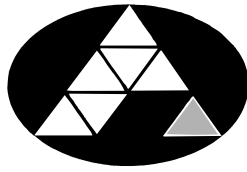


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Metsätalouden koulutusohjelma

Hanna Laine

**KANTOJEN ESIMURSKAUKSEN HYÖDYT JA KANNATTAVUUS**

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2012



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATTIKORKEAKOULU

## OPINNÄYTETYÖ

Tammikuu 2012

**Metsätalouden koulutusohjelma**

Sirkkalantie 12 A

80100 JOENSUU

p. (013) 260 6900 p. (013) 260 6901

Tekijä(t)

Hanna Laine

Nimike

Kantojen esimurskauksen hyödyt ja kannattavuus

Toimeksiantaja

Stora Enso

Tiivistelmä

Puun merkitys uusiutuvana energian lähteenä kasvaa koko ajan, ja puu on kilpailukykyinen uusiutumattomien energian lähteiden kanssa, kuten öljyn ja kivihiilen. Suuri osa ainespuuksi kelpaamatonta osaa voidaan hyödyntää energiapuuna. Kannot, oksat ja latvat ovat hyödynnettävissä avohakkuualoilta.

Kantoja nostettiin energiaksi jo 1970-luvulla. UPM aloitti toiminnan uudelleen 2000-luvun alussa, ja kantojen käyttö energianlähteenä on lisääntynyt koko ajan. Tiedossa on, että nostetut kannot säilyvät hyvin mutta suuret kantopalat sopivat energiaksi vain sellaisille laitoksille, joissa on käyttöpaikkamurskain. Kannot toimitetaan laitoksille esimurskeena ja murskeena. Esimurskauksella ja murskauksella tarkoitetaan kantopalojen murskaamista pieniksi paloiksi.

Tässä työssä tutkittiin onko kantojen esimurskaus kannattavaa ja mitä hyötyjä esimurskauksesta on. Kantopaloja, esimursketta ja mursketta oli varastoituna Etelä-Suomessa Biomurskaus Oy:n terminaalivarastossa syksyn 2010 ja kevään 2011 välisen ajan. Esimurskeen ja murskeen kosteuksia seurattiin ja tutkittiin, miten eri jakeet säilyvät. Esimurskeesta ja murskeesta otettiin näytteitä, pakattiin ne tiivisti pusseihin ja pahvilaitikkoihin ja lähetettiin Imatralle tarkkaa kosteusmittausta varten. Yhteensä mittaustapahtumia oli neljä.

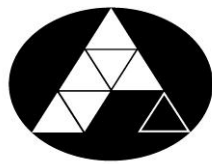
Tutkimuksen perusteella kantojen esimurskaus on kannattavaa ja sen avulla saadaan hyötyjä säilyvyyden, kuivumisen, kuljetuksen ja varastoinnin kannalta.

Kieli  
suomi

Sivuja 44  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 2

Asiasanat

metsäenergia, kannot, esimurskaus



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**January 2012**  
**Degree Programme in Forestry**  
Sirkkalantie 12 A  
FIN 80100 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 6900

Author(s)  
Hanna Laine

Title  
Benefits and Profitability of Stump Pre-Crushing  
Commissioned by  
Stora Enso

Abstract

The importance of wood as a source of renewable energy is increasing all the time. Wood is competitive with sources of non-renewable energy, such as oil and coal. A lot of wood which is unfit for pulp or timber can be used as energy wood. Stumps, branches and tops can be collected from clear-cut sites.

Stumps were lifted for energy as early as the 1970s. UPM started lifting again in the early 21st century, and the use of stumps as energy source has increased ever since. Lifted stumps keep well, but big stump chunks are suitable for energy only for big power plants which has an on-site crusher. Stumps are delivered to power plants pre-crushed or crushed. Pre-crushing and crushing mean stump crushing in small pieces.

This thesis researched the profitability and benefits of stump pre-crushing. Stumps, pre-crushed and crushed stumps were stored in Biomurskaus Oy's terminal in South Finland during the autumn of 2010 and the spring of 2011. The moisture of pre-crushed and crushed stumps was observed and the differences were researched. Samples were taken from the material, they were packaged tightly and sent to Imatra for moisture calibration. In total there were four measurement events.

The research indicates that stump pre-crushing is profitable. Benefits can be found pre-servability, drying, delivery and storage.

Language  
Finnish

Pages 44  
Appendices 2  
Pages of Appendices 2

Keywords

forest energy, stumps, pre-crushing

# Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto .....	5
2	Metsäenergia Suomessa .....	7
	2.1 Energialähteet.....	7
	2.2 Puu ja kannot energian lähteenä.....	9
3	Puu polttoaineena.....	10
	3.1 Puun ominaisuudet.....	10
	3.2 Metsähakkeen käyttö.....	11
4	Kantojen nosto .....	13
	4.1 UPM aloitti toiminnan .....	13
	4.2 Nostokohteet .....	13
	4.3 Kannon nosto ja maanmuokkaus yhdessä.....	15
	4.4 Kantojen kuljetus ja jatkokäyttö .....	16
5	Kantojen esimurskaus ja murskaus .....	17
	5.1 Esimurskaus .....	17
	5.2 Murskaus.....	19
6	Metsätehon tutkimus esimurskauksesta .....	20
7	Tutkimuksen tavoitteet.....	23
8	Aineisto ja menetelmät.....	23
9	Aineiston keruu ja käsittely.....	24
	9.1 Aineiston kerääminen .....	24
	9.2 Kosteusmittaukset .....	27
10	Tulokset.....	30
	10.1 Murskeiden kosteudet .....	30
	10.1.1 Marraskuun mittaus .....	31
	10.1.2 Helmikuun mittaus .....	31
	10.1.3 Kesäkuun mittaus.....	32
	10.2 Esimurskauksen hyödyt.....	34
	10.2.1 Säilyvyys .....	34
	10.2.2 Kuivuminen .....	35

10.2.3 Kuljetus.....	35
10.2.4 Varastointi.....	36
10.2.5 Seulakoko.....	36
10.3 Tienvarsimurskaus .....	37
11 Pohdinta .....	39
12 Tutkimuksen luotettavuus .....	40
Lähteet.....	41

#### Liitteet

Liite 1	Biomurskauksen toiminta laajei terminaalilla Mäntsälään
Liite 2	Tela-alustainen Morbark Woodhog 3800 Forest tuo tehokkuutta metsä- pään murskaukseen

## 1 Johdanto

Puun merkitys uusiutuvana energian lähteenä kasvaa koko ajan. Puu on kilpailukykyinen uusiutumattomien energian lähteiden kanssa, kuten öljyn ja kivihiilen. Se on uusiutuvana energian lähteenä huomattavasti ympäristöystävällisempi ja puhtaampi kuin uusiutumattomat lähteet. Energiapuuna voidaan hyödyntää suuri määrä ainepuuksi kelpaamatonta osaa. Oksat, latvat ja kannot ovat hyödynnettävissä avohakkuilta. Energia-puun käyttö on lisääntynyt sitten 90-luvun, ja sen käyttöä pyritään lisäämään koko ajan Kioton sopimuksen sekä Kansallisen metsäohjelman 2015 (KMO:n) avulla.

Kantopuu on hyvä ja arvokas bioenergian lähde. Hehtaarin alueelta saadaan kantoenergiaa noin 120–200 megawattia (MWh), joka riittäisi jopa 13 omakotitalon lämmittämiseen. Kantojen nostolla on muitakin hyviä puolia kuin suuri energiapitoisuus. Kannon nosto vähentää tukkimiehintäin tuhoja sekä maanmuokkauskustannuksia ja torjuu juurikääpää. Huonoja puolia taas ovat maan pinnan laaja-alaisen rikkoutumisen vuoksi normaalia suurempi vesakoituminen sekä ravinteiden väheneminen. Kantoja nostetaan vain kuusikkovaltaisilta päätehakkuilta. (Rönkkö 2009.)

Jotkin suuret voimalaitokset käyttävät kantoja energiana mm. sähkön tuottamiseen. Kantoenergia on kuitenkin vielä melko uusi asia. Kannot toimitetaan isoille laitoksille suuriina paloina. Tämä edellyttää, että laitoksella on käyttöpaikkamurskain, joka murskaa kannot pieneksi ”hakkeeksi”. Käyttöpaikkamurskain on suuri investointi, eikä pienemmillä voimalaitoksilla välttämättä ole mahdollisuutta hankkia sellaista. Ratkaisuna voisi olla kantojen esimurskaus terminaalivarastolla tai tien varressa.

Esimurskaaminen on kantopalojen murskaamista pienemmiksi osiksi. Esimurske voidaan toimittaa suoraan voimalaitokselle poltettavaksi. Kantojen tiedetään säilyvän hyvin pitkäaikaisessakin varastoinnissa, mutta esimurskeen säilyvyydestä ei ole tietoa. Tämän työn tarkoituksena oli tutkia kantojen esimurskauksen hyötyjä ja kannattavuutta. Miten esimurskeen koostumus ja kosteus muuttuu kesän vaihtuessa talveksi ja talven kevääksi, ja miten esimurske säilyy. Säilyvyyden lisäksi tutkitaan onko kannattavampaa kuljettaa

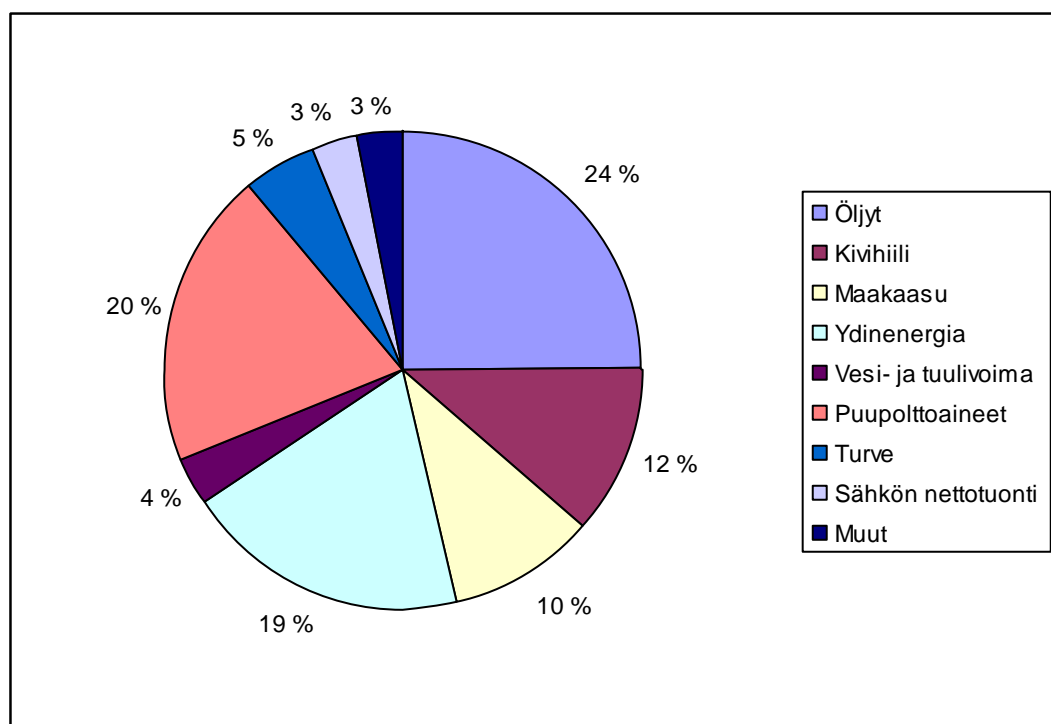
nostettuja kantoja kantopaloina vai esimurskeena. Esiin tulevat taloudelliset näkökulmat sekä ajankäytön merkitys.

