman tapauksessa eli 31 €/MWh. Taulukossa 5 esitetään näin saadut tulokset. Tulosten laskennassa on oletettu kaiken hakkeella tuotetun energian olevan lämpöenergiaa eikä sähkön myynnistä mahdollisesti saatavalle tuotolle ole käytetty erillisiä MWh -hintoja.

Taulukko 5. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen vuotuisen metsäenergiapotentiaalin energiasisältö ja energian kulutukseen perustuvat myyntitulot.

Kosteus %	Energiapuun energiasisältö TWh/v	Energian myynnistä saatavat tulot milj. €/v
55	1,60	49,60
50	1,65	51,22
45	1,69	52,54
40	1,73	53,65
35	1,76	54,58
30	1,79	55,38
25	1,81	56,08
20	1,83	56,68
15	1,85	57,22
10	1,86	57,70
5	1,87	58,12
0	1,89	58,51

2.5 Tulosten tarkastelu

Eri puulajeista tehdyt hakkeet ovat lämpöarvoltaan (MWh/kg) varsin lähellä toisiaan, joten yhden keskimääräisen lämpöarvon valitseminen tulosten laskennan pohjaksi ei aiheuta tutkimukseen suurta virhettä, etenään kun hakeauton kuormatilan kehystilavuus ei yleensä ole vajaakuormien syy. Polton hyötysuhde on sen sijaan huomattavasti ongelmallisempi tekijä. Vaikka kosteuden vaikutus polton hyötysuhteeseen on keskimäärin varsin pieni, voi sen vaikutus yksittäisille polttolaitoksilla olla huomattava. Erityisesti tämä pätee pieniin polttolaitoksiin. Näiden tulosten soveltamisessa yksittäisiin polttolaitoksiin täytyy olla varovainen. Polton hyötysuhteeseen vaikuttavat tekijät (esim. polttoaineen kosteus, savukaasujen loppulämpötila ja ilmakerroin) myös korreloivat keskenään ja voimistavat toistensa vaikutusta, mistä voi seurata yllättäviä muutoksia hyötysuhteeseen etenkin talvella hakkeen huippukulutuksen aikaan. Lisäksi matalilla kosteusprosentteilla hyötysuhde perustuu tarkemman tutkimustiedon puuttuessa arvioon. Näillä perusteilla kosteuden merkitys hyötysuhteeseen ja tämän vaikutus kannattavuuteen jätettiin tutkimuksessa huomioimatta. Tutkimuksessa käytetty hakeauton kuormatilavuus (120 m³) ja kantavuus (37 000 kg) ovat keskimääräisiä arvoja, joiden muuttaminen aiheuttaa selviä muutoksia lopputuloksiin. Nykyisin suurimpien käytettyjen hakerekkojen tilavuus on jo noin 150 m³ ja matalilla kosteusprosentteilla tämän kokoluokan hakerekkiaan menee jo huomattavasti enemmän haketta kuin tutkimuksessa käytettyyn tilavuuteen. Korkeammilla kosteusprosentteilla sallittu

kantavuus rajoittaa kuitenkin suurten kuormatilojen käyttöä eli hyöty saadaan vain hyvin kuivatulla hakkeella.

Tutkimuksen tuloksissa on esitetty laskelmat kosteusprosenttiin nolla asti. Lähellä nollaa olevat kosteusprosentit ovat lähinnä teoreettisia. Käytännössä ulkokuivatuksessa ei energiapuun kosteus laske alle 15 prosentin ja yleisesti kosteusprosentit ovat vuoden kuivatuksen jälkeen välillä 20 – 40 (Karttunen ym. 2010, Laurila & Lauhanen 2010).

Myyntitulojen laskenta perustuu Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella vuosina 2006 - 2007 tehtyyn selvitykseen, jolla selvitettiin lämpölaitosten energianmyyntistä saamia keskimääräisiä tuloja. Energian myyntihinta tulee todennäköisesti tulevaisuudessa nousemaan, jolloin kuivattamisesta saatava hyöty korostuu. Toisaalta on oletettavaa, että energiapuun hinta seuraa ainakin jossain määrin nousevaa energian hintaa, jolloin taloudellinen hyöty pysyy suunnilleen nykyisellä tasolla. Nouseva energiapuun hinta nostaa kuitenkin samalla varastoon sidotun pääoman korkokuluja, mikä vähentää kokonaistuottoa. Kovin helposti ei kuitenkaan synny tilannetta, jossa nämä korkokulut ohittaisivat kuivauksesta saatavan hyödyn. Kuivauksella saatava tuotto on ehdottomasti järkevää hyödyntää.

Hakekuorman (120 i-m³) sisältämän energian myyntitulot tuoreelle hakkeelle (kosteus % 55) ovat 2747 € (auton kantavuutta huomioimatta) (kuva 1). Vastaava lukuarvo kosteusprosentilla 40 on 2971 €. Eli jo yhdessä hakekuormassa kuivauksen hyöty on vähintään 224 €. Kuivaamalla päästään kuitenkin varsin helposti 40 % alempiinkin kosteuksiin. Esimerkiksi 30 % tasolla kuivauksella saatava hyöty olisi 321 €. Jos vastaava vertailu tehdään auton kantavuus huomioiden, niin lukemat ovat jo 589 € (kosteus % 40) ja 686 € (kosteus % 30). Voidaan siis sanoa, että jo yhdessä hakekuormassa kuivauksella saatava taloudellinen hyöty on merkittävä. Kuvassa 2 esitettyjä korkotuottoja tarkastelemalla päädytään samaan lopputulokseen. Tavanomaisella vuoden kuivatusajalla päästään helposti yli 10 % korkotuottoon, mikä on erinomainen prosentti, kun verrataan sitä esimerkiksi pankkien maksamaan korkoon. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella energiapuun kuivattamisella saatava hyöty nousee helposti useisiin miljooniin euroihin, jos hyödynnetään alueen koko metsäenergiapotentiaali (taulukko 5). Kun vielä ajatellaan metsäenergian suuria tulevaisuuden käyttötavoitteita, joihin pääseminen on muutoinkin haasteellista, ei ole järkevää heittää energiaa hukkaan polttamalla kostea haketta.

