



Keitele Forest Oy:n hakkuutäh- detoimitusten kannattavuus

Joonatan Kivelä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Metsätalouden koulutus

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden koulutus

KIVELÄ, JOONATAN:

Keitele Forest Oy:n hakkuutähdetoimitusten kannattavuus

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2020

Yksityisen sahaorganisaation hankkiessa tukkivaltaisia ja päätehakkuupainotteisia leimikoita korjuuseen, tulee hakkuutähteen korjuun kannattavuutta pohtia tapauskohtaisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko erään sahayrityksen hakkuutähteen korjuu kannattavaa, mistä kannattavuus koostuu ja miten sitä voitaisiin parantaa. Lisäksi haluttiin selvittää yhtiön mittaustarkkuutta hakkuutähteen mittauksessa kaikissa toiminnan eri vaiheissa. Työn tilaaja on Keitele Forest Oy. Työ rajautuu käytännön syistä alueelle, josta hakkuutähdetoimitukset tehdään Kuopion Energia Oy:n tuotantolaitokselle.

Tutkimusaineisto kerättiin Keitele Forest Oy:n toimintajärjestelmä Piimegasta sekä Kuopion Energia Oy:n polttoainevastaanotosta saaduista taulukoista. Aineisto koottiin Excel-taulukkoon. Tutkimusaineistoon koostettiin tiedot kolmen vuoden puukauppasopimuksista, jotka sisälsivät hakkuutähteen korjuuta. Lisäksi aineistoon kerättiin Kuopion Energia Oy:n voimalaitoksen polttoainevastaanoton tietoja, tärkeimpänä toimitetun hakkeen kosteus. Taulukkoa ei yhtiön liiketoiminnallisten tietojen salassa pysymisen vuoksi liitetä työhön.

Tutkimuksen tuloksista oli selkeästi huomattavissa, että yhtiön toimiessa hakkuutähteen hankintaketjussa suositusten mukaisesti, hakkuutähteen korjuu oli kannattavaa liiketoimintaa. Toimittaessa suositusten mukaisten määrien, matkojen tai aikataulujen vastaisesti, hakkuutähdetoimitusten kannattavuus oli heikkoa. Metsäkuljetusmatkat ja metsänomistajalle maksettu hinta vaikuttivat hakkuutähdetoimitusten kannattavuuteen eniten. Pääsääntöisesti yhtiön hakkuutähteen mittaustarkkuus on riittävällä tasolla. Metsänomistajalle maksetun määrän ja metsäkuljetetun määrän ero, joka vaikuttaa eniten toiminnan kannattavuuteen, kuitenkin vaihtelee. Työn tulokset esitetään siten, että luottamuksellinen aineisto pysyy salassa.

Hakkuutähteen ostopäätöksen tekijöitä, eli hankintaesimiehiä, tulisi ohjeistaa korjaamaan hakkuutähdettä vainärkevien metsäkuljetusmatkojen päästä. Muiden kustannusten noustessa korkeiksi, olisi yksikköhinnan kompensoitava kokonaiskustannuksia. Lisäksi yhtiön toiminnasta tulisi poistaa virheitä, jotka aiheuttavat haasteita aiheen tutkimiselle jatkossa.

Asiasanat: hakkuutähdde, kannattavuus, kustannukset

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Forestry

KIVELÄ, JOONATAN:

Viability of Forest Logging Residue Deliveries in Keitele Forest Oy

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 0 pages
May 2020

The purpose of this thesis is to contemplate the viability of logging residue deliveries in a private owned sawmill company Keitele Forest Oy. The viability of logging residue removal is often questioned as the acquisition of wood focuses mainly on logwood and final fellings. Also the measuring differences between the stages of operations are crucial for this thesis. For practical reasons this thesis focuses on the area of Kuopio and its energy company Kuopion Energia Oy. The thesis was commissioned by Keitele Forest Oy.

The material used in this thesis was collected from the operating system of Keitele Forest Oy called Piimega and from the fuel reception of Kuopion Energia Oy. It contained information on timber sales that included the purchase of logging residue in the past three years. The information was collected on an Excel-worksheet. Some of the collected information, like the moisture content of the final product, came from Kuopion Energia Oy. The table will not be attached to this thesis because of the business secrets it contains.

The results show that when operated within the given recommendations the logging residue deliveries are profitable. Acting against the recommendations makes the profit low or even unprofitable. Long transport distances and the paid price to the owner of the forest reduces the profitability the most. Talking about measuring of the logging residue, the measurement accuracy seems to be on a good level and there are no great differences in measured amounts. However the amount used as payment justification differs a lot in this research. The results of this thesis are presented so that the corporations detailed information remains as a secret.

All who make the decision whether to remove the logging residue after the harvesting should be guided to focus mainly on places where the cost of transporting will stay low. When one of the operations cost more than is recommended the other cost should be lower for the total viability of the action. There are also few mistakes in the corporations actions, that should be removed in order to take a closer look at the viability in the future.

Key words: logging residue, viability, expenses

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN TAUSTA.....	8
	2.1. Keitele Forest Oy	8
	2.2. Kuopion Energia Oy.....	10
	2.2.1 Haapaniemen voimalaitoksella käytettävät polttoaineet	10
	2.2.2 Hakkuutähdehakkeen vastaanotto	12
3	HAKKUUTÄHTEEN KORJUU	14
	3.1. Hakkuutähteiden korjuun huomioiminen hakkuussa	14
	3.2. Palstalla kuivatus	15
	3.3. Metsäkuljetus	16
	3.4. Varastointi	16
	3.4.1 Varastopaikka ja varaston rakenne	17
	3.4.2 Aluspuut ja peitto	18
	3.5. Vaikutukset maanmuokkaukseen ja taimettumiseen.....	18
	3.6. Hakkuutähteestä maksaminen ja sen mittaaminen	19
4	TOIMITUS LOPPUKÄYTTÖPAIKALLE	21
	4.1. Tienvarsihaketus	21
	4.2. Muut haketustavat.....	22
5	HAKKUUTÄHTEEN KORJUUN KUSTANNUSTEKIJÄT.....	24
	5.1. Hakkuussa maksettava lisä.....	25
	5.2. Metsäkuljetus	25
	5.3. Haketus ja kaukokuljetus	26
	5.4. Muut kulut	28
6	TUTKIMUS	29
	6.1. Aineiston hankinta.....	29
	6.2. Tutkimusaineiston ongelmakohdat.....	30
	6.3. Tutkimusaineiston analysointi	31
	6.4. Työn eteneminen	32
7	TULOKSET	33
	7.1. Toimitusten kustannusrakenne	34
	7.2. Kannattavuus tällä hetkellä	36
	7.3. Määräerot ja mittaustarkkuus	38
	7.3.1 Ostomäärä ja metsänomistajalle maksettu määrä.....	39
	7.3.2 Metsänomistajalle maksetun määrän ja metsäkuljetetun määrän ero.....	40
	7.3.3 Toimitetun hakkeen määräerot.....	42

7.4. Metsäkuljetusajankohta, palstallakuivatusaika ja tienvarsivarastointiaika	43
8 TULOSTEN TARKASTELU	46
8.1. Mittauksen yhteenveto	46
8.2. Kannattavuuden parantaminen	49
8.3. Tutkimuksen mahdolliset virheet	51
9 POHDINTA	53
10 KEHITYSEHDOTUKSET JA JATKOTUTKIMUKSET	57
LÄHTEET	59

1 JOHDANTO

Suomen lämpö- ja voimalaitoksissa käytetään vuosittain noin 20 miljoonaa kuutiometriä kiinteitä puupolttoaineita. Hakkuutähdehakkeen osuus kiinteistä polttoaineista oli vuonna 2019 2,9 miljoonaa kuutiometriä. (Luonnonvarakeskus, 2020). Keitele Forest Oy toimittaa ainespuunkorjuun yhteydessä hankittua hakkuutähdehaketta usealle lämpölaitokselle. Hakkuutähde-toimitusten lopullinen toimituspaikka perustuu toimitussopimukseen ja kohteiden maantieteelliseen sijaintiin. Tässä työssä päädyttiin käytännön syistä tarkastelemaan hakkuutähde-toimituksia Kuopion Energia Oy:n voimalaitokselle.

Työn tavoitteena on selvittää Keitele Forest Oy:n hakkuutähde-toimitusten taloudellista kannattavuutta Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksen alueella. Työ rajattiin Kuopion alueelle siksi, että Haapaniemen laitokselta oli mahdollista kohdistaa energiamäärät ja vastaanotetut irtokuutiometrit sopimuksittain. Lisäksi rajaukseen vaikutti maantieteellinen sijainti, sillä Kuopion lähistöllä on suhteessa enemmän kuusivaltaisia metsiä, joista hakkuutähdekorjuun on todettu olevan kannattavinta (Koistinen, Luro & Vanhatalo 2016). Näin työhön saatiin mahdollisimman laaja tutkimusaineisto. Lisäksi hakkuutähde-mittauksessa mahdollisesti syntyvät määräerot ja niiden syyt haluttiin selvittää. Määräarvioiden ollessa kohdallaan, pystytään hakkuutähdekorjuun kannattavuutta arvioimaan luotettavasti ostopäätöksen yhteydessä. Näin ollen myös hakkuutähdekorjuusta maksetaan metsänomistajalle oikean määrän mukaan.

Hakkuutähde-toimitusten kustannustehokkuuteen tai taloudelliseen kannattavuuteen ei aiemmin ole kiinnitetty juurikaan huomiota, sillä sen korjuu on ollut vain pieni osa liiketoimintaa ja sivutuotteella mahdollisesti saavutettu tulos on ollut pientä pääliiketoimintaan verrattuna. Yhtiö halusi tarkastella omaa toimintaansa hakkuutähdekorjuun osalta ja selvittää kustannustekijöiden ja korjuun laadun vaikutusta saavutettavaan tulokseen.