Opinnäyteyön toimeksiantaja on Stora Enso. Opinnäyteyö on tehty yhteistyössä Biomurskaus Oy:n kanssa. Yhtiö murskaa ja hakettaa esimerkiksi risutukit ja kannot. Murskaus ja haketus tapahtuvat siirrettävillä mobiilimurskaimilla. Työn aineisto kerättiin Biomurskaus Oy:n murskaimilla yhtiön edustajan Petteri Pärhän, toimeksiantajan edustajan Teemu Mannisen sekä Antti Perhon kanssa elokuussa 2010.

## 2 Metsäenergia Suomessa

### 2.1 Energialähteet

Suomessa energia koostuu useista eri lähteistä. Energialähteet voidaan jaotella uusiutumattomiin ja uusiutuviin. Uusiutumattomia energiavaroja ovat mm. fossiiliset polttoaineet kuten kivihiihi ja öljy sekä ydinvoima. Uusiutuvia polttoaineita ovat mm. biopolttoaineet, kuten puu sekä vesi- ja tuulivoima.



Kuvio 1. Energialähteet vuonna 2009. (Tilastokeskus 2009.)

Kuviosta yksi nähdään, että öljy, puupolttoaineet ja ydinvoima ovat yleisimmät energian lähteet Suomessa. Vielä nykyään suurin osa Suomessa käytettävästä energiasta saadaan uusiutumattomista lähteistä. Öljy, kivihiihi, maakaasu ja ydinenergia muodostavat lähes  $\frac{3}{4}$  energian lähteistä. Uusiutuvista energialähteistä suurin on puupolttoaineet, joka on 20 % kaikista. Turpeen osuus on 5 % ja vesi- ja tuulivoiman osuus 3 %. (Tilastokeskus 2009.)

Vuonna 2009 uusiutuvan energian käytön osuus kaikesta käytetystä energiasta oli 19 %. Suomessa vastaava luku oli 25 %. Tärkein uusiutuvan energian lähde oli bioenergia,



84 %, ja seuraavana vesivoima, 13 %. Suomi kuuluu Ruotsin, Latvian ja Itävallan kanssa maailman johtaviin uusiutuvien energiamuotojen käyttäjiin. Suomessa on tavoitteena, että vuoteen 2020 mennessä uusiutuvan energian osuus energian loppukäytöstä on 38 %. (Motiva 2011.) Vuonna 2009 puun osuus uusiutuvan energian käytössä oli 77 %. (Tilastokeskus 2009.)

Suomessa käytetään paljon energiaa henkilöä kohti. Kylmä ilmasto, pitkät etäisyydet sekä teollisuus, joka käyttää paljon energiaa, vaikuttavat tähän. (Ympäristöministeriö 2011.) Suomi onkin riippuvainen metsävaroistaan koska meiltä ei löydy fossiilisia polttoaineita. Runsaat metsävarat ja vahva metsäteollisuus luovat hyvät puitteet uusiutuvan energian ja erityisesti puupolttoaineiden käytölle.

Nykyajan energia- ja ilmastopolitiikka kannustaa uusiutuvien energiamuotojen käyttöön ja Suomi on tässä vahvassa asemassa. Erilaisilla sopimuksilla pyritään vähentämään päästöjä. Esimerkkinä vuonna 1997 solmittu Kioton sopimus, jossa sovittiin kasvihuonekaasupäästöjen palauttamisesta vuoden 1990 tasolle. Teollisuusmaiden tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä alentaa vielä päästöjä 5,2 % vuoden 1990 tasosta. Euroopan Unionin jäsenmaat ovat jakaneet tätä tavoitetta jäsenmaiden kesken, ja Suomen tavoite on vuoteen 2020 mennessä saada päästöt samalle tasolle kuin mitä ne olivat vuonna 1990. (Suomen Metsäyhdistys. 2011.)

Taulukko 1. Energian hintoja lämmöntuotannossa kesäkuussa 2011. (Tilastokeskus 2011.)

ENERGIAN LÄHDE	HINTA €/MWh
Kevyt polttoöljy	106,56
Puupelletti	52,6
Kotitaloussähkö	152,3
Kivihiili	30,52
Maakaasu	42,71
Metsähake	18,72
Jyrsinturve	12,7

## 2.2 Puu ja kannot energian lähteenä

Puu on hyvä uusiutuvan energian lähde ja sen merkitys kasvaa jatkuvasti. Puupohjaiset polttoaineet korvaavat uusiutumattomia energialähteitä, kuten öljyä ja kivihiiltä, nyt ja jatkossa. Hakkuiden yhteydessä jää paljon puuta, joka ei kelpaa ainespuuksi ja sitä voidaan hyödyntää energiana. Hakkuutähteet ja kannot ovat hyvä energian lähde, ja energiapuun käyttöä pyritään lisäämään koko ajan mm. Kansallisen metsäohjelman (KMO) 2015 avulla. Energiapolitiikka on Suomessa suotuista biopolttoaineille.

Metsäteollisuuden energiasivutuotteet ovat edelleen merkittävin puupolttoainelähde. Vuonna 2010 puupolttoaineita käytettiin 16 miljoonaa kuutiometriä. Metsänomistajarakenteen muuttuminen on haaste myös uusiutuvan energian käytön lisäämisessä. Tulevaisuudessa pieniä metsätiloja on enemmän, metsien taloudellinen merkitys vähenee ja epätietoisten metsänomistajien määrä kasvaa. Ei tiedetä tarpeeksi metsäasioista ja epäroйдään kysyä. Tulevaisuudessa, ja miksei jo nytkin, tulisi bioenergia-alalla panostaa metsänomistajien neuvontaan, ja etenkin puukauppoja tekeville metsänomistajille tulisi kertoa, että metsästä saa uusiutuvaa energiaa, kuten latvukset, kannot ja risut. Energiapuuhakkuille saa lisäksi ainakin toistaiseksi Kemera-tukea, mikä osaltaan kannustaa ihmisiä energiahakkuihin.

Puubiomassa eroaa muista polttoaineista uusiutuvuutensa ja ominaisuuksiensa puolesta. Puu sitoo hiiltä ja puun palaessa hiili kiertää ilmakehän ja biomassan välillä lisäämättä ilman hiilidioksidipitoisuutta. Puun korjuussa, kuljetuksessa ja tuotannossa pääsee kuitenkin jonkin verran hiilidioksidia ilmakehään, joten aivan hiilidioksiditontakaan puun energiakäyttö ei ole. Päästöt tosin ovat hyvin pienet. Metsäpolttoaineiden energiasisältö verrattuna muihin polttoaineisiin: 1,6 i-m<sup>3</sup> polttohaketta vastaa 106 kg kevyttä polttoöljyä ja 179 kg kivihiiltä. (Korhonen 2006.)

Polttoaineiden keskeisimpiä ominaisuuksia ovat lämpöarvo ja kosteus sekä tiheys ja palakoko. Kosteusprosentti on puulla merkittävä tekijä ja tuoreella puulla se vaihtelee 40–60 % kokonaismassasta. Suurille laitoksille puu kelpaa kosteanakin, mutta pienkaupassa esimerkiksi polttopuina, puun on oltava tarpeeksi kuivaa, kosteus alle 25 %, jotta puu ei homehdu tai jäädy. Muihin polttoaineisiin verrattuna metsäpolttoaineiden ongelmana on

alhainen energiatiheys. Tämä tarkoittaa sitä, että puuta on varastoitava huomattavasti enemmän ja näin ollen varastotilan tarve kasvaa. Silti pidän puulla lämmittämistä huomattavasti ekologisempänä ja kannattavampana kuin esim. öljyllä tai kivihiilellä. Tällä hetkellä turve on edullisinta lämmitysmuodoista ja kalleinta on odotetusti sähkö. Taulukosta yksi nähdään tavallisimpien energianlähteiden hintoja kesäkuussa 2011. Hintoihin sisältyy arvonlisävero (alv), joka kevyellä polttoöljyllä, pelletillä ja sähköllä on 23 %. Muilla alv on 0 %. (Korhonen 2006.)

Rankahaketta ja kokopuuhaketta käytetään energiana hieman pienemmissä laitoksissa. Kaikkein pienimmissä ”laitoksissa”, kuten esimerkiksi maataloilla, hakkeen laadun on oltava tasaista ja puhdasta. Hieman isommissa, 200 kWh – 1000 kWh, laitoksissa hakkeen laadulla ei enää ole niin suurta vaatimusta, mutta kosteuden on oltava alle 40 %. Kantohake on erinomainen polttoaine, ja sitä käytetään yli 5 MWh:n voimaloissa, jotka ovat investoineet murskaustekniikkaan eli käyttöpaikkamurskaimiin.

### **3 Puu polttoaineena**

#### **3.1 Puun ominaisuudet**

Puu on hygrooskooppinen aine eli se imee vettä itseensä, myös ilmasta, ja luovuttaa sitä kuivuessaan. Puun kosteus muuttuu ilman kosteuden ja lämpötilan mukaan ja puu pyrkii saavuttamaan tasapainokosteuden. Tasapainokosteudessa haihtuvan veden ja sitoutuvan veden määrä ovat yhtä suuria. Puun kosteus muuttuu koko ajan, koska luonnon olosuhteet muuttuvat. Tuoreen puun kosteuteen vaikuttavia tekijöitä ovat vuodenaika, puulaji, puunaineen tiheys sekä puulaji. Puun kosteus kasvaa rungon tyviosasta latvaan mentäessä, ja lisäksi oksien kosteus on hieman puun rungon kosteutta suurempi. (Perho 2010.)

Energian käytön kannalta puun tärkeitä ominaisuuksia ovat tiheys, kosteus, kemiallinen koostumus, tuhkapitoisuus ja lämpöarvo. Kiinteä puupolttoaine koostuu palavasta aineksesta, tuhkaa muodostavasta aineksesta sekä vedestä. Näistä tärkein on palava aines,

joka koostuu hiilestä, timestä, vedystä, rikistä ja hapesta. Neulaset sisältävät haitallisia mineraaliyhdisteitä, ja tämän takia hakkuutähteet kerätään vasta kun neulaset ovat karisseet maahan. (Laitinen 2005, 4.)