Vaikka energiapuun kuivaaminen lisääkin energiasisältöä ja energian myyntituloja, aiheuttaa pitkä varastointi-/kuivausaika aina jonkin verran kuiva-aine tappioita. Kuiva-aine tappioiden määrät ovat vaihdelleet eri tutkimusten välillä suhteellisen

paljon. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että kuiva-aine tappioiden taso nousee niin korkeaksi, että ne tulisi jatkossa kuivaamisen kannattavuutta arvioitaessa ottaa huomioon. Kuiva-aine tappioita syntyy sekä puun osien irtoamisen että puuainees- sa tapahtuvien hajoamisprosessien takia. Anerudin ja Jirjisin (2011) tekemässä tutkimuksessa 13 kuukautta varastoiduilla kuusen kannoilla kuiva-aine tappioiden määrä oli 4,0 – 8,3 % välillä kuiva-aineen massasta. Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin myös, että korkeat kosteuspitoisuudet lisäävät selvästi kuiva-aine tappioiden määrää. Petterssonin ja Nordfjellin (2007) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin hakkuutähdepaalien kuiva-ainetappioita ja ne osoittautuivat selvästi kuusen kantojen kuiva-aine tappioita suuremmiksi. Vuoden varastointiajalla tappiot olivat 14,4 – 17,4 % välillä.

Tulosten avulla voidaan arvioida energiapuun kuivaamisen kannattavuutta polton näkökulmasta. Eniten tuloksista hyötyvät luultavasti energiaosuuskunnat, jotka nyt näkevät selvemmin kuivaamisesta saatavan taloudellisen hyödyn. Tuloksissa on esitetty energiasisällöt ja hake-erien massat myös siten, että auton kantavuus on otettu huomioon rajoittavana tekijänä. Ilman kantavuusrajoitinta ja kantavuus- rajoittimen kanssa laskettuja lukuarvoja vertaamalla on mahdollista tehdä arvioita siitä kuinka monta ”ylimääräistä” ajokertaa joudutaan tekemään, kun kuormatilaa ei voida kantavuudesta johtuen täyttää kokonaan. Nämä ”ylimääräiset” ajokerrat aiheuttavat ennen pitkää painetta myös kuljetuskaluston määrän kasvattamiseen.

Energiapuukaupan hinnoitteluperusteena on useimmiten tilavuus, mutta energiasisältöön perustuva hinnoittelu on yleistymässä. Energiasisältöön perustuvan hinnoittelun yleistyessä puun myyjän mahdollisuus vaikuttaa omaan tulotasoonsa paranee ja kiinnostus energiapuun kuivaamiseen kasvaa. Näitä tuloksia voivat näin ollen jatkossa hyödyntää myös energiapuun myyjät.

Tuloksia voidaan hyvin hyödyntää myös Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen ulkopuolella. Hake-erän (120 i-m³) energiasisältö säilyy samana niin kauan, kun hyödynnetään kotimaisia pääpuulajeja (mänty, kuusi ja koivu) pääpainon ollessa havupuissa. Yksinomaan koivua sisältävien hake-erien tapauksessa energiasisällöt jäävät turhan mataliksi. Tutkimuksessa energian myyntihintana käytetty 31 €/MWh on Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen lämpörittäjien energian kulutukseen perustuvista maksuista saama keskimääräinen tulo vuosina 2006 – 2007. Myyntihinnan voidaan olettaa olevan samaa suuruusluokkaa myös muualla Suomessa. Vuosien 2006 – 2007 tasosta energian hinta on kuitenkin yleisesti noussut.

3 Kosteuden vaikutus metsähakkeen kaukokuljetuskustannuksiin

3.1 Lähtökohdat

Metsähakkeen kosteus vaikuttaa suoraan kuorman massaan, millä taas on vaikutusta kuljetuskustannuksiin. Selvästi merkittävimmin kuorman massa vaikuttaa kuljetuskustannuksiin nostamalla polttoaineen kulutusta. Pienempiä vaikutuksia kuorman massalla on esimerkiksi öljyn kulutukseen ja renkaiden kulumiseen. Huolto- ja korjauskulut myös todennäköisesti kasvavat jonkin verran, kun keskimääräinen kuormakoko kasvaa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan metsähakkeen kosteuden vaikutusta kaukokuljetuksen polttoainekustannuksiin ja pienemmät kustannustekijät jätetään tutkimuksen ulkopuolelle.

Väkevän ym. (2004) tekemän tutkimuksen mukaan 1000 kg kuorman kasvu nostaa polttoaineen kulutusta keskimäärin 0,6 l/100 km. Kyseisessä tutkimuksessa selvitettiin yksittäisen puutavara-auton polttoaineen kulutusta SKALNET – palvelua hyödyntäen. Tämä palvelu perustuu autoon asennettavaan tiedonkeruuyksikköön, ”mustaan laatikkoon”, joka rekisteröi auton tapahtumia, kuten ajomatkaa, polttoaineen kulutusta, ajonopeutta ja auton sijaintia. Tiedot tutkimusta varten kerättiin Keski-Suomen alueella liikkuvasta puutavara-autosta aikavälillä 23.8.2002 – 30.6.2003. Tutkimusautona oli vuoden 1999 mallia oleva Sisu, jossa oli euro2-luokan, 14 litran Cummins:in moottori. Väkevän ym. (2004) tutkimuksessaan esittämää lukuarvoa (0,6 l/1000 kg/100 km) kuorman massan vaikutuksesta polttoaineen kulutukseen käytetään tämän tutkimuksen laskennan perustana.

Vaihtelua aiheuttavien tekijöiden merkitystä on keskikulutukseen perustuvaa lukuarvoa käytettäessä syytä korostaa. Vaikka edellä mainittu lukuarvo massan vaikutuksesta kulutukseen päteekin kyseisessä tapauksessa, ei se suinkaan ole ehdoton totuus asiasta. Vaihtelua aiheuttavat tekijät vaikuttavat yhtäaikaaisesti ja nämä tekijät myös korreloivat keskenään. Tekijöistä merkittävimpiä ovat ajotapa, automalli, vuodenaika, keskinopeus sekä erityisesti tien kunto, pintarakenne ja märkisyyt (Väkevä ym. 2004). Näiden tekijöiden muuttuessa myös keskikulutuslukemat muuttuvat.