Hakkuutähdekorjuun toimituksessa on paljon tekijöitä, jotka vaikuttavat korjuun kannattavuuteen. Kannattavuus muodostuu yleensä mahdollisimman pienistä kustannuksista ja laadukkaasta lopputuotteesta, sillä lopputuotteen hintaan ja

määrään on vaikea vaikuttaa. Keitele Forest Oy halusi selvittää, onko toiminta ollut tutkimusjoukkoon kuuluvilla sopimuksilla laadukasta ja voisiko lopputuotteen laatua ja toimitusten kannattavuutta parantaa. Loppukäyttäjä, eli energiayhtiö asettaa hakkuutähdehakkeelle tietyt laatuvaatimukset. Työssä kerron yleisistä hakkuutähdehakkeen laatuvaatimuksista sekä Kuopion Energia Oy:n laitospoh-
taisista laatuvaatimuksista.

Työn teoriaosuudessa kerron perustietoja Keitele Forest Oy:stä ja Kuopion Ener-
gia Oy:stä. Lisäksi kerron hakkuutähteen korjuun eri vaiheiden kustannuksista,
sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Vaiheet pääpiirteittäin ovat hakkuutähteen ka-
soille hakkuu, metsäkuljetus, haketus ja kaukokuljetus.

Teoriaosuuden jälkeen esittelen tutkimuksen aineistonkeruuprosessin vaiheet,
tutkimusmenetelmät sekä tutkimuksen suurimmat ongelmakohdat. Tuloksissa,
tulosten tarkastelussa ja pohdinnassa pyrin kertomaan mahdollisimman tarkasti
kannattavuudesta sekä löytämään syitä, miksi kannattavuus on sillä tasolla, jolla
se on viime vuosina ollut. Pohdin myös voisiko toimintaa kehittää niin, että se
vaikuttaisi positiivisesti kannattavuuteen. Lisäksi mietin mahdollisia jatkotutki-
muksia.

2 TYÖN TAUSTA

2.1. Keitele Forest Oy

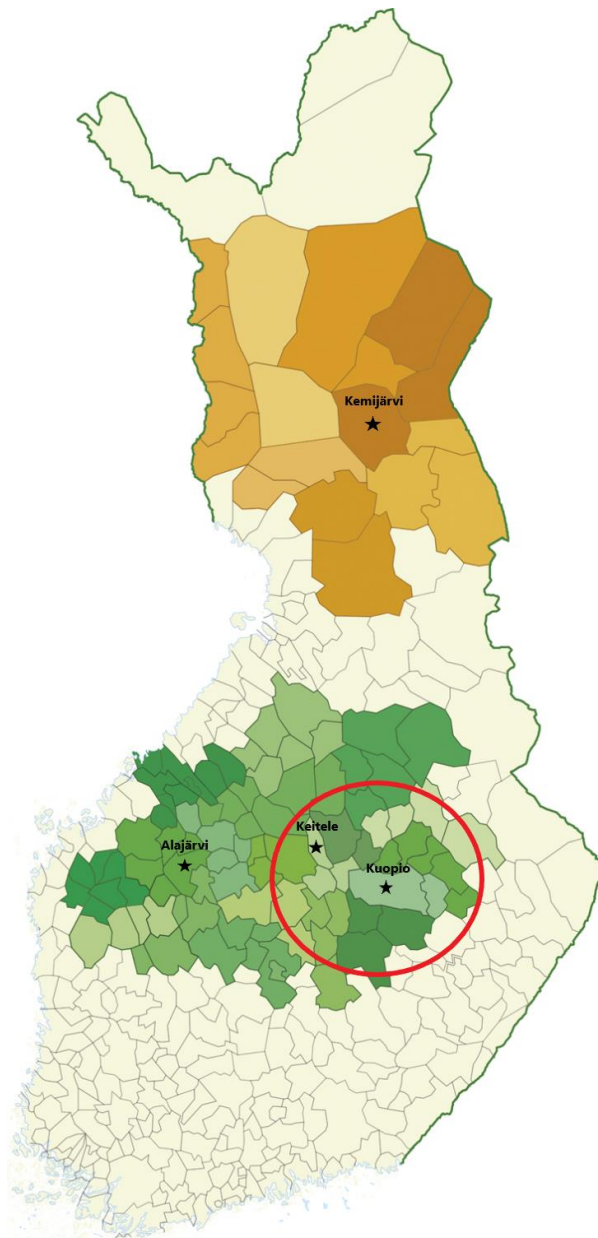
Keitele Forest Oy on vuonna 1981 perustettu suomalainen sahaliiketoimintaan keskittynyt perheyrittäjä. Yrityksellä on kolme sahaa, jotka sijaitsevat Pohjois-Savossa Keiteleellä, Etelä-Pohjanmaalla Alajärvellä ja Lapissa Kemijärvellä. Keitele Forest Oy:n metsäpäällikön Ilpo Pentinpuron (2020) mukaan tytäryhtiö Keitele Timber Oy hoitaa sahaustoimintaa kaikilla konsernin sahoilla. Konserni työllistää suoraan noin 500 henkilöä. Keitele Forest Oy:n liikevaihto vuonna 2019 oli 269 miljoonaa euroa.

Yhtiön korjuuesimies Pekka-Jussi Jääskeläinen (2020) kertoo vuonna 2019 yrityksen sahausmäärän olleen 1,93 miljoonaa sahatavarakiintokuutiota. Sahoittain jaoteltuna sahatavarantuotanto vuonna 2019 jakautui seuraavasti. Keiteleellä tuotettiin 900 000 m³, Alajärvellä 400 000 m³ ja Kemijärvellä 630 000 m³. Tuotannosta 55 % on mäntyä ja loppu 45 % kuusta. Puutavarakiintokuutioissa mitattuna yhtiö hankkii ja käyttää siis reilusti yli kaksi miljoonaa kiintokuutiota tukkia vuodessa.

Yritys hankkii suurimman osan käyttämästään puusta oman hankintaorganisaationsa kautta. Korjuussa käytetään alihankintayrityksiä, jotka hoitavat yhtiön ostamien leimikoiden puunkorjuun. Keitele Forest Oy:n puunkorjuu työllistää vuodenajasta riippuen noin 55-60 koneketjua. Korjuuseen hankitaan 27 hankintaesimiehen avulla pääasiassa tukkipainotteisia pääte- ja harvennushakkuuleimiä. Päätehakkuiden osuus hakkuutavoista vuonna 2019 oli noin 70 % (Jääskeläinen 2020). Runsas päätehakkuiden osuus mahdollistaa myös hakkuutähkeen runsaan korjuun. Hankintaesimiehille tulee vastaan paljon kohteita, joilta on mahdollista kerätä hakkuutähdettä. Tämän takia toiminnan kustannustehokkuuteen on syytä kiinnittää huomiota.

Yhtiön metsäpäällikkö Pentinpuron (2020) mukaan Keitele Forest Oy toimittaa vuositasolla 830 GWh biopolttoaineita energiayhtiöille ja on yli 300 % omavarai-

nen biopolttoaineiden suhteen. Metsähakkeen ja puunkorjuun sivutuotteiden toimitusmäärä on vuosittain noin 50 GWh. Hakkuutähdehake luetaan myös metsähakkeeksi (Luonnonvarakeskus 2020). Alla olevassa kuvassa 1 esitetään Keitele Forest Oy:n puunhankinta-alueet tuotantolaitosten ympärillä, Kuopion maantieteellinen sijainti, sekä ympyröity alue, jonka sisältä yhtiö toimittaa Kuopion energia Oy:lle hakkuutähdehaketta. Lisäksi kuvassa on esitetty yhtiön sahojen sijainti.



KUVA 1. Keitele Forest Oy:n hankinta-alue vuonna 2018 (keitelegroup n.d., muokattu)

2.2. Kuopion Energia Oy

Kuopion Energia Oy on Kuopion kaupungin omistuksessa oleva energiayhtiö. Kuopio sijaitsee Keitele Forest Oy:n puunhankinta-alueen sisällä (kuva 1) ja noin 80 kilometrin päässä Keiteleen sahalta. Yhtiöllä on käytössään kaksi jatkuvatoimista voimalaitosta ja seitsemän tarvittaessa käytössä olevaa voimalaitosta. Yhtiön polttoainemestari Juha Knuutisen (2020) mukaan kaikki Kuopion Energia Oy:lle toimitettu hakkuutähdehake poltetaan Haapaniemen voimalaitoksessa, joten työssä käsitellään vain kyseistä laitosta.

Kuopion Energia Oy:n polttoainemestari Knuutisen mukaan Haapaniemen sähkön- ja lämmöntuotannon yhdistelmävoimalaitos tuotti vuonna 2019 yhteensä 323 GWh sähköä ja 976 GWh lämpöä. Haapaniemen voimalaitoksella on kaksi toiminnassa olevaa polttokattilaa. Haapaniemi 2 – kattila valmistui vuonna 1982 turpeen pölypolttokattilaksi ja on sittemmin vuonna 2013 modernisoitu kuplaleijukattilaksi. Tässä kattilassa voidaan polttaa turvetta ja biopolttoaineita halutussa suhteessa 0-100 %. Kattilaan liitettiin savukaasupesuri vuonna 2015. Savukaasupesuri parantaa kattilan hyötysuhdetta etenkin kosteaa polttoainetta poltettaessa. Kosteaa polttoainetta pyritäänkin tästä syystä polttamaan aina Haapaniemi 2 -kattilassa. Toinen polttokattila, Haapaniemi 3 valmistui vuonna 2011. Kattilan kiertoleijupolttotekniikka mahdollistaa biopolttoaineiden ja turpeen polton samassa 0-100 % suhteessa Haapaniemi 2 – kattilan kanssa.

