

Polttohakkeen tuotantokustannukset

Otto Varis

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2014

Energiatekniikka

Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) VARIS, Otto	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 9.6.2014
	Sivumäärä 62	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi POLTTOHAKKEEN TUOTANTOKUSTANNUKSET		
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) NUUTINEN, Marjukka, Lehtori KURKI, Matti, Lehtori		
Toimeksiantaja(t) Metsäkolmio Oy, Putaan Mottimestarit Oy, KS-Laatuenergia Oy MIKKONEN Pasi, Toimitusjohtaja		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Metsäkolmio Oy:lle, joka on Pihtiputaalla toimiva metsätoimialan yritys. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää polttohakkeen tuotannon kustannukset Metsäkolmio Oy:n ja sen tytäryhtiöiden KS-Laatuenergia Oy:n ja Putaan Mottimestarit Oy:n tuotantomallissa. Tavoitteena oli selvittää kustannukset vaiheittain sisältäen energiapuusta maksettava kantohinta, korjuukustannukset, puun kuljetuskustannukset, haketuskustannukset, sekä hakkeen kuljetuskustannukset.</p> <p>Tutkimuksen kohteena oli polttohakkeen tuotantomalli, jossa haketus tapahtui KS-Laatuenergia Oy:n biopolttaineterminaalilla ja hakettava puuraaka-aine oli peräisin Metsäkolmio Oy:n ostamilta ja Putaan Mottimestarit Oy:n korjaamilta leimikoilta. Raaka-aineena käytettiin teollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta lahoa, haaraista tai mutkaista karsittua runkopuuta, sekä haapa- ja koivukuitupuuta. Lisäksi tutkittiin puunkorjuun kannattavuutta ensiharvennusleimikoista käyttäen aliurakoitsijan energiapuukorjuria.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin kvantitatiivisella tutkimusmenetelmällä. Tarvittavat tiedot laskelmien tekemiseen saatiin yritysten vuoden 2013 kirjanpidoista, sekä haastatteleamalla yritysten henkilöstöä. Ensin selvitettiin vuonna 2013 myydyin polttohakkeen kokonaismäärät ja hinnat. Myydyn hakkeen määrän perusteella selvitettiin hakkeen tuotantoon tarvittu energiapuumäärä, kantohinnat ja korjuukustannukset. Myös kaluston investointikustannukset, huolto- ja kunnossapitokustannukset, polttoainekustannukset ja henkilöstön työvoimakustannukset otettiin huomioon.</p> <p>Tutkimuksen tuloksista selviää, että polttohakkeen tuotanto oli niukasti tappiollista vuonna 2013. Tulosten avulla voidaan tarkastella, miten polttohakkeen tuotantokustannukset jakautuvat ja mihin tekijöihin tulevaisuudessa kannattaa kiinnittää huomiota toiminnan kannattavuuden parantamiseksi.</p> <p>Tuloksista voidaan myös päätellä, ettei metsähake ole tällä hetkellä kilpailukykyinen polttoaine ilman energiapuunkorjuuseen ja haketukseen kohdistuvia tukia.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Bioenergiaterminaali, metsähake, polttohake, tuotantokustannukset, kuiva-tuoretiheys, tehollinen lämpöarvo		
Muut tiedot		



Author(s) VARIS, Otto	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 9.6.2014
	Pages 62	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title PRODUCTION COSTS OF WOOD CHIPS USED AS A FUEL		
Degree Programme Energy Technology		
Tutor(s) NUUTINEN, Marjukka, Senior Lecturer KURKI, Matti, Senior Lecturer		
Assigned by Metsäkolmio Oy, Putaan Mottimestarit Oy, KS-Laatuenergia Oy MIKKONEN, Pasi, Chief Executive Officer		
Abstract <p>The thesis was made for Metsäkolmio Oy which is a forestry company that operates in Pihtipudas, Central Finland. The goal of the thesis was to find out the production costs that come from producing woodchips for energy production. The aim was to find out production costs for Metsäkolmio Oy and its subsidiary companies KS-Laatuenergia Oy and Putaan Mottimestarit Oy consisting the price for standing timber, harvesting costs, timber transportation costs, chipping costs and chip transportation costs.</p> <p>The subject of this study was the energy woodchip production method in which Metsäkolmio Oy bought the round wood, Putaan Mottimestarit Oy harvested it and then KS-Laatuenergia Oy chipped it at the bioenergy terminal. The raw material used for chipping was low quality wood such as rotten, twisting or branchy trees that are unsuitable for the use of forest industry. The wood used was from commercial thinning and final endings. Also aspen and birch pulpwood was used as a raw material for chips. In this study also harvesting costs in the first thinning by using subcontractor's energy wood harvester were calculated.</p> <p>The study was carried out by using the quantitative research method and the information needed was gathered from the annual reports of the year 2013 of the companies and from the interviews of the personnel of the companies. First the amount of woodchips sold in 2013 was found out. Then using that number the amount of wood required was determined. After that it was possible to calculate the harvesting, transportation and chipping costs of wood. Also fuel costs, labor costs and investment and maintenance costs of the equipment were taken into account.</p> <p>From the results it turned out that the production of wood chips was slightly loss-making in 2013. With the help of the results it is possible to analyze the costs and which elements the costs consist of. The results also help to find out things that should be noticed to reduce the production costs and improve economic viability in the future.</p> <p>The results also show that at the moment wood chips are not competitive fuel without financial support for harvesting and chipping.</p>		
Keywords Bioenergy terminal, wood chips, wood chips for fuel, production costs, dry green density, net calorific value		
Miscellaneous		

Sisältö

1 Johdanto	7
1.1 Metsähakkeen käyttö nyt ja tulevaisuudessa	7
1.2 Opinnäytetyön tavoite	9
2 Yleistä metsähakkeesta	10
2.1 Metsähakelaadut ja korjuutavat	10
2.2 Kosteus ja tehollinen lämpöarvo.....	11
2.3 Energiatiheys	15
2.4 Eri hakelaatujen ominaisuuksia.....	17
3 Metsätoimialan verkosto Pihtiputaalla	19
3.1 Metsäkolmio Oy	19
3.2 Putaan Mottimestarit Oy	20
3.3 KS Laatuenergia Oy.....	20
3.4 FM Timber Team Oy.....	21
3.5 Timber Lämpö Oy	22
4 Hakkeen tuotantoketju Metsäkolmio Oy:n toimintamallissa	22
4.1 Terminaalihaketus.....	22
4.2 Korjattava energiapuun ja kohteet joista energiapuuta korjataan.....	23
4.3 Energiapuun korjuu ja kuljetus	25
4.4 Haketus ja kuljetus asiakkaalle.....	26
5 Hakkeen tuotannon kustannukset vaiheittain	29
5.1 Tutkimusmenetelmä	29
5.2 Polttihakkeen myynti vuonna 2013	29
5.3 Puun hankinta- ja korjuukustannukset	31
5.4 Haketus- ja kuljetuskustannukset	34
5.4.1 Haketuskustannukset	37
5.4.2 Hakkeen kuormauskustannukset	38
5.4.3 Hakkeen kuljetuskustannukset.....	39
6 Yhteenveto kustannuksista	41

	2
7 Energiapuun korjuu ensiharvennusleimikoista	42
7.1 Energiapuukorjuri	42
7.2 Korjuukustannukset korjurilla	43
7.3 Polttohakkeen tuotannon kokonaiskustannukset	45
8 Tukien vaikutus hakkeentuotannossa	47
8.1 Tukien rooli KS-Laatuenergian toiminnassa	47
8.2 Kemera-tuki	47
8.3 Pienpuun energiatukijärjestelmä PETU	49
8.4 Energiapuutukien vaihtelevuus	50
9 Tulosten tarkastelu ja arviointi	51
9.1 Toiminnan kannattavuus	51
9.2 Metsähakkeen heikko kilpailukyky	51
9.3 Keinoja kannattavuuden parantamiseksi	52
9.3.1 Kantohinnan laskeminen	52
9.3.2 Hakkeen kuivuus	54
9.3.3 Tienvarsihaketuksen lisääminen	55
9.3.3 Tuotannon volyymin nosto	56

Kuviot

KUVIO 1. Tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta	12
KUVIO 2. Rumpuhakkurin periaate	26
KUVIO 3. KS-Laatuenergian hakkuri Kesla C645	27
KUVIO 4 KS-Laatuenergian hakeauto ja pyöräkuormaaja	28
KUVIO 5. Polttohakkeen myynti vuonna 2013	30
KUVIO 6. Haketus- ja kuljetuskustannusten jakautuminen	36
KUVIO 7. Haketuskustannukset	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
KUVIO 8. Hakkeen kuormauskustannukset	38
KUVIO 9. Hakkeen kuljetuskustannusten jakautuminen	40

KUVIO 10. Polttohakkeen tuotantokustannukset yhteensä	41
KUVIO 11. Energiapuukoura.....	42
KUVIO 12. Energiapuukorjuri	42
KUVIO 13. Polttohakkeen tuotannon kokonaiskustannukset energiapuukorjurilla....	46
KUVIO 14. Kosteuden vaikutus hakekuormasta saatuun myyntituloon.....	54

Taulukot

TAULUKKO 1. Puun osien teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa.....	17
TAULUKKO 2. Eri puutavaralajien keskimääräisiä kuivatuoretiheyksiä	18
TAULUKKO 3. Hakettavien puiden lajijakauma ja niiden kuiva-tuoretiheydet.....	32
TAULUKKO 4. Puunhankinnan yksikkökustannukset €/m ³	33
TAULUKKO 5. Puunhankinnan yksikkökustannukset €/ka-t	33
TAULUKKO 6. Korjatut puumäärät ja kustannukset yhteensä	34
TAULUKKO 7. Haketuksen ja kuljetuksen toteutuneet kustannukset vuonna 2013 ...	35
TAULUKKO 8. Korjuukustannukset.....	44
TAULUKKO 9. Ensiharvennusten puulajijakaumat ja kuiva- tuoretiheydet	44
TAULUKKO 10. Puunhankintakustannukset.....	45

Symbolit ja lyhenteet

M_{ar}	Kokonaiskosteus saapumistilassa
Q_{net}	Tehollinen eli alempi lämpöarvo Q_{net} =net calorific value, netto, lower heating value, LHV $Q_{net,d}$ =tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, d =dry, kuiva $Q_{net,ar}$ =tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, net calorific heating value as received, ar =as received, saapumistilassa, vastaanotettuna
E_{ar}	Energiatiheys saapumistilassa
W	Toimitettu energiamäärä
D_{ar}	Irtotiheys saapumistilassa (tilavuuspaino)
k.a.	kuiva-aine
ka	keskiarvo
ka-t	kuiva-ainetonni
p-%	paino-%
m^3	kiintokuutiometri ($\approx 2,5$ irtto- m^3 haketta)
i- m^3	irtokuutiometri
MWh	Megawattitunti
Mj	Megajoule
t	tonni, 1000 kg

Määritelmiä

Ensiharvennus taimivaiheen jälkeen ensimmäinen koneellisesti suoritettu harvennus, jossa korjataan puuta metsäteollisuuteen ja energiantuotantoon.

Energialumppi, lumppi metsäteollisuuden raaka-aineeksi kelpaamaton haarainen, mutkainen, pystyyn kuivunut tai laho puu, joka tässä tutkimuksessa käytetään polttohakkeen raaka-aineeksi. Pituudeltaan vähintään 150 cm, joka on lyhin mitta, jonka monitoimikoneen mittalaite pystyy kuutioimaan.

Harvennushakkuu metsänhakkuu, jossa puuston runkolukua vähennetään jäljellejäävän puuston laadun ja kasvuolosuhteiden parantamiseksi. Tavoitteena puustoltaan hyvä metsä, jonka puuston arvonnousu on mahdollisimman hyvä.

Hienoaines palamaisen polttoaineen joukossa olevaa tuotanto- ja käsittelyvaiheessa syntynyttä hienojakoista ainesta.

Irtotiheys (tilavuuspaino) polttoaineen massa laskettuna kehystilavuutta (eli kuormatilavuutta) kohti.

Irtokuutiometri i-m³ hakekuutiometri

Irtotiheys, kg/i-m³ massa ja tilavuus mitataan toimitustilassa.

Kantohinta (€/m³) puun ostajan metsänomistajalle puusta maksama kauppahinta.

Kiintokuutiometri, m³ kuorellinen kiintokuutiometri, keskimäärin 2,5 i-m³, energiana noin 2 MWh.

Kosteus polttoaineen sisältämä vesimäärä ilmoitettuna kosteaa ainetta kohti. Kosteusprosentti, eli kosteus on veden prosenttiosuus kokonaismassasta.

Kuitupuu pieniläpimittainen rungon osa, joka käytetään selluteollisuuden raaka-aineeksi.

Kuiva-aine polttoaine- ja muiden analyysien raportointiperusta. Kuiva-aineen massa (kg) on polttoaineen vedettömän osan kokonaismäärä, jota käytetään kuiva-aine-osuuksien vertailuperustana.

Kuiva-tuoretiheys pelkkä puuaineen kuivamassa tuoreessa tilassa mitattua tilavuusyksikköä kohti (kg/m^3), eli kuivamassa (kg) jaettuna tilavuudella tuoreena (m^3).

Päätehakkuu metsän hakkuu, jossa varttuneesta metsästä korjataan kaikki mitta- ja laatuvaatimukset täyttävä puuaines teollisuuden ja energiantuotannon raaka-aineksi.

Tiiviys puun kiintotilavuus (m^3)/tilavuus hakkeena (i-m^3).

Tiheys (kg/m^3) polttoaineen massa tilavuusyksikköä kohti.

Uudistushakkuu kts. päätehakkuu.

1 Johdanto

1.1 Metsähakkeen käyttö nyt ja tulevaisuudessa

Eu:n ilmastostrategian asettamien tavoitteiden mukaisesti Suomen tulee vuonna 2020 tuottaa 38 % kokonaisenergiastaan uusiutuvilla energialähteillä. Suurten metsävarojen ja voimakkaan metsäteollisuuden vuoksi puuperäiset polttoaineet ovat jo nyt merkittävässä roolissa Suomen energiantuotannossa ja tulevaisuudessa niiden merkitystä on mahdollista kasvattaa entisestään. Puuperäistä energiaa Suomessa saadaan uudistushakkuiden hakkuutähteistä, harvennusten pienpuusta, selluteollisuuden jäteliemistä sekä sahoilla sivutuotteena syntyvästä kuoresta ja purusta. Noin 40 % tehtaiden vastaanottamasta puuraaka-aineesta hyödynnetään lopulta energian tuotannossa. Vuonna 2012 puuperäisiä polttoaineita käytettiin Suomessa 89 terawattituntia, joka on yli viidennes energian kokonaiskulutuksesta. Vuonna 2012 puupolttoaineet nousivat suurimmaksi energialähteeksi ohittaen öljyn ensimmäistä kertaa. (Hakkuutähteistä ja metsäteollisuuden sivutuotteista saadaan energiaa, Maa- ja Metsätalousministeriön tiedote 2013.)

Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotannossa metsähaketta ja teollisuuden kuorta sekä purua käytettiin 12,8 terawattituntia vuonna 2012 ja Energiateollisuus ry:n ennakkotietojen mukaan 13 terawattituntia vuonna 2013 (Kaihlanen, J. 2014). Tällä hetkellä puuenergian pääkäyttökohteita ovat sähkön ja lämmöntuotanto, mutta tulevaisuudessa metsäbiomassasta valmistetaan myös nestemäisiä polttoaineita, joilla voidaan korvata fossiilista öljyä liikenteessä ja lämmityksessä. Ensimmäiset biopolttoainelaitokset ovat jo käynnistyneet tai rakenteilla.

Talousmetsien hoidossa ja uudistushakkuissa jää suuri osa metsien biomassasta hyödyntämättä, koska puiden latvukset, oksat, kannot ja rangat eivät sovellu perinteisen

metsäteollisuuden tarpeisiin. Ne voidaan kuitenkin käyttää hyödyksi energian tuotannossa. Maa- ja metsätalousministeriön mukaan vuoden 2000 jälkeen metsähakkeen käyttö Suomessa on yli kahdeksan kertaistunut, sitä poltettiin 8,3 kiintokuutiometriä vuonna 2012. Tästä 7,6 miljoonaa kiintokuutiometriä käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa. Metsähaketta käytetään myös pientalojen, lähinnä maatalojen lämmitykseen.

Keväällä 2010 hallitus sopi linjauksista, joilla Suomi pyrkii saavuttamaan uusiutuvan energian käytöstä annetun direktiivin tavoitteet. Näiden linjausten mukaan metsähakkeen käyttö tulisi nostaa 13,5 miljoonaan kiintokuutiometriin vuoteen 2020 mennessä eli lähes kaksinkertaistaa nykyisestä. Tämä vastaisi noin 25 - 27 terawattituntia energiaa. Vuonna 2013 päivitettyssä kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa nämä tavoitteet pidettiin ennallaan.