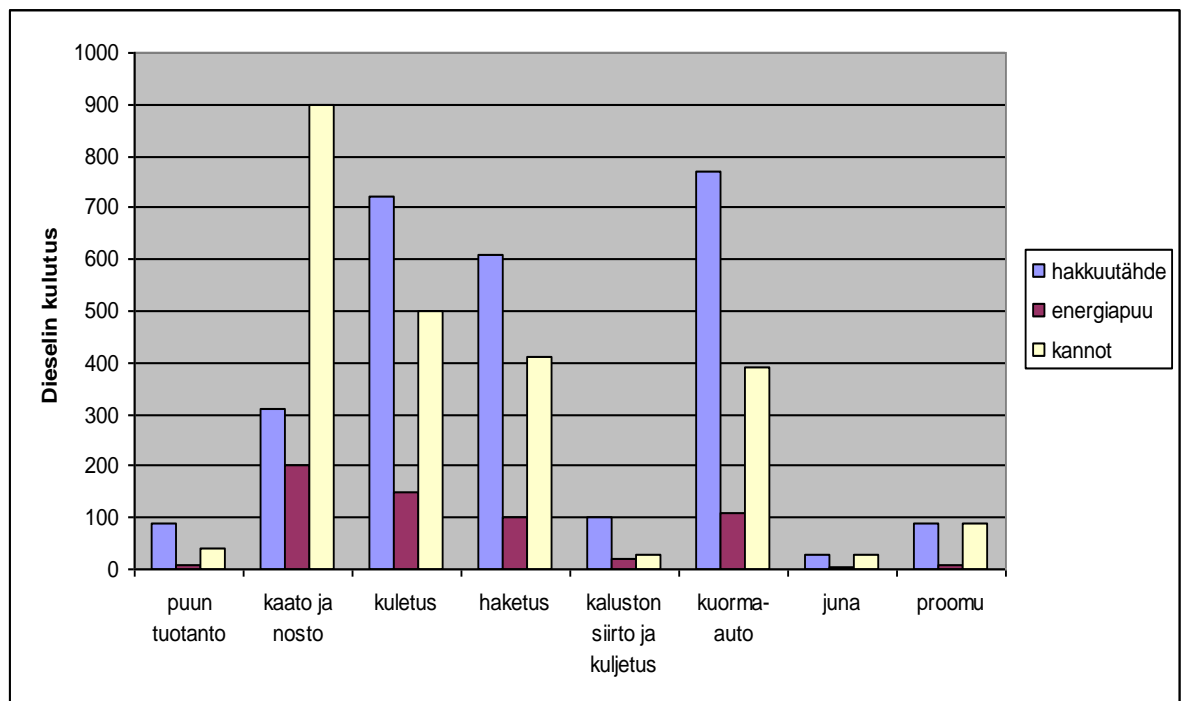
Jokaisella puulajilla on oma lämpöarvonsa, ja tämä pätee myös kantoihin ja juurakoihin. Lämpöarvo kertoo, kuinka tehokkaasti poltettava puu lämmittää, ja se ilmoitetaan yleensä MJ:na/kg. Mitä kuivempaa puu on, sitä suurempi on lämpöarvo. Eri puulajit eivät suuresti eroa lämpöarvoltaan toisistaan. Männyn kantojen tehollinen lämpöarvo on hieman korkeampi kuin kuusella. Männyllä lämpöarvo kuivaa puukiloa kohti on 19,5 MJ/kg ja kuusella se on 19,1 MJ/kg. Männyn kannon suurempi tehollinen lämpöarvo johtuu suuresta pihkapitoisuudesta, joka on 7,5 % kun vastaava luku kuusella on 2,6 %. Kilowattitunneiksi muutettuna männyn lämpömäärä kWh kg:aa kohti on 4,15; kuusella tämä on 4,10 kWh/kg, koivulla 4,15 kWh/kg, lepällä 4,05 kWh/kg ja haavalla 4,00 kWh/kg. (Laitila 2010, 5.)

### **3.2 Metsähakkeen käyttö**

Puusta saadaan erilaisia puupolttoaineita, joita ovat metsähake, kuori, purut ja teollisuuden puutähdehake. Metsähake on yleisnimitys metsästä korjattavalle polttohakkeelle. Puuta on käytetty lämmitykseen jo vuosituhansia. Puuta on ollut aina helppo käsitellä ja sen keräämiseen ei ole tarvittu kallista teknologiaa ja sitä löytynyt aina aivan käden ulottuvilta. Perinteinen polttopuu on edelleen yksi merkittävimmistä uusiutuvan energian lähteistä Suomessa. Metsähakelajeihin kuuluu kanto-, ranka-, kokopuu- ja hakkuutähdehake. Puupolttoaineista eniten käytetty on kuori.

Metsähakkeen suosio on vakiintunut. Aikaisemmin metsähakkeen käytön nousu ja lasku on ollut yhteydessä öljyn hintaan ja aina kun öljyn hinta on ollut alhaalla, myös metsähakkeen käyttöaste on ollut pieni. Puupelletit ovat vielä melko uusi asia, mutta pelletit ovat saaneet hyvän vastaanoton ja niiden käyttö on lähtenyt hyvin käyntiin. Nykyään metsästä otetaan hakkuun yhteydessä melkein kaikki mahdollinen talteen. Hakkuutähteet kerätään lähes jokaiselta avohakkuulta ja tähteistä tehdään haketta. (Laitinen 2005, 3.)

Biodieseliä on perinteisesti valmistettu viljasta, mutta nyt sitä on alettu valmistaa myös puusta. Stora Enson ja Neste Oil tekivät pilottihankkeen biodieselin valmistuksessa. Varkaudessa on Stora Enson ja Neste Oil:n koelaitos, jossa on kaasutusprosessi käynnissä. Kaasutus korvaa raskaan polttoöljyn käytön. Kaasutusprosessi sekä tuottaa että kuluttaa energiaa. Mahdollisesti myöhemmin biodiesel on myös kuluttajien käytössä. Uusien biodiesel tehtaiden mahdollinen sijainti paikka on Porvoo tai Imatra. Visiona on, että tulevaisuudessa biopolttoainetta valmistavia laitoksia voitaisiin rakentaa ympäri maailmaa sellu- ja paperitehtaiden yhteyteen. Tulevaisuus näyttää, voimmeko jatkossa tankata autoihimme ekologista ja halpaa puubiodieseliä. (Manninen 2012.)



Kuvio 2. Dieselin kulutus tuhansina litroina metsähakkeiden tuotannossa. (Metsäteho 2009.)

## 4 Kantojen nosto

### 4.1 UPM aloitti toiminnan

Kantoja nostettiin energiaksi jo 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa. 1970-luvun metsäenergiainnostus johtui öljykriiseistä, ja 80-luvulla innostuksen hiipumisen syynä oli mm. kivihiilen ja öljyn halpa hinta. Toiminta oli kuitenkin kannattamatonta korkeiden kustannusten takia ja kantojen käyttö energiana hiipui. Toiminta heräsi uudelleen henkiin 2000-luvun alussa, kun UPM Metsä alkoi Keski-Suomessa toimittaa kantoja, muun energiapuun lisäksi, voimalaitokselle Jämsänkoskelle. Kantojen korjuu energian tuotantoon on lisääntynyt huimaa vauhtia 2000-luvun alusta lähtien. (Rönkkö 2009.)

Vuonna 2004 kantohaketta käytettiin energiana lämpö- ja voimalaitoksissa 144 000 m<sup>3</sup>, ja vuonna 2008 luku oli jo 600 000 m<sup>3</sup> (Laitila 2010, 5). Vuonna 2010 vastaava luku oli 800 000 m<sup>3</sup>. Stora Enso nostaa kantoja n. 50 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Metsäntutkimuslaitoksen MELA-laskelman mukaan kantojen korjuumahdollisuudet vuonna 2020 ovat 4,7 miljoonaa m<sup>3</sup> vuodessa, kun ainespuukorjuu ja hakkuupoistuman rakenne ovat samat kuin vuosien 2004–2008 hakkuissa keskimäärin (Laitila 2010, 3). Kannot ovat erittäin hyvä energian lähde. Hehtaarin suuruiselta pinta-alalta saadaan noin 120–200 MWh energiaa, joka riittäisi jopa 13 omakotitalon lämmitykseen vuodeksi. (Rönkkö 2009, 7.)

### 4.2 Nostokohteet

Kantojen korjuu tapahtuu lähes yksinomaan päätehakkuualoilta, jotka ovat kuusivaltaisista. Männyn kantoja korjataan vain vähän tonteilta, pellonraivausmailta, turvesoilta tai maanrakennustyömailta. Noston yhteydessä kannosta ravistetaan ylimääräinen maaines ja kivet pois ja se halkaistaan 2 - 4 osaan koosta riippuen. Noston jälkeen kannot jätetään palstalle kuivumaan pieniin palstakasoihin. Palstakasat kerätään tienvarteen isoksi kasaksi. Välivarastoinnissa on noudatettava puutavaran varastointia ja kuljetusta koskevia säädöksiä sekä Tiehallinnon puutavaran kuljetusta yleisillä teillä käsittelevää ohjetta.

Kannot välivarastoidaan korkeintaan viisi metriä korkeisiin ja vakaisiin kasoihin, lisäksi kantovarastoon on hyvä kiinnittää varoitusmerkkejä, kuten ”Älä kiipeä” ja ”sortumavaara” (kuva 1). Välivarastosta kannot kuljetetaan joko terminaaliin murskattavaksi ja tämän jälkeen lämpö- tai voimalaitokselle tai suoraan laitokselle, jossa on käyttöpaikkamurskain. Terminaalissa yleensä kannot murskataan esimurskaimella, joka oikeastaan repii kannot pieniksi palasiksi. Esimurske voidaan murskata vielä pienemmäksi murskaimella. (Halonen, Kuusinen & Äijälä. 2005.)

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio on laatinut kriteeristön koskien energiapuun korjuuta; Energiapuun korjuun laatukriteerit uudistushakkuille sisältää kriteerit myös kantojen korjuuseen. Kriteeristössä on tarkoin kerrottu kantojen korjuuseen soveltuvat kohteet, vesiensuojelutoimenpiteet, korjuun työnjälki yms.

Nostokohteilla männyn kannot jätetään yleensä jättökannoiksi ja koivun kannot jätetään myös nostamatta hankalan juuristonsa takia (Laitila 2010, 5). Lämpimiltään alle 15 cm:n kantojen nosto ei ole taloudellisesti kannattavaa, ja se on Tapion suositusten mukaan. Eri puulajien kantoja pitää jättää 20–25 kpl hehtaarille (ha), myös yli 15 cm paksumia (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010a, 20). Ennen kannonnostoa uudistusosalta kerätään hakkuutähteet pois. Runkopuuhun verrattuna kanto- ja juuripuuta kertyy hakkuualoilta vain noin kolmannes. Kannonnostoon järkevä alue on minimissään 1–2 hehtaaria. Paljon tätä pienemmiltä alueilta ei kannata lähteä kantoja nostamaan.