Kaikki hakkuutähdetoimitukset tulevat laitokselle haketettuina. Voimalaitoksen vastaanottolinjoilla on kolme käyttöpaikkamurskainta, mutta ne eivät ole oleellisia työn kannalta, sillä niillä käsitellään vain kantoja ja muita puupolttoaineita.

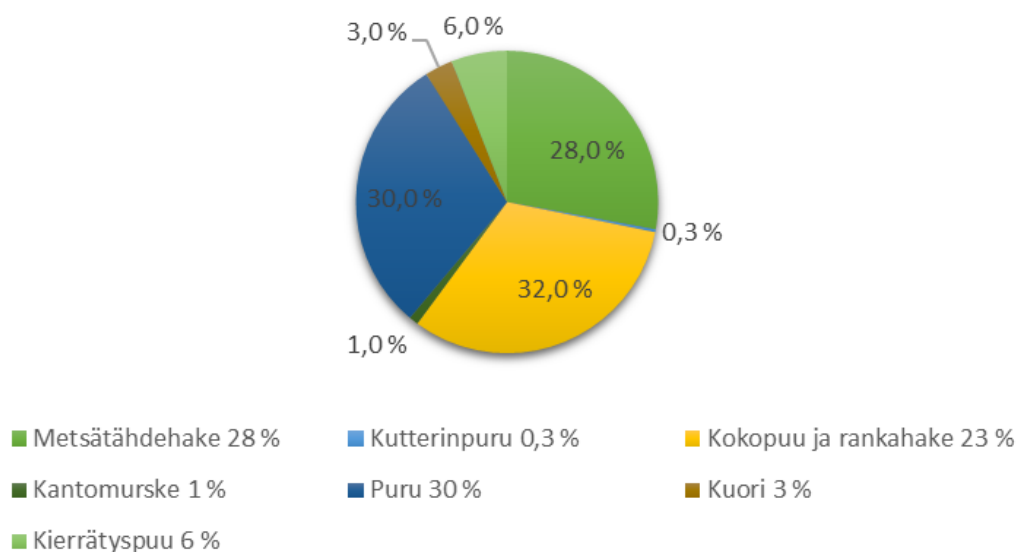
2.2.1 Haapaniemen voimalaitoksella käytettävät polttoaineet

Haapaniemen voimalaitoksella biopolttoaineiden osuus vuonna 2019 oli 60 %. Käytetystä biopolttoaineesta 36 % oli metsähaketta. (Knuutinen 2020). Metsähakkeeseen lasketaan kuuluvaksi hakkuutähdehake, pienpuuhake, kantomurske sekä järeästä runkopuusta tehty hake (Luonnonvarakeskus 2020). Knuutisen

(2020) mukaan vuonna 2019 hakkuutähdehakkeella tuotettiin Haapaniemen laitoksella 230 GWh energiaa. Hakkuutähdehakkeen osuus oli siis 17 % kaikesta käytetystä polttoaineesta.

Loput käytetyistä biopolttoaineista koostui Knuutisen (2020) mukaan metsäteollisuuden sivutuotteista, kuten purusta, kuoresta sekä kutterinpurusta ja muusta puupolttoaineesta, kuten kierrätyspuusta. Turpeen osuus polttoaineista vuonna 2019 oli lähes 40 %. Öljyn osuus kaikesta samana vuonna käytetystä polttoaineesta oli 0,4 %. Kivihiiltä ei vuonna 2019 käytetty lainkaan. Alla olevassa kuviossa esitetään vuoden 2019 polttoainejakauma käytettyjen biopolttoaineiden osalta. Polttoainejakauma on pysynyt Haapaniemen laitoksella melko samanlaisena useiden vuosien ajan. Hakkuutähdehakkeen käyttömäärä on vaihdellut vuosittain muutamien prosenttiyksiköiden verran.

Puujakeiden osuudet vuonna 2019



KUVIO 1. Puujakeiden osuudet Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitoksella vuonna 2019 (Knuutinen 2020, muokattu)

Lepistön (2010, 6-7) Laatuhakkeen tuotanto-oppaan mukaan pienille käyttölaitoksille toimitettavan hakkeen kosteus tulisi olla alle 25 %, keskikokoisilla laitoksilla vastaava luku on alle 40 %. Suurilla polttolaitoksilla ei ole yhtä tarkkoja vaatimuksia kosteuden suhteen, mutta märkä hake saattaa kuitenkin aiheuttaa on-

gelmia kaikissa laitoksissa. Käytännössä hakkuutähteestä valmistettu hake soveltuu parhaiten suurille laitoksille. Pienemmät laitokset voivat käyttää hakkuutähdehaketta lähinnä vain kesäaikaan, sillä silloin se useimmiten täyttää kosteusvaatimukset eikä jäätymisen vaaraa ole. (Alakangas, Hurskanen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016; Ikonen, Jahkonen, Pasanen & Tahvanainen 2013).

Käytettävien polttoaineiden laatuvaatimuksissa Kuopion Energia Oy noudattaa polttoainemestari Knuutisen (2020) mukaan pääasiassa VTT:n puupolttoaineiden laatuohjeessa mainittuja yleisiä suosituksia. Varsinaisia kosteuden raja-arvoja Haapaniemessä ei ole, mutta kostea polttoaine pyritään polttamaan Haapaniemi 2 – kattilassa. Kattilan savukaasupesuri ottaa kostean polttoaineen lauhtumislämmön paremmin talteen.

VTT:n laatuohjeesta (Alakangas & Impola 2014, 19) selviää, että polttoon soveltuvan polttoaineen maksimipalakoon on oltava alle 400 mm. Alkuainepitoisuuksien määrää ei ole metsähakkeen kohdalla pakollista mitata, mutta varsinkin hakkuutähdehakkeella korkeat alkuainepitoisuudet on syytä tarkistaa polttolaitteiston kunnossapidon varmistamiseksi (Alakangas ym. 2016, 75). Korkein mitattava klooripitoisuusluokka on yli 0,10 painoprosenttia kuiva-aineesta. Klooripitoisuudelle ei kuitenkaan ole merkitty sellaista raja-arvoa, jolloin kattila ei varmasti vahingoitu (Alakangas & Impola 2014, 25). Hakkuutähdehakkeen sekoittaminen esimerkiksi turpeen kanssa pienentää kloorin haitallisia vaikutuksia. Turpeen sisältämät alkuaineet muuttavat kloorin muotoon, jossa se ei vahingoita polttolaitteistoa (Alakangas ym. 2016, 200-203). Muiden hakkuutähdehakkeen sisältämien alkuaineiden osalta ei ole todettu aiheutuvan yhtä laajamittaisia ongelmia, joten niiden mittaus polttoaineesta ei ole oleellista.

2.2.2 Hakkuutähdehakkeen vastaanotto

Haapaniemen voimalaitoksella näytteenottorobotti ottaa kosteusnäytteen jokaisesta saapuvasta polttoainekuormasta. Näytteistä koostetaan kokoomanäyte, josta määritellään VTT:n laatuohjeen mukaisesti saapuvan polttoaineen ominaisuudet vuorokausittain ja polttoaineittain. Tämän lisäksi toimitetut irtokuutiot ja

kuorman nettotonnit mitataan kuormittain. (Knuutinen 2020). VTT:n puupolttoainesten laatuohjeessa mainitaan mittausta velvoittaviksi ominaisuuksiksi raaka-ainetyyppi, palakoko, kosteus ja tuhkapitoisuus. Typpi- ja klooriarvot, tehollinen lämpöarvo, irtotiheys ja tuhkansulamiskäyttäytyminen suositellaan ilmoitettavaksi, mutta tämä ei ole pakollista (Alakangas & Impola 2014, 18). Edellä mainitun ohjeen mukaan alkuainepitoisuudet suositellaan mittaamaan polttoainetoimistusten alkaessa ja suurissa polttoaine-erissä. Alakankaan ja Impolan (2014, 25) mukaan suositeltu alkuainepitoisuuksien mittausväli on neljännesvuosittain.

3 HAKKUUTÄHTEEN KORJUU

Hakkuutähteellä tarkoitetaan ainespuunkorjuussa normaalisti metsään jääviä oksia, neulasia, lehtiä ja hukkarunkopuuta. Hukkarunkopuuta on latvan pienpuu ja alamittaiset rungot, jotka eivät täytä kuitupuun mittavaatimuksia. Lepät, raidat ja muut erikoisemmat puulajit lasketaan hukkarunkopuuksi. Hakkuutähteeksi lasketaan myös vialliset rungonosat, kuten mutkat, lahot ja haarakohdat. Lisäksi hakkuutähteeksi lasketaan tyvimutkan aiheuttamat, hakkuukoneen katkaisemat pätäkät, eli lumpit sekä metsätraktorilta metsään jäänyt valmis puutavara. (Hakkila, Nurmi & Kalaja 1998, 7-9).

Puussa, jonka rinnankorkeusläpimitta on 30 cm latvusmassan, eli hakkuutähteen osuus on todettu olevan 20-29 % ainespuun määrästä. Hakkuutähteen määrä vaihtelee puulajeittain. Kuusella sen on todettu olevan 29 %, männyllä 22 % ja koivulla 20 %. (Lindblad ym. 2013, 11). Palstalla kuivatus kuitenkin vaikuttaa korjattavan hakkuutähteen määrään, kuten myöhemmin kappaleessa 3.2 on kerrottu.