Metlan ja VTT:n tekemän tutkimuksen mukaan asetetut tavoitteet metsähakkeen käytön lisäämiseksi on mahdollista saavuttaa raaka-ainevarojen ja hakkeen käyttöpaikkojen kapasiteetin osalta. Tavoitteen täyttäminen vaatii kuitenkin paljon raaka-aineen hankinta- ja toimituslogistiikalta. Pelkästään Keski-Suomen maakunnan vuosittain korjattavissa olevaksi metsähakepotentiaaliksi on arvioitu 1,5 miljoonaa kuutiometriä (Lähdevaara, H., Savolainen, V., Paananen, M. & Vanhala, A. 2010, 11).

Asiantuntijakyselyn mukaan metsähakkeen hankinnan tärkeimmät kehitystarpeet liittyvät harvennuspuulla korjuukustannusten alentamiseen, kuljettajien ammattitaidon edistämiseen, ammattitaitoisen työvoiman saatavuuden turvaamiseen ja korjuun integrointiin (Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010, 4).

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Tulevaisuudessa metsähakkeen käyttöä energian tuotannossa pyritään lisäämään Suomessa. Tämä tarjoaa kasvavia liiketoimintamahdollisuuksia metsähakkeen hankintaan, korjuuseen, tuotantoon ja kuljetukseen liittyvissä palveluissa. Haasteena on kuitenkin saada näiden palveluiden tarjoaminen taloudellisesti kannattavaksi ja metsähakkeen hinta kilpailukykyiseksi fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Metsäkolmio Oy:n toimintamallissa syntyvien kustannusten suuruus metsähakkeen tuotannossa. Tarkastelun kohteena oli hakkeen nykyinen tuotantomalli, jossa kustannusten muodostuminen selvitetään vaiheittain alkaen energiapuun ostamisesta metsänomistajalta ja päättyen toimitukseen asiakkaalle hakkeen käyttöpaikalle. Lisäksi tarkasteltiin korjuukustannuksia Metsäkolmio Oy:lle uudella energiapuun korjuumenetelmällä, jossa aliurakoitsijana toimiva metsäkoneyrittäjä korjasi energiapuuta ensiharvennusleimikoista energiapuukorjurilla. Aliurakoitsijalla oli käytössään normaaliin kuormatraktorin kuormaimeen asennettu giljotiiniperiaatteella toimiva ja joukkokäsittelyominaisuudella varustettu hakkuupää. Energiapuut myös ajettiin tienvarteen käyttäen samaa konetta.

Tavoitteena oli saada tulokseksi selkeä euromääräinen luku hakkeen ominaistuotantokustannuksista, €/MWh, eli kuinka paljon Metsäkolmio Oy:lle tytäryhtiöineen syntyy kustannuksia alkaen leimikon ostosta ja päättyen hakekuorman tyhjentämiseen asiakkaan varastoon. Kun saatua lukua verrataan hintaan, jonka asiakkaat maksavat hakkeesta, saadaan selville onko toiminta kannattavaa.

Saatuja tuloksia voidaan käyttää myös käänteisesti energiapuun oston yhteydessä. Kun tiedetään hakkeen tuotantoketjussa muodostuvat kustannukset sekä valmiin hakkeen myynnistä saatava hinta, voidaan arvioida millä hinnalla energiapuuta voidaan kannattavasti ostaa metsänomistajilta.

2 Yleistä metsähakkeesta

2.1 Metsähakelaadut ja korjuutavat

Metsähake on yleisnimitys suoraan metsästä hankitulle tuotteelle, joka hienonnettu hake- tai murskemuotoon. Puuraaka-aineen hienontaminen tehdään joko terävillä terillä hakettamalla tai tylpillä, iskevillä terillä murskaamalla. Yleensä metsähaketta valmistetaan puuraaka-aineesta joka on mitoiltaan tai laatuominaisuuksiltaan puunjalostusteollisuuden raaka-aineeksi kelpaamatonta. Tällaista puuainesta ovat puiden latvat, oksat ja kannot, sekä alle ainespuukokoiset tai lahot rungon osat. (Puuenergia 2003, 37.)

Metsähake voidaan jakaa käytetyn raaka-aineen perusteella alaryhmiin runkopuu-hakkeeksi, hakkuutähteeksi ja kantohakkeeksi. Näiden eri hakelaatujen korjuutavat, sekä ominaisuudet energiakäytössä eroavat toisistaan.

Runkopuu-hakkeeksi kutsutaan haketta joka on valmistettu joko karsituista tai karsimattomista rungoista. Karsitusta rungosta tehtyä haketta kutsutaan yleisesti myös rankahakkeeksi ja karsimattomasta puusta neulasineen tai neulasitta tehtyä haketta kokopuu-hakkeeksi. Runkopuu-hakkeen tuotantoon käytettävä puuraaka-aine voi olla peräisin erityyppisiltä hakkuu- ja metsänhoitokohteilta joko ainespuuhakkuiden sivutuotteena harvennus- ja uudistushakkuilta, tai erikseen energiapuuksi korjattuna. (Puuenergia 2003, 37.)

Hakkuutähdehakkeen raaka-aineena käytetään ainespuiden hakkuun ja metsäkuljetuksen jälkeen metsään jäävää hakkuutähdettä. Hakkuutähde koostuu ainespuun laatuvaatimuksia täyttämättömistä rungon osista, kuten lahot, mutkaiset tai haaraiset pölkyt. Myös alle ainespuukokoiset rungon-osat, sekä oksat ja neulaset sisältyvät

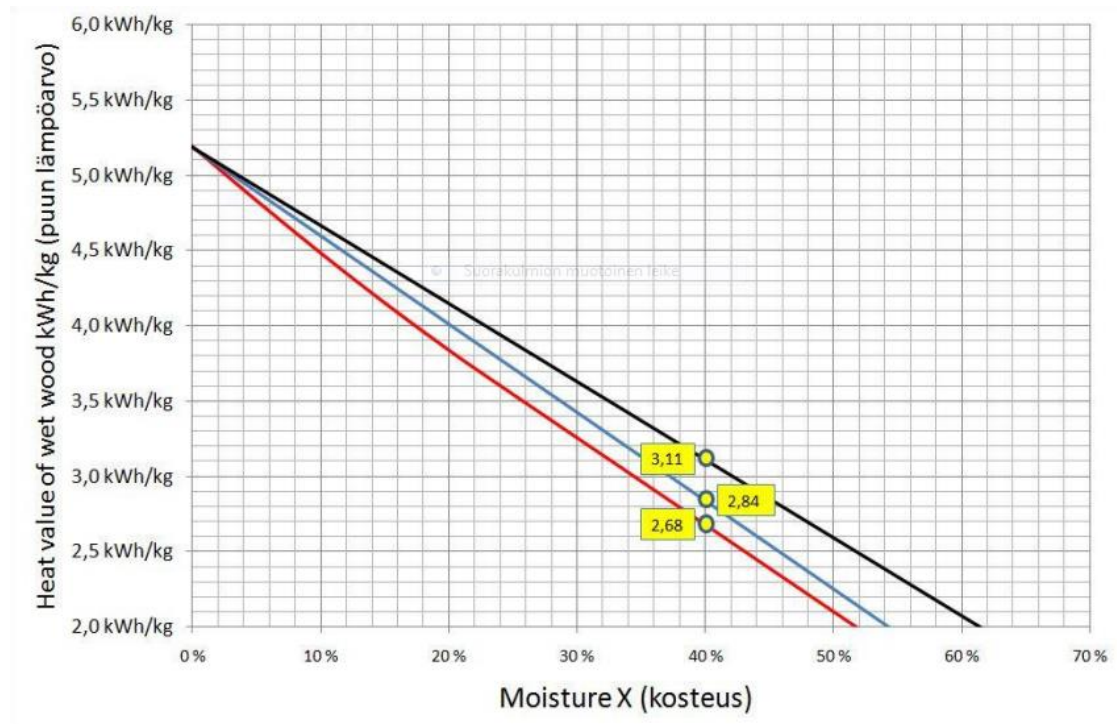
hakkuutähteeseen. Hakkuutähdettä korjataan käytännössä vain uudistushakkuualoilta, koska näillä kohteilla hakkuutähteen kertymä on huomattavasti suurempi kuin harvennushakkuualoilla. Uudistushakkuissa myöskään jäljelle jäävä puusto ei hidasta tähteen korjuuta, eikä pois vietävän tähteen ravinteet ole jäljelle jäävien puiden hyödynnettävissä. Kuusen suhteellisesti suuren oksamassan vuoksi hakkuutädekertymältään parhaita kohteita ovat kuusivaltaiset uudistushakkuut. (Puuenergia 2003, 38 – 39.)

Kantohakkeen raaka-aineena käytetään kantopuuta, sekä järeintä juuripuuta. Kantoja nostetaan ja käytetään energiapuuksi vain uudistushakkuualoilta sekä kohteilta, joissa maankäyttö muuttuu metsätaloudesta joksikin muuksi, esimerkiksi pelloksi tai tienpohjaksi. Näiltä alueilta kannot olisi joka tapauksessa tarpeellista poistaa. Korkein kertymä saadaan kuusivaltaisista päätehakuista. Harvennushakkuualoilta kantoja ei ole mahdollista nostaa, koska niiden repiminen maasta aiheuttaisi jäljelle jäävälle puustolle liian suuria juuristovaurioita. Kantojen hienontamiseen käytetään tylppä- ja iskeväteräisiä järeitä murskaimia, koska varsinkin kivennäismailta korjattaessa kantojen mukana nousee kiviä jotka aiheuttavat terävaurioita teräväteräisiin, leikkaavalla periaatteella toimiviin, hakkurin teriin. Turvemailta korjattuja kantoja on mahdollista hienontaa myös hakkurilla. Materiaalin hienonnutmenetelmän vuoksi puhutaan yleisesti myös kantomurskasta. (Puuenergia 2003, 40.)

2.2 Kosteus ja tehollinen lämpöarvo

Energiantuotannossa käytettävien kiinteiden polttoaineiden keskeisiä ominaisuuksia ja niiden hinnan muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpöarvo ja kosteus, sekä polttoaineen käsittelyyn vaikuttavat palakoko ja tiheys. Suuren mittakaavan polttohakekaupassa haketoimituserät punnitaan ja erien kosteus ja tarvittaessa muutkin ominaisuudet määritetään ottamalla toimituseristä näytteet jotka analysoidaan laboratoriossa. (Puuenergia 2003, 30.) Polttohakekauppa perustuu hakkeen sisältämään energiamäärään. Energiasisältö puolestaan riippuu hakkeen tehollisesta

lämpöarvosta, joka taas määritetään laskennallisesti kosteuden perusteella. Tämän vuoksi mahdollisimman edustavien näytteiden ottaminen, sekä mahdollisimman luotettava kosteuden määrittäminen on ensiarvoisen tärkeää.



KUVIO 1. Tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta (Härkönen. M. 2011. Kostean hakkeen energiasisältö)

Kuten kuviosta 1 nähdään, on puun kosteudella suuri merkitys sen teholliseen lämpöarvoon ja siten myös sen myyntihintaan. Pienistä toimituseristä ei ole järkevää tehdä punnituksia ja kosteusmittauksia jokaisesta erikseen, ja siksi pienessä mittakaavassa käytävässä hakekaupassa voidaan käyttää kirjallisuudesta saatuja keskimääräisiä ominaisuuksia ja polttoainemäärät määritetään tilavuusmittoina (Puuenergia 2003, 31).

Suomessa hakkeen kosteuden määrittäminen tapahtuu ISO 589 menetelmällä. Näytteitä punnitaan vaa'an punnitus tarkkuudesta riippuen joko kaksi 30 – 100 g suurista näy-

tettä punnitustarkkuuden ollessa 0,01 g tai kaksi 200 – 400 g suuruista näytettä punnitustarkkuuden ollessa 0,1 g. Toimituserästä otetut näytteet punnitaan ensin kosteina, kuivataan ilmastoidussa lämpökaapissa, jonka lämpötila on 105 ± 2 °C ja sen jälkeen punnitaan kuivatut näytteet. Useimmiten 16 tunnin kuivausaika on riittävä, tarvittaessa voidaan kuivata pitempäänkin, ei kuitenkaan yli 24 tuntia. Punnitustulosten perusteella voidaan määrittää hake-erän kosteus yhtälön 1 mukaisesti. (Alakangas 2000, 26 - 27.)

$$M_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

missä M_{ar} on märkätainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa (%)
 m_1 on märän näytteen massa (g)
 m_2 on kuivatun näytteen massa (g)

Kun kosteusprosentti on määritetty, voidaan saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo laskea yhtälön 2 mukaisesti (Alakangas 2000, 28).

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} * \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02441 * M_{ar} \quad (2)$$

missä $Q_{net,ar}$ on saapumistilaisen polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)
 $Q_{net,d}$ on kuiva-aineen tehollinen eli alempi lämpöarvo (MJ/kg)
 M_{ar} on vastaavan polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa (%) painotettuna kostean polttoaineen massalla
0,022441 (MJ/kg) on veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä (+25 °C)

Kun saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo on määritetty, voidaan siitä edelleen laskea koko polttoaine-erän sisältämä energiamäärä kaavan 3 mukaisesti (Alakangas 2000, 29).

$$W = \frac{Q_{net,ar}}{3,6} * m \quad (3)$$

missä $\frac{Q_{net,ar}}{3,6}$ on saapumistilaisen polttoaineen tehollisen lämpöarvon (MJ/kg) muunto yksikköön MWh/t
 m on toimitetun polttoaineen massa (tonnia)

Polttihakkeen myynnissä tuotteen energiasisältö ratkaisee hakkeen hinnan. Joulukuussa 2013 metsähakkeen keskimääräinen hinta lämmöntuotannossa oli 20,95 €/MWh (Liitetaulukko 2. Energian hintoja lämmöntuotannossa joulukuussa 2013, Tilastokeskuksen tiedote 2014).

Esimerkiksi, jos hakkeen kosteusprosentiksi on määritetty 40 % ja kuiva-aineen teholliseksi lämpöarvoksi 19,3 MJ/kg, on saapumistilassa olevan hakkeen tehollinen lämpöarvo yhtälön 2 mukaisesti silloin:

$$Q_{net,ar} = 19,3 \text{ MJ/kg} * \frac{100 - 40}{100} - 0,02441 \text{ MJ/kg} * 40 = 10,60 \text{ MJ/kg}$$

Tonni kyseistä haketta sisältää energiaa:

$$W = \frac{10,60 \text{ MJ/kg}}{3,6} = 2,94 \text{ MWh/t}$$

Hinnalla 20,95 €/MWh on haketonnin arvo:

$$2,94 \text{ MWh}/t * 20,95 \text{ €/MWh} = 61,59 \text{ €/t}$$

Jos haketta toimitetaan 40 tonnin erä, on koko haketoimituksen energiasisältö:

$$2,94 \text{ MWh}/t * 40 \text{ t} = 118 \text{ MWh}$$

Ja toimituserän arvo:

$$118 \text{ MWh} * 20,95 \text{ €/MWh} = 2472,10 \text{ €}$$

2.3 Energiatiheys

Polttoaineen lämpöarvo määritetään massa suhteutettuna. On tärkeää tuntea polttoaineen energiasisältö myös tilavuusyksikköä kohti, koska kuljetuskalusto ja varastotilat mitoitetaan yleensä tilavuuden mukaan. Tilavuusyksikön energiasisältöä kutsutaan polttoaineen energiatiheydeksi, joka metsähakkeella ilmoitetaan yleensä irtokuutiometriä kohti ($\text{kWh}/\text{i-m}^3$). Energiatiheyteen vaikuttavat puun lämpöarvon (kWh/kg kuivamassaa), lisäksi kosteus (veden osuus kokonaismassasta, %), kuiva-tuoretiheys (kuivamassaa kg/m^3), sekä hakkeen tiiviys ($\text{m}^3/\text{i-m}^3$). Hakkeen tiiveyteen vaikuttavat lukuisat tekijät, joita on listattu alla. (Puuenergia 2003,30.)