Tuoreet ja sitä rehevämät kankaat ovat otollisia kannonnostolle, kun taas liian hienojakoisille maille sekä kivikoille ja jyrkille rinteille ei nostoa suositella. Alueilta, joilla on metsäluonnon arvokkaita elinympäristöjä, lahoppuustoa, kanalintuja jne., on kantojen nostaminen kielletty (PKAMK, 2010). Kantojen korjuukausi on lumettomana ja roudattomana aikana eli touko-marras/joulukuussa. Suomessa kannot korjataan telalustaisella kaivinkonekalustolla. (Laitila 2010, 6.) Kuusivaltaisessa metsässä kannonnostoon kuluu aikaa 8–12 tuntia hehtaaria kohden (Metsäkeskus Keski-Suomi 2010).

Kuusenkanto on noston kannalta ihanteellinen, koska juuret ovat lähellä maanpintaa. Tällöin maa-aines irtoaa helposti ja maahan jää vain pieni kuoppa. Kuusen kanto- ja juuripuun tilavuus on noin kolmasosa runkopuun tilavuudesta, mutta metsävarastosaldo on usein noin 20 % jätettävistä kannoista johtuen. Hyvästä kuusikosta kertyy jopa yli

100 m<sup>3</sup>/ha saantoa, joka on energiaksi muutettuna n. 200 MWh/ha. (Metsänhoitoyhdistys Teljä 2010.) Omakotitalon energiankulutus on keskimäärin 18 000 kWh/vuosi, joka on 18 MWh (Vattenfall 2006.)

Uuden ilmastaselvityksen mukaan kantojen ja metsähakkeen poltto aiheuttaa kivihiileen verrattavat päästöt. Metsään jätetyt kannot lahoavat uudistusaloilla hitaasti ja päästävät ilmaan hiiltä hitaalla vauhdilla, ja näin muodostavat pitkäaikaisen hiilivaraston. Pitkällä aikavälillä, esimerkiksi 80 vuoden aikana, kantojen korjuu ja polttaminen kuitenkin aiheuttaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin kivihiilen polttaminen. Ilmasto-olot ja tärteiden ominaisuudet vaikuttavat päästöjen määrään. Päästöistä ei vielä tiedetä paljon, ja aihetta tutkitaan Metsäntutkimuslaitoksessa (Metlassa). (Manninen 2012.)



Kuva 1. Nostettuja kantoja terminaalissa varastossa

#### **4.3 Kannon nosto ja maanmuokkaus yhdessä**

Kannonoston yhteydessä voidaan tehdä maanmuokkaus samalla, jolloin aikaa säästyy 40 % verrattuna erilliseen muokkaukseen (Saksa 2009, 7). Samanaikaisen muokkauksen riskinä kuitenkin on, että kun kannot kuljetetaan palstalta tienvarteen, osa maanmuok-



kausjäljestä tuhoutuu. Tällöin erillinen muokkaus olisi parempi vaihtoehto. Kannonnosto nopeuttaa muokkaus- ja istutustyötä. Stora Enso suosittelee erillistä maanmuokkausta, mutta metsänomistaja voi valita maanmuokkauksen tehtäväksi kantojen noston yhteydessä. Tällöin hän ei saa ns. Takuumetsää, joka tarkoittaa sitä, että uudistamistöillä on takuu. Jos metsänomistaja valitsee kalliimman tavan uudistamistöille, eli kannonnosto ja muokkaus erikseen, hänellä on mahdollisuus ottaa takuu erikseen uudistamistöille. Stora Enso maksaa kannoista ainespuu kuutiometriä perusteella ns. kantohintaa.

Kantojen nostolla on positiivisia vaikutuksia metsän tuholaiden kannan pienenemiseen. Juurikäävän tuhoamalla alueilla kantojen nostaminen pysäyttää taudin. Tukkimiehet ei pääse leviämään helposti, koska noston yhteydessä paljastuu paljon kivennäismaata, jolla tuholainen ei viihdy. Huonoiksi puoliksi kannonnostossa on koettu monimuotoisuuden kärsiminen, maaperän köyhtyminen, ravinnehävikki sekä hieskoivun liiallinen leviäminen. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 20.) Kantojen noston yhteydessä rikkoutuu maanpintaa 65–90 %, kun taas tavallisessa maanmuokkauksessa vastaava luku on 20–30 %. Tämä johtaa siihen, että hieskoivu valtaa uudistusaloja ja näin lisää taimikonhoitokustannuksia. (Saksa 2009, 10.)

#### **4.4 Kantojen kuljetus ja jatkokäyttö**

Kannonnoston yhteydessä pilkotut kannot saattavat olla tien varressa varastoituna yli vuoden. Tämän jälkeen kannot tyypillisesti kuljetetaan kanto-autoilla isoille energialaitoksille, jossa ne murskataan kiinteillä käyttöpaikkamurskaimilla. Vuonna 2010 käyttöpaikkamurskaamisen osuus kannoilla oli 50 % kokonaistuotantomäärästä, kun taas vuonna 2009 lukema oli 70 %. Käyttöpaikalla murskaus/haketus sopii suurten investointikustannusten takia vain suurille voimalaitoksille. Enocell:lla on käytössään oma käyttöpaikkamurskain, ja sellainen on rakenteilla Jyväskylään Keljonlahdelle. (Bio-Energia 2011, 18; Metsäalan Ammattilehti 2011.)

Viime vuosien aikana kantoja on alettu käyttää monipuolisemmin. Käyttäjäkuntaan on tullut muitakin kuin suuria voimalaitoksia ja näillä laitoksilla ei ole käyttöpaikkamurs-

kaimia. Nämä laitokset saavat energiakantonsa jostakin alihankkijalta valmiina murskeena. Kantojen terminaalimurskaus, esimurskaus, on kasvattanut suosiotaan kantojen käytön lisääntymisen myötä. Vuonna 2010 terminaalimurskauksen osuus oli 41 % ja vuonna 2009 28 %. (BioEnergia 2011, 19; Metsäalan Ammattilehti 2011.)

Metsä- ja kantohakkeen käyttömäärän lisäys tulevaisuudessa kasvattaa kuljetusmatkoja ja kustannuksia. Liikennepolttoaineiden hinnan nousu ohjaa kuljetuksia maanteiltä muille väylille. Tämä tarkoittaa sitä, että junien ja proomujen käyttö hakkeen kuljetuksessa lisääntyy.

## **5 Kantojen esimurskaus ja murskaus**

### **5.1 Esimurskaus**

Kantojen esimurskauksella tarkoitetaan kannonnoston yhteydessä pilkottujen kantojen, kantopalojen, murskaamista pienemmiksi paloiksi. Esimurskain ei periaatteessa murskaa vaan se repii kantopaloja pienemmiksi. Esimurskaukseen on kehitetty esimurskaimia. Kantojen esimurskausta on tehty ainakin Crambo-, Arjes- ja Hammel – murskaimilla, jotka kaikki ovat hidaskäyntisiä, mikä tarkoittaa sitä, että murskain ei pyöri kovalla nopeudella ja se säättää itse kierrosnopeuden. Näissä murskaimissa on yleensä käytössä myös harvat seulat, joista menee läpi myös hieman suurempi kantopala, eli lopputuote on hieman suurempaa. Seula tarkoittaa niin sanottua vastateräverkkoa, eli pienempi aines putoaa seulan läpi. Seulan kokoa voidaan vaihtaa halutunlaiseksi.

Esimurskaimet ovat suuria, ja harvat käyvät metsässä palstalla murskaamiseen (kuva 2). Tienvarressa murskaamiseen esimurskain soveltuu. Tarvitaan vain tarpeeksi tilaa. Palstalla murskaamista varten on kehitelty ketteriä, ahtaille ja huonosti kantaville pohjille soveltuvaa murskauskalustoa, jolla käyttökustannukset, eli polttoaine-, terä- ja huoltokustannukset ovat pienempiä kuin esimurskaimella. (Kärhä ym. 2011, 19.)



Kuva 2. Crambo 6000 esimurskain.



Kuva 3. Esimurskain



Kuva 4. Esimurskaimen teriä.

## 5.2 Murskaus

Kantojen murskaamisella tarkoitetaan kantopalojen murskaamista vielä pienemmiksi kuin esimurskaamisessa. Murskaus tapahtuu yleensä esimurskauksen jälkeen. Murskauksessa lopputulos on yleensä hienoa jaetta, ja murska kelpaa pienemmillekin laitoksille polttoon juuri hienojakoisuutensa puolesta. Esimurskaimen ja murskaimen erona on käyntinopeus: murskain on nopeakäyntinen. Murska ei tosin ole yhtä hienojakoista, kuin esimerkiksi oksista tai energiapuurungoista tehty hake.

Herää ehkä kysymys, miksi kantopaloja ei syötetä suoraan murskaimeen, vaan välissä on usein esimurskaus. Syynä tähän on kantopalojen epäpuhtaus. Kantoja nostettaessa irtomaata ja kivet pyritään ravistelemaan pois kannosta mahdollisimman hyvin. Silti mukaan jää enemmän tai vähemmän maata ja kiviä maalajista, maan kosteudesta ja säästä riippuen. Irtomaata, kiviä yms. kutsutaan rejektiksi.

Kannot syötetään yleensä ensin esimurskaimeen, koska se ei ole niin herkkä rejektin suhteen. Esimurskaimessa on suurempi seula, jolloin kivet yms. menevät seulan läpi eivätkä riko koneen teriä (kuva 4). Murskaimessa on pieni seula, ja rejekti rikkoo helposti kalliita osia koneesta. Esimurskainkaan ei pysty kaikkeen: kantojen koollakin on merkitystä. Liian suuret ja ”monimutkaiset” kannot sekä huonosti paloitellut eivät sovi esimurskaimeen.



Kuva 5. Esimurskaimeen soveltumattomia kantoja.

## 6 Metsätehon tutkimus esimurskauksesta

Kalle Kärhä, Antti Hautala ja Arto Mutikainen ovat tutkineet kantojen esimurskauksen tehotuntituottavuutta Crambo 5000 –murskaimella. Tutkimuksessa tarkasteltiin kantojen esimurskauksen ajanmenekkiä, tuottavuutta sekä polttoaineen kulutusta. Metsäteho käynnisti vuonna 2010 Metsähakkeen tuotantoketjujen tehostaminen –projektin. Projektissa tutkitaan erilaisia metsähakkeen tuotantoketjuvaihtoehtoja ja niiden kustannustehokkuutta. Kärhän, Hautalan ja Mutikaisen tutkimuksessa käytettiin samaa murskainta jota käytettiin myös omassa selvityksessäni. Crambo –murskain on itävaltalaisen

Komptech GmbH:n valmistama ja sitä tuo Suomeen Vimmelco Oy. Näitä murskaimia saa vaihtolava-, perävaunu-, ja telaketjualustaisena. (Kärhä ym. 2011, 18–19.)

Kärhän, Hautalan ja Mutikaisen tutkimuksessa kannot esimurskattiin kahdella eri seula-koolla, ja seuraavana päivänä esimurskauksesta kantoerät murskattiin kahdella eri koneella. Tutkimus paljastaa, että esimurskauksessa seula-koolla on iso vaikutus polttoaineenkulutukseen. Tiheällä seulalla murskattaessa polttoainetta kului keskimäärin 0,6 litraa tunnissa, ja harvalla seulalla murskattaessa kulutus oli vain 0,33 litraa tunnissa. Tiheällä seulalla murskattaessa tehotuntuottavuus oli 55 i-m<sup>3</sup> tunnissa, kun taas harvalla seulalla tehotuntuottavuus oli 171 i-m<sup>3</sup> tunnissa. Tiheällä seulalla syntyi huonompilaatuista murskettä. Tutkimus osoitti myös, että tienvarsivarastolla voidaan murskata kantoja tehokkaasti. (Kärhä ym. 2011, 20.)