Hyvän metsänhoidon suositusten mukaan hakkuutähteen kannattavassa korjuussa, ainespuun poistuman tulisi olla vähintään 200 kiintokuutiota, kohteen pinta-alan vähintään kaksi hehtaaria ja metsäkuljetusmatkan alle 300 metriä (Koistinen ym. 2016; Asikainen, Ranta, Laitila & Hämäläinen 2001; Rieppo 2002). Lisäksi hakkuutähdettä tulisi korjata vain kuivahkolta tai sitä rehevämmältä kasvupaikalta. Näin toimiessa vältetään myös kasvua edistävien ravinteiden poiskuljettamiselta. Hakkuutähteen korjuu on siis kannattavaa lähtökohtaisesti, jos korjattava määrä on vähintään 80 kiintokuutiota ja metsäkuljetusmatka on alle 300 metriä. (Koistinen ym. 2016) Hakkuutähdihakkeen loppukäyttöpaikan läheisyys tai suuri kertymä voivat kuitenkin olla perusteluja pidemmälle metsäkuljetusmatkalle (Viitasaari 2013).

3.1. Hakkuutähteen korjuun huomioiminen hakkuussa

Hakkuutähde täytyy hakkuun yhteydessä hakata ajourien sivuille kasoihin, perinteisestä koneen eteen hakkuusta poiketen. Tällöin hakkuutähde jää kasoihin,

joissa se kuivaa, varistaa neulasensa ja on helppo kerätä metsätraktorilla tienvarsivarastoon. Hakkuutähteen kasauksesta on huomattava hyöty seuraavissa työvaiheissa ja siihen on näin ollen syytä kiinnittää huomiota (Rieppo 2002, 29). Hakkuutähteen korjuu aiheuttaa yleensä hiukan haasteita hakkuukoneenkuljettajalle, sillä ainespuupölkkyt joudutaan sijoittelemaan pienemmälle alueelle ja työstämään koneen sivulla. (Asikainen ym. 2001; Hakkila ym. 1998, 30-32). Hakkuutähdekasojen tulisi olla korkeita, eikä niiden yli saa ajaa koneilla (Koistinen ym. 2016).

3.2. Palstalla kuivatus

Hakkuutähteen kuivattaminen maastossa on tärkeä lopputuotteen laatuun vaikuttava tekijä. Kaatotuoreen hakkuutähteen kosteus vaihtelee välillä 44-60 % (Nurmi 1999, 9). Suomen ilmasto-olosuhteissa kuivumista tapahtuu lähinnä vain kesäkuukausina haihdunnan ollessa sadantaa suurempaa. Tutkimuksen mukaan kuivuminen kesä-heinäkuussa on tehokkainta ja näissä olosuhteissa 1-3 viikon palstakasoissa kuivatus riittää saavuttamaan tavoitekosteuden. (Hillebrand & Nurmi 2001). Koistisen ym. (2016, 54-55, 93-94) suositusten mukaan palstalla kuivatusaika on touko-elokuussa 2-4 viikkoa. Syys-toukokuussa tehdyt palstakaset suositellaan kuivatettaviksi ainakin seuraavan vuoden kesäkuuhun, jotta lopputuotteen laatu varmistuu.

Tähteen kuivatus palstalla voi laskea hakkuutähteen kosteuden jopa 20-30 prosenttiin. Samalla tosin hakkuutähteen määrä pienenee 20-30 prosentilla, johtuen pääasiassa neulasten maastoon varisemisesta. Tämä taas puolestaan pienentää hakkuualan ravinnepoistumaa. (Alakangas ym. 2016, 69-73; Routa, Kolström, Ruotsalainen & Siikanen 2015; Hillebrand & Nurmi 2001; Hakkila ym. 1998). Mitä alhaisempi kosteus on, sitä enemmän polttoaine sisältää energiaa. 10 % muutos kosteudessa vastaa jokaisella hakkuutähdehakkeen märkakilolla noin 2,25 megajoulen eroa energiamäärässä. (Nurmi 1999 9, 23).

Kosteuden lisäksi hakkuutähteen korkea alkuainepitoisuus voi muodostua ongelmaksi tuotantolaitoksilla. Kuten aiemmin kappaleessa 2.3.1 kerrotaan, Haapaniemen laitoksella poltetaan turvetta hakkuutähdehakkeen seassa, joka neutralisoi

korroosioita aiheuttavien alkuaineiden syövyttäviä vaikutuksia. (Knuutinen 2020; Alakangas ym. 2016, 200-203; Alakangas & Impola 2014, 25). Alkuaineista haitallisinta, eli klooria on eniten neulasissa, joten palstalla kuivahtanut ja näin ollen suurimman osan neulasistaan varistanut ruskea hakkuutähde ei aiheuta ongelmia muillakaan polttolaitoksilla. (Alakangas ym. 2016, 76). Palstalla kuivattaminen parantaa polttoaineen laatua monella tavalla.

3.3. Metsäkuljetus

Palstallakuivatuksen jälkeen hakkuutähde on kuljetettava tienvarsivarastoon, josta se voidaan toimittaa loppukäyttöpaikalle. Metsäkuljetus tehdään yleensä normaalilla metsätraktorilla, jonka kuormatila voidaan kasvattaa jatkamalla pankkojen pituutta tai lisäämällä ylimääräisiä pankkoja taaksepäin. Kuormatraktoriin on suositeltavaa vaihtaa hakkuutähteen kuormaukseen suunniteltu koura, joka ei tavalliseen puutavarakouraan verrattuna nosta kuormiin yhtä helposti maa-ainesta. (Asikainen ym. 2001, 12-15; Hakkila ym. 1998, 37). Hakkuutähdekoura tehostaa metsätraktorin työskentelyä hakkuutähteen metsäkuljetuksessa huomattavasti.

Hakkuutähteen korjuualoilla metsätraktorin liikkuminen maastossa saattaa olla hitaampaa ja hankalampaa. Normaalisti ajouralla oleva hakkuutähde kannattelee ajokonetta, sekä suojelee maanpintaa rikkoutumiselta. Tähteen puuttuessa painumat ja hankalat maastonkohdat vaikeuttavat ajoa leimikolla. (Hakkila ym. 1998, 37). Pahimmassa tapauksessa hakkuutähdettä joudutaan käyttää jo päätehakkuualan ainespuun metsäkuljetuksessa maaston kantavuuden parantamiseen.

3.4. Varastointi

Varastointi on viimeinen työvaihe, jossa hakkuutähdehakkeen laatuun voidaan vaikuttaa. Hakkuutähdettä voidaan varastoida tienvarsivarastossa, terminaalissa hakettamattomana hakkuutähteenä tai hakeaumoissa. Kaikki tässä tutkimuksessa tarkastellut varastot olivat tienvarsivarastoja, joten työssä keskitytään vain

kyseiseen varastointitapaan. Tässä tutkimuksessa varastoinnin vaikutuksia lopputuotteen laatuun on mahdotonta tarkastella lähemmin, sillä varastopaikoista, aluspuista, varaston rakenteesta tai peittämisestä ei löydy mistään tietolähteessä luotettavaa tietoa. Jääskeläisen (2020) mukaan Keitele Forest Oy:n varastot tulisi peittää aina metsäkuljetuksen yhteydessä mutta kyseisillä kohteilla ei voida taata varmuutta sille, että näin olisi toimittu. Niinpä varastoinnin vaikutus rajautui tutkimuksen ulkopuolelle.

Roudan ym. (2015, 76) tutkimuksen mukaan tienvarsivarastoinnissa aiheutuu yleensä aina kuiva-ainetappioita. Tappiot johtuvat hakkuutähteen tienvarsivarastoinnissa tapahtuvan runsaan biokemiallisen hajotustoiminnan vuoksi. Hakkuutähteen kosteuden ollessa korkeampi, kuiva-ainetappio on merkittävämpi. Saman tutkimuksen mukaan kuiva-ainetappion määrä kuukaudessa vaihtelee välillä 0-2,9 %. Palstalla kuivattamattomien hakkuutähteen varastoinnissa kuiva-ainetappiot ja kosteusprosentti ovat yleensä korkeita. Näiden, sekä kappaleessa 3.2. esitettyjen syiden takia palstalla kuivatus on suositeltavaa. (Routa ym. 2015).

3.4.1 Varastopaikka ja varaston rakenne

Viitasaaren (2013, 13-14) ja Lepistön (2010, 19-20) oppaiden mukaan varastopaikka tulisi valita kuivapohjaiselle ja avaralle paikalle, jossa on riittävästi tilaa sekä puun varastoinnille että haketukselle. Varastopaikan tilantarve yleisesti on noin 20 metriä jokaista hehtaaria kohden, jolta hakkuutähdettä kerätään (Koistinen ym. 2016, 64) Varastopaikan valinnalla pyritään lähinnä siihen, että hakkuutähdde ei kastu uudelleen palstakuivatuksen jälkeen.

Varaston tulisi olla korkea ja ilmava. Lisäksi sen tulisi säilyttää muotonsa koko varastoinnin ajan, jotta hakkuutähdde ei pääse enää uudelleen kastumaan varastossa. Hakkuutähddevaraston tulisi olla tasaisen pyöreä, että vesi ja varaston päältä sulava lumi valuvat kasan sivuille, eivätkä ainakaan ohjaudu kasan keskelle. (Koistinen ym. 2016, 66; Lepistö 2010, 21).