- Palan muoto. Mitä litteämpiä hakepalaset ovat, sitä alhaisempi tiiviys.
- Palakokojakauma. Epätasainen palakokojakaumaa johtaa korkeampaan tiiviyteen, koska hienojakeet täyttävät suurempien partikkeleiden rakoja.
- Oksat. Hakkeen seassa olevat oksanpätkät alentavat tiiviyttä.
- Puulaji. Hauraasta pehmeästä puusta syntyy haurautensa vuoksi enemmän hienojaetta kuin kovasta puusta tehty. Siten esimerkiksi leppähakkeen tiiviys on korkeampi kuin koivuhakkeen.
- Vuodenaika. Jäätäneestä puusta syntyy haurautensa vuoksi enemmän hienojaetta kuin sulasta, mikä merkitsee korkeampaa tiiviyttä.
- Kuormaustekniikka. Hakekuorman täyttäminen puhaltamalla johtaa korkeampaan tiiviyteen kuin vapaa pudotus siilosta tai kuljettimelta.
- Painuma kuljetuksessa. Kuljetuksen aikana tiiviys kasvaa kun hakepartikkelit limittyvät toistensa lomaan.

Yleensä polttihakkeen tiiviys on välillä 0,38 – 0,44 m³/i-m³. Yleisenä kertoimena käytetään lukua 0,40, jolloin yhdestä kiintokuutiometrissä puubiomassaa lasketaan saatavan 2,5 i-m³ haketta. Kun kiintokuutiometrissä puuta on keskimääräisesti 2 MWh energiaa, on hakkeen irtokuutiometrin energiasisältö tällöin keskimäärin 0,8 MWh/ i-m³. Metsäpolttoaineiden suurena ongelmana on alhainen energiatiheys, mikä aiheuttaa haasteita kuljetuksissa. Metsähakkeen kuljetuksen tilantarve on 11 – 15 kertaa suurempi kuin öljyllä ja 3 – 4 suurempi kuin kivihieillä. (Puuenergia 2003,30.)

Jos edellisessä kappaleessa esimerkkinä käytetyn hake-erän tiheydeksi on määritetty 300 kg/irto-m³, on hakkeen energiatiheys silloin:

$$2,94 \text{ MWh/t} * 0,3 \text{ t/irto} - \text{m}^3 = 0,882 \text{ MWh/irto} - \text{m}^3$$

Ja hakekuution arvo puolestaan:

$$0,882 \text{ MWh/irto} - \text{m}^3 * 20,95 \text{ €/MWh} = 18,48 \text{ €/irto} - \text{m}^3$$

Koko hake-erän tilantarve on:

$$\frac{118 \text{ MWh}}{0,882 \text{ MWh/irto} - \text{m}^3} = 134 \text{ irto} - \text{m}^3$$

Tämä tilavuus vastaa täyttä täysperävaunuyhdistelmällistä haketta.

2.4 Eri hakelaatujen ominaisuuksia

Eri puulajien ja puunosien ominaisuudet vaihtelevat ja siksi hakkeen laatu ja ominaisuudet ovat erilaiset eri materiaaleista tehdyllä hakkeella. Alla olevassa taulukossa on esitetty, kuinka kuiva-aineen teholliset lämpöarvot vaihtelevat puulajista ja puun osasta riippuen.

TAULUKKO 1. Puun osien teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa (MJ/kg) (Alakangas 2000,42)

Puulaji	Rungon puuaine	Rungon kuori	Koko runko	Latvus	Lehdet/Neulas et	Kokopuu	Kannot
Mänty (Pinus sylvestris), pienpuu Varttunut puu	19,31	19,53	19,33 19,55	20,23 20,09	21,00 21,04	19,53 19,63	22,36
Kuusi (Picea abies) pienpuu varttunut puu	19,05	18,80	19,02 19,16	19,77 19,41	19,22 19,19	19,29 19,24	19,18
Hieskoivu (Betula Pubescens), pienpuu varttunut puu	18,62	22,75	19,19 19,06	19,94 19,33	19,77 19,36	19,30 19,09	18,61
Rauduskoivu, (Betula pendula) pienpuu varttunut puu	18,61	22,53	19,15 18,96	19,53 19,61	19,72 19,76	19,21 19,05	18,50
Harmaaleppä (Alnus incana); pienpuu varttunut puu	18,67	21,57	19,00 19,14	20,03 19,74	20,57 20,54	19,18 19,22	19,27
Tervaleppä (Alnus glutinosa), pienpuu varttunut puu	18,89	21,44	19,31 18,90	19,37 19,47	20,08 19,78	19,31 19,00	18,91
Haapa (Populus tremula), pienpuu varttunut puu	18,67	18,57	18,65 18,62	18,61 18,96	19,18 19,02	18,65 18,66	18,32

Kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon vaihtelevuus on suhteellisen pientä. Sen sijaan suuria eroavaisuuksia on eri puulajien ja eri puun osien kuiva-tuoretiheyksissä.

TAULUKKO 2. Eri puutavaralajien keskimääräisiä kuivatuoretiheyksiä (Alakangas 2000, 45)

Puutavaralaji	Puulaji	Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³
Kuorellinen pinopuu	Mänty	390
	Kuusi	380
	Koivu	490
	Leppä	360
Harvennusten kokopuuhake	Mänty	385
	Kuusi	400
	Koivu	475
	Leppä	370
Hakkuutähdehake neulasitta	Mänty	405
	Kuusi	465
	Koivu	500
Hakkuutähdehake neulasineen	Mänty	395
	Kuusi	425
Sahausjäte kuorellinen	Havupuu	415
Kanto- ja juuripuu	Mänty	475
	Kuusi	435

Kuiva-tuoretiheys kertoo kuinka paljon puussa on kuiva-ainetta kiintokuutiometriä kohti tuoreessa tilassa. Tilavuus on siis tuoreen puun tilavuus ja massa täysin kuivan puuaineksen massa. Kuiva-tuoretiheys ei siis ole sama asia kuin kuivan puun tiheys, kuivatiheys, koska tuore puu kutistuu jonkin verran kuivuessaan. Kutistumisesta johtuen puun kuivatiheys on jonkin verran suurempi kuin kuiva-tuoretiheys. Kuivatuoretiheys voi vaihdella puun kasvupaikan, iän ja geneettisen perimän mukaan. (Alakangas 2000, 44.)

3 Metsätoimialan verkosto Pihtiputaalla

Metsäkolmio Oy on osa Pihtiputaalle vuosien saatossa kehittyneitä metsätoimialan yritysverkostoa. Metsäkolmio Oy tekee läheistä yhteistyötä tytäryhtiöidensä Putaan Mottimestarit Oy:n sekä KS Laatuenergia Oy:n kanssa, koska kaikilla kolmella yrityksellä on samat omistajat. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytty pelkästään Metsäkolmio Oy:n kustannuksiin, vaan tarkastelun kohteena oli koko yritysverkostolle hakkeen tuotannosta muodostuvat kustannukset. Näin siksi, että toiminnan on oltava kokonaisuuden kannalta kannattavaa.

3.1 Metsäkolmio Oy

Metsäkolmio Oy on jo yli kolmekymmentävuotta toiminnassa ollut pihtiputaalainen metsätoimialan perheyritys, joka on Pihtiputaalle kehittyneen metsätoimialan verkoston ”emoyritys”. Puunkorjuutoiminta alkoi vuonna 1971, kun Metsäkolmion perustaja ja nykyinen hallituksen puheenjohtaja Keijo Mikkonen aloitti metsäkoneurakoinnin yksityisenä yrittäjänä. Vuosien mittaan yrityksen toiminta laajeni ja vuonna 1994 yritysmuoto muutettiin nykyiseen muotoonsa ja nimeksi tuli Metsäkolmio Oy. Nykyään yrityksen vetovastuu on Keijo Mikkosen pojalla, Pasi Mikkosella, josta tuli toimitusjohtaja vuonna 2001. (Metsäkolmio Oy, yrityseshittely.) Metsäkolmio Oy:n liikevaihto on 12 miljoonaa euroa, ja se työllistää 11 henkilöä (FM Timber Team Oy:n yrityseshittely. 2014, 2).

Metsäkolmio Oy on erikoistunut puukauppaan ja puutavaran kaukokuljetukseen. Yritys ostaa puuta metsänhoitoyhdistyksiltä valtakirjakaupoilla, metsänomistajilta suoraan omien ostomiesten kautta sekä toimituspuuta toisilta metsäyhtiöiltä. Puunhankinta tapahtuu Pihtiputaan ja sen lähikuntien alueella. Tällä hetkellä puuta ostaa

neljä ostomiestä. Vuosittain Metsäkolmio Oy ostaa puuta noin 200 000 kiintokuutiometriä. Kaukokuljetukseen Metsäkolmio Oy:llä on käytössä viisi puutavara-autoa.

Metsäkolmio Oy toimittaa tukkipuuta pääasiassa Pihtiputaalaiselle sahalle, Fm Timber Team Oy:lle. Lisäksi tukkipuuta myydään myös muille sahoille, sekä kuitupuuta selluyhtiöille. Saha- ja selluteollisuuden ainespuun hankinnan sivutuotteena kertyvän energiapuun Metsäkolmio Oy toimittaa pääasiassa KS-Laatuenergia Oy:lle. Energiapuun osuus Metsäkolmion kokonaispuunhankinnasta on vain noin viisi prosenttia vuosittain.

3.2 Putaan Mottimestarit Oy

Puunkorjuutoiminta on eriytetty Metsäkolmio Oy:stä omaksi yhtiökseen ja puunkorjuuyhtiön nimi on Putaan Mottimestarit Oy. Mottimestarit Oy on metsäkoneurakointiyritys, joka korjaa valtaosan Metsäkolmio Oy:n ostamasta puutavarasta. Putaan Mottimestarit Oy:ssä on kymmenen motoketjua, joista kukin koostuu harvesterista ja kuormatraktorista, lisäksi Putaan Mottimestarit Oy:lle työskentelee tilanteesta riippuen 1 – 4 aliurakoitsijaa. Mottimestarit Oy:n liikevaihto on 2,25 miljoona euroa vuodessa ja työntekijöitä 22 (FM Timber Team Oy:n yritysesittely. 2014, 2).

3.3 KS Laatuenergia Oy

KS Laatuenergia Oy on vuonna 2009 perustettu energia-alan yritys, jonka toimenkuvaan kuuluu kiinteän biopolttoaineen valmistus hakettamalla ja murskaamalla, sekä valmiin polttoaineen kaukokuljetus asiakkaalle. KS Laatuenergia on ensimmäisiä bio-

polttoaineen toimittajayrityksiä Keski-Suomessa, jotka ovat ottaneet biopolttoaineterminaalin käyttöönsä. Raaka-aineena KS-Laatuenergia käyttää pääasiassa Metsäkolmio Oy:n ainespuuhakkuiden sivutuotteena kertyvää energiapuuta. KS-Laatuenergia ottaa vastaan myös rakennusten purkujäteitä ja murskaa siitä polttoainetta. KS-Laatuenergian vuotuinen liikevaihto on miljoona euroa ja se työllistää kolme henkilöä (FM Timber Team Oy:n yritys esittely. 2014, 2).

3.4 FM Timber Team Oy

FM Timber Team Oy on Pihtiputaalla vuonna 1996 perustettu sahayhtiö jolla on osittain sama omistajatausta kuin Metsäkolmio Oy:llä ja yhtiöt tekevät keskenään läheistä yhteistyötä puunhankinnassa. FM Timber Team Oy sahaa vuosittain 60 000 m³ puutavaraa ja kuivauskapasiteetti riittää kuivaamaan koko tuotantomäärän. Vientiin menevän sahatavaran osuus on 60 % ja asiakkaina teollisuus, rakennuspuusepänteollisuus ja vähittäismyyntikauppa. FM Timber Team Oy:n liikevaihto on 15 miljoonaa euroa ja henkilöstöä 26. (FM Timber Team Oy:n yritys esittely. 2014, 2-3.)

Vuonna 2006 yhtiö laajeni Venäjälle kun se osti Venäjän Värtsilästä Zao Karlis Prom:in sahayhtiön jonka vuosituotanto on noin 80 000 m³ sahatavaraa. Värtsilän tuotannosta valtaosa kuivataan Suomen puolella Kiihtelysvaarassa sijaitsevalla laitoksella, jonka FM Timber Team osti Saha-Tapio Oy:ltä vuonna 2010. (Timber Team Oy. Yritys esittely.)

3.5 Timber Lämpö Oy

Timber Lämpö Oy on FM Timber Team Oy:n tytäryhtiö, joka tuottaa vuosittain lämpöenergiaa 30 000 MWh. Tästä energiamäärästä puolet menee FM Timber Team Oy:n sahatavaran kuivaukseen ja puolet Pihtiputaan taajaman kaukolämpöverkkoon. Pääkattilana on FM Timber Teamin sahalaitoksella sijaitseva Sermet Oy:n toimittama pyöriväärinainen, teholtaan 6 megawatin lämpökattila. Kattilan savukanavaan on asennettu savukaasupesuri, joka nostaa hyötysuhdetta huomattavasti ja mahdollistaa kosteamman polttoaineen polton. Lisäksi vara- ja huippuvoimalaitoksina Pihtiputaan kaukolämpöverkkoon tuotetaan lämpöä myös Renewan vuonna 1992 toimittamalla vinoarinakattilalla, teholtaan 2 megawattia. Viimeisenä reservinä käytettävissä on myös tehoiltaan 2 ja 3 megawattia olevat öljykattilat. Polttoaineena Timber Lämpö Oy käyttää lähes yksinomaan FM Timber Team Oy:n sahausjätteenä syntyvää kuorta ja purua. Kovimmilla pakkasilla riittävän tehon saamiseksi käytetään myös sahausjätettä kuivempaa metsähaketta, sekä palaturvetta. Öljykattiloita tarvitaan vain poikkeustapauksissa. Timber Lämpö Oy:n liikevaihto on 1,5 miljoonaa euroa ja työntekijöitä 4. (FM Timber Team Oy:n yritysesitys. 2014, 2-4.)

4 Hakkeen tuotantoketju Metsäkolmio Oy:n toimintamallissa

4.1 Terminaalihaketus

Metsäkolmio Oy ja KS-Laatuenergia Oy käyttävät polttohakkeen tuotannossa terminaalihaketusta. Polttoaineeksi hienonnettava energiapuu kuljetetaan bioenergiater-

minaaliin, jossa se hienonnetaan hakettamalla tai murskaamalla. Terminaalia käytetään energiapuun, sekä valmiin metsähakkeen varastopaikkana. Terminaalihaketuksen etuna verrattuna välivarastolla tai hakkeen käyttöpaikalla tapahtuvaan haketukseen on hyvä toimitusvarmuus, koska raaka-ainetta ja valmista metsähaketta voidaan varastoida suuret määrät terminaalille. Lisäksi etuna on, että terminaali sijaitsee hyvien tieyhteyksien päässä, joten hakkeen kuljetus onnistuu myös kelirikkoaikana. Terminaalin hyvät haketusolosuhteet myös parantavat hakkeen laatua. Myös eri hake-
laatuksen sekoittaminen seospolttoaineeksi on mahdollista, kun kaiken raaka-aineen haketus on keskitetty yhteen paikkaan. Terminaalihaketuksen huonona puolena on hakkeen korkeampi tuotantokustannus verrattuna välivarasto- ja käyttöpaikkahaketuksen johtuen suuremmasta autokuljetus- ja auton kuormaustarpeesta. (Impola, R., Tiihonen, I. 2011, 5-6.)

4.2 Korjattava energiapuu ja kohteet joista energiapuuta korjataan

Nykyisessä Metsäkolmio Oy:n metsähakkeen tuotantomallissa ei osteta varsinaisia energiapuuleimikoita. Sen sijaan energiapuuksi korjataan pääte- ja harvennushakkuiden yhteydessä saatavaa teollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta runkopuuta, kuten pystyyn kuivaneet puut, lahoppuut, haarapuut, mutkaiset tyvet ym. Myös hakkuista kertyvät haavat, raidat, lepät ym. ainespuuksi kelpaamattomat puulajit korjataan energiapuuna. Energiapuu on siis puhtaasti perinteisten ainespuuhakkuiden yhteydessä syntyvä sivutuote. Energiapuuleimikoita ei nykymallissa ole korjattu, koska pieniläpimittaisen puun korjaaminen ensiharvennuksilta on käytössä olevilla koneilla liian hidasta, kallista ja kannattamatonta.

Puiden latvuksia ja oksia sekä kantoja ei Metsäkolmion nykymallissa korjata. Latvukset, oksat ja kannot korjataan vain jos metsänomistaja erikseen niin vaatii, tai jos kyseessä on alue jolta nämä tähteet joka tapauksessa pitää viedä pois. Tällaisia alueita

ovat esimerkiksi peltoraiviot, tienpohjat, tonttimaat ym. Perusteena tähteiden korjaamatta jättämiselle on se, että Metsäkolmion tavoitteena on ollut saada puukaupat ja puunkorjuu hoidettua mahdollisimman nopeasti. Puunkorjuutoiminnan nopeus, sujuvuus ja luotettavuus ovat tärkeitä metsänomistajan, eli puun myyjän kannalta ja Metsäkolmion toimintaan tyytyväinen puunmyyjä todennäköisesti myy puunsa jatkossakin Metsäkolmiolle.