Tilastokeskuksen (Suomen virallinen...2009) tietojen mukaan keskimääräinen energia- ja polttopuun kaukokuljetusmatka on ollut 40 km vuonna 2009. Tähän keskiarvoon on laskettu mukaan kaikki polttoon tarkoitettu metsäperäinen puuaines. Mukana on siis metsähakkeen ohella myös esimerkiksi kantojen, risujen ja klapien kaukokuljetusmatkat. Sen sijaan paperi- ja puunjalostusteollisuuden

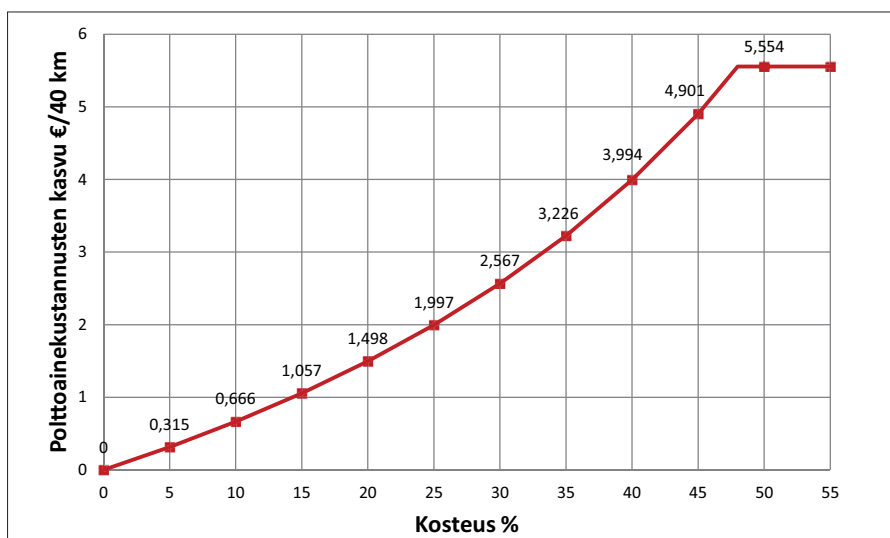
kautta polttoon tulleet ”jätepuuerät” eivät ole keskiarvossa mukana. Lukuarvo 40 km kuvaa riittävällä tarkkuudella metsähakkeen keskimääräistä kaukokuljetusmatkaa.

3.2 Tulokset

3.2.1 Polttoainekustannusten kasvu

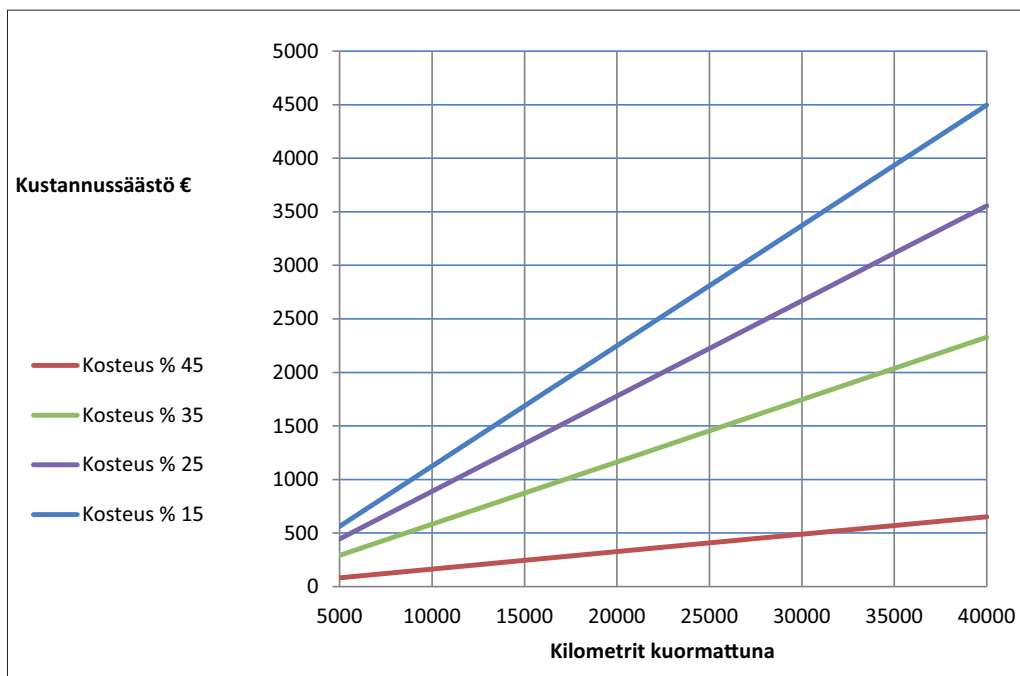
Edellä esitettyjen tietojen pohjalta voidaan laskea kuinka paljon 1000 kg:n kuorman kasvu nostaa polttoaineen kulutusta 40 km matkalla. Tulokseksi saadaan 0,24 l/1000 kg/40 km ($0,6/100 \cdot 40 = 0,24$). Nykyisillä dieselin hinnoilla (n. 1,3 €/l) tämä tarkoittaa 0,312 € ($0,24 \cdot 1,3 = 0,312$) hinnannousua jokaista kuorman 1000 kg:n kasvua kohti 40 km matkalla. Hake-erällä 120 i-m³ massa kasvaa 1000 kg jo muutaman prosenttiyksikön muutoksella kosteudessa. Esimerkiksi kosteusprosentin muuttuessa 40:stä 45:een massa kasvaa jo noin 3000 kg. Tarkemmat tiedot kosteusprosentin vaikutuksesta massa on esitetty taulukossa 3.

Hyödyntämällä taulukon 3 tuloksia hake-erän (120 i-m³) massasta eri kosteusprosentteilla sekä yllä laskettua euromääräistä kulutuksen lisäystä 1000 kg kohti, lasketaan kuinka paljon polttoainekustannukset kasvavat hake-erän kosteusprosentin muuttuessa. Tulosten laskennassa on oletettu, että ajetaan vain täysillä kuormilla siten, että joko koko kuormatila on täynnä haketta tai auton sallittu kokonaiskantavuus (37 000 kg) saavutetaan. Kokonaiskantavuus tulee tässä tapauksessa täyteen, kun kosteus nousee hieman yli 48 %:iin. Auton kantavuus on määritelty kappaleessa 2.3 *Kuormakoko*.