3.4.2 Aluspuut ja peitto

Varastoinnin kannalta olennaisia laatua parantavia tekijöitä ovat aluspuut ja peittäminen. Aluspuuna on hyvä käyttää ainespuun korjuussa ajamatta jääneitä puita tai muuten teollisuuteen kelpaamattomia puulajeja (Koistinen ym. 2016, 66-68; Lepistö 2013, 19-26). Aluspuut pitävät varaston irti maasta, joten maan kosteus ei pääse nousemaan kasaan ja ilma kiertää kasan alta (Lepistö 2013). Lisäksi aluspuiden päältä hakettaminen onnistuu nopeammin ja turvallisemmin, kun hakuriin ei kulkeudu maa-ainesta (Hillebrand & Nurmi 2001, Asikainen ym. 2001).

Varastojen peittämisessä käytetään yleensä siihen tarkoitettua peitepaperia, joka voidaan hakettaa hakkeen sekaan (Alakangas ym. 2016, 73). Varaston peittämisellä saavutetaan Hillebrandin ja Nurmen (2001) tutkimuksen mukaan 10-15 prosenttia kuivempaa hakkuutähdehaketta. Samalla vähennetään lumen ja jään vaikutuksia talviaikaiseen haketukseen ja parannetaan varaston säilyvyysominaisuuksia. Peite saadaan pysymään paikoillaan nostamalla riittävä määrä kouranippuja peitepaperin päälle (Koistinen ym. 2016, 66-67).

3.5. Vaikutukset maanmuokkaukseen ja taimettumiseen

Metsänomistajan kannalta hakkuutähteen korjuulla on lisätulojen lisäksi helpotettava vaikutus metsänviljelytöihin. Kaivinkoneella tehty maanmuokkaus on keskimäärin noin 15 % tavanomaista päätehakkuualaa nopeampaa kohteilla, joilta hakkuutähde on korjattu. Äestys puolestaan on vain hiukan nopeampaa hakkuutähteen korjuukohteilla, mutta työnjäljen on yleisesti todettu olevan parempaa. (Saksa, Tervo & Kautto 2002 21-25).

Taimien eloonjänti on varmempaa kohteilla, joista hakkuutähde on korjattu. Hakkuutähteen korjuun painottuessa reheville kasvupaikoille kuusi on yleinen viljeltävä puulaji. Vaikka hakkuutähteen korjuun mukana metsästä poistuu aina myös ravinteita korjuun ei ole todettu merkittävästi vaikuttavan kuusentaimikon kasvuun ensimmäisen 15 vuoden aikana. (Egnell & Leijon 1999). Hyönteistuhojen määrä taimikoissa ei tutkimusten mukaan muutu, oli hakkuutähdettä korjattu tai ei (Saksa ym. 2002). Näissä tutkimuksissa hakkuutähteen korjuu on toteutettu

siten, että hakkuualalle jäävän hakkuutähteen osuus olisi mahdollisimman pieni. Saksan (2014) uudemmassa tutkimuksessa päätehakkuualalle oli jätetty noin 38 % hakkuutähteestä. Tutkimuksen tulokset ovat samansuuntaisia aiheesta aiemmin tehtyjen tutkimusten kanssa.

Lisäksi hakkuutähteen korjuu saattaa parantaa päätehakkuualan maisemallista arvoa. Maisema-arvon merkitys korostuu etenkin toimittaessa alueilla, joissa ihmiset liikkuvat paljon. Esimerkiksi asuinrakennusten, pihateiden ja kesämökkien läheisyydessä hakkuutähteen keräämisellä voidaan saada maisemaa viihtyisemmän näköiseksi.

3.6. Hakkuutähteestä maksaminen ja sen mittaaminen

Hakkuutähteestä maksaminen metsänomistajalle tapahtuu Keitele Forest Oy:ssä ainespuun mittaustodistuksen yhteydessä tai vaihtoehtoisesti erillisellä mittaustodistuksella hakkuutähteen metsäkuljetuksen jälkeen. Maksettaessa hakkuutähteestä ainespuunkorjuun yhteydessä metsänomistajalle maksettava määrä perustuu vain leimikolta kertyneen ainespuumäärän avulla tehtyyn arvioon. Kertynyt ainespuumäärä kerrotaan tietyllä arvolla, josta saadaan selville maksuperusteena käytettävä hakkuutähteen kiintokuutiomäärä. Yhtiön ohjeistuksessa käytettäväksi arvoksi on määritelty 0.2. (Jääskeläinen 2020). Maksettaessa hakkuutähteestä vasta metsäkuljetuksen jälkeen, määrä on automaattisesti kohdallaan, sillä todellinen määrä on voitu todentaa metsäkuljetuksen yhteydessä mittamalla. Kappaleessa 8.1 kerrotaan lisää yhtiön käyttämistä arvoista ja mittauserusteista.

Hakkuutähteen todellisen määrän mittaaminen tapahtuu yleensä metsäkuljetuksen yhteydessä, metsätraktorin kouran ja puomin väliin kiinnitettävällä kuormavaa'alla (Koistinen ym. 2016, 55). Kuormainvaakamittauksella mitattaessa saadaan massasta laskettua kiintokuutiometrit laskentataulukoiden avulla. Taulukosta valitaan tuoretiheys, jolla kuljetettu kokonaismassa jaetaan. (Lindblad & Korri, 2014). Taulukkoon perustuvassa mittauksessa on aina inhimillisen virheen mahdollisuus, sillä tuoretiheys voi vaihdella, vaikka taulukon raja-arvot täytyisi-

vätkin. Kuviossa 2 esitetään taulukko, jonka mukaan Etelä-Suomen hakkuutäh-
teiden tuoretiheys lasketaan. Tämän tutkimuksen kaikki hakkuutähde-erät kuulu-
vat Etelä-Suomen mitta-alueeseen. Muitakin hakkuutähteen mittaustapoja on,
mutta ne eivät ole käytössä tässä yrityksessä ja näin ollen eivät ole työn kannalta
oleellisia.

Taulukko 9. Latvusmassan tuoretiheysluvat Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. (*						
Painoluokka	Kosteus	Ajankohta				Tuoretiheys
		1.4.–30.4.	1.5.–15.8.	16.8.–30.9.	1.10.–31.3.	
	%					kg/m ³
1	> 50	Tuore, jossa lunta tai jäätä				950
2	45–50	Tuore, 20 vrk ↓	Tuore, 10 vrk ↓	Tuore, 20 vrk ↓	Tuore	840
3	40–44	≥ 20 vrk	→ 15 vrk ↓	≥ 20 vrk	≥ 20 vrk	770
4	35–39	-	20 vrk ↓	20 vrk ↑	20 vrk ↑	700
5	30–34	-	35 vrk ↓	20 vrk ↑	-	650
6	< 30	-	≥ 80 vrk	20 vrk ↑	-	600

KUVIO 2. Taulukko, jossa kuvataan tuoretiheyslukuja, joiden mukaan hakkuutäh-
teen määrä lasketaan jakamalla kuormainvaakamittauksessa saatu massa tuo-
retiheysluvulla (Lindblad & Korri 2014)

4 TOIMITUS LOPPUKÄYTTÖPAIKALLE

Jotta lämpöenergia voidaan hyödyntää loppukäyttöpaikalla, on hakkuutähde ensin muutettava tuotantolaitoksille sopivaan käyttömuotoon. Kuten kaikki muukin metsäenergia, myös hakkuutähde on haketettava tai murskattava. Yleisesti kaikesta hakkuutähteen käsittelystä käytetään termiä haketus, vaikka käytännössä osa tähteestä murskataan.

Yleisesti haketus jaetaan kahteen kategoriaan. Hajautettuun haketukseen ja keskitettyyn haketukseen. Hajautettuun haketukseen lasketaan kuuluvaksi palsta- ja tienvarsihaketus. Keskitettyyn haketukseen taas terminaali- ja käyttöpaikkahaketus. Keskitetyn haketuksen hyvänä puolena voidaan yleisesti pitää sen riippumattomuus kuljetuskalustosta. Hakkuri tai murskain saa toimia täydellä teholla ilman kaukokuljetuksen aiheuttamia viivästyksiä. Huonona puolena keskitetyssä haketuksessa on kaukokuljetuksen pieni kuormakoko hakkuutähteen ollessa irtonaista ja vaikeata kuormata tiiviiksi. Ylimääräiset käsittelykerrat keskitetyssä haketuksessa tuovat lisää kustannuksia ja heikentävät keskitetyn haketuksen kannattavuutta. (Laitila ym. 2010 ,36).

4.1. Tienvarsihaketus

Tienvarsihaketus on Suomessa tuotettavan hakkuutähdehakkeen yleisin haketustapa. Vuonna 2018 sen osuus oli 80 % kaikesta hakkuutähdehaketuksesta (Strandström 2019, 12). Yleisimmin haketus suoritetaan kuorma-auto alustaisella hakkuriautolla ja hakkeen kaukokuljetus erillisellä puoli- tai täysperävaunu ajoneuvoyhdistelmällä. Auto-alustaisten hakkureiden hyötynä voidaan mainita ketteryys, monipuolisuus ja soveltuvuus monen kokoisille työmaille. (Hakkila, ym. 1998, 41).

Tienvarsihaketukseen on kehitelty monenlaisia kaukokuljetukseen soveltuvia yhdistelmähakkureita, jotka hoitavat samalla kalustolla sekä haketuksen, että kau-

kokuljetuksen. Tällainen kalusto on kuitenkin jäänyt tavanomaisen kaluston varjoon, eikä niitä ole suuremmassa mittakaavassa käytössä. (Asikainen ym. 2012, 127; Strandström 2019).