Latvuksia ja kantoja korjattaessa jouduttaisiin oksa- ja kantokasoja kuivattamaan useita viikkoja hakkuuaukealla ennen kuljetusta tienvarsivarastoon. Tämä pitkittäisi puukauppojen loppuun viemiseen kuluvaan aikaa huomattavasti. Latvukien ja erityisesti kantojen korjuussa kasojen seisottaminen hakkuuaukealla ja sen jälkeinen nostelu kuormatraktorilla on tarpeellista myös niiden puhdistumisen kannalta. Tähteiden ja etenkin kantojen seassa on paljon maata, hiekkaa ja kiviä jotka aiheuttavat ongelmia haketuksessa ja poltossa. Kasojen kuivuessa ja niitä nosteltaessa maa ja kivet varisevat pois, mikä parantaa niistä saatavan hakkeen laatua.

Latvukien ja oksien korjuun ja kuljetuksen kannattavuus on kyseenalaista pienten kuormapainojen vuoksi. Hakkuuaukealla kuivattaminen aiheuttaa sen, että kuormatraktori täytyy tuoda hakkuualueelle uudestaan siirtämään kuivuneet oksat ja kannot tien varteen ja jokainen koneen siirto lavetilla aiheuttaa luonnollisesti lisäkustannuksia.

Metsäkolmio Oy:n tuottama hake on siis pääasiassa karsitusta puusta tehtyä runkopuuhaketta, joka tehdään hakkuiden yhteydessä kertyvästä runkohukkapuusta. Kaikki Metsäkolmio Oy:n ostama haapa, sekä pieni osa koivukuidusta päättyy myös haketukseen. Pienemmissä määrin haketetaan myös oksia ja latvuksia, sekä murskataan kantoja ja rakennusten purkujätteitä.

4.3 Energiapuun korjuu ja kuljetus

Metsäkolmion energiapuun korjaa pääasiassa Putaan Mottimestarit Oy ja energia-puuta korjataan tällä hetkellä normaaleiden ainespuun harvennus- ja päätehakkuuleimikoiden yhteydessä, joten myös käytettävä kalusto on perinteisille harvennuksille ja päätehakkuille soveltuvaa puunkorjuukalustoa. Puiden kaato, mittaus ja katkonta tapahtuvat harvestereilla, joissa teräketjuilla leikkaavat harvesteripäät. Energiapuuksi korjataan runkopuuta, joka on katkottu vähintään 150 cm pituisiksi, koska se on lyhin mitta jonka monitoimikoneen mittalaite pystyy mittaamaan. Tämän pituisten runkojen metsäkuljetus palstalta tienvarteen onnistuu normaaleilla ainespuun korjuussa käytettävillä kuormatraktoreilla.

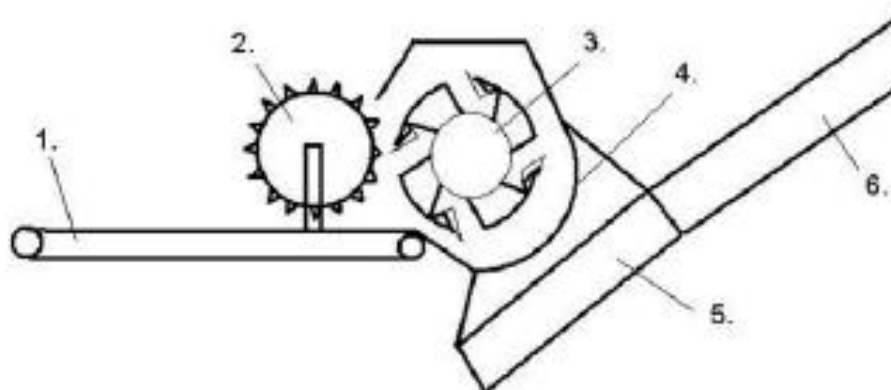
Tällä hetkellä Putaan Mottimestarit Oy:llä ei ole erityisesti energiapuunkorjuuseen tarkoitettua motoketjua. Käytössä ei ole pienikokoisen energiapuun korjuuseen ketjuleikkausta paremmin soveltuvia giljotiiniperiaatteella toimivia harvesteripäitä. Perinteisellä teräketjuleikkauksella energiapuunkorjuussa on ongelmana ketjujen paikoillaan pysyminen. Pienikokoisia ja lähellä toisiaan kasvavia puita kaadettaessa viereisen puun kanto vääntää usein teräketjun irti harvesteripään teräketjulaipasta. Tästä on seurauksena terän ja laipan vaurioituminen. Vaurioituneiden osien uusiminen lisää huoltokustannuksia ja hidastaa puunkorjuuta sekä sen tuottavuutta. Giljotiiniperiaatteella toimivassa harvesteripäässä näitä ongelmia ei esiinny ja siten se soveltuu paremmin halkaisijaltaan pienten puiden korjuuseen ja niiden joukkokäsittelyyn.

Kuljetus metsätien varsilta terminaalin tapahtuu Metsäkolmio Oy:n puutavara-autoilla. Karsitun runkopuun kuljetus onnistuu tavallisella ainespuun kuljetukseen tarkoitetulla puutavaran kuljetuskalustolla. Pienten energiapuuerien kuljetus voidaan yhdistää ainespuukuljetuksiin lastaamalla energiapuut ainespuukuorman päälle. Kuljetuksia yhdistämällä saadaan aikaiseksi kustannussäästöjä. Kantojen ja hakkuutähteiden kuljetukseen käytössä on myös yksi energiapuulaidoilla varustettu täysperävaunu, sekä puutavara-auton kuormatilaan asennettavat umpilaidat.

4.4 Haketus ja kuljetus asiakkaalle

Metsäkolmio Oy toimittaa energiapuut KS Laatuenergia Oy:lle, joka varastoi, murskaa ja hakettaa raaka-aineen bioenergiaterminaalilla. Terminaali on erilaisten raaka-aineiden vastaanotto-, varastointi- ja käsittelypaikka, jossa raaka-aineita haketetaan, murskataan ja toimitetaan eteenpäin. Terminaalilla on haketuksen ja murskauksen jälkeen mahdollista sekoittaa erilaisia polttoainejakeita keskenään, jolloin saadaan erilaisia seospolttoaineita. Terminaalilla on myös mahdollista yhdistää pienemmät raaka-aine erät suuremmiksi toimituskokonaisuuksiksi.

Hakemukseen käytetään 2009 hankittua ja kuorma-auton peräkärryn päälle asennettua Kesla C645 rumpuhakkuria, joten sillä voidaan tarvittaessa siirtyä hakettamaan myös terminaalin ulkopuolelle. Hakkurin syöttämiseen käytetään pääasiassa vanhaa metsäajosta poistettua metsätraktoria. Hakkuria voidaan syöttää myös suoraan puutavara-auton kuormasta auton omalla kuormaimella. Hakkuria pyörittää saman peräkärryn päälle asennettu 350 hevosvoiman kuorma-auton dieselmoottori. Hienonnetun polttoaineen purku hakkurista tapahtuu kuljetinhihnalla, jolla tavara voidaan purkaa maahan, tai suoraan hakerekan kuormatilaan. Hakkurin tuottavuudeksi valmistaja lupaa ihannetapauksessa 160 i-m³/h (C645 tuote-esittely, Kesla Oyj.) käytännön olosuhteissa tuottavuus on noin 100 i-m³/h (Kahilainen T. 2014).



KUVIO 2. Rumpuhakkurin periaate (Lähdevaara ym. 2010, 34)

Hakkurissa on kolme metriä pitkä syöttöpöytä joka syöttää puutavaran rullille, jotka edelleen painaa puun pyörivää rumpua vasten. Hakkurin syöttöaukon koko on 600 x 450 mm ja rummunhalkaisija 570 mm. Rummussa olevat terät leikkaavat puusta paloja, jotka edelleen iskeytyvät teriin ja hienontuvat, kunnes ne tippuvat rummun alapuolella olevan seulan läpi purkukuljettimelle. Polttoaineen palakokoa säädellään seulan silmäkoon avulla, käytettävissä on 20 – 100 mm seulat. (C645 tuote-esittely. Kesla Oyj.)



KUVIO 3. KS-Laatuenergian hakkuri Kesla C645

Hakkuri soveltuu parhaimmin karsitun runkopuun haketukseen. Syöttölaitteen vuoksi hakkuri soveltuu huonosti metsätähteiden hienontamiseen. Metsätähteiden hienontamiseen soveltuisi paremmin materiaaliin voimakkaammin tarttuvat syöttöpyörät ja telat jotka työntävät hienonnettavan materiaalin hakkurin terille.

Hakkurin lisäksi KS-Laatuenergialla on käytössään kiinteä sähkökäyttöinen murskain, jolla murskataan pääasiassa puuperäisiä rakennusjätteitä. Kantojen murskaukseen murskaimen järeys ei riitä, ja siksi kantojen murskaukseen käytetään aliurakoitsijoita.

Eri raaka-aineista valmistetut polttoaineet haketetaan yleensä omiin kasoihinsa, joista on mahdollista sekoittaa kauhakuormaajalla halutun laisia polttoainesekoituksia hakeauton kuormauksen yhteydessä. Valmis polttoaine lastataan kauhakuormaajalla hakeautoon ja kuljetetaan asiakkaalle. Hakkeen kuljetukseen KS Laatuenergialla on käytössä yksi tilavuudeltaan 100 kuutiometrin puoliperävaunuyhdistelmä.



KUVIO 4 KS-Laatuenergian hakeauto ja pyöräkuormaaja

5 Hakkeen tuotannon kustannukset vaiheittain

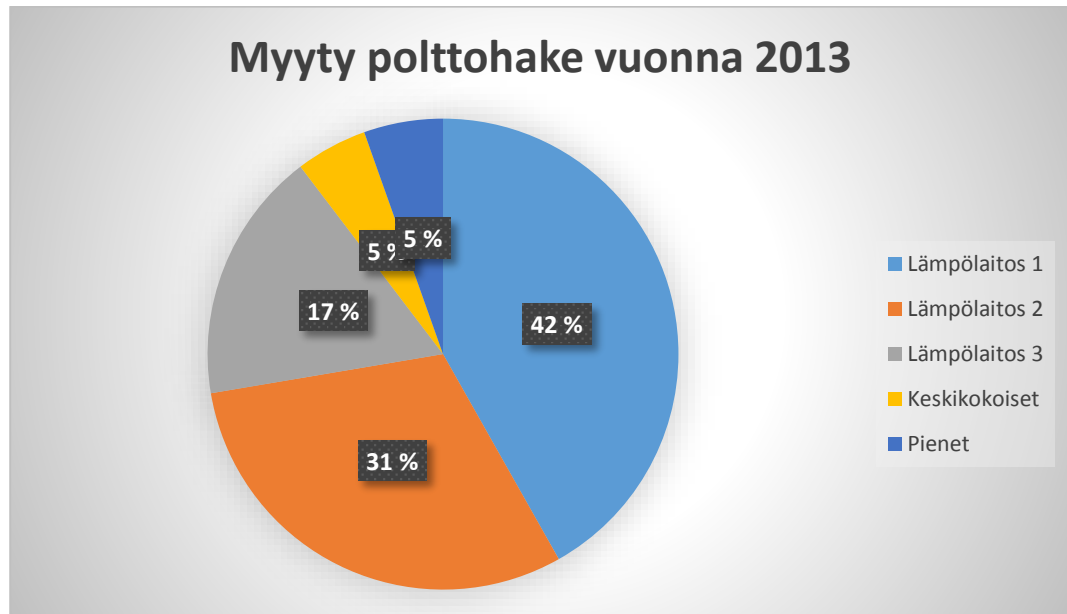
5.1 Tutkimusmenetelmä

Polttohakkeen tuotantokustannukset selvitettiin kvantitatiivisella tutkimusmenetelmällä. Ensin selvitettiin KS-Laatuenergian kirjanpidosta kuinka paljon polttohaketta oli myyty vuonna 2013. Toteutuneen myynnin perusteella laskettiin kuinka paljon raaka-ainetta, eli energiapuuta vastaavan hakemäärän tuottamiseen on tarvittu. Tämän jälkeen selvitettiin Metsäkolmio Oy:n kirjanpidosta vuonna 2013 tehtyjen puukauppojen keskimääräiset kantohinnat ja korjuukustannukset energiapuulle, sekä puun kuljetuskustannukset terminaaliin. Haketus- ja kuljetuskustannusten selvittämiseksi laskettiin yhteen kalustohankinnoista johtuvat poistot ja korkokulut vuoden ajalta. Lisäksi vuoden 2013 kirjanpidosta selvitettiin toteutuneet polttoainekustannukset, työntekijöiden palkkakustannukset, kaluston huolto- ja kunnossapitokustannukset, sekä muut yritystoimintaan kuuluvat yleiskulut.

5.2 Polttohakkeen myynti vuonna 2013

Vuonna 2013 toteutuneen polttohakemyynnin selvittämiseksi käytiin läpi KS-Laatuenergian koko 2013 kirjanpito ja laskettiin yhteen myyty hakemäärä. Kirjanpidon mukaan vuonna 2013 haketta myytiin yhteensä 25 664 MWh. Myydyn polttohakkeen tilavuus oli 34 784 irtom³ ja massa 9 833 t. KS-Laatuenergialla Oy:llä on pääasiakkaina kolme lämpölaitosta, joita tässä tutkimuksessa kutsutaan nimillä Lämpölaitos 1, Lämpölaitos 2 ja Lämpölaitos 3. Yhteensä nämä kolme suurinta asiakasta ostivat 90 prosenttia koko vuoden myynnistä. Lisäksi polttohaketta ostivat yksittäisinä erinä kolme keskisuuren kokoluokan yritystä. Nämä keskikokoiset asiakkaat ostivat yhteensä noin

viisi prosenttia hakkeen kokonaismyynnistä. Loput viisi prosenttia vuoden hakemyynnistä meni pienasiakkaille, pääasiassa maatilojen lämpökeskusten polttoaineeksi.



KUVIO 5. Polttohakkeen myynti vuonna 2013

Kolmen suurimman asiakkaan haketoimituksista oli kirjanpidossa kuormakirjat, joista selvisi kuormien painot, kosteudet, teholliset lämpöarvot sekä kokonaisenergiasisältö. Suuret asiakkaat maksoivat hakkeesta energiasisällön mukaan. Pienten ja keskikokoisten asiakkaiden ostamissa hake-erissä hinta määräytyi irtokuutiometriä perusteella, eikä niistä ollut tiedossa tarkkaa painoa, kosteutta, eikä tehollista lämpöarvoa. Näiden asiakkaiden ostaman hakkeen energiasisältö arvioitiin laskennallisesti käyttämällä pienasiakkaiden hakkeen kosteutena 30 prosenttia (Kahilainen T. 2014) ja painona 260 kg/i-m^3 (Härkönen. M. 2011. Kostean puun tiheys ja hakkeen irtotiheys. 2011, 3). Keskikokoisten asiakkaiden hakkeen kosteutena käytettiin 45 prosenttia, joka on suurten asiakkaiden hakkeen kosteuden keskiarvo ja tiheytenä, 330 kg/i-m^3 (Härkönen. M. 2011. Kostean puun tiheys ja hakkeen irtotiheys. 2011, 3). Verotonta myyntituloa hakkeen myynnistä tuli yhteensä 539 393,07 euroa, eli keskimäärin myyntihinta oli 21,02 €/MWh. Myydyn hakkeen kosteusprosentin painotettu keskiarvo oli 45,64 %.

Terminaalille toimitettiin noin 750 m³ jätepuuta, joka murskattiin kiinteällä kaksivaihemurskalla. Määrä vastaa 1875 i-m³ haketta tiiviiden ollessa 0,4 m³/i-m³.

Kun murskatun tavaran osuus vähennetään kokonaismäärästä, tulee hakettamalla tuotetun polttoaineen määräksi 24 280 MWh, 31309 i-m³ ja 9278 t, sekä verottomaksi myyntituloksi 510 318 euroa. Jätepuun osuus oli tarpeellista vähentää kokonaisluvusta, koska tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia nimenomaan metsänhakuista korjattavan energiapuun ja siitä hakettamalla tehdyn polttoaineen tuotantokustannuksia.

5.3 Puun hankinta- ja korjuukustannukset

Kuten kappaleessa 2.2 todetaan, määräytyy polttihakkeen hinta sen tehollisen lämpöarvon mukaan. Tehollinen lämpöarvo lasketaan hakkeen kosteusprosentin perusteella, eli toisin sanoen sen sisältämän kuiva-ainemäärän perusteella. Myydyn hakkeen keskimääräinen kosteus oli 45,64 % ja tuoreen puun kosteus vaihtelee välillä 40 – 60 % riippuen vuodenajasta ja puulajista (Puuenergia 2003, 31). Ennen haketusta puun on annettu kuivua sen tehollisen lämpöarvon ja siis myyntihinnan parantamiseksi.