Tuloksista voidaan päätellä, että harvalla seulalla esimurskaaminen on kannattavampaa kuin tiheällä seulalla. Polttoaineen kulutus on puolet pienempi, ja laatukin on parempaa. Tiheällä seulalla murskattaessa murskain käy isommilla kierroksilla ja se joutuu tekemään enemmän töitä kantopalojen pienentämiseksi. Tämä aiheuttaa suuremmat polttoainekulut. Tiheällä seulalla murskattaessa myös isot kivet osuvat herkästi teriin ja jäävät jumiin murskaimeen, koska kivet yms. eivät pääse putoamaan pois seulan läpi. Tämä taas aiheuttaa lisää kustannuksia, koska terät menevät pilalle ja ne joudutaan vaihtamaan uusiin.



Kuva 6. Esimurskaimen läpi menneitä kiviä.



Kuva 7. Uusi terä ja kaksi loppuun käytettyä terää.

## 7 Tutkimuksen tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kantojen esimurskauksen hyötyjä taloudellisesti, ajallisesti ja energian näkökulmasta. Taloudellisuuteen liittyvät kantojen/murskeen kuljetuskustannukset sekä varastointi. Esimurskauksella voidaan lyhentää kannon kiertoaika metsästä polttoon huomattavasti, mutta miten. Kannot ovat mainio energian lähde ja lämpöarvoltaan ne sopivat hyvin lämpö- ja voimalaitosten energiaksi.

Kuormakoko liittyy olennaisesti kuljetuskustannuksiin. Kuorman kokoon vaikuttavat kuljetettavan aineksen muoto sekä se kuljetetaanko ns. ilmaa välissä. Työssä selvitetään kuormakoon merkitystä kun kyseessä on kannot, esimurske ja murske.

## 8 Aineisto ja menetelmät

Opinnäytetyössä käytettiin kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusta. Hypoteesina oli, että kantojen esimurskauksella voidaan nopeuttaa kannon kiertoa nostosta polttoon. Työssä käytettiin laskennallisia menetelmiä kosteuksien mittausten tulosten saamiseksi. Tulokset laskettiin, syötettiin Exceliin ja havainnollistettiin taulukkoina.

Opinnäytetyötä varten alettiin keräämään aineistoa jo elokuussa 2010 harjoittelujakson yhteydessä. Yhteistyötä tehtiin Biomurskaus Oy:n kanssa, joka nostaa ja murskaa kantoja Etelä-Suomen alueella, ja Anssi Martikaisen kanssa, joka nostaa ja murskaa kantoja Etelä-Savon alueella. Lisäksi elokuussa 2011 tutustuttiin Etelä-Savon Energia Oy:n, ESE:n, Pursialan voimalaitokseen Mikkelissä, joka tuottaa sähkö ja lämpöä.

Pursialan voimalaitoksessa käytetään polttoaineena puuta ja turvetta. Puu tulee voimalaitokselle hakkeena ja kantoesimurskeena. Turpeen osuus on 33 % ja puupolttoaineiden osuus on 66 %, joista 16 % on metsähaketta ja 44 % teollisuuden sivutuotteita. Puuta poltetaan noin 1 000 i-m<sup>3</sup> päivässä. Kantomursketta poltetaan muutama kuorma päiväs-



sä. Etelä-Savon Energialla ei ole käytössään käyttöpaikka murskainta, joten kannot tulevat voimalaitokselle valmiina esimurskana. ESE:lla esimurske syötetään 180 \* 120 mm kiekoseulalle ja tästä yli menevä jae syötetään murskaimeen. (Etelä-Savon Energia, 11/2011.)

ESE:lla on yhteensä 24 raaka-aineen toimittajaa ja kentälle mahtuu 18 000 – 19 000 i-m<sup>3</sup> tavaraa. Kannot ovat hyvää polttoainetta, mutta huonoina puolina on epäpuhtaus, kova hinta ja paljon työvaiheita, jotka vievät aikaa. Kantojen esimurskauksella voidaan lyhentää työvaiheita vievää aikaa sekä hintaa. Etelä-Savon Energian Pursialan voimalaitoksella on visioita kantojen käytöstä tulevaisuudessa. Yrityksessä haluttaisiin, että esimurska olisi valmiina terminaalissa kuivumassa, jolloin siitä lähtisi epäpuhtaudet pois. Lisäksi voitaisiin käyttää esimurskan ja murskan sekoitusta jolloin osa jakeesta olisi pienempää ja seulat eivät menisi helposti tukkoon. (Etelä-Savon Energia, 11/2011.)

## **9 Aineiston keruu ja käsittely**

### **9.1 Aineiston kerääminen**

Aineiston keruu tapahtui Orimattilan Viljaniemessä sijaitsevassa kantoterminaalissa. Murskattavat kannot oli ajettu Sipoosta uudistushakkuutyömaalta aineiston keruuta edeltävänä päivänä ja kantopalakuormat oli punnittu Keravan Energian siltavaa'alla. Kantokuormia ajettiin Sipoosta samalta kannon nostotyömaalta Orimattilaan yhteensä 10 kuormaa. Kuormien painot on kerrottu taulukossa kaksi. Kuusien kannot esimurskattiin aluksi kahteen osaan. Tämän jälkeen toinen kuorma murskattiin vielä hienommaksi jakeeksi murskaimella. Esimurskaa ja murskaa kuljetettiin kumpaakin kaksi kuormaa yhdistelmäajoneuvolla Heinolaan voimalaitokselle. Terminaaliin jätettiin varastoon kantoja, esimursketta ja mursketta ja näistä seurattiin kosteuksia sekä sitä, miten eri lajikkeet säilyvät.

Selvitys alkoi 17.8.2010 Orimattilassa Viljaniemen kantoterminaalissa. Mukana olivat opinnäytetyön tekijän lisäksi Biomurskaus Oy:n toimitusjohtaja Petteri Pärhä, Stora En-

so Metsän Etelä-Suomen esikunnan metsäenergiaesimies ja toimeksiantajan edustaja Teemu Manninen ja Stora Enso Metsän bioenergiaharjoittelija Antti Perho. Tällöin kannot esimurskattiin, ja osa vielä murskattiin uudelleen. Esimurskauksessa käytettiin itävaltalaisvalmisteista Crambo 5000 –murskainta, ja murskaamiseen yhdysvaltalaisista Peterson 8700B –murskainta. Murskaimet on rakennettu kaksi akselisiin puoliperävau-nuihin, ja niitä on näin ollen helppo siirtää paikasta toiseen.

Kannot esimurskattiin ensin. Kantopalat syötettiin nosturilla esimurskaimeen, josta ne putosivat kentälle. Tehty esimurske kuormattiin pyöräkuormaajalla yhdistelmäajoneu-voon, jonka tilavuus oli 120 i-m<sup>3</sup> ja paino 27 400 kg. Pyöräkuormaajan kauhassa oli vaaka, joka mittasi jokaisen kauhakuormallisen. Näin saatiin tietoa siitä, kuinka paljon yhdistelmäajoneuvon kyytiin mahtui. Yhdistelmäajoneuvo vei esimurskakuorman Hei-nolaan, jossa se vielä punnittiin (taulukko 3). Osa esimurskeesta syötettiin vielä murs-kaimeen, joka repi suuremmat jakeet pienemmiksi. Murskeen kohdalla toimitettiin sa-moin kuin esimurskeella; kuormattiin ajoneuvoon, punnittiin ja vietiin Heinolaan. Yh-teensä esimurskakuormia ja murskekuormia toimitettiin Heinolaan voimalaitokselle nel-jä kappaletta, kaksi kutakin.

Taulukosta kolme nähdään mitä kukin kuorma on painanut pyöräkuormaajan vaa'an ja voimalaitoksen vaa'an mukaan. Murskausprosessin aikana syntyi rejektiä yhteensä 19 450 kg. Orimattilan Viljaniemen terminaaliin jätettiin vielä varastoon murskaa, kan-topaloja ja esimurskaa. Varastopaikka oli loivassa rinteessä jonka takana oli metsä, ja paikka oli päivän puolella eli aurinkoisena päivänä aurinko paistaa paikkaan koko ajan. Muutamia huomioita syntyi päivän aikana: Oletettiin, että murskakuorma olisi paina-vampi kuin esimurskakuorma, koska jae on pienempää, menee tiiviimpää tilaan ja siten olisi painavampaa. Olettamus kuitenkin osoittautui vääräksi, ja murskekuormat olivat kevyempiä kuin esimurskekuormat.

Pyöräkuormaajan vaa'an tulokset olivat erittäin lähellä Heinolan voimalaitoksen vaa-kamittaustuloksia. Tämä kertoo siitä, että pyöräkuormaajan vaaka on kunnossa ja tark-ka. Vaa'an vakautus tehdään virallisen tahon toimesta joka kolmas vuosi. Kuormaajan vaaka punnitsee 500 kilogrammasta 6 000 kiloon asti 20 - 40 kg välein. Murskauksen yhteydessä havaittiin, että pyöräkuormaajan kauhallinen kantoja painoi 800 kg ja kau-

hallinen esimurskaa 1 500 kg. Tämä johtuu siitä, että esimurskaa saadaan paljon tiiviimmin kauhaan ja väliin ei jää ilmaa niin kuin kantojen kohdalla.

Tässä koeasetelmassa teimme niin, että esimurske ja murske tulivat murskaimelta maahan kentälle ja siitä se kuormattiin pyöräkuormaajalla auton kyytiin. Koeasetelma olisi voinut olla myös siten, että esimurske ja murske olisi kuljettimen avulla ohjattu murskaimelta suoraan autoon, ja näin olisi jäänyt yksi välivaihe pois. Tällöin kuormasta olisi kuitenkin tullut ilmava, ja väliin jäänyt tyhjää tilaa. Kun lastataan aines pyöräkuormaajalla, saadaan kuormasta tiivis ja kyytiin mahtuu enemmän mursketta. Arvioidemme mukaan tämä on taloudellisesti kannattavampaa, kuin murskeen ohjaaminen suoraan auton kyytiin, vaikka välissä onkin yksi vaihe enemmän. Pyöräkuormaajan ei kuitenkaan tarvitse kuljettaa ainesta pitkiä matkoja, vaan kyse on muutamista metreistä.

Taulukko 2. Kantokuormien painot.

	Paino (kg)
1.	17 540
2.	18 160
3.	19 500
4.	16 900
5.	16 660
6.	17 800
7.	16 600
8.	19 500
9.	17 500
10.	17 400
ka	17 756

Taulukko 3. Esimurska- ja murskakuormien painot 17.8.2010.