Kuva 3. Kosteuden vaikutus polttoainekustannusten kasvuun 40 km matkalla hake-erällä 120 i-m³ (vertailuarvona kosteusprosentti 0).

Kosteusprosenttia 0 käytetään vertailuarvona, johon muilla kosteusprosentteilla laskettuja kustannuksia verrataan. Tulokset on esitetty edellisellä sivulla olevassa kuvassa 3. Kuvasta nähdään, että esimerkiksi keskimääräisellä kuljetusmatkalla (40 km) ja kosteusprosentilla 45 polttoainekustannukset ovat noin 5 euroa korkeammat kuin kosteusprosentilla 0. Hakekuorman kosteuden lasku 50 %:sta 30 %:iin taas tarkoittaa noin 3 euron kustannusten laskua. Yksittäisellä kuljetusmatkalla kustannuserot eivät vielä ole merkityksellisiä, mutta vuotuisilla kilometreillä ne alkavat jo tuntua. Kuvassa 4 on esitetty kustannussäästöt eri ajokilometreillä ja kosteusprosentteilla verrattuna tuoreen (55 %) hakkeen ajoon. Auton kantavuus on kuvassa huomioitu. Tulokset on saatu jakamalla kuormattuna ajatut kilometrit keskimääräisellä kuljetusmatkalla ja kertomalla näin saatu lukuarvo kuvassa 3 esitetyllä kosteusprosenttiin perustuvalla euromääräisellä polttoainekustannusten kasvulla. Tällä tavalla on laskettu arvo sekä tuoreelle hakkeelle (55 %) että eri kosteusprosentteille (15, 25, 35, 45) ja laskettu näiden erotus. Kuvasta 4 nähdään, että jos ajetaan kuormattuna 25 000 km ja hakkeen kosteusprosentti on 45, säästöä saadaan noin 400 euroa. Sama lukuarvo kosteusprosentilla 35 on noin 1500 euroa.

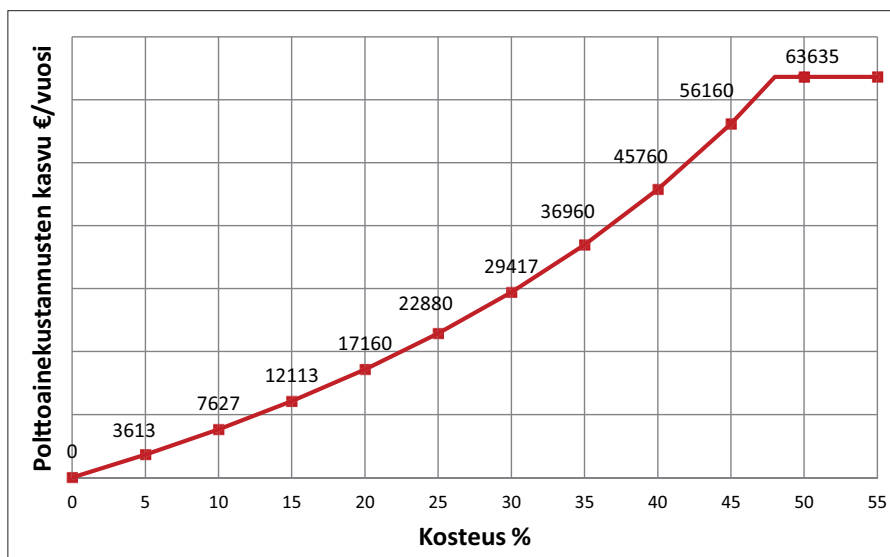


Kuva 4. Polttoaineen kulutuksesta saatavat kustannussäästöt eri kosteusprosentteilla tuoreen (kosteus % 55) energiapuun kuljetukseen verrattuna, kun auton kuormakoko on 48 m³ ja kantavuus 37 000 kg.

3.2.2 Polttoainekustannusten kasvu Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella

Laurilan ym. (2010) selvityksen mukaan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen hakeautojen kokonaistarve olisi 22 kpl, jos alueen kestävästi käytettävissä oleva metsäenergiapotentiaalia hyödynnettäisiin täysimääräisesti. Yksittäisen hakeauton vuosisuoritteena tutkimuksessa on pidetty 25 000 m³. Tämä lukuarvo perustuu Asikaisen (2004) tekemään tutkimukseen. Näiden lukuarvojen perusteella laskeaan hakeautojen ajokilometrit Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella. Aiemmin tässä tutkimuksessa (2.3 *Kuormakoko*) on määritetty hakeauton kuormakooksi 48 m³. Tällöin yksittäinen hakeauto ajaisi vuodessa noin 521 (25 000 m³/48m³ = 520,83) hakekuormaa. Kuormattuna ajetuiksi kilometreiksi muutettuna tämä tarkoittaisi noin 20833 km (520,83 * 40 km = 20833,2 km). Lukuarvo 40 km on metsähakkeen keskimääräinen kaukokuljetusmatka (Suomen virallinen...2009). Yksittäisen auton vuotuiset kilometrit (kuormattuna) kerrotaan vielä hakeautojen alueellisella kokonaistarpeella. Näin saatu lukuarvo 458330 km (20833,2 km * 22 = 458330,4) kuvaa kokonaisajokilometrejä (kuormattuna), jotka tarvitaan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen kestävästi käytettävissä olevan metsäenergiapotentiaalin kuljettamiseen vuositasolla.

Aiemmin on kuvattu kosteusprosentin vaikutusta polttoainekustannusten kasvuun 40 km matkalla. Saman logiikan mukaan tulokset voidaan laskea myös Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen vuotuisille kokonaisajokilometreille (458330 km). Kuvassa 5 esitetään tulokset alueellisessa mittakaavassa.



Kuva 5. Kosteuden vaikutus hakekuljetusten polttoainekustannusten kasvuun vuositasona Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella, jos hyödynnetään koko kestävä metsäenergiapotentiaali (vertailuarvona kosteusprosentti 0).

3.3 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa käytetty polttoaineen kulutusarvo (0,6 l/1000 kg/100 km) on saatu Väkevän ym. (2004) tekemästä tutkimuksesta, jossa tutkimuskohteena on ollut vuosimallin 1999 Sisu varustettuna Cummins:in 14 litran moottorilla. Uudemmissa automalleissa keskimuutos on pienentynyt ja samoin on mahdollisesti käynyt myös massan aiheuttamalle kulutuksen kasvulle.