Kosteusprosentin vaihtelun ja polttihakkeen hinnan määrittämisen vuoksi on luontevampaa tarkastella kuinka paljon maksaa puun sisältämän kuiva-ainetonnin ostoa, korjuu ja kuljetus terminaalille sen sijaan, että tarkasteltaisiin tilavuusmittoja tai tuoremassoja. Polttihakkeen tuotannon kannalta on suuri merkitys haketetaanko kiintokuutiometri koivua, jonka kuiva-tuoretiheys on 490 kg/m³ vai haapaa, jonka kuiva-tuoretiheys on 360 kg/m³. Koivu sisältää huomattavasti enemmän kuiva-ainetta, eli siitä tehty hake on arvokkaampaa kuin haavasta tehty.

Myydyn polttihakkeen ja sen keskimääräisen kosteuden perusteella pystyttiin laskemaan hakkeen sisältämä kuiva-ainemassa, joka oli 5057,31 tonnia. Saman suuruinen

kuiva-ainemassa oli siis tarpeellista ostaa, korjata ja kuljettaa terminaalille tuoreena puuna. Kuten kappaleessa 2.4 todetaan, on eri puulajien kuiva-tuoretiheyksissä suuria eroja, joten oli tarpeellista selvittää eri puulajien osuudet haketukseen päätyvästä energiapuusta. Taulukossa 3 on esitetty haketukseen päätyvien puulajien jakauma (Kahilainen T. 2014), sekä puulajien keskimääräinen kuivatuoretiheys (Puuenergia 2003, 34). Laskelmissa kuusen kuiva-tuoretiheydenä käytettiin arvoa 360 kg/m^3 . Haketukseen päätyvä lahopuu on pääasiassa kuusta, eikä lahon puun tiheys ole yhtä korkea kuin terve puun tiheys.

TAULUKKO 3. Hakettavien puiden lajijakauma ja niiden kuiva-tuoretiheydet

puulaji	osuus hakettavista kiintokuutiometreistä %	kuiva-tuoretiheys kg/m^3
haapa	30	360
kuusi	30	380
koivu	20	490
mänty	15	390
leppä	5	360

Puunhankinnan kustannusten laskentaan käytettiin Metsäkolmio Oy:n keskimääräisiä kantohintoja, sekä Putaan Mottimestarit Oy:n keskimääräisiä korjuukustannuksia vuodelta 2013. Korjuukustannuksista on vähennetty Mottimestarit Oy:n keskimääräinen voitto, joka on $0,25 \text{ €/m}^3$ (Mikkonen P. 2014). Tiedot saatiin Metsäkolmio Oy:n käyttämästä Forest-ohjelmistosta, johon tallentuvat kaikki Metsäkolmio Oy:n tekemät puukaupat. Autokuljetuskustannusten laskentaan käytettiin kustannusta $0,109 \text{ €/m}^3\text{km}$ (Metsätilastollinen vuosikirja 2013, 193) ja keskimääräisenä kuljetusmatkana 40 km. Taulukossa 4 on esitelty haketukseen päätyvien puutavaralajien kantohinnat, korjuu- ja autokuljetuskustannukset, sekä niiden painotetut keskiarvot, kun on otettu huomioon eri puutavaralajien osuudet haketukseen päätyvästä puusta. Puun kantohinta, korjuu- ja autokuljetuskustannus muodostavat sen kokonaiskustannuksen, mikä puunhankinnasta muodostuu, kun puu on toimitettu metsästä bioenergiatermiinalliin.

TAULUKKO 4. Puunhankinnan yksikkökustannukset €/m³

	kantohinta €/m ³	korjuu €/m ³	kuljetus €/m ³	yhteensä €/m ³
Energialumpit	8,15	9,75	4,36	22,26
Haapakuitu	8,32	12,30	4,36	24,98
Koivukuitu	16,49	13,01	4,36	33,86
painotettu keskiarvo	9,87	11,17	4,36	25,39

Energialumppeihin sisältyvät teollisuuden ainespuuksi kelpaamattomat lahot, mutkaiset, haaraiset, pystyyn kuivaneet ym. hukkapuut, sekä erilaiset jalostukseen kelpaamattomat lehtipuut. Taulukossa 3 mainituista puulajeista mänty, kuusi ja leppä kuuluvat energiapuutavaralajiin ja ne muodostavat yhteensä puolet koko haketukseen menevästä puumäärästä. Lisäksi haketukseen menee kaikki Metsäkolmio Oy:n ostama haapakuitu ja pieni osa koivukuidusta.

Puukauppaa käydään tilavuusmittojen perusteella, ja maksut tapahtuvat yksikön €/kiinto-m³ perusteella. Mutta kuten edellä on mainittu, on polttohakkeen tuotannossa olennaista seurata kuiva-ainetonnien hankintakustannuksia, ja sen vuoksi on syytä tarkastella mitkä ovat puunhankinnan yksikkökustannukset kuiva-ainetonnia kohden puutavaralajeittain.

TAULUKKO 5. Puunhankinnan yksikkökustannukset €/ka-t

	kantohinta €/ka-t	korjuu €/ka-t	kuljetus €/ka-t	yhteensä €/ka-t
Energialumpit	22,45	26,86	12,01	61,32
Haapakuitu	23,11	34,17	12,11	69,39
Koivukuitu	33,65	26,55	8,90	69,10
painotettu keskiarvo	25,47	28,82	11,25	65,53

Taulukkoja 4 ja 5 vertailemalla huomataan, että vaikka koivukuidun hankintahinta kiintokuutiometriä kohti on huomattavasti korkeampi kuin haapakuidun, on niiden

kokonaiskustannukset kuiva-ainetonnin kohti silti hyvin lähellä toisiaan johtuen koivun suuremmasta kuiva-tuoretiheydestä. Edullisimmin kuiva-ainetonnin saa terminaaliin toimitettuna energialumpien muodossa.

Taulukossa 6 on esitetty korjatut puumäärät puutavaralajeittain, sekä puunhankinnasta aiheutuneet kokonaiskustannukset. Keskimääräisellä puulajijakaumalla 24 280 MWh:n hakemäärään tarvitaan siis noin 13 000 kiintokuutiometriä puuta, jonka hankintakustannus on yhteensä noin 330 000 euroa Metsäkolmio Oy:n keskimääräisillä kantohinnoilla ja korjuukustannuksilla.

TAULUKKO 6. Korjatut puumäärät ja kustannukset yhteensä

	kiintokuutiot	kantohinta €	korjuu €	kuljetus €	yhteensä €
Energialumpit	6475	52759	63135	28233	144128
Haapakuitu	3885	32325	47789	16940	97054
Koivukuitu	2590	42712	33698	11293	87703
yhteensä	12951	127797	144622	56466	328884

5.4 Haketus- ja kuljetuskustannukset

Haketuksen ja hakkeen kuljetuksen kustannusten laskennassa otettiin huomioon kalustoinvestoinneista johtuvat kiinteät kustannukset, työvoimakustannukset, sekä kaluston käyttökustannukset. Taulukossa 7 on listattu kaluston hankintahinnat, pitoajat, arvioidut jäännösarvot, sekä investointien aiheuttamat kiinteät kustannukset. Lisäksi taulukossa on esitetty haketuksesta vuonna 2013 aiheutuneet työvoimakustannukset, sekä käyttökustannukset.

TAULUKKO 7. Haketuksen ja kuljetuksen toteutuneet kustannukset vuonna 2013

	hakkuri	hakeauto ja perävaunu	hakkurin syöttökone	pyöräkuormaaja
hankintahinta, € (Alv 0 %)	200000	150000	50000	100000
jäännösarvo, € (Alv 0 %)	60000	65000	20000	40000
pitoaika vuosina	8	5	5	10
KIINTEÄT KUSTANNUKSET				
poistot, €/vuosi	17500	17000	6000	6000
korko, €/vuosi	4163	3480	1140	2370
vakuutukset, €/vuosi	1500	2957		1055
TYÖVOIMAKUSTANNUKSET				
työvoimakustannukset yhteensä €/vuosi	36316	23684		3539
KÄYTTÖKUSTANNUKSET				
polttoaineen hinta €/l (Alv 0 %)	0,85	1,16	0,85	0,85
polttoainekustannukset, €/vuosi (Alv 0 %)	16328	19688	1166	5831
huolto- ja kunnossapitokustannukset, €/vuosi (Alv 0 %)	15073	8678	905	3306
MUUT	2787	2787	2787	2787
YHTEENSÄ €	93666	78275	11999	24888
KAIKKI YHTEENSÄ €				208827

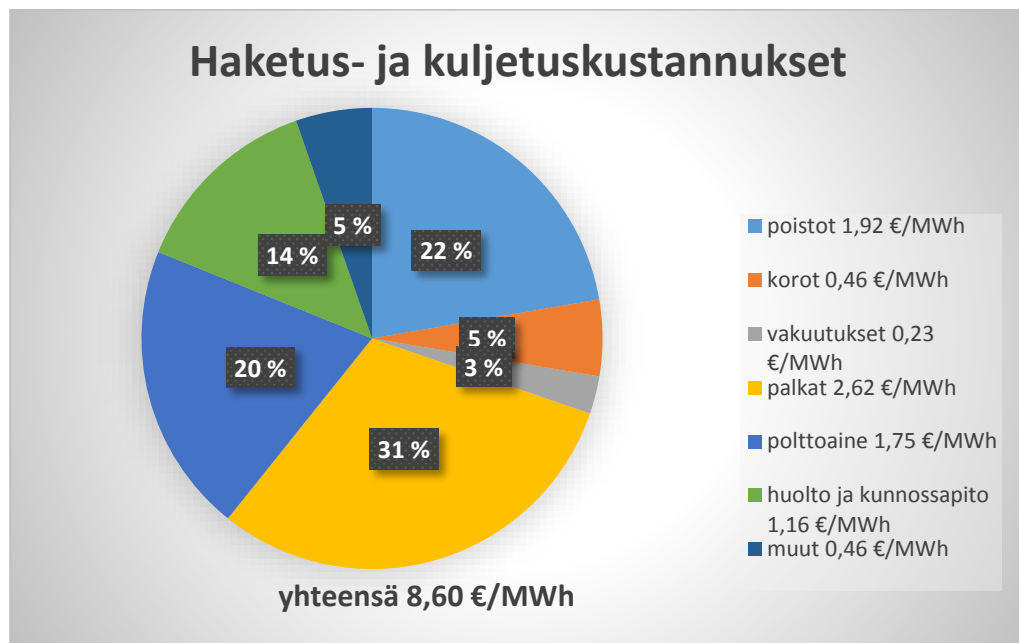
Kiinteiden kustannusten laskentaan tarvittavat investointikustannukset, kaluston pitoajat ja kaluston jäännösarvot saatiin KS-Laatuenergian toimitusjohtaja Pasi Mikkoselta. Korkokantana korkokustannusten laskentaa käytettiin 3 % ja vuotuinen korkokustannus on koko pitoajan vuotuisen korkokustannuksen keskiarvo. Kaluston vakuutusmaksut saatiin KS-Laatuenergian vuoden 2013 laskutustietojen perusteella.

Työvoimakustannusten laskemiseksi käytiin läpi työntekijöille vuonna 2013 maksetut palkat ja työntekijöiden työajanseuranta, jotta saatiin selville haketukseen kulunut työaika, sekä haketukseen liittyvät palkkakustannukset. Työvoimakustannusten laskennassa otettiin huomioon työnantajalle työntekijän palkkakulujen lisäksi aiheutuvat kustannukset, kuten työeläkemaksut, työttömyysvakuutusmaksut ja työntekijöiden tapaturmavakuutukset ja lomarahat, joista kertyy työnantajalle noin 1,7 kertainen kustannus verrattuna työntekijän palkkaan.

Polttoainekustannuksia varten katsottiin työntekijöiden vuoden 2013 työajanseurannasta minä aikana on haketettu ja laskettiin yhteen kyseisenä aikana saadut polttoainelaskut. Polttoöljyä haketukseen kului yhteensä 27 400 litraa, josta hakkurin arvioitiin kuluttaneen 70 %, syöttökoneen 5 % ja pyöräkuormaajan 25 %. Dieseliä kului yhteensä 16 500 litraa, josta 96 % kului hakkeen kaukokuljetukseen hakeautolla. Loput 4 % dieselistä kulutti työntekijöiden huoltoauto.

Huolto- ja kunnossapitokustannusten selvittämiseksi käytiin läpi KS-Laatuenergian vuoden 2013 maksamat laskut ja laskettiin yhteen kuhunkin kalustoon, tai toimintaan liittyvät kulut. Muut kustannukset sisältävät koko toimintaan kohdistuvat oheiskulut, kuten sähkö- ja puhelinlaskut, lumenauraukset, hallintokulut, sekä työntekijöiden huoltoautosta koituneet kulut.

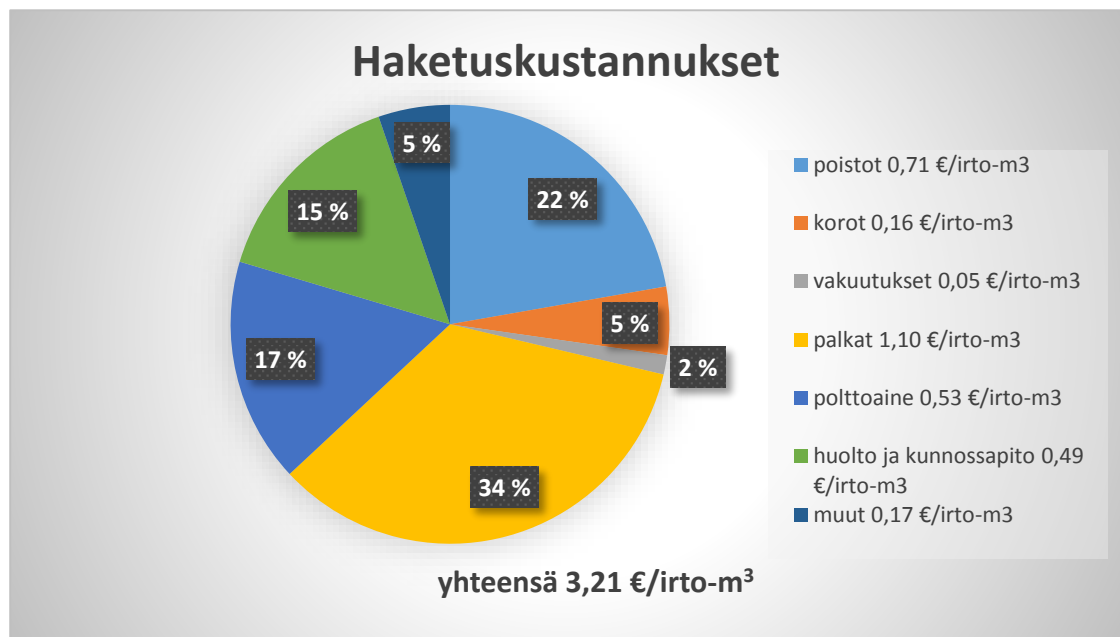
Kuviossa 6 on esitetty koko haketustoiminnan ja hakkeen kuljetuksen kustannusten jakautuminen prosentuaalisesti, sekä kustannusten suuruus tuotettua MWh:a kohti.



KUVIO 6. Haketus- ja kuljetuskustannusten jakautuminen

5.4.1 Haketuskustannukset

Haketusurakoinnin hinnoittelu perustuu yleensä tuotettuihin hakeirtokuutiometreihin ja hinnoittelun yksikkönä on €/irto-m³. Keijo Mikkosen (2014) mukaan haketusurakoitsijoiden urakointitaksa Pihtiputaan alueella on keskimäärin noin 3,5 €/irto-m³ haketta. On aiheellista tarkastella KS-Laatuenergian haketuksen kustannustehokkuutta hakettua irtokuutiometriä kohti. Vuonna 2013 KS-Laatuenergia haketti yhteensä 32 909 irtokuutiometriä haketta, ja hakkurin, sekä sitä syöttävän metsätraktorin käytöstä aiheutuneet kustannukset olivat yhteensä 100 091 euroa. Kuviossa 7 on esitetty KS-Laatuenergian haketuksen kustannusjakauma ja kustannukset tuotettua irtokuutiometriä kohti.