Hakkuutähdehakkeen haketuksessa käytetään yleisimmin rumpuhakkureita, sillä ne tuottavat tasalaatuista haketta raaka-aineen tasalaatuisuudesta riippumatta (Lepistö 2010, 29). Tässä opinnäytetyössä käsitelty aineisto on haketettu rumpuhakkurilla tienvarsivarastosta ja kuljetettu Kuopioon ketjupurkuisilla täysperävau-nuyhdistelmillä. Haketusyrittäjällä on käytössään kaksi kuorma-autoalustaista rumpuhakkuria ja neljä omaa kuorma-autoa, sekä yksi alihankintayrityksen omis-tama auto. Yhdistelmien kokonaispainot ovat 64-74 tonnia ja kaikissa autoissa kuljetuskapasiteetti on noin 120 m³. Metsäautoteillä liikuttaessa painoa rajoitta-vampi tekijä onkin auton fyysinen koko. (Väisänen 2020).

4.2. Muut haketustavat

Muita hakkuutähteen haketustapoja ovat käyttöpaikkahaketus, terminaalihake-tus, palstahaketus ja murskaus. Tässä luvussa kerron näistä haketustavoista, sillä jokaisella tuotantolaitoksella on omat käytäntönsä ja toiveensa hakkuutäh-dehakkeen vastaanotosta. Jos työni olisi laajentunut koko Keitele Forest Oy:n hankinta-alueen hakkuutähdetoimituksiin, olisi osa hakkuutähdetoimituksista tehty muuten kuin tienvarsihaketusmenetelmällä.

Käyttöpaikkahaketus tarkoittaa haketusta vasta tuotantolaitoksella. Tämän hake-tusmuodon etuna on se, että tuotantolaitokselle voidaan kuljettaa paljon varas-toa, joka saadaan käyttöön juuri halutulla hetkellä. Myös autokuljetus on hel-pompi suunnitella aikataulujen ollessa vapaammat. Tällä menetelmällä pystytään myös varautumaan paremmin kelirikkoon ja muihin toimituksen viivästymiin. Vuonna 2018 käyttöpaikkahaketuksen osuus kaikesta hakkuutähdehakkeen tuo-tannosta oli 9 %. (Strandström 2019, 12).

Terminaalihaketus on käyttöpaikkahaketuksen kaltainen haketusvaihtoehto. Me-netelmässä hakkuutähde kuljetetaan terminaaliin, jossa se haketetaan ha-keamaan odottamaan kuljetusta käyttöpaikalle. Tämän menettelyn huonona

puolena on useammat käsittelykerrat verrattuna muihin haketustapoihin sekä pienet kuormakoot, kun hakkuutähdettä täytyy kuljettaa kokonaisena. (Kärhä 2008, 31). Terminaalihaketuksen osuus vuonna 2018 oli Strandströmin (2019, 12) tuoskalvosarjan mukaan 11 % kaikesta hakkuutähdehakkeen tuotannosta.

Palstahaketus on menetelmä, jossa hakkuutähde haketetaan yleensä metsätraktoripohjaisella hakkurilla suoraan kuormatilana toimivaan konttiin. Säiliön täytyessä se tyhjennetään kaukokuljetusta varten kuorma-autoon tai muuhun varastoon. (Hakkila ym. 1998, 39) Palstahakkureita ei huonon tuottavuuden takia käytetä enää laajamittaisessa hakkuutähdehakkeen tuotannossa. (Strandström 2019, 13; Luonnonvarakeskus 2020).

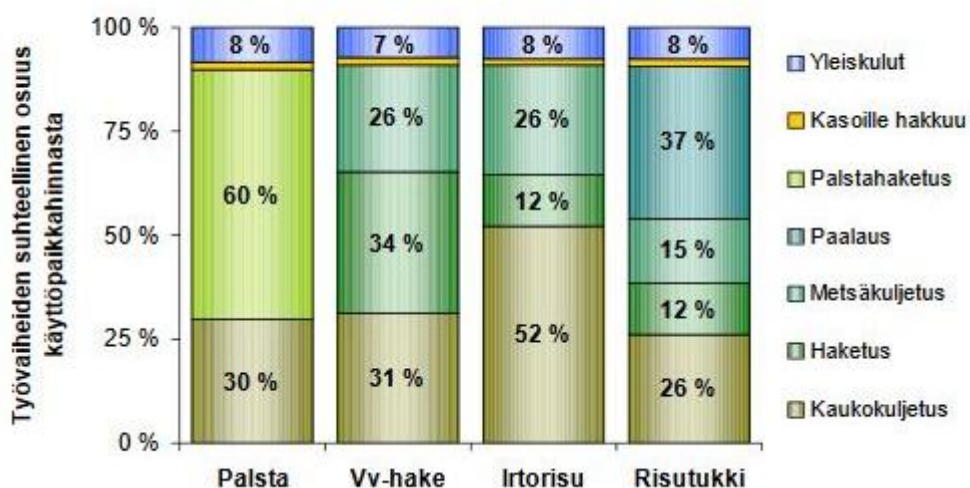
Hakkureiden sijaan voidaan hakkuutähteen jauhamisessa käyttää myös erilaisia murskaimia. Murskainten hyötynä ovat niiden epäpuhtauksien kestävyys. Niillä voidaan siis murskata huoletta varastoja, joissa tiedetään olevan paljon epäpuhtauksia. (Asikainen ym. 2001, 53). Murskaimet ovat isoja ja painavia koneita, jonka vuoksi ne sopivat vain suurten varastojen käsittelyyn. Parhaimmillaan niiden tuottavuus on suoraan käyttöpaikalla tai terminaaleissa, joihin hakkuutähde kuljetetaan kokonaisena autokalustolla. Murskauksessa ongelmana on usein hakkuutähdemurskeen epätasainen laatu. Isoissa voimalaitoksissa epätasainen polttoaine ei yleensä aiheuta ongelmia ja siitä syystä murske ohjataan yleensä vain suurille laitoksille. (Lepistö 2010, 30-31). Murskauksen etuna on myös muiden materiaalien, kuten kierrätyspuun ja kantojen käsittely.

Hakkuutähteen korjuussa on viime vuosikymmenillä käytetty myös hakkuutähdepaalaimia, jotka tiivistävät hakkuutähteen risutukeiksi. Paalainten suurimittakaavaisesta käytöstä on 2010 -luvulla pääosin luovuttu huonon kannattavuuden takia (Routa ym. 2012; Strandström 2019). Ne eivät ole työn kannalta oleellisia, sillä käsiteltävässä hankintaketjussa ei käytetä paalaimia.

5 HAKKUUTÄHTEEN KORJUUN KUSTANNUSTEKIJÄT

Hakkuutähteen hankinnan kustannukset voidaan jakaa hankinnan yleiskustannuksiin sekä metsänomistajalle maksetun hinnan-, korjuun-, metsäkuljetuksen-, haketuksen- ja kaukokuljetuksen kustannuksiin. Jokainen käsittelyvaihe tuo lisää kustannuksia. Laitilan ym. (2010) tutkimuksen mukaan hakkuutähdehakkeen kustannukset käyttöpaikalla ovat 20,7-21,4 €/m³ kaukokuljetusmatkan ollessa 45 km. Sama kustannus 90 km:n kaukokuljetusmatkalla oli samassa tutkimuksessa 23,4-24,1 €/m³. Tutkimuksessa ei otettu huomioon metsänomistajalle maksettavaa hintaa.

Vuonna 2019 metsähakkeesta valmistetulle energialle käyttöpaikkahinta, eli lopputuotteen arvo oli noin 21 €/MWh (Tilastokeskus 2020). Hakkuutähteen keskimääräinen energiatiheys on Hakkilan ym. (1998, 24) mukaan 0,7-0,9 MWh hakeirtokuutiota kohti. Näin ollen hakkuutähdehakeirtokuution arvo käyttöpaikalla on noin 14,7-18,9 €. Tulos on samaa luokkaa vuonna 2010 tehdyn ennusteen mukaan. Tutkimuksessa selvitettiin vuoden 2020 polttoaineiden hintoja lisäämällä julkaisuvuoden hintoihin 20 %. (Kärhä ym. 2010). Kuviossa 3 on esitelty hakkuutähteen korjuun kokonaiskustannusten jakautuminen Asikaisen ym. (2001) tutkimuksen mukaan.



KUVIO 3. Hakkuutähteen korjuun kokonaiskustannusten jakautuminen (Asikainen ym. 2001, 66)

Yllä olevaa kuviota 3 tulkitessa on huomioitava, että ”Vv-hake” tarkoittaa tienvarsihaketusta. Samoin on huomioitavaa, että hakkuutähde korjattiin tuoreena melko lyhyeltä, 170 metrin metsäkuljetusmatkalta. Asikaisen ym. (2001) tutkimuksen kaukokuljetusmatka oli 50 kilometriä.

5.1. Hakkuussa maksettava lisä

Päätehakuilla konetyön on todettu olevan hiukan hitaampaa ja työläämpää, jos samalla tähdätään hakkuutähteen talteenottoon (Nurmi 1994, Elonen & Korpilahti 1996, Hakkila ym. 1998). Hakkuutähteen kasoille puinnista maksetaan yleensä hakkuukoneyrittäjälle pieni taksalisä. Seuraavissa työvaiheissa saatu hyöty kuitenkin ylittää taksalisän kustannukset. Koko hankintaketjun kustannuksista arviolta vain 2-4 % koostuu hakkuukoneelle maksettavasta lisästä. (Hakkila ym. 1998). Laitilan ym. (2010) tutkimuksessa selvisi, että kasoillehakkuun kustannus on noin 0,3 €/m³.

5.2. Metsäkuljetus

Hakkilan ym. (1998) mukaan 20-25 % hakkuutähdetoimitusten kokonaiskustannuksista tulee metsäkuljetuksesta. Metsäkuljetusmatkan pidentyminen 200 metristä 400 metriin laskee kuljetuksen tuottavuutta jopa neljänneksellä.