Kuorman massa vaikuttaa väistämättä hakeauton polttoaineen kulutukseen. Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat kuitenkin myös monet muut tekijät (esim. ajomatka, ajotapa, automalli, vuodenaika, keskinopeus sekä tien kunto ja pintarakenne) yhtäaikaaisesti ja nämä tekijät myös korreloivat jossain määrin keskenään. Keskimääräisen lukuarvon (0,6 l/1000 kg/100 km) käyttäminen polttoaineen kulutuksen kasvun mittarina ei suinkaan anna tilanteesta yksiselitteisen oikeaa kuvaa. Sen avulla lasketut arvot ovat kuitenkin suuruusluokaltaan oikeita ja sopivat yleisen tarkastelun pohjaksi. Yksittäisen auton/kuljettajan/reitin kohdalla ne ovat kuitenkin liian ”keskimääräisiä”.

Kuvassa 4 on esitetty kosteusprosentin vaikutus polttoainekustannuksiin. Voidaan havaita, että hakkeen kuivattamisesta saatava hyöty vähenee kuivumisen edetessä. Alkukuivatuksella saadaan suhteellisesti suurin etu, mutta myös pitemmälle jatkuvan kuivattamisen edut ovat selvät. Polttoaineen hinnan kallistuessa kui-

vattamisesta saatava taloudellinen hyöty kasvaa. Kuljetuskustannuksia ajatellen energiapuun kuivattaminen on näin ollen tulevaisuudessa todennäköisesti nykyistä kannattavampaa.

Yksittäisen kuorman massan kasvua merkittävämpi vaikutus kosteusprosentteilla on silloin, kun kuormaa ei kantavuusrajoitteen takia saada täyteen. Tästä seuraa, että on tehtävä ”ylimääräisiä” ajokertoja, mikä aiheuttaa merkittävän kustannuslisän. Varsinkin viime vuosina käyttöön tulleille, suuren kuormatilavuuden omaaville (esim. 150 m³), hakerekoille tällä on merkittävä vaikutus.

Kuorman massan vaikutus polttoaineen kulutukseen osoittautui odotettua pienemmäksi. Kuljetusyrittäjä, joka ajaa kuorma päällä 25 000 km, saa 35 % kosteudessa olevan hakkeen kuljettamisesta säästöä noin 1500 € verrattuna tuoreen hakkeen kuljettamiseen (kuva 4). Vastaava säästö kosteusprosentilla 25 on noin 2200 €. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella säästöt ovat vuositasolla 35 % haketta kuljetettaessa noin 27 000 € ja 25 % haketta kuljetettaessa noin 41 000 €, jos hyödynnetään koko alueen kestävästi käytettävissä oleva metsäenergiapotentialiaali (kuva 5). Vaikka säästöt jäivätkin odotettua pienemmiksi, niin täysin merkityksettömiä ne eivät ole. Yksittäisen kuljetusyrittäjän ansiota ne lisäävät vuositasolla varovaisesti arvioituna 1000 – 2000 €. Tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa on tärkeää muistaa, että lähellä nollaa olevat energiapuun kosteusprosentit ovat lähinnä teoreettisia. Vuoden kuivauksella saavutettava kosteusprosentti asettuu yleensä 20 – 40 väliin (Karttunen ym. 2010, Laurila & Lauhanen 2010).

Kuten on jo aiemmin todettu, niin nämä tulokset soveltuvat yleisen tarkastelun pohjaksi, mutta eivät yksittäisen kuljetusmatkan polttoainekustannusten arviointiin. Tämän tutkimuksen tulosten avulla voidaan arvioida kuinka suuria kustannussäästöjä energiapuuta kuivattamalla on saavutettavissa nykyisillä polttoaineen hinnoilla. Tämä tieto kiinnostanee niin kuljetusyrittäjiä kuin kuljetuspalveluita ostaviakin tahoja. Jos kuorman massan vaikutusta polttoaineen kulutukseen halutaan jatkossa selvittää tarkemmin, olisi hyvä luoda malli, joka huomioi kuljetusten muuttuvat tekijät (esim. ajomatka, ajo tyhjänä/kuormattuna, automalli, vuodenaika, keskinopeus sekä tien kunto, pintarakenne ja mäkisyyys) ja antaa näin tarkempia arvoja polttoaineen kulutuksesta.

Kiitokset

Kiitokset VTT:n Eija Alakankaalle ja Martti Flyktmanille neuvoista ja avusta julkaisujen etsinnässä. Lisäksi kiitos Jukka Lahdelle (Jyväskylän ammattikorkeakoulu) tiedoista ja kirjallisen materiaalin lähettamisestä sekä jo eläkkeellä olevalle Hannu Liukkoselle käytännön kokemusten jakamisesta ja polttolaitosten sielunelämän valottamisesta. Risto Lauhaselle, Juha Laitilalle ja Hannu Haapalalle kiitokset tekstin kommentoinnista ja parannusehdotuksista. Te kaikki olitte suureksi avuksi tämän tutkimuksen teossa. Lopuksi vielä erityiskiitos Kestävä metsäenergia-hankkeen rahoittajalle: Manner-Suomen maaseutuohjelmalle.

Lähteet

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2045.
- Anerud, E. & Jirjis, R. 2011. Fuel quality of Norway spruce stumps – influence of harvesting technique and storage method. *Scandinavian journal of forest research* 26(3), 257–266.
- Asikainen, A. 2004. Puunkorjuu ja kuljetus. Julkaisussa: Harstela, P. (toim.). Metsähake ja metsätalous. Suonenjoki: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913, 26–36.
- CEN/TS 14918:2005 Solid Biofuels – Method for determination of calorific value.
- Flyktman, M. & Helynen, S. 2004. Hyötysuhteiden määrittäminen päästökaupan alkujakoa varten. Jyväskylä: VTT Prosessit. Tutkimusselostus.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 – 2003: metsähakkeen tuotantoteknologia: loppuraportti. Helsinki: Tekes. Teknologiaohjelmaraaportti 5.
- Hakkila, P., Kalaja, H., Salakari, M. & Valonen, P. 1978. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. *Folia Forestalia* 333: 1–58.
- Halonen, P. & Vesisenaho, A. 2002. Hakeautoseuranta: hankeraportti. Jyväskylä: VTT Prosessit.
- Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi: yhteenveto aiemmin tehdyistä tutkimuksista. Jyväskylä: VTT. Tutkimusraportti.
- Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti, LUT Energia 7.
- Kuitto, P.-J. 2005a. Energia- ja määrätaulukot ja muuntokertoimet. Julkaisussa: Kuitto, P.-J. (toim.) Metsästä polttoaineeksi: polttohakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: Suomen bioenergiayhdistys FINBIO, 10.
- Kuitto, P.-J. 2005b. Hakeautokalustosta. Julkaisussa: Kuitto, P.-J. (toim.) Metsästä polttoaineeksi: polttohakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: Bioenergiayhdistys FINBIO, 305–306.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus.
- Laine, R. & Sahrman, K. 1985. Puupolttoaineiden ominaisuudet ja hinnoitteluperusteet. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 513.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2010. Moisture content of Norway spruce stump wood at clear cutting areas and roadside storage sites. *Silva Fennica* 44 (3), 427–434.
-