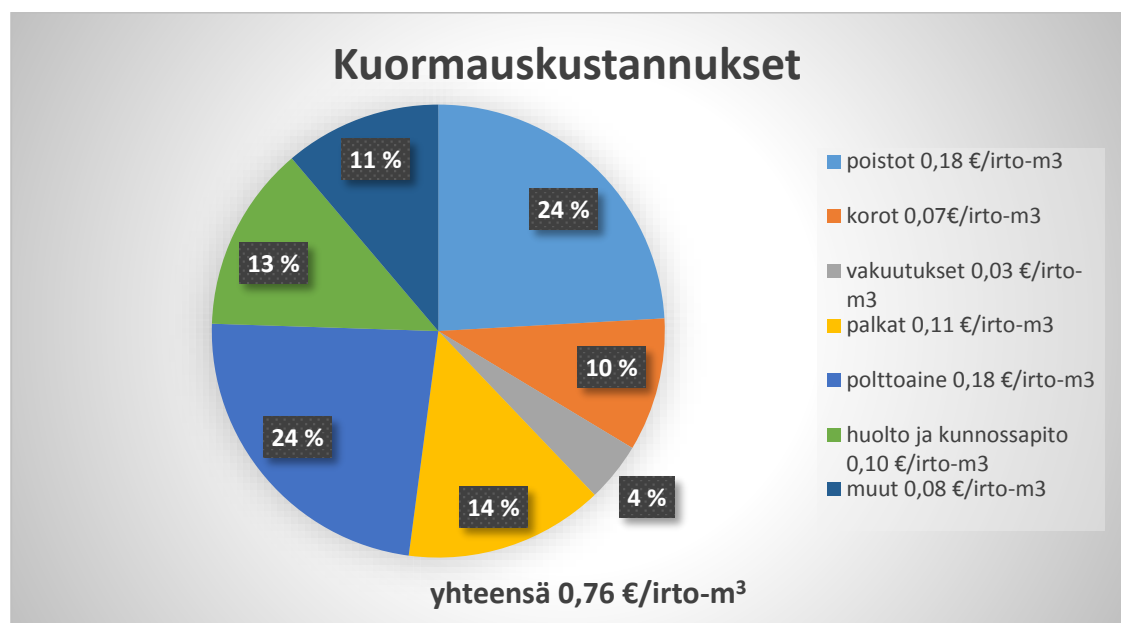
KUVIO 7. Haketuskustannukset

Hakeirtokuutiometrin hakettaminen aiheutti KS-Laatuenergialle keskimäärin 3,21 euron kustannukset vuonna 2013, eli haketus on varsin kustannustehokasta verrattessa yleisiin urakointitaksoihin. Yksikkökustannuksia saataisiin pienemmäksi, jos hakkurin käyttöastetta voitaisiin nostaa, jolloin poistojen ja korkokustannusten osuus

tuotettua MWh:a kohti olisivat pienemmät. Hakkurin käyttöasteen nostoon tarvittaisiin suurempia haketusmääriä, mikä puolestaan vaatisi suurempaa hakkeen menekkiä.

5.4.2 Hakkeen kuormauskustannukset

KS-Laatuenergian käyttämässä terminaalihaketuksessa hake lasketaan hakkurin kuljettimelta yleensä kasoihin maahan, eikä suoraan hakeauton lavalle. Tästä on seurauksena, että terminaalihaketuksessa tarvitaan yksi kuormauskerta enemmän verrattuna metsäautotien varrella tapahtuvaan välivarastohaketukseen, jossa yleensä haketus tapahtuu suoraan auton kyytiin. Hyvänä puolena terminaalihaketuksessa on, että eri raaka-aineista valmistettu hake voidaan hakettaa omiin kasoihinsa ja auton kuormausvaiheessa voidaan näistä kasoista sekoittaa halutun lainen polttoaineseos asiakkaalle. Näin myös heikompileatuinen hake saadaan poltettua kattiloissa ilman suurempia vaikeuksia, kun se saadaan sekoitettua parempileatuisen hakkeen sekaan. Polttoaineiden sekoittaminen kauhakuormajalla tosin lisää kuormaukseen kuluva aikaa ja lisää polttoainekustannuksia.



KUVIO 8. Hakkeen kuormauskustannukset

Haketukseen verrattuna hakkeen kuormauksen kalustoinvestoinneista johtuvat poisotot ja korkokulut ovat suuremmat. Joten jos hakkeen tuotantomääriä onnistuttaisiin lisäämään, pienenisivät kuormauksen yksikkökustannukset enemmän kuin haketuksen. Kuormauskustannusten laskennassa oletettiin, että kaikki tuotettu hake hakettiin maahan ja kuormattiin siitä hakeauton kyytiin. Hakeauton kuormaamisen suorittaa yleensä hakeauton kuljettaja ja suoritettun aikamittauksen perusteella hakeauton kuljettajalta kuluu noin 13 % työajasta auton kuormaamiseen. Kuljettajien palkkakustannuksista siis 13 % kohdistettiin kuormaukseen kuuluvaksi palkkamenoksi. Polttoainekustannusten laskennassa arvioitiin, että 25 % KS-Laatuenergian kuluttamasta polttoöljystä kulutti pyöräkuormaaja. Pyöräkuormaajan polttoaineen kulutusta saataisiin pienennettyä jättämällä ylimääräinen hakkeen sekoittaminen ja vellominen pois, ja sekoittamalla polttoainetta vain sen verran, kuin on tarpeellista.

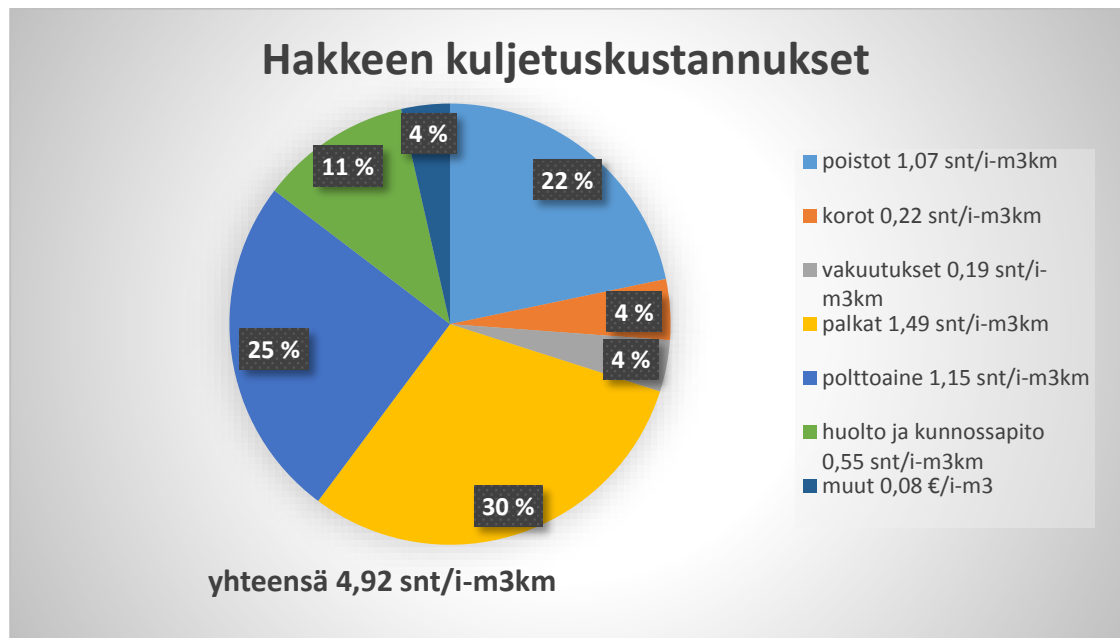
5.4.3 Hakkeen kuljetuskustannukset

KS-Laatuenergia kuljetti vuonna 2013 yhteensä 328 kuormaa haketta. Kolmen suurimman asiakkaan kanssa on solmittu hakkeen toimitussopimus, jonka mukaan KS-Laatuenergia kuljettaa hakkeen asiakkaan lämpölaitokselle. Näiden sopimusten mukaan Lämpölaitokselle 1 vietiin 157 kuormaa, Lämpölaitokselle 2 vietiin 102 kuormaa ja Lämpölaitokselle 3 vietiin 61 kuormaa. Kuljetusmatka KS-Laatuenergian terminaalilta Lämpölaitoksille on 48 km, 53 km ja 35 km. Loput 8 hakekuormaa olivat yksittäisiä kuljetuksia pienemmille asiakkaille ja niissä rahti laskutettiin erikseen. Lisäksi KS-Laatuenergia hakeautolla kuljetettiin 20 kuormaa FM Timber Team Oy:n sahanpurua ja kuorta toiselle Timber Lämpö Oy:n lämpölaitoksista, joiden rahti laskutettiin myös erikseen.

Yhteensä vuonna 2013 KS-Laatuenergian hakeautolla kuljetettiin kiinteitä polttoaineita 34 800 irtokuutiometriä olettaen, että kuorman tilavuus oli keskimäärin 100 irtokuutiometriä. Kuljetuskilometrejä tuli yhteensä noin 15 900. Polttoaineen kuljetuk-

sesta aiheutui kustannuksia KS-Laatuenergialle yhteensä noin 78 000 euroa ja keskimääräiseksi ominaiskuljetuskustannukseksi tuli 0,0492 €/m³km. Tätä ominaiskuljetuskustannusta käyttäen voidaan laskea, että yhden hakekuorman vieminen Lämpölaitokselle 1 maksaa noin 236 euroa, lämpölaitokselle 2, 261 euroa ja lämpölaitokselle 3, 172 euroa. Hakekuljetuksien ongelmana on, että kuljetuksia ei voida yhdistellä menopaluuksiksi, kuten puutavara- ja kappaletavarakuljetuksissa. Hakeauto joutuu palaamaan laitokselta aina tyhjänä.

Kuviossa 9 on esitetty kuljetuskustannusten jakautuminen prosentuaalisesti, sekä kustannusten suuruus kilometriä ja kuljetettua irtokuutiometriä kohti.

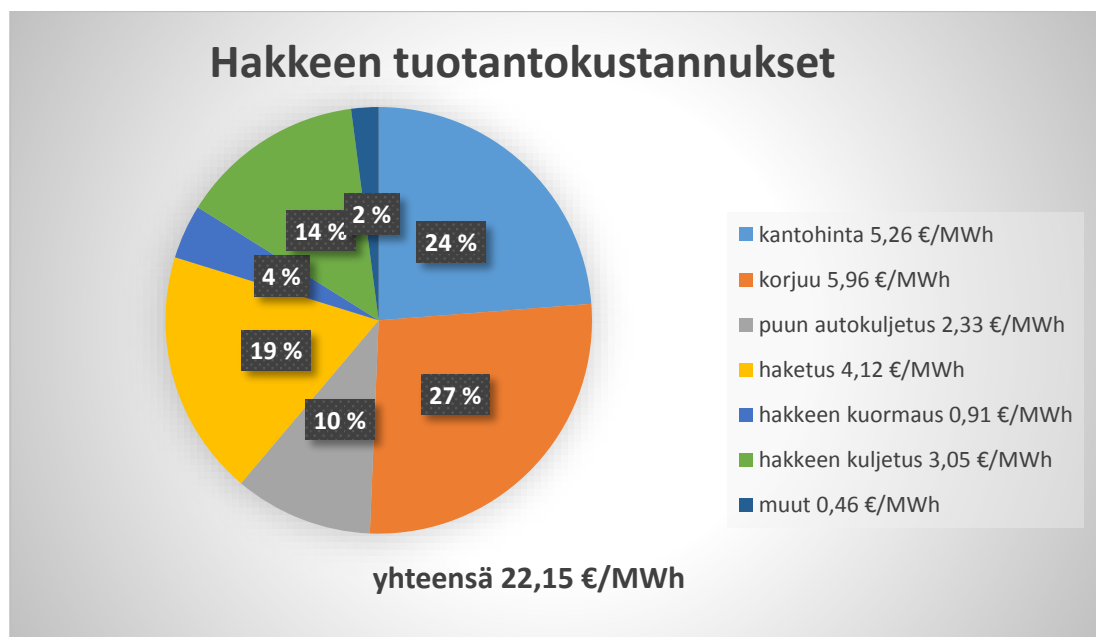


KUVIO 9. Hakkeen kuljetuskustannusten jakautuminen

6 Yhteenveto kustannuksista

Yhteensä polttohakkeen tuotannosta KS-Laatuenergialle aiheutuneet kustannukset olivat noin 537 000 euroa vuonna 2013. Suurin yksittäinen kustannuserä oli Putaan Mottimestarit Oy:n tekemä puunkorjuu, 144 000 euroa, eli noin 27 % kokonaiskustannuksista. Toiseksi eniten kustannuksia aiheutui Metsäkolmio Oy:n metsänomistajille puusta maksama kantohinta, joka oli yhteensä 127 000 euroa ja 24 % kokonaiskustannuksista. Haketuksen vastaavat luvut olivat 100 000 euroa ja 19 %, hakkeen kuljetuksen 74 100 euroa ja 14 %, sekä puunkuljetuksen 56 300 euroa ja 10 %. Hakkeen kuormauksen kustannukset puolestaan olivat 22 100 euroa, joka vastaa neljää prosenttia kokonaiskustannuksista. Oheiskulujen osuus oli 10 200 euroa, joka vastaa kahta prosenttia kokonaiskuluista.

Kun jaetaan kustannuksista aiheutuva kokonaissumma, 536 559 euroa, myytyjen megawattituntien määrällä, 24 280 MWh, saadaan polttohakkeen tuotannon ominaiskustannus. Vuonna 2013 KS-Laatuenergian ominaistuotantokustannus oli 22,15 €/MWh. Kuviossa 10 on esitetty miten kustannukset jakautuvat ja montako euroa per tuotettu megawattitunti on kunkin tuotantovaiheen osuus.



KUVIO 10. Polttohakkeen tuotantokustannukset yhteensä

Haketetun polttohakkeen myynnistä saatu kokonaistulo oli 510 318 euroa, eli keskimäärin megawattitunnilta saatiin 21,02 euroa tuloja. Hakkeen tuotannosta aiheutuneet kustannukset olivat yhteensä 537 712 €, keskimäärin 22,15 €/MWh. Näistä luvuista huomataan, että polttohakkeen tuotanto oli 27 400 euroa tappiollista vuonna 2013. Megawattituntia kohti tappiota tuli keskimäärin 1,13 euroa ja kiintokuutiota kohti 2,12 euroa.

7 Energiapuun korjuu ensiharvennusleimikoista

7.1 Energiapuukorjuri

Kevään 2014 aikana Metsäkolmio Oy ja KS-Laatuenergia Oy kokeilivat energiapuun korjuuta kokopuuna ensiharvennusmetsistä energiapuukorjurilla. Korjuri on harvesterin ja metsätraktorin yhdistelmä, jolla onnistuu sekä puiden kaataminen, että ajaminen tienvarteen. Perinteisen harvesterin ja metsätraktorin muodostaman motoketjun sijaan tarvitaan siis vain yksi kone ja tällä pyritään kustannustehokkaampaan pienpuunkorjuuseen.



KUVIO 11. Energiapuukoura



KUVIO 12. Energiapuukorjuri

Korjurin peruskoneena oli Ponsse Buffalo metsätraktori, jonka kuormatilan pankot oli modifioitu liikkuviksi siten, että kuormaimen käytölle jää enemmän tilaa puita kaadettaessa. Kuormaimeen oli asennettu Moisio Forest Oy:n valmistama Moipu 300 energiapuukoura. Koura on giljotiiniperiaatteella leikkaava ja joukkokäsittelytoiminnolla varustettu. Se soveltuu pieniläpimittaisen energiapuunkorjuuseen paremmin kuin perinteiset, ketjusahalla leikkaavat kourat. Energiapuukouralla onnistuu puiden kaataminen, karsiminen, pituusmittaus, katkominen, sekä kuorman tekeminen ja purkaminen. Korjuumäärän mittausta tapahtuu kuormaimen vaa'an avulla.

7.2 Korjuukustannukset korjurilla

Ensiharvennuspuiden korjuussa käytetty korjurin omistaa metsäkoneurakointiyritys, joka toimii Putaan Mottimestarit Oy:n aliurakoitsijana. Energiapuunkorjuusta tehtiin urakointisopimus, jossa korjuutaksa määräytyi korjatun energiapuukertymän ja metsäkuljetusmatkan mukaan.

Korjurilla korjattiin puuta neljän eri metsänomistajan kanssa tehtyjen hakkuusopimusten mukaisesti. Korjuu-ala oli yhteensä 18 hehtaaria ja kokonaispoistuma 1280,7 tonnia. Keskimäärin tuoreen puun tiheys on noin 900 kg/m³, joten poistuma oli 1422,9 m³. Poistuma oli siis keskimäärin 71,15 t/ha ja 79,05 m³/ha. Poistettujen runkojen kokonaismäärä korjurin laskurin mukaan oli 34 945 kpl eli keskimäärin 1941 runkoa/hehtaari ja poistettujen puiden keskimääräinen tilavuus oli 40,7 litraa. Metsäkuljetusmatkan painotettu keskiarvo oli 254 m.