Esimurska		
	Pyöräkuormaajan kuormainvaaka (kg)	Heinolan vaaka (kg)
Kuorma 1	24 760	24 820
Kuorma 2	25 640	25 720
Murska		
	Pyöräkuormaajan kuormainvaaka (kg)	Heinolan vaaka (kg)
Kuorma 1	23 750	23 820
Kuorma 2	23 650	23 960

## 9.2 Kosteusmittaukset

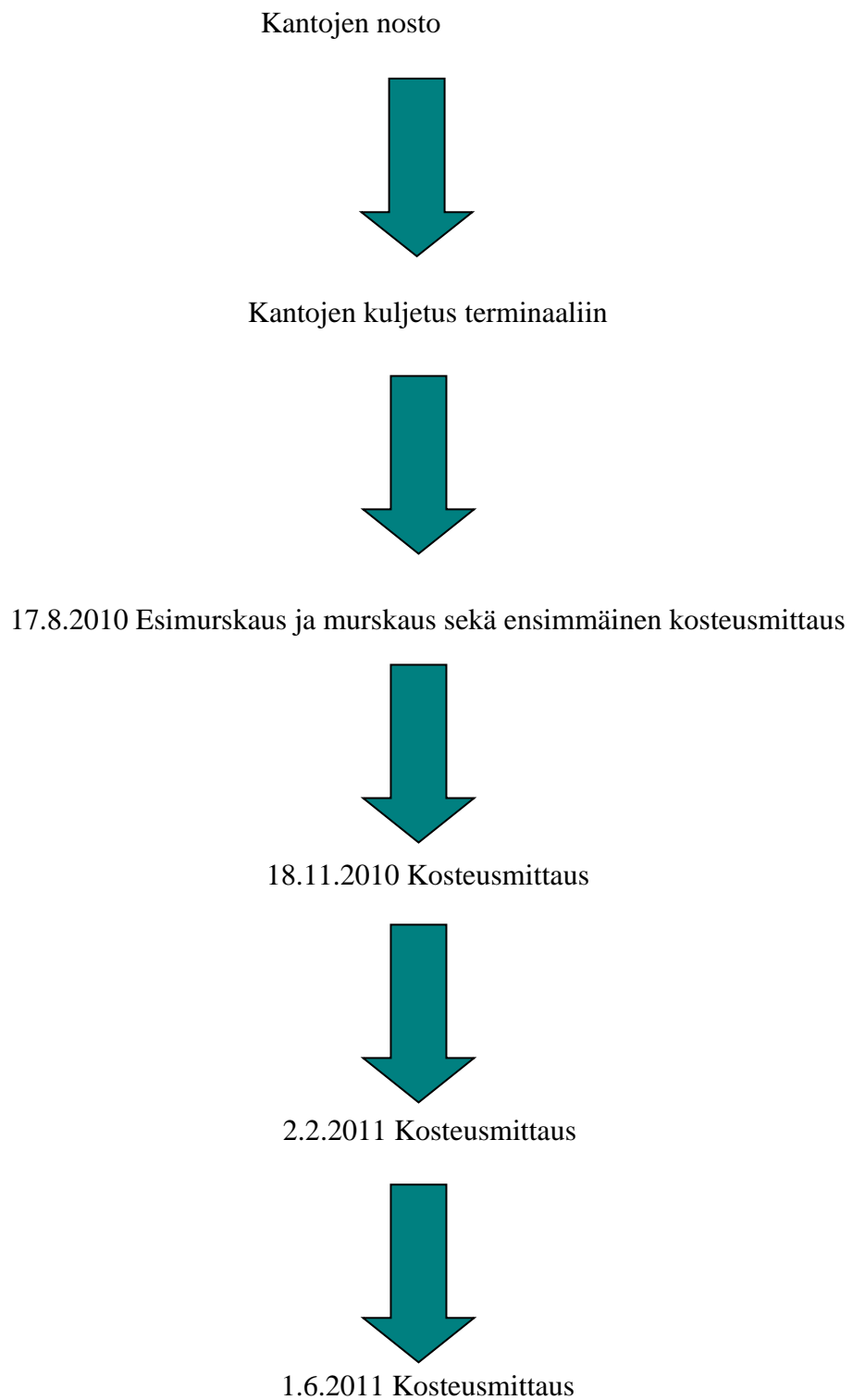
Viljaniemen kantovarastoon jätettyjä esimursketta ja mursketta seurattiin talven ajan. Näistä otettiin kolme kertaa näytteet, jotka lähetettiin pusseissa Stora Enson Imatran tehtaille, jossa on kosteuden mittaukseen tarkoitettu uuni. Kosteustulokset saatiin sähköpostilla.

Ensimmäinen kosteudenmittaus elokuun 2010 jälkeen tehtiin 18.11.2010. Sää tuolloin oli tuulinen ja lämpötila -3 astetta. Päivän aikana oli satanut paljon uutta ja märkää lunta, jota oli kasautunut murskekasojen päälle. Esimurske ja murske olivat kumpikin jo hieman jäässä. Kummastakin murskekasasta otettiin kaksi pussillista näytteitä lapiota apuna käyttäen. Myös jatkossa näytteet otettiin lapion avulla. Näytteitä ei otettu aivan kasan pinnasta vaan puhdistettiin ensin lumi pois sekä päällimmäinen murska kerros. Näytteet pyrittiin ottamaan mahdollisimman syvältä kasan keskeltä. Mursketta otettiin kasan oikealta ja vasemmalta puolelta, kuten myös esimursketta. Murskenäytteitä otettaessa havaittiin, että vasemmalla puolella kasaa oli murskeen seassa paljon hienoja-

koista ainesta, ja murskekin oli hienompaa kuin oikealla puolella kasaa. Tämä johtui siitä, että tuuli oli käynyt enemmän oikealta vasemmalle ja kasassa hienojakoinen aines kulkeutunut vasemmalle reunalle. Näytteet laitettiin suuriin minigrippusseihin ja pahvilaatikoihin ja postitettiin Imatralle.

Seuraava näytteidenottopäivä oli 2.2.2011. Tällöin pakkasta oli muutama aste ja pilvinen sää. Joulutammikuussa oli välillä koviakin pakkasia ja lunta satoi paljon. Helmikuun alussa esimurske ja murskekasojen päällä oli paljon painavaa lunta. Esimursketta ja mursketta otettiin kumpaakin kaksi pussia mahdollisimman keskeltä kasoja. Kummatkin kasat olivat jäässä, joten näytteiden ottaminen oli hankalaa. Nämäkin näytteet laitettiin postissa Imatralle.

Kolmas näytteidenottopäivä oli 1.6.2011. Lumet olivat jo sulaneet. Kevät oli todella kuiva ja lämmin. Näytteenottopäivänäkin lämpöä oli yli 20 astetta. Näytteitä otettiin siten, että esimurskekasasta pinnasta kolme pussia, ja keskemältä kasaa kolme pussia, samoin murskekasasta. Yhteensä näytteitä oli 12. Nämäkin näytteet pakattiin ja lähetettiin Imatralle kosteudenmittaukseen.



Kuvio 3. Aineiston keruun eteneminen

## 10 Tulokset

### 10.1 Murskeiden kosteudet

Imatran tehtailta saadut kosteuden mittauksen tulokset on syötetty Excel-tilukkuoon selkeään ja yksinkertaiseen muotoon. 17.8.2010, ennen kuin murske ja esimurskekuormat vietiin Heinolaan voimalaitokselle polttoon, murskekuormasta mitattiin kosteusprosentit Farmcomp Wile Boi Moisture piikkikosteusmittarilla. Mittari on testattu Stora Ensossa ja havaittu tarkaksi kun mittaus tehdään huolella. Esimurske oli niin karkeaa, että metsähakkeen mittaukseen tarkoitettu kosteusmittari ei laskenut esimurskeelle kosteutta.

Taulukko 4. Kosteudet murskekuormista elokuussa 2010.

17.8.2010	
Murska	
	Kosteus
Kuorma 1	15,1
	15,5
	14,8
	17,6
	16
	15,5
	16
	keskiarvo
	Kosteus
Kuorma 2	14,1
	14,1
	14,8
	14,2
	15,8
	15,8
	14,6
	keskiarvo

Taulukosta neljä nähdään, että murske oli todella kuivaa. Kannot, jotka murskattiin, oli nostettu keväällä ja ne olivat kuivumassa palstalla kesän yli. Kuivan ja kuuman kesän

takia kannot olivat kuivia ja näin ollen myös murske oli hyvin kuivaa. Ennen murskaamista tiedettiin jo, että lopputuote on kuivaa, mutta ei osattu arvata, että niin kuivaa. Näin kuiva lopputuote on jo hieman liian kuivaa voimalaitoksen energiaksi. Liian kuiva aines palaa liian nopeasti.

### 10.1.1 Marraskuun mittaus

Marraskuun mittauksessa kosteudet olivat oletetusti nousseet (taulukko 5). Esimurska näytteet otettiin kahdesta eri kohdasta murskakasaa. Näytteiden tulokset ovat vaihtelevat. Näyte 1 otettiin auringon puolelta kasasta ja näyte 2 otettiin varjon puolelta. Voi olla, että mahdollinen auringon paiste ja tuuli on vaikuttanut kosteuden muodostumiseen. Myös murskenäytteiden kosteusprosentit ovat vaihtelevat. Murskeen kohdalla suurempi kosteusprosentti on päivän puolelta otetusta näytteestä.

Taulukko 5. Kosteustulokset marraskuu.

18.11.2010			
	Tuore (g)	Kuiva (g)	Kosteus %
Esimurska	386	237	<b>38,6</b>
	453	197	<b>56,5</b>
Murska	352	166	<b>52,8</b>
	273	154	<b>43,6</b>

### 10.1.2 Helmikuun mittaus

Helmikuun alussa otettujen kosteusnäytteiden kosteusprosentit ovat samansuuntaisia kuin marraskuussa otetut (taulukko 6). Joulutammikuussa sää oli talvinen ja kovia pakkasia ja lumisateita saatiin. Esimurske- ja murskekasa olivat jäässä, ja näytteiden ottaminen oli hieman hankalaa jäätymisen ja suuren lumimäärän vuoksi. Avuksi olisi tarvittu järeitä työkaluja.



Taulukko 6. Kosteustulokset helmikuu.

2.2.2011			
	Tuore (g)	Kuiva (g)	Kosteus %
Esimurska	555	290	<b>47,7</b>
	586	358	<b>38,9</b>
Murska	463	228	<b>50,8</b>
	424	220	<b>48,1</b>

### 10.1.3 Kesäkuun mittaus

Viimeiset kosteusnäytteet otettiin 1.6.2011. Murskakasat olivat jo sulaneet, joten näytteiden ottaminen oli helppoa, ja siihen käytettiin enemmän aikaa ja vaivaa. Kesäkuun kosteusmittaus oli tärkein mittausprosessi. Tämän takia näytteitä otettiin kattavasti. Esimurskeesta otettiin ensin pinnasta kolmesta eri kohdasta näytteet ja sen jälkeen samoista kohdista keskemältä kasaa. Samoin tehtiin murskeeseen kohdalla. Esimurske oli keskeltä selvästi kosteampaa kuin pinnasta (taulukko 7). Pinnasta otettujen näytteiden kosteudet vaihtelivat 9,6 %:sta 15,0 %:iin, ja keskeltä otettujen näytteiden kosteudet 17,9 %:sta 36,5 %:iin.