Kuivahtaneen eli niin sanotun ruskean hakkuutähteen kuljetuksen tuottavuus kiintokuutiota kohti on noin 2 % pienempi kuin tuoreen eli vihreän tähteen. Metsätraktorin ajoaika, jolloin kone liikkuu maastossa, on todettu olevan noin 51 % kaikesta ajanmenekistä kuljetusmatkan ollessa 250 metriä. Kuormaukseen ja purkuun kuluu noin 50 % kokonaisajasta. Metsäkuljetusmatkan lyhentyessä ajoajan osuus pienenee ja päinvastoin metsäkuljetusmatkan kasvaessa 400 metriin nousee myös metsätraktorin ajoaika yli 50 %. (Asikainen ym. 2001, 26-29).

Riepon (2002) tutkimuksen mukaan kasoille hakkuulla saavutettu kustannus-
hyöty metsäkuljetuksessa on lyhyillä kuljetusmatkoilla jopa yli 10 % ja pidemmil-

läkin noin 5 %. Näin ollen kasoillehakkusta aiheutuvat kulut pienentävät metsäkuljetuksen kuluja. Työmaan koko vaikuttaa merkittävästi metsäkuljetuksesta syntyviin kustannuksiin. Pienillä, alle 100 m³ kohteilla kustannukset nousevat rajusti. Suurilla, yli 400 m³ kohteilla kustannukset eivät enää merkittävästi pienene. Samassa tutkimuksessa 250 metrin metsäkuljetusmatkalla saatiin metsäkuljetuskustannukseksi 5,60 €/m³. (Rieppo 2002, 29-45).

Asiaa on tutkittu myöhemminkin muun muassa vuonna 2010 Laitilan ym. toimesta. Tutkimuksessa saatiin latvusmassan metsäkuljetuksen kustannukseksi 6,20 €/m³ samalla 250 metrin metsäkuljetusmatkalla. Näissä tutkimuksissa on kuitenkin eroavaisuuksia, sillä Riepon (2002) tutkimus on jo verrattain vanha ja koneiden käyttökustannukset ovat nousseet tutkimusvuodesta. Laitilan ym. (2010) tutkimus on tuoreempi ja käyttökustannukset sekä hakkuutähdekuormien kuormakoot vastaavat paremmin nykypäivän tilannetta. Laitilan tutkimuksessa korjattavan hakkuutähteen määrä oli melko pieni, vain 60 m³. Riepon (2002) tutkimus osoittaa, että kustannukset laskevat jos hakkuutähdettä on enemmän. Raja-arvona tutkimuksessa mainittiin 100 m³. Riepon (2002) tutkimuksessa ei myöskään ollut mainintaa yleiskustannuksista, jotka ovat Laitilan tutkimuksessa arvioitu olevan 15-17 %:lla melko merkittävä osa kokonaiskustannuksista. Kuten kuviossa 3 näkyy Asikainen ym. (2001) on tutkimuksessaan arvioinut yleiskustannusten osuuden olevan vain 7 % kokonaiskustannuksista.

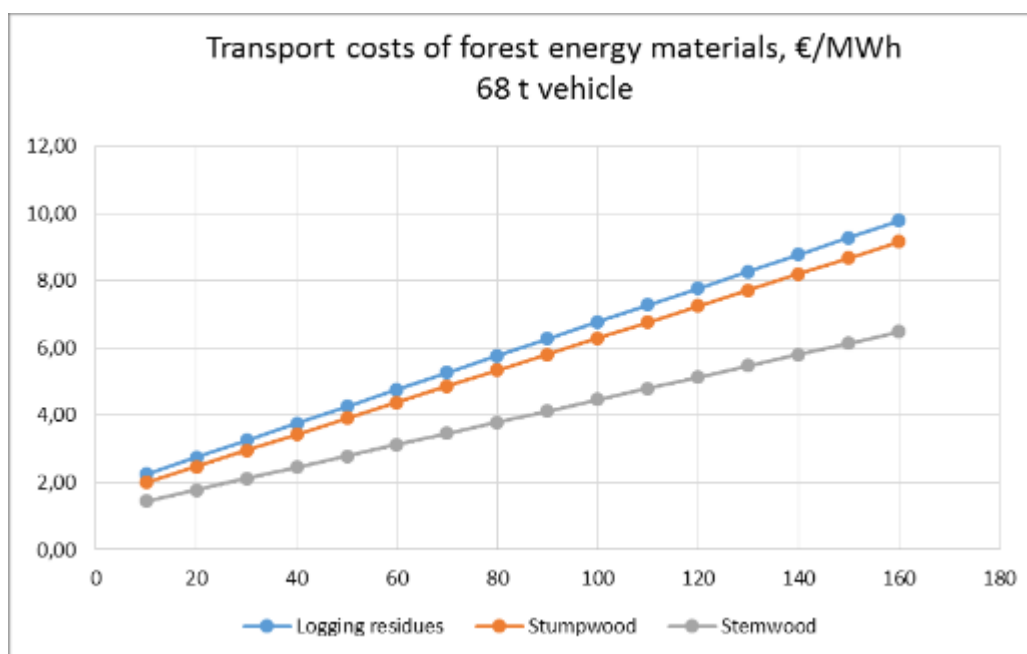
5.3. Haketus ja kaukokuljetus

Tienvarsivarastosta hakkuutähde täytyy kuljettaa loppukäyttöpaikalle. Kuten aiemmin kappaleessa 4.1 on kerrottu, tässä tutkimuksessa kaikki hakkuutähteet hakettiin tienvarsihaketus-menetelmällä. Haketuksen osuus kokonaiskustannuksista on noin 30-35 % (Asikainen ym. 2001, 57). Laitilan ym. (2010, 64) tutkimuksen mukaan haketuskuormien kustannus tienvarsihaketuksessa oli 5,90 €/m³.

Hakkuutähdehake on tienvarsihaketuksen jälkeen kuljetettava käyttöpaikalle. Laitila ym. (2010, 66-67) kertoi tutkimuksessaan kaukokuljetuksen hinnaksi 4,8-8,2 €/m³ riippuen käytettiinkö 45 vai 90 km:n kuljetusmatkaa. Tutkimuksessa on

kuitenkin huomioitavaa se, että siinä on käytetty 44 hakeirtokuution kuormakokoa, joka on melko pieni verrattuna nykypäivänä käytössä olevaan kalustoon. Korpilahden (2015, 15) mukaan nykyisin eniten käytettävien hakeautojen enimmäismassa on yleensä 76 tonnia ja kuljetuskapasiteetti on Laitilan (2010) tutkimukseen verrattuna kolminkertainen, jopa 140 hakeirtokuutiota. Kokonaismassaltaan suurempiakin hakeautoja on käytössä, mutta tässä tutkimuksessa käytettyjen autojen kokonaismassa on 64-74 tonnia.

Tulokset Korpilahden (2015) ja Laitilan ym. (2010) tutkimuksissa ovat melko yhteneviä. Kuviossa 4 on esitetty nykyaikaisen kaluston metsähakkeen kuljetuskustannuksia. Kuviossa korkein viiva kuvaa hakkuutähdehaketta. Alla olevasta kuvioista voidaan tulkita 45 km:n matkalla kustannukseksi noin 4 €/MWh ja 90 km:n matkalta noin 6,2 €/MWh. Korpilahden (2015) mukaan yhdistelmän maksimipainon noustessa 8 tonnia kustannukset laskisivat noin 1,5 €/MWh. Kuten kappalessa 5 kerrotaan. Hakkilan (1998) mukaan hakkuutähdehakkeen energiasisältö on noin 0,7-0,9 MWh/hakeirtokuutio. Hakeirtokuution kuljetuskustannuksiksi Korpilahden (2015) tutkimuksen mukaan 68 tonnin yhdistelmällä ja 45 kilometrin kuljetusmatkalla tulisi noin 4,4-5,7 €/m³ ja 90 kilometrin matkalla 6,9-8,9 €/m³.



KUVIO 4. Metsähakkeen kaukokuljetuskustannuksia 68 tonnisella ajoneuvoyhdistelmällä (Korpilahti 2015)

5.4. Muut kulut

Edellä mainittujen kulujen lisäksi hakkuutähteen korjuulle lasketaan niin sanottuja yleiskuluja, jotka koostuvat muun muassa korjuun organisoimisesta, toimihenkilön ajankäytön lisääntymisestä ja varastopaikan mahdollisesta myöhemmästä viljelystä. Laitilan ym. (2010) tutkimuksessa käytettiin kokonaiskustannusten laske-
misessa arvoa 3,51 €/m³. Luonnonvarakeskuksen (2020) mukaan teollisuuspuun hankinnan yleiskustannus oli keskimäärin 2,68 €/m³. Yleiskuluja ei otettu tässä tutkimuksessa huomioon.

Ostohinta eli metsänomistajalle hakkuutähteestä maksettava hinta on merkittävä kulu hakkuutähteen hankintaketjussa. Metsänomistajalle maksetaan hakkuutähteestä yleensä 1-4 euroa kiintokuutiolta (Hakonen & Viitasaari 2013, 23). Viimeisen viiden vuoden keskihinnat koko maassa ovat olleet 2,5-3,5 €/m³ (Luonnonvarakeskus 2020). Aiemmin mainitsemissani tutkimuksissa on käsitelty vain hakkuutähteen hankinnan kuluja, joten metsänomistajalle maksettu yksikköhinta täytyy lisätä kustannuksiin, jotta niitä voidaan vertailla tämän tutkimuksen kanssa.