Taulukossa 8 on esitetty toteutuneet puunkorjuun ominaiskustannukset korjurilla korjattua kiintokuutiometriä ja tonnia kohti, sekä kokonaiskustannukset.

TAULUKKO 8. Korjuukustannukset

korjattu määrä		kantohinta		korjuu		autokuljetus		kaikki yhteensä €
m ³	t	€/m ³	€/t	€/m ³	€/t	€/m ³	€/t	
1422,9	1280,7	10,06	11,18	21,08	23,43	4,19	4,66	
yhteensä €		14313,01		30002,55		5967,63		50283,19

Autokuljetus tapahtui Metsäkolmio Oy:n puutavara-autolla ja kokopuun kuljetuksen kustannusarvio perustuu toimitusjohtaja Pasi Mikkosen arvioon.

Kaikissa leimikoissa joista energiapuuta korjattiin korjurilla, oli voimassa olevat metsäsuunnitelmat. Metsäsuunnitelmissa kerrottujen korjattavissa olevien puumäärien perusteella laskettiin puiden lajijakauma. Taulukossa 9 on esitetty puulajien jakauma ja kokopuuhakkeen kuiva-tuoretiheys (Puuenergia 2003, 34).

TAULUKKO 9. Ensiharvennusten puulajijakaumat ja kuiva- tuoretiheydet

puulaji	osuus korjatusta puustosta %	kuiva-tuoretiheys kg/m ³
mänty	39	385
kuusi	28	400
koivu	21	475
haapa	12	385

Taulukoissa 8 ja 9 mainittujen ominaiskustannusten, puulajijakauman ja keskimääräisen kuiva-tuoretiheyden perusteella pystyttiin laskemaan paljonko kuiva-ainetonni saaminen terminaaliin keskimäärin maksaa. Kantohinta oli 24,66 €/ka-t, korjuukustannus 51,68 €/ka-t, autokuljetus 10,28 €/ka-t ja yhteensä kuiva-ainetonni toimitettuna terminaaliin maksoi yhteensä 86,62 euroa.

Ensiharvennusleimikoista korjurilla korjatun energiapuun ja hankintakustannusten laskennassa oletettiin, että koko vuoden 2013 polttohakemäärä, 24280 MWh ja 5057 kuiva-ainetonnia olisi korjattu keskimäärin samanlaisista leimikoista kuin nyt tarkas-

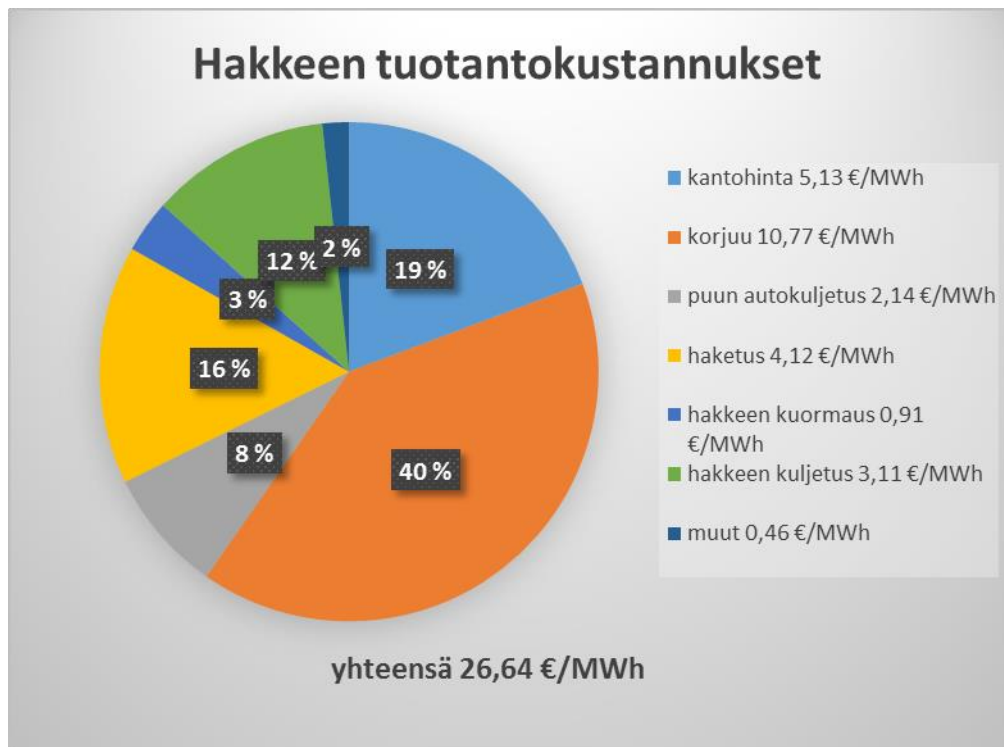
telun kohteena olleet esimerkkileimikot. Taulukossa 10 on esitetty vuotuiset korjuukustannukset, jos koko energiapuumäärä korjattaisiin korjurilla esimerkkileimikoiden tapaisilta ensiharvennuskohteilta.

TAULUKKO 10. Puunhankintakustannukset

kiintokuutiota	kantohinta €/m ³	korjuu €/m ³	kuljetus €/m ³	kaikki yht €/m ³
12397	10,06	21,08	4,19	35,34
yhteensä €	124696,47	261379,02	51990,63	438066,12

7.3 Polttohakkeen tuotannon kokonaiskustannukset

Polttihakkeen tuotannon kokonaiskustannusten laskennassa oletettiin, että korjurilla korjatun pienpuun haketuskustannukset ja hakkeen kuljetuskustannukset olisivat samat kuin tähän asti käytössä olleessa menetelmässä. Myös hakkeen kaikkien ominaisuuksien oletettiin olevan samat kuin perinteisessä menetelmässä. Kuviossa 13 on esitetty hakkeen tuotannon kokonaiskustannukset.



KUVIO 13. Polttihakkeen tuotannon kokonaiskustannukset energiapuukorjurilla

Kuviosta huomataan, että puunkorjuun osuus kustannuksista on huomattavan korkea, jopa 10,77 €/MWh ja 40 % kokonaiskustannuksista. Kun megawattitunnista saatava myyntitulo oli vuonna 2013 keskimäärin 21,02 €, tulee tappioksi 5,62 €/MWh. Korjattua kiintokuutiometriä kohti tappiota tulee keskimäärin 10,02 euroa.

8 Tukien vaikutus hakkeentuotannossa

8.1 Tukien rooli KS-Laatuenergian toiminnassa

Energiapuun tuista puhuttaessa on huomioitava, että korjuutukia maksetaan vain ensiharvennushakkuilta ja nuoren metsän kasvatushakkuilta korjatulle energiapuulle. Valtio ohjaa energiapuunkorjuuta nuoriin metsiin, jotta metsänomistajat saisivat taloudellisen kannustimen tehdä metsän laatua parantavat harvennukset ajallaan. Ajallaan tehtyjen harvennusten avulla saadaan tuotettua metsäteollisuuden tarvitsemää hyvälaatuista puuraaka-ainetta nopeammin ja suuremmat määrät. Koko metsäsektorin ja kansantalouden kannalta hyvälaatuisen puun saanti on ensiarvoisen tärkeää siitä saatavien tuotteiden korkean jalostusarvon vuoksi.

Varttuneilta harvennuskohteilta ja päätehakkuilta korjatulle energiapuulle ei ole saatavissa minkäänlaisia tukia. Ei nyt, eikä todennäköisesti lähitulevaisuudessakaan. KS-Laatuenergian käyttämä energiapuu on pääosin peräisin juuri varttuneilta harvennuksilta ja päätehakkuilta, eikä se siis kuulu tuen piiriin. Sen sijaan energiapuukorjulla korjattiin energiapuuta nuorista metsistä, jotka kuuluvat tukien piiriin. Tämä tarkastelu tukien vaikutuksesta hakkeen tuotannon kannattavuuteen koskee siis pelkästään energiapuukorjulla korjattuja kohteita, joita käsiteltiin luvussa 6.

8.2 Kemera-tuki

Vuoden 2014 loppuun asti maksetaan kestävän metsätalouden rahoituslain, kemeran, perusteella nuorten metsien kunnostuskohteilta korjattavalle energiapuulle korjuutukea. Tuen suuruus on yhteensä 7 €/kiinto-m³, josta kasauksen osuus 3,5

€/kiinto-m³ ja kuljetuksen osuus 3,5 €/kiinto-m³. Tuen piiriin kuuluu yksityisomistuksessa olevat metsät ja tuen myöntää metsäkeskus. (Energiapuun korjuutuki. 2013. Metsäkeskuksen tiedotteita.) Tuen myöntämisen ehtona on, että nuoren metsän hoitokohteelta kertyy puuta vähintään 20 kiintokuutiometriä ja puut luovutetaan nimenomaan energiakäyttöön.

Lisäksi kemera-rahoituksella tuetaan nuoren kasvatusmetsän harvennusta 108 €/ha – 294 €/ha. Tuen myöntämisen ehdot ovat seuraavat:

- puusto ei ole enää taimikkoa, rinnankorkeusläpimitta oltava yli 8 cm
- jäävän puuston keskiläpimitta rinnankorkeudelta alle 16 cm
- jos kaikki puu korjataan energiakäyttöön, jäävälle puustolle ei ole maksimi pituusrajaa
- poistettavia puita oltava vähintään 1000 kpl/ha, kantoläpimitaltaan vähintään 4 cm
- kasvatettavia runkoja saa jäädä enintään 2000 kpl/ha

(Tuki nuoren metsän hoitoon. Metsäkeskuksen tiedotteita. 2013)

Energiapuukorjurilla korjattiin puuta yhteensä 18 hehtaarin alalta, jolta kertyi puuta yhteensä 1422,9 m³. Jos oletetaan, että kaikki kohteet olisivat oikeutettuja saamaan maksimimäärän nuoren kasvatusmetsän harvennustukea, joka Pihtiputaan alueella on 252,6 €/ha (Kemera rahoitusvyöhykkeet), on kokonaistukimäärä silloin 4546,80 €. Kiintokuutiota kohti tuki olisi 3,20 €.

Jos oletetaan, että kaikki ensiharvennuskohteet täyttivät energiapuun korjuutuen vaatimukset, olisi korjuutuki silloin 7 €/m³. Korjuutuki ja harvennustuki yhteenlaskettuna tukea olisi mahdollista saada siis enintään 10,20 €/m³.

Ilman tukia korjurilla korjatusta puusta polttohakkeen tekeminen tuotti tappiota 11,02 €/m³. Jos oletetaan, että kaikki käytettävissä olevat tuet tulisivat Metsäkolmio Oy:lle ja KS-Laatuenergia Oy:lle ja että metsänomistajalle maksettaisiin puusta sama

kantohinta, jäisi Metsäkolmio Oy ja KS-Laatuenergia Oy tappiolle 1,00 €/m³. Tuotettua megawattituntia kohti tappio olisi tällöin 0,42 €/MWh.

Nuorista metsistä korjatusta puusta polttohakkeen tekeminen olisi siis niukasti tappiollista siinäkin tapauksessa, että kemera-tuet saataisiin maksimaalisesti käytettyä hyväksi. Kemera-varoista on myönnetty myös haketustukea 1,7 euroa/haketettu irtom³, eli noin 4,25 €/kiinto-m³, mutta haketustuen myöntäminen lopetettiin vuoden 2012 lopussa.

8.3 Pienpuun energiatukijärjestelmä PETU

Kemera-rahoituksen myöntäminen energiapuun korjuuseen loppuu vuoden 2014 lopussa. Ei ole vielä varmaa millaisia tukia energiapuun hyödyntämiseen vuoden 2015 alusta alkaen myönnetään. Maa- ja metsätalousministeriö on esitellyt Euroopan komissiolle arvioitavaksi pienpuun energiatukijärjestelmän (PETU), jonka pääpiirteet ovat seuraavat:

- Tuen saaja olisi energian tuottaja eli sähkö- tai lämpölaitos
- Tuen voisi hakea kun pienpuu on siirtynyt laitoksen omistukseen
- Tukea maksettaisiin 5 € kiintokuutiometriä kohti
- Vain sähkön- tai lämmöntuotantoon. Ei liikenteen biopolttoaineiden tai muiden bionesteiden tuotantoon.
- Puun oltava peräisin nuoren metsän hoitokohteilta tai ensiharvennuksilta. Jäävän puuston läpimitta rinnankorkeudelta oltava alle 18 cm.

(Pienpuun energiatukijärjestelmä edelleen komission käsittelyssä - energiapuun korjuuta tuetaan v. 2014 loppuun asti kemeran korjuutuella. 2013. Maa- ja metsätalousministeriön tiedotteita.)

Jos KS-Laatuenergian asiakkaina olevat lämpölaitokset saisivat tukea 5 euroa kiintokuutiometriltä, olisi PETU:n vaikutus käytännössä se, että asiakkaat pystyisivät maksamaan hakkeesta 5 euroa enemmän kiintokuutiolta. Megawattituntia kohti se olisi 2,55 euroa enemmän. KS-Laatuenergialle tappiota jäisi tässä tapauksessa 3,07 €/MWh ja 6,02 €/kiinto-m³. Jos kemera-tuen kasvatusmetsän harvennustuki säilyy entisellään, eli 252,6 €/ha, olisi tappiot 1,44 €/MWh ja 2,30 €/kiinto-m³.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä ei ole vielä varmaa millaisia ovat energiapuulle maksettavat tuet vuoden 2015 alusta alkaen, mutta esityksen perusteella ne näyttäisivät heikkenevän oleellisesti.

8.4 Energiapuutukien vaihtelevuus

Energiapuun korjuuta ja käyttöä koskevien tukien jatkuva, lähes vuosittainen vaihtelu aiheuttaa suuria vaikeuksia energiapuun korjuun kannattavuuden ennakoinnissa. Puunkorjuussa ja haketuksessa tarvittavat koneinvestoinnit ovat suuria ja takaisinmaksuajat pitkiä. Koneurakoitsijoiden on lähes mahdotonta arvioida toimintansa kannattavuutta tulevaisuudessa, koska se vaihtelee kulloinkin vallalla olevan tukikäytännön mukaan. Vaihtuvista tukikäytännöistä on seurauksena, että useat toimijat odottavat seuraavaa tukipäätöstä ennen kuin tekevät esim. koneinvestointeja. Tämä taas johtaa siihen, että koko energiapuun korjuun tehokkuus kärsii. Kun suuri osa toimijoista odottaa seuraavaa tukipäätöstä, ei todellista kehitystä korjuutoiminnassa tapahdu. Esimerkiksi tätä opinnäytetyötä tehdessä kaikki energiapuutoiminnassa mukana olevat tahot odottavat millainen pienpuun energiatukijärjestelmän, PETU:n, sisältö lopulta on, jos se astuu voimaan vuoden 2015 alussa ja millaiset vaikutukset sillä käytännössä tulee olemaan energiapuun korjuuseen.

9 Tulosten tarkastelu ja arviointi

9.1 Toiminnan kannattavuus

Tuloksia arvioidessa on otettava huomioon, että tarkastelu koskee pelkästään ainespuuhakkuiden yhteydessä korjattua runkopuuta ja siitä hakkurilla hakettua polttohaketta, joka on KS-Laatuenergia Oy:n pääasiallinen polttohakkeen tuotantomenetelmä. KS-Laatuenergia Oy tekee polttohaketta myös muista raaka-aineista, kuten metsätähteistä hakettamalla ja rakennusten purkujätteistä murskaamalla. Myös kan-
toja murskataan poltettavaksi, mutta silloin murskauksessa käytetään aliurakoitsijoita.

KS-Laatuenergian toimintaan kuuluu myös kone-urakointia, koneiden vuokrausta, sekä terminaalien vuokrausta varastointiin muille toimijoille. Näistä toiminnoista tulevat tulot eivät ole mukana tässä laskelmassa, joten polttohakkeen tuotannon kannattavuus ei ole sama asia kuin koko KS-Laatuenergian kannattavuus.

Tutkimuksen tulosten perusteella näyttää siltä, että KS-Laatuenergian tuotantomallia käyttäen polttohakkeen tuotanto ei ole kannattavaa. Tällä hetkellä polttohakkeesta saatava hinta ei riitä kattamaan hakkeen tuotannosta muodostuvia kustannuksia. Lämpölaitosten pitäisi maksaa hakkeesta 1,13 euroa enemmän, eli 22,15 euroa megawattitunnilta, jotta KS-Laatuenergia pääsisi nollatulokseen.