Lämmin ja kuiva kevät olivat vaikuttaneet pinnassa olevan esimurskeen kosteuden haihtumiseen. Murske oli selvästi kosteampaa kuin esimurske. Murske jakeet olivat pienempi kokoisia ja aines selvästi hienojakoisempaa ja tiiviimpää, joten kosteutta ei ollut haihtunut niin paljon pois. Murskeella pinnasta otettujen näytteiden kosteudet olivat 20,8 – 38,8 %. Vaihteluväli on suuri ja tämä johtuu siitä, että näytteet otettiin satunnaisista paikoista, ja murske on joissakin kohdissa ollut kuivempaa. Keskeltä otettujen näytteiden kosteudet olivat 33,0 – 45,1 %. Tässäkin suuri vaihteluväli johtuu satunnaisesta otannasta ja paikoittaisesta vaihtelevuudesta

Taulukko 7. Kosteustulokset 1.6.2011. Punaisella pohjalla olevat näytteet on otettu kasan pintaosasta ja sinisellä olevat keskemältä.

1.6.2011			
	Tuore (g)	Kuiva (g)	Kosteus %
Esimurska	206	175	<b>15,0</b>
	206	184	<b>10,7</b>
	177	160	<b>9,6</b>
	168	138	<b>17,9</b>
	167	106	<b>36,5</b>
	184	121	<b>34,2</b>
Murska	159	106	<b>33,3</b>
	173	137	<b>20,8</b>
	178	109	<b>38,8</b>
	206	138	<b>33,0</b>
	195	107	<b>45,1</b>
	194	121	<b>37,6</b>

Esimurskeen ja murskeen kosteuteen vaikuttivat sää sekä varastopaikka, ja se miten kannot olivat varastoituna. Sateet, tuuli ja auringon paiste muuttavat olosuhteita koko ajan. Varastopaikka sijaitsi loivassa rinteessä metsän reunassa ja yksi sivu oli koko ajan varjon puolella. Viittävä rinne valutti sadevesiä pois, joten vesi ei jäänyt kasojen pohjalle seisomaan. Kanto, esimurske ja murske -kasat sijaitsivat melko lähekkäin, noin metrin välien toisistaan. Tällä ei havaittu olevan vaikutusta kosteuteen.

## 10.2 Esimurskauksen hyödyt

### 10.2.1 Säilyvyys

Kantojen esimurskausta on viimeisen vuoden aikana tutkittu paljon monelta taholta. Saadut tulokset ovat olleet rohkaisevia ja ne kannustavat jatkamaan esimurskausta myös tulevaisuudessa. Murskaukseen tarvittava kalusto on mille tahansa laitokselle tai yksityiselle yrittäjälle suuri investointi, ja on mietittävä tarkkaan kattaako murskauksesta saatavat tulot menot.

Kannot, esimurske ja murske olivat varastoituna Viljaniemen terminaalissa yhdeksän ja puoli kuukautta. Talvi on säilymisen kannalta kriittistä aikaa. Aikaisempien selvitysten mukaan kannot säilyvät hyvin pitkiäkin aikoja. Esimurskeen ja murskeen säilyvyydestä ei ole aikaisempaa tietoa. Elokuussa 2010 heti esimurskauksen ja murskauksen jälkeen otetut kosteusnäytteet osoittivat sen, että aines oli todella kuivaa. Seuraavassa kosteusmittauksessa kosteusprosentti oli noussut jo paljon. Puu oli imenyt itseensä ilmassa olleen kosteuden. Marraskuun kosteusmittauksen ja helmikuun kosteusmittauksen kosteusprosentit eivät paljon eronneet toisistaan. Talvella aineksen koostumus ei siis ole muuttunut.

Mittausten ja silmämääräisesti tehtyjen havaintojen perusteella esimurske sekä murske säilyvät hyvin. Jakeet eivät homehtuneet tai lahonneet missään vaiheessa, ja koostumus säilyi hyvänä myös yli talven. Ainoa ongelma on jakeiden jäätyminen talvisin. Kosteaa puu jäätyy helposti pakkasten tultua. Jäätymistä voitaisiin estää peittämällä varastot heti murskauksen jälkeen, kun aines on vielä kuivaa. Peittämällä estetään ainesta kastumasta, ja näin se ei jäädy talvella niin helposti. Jäätyminen ei kuitenkaan ole niin pahaa, että ei jäätynyttä esimursketta ja mursketta voitaisi käyttää talvellakin.

Kantojen esimurskauksella on havaittu olevan monia hyötyjä. Esimurskeen kaukokuljetuksessa voidaan käyttää myös hakeautoja energispuuautojen ohella. Esimurske on pienempi kokoista kuin kannot ja menee tiiviimpään tilaan. Väliin ei jää ilmaa, kuljetus on tehokkaampaa, ja saadaan suurempia kuormakokoja kaukokuljetukseen. Esimurskauksessa kannoista saadaan epäpuhtaudet pois.

### 10.2.2 Kuivuminen

Tulevan talven lämmön ja energian tarvetta on usein vaikea tietää etukäteen ja joskus energian tarve voi olla akuutti. Kannon kunnollinen kuivuminen polttokelpoiseksi kestää yleensä vuoden, ja tämän vuoksi kantoja varastoidaan pitkiä aikoja tienvarsivarastoissa tai terminaaleissa. Kesällä 2011 nostetut kannot ovat polttokelpoisia vasta kesällä 2012. Kokonaisista kantopaloista ei siis ole pika-avuksi tulevan talven kylmyyteen. Esimurskaaminen nopeuttaa kantojen kiertoaikaa huomattavasti. Kun kannot esimurskaataan pian nostamisen jälkeen, aines kuivuu nopeammin ja kuluttajille on tarjolla heti valmista energiaa poltettavaksi. Esimurske kuivuu myös nopeammin talven jälkeen kuin kokonaiset kantopalat. Pienempi jaekoko nopeuttaa kuivumista. Huonona puolena on, että esimurske- ja murskekasat niin sanotusti imevät vettä helpommin kuin kantokasat. Tiiviimmässä olevan aineksen väliin jää vettä helpommin kuin harvassa olevaan aineeseen.

### 10.2.3 Kuljetus

Esimurskaaminen on taloudellisesti kannattavaa. Säästöjä tulee kuljetuskustannuksissa sekä kiertoajan nopeutuessa varastointikustannuksissa. Esimurske menee tiiviimpään tilaan, joten kuormakoot ovat suurempia. Näin ollen esimerkiksi voimalaitokselle saadaan yhdessä yhdistelmäajoneuvokuormassa menemään enemmän energiaa, kuin mitä saataisiin samassa määrässä kokonaisia kantoja. Yhteen ajoneuvoyhdistelmän kuormaan mahtuu 100 - 150 m<sup>3</sup> kantopaloja. Ongelmana on, että kantojen väliin jää paljon tyhjää tilaa ja ilmaa. Kuljetusyrittäjälle maksetaan yleensä takuutonnetta. On esimerkiksi sovittu, että oli kuorman paino mitä tahansa, 17 000 kiloa painavasta kuormasta kuitenkin maksetaan, eli vaikka kuorman paino olisikin 16 000 kg, yrittäjä saa silti tilin 17 000 kg kuormasta. Tällöin yritys maksaa niin sanotusti tyhjästä. Lisäksi kantojen murskaukseen tarvittavan terminaalin voi perustaa melkein minne tahansa kovalla maalla olevalle tilalle alueelle. Tällöin välimatkat terminaalien ja voimalaitosten välillä eivät kasvaisi kohtuuttoman suuriksi.

Esimurskeesta saadaan tiivis kuorma ja väliin ei jää niin paljon tyhjää tilaa. Vertaamalla taulukoita kaksi ja kolme voidaan havaita, että esimursketta ja mursketta voidaan kuljettaa painon mukaan huomattavasti enemmän kuin kantopaloja. Kun kannot kuljetetaan esimurskeena/murskeena lämpö- tai voimalaitokselle, saadaan yhteen kuormaan mahtumaan paljon energiapitoista ainesta. Kuljetusyrittäjälle ei tarvitse maksaa kuljetuksesta takuutonnetta, koska kuormien painot ovat tarpeeksi suuria, ja kuljettaminen kannattaa. Samankokoiseen ”konttiin” saadaan mahtumaan yli 8 000 kg enemmän mursketta kuin kantoja. Esimurskaa voidaan kuljettaa tavallisella hakeautolla ja kuljetukseen ei tarvita erikoista kantojen kuljetusautoa. Kuljetuskustannukset siis laskevat esimurskauksen kautta. Toisaalta koko ajan nouseva polttoaineen hinta hieman laskee kannattavuutta, sillä polttoainekulut ovat sitä suurempia mitä pidempiä matkoja ajetaan.

#### **10.2.4 Varastointi**

Kiertoaajan nopeutuessa varastotilaa ei tarvita niin paljon. Valmis murske on heti käytettävissä ja sitä ei tarvitse varastoida ensin vuotta, kuten kantoja, jotta se olisi käyttövalmiina. Nyt on tiedossa, että murskattu kanto säilyy pitkiäkin säilytysaikoja, ja mursketta voidaan tehdä varastoon jolloin energiaa on aina saatavilla. Terminaaleista valmiiksi murskattua kantohaketta voidaan toimittaa eri kokoluokan laitoksille, ja terminaali on toimitusvarma puskurivarasto esimerkiksi kelirikkoaikana, jolloin sivuteiden käyttö on rajoitettua raskaan liikenteen osalta. Hakkeen laatua on myös helpompi kontrolloida. Varastoinnista aiheutuu aina kustannuksia, ja varastoitava tavara kasvaa koko ajan korkoa.

#### **10.2.5 Seulakoko**

Esimurskaimen seulakokoa vaihtamalla saadaan lopputuotteen palakokoa muutettua halutunlaiseksi (kuva 7). Pienin seulakoko esimurskaimella on 80x80 millimetriä, mm, ja suurin 300x500 mm. Seulakoko voidaan valita sen mukaan mitä tavarahan vastaanottaja haluaa. Esimerkiksi yksi yrittäjä voi toimittaa Etelä-Savon Energialle laitoksen halua-

maa palakokoa ja jollekin toiselle voimalaitokselle toista palakokoa. Tämä mahdollistaa sen, että yrittäjä voi toimia mahdollisimman monen laitoksen kanssa yhteistyössä. Seulakoon tärkeys tulee myös esille jo aiemmin mainitussa polttoaineen kulutuksessa.



Kuva 7. Esimurskaimen seula 180x180 mm.

### 10.3 Tienvarsimurskaus

Terminaalissa tapahtuvan esimurskauksen lisäksi kantoja on alettu murskaamaan myös tienvarsivarastoilla. Tienvarresta esimurske viedään suoraan käyttöpaikalle tai jatkokäsittelyyn terminaaliin ja murske suoraan käyttöpaikalle. Tienvarsimurskaus vaatii enemmän ennakkovalmisteluja kuin terminaalimurskaus, sillä metsäpäässä tilaa on usein hyvin rajallisesti.