6 TUTKIMUS

6.1. Aineiston hankinta

Tutkimusaineistoksi valittiin Keitele Forest Oy:n Kuopion Energia Oy:lle toimittamat hakkuutähdehakekuormat kolmen vuoden ajalta. Aineistoon valittiin sopimukset, joilta korjattu hakkuutähde oli haketettu ja kaukokuljetettu vuosina 2017-2019. Aineistosta rajattiin pois ne sopimukset, joiden osalta tienvarsivarastoa ei ollut merkattu tyhjäksi 31.12.2019 mennessä. Sama haketusyrittäjä oli hakettnut kaikki tutkimusjoukon sisältämät hakkuutähdevarastot. Ehdot täyttäviä sopimuksia löytyi 37 kappaletta.

Aineistoon kerättiin puukauppasopimuksista kolmen vuoden ajalta tarpeellisia tietoja, kuten hakkuutähteen ostohinta, ainespuun kertymä ja puulajisuhteet päätehakkuiden osalta. Tämän lisäksi kerättiin taksatiedot metsäkuljetuksesta, kasoillehakuusta, kaukokuljetuksesta ja haketuksesta. Taksoihin vaikuttaa oleellisesti kuljetusmatkat ja määrät, joten myös nämä tiedot kerättiin aineistoon.

Määräerot vaikuttavat toiminnan kannattavuuden arviointiin oleellisesti, joten ne oli syytä selvittää huolellisesti. Selvitetyt hakkuutähdemäärät jaoteltiin aineistoon seuraavasti: ostomäärä, metsänomistajalle maksettu määrä, metsäkuljetettu määrä, autokuljetettu määrä sekä tuotantolaitoksella vastaanotettu määrä. Metsänomistajalle maksettu määrä tarkoittaa määrää, jonka mukaan hakkuutähteen yksikköhinta maksetaan metsänomistajalle. Näiden tietojen lisäksi aineistoon kerättiin tiedot eri toimintavaiheiden ajankohdista, kuten hakkuun aloitus- ja lopetuspäivämäärät, sekä metsäkuljetus- ja haketuspäivämäärät.

Aineistoon koottiin myös vastaanotetun hakkuutähdehakkeen ominaistiedot, kuten kosteus, energiatiheys, nettopaino ja toimitetut hakeirtokuutiot. Aineistoon lisättiin myös energiasta maksettu hinta sen toimitushetkellä. Näiden tietojen perusteella tutkimus pystyttiin toteuttamaan ja tuloksin ei jäänyt aukkoja.

Tutkimusaineistosta koostettiin Excel-taulukko, johon tiedot syötettiin Keitele Forest Oy:n toimintajärjestämästä Piimegasta. Haketoimitusten vastaanottotiedot

sain Kuopion Energia Oy:n polttoainevastaanotosta. Kuten kappaleessa 2.2.2 kerrotaan, Haapaniemen voimalaitoksella mitataan jokaisesta saapuvasta kuormasta hakeirtokuutiomäärä, kosteus sekä kuorman nettopaino. Polton jälkeen kuormalle kohdistetaan siitä saatu kokonaisenergiämäärä ja energiatiheys. (Knuutinen 2020).

6.2. Tutkimusaineiston ongelmakohdat

Tutkimusaineiston koostamisessa oli ongelmia, joiden ratkaisemiseksi jouduttiin tekemään erilaisia toimenpiteitä, jotta tutkimus saatiin toteutettua. Näin ollen tutkimuksen tulokset eivät ole aukottomia ja tulosten mahdollista virheellisyyttä arvioidaan luvussa 8.3. Toimitetuissa hakekuormissa kuormien kohdistaminen sopimuksille ilmoitettujen nettopainojen mukaan oli haastavaa, sillä välillä kuormien nettotonnit puuttuivat järjestelmästä. Suurin aineiston keruuta hankaloittava asia oli kuitenkin hakkuutähteen metsäkuljetuksen tietojen puuttuminen usealta sopimukselta.

Metsäkuljetustiedoissa oli puutteita metsäkuljetuspäivämäärissä, metsäkuljetusmatkan ilmoituksissa, metsäkuljetetuissa kiintokuutiometreissa sekä metsäkuljetuksen taksoissa. Suurimmalla osalla näistä puutteellisista sopimuksista metsäkuljetustiedot puuttuivat kokonaan. Metsäkuljetustaksojen osalta korvasin puuttuneet tiedot keskiarvolla muista samasta metsäkuljetusmatkasta korjattujen hakkuutähteen taksoista. Jos täysin samoja matkoja ei ollut tai oli vain yksi kappale tutkimusjoukossa, otin keskiarvoon mukaan myös 50 metriä lyhyemmät ja pidemmät matkat. Niillä sopimuksilla, joilta puuttui tieto metsäkuljetusmatkasta, päätelin matkan olleen sama, kuin päätehakkuun ainespuun metsäkuljetusmatka. Tieto oli yksilöitävissä myös sopimuksilta, joilla oli monia hakkuutapoja. Päätehakkuusta maksetaan metsäkoneyrittäjälle aina erillinen taksa, jossa mainitaan myös metsäkuljetusmatka.

Metsäkuljetettujen kiintokuutioiden puuttuessa käytin samaa määrää kuin metsänomistajalle maksettu määrä. Puuttuvan metsäkuljetuspäivämäärän päätelin kahdella tavalla. Jos ainespuun metsäkuljetustaksaan oli lisätty tuntitöinä latvus-

massan ajoa, sain metsäkuljetuspäivämäärän selville tuntityölle merkitystä päivämäärästä. Toinen, paljon virhealttiimpi tapa oli katsoa hakkuutähteen mittauspäivämäärä. Mittauspäivämäärä oli paljon epätarkempi, sillä ei ollut varmuutta siitä oliko mittaus suoritettu lähelläkään metsäkuljetuspäivämäärää. Metsäkuljetuksen tiedot puuttuivat kokonaan tai osittain 11 sopimukselta. Se on 29,7 % koko tutkimusjoukosta.

Nettopainojen puuttuminen tiedoista aiheutti haasteita, sillä kuormien kohdistaminen sopimuksille täytyi tehdä toimitettujen irtokuutiomäärien mukaan. Irtokuutiomäärissä oli kuitenkin muutaman kuution heittoja. Toinen ongelma kuormien kohdentamisessa oli se, että haketusyrittäjä oli syöttänyt noin viikon kuormat kerralla järjestelmään. Tämä aiheutti sen, että kuormien kohdentamisessa aikaväli jolta oikea kuorma löytyy, oli pitkä. Sain kuitenkin pääteltyä kuormien syöttöpäivämäärien ja irtokuutioiden kohdatessa oikeat kuormat sopimuksittain. Tähän kuului kuitenkin kohtuuttoman paljon aikaa verrattuna normaaliin kuormien kohdentamiseen. Tietojen puuttumisen takia useat tiedot jouduttiin korvaamaan tai etsimään muiden tietojen joukosta. Näin ollen tutkimuksessa on iso inhimillisen virheen mahdollisuus. Luvussa 8.3 on kerrottu enemmän virheiden vaikutuksesta tutkimuksen tuloksiin.

6.3. Tutkimusaineiston analysointi

Aineistosta tarkasteltiin pääosin kannattavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä mittaustarkkuutta ja määräerojen syitä. Aineistoa analysoitiin kuvaajien avulla. Opinnäytetyösopimuksen mukaan yhtiön liikesalaisuuksien salassa pitämiseksi kuvaajat on valittu tai aseteltu siten, että rahasummia, sopimusnumeroita, asiakkaiden tietoja tai yksikkökustannuksia ei pysty päättelemään.

Analysointiin käytettiin pääosin Excel-taulukkoa, jossa laskeminen ja monien arvojen yhtäaikainen käsittely oli helppoa. Lisäksi ohjelmalla oli helppoa muodostaa ja muokata työhön liitettäviä kuvioita.

6.4. Työn eteneminen

Sain aiheen marraskuussa, joka kuitenkin tarkentui nykyiseen muotoonsa vasta tammikuussa. Työ eteni tammi- ja helmikuun ajan lähinnä Excel-taulukon koostamisen merkeissä. Taustan kirjoittamisen aloitin helmikuussa, mutta varsinaisesti kirjoitustoiminta alkoi vasta maaliskuun alussa Excel-taulukon ollessa valmis. Maaliskuun puoliväliin mennessä sain kirjoitusosuuden hyvään alkuun ja pystyin aloittamaan varsinaista tutkimustulosten analysointia.

Aineiston koostaminen oli työlästä ja vaati paljon aikaa. Lisäksi aiemmin mainittujen ongelmien ja tietojen puuttumisen vuoksi jouduin tekemään todella paljon ns. ylimääräistä työtä. Viitekehyksen kirjoittaminen oli nopeahkoa ja toi mieluista vaihtelua aineiston koostamiselle, joten toteutin niitä yhtä aikaa. Huhtikuun alussa kirjoittamisosuus oli käytännössä tehty ja tulosten, kaavioiden ja pohdinnan osuus oli enää tekemättä. Muutaman tiedon puuttuminen viivytti tulosten kirjoittamista hieman myöhempään, kuin olin toivonut. Tulosten kirjoittaminen oli hitaampaa kuin olin kuvitellut ja kuvioiden ja erillisten kappaleiden sovittelussa kului paljon aikaa.

Huhtikuun puolessa välissä työ oli jo melkein lopullisessa muodossa ja pystyin lähettämään sen hyväksyttäväksi sekä ohjaavalle opettajalle että Keitele Forest Oy:lle. Olin yrittänyt pitää liiketoiminnalliset tiedot salassa eikä tietojen muuttamiselle tai poistamiselle ollut tarvetta. Palautteen saatuani koostin työn lopulliseen muotoon. Työ palautettiin toukokuun alkupuolella alkuperäisen aikataulun mukaan.

7 TULOKSET