-
- Laurila, J., Tasanen, T. & Lauhanen, R. 2010. Metsäenergiapotentiaali ja energia-puun korjuun resurssitarpeet Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja* 4, 355–365.
- Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuore-tiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. *Metsätieteen aikakauskirja* 3, 411–431.
- Pellikka, J. & Saviharju, K. 1983. Kuoren ja puujätteen poltto. Teoksessa: Puumas-san valmistus: Suomen paperi-insinöörien yhdistyksen oppi- ja käsikirja: 2. Helsinki: Teknillisten tieteiden yhdistys, 1519–1982.
- Pettersson, M. & Nordfjell, T. 2007. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. *Biomass & bioenergy* 31, 782–792.
- Sauvula-Seppälä, T. 2010. Lämpöyrittäjyyden kannattavuus lämmönostajan ja –myyjän sekä metsänomistajan näkökulmasta. *Maataloustieteen päivät 2010*.
- Savon Voima Oy:n Bioenergiaohjelma. 2001. Kuopio: Savon Voima.
- SI-opas: suureet ja yksiköt: SI-mittayksikköjärjestelmä. 2001. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2009. Tieliikenteen tavarakuljetukset [Verkojulkaisu]. 10. Keskimääräinen kuljetusmatka ja kuormausaste kotimaan liikenteessä tavaralajeittain vuonna 2009. Helsinki: Tilastokeskus. [Viitattu: 8.4.2011]. Saatavana: http://www.stat.fi/til/kttav/2009/kt-tav_2009_2010-05-28_tau_010_fi.html
- Tahvanainen, L. 1995. Pajun viljelyn perusteet. Joensuu: Joensuun yliopisto. *Silva Carelica* 30.
- Taipale, R. 1996. Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet. Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos. Pro gradu –tutkielma.
- Tiihonen, I., Rinne, S. & Kaipainen, H. 2004. Hakkuutähteen autokuljetuksen kehittäminen tiivistävällä kuormatilaratkaisulla – PUUT40. Julkaisussa: Alakangas, E. & Holviala, N. (toim.) Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Espoo: VTT, 85–94.
- Vuorelainen, O. 1978. LVI-tekniikka: polttoaineet ja polttolaitteet. Espoo: Otakustantamo.
- Väkevä, J., Pennanen, O. & Örn, J. 2004. Puutavara-autojen polttoaineen kulutus. Helsinki: Metsäteho. *Metsätehon raportti* 166.
- Wahlroos, L. 1980. Kotimaiset polttoaineet ja keskukslämmityskattilat. Pori: Energiakirjat.
-

Wilén, C., Moilanen, A., Rautalin, A., Torrent, J., Conde, E., Lödel, R., Carson, D., Timmers, P. & Brehm, K. 1999. Safe handling of renewable fuels and fuel mixtures. Espoo: Technical Research Centre of Finland. VTT Publications 394.

Ylitalo, E. 2010. Puun energiakäyttö 2009. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastotiedote 16.

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A. TUTKIMUKSIA

1. Timo Toikko. Sosiaalityön amerikkalainen oppi. Yhdysvaltalaisen caseworkin kehitys ja sen yhteys suomalaiseen tapauskohtaiseen sosiaalityöhön. 2001.
2. Jouni Björkman. Risk Assessment Methods in System Approach to Fire Safety. 2005.
3. Minna Kivipelto. Sosiaalityön kriittinen arviointi. Sosiaalityön kriittisen arvioinnin perustelut, teoriat ja menetelmät. 2006.
4. Jouni Niskanen. Community Governance. 2006.
5. Elina Varamäki, Matleena Saarakkala & Erno Tornikoski. Kasvu-yrittäjyyden olemus ja pk-yritysten kasvustrategiat Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
6. Kari Jokiranta. Konkretisoitua uhka. Ilkka-lehden huumekirjoitukset vuosina 1970–2002. 2008.
7. Kaija Loppela. ”Ryhmässä oppiminen - tehokasta ja hauskaa”. Arviointitutkimus PBL-pedagogiikan käyttöönotosta fysioterapeuttikoulutuksessa Seinäjoen ammattikorkeakoulussa vuosina 2005-2008. 2009.
8. Matti Ryhänen & Kimmo Nissinen (toim.). Kilpailukykyä maidontuotantoon: toimintaympäristön tarkastelu ja ennakointi. 2011

B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ

1. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu – tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma. 1998.
 2. Elina Varamäki - Ritva Lintilä - Taru Hautala - Eija Taipalus. Pk-yritysten ja ammattikorkeakoulun yhteinen tulevaisuus: prosessin kuvaus, tuotokset ja toimintaehdotukset. 1998.
 3. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1996-1997 valmistuneiden sijoittuminen. 1999.
 4. Petri Kahila. Tietoteollisen koulutuksen tilanne- ja tarveselvitys Seinäjoen ammattikorkeakoulussa: väliraportti. 1999.
-