Jotta tienvarsimurskaus onnistuisi ja se olisi kannattavaa, on kiinnitettävä huomiota seuraaviin seikkoihin. Kantojen nosto vaiheessa täytyy huolehtia siitä, että kannot ovat mahdollisimman puhtaita. Nosto ja pilkkominen on tehtävä huolellisesti, ja ylimääräinen maa-aines on ravistettava hyvin pois, sillä isot kivet yms. pilaavat murskaimen terät (kuva 7). Tienvarresta murskatessa on oltava riittävästi tilaa kaluston koon ja turvalli-

suuden vuoksi. Usein ongelmana ovat liian ahtaat varasto- ja kääntöpaikat. Teiden on myös oltava tarpeeksi kantavia, myös kelirikon aikaan, ja pienien siltojen kautta kulke- mista on vältettävä, koska auton ja murskaimen yhteismassa on yli 30 000 kg. Murs- kaimella sekä mursketta kuljettavalla autolla täytyy olla tarpeeksi suuret kääntöpaikat, ja niiden on mahduttava olemaan paikallaan, sillä kaluston ja aineksen siirtäminen jat- kuvasti paikasta toiseen vie aikaa ja tehokkuutta.

Aikaisemmin tehty tutkimus on osoittanut, että myös tienvarsivarastolla voidaan murs- kata kantoja tehokkaasti. Murskaus- ja kaukokuljetuskustannuksien summa määrittää sen, mikä tuotantoketju on tehokkain; tienvarsi-, terminaali- vai käyttöpaikkamurskaus. Metsäteho Oy yhteistyökumppaneineen selvittää tuotantoketjuvaihtoehtojen parem- muutta eri tuotanto-oloissa. (Kärhä ym. 2011, 20.)

## 11 Pohdinta

Tässä tutkimuksessa kuvataan onko kantojen esimurskaus yleensäkin kannattavaa, vai onko järkevämpää pysytellä käyttöpaikkamurskaamisessa. Tutkimuksen aineistoa kerättiin noin vuoden ajan, jotta nähtäisiin muuttuuko esimurskeen tai murskeen koostumus talven yli varastoitaessa. Aineiston keruu aloitettiin elokuussa 2010 ja viimeiset mittaukset tehtiin 1.6.2011.

Tutkimuksen aineisto on pieni ja aihe vielä melko uusi. Monikaan voimalaitos ei käytä kantomursketta energiana, ja sitä käytävillä ei monella ole käyttöpaikkamurskainta, jolla suuret kantopalat saisi murskattua. Aiheesta on aiemmin vuonna 2011 tehty yksi esiselvitys.

Tämän selvityksen perusteella kantojen esimurskaus on kannattavaa. Esimurske säilyy yhtä hyvin kuin kannot, joten mursketta voidaan tehdä kesällä varastoon tulevan talven varalle. Terminaali toimii samalla hyvänä puskurivarastona. Lisäksi kantohakkeen laatua ja määrää voidaan koko ajan tarkkailla. Toisaalta varastoinnista aiheutuu kuluja, ja mitä kauemmin aines on varastoituna terminaalissa, sitä enemmän on kustannuksia.

Esimurskepalat kuivuvat nopeammin kuin kannot, ja näin kiertoaika nopeutuu. Murskepalat kuivuvat nopeammin, koska aines on pienempää ja haihduttaa kosteutta helpommin kuin suuret kantopalat. Mitä kuivempaa puu on, sitä suurempi on sen lämpöarvo, eli sitä paremmin se tuottaa lämpöä.

Esimurskaus pienentää kuljetuskustannuksia, koska murske saadaan kuormattua tiiviimmin kuin kannot. Murskekuorma voi painaa jopa 10 000 kg enemmän kuin kanto-kuorma. Kaukokuljetuskustannukset pienenevät kun samankokoisessa kuormakontissa saadaan kuljetettua puolitoista kertaisesti polttokelpoista ainesta voimalaitokselle.

Tienvarsimurskauksella saadaan varastointikulut poistettua kokonaan. Suoraan tien varresta käyttöpaikalle kuljettamalla, myös kuljetuskustannukset pienenevät. Mikäli murskeaines tuodaan tienvarsivarastosta terminaaliin vielä käsiteltäväksi, säästöjä ei välttämättä synny. Tienvarsi murskaus on vielä uusi asia ja sen käyttöönotto on alkutekijöis-



sään. Kullakin tuotantoketjulla on omat hyvät ja huonot puolensa. Yhtä ainoaa ja oikeaa tuotantoketjua ei ole olemassa. Esimurskaus kuitenkin on kannattavaa. Tehdään se sitten terminaalissa tai tienvarressa niin säästöjä syntyy.

## 12 Tutkimuksen luotettavuus

Koska työn aineisto on pieni, ei tutkimus ole kovin luotettava. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa on oleellista, että otos koko on tarpeeksi suuri jotta tutkimustulokset olisivat luotettavia. Esimurskaus on aikaa vievää työtä, ja jotta aineisto olisi ollut tarpeeksi suuri, olisi aikaa pitänyt olla huomattavasti enemmän. Murskeita ei kesällä 2010 kannattanut tehdä paljoa varastoon koska jatkokäytölle ei ollut siinä vaiheessa vielä takeita. Myös varastointiin olisi voitu kiinnittää enemmän huomiota. Osa murskatusta aineksesta olisi voitu esimerkiksi peittää jollain ja vertailtu sitten, miten peitteen alla ja ilman peitettä oleva aines on muuttunut kosteuden ja säilyvyyden suhteen. Varastopaikka sen sijaan oli hyvä. Kuormakokoon liittyvä aineisto oli myös tarpeeksi kattava.

Se, että tutkittava aines sijaitsi 400 kilometrin päässä, oli hankaloittava tekijä. Kosteusmittauksia olisi voitu tehdä tiheämmin jos aika ja välimatka olisivat antaneet myöden. Tarkemmilla ja tiheämmillä mittauksilla olisi saatu tarkempia tuloksia. Kosteusmittaukset olivat hankalia myös kelien takia. Kokonaisuudessaan työ on esiselvitys paljon suuremmalle kokonaisuudelle johon eivät resurssit ja aika riittäneet.

## Lähteet

- BioEnergia. 2011. Nro 2. 31.3.2011. Kantojen esimurskausta Crambo 5000 -murskaimella tutkittiin. 18-20
- Etelä-Savon Energia. 2011. Pursialan voimalaitos. Esite ja vierailu 30.8.2011.
- Finbio. 2010. Bioenergia Suomessa.  
<http://www.bioenergy.fi/default.asp?sivuID=9164>. 2.8.2011.
- Halonen, Kuusinen & Äijälä. 2005. Energiapuun korjuun laatukriteerit uudistushakkuille. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2010.
- Korhonen, M. 2006. Energiapuun koneellinen korjuu ja sen kannattavuus työlajeittain tarkasteltuna. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Tampere.  
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9385/TMP.objres.921.pdf?sequence=2>. 26.10.2011.
- Kärhä, K., 2011. Kannot ja järeä runkopuu yhä useammin polttohakkeeksi terminaalissa. Metsäalan Ammattilehti. 21.8.2011.
- Kärhä, K., Hautala, A. & Mutikainen A. 2011. Kantojen esimurskausta Crambo 5000 –murskaimella tutkittiin. . BioEnergia. Nro 2. 31.3.2011.
- Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metsäntutkimuslaitos.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingspapers/2010/mwp150pdf>.  
26.10.2010
- Laitinen, A. 2005. Puuta polttavien 5-50 MW:n laitosten hiukkaspäästöistä ja niiden leviämisestä.  
[http://www.mikkeli.fi/en/liitteet/02\\_palvelut/03\\_ymparisto/13\\_ymparistonsuojelu/insinoorityo.pdf](http://www.mikkeli.fi/en/liitteet/02_palvelut/03_ymparisto/13_ymparistonsuojelu/insinoorityo.pdf). 1.8.2011

Laitila, Leinonen, Flyktman, Virkkunen & Asikainen. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf>.17.6.2011.

Manninen, T. 2012. Esikunnan metsäenergiaesimies. Stora Enso.

Puhelinkeskustelu. 12.1.2012

Martikainen, A. 2011. Toimitusjohtaja. Kärkimurskaus Oy. Suullinen

keskustelu Mikkelissä. 30.8.2011.

Metsäalan Ammattilehti. 2011. 21.8.2011. Kannot ja järeä runkopuu yhä

useammin polttohakkeeksi terminaalissa.

Metsäkeskus Keski-Suomi. 2010.

Metsänhoitoyhdistys Teljä. 2007.

[http://www.mhy.fi/telja/ajankohtaista/fi\\_FI/Kantojen/](http://www.mhy.fi/telja/ajankohtaista/fi_FI/Kantojen/). 26.10.2010.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2010a. Energiapuun korjuun

laatukriteerit uudistushakkuille.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2010b. Hyvän metsähoidon

suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen.

[http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset\\_ve  
rkkoon.pdf](http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_ve<br/>rkkoon.pdf). 26.10.2010

Metsäteho. 2009. Feedstock Supply Chain CO<sub>2</sub> –eq Emissions. Metsätehon katsaus No.

38/2009.

Motiva. 2011. Uusiutuvan energia käyttö Suomessa.

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/uusiutuvan\\_energia\\_n\\_kaytto\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energia_n_kaytto_suomessa) 28.7.2011.

Perho, A. 2010. Harvennusenergiapuun kuivatuskoe.

Stora Enso Metsä portaali.

Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. 2010. Bioenergia.

Verkkomateriaali. <http://www.pkamk.fi/bioenergia/kantojenkorjuu/>.  
27.10.2010

Puulakeus.net. 2011. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen puu- ja energia-  
alan kehittämishankkeet. 2006.

<http://www.puulakeus.net/41.html>. 1.8.2011

Rönkkö, R. 2009. Kannonoston työjäljen ja

täydentävän maanmuokkauksenlaatusuuranta Ähtärissä. Opinnäyteyö.  
SEAMK. Tuomarniemi.

[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5340/Ronkko\\_Risto.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5340/Ronkko_Risto.pdf?sequence=1). 27.10.2010.

Saksa, T. 2009. Metsäenergian korjuu taimikon käsittelyyn ja kehitykseen vaikuttavana tekijänä. Metsäntutkimuslaitos.

<http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/F9FE2F56-1605-4DA9-B966-9A445B4E30C0/9877/TimoSaksa.pdf>. 26.10.2010

Suomen metsäyhdistys. 2011.

<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/allbyid/0F7BAE5721BA1B2DC22572A0004B3687?Opendocument>. 27.7.2011

Tilastokeskus. 2009. Tilastot ja taulukot.

<http://www.stat.fi/til/ekul/tau.html>. 26.10.2011.

Tilastokeskus. 2011. Tilastot ja taulukot.

<http://www.stat.fi/til/ehi/index.html>. 6.11.2011.

Vattenfall. 2006.

<http://www.vattenfall.fi/fi/omakotitalo.htm>. 27.10.2010