9.2 Metsähakkeen heikko kilpailukyky

Tällä hetkellä näyttää siltä, ettei metsähakkeen kilpailukyky ole merkittävästi parane-
massa verrattuna kilpaileviin polttoaineisiin. Yhdysvalloissa viime vuosina voimak-

kaasti kasvanut liuskekaasun poraus energiakäyttöön on laskenut maakaasun ja kivihiilen hintoja maailmanlaajuisesti. Samaan aikaan Euroopassa käytössä olevien päästöoikeuksien hinta on romahtanut talouskriisin ja siitä seuranneen teollisuuden energiankulutuksen laskun vuoksi. Suuret lauhdevoimalaitokset ovatkin myös Suomessa siirtyneet käyttämään enemmän kivihiiltä sen alhaisen hinnan ja halpojen päästöoikeuksien vuoksi. Tämä kehitys on laskenut metsähakkeen kysyntää, ja siten siitä maksettua hintaa.

Suomessa on käytössä tukimalli, jossa metsähakkeen tukea sähköntuotannossa lasketaan, kun turpeen verotusta kiristetään. Turpeen energiaveroa nostettiin vuonna 2013. Turpeen verotuksen lisäkorotuksiin ei ole enää varaa, mikäli halutaan pitää huoli kotimaisten energiamuotojen kilpailukyvystä. (Vapaavuori 2014.)

9.3 Keinoja kannattavuuden parantamiseksi

Koska laitosten maksukyky metsähakkeesta ei siis ole nousemassa lähiaikoina ilman merkittäviä tukitoimenpiteitä, on metsähakkeen tuottajien löydettävä keinot toiminnan saamiseksi kannattavaksi. Seuraavassa on esitelty käytettävissä olevia keinoja kannattavuuden parantamiseksi.

9.3.1 Kantohinnan laskeminen

KS-Laatuenergian tapauksessa yksi keino kannattavuuden nostoon on laskea metsänomistajille energiapuusta maksettua kantohintaa. Tutkimuksen tulosten perusteella tappiota tulee tällä hetkellä 2,12 euroa hankittua kiintokuutiometriä kohti. Metsäkolmion maksukyky energiapuusta on siis tämän 2,12 euroa vähemmän kuin mitä tällä hetkellä keskimäärin maksetaan.

Kun laskelmat suoritettiin käyttäen raaka-aineena pelkästään yhtä puutavaralajia, ja oletettiin haketus- ja kuljetuskustannuksen, sekä hakkeen myynnin ja hinnan pysyvän samana, saatiin tulokseksi kustakin puutavaralajista syntyvän tappion suuruus kiintokuutiometriä kohti. Tuloksena oli, että energialumpeina ostettujen lahojen, haaraisten ja mutkaisten puiden tappio oli $0,40 \text{ €/m}^3$, haapakuidun tappio $4,66 \text{ €/m}^3$ ja koivukuidun $4,79 \text{ €/m}^3$. Nollatuloksen saavuttamiseksi yrityksen maksukyky kustakin puutavaralajista on siis edellä mainittujen summien verran vähemmän kuin mitä tällä hetkellä maksetaan.

Nollatuloksen saavuttamiseksi Metsäkolmio Oy:n täytyisi laskea energiapuuksi käytettyjen lumppien kantohintaa nykyisestä $8,15$ eurosta $7,75$ euroon kiintokuumetriltä. Energiapuuna ostetusta haapakuidusta pystyttäisiin maksamaan nykyisen $8,32 \text{ €/m}^3$ sijaan $4,66 \text{ €/m}^3$. Koivukuidun kantohintaa pitäisi laskea vastaavasti nykyisestä $16,49 \text{ €/m}^3$ hintaan $11,7 \text{ €/m}^3$. Tienvarsihinta, eli kantohinnan ja korjuukustannuksen yhteissumma saisi olla lumpeilla $17,50 \text{ €/m}^3$, haapakuidulla $19,96 \text{ €/m}^3$ ja koivukuidulla $24,71 \text{ €/m}^3$.

Metsäkolmio ostaa energiapuuta yleensä vain normaalien ainespuuhakkuiden sivutuotteena ja ostetut energiapuumäärät ovat suhteellisen pieniä, usein vain muutamia kiintokuutioita tehtyä puukauppaa kohti. Energiapuun osuus on vain noin 5 % korjatusta kokonaispuumäärästä. Näin pienten puuerien kantohinnan lasku tuskin estää puukauppojen tekemistä metsänomistajien kanssa. Esimerkiksi, jos puukaupassa ostetaan 200 kuutiota kuusitukkaa hintaan 58 €/m^3 ja 100 m^3 kuusikuitua hintaan 18 €/m^3 , ei puukaupan syntymistä todennäköisesti estä se, että 10 m^3 lahoa tyvipöllää vaihtaa omistajaa 8 euron sijasta hintaan 6 €/m^3 .

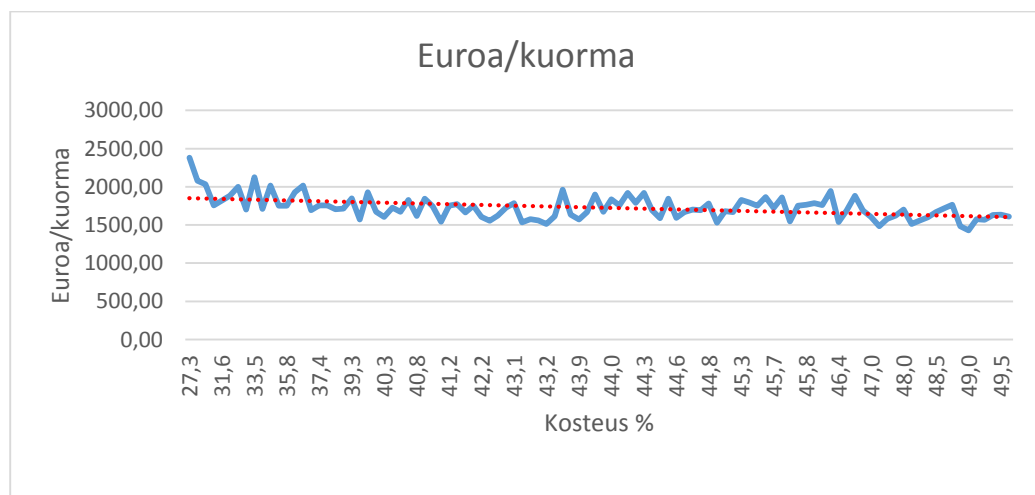
Energialumpeilla kantohinnan lasku on siis todellinen keino saada toiminta kannattavaksi. Sen sijaan haapakuidun ja varsinkin koivukuidun kantohintaa pitäisi laskea niin paljon, että se voisi aiheuttaa vaikeuksia puukauppojen tekemisessä.

9.3.2 Hakkeen kuivuus

Polttohakkeen hinta määräytyy sen energiasisällön mukaan, joka taas lasketaan kosteusprosentin perusteella. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää, että kiinnitetään huomiota raaka-aineen kuivumiseen ja edesautetaan kuivumista luomalla siihen sopivat olosuhteet. Keinoja kuivemman hakkeen tuottamiselle:

- vältetään suoraan metsästä tuodun tuoreen puun hakettamista
- käytetään aluspuita energiapuupinojen alla ja välipuita pinojen välissä
- pyritään tekemään energiapuupinot avonaisille, tuulisille paikoille, ei märkiin ojiin
- pyritään tekemään energiapuupinoista mahdollisimman korkeita, vähemmän vettä ja lunta pinon päälle
- tehdään päällimmäisistä puista ”lippa” pinon pätyyn katkaistujen päiden kasvun vähentämiseksi
- pyritään kasaamaan energiapuupinot siten, että puiden katkaistu pinta on etelään päin, aurinko kuivattaa paremmin

Kuviossa 14 on esitetty kuinka voimakkaasti hakkeen kosteusprosentin nousu laskee siitä saatavaa myyntihintaa. Piirretyssä käyrässä ovat mukana kaikki KS-Laatuenergian Lämpölaitokselle 2 toimittamat kuormat vuonna 2013.



KUVIO 14. Kosteuden vaikutus hakekuormasta saatuun myyntituloon

Arvokkaimmassa kuormassa kosteusprosentti oli 27,3 %, massa 28,62 tonnia, energiasisältö 105,89 MWh ja siitä saatu myyntihinta oli 2382,53 euroa. Arvoltaan pienimmässä kuormassa kosteus oli 49,0 %, massa 26,44 tonnia, energiasisältö 63,5 MWh ja myyntihinta 1428,75. Kuormien arvon vaihtelu johtuu kuorman massan vaihtelusta, joka taas vaihtelee hakkeen tiiveyden mukaan. Voimakkaasta sahausliikkeestä huolimatta käyrästä on selvästi havaittavista, että keskimäärin kuormasta saatava myyntitulo laskee kosteuden noustessa.

9.3.3 Tienvarsihaketuksen lisääminen

Kohteissa, joissa energiapuukertymä on suuri, kannattaa terminaalihaketuksen sijaan käyttää tienvarsihaketusta. Tienvarsihaketuksessa energiapuu haketetaan metsäautotien varrella suoraan hakeauton kyytiin, jolla se kuljetetaan saman tien käyttöpäikalle. Tienvarsihaketuksen etuna terminaalihaketukseen verrattuna on, että siten vältetään puun kuljetukselta terminaaliin ja hakkeen kuormaukselta pyöräkuormaajalla.

Kuten kappaleessa kuusi todetaan, muodostaa puun autokuljetus kymmenen prosenttia ja hakkeen kuormaus neljä prosenttia kokonaiskustannuksista, eli yhteensä neljätoista prosenttia. Käytännössä tienvarsihaketuksen kustannussäästö ei kuitenkaan olisi näin suuri, koska kaluston siirrosta haketuspaikalle aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisäksi tienvarsihaketuksen ongelmana on ns. kuuma tuotantoketju, joka vaatii sekä hakkurin, että hakeauton keskeytymätöntä toimintaa. Jos jompaankumpaan tulee häiriö, koko ketjun toiminta keskeytyy. Haketuksen tehokkuus ei myöskään ole yhtä hyvä kuin terminaalihaketuksessa, koska haketusta voidaan tehdä ainoastaan silloin, kun hakeauto on paikalla. Tauot on tosin mahdollista käyttää hyväksi hakkurin huoltoihin. Lisäksi tienvarsihaketuksen ehdottomana vaatimuksena on, että hakettava puumäärä on riittävän suuri. Pienten erien haketus tienvarressa on kannattamatonta, koska kaluston siirtokustannukset nousisivat silloin suhteellisesti liian suuriksi. Sopivissa kohteissa tienvarsihaketusta käyttämällä on kuitenkin mahdollista päästä merkittäviin kustannussäästöihin.

9.3.4 Tuotannon volyymin nosto

Vaikeimmin toteutettava keino, jolla metsähakkeen ominaistuotantokustannuksia saataisiin pienennettyä, on tuotantomäärien lisääminen. Jos hankitulla kalustolla saataisiin tuotettua enemmän haketta, olisi investoinneista aiheutuvien kiinteiden kulojen osuus pienempi tuotettua megawattituntia kohti. Tämä tietysti vaatisi asiakaskunnan laajentamista, mikä on haasteellista pitkien kuljetusetäisyyksien vuoksi. KS-Laatuenergian terminaalin läheisyydessä ei ole suuria taajamia, eikä teollisuutta joka tarvitsisi metsähaketta energian tuotantoon. Asiakaskunnan laajentamisen edellytyksenä olisi kuljetuskapasiteetin parantaminen. Pidemmille kuljetusmatkoille tarvittaisiin nykyisen 100 irto-m³ puoliperävaunun sijaan 150 irto-m³ täysperävaunuyhdistelmä.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion tekninen tutkimuskeskus (VTT).

C645 tuote-esittely. Kesla Oyj. Viitattu 20.3.2014. <http://www.kesla.fi/c645>.

Energiapuun korjuutuki. 2013. Metsäkeskuksen tiedotteita. Päivitetty 16.10.2013. Viitattu 24.3.2014. <http://www.metsakeskus.fi/asiointi-ja-lomakkeet/energiapuutuet>.

FM Timber Team Oy. Yritysesittely. Viitattu 23.1.2014. <http://www.fmtimber-team.fi/index.php/fi/yritysesittely>.

FM Timber Team Oy:n yritysesittely, PowerPoint-diaesitys. 2010. viitattu 22.3.2014.

Hakkuutähteistä ja metsäteollisuuden sivutuotteista saadaan energiaa. 2013. Maa- ja metsätalousministeriön tiedote. Päivitetty 17.12.2013. Viitattu 21.1.2014. http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/ilmasto_energia/puun_energia-kaytto.html.

Härkönen. M. 2011. Kostean puun tiheys ja hakkeen irtotiheys. 2011. PDF-tiedosto. Forest Power-projektin tiedote No 1017. Päivitetty 19.9.2011. Viitattu 21.3.2014. http://www.forestpower.net/data/liitteet/11221=1017_kostean_puun_ja_hakkeen_tiheys.pdf.

Härkönen. M. 2011. Kostean hakkeen energiasisältö. PDF-tiedosto. Forest Power-projektin tiedote No 1019. Päivitetty 19.9.2011. Viitattu 16.4.2013. http://www.forestpower.net/data/liitteet/11231=1019_kostean_hakkeen_energiasalto.pdf.

Impola, R., Tiihonen, I. 2011. Biopolttoaineterminaalit, Ohjeistus terminaalien perustamiselle ja käytölle. Terminaalikäsikirja VTT-R-08634-11.

Kahilainen T. 2014. KS-Laatuenergia Oy. Kiinteiden polttoaineiden valmistuksesta vastaava työntekijä. Haastattelut 7.1.2014 – 31.4.2014.

Kaihlanen, J. 2014. Puu korvasi turvetta ja kaasua kaukolämmössä. Maaseudun tulevaisuus 20.1.2013,6.

Kemera rahoitusvyöhykkeet. 2011. Metsäkeskuksen tiedotteita. Päivitetty 23.12.2011. Viitattu 24.3.2014. http://www.metsakeskus.fi/fi_FI/c/document_library/get_file?uuid=00140449-588f-46f7-a495-490d10cb52dc&groupId=10156.

Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT tiedote 2564. Viitattu 22.1.2014.

Liitetaulukko 2. Energian hintoja lämmöntuotannossa joulukuussa 2013. 2014. Tilastokeskuksen tiedote. Päivitetty 20.3.2014. Viitattu 16.4.2014. http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/04/ehi_2013_04_2014-03-20_tau_002_fi.html.

Lähdevaara, H., Savolainen, V., Paananen, M. & Vanhala, A. 2010. Mailta ja manuilta, soilta ja saloilta: selvitys Keski-Suomen biomassakuljetusten logistiikasta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 107. Viitattu 23.1.2014. [Http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201006021120](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201006021120).

Metsätilastollinen vuosikirja 2013. 2013. Toim. E. Ylitalo. Metsäntutkimuslaitos. Sas-tamala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Mikkonen K. 2014. Metsäkolmio Oy, KS-Laatuenergia Oy, Putaan Mottimestarit Oy. Perustaja ja hallituksen puheenjohtaja. Haastattelut 7.1.2014 – 31.4.2014.

Mikkonen P. 2014. Metsäkolmio Oy, KS-Laatuenergia Oy, Putaan Mottimestarit Oy. Toimitusjohtaja. Haastattelut 7.1.2014 – 31.4.2014.

Pienpuun energiatukijärjestelmä edelleen komission käsittelyssä - energiapuun korjuuta tuetaan v. 2014 loppuun asti kemeran korjuutuella. 2013. Maa- ja metsätalousministeriön tiedote. Päivitetty 29.10.2013. Viitattu 24.3.2014.

http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/metsat/hankkeet_tyoryhmat/lainsaadanto-hankkeet_0/pienpuunenergiatuki.html.

Puuenergia. 2003. Toim. K. Knuuttila. Jyväskylän teknologiakeskus Oy, BENET Bio energiaverkosto. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.

Tuki nuoren metsän hoitoon. 2013. Metsäkeskuksen tiedote. Päivitetty 12.9.2013. Viitattu 24.3.2014. <http://www.metsakeskus.fi/kemera-tuet-nuoren-metsan-hoito>.

Vapaavuori: Turveveron korotuksen peruminen parantaisi metsähakkeen kilpailukykyä. 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön tiedote. Päivitetty 17.4.2014. Viitattu 17.4.2014. https://www.tem.fi/energia/tiedotteet_energia?89519_m=114004.

Yritysesittely. Metsäkolmio Oy. <http://www.metsakolmio.fi/esittely.php>. viitattu 23.1.2014.