-
5. Elina Varamäki. Pk-yritysten tuleva elinkaari - säilyykö Etelä-Pohjanmaa yrittäjämaakuntana? 1999.
 6. Seinäjoen ammattikorkeakoulun laatu järjestelmän auditointi 1998–1999. Itsearviointiraportti ja keskeiset tulokset. 2000.
 7. Heikki Ylihärtilä. Puurakentaminen rakennusinsinöörien koulutuksessa. 2000.
 8. Juha Ruuska. Kulttuuri- ja sisältötuotannon koulutus selvitys. 2000.
 9. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu. Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma 2001. 2001.
 10. Minna Kivipelto (toim.). Sosionomin asiantuntijuus. Esimerkkejä kriminaalihuolto-, vankila- ja projektityöstä. 2001.
 11. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1998–2000 valmistuneiden sijoittuminen. 2002.
 12. Varmola T., Kitinoja H. & Peltola A. (ed.) Quality and new challenges of higher education. International Conference 25.-26. September, 2002. Seinäjoki Finland. Proceedings. 2002.
 13. Susanna Tauriainen & Arja Ala-Kauppila. Kivennäisaineet kasvavien nautojen ruokinnassa. 2003.
 14. Päivi Laitinen & Sanna Välisaari. Staphylococcus aureus -bakteerien aiheuttaman utaretulehduksen ennaltaehkäisy ja hoito lypsykarjatiljoilla. 2003.
 15. Riikka Ahmaniemi & Marjut Setälä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu – Alueellinen kehittäjä, toimija ja näkijä. 2003.
 16. Hannu Saari & Mika Oijennus. Toiminnanohjaus kehityskohteena pk-yrityksessä. 2004.
 17. Leena Niemi. Sosiaalisen tarkastelua. 2004.
 18. Marko Järvenpää (toim.) Muutoksen kärjessä. Kalevi Karjanlahti 60 vuotta. 2004.
 19. Suvi Torkki (toim.). Kohti käyttäjäkeskeistä muotoilua. Muotoilija-koulutuksen painotuksia SeAMK:ssa. 2005.
 20. Timo Toikko (toim.). Sosiaalialan kehittämistyön lähtökohta. 2005.
 21. Elina Varamäki & Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2001–2003 valmistuneiden sijoittuminen opiskelun jälkeen. 2005.
-

-
22. Tuija Pitkääkoski, Sari Pajuniemi & Hanne Vuorenmaa (ed.). Food Choices and Healthy Eating. Focusing on Vegetables, Fruits and Berries. International Conference September 2nd – 3rd 2005. Kauhajoki, Finland.Proceedings. 2005.
 23. Katariina Perttula. Kokemuksellinen hyvinvointi Seinäjoen kolmella asuinalueella. Raportti pilottihankkeen tuloksista. 2005.
 24. Mervi Lehtola. Alueellinen hyvinvointitiedon malli – asiantuntijat puhujina. Hankkeen loppuraportti. 2005.
 25. Timo Suutari, Kari Salo & Sami Kurki. Seinäjoen teknologia- ja innovaatiokeskus Frami vuorovaikutusta ja innovatiivisuutta edistävänä ympäristönä. 2005.
 26. Päivö Laine. Pk-yritysten verkkosivustot – vuorovaikutteisuus ja kansainvälistyminen. 2006.
 27. Erno Tornikoski, Elina Varamäki, Marko Kohtamäki, Erkki Petäjä, Tarja Heikkilä, Kirsti Sorama. Asiantuntijapalveluyritysten yrittäjien näkemys kasvun mahdollisuuksista ja kasvun seurauksista Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla –Pro Advisor –hankkeen esiselvitystutkimus. 2006.
 28. Elina Varamäki (toim.) Omistajanvaihdosnäkömät ja yritysten jatkuvuuden edistäminen Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
 29. Beck Thorsten, Bruun-Schmidt Henning, Kitinoja Helli, Sjöberg Lars, Svensson Owe and Vainoras Alfonsas. eHealth as a facilitator of transnational cooperation on health. A report from the Interreg III B project "eHealth for Regions". 2007.
 30. Anmari Viljamaa, Elina Varamäki (toim.) Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2007. 2007.
 31. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus – Marja Lautamaja. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v.2004–2005 valmistuneiden sijoittuminen opiskelujen jälkeen. 2007.
 32. Sulevi Riukulehto. Tietoa, tasoa, tekoja. Seinäjoen ammattikorkeakoulun ensimmäiset vuosikymmenet. 2007.
 33. Risto Lauhanen & Jussi Laurila. Bioenergian hankintalogistiikka. Tapauksia Etelä-Pohjanmaalta. 2007.
 34. Jouni Niskanen (toim.). Virtuaalioppimisen ja -opettamisen Benchmarking Seinäjoen ammattikorkeakoulun, Seinäjoen yliopisto-keskuksen sekä Kokkolan yliopistokeskuksen ja Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakouluun Averkon välillä keväällä 2007. Loppuraportti. 2007.
-

-
35. Heli Simon & Taina Vuorela. Ammatillisuus ammattikorkeakoulujen kielten- ja viestinnänopetuksessa. Oulun seudun ammattikorkeakoulun ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun kielten- ja viestinnänopetuksen arviointi- ja kehittämishanke 2005–2006. 2008.
 36. Margit Närvä - Matti Ryhänen - Esa Veikkola - Tarmo Vuoremaa. Esiselvitys maidontuotannon kehittämiskohteista. Loppuraportti. 2008.
 37. Anu Aalto, Ritva Kuoppamäki & Leena Niemi. Sosiaali- ja terveysalan yrittäjyyspedagogisia ratkaisuja. Seinäjoen ammattikorkeakoulun Sosiaali- ja terveysalan yksikön kehittämishanke. 2008.
 38. Anmari Viljamaa, Marko Rossinen, Elina Varamäki, Juha Alarinta, Pertti Kinnunen & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2008. 2008.
 39. Risto Lauhanen. Metsä kasvaa myös Länsi-Suomessa. Taustaselvitys hakkuumahdollisuuksista, työmääristä ja resurssitarpeista. 2009.
 40. Päivi Niiranen & Sirpa Tuomela-Jaskari. Haasteena ikäihmisten päihdeongelma? Selvitys ikäihmisten päihdeongelman esiintyvyydestä pohjalaismaakunnissa. 2009.
 41. Jouni Niskanen. Virtuaaliopetuksen ajokorttikonsepti. Portfoliotyyppinen henkilöstökoulutuskokonaisuus. 2009.
 42. Minttu Kuronen-Ojala, Pirjo Knif, Anne Saarijärvi, Mervi Lehtola & Harri Jokiranta. Pohjalaismaakuntien hyvinvointibarometri 2009. Selvitys pohjalaismaakuntien hyvinvoinnin ja hyvinvointipalveluiden tilasta sekä niiden muutossuunnista. 2009.
 43. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas ja Pentti Rauhala. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio toiminnan arviointiraportti. 2010.
 44. Elina Varamäki (toim.) Pertti Kinnunen, Marko Kohtamäki, Mervi Lehtola, Sami Rintala, Marko Rossinen, Juha Tall ja Anmari Viljamaa. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2010. 2010.
 45. Elina Varamäki, Marja Lautamaja & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan omistajan-vaihdosbarometri 2010. 2010.
 46. Tiina Sauvula-Seppälä, Essi Ulander ja Tapani Tasanen (toim.). Kehittyvä metsäenergia. Tutkimusseminaari Seinäjoen Framissa 18.11.2009. 2010.
 47. Autio Veli, Björkman Jouni, Grönberg Peter, Heinisuo Markku & Ylihärsilä Heikki. Rakennusten palokuormien inventaariotutkimus. 2011.
 48. Erkki K. Laitinen, Elina Varamäki, Juha Tall, Tarja Heikkilä & Kirsti Sorama. Omistajanvaihdokset Etelä-Pohjanmaalla 2006–2010 - ostajayritysten ja ostokohteiden profiilit ja taloudellinen tilanne. 2011.
-

-
49. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Marja Lautamaja. Nuorten, aikuisten sekä ylemmän tutkinnon suorittaneiden sijoittuminen työelämään - seuranta-tutkimus Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2006–2008 valmistuneille. 2011.
 50. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas and Pentti Rauhala. Evaluation Report for Research, Development and Innovation Activities. 2011.
 51. Ari Haasio & Kari Salo (toim.). AMK 2.0 : Puheenvuoroja sosiaalisesta mediasta ammattikorkeakouluissa. 2011.
 52. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Juha Tall & Erno Tornikoski. Etelä-pohjalaiset yrittäjät liiketoimintojen ostajina, myyjinä ja kehittäjinä. 2011.
 53. Jussi Laurila & Risto Lauhanen. Pienen kokoluokan CHP -teknologiasta lisää voimaa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle. 2011.
 54. Tarja Keski-Mattinen, Jouni Niskanen & Ari Sivula. Ammattikorkeakouluopintojen ohjaus etätyömenetelmillä. 2011.

C. OPPIMATERIAALEJA

1. Ville-Pekka Mäkeläinen. Basics of business to business marketing. 1999.
2. Lea Knuutila. Mihin työohjausta tarvitaan? Oppimateriaalia sosiaali-alan opiskelijoiden työohjauskurssille. 2001.
3. Mirva Kuni & Petteri Männistö & Markus Välimaa. Leikkauspelot ja niiden hoitaminen. 2002.
4. Ilpo Kempas & Angela Bartens. Johdatus portugalilaisen kielen ääntämiseen: Portugali ja Brasilia. 2011.

D. OPINNÄYTETÖITÄ

1. Hanna Halmesmäki – Merja Halmesmäki. Työvoiman osaamistarvekartoitus Etelä-Pohjanmaan metalli- ja puualan yrityksissä. 1999.
 2. Tiina Kankaanpää – Maija Luoma-aho – Heli Sinisalo. Kymmenen metrin kävelytestin suoritusohjeet CD-rom levyllä: aivoverenkiertohäiriöön sairastuneen kävelyn mittaaminen. 2000.
 3. Laura Elo. Arvojen rooli yritysmaailmassa. 2001.
 4. Nina Anttila. Päälle käyvää – vaatemaailma ikääntyvälle naiselle. 2002.
-

-
5. Jaana Jeminen. Matkalla muotoiluuyrittäjyyteen. 2002.
 6. Päivi Akkanen. Lypsääkö meillä tulevaisuudessa robotti? 2002.
 7. Johanna Kivioja. E-learningin alkutaival ja tulevaisuus Suomessa. 2002.
 8. Heli Kuntola – Hannele Raukola. Naisen kokemuksia minäkuvan muuttumisesta rinnanpoistoleikkauksen jälkeen. 2003.
 9. Jenni Pietarila. Meno-paluu –lauluillan tuottaminen. Produktion tuottajan käsikirja. 2003.
 10. Johanna Hautamäki. Asiantuntijapalvelun tuotteistaminen case: ´Avaimet markkinointiin, kehittyvän yrityksen asiakasohjelma -pilotti projekti´. 2003.
 11. Sanna-Mari Petäjistä. Teollinen tuotemuotoiluprosessi – Sohvapöydän ja sen oheistuotteiden suunnittelu. 2004.
 12. Susanna Patrikainen. Nuorekkaita asukokonaisuuksia Mode LaRose Oy:lle. Vaatemallien suunnittelu teolliseen mallistoon. 2004.
 13. Tanja Rajala. Suonikohjuleikkaukseen tulevan potilaan ja hänen perheensä ohjaus päiväkirurgisessa yksikössä. 2004.
 14. Marjo Lapiolahti. Maksuvalmiuslaskelmien toteutuminen sukupolven-vaihdostiloilla. 2004.
 15. Marjo Taittonen. Tutkimusmatka syrjäytymisen maailmaan. 2004.
 16. Minna Hakala. Maidon koostumus ja laatutekijät. 2004.
 17. Anne Uusitalo. Tuomarniemen ympäristöohjelma. 2004.
 18. Maarit Hoffrén. Vaihtelua kasviksilla. Kasvisruokalistan kehittäminen opiskelijaravintola Risetiin. 2004.
 19. Sami Karppinen. Tuomarniemen hengessä. Arkeista antologiaksi. 2005.
 20. Elina Syrjänen – Anne-Mari Uschanoff. Messut – ideasta toimintaan. Messutoteutus osana yrityksen markkinointiviestintää. 2005.
 21. Ari Sivula. Metahakemiston ja LDAP-hakemiston asennus, konfigurointi ja ohjelmointi Seinäjoen koulutuskuntayhtymälle. 2006. (verkkojulkaisu)
 22. Johanna Väliniemi. Suorat kaaret – kattaustekstiilien suunnittelu yhteistyössä tekstiiliteollisuuden kanssa. 2006.
-



Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Keskuskatu 34 PL 97, 60101 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-24-6
ISBN 978-952-5863-25-3 (verkkojulkaisu)

ISSN 1456-1743
ISSN 1797-5573 (verkkojulkaisu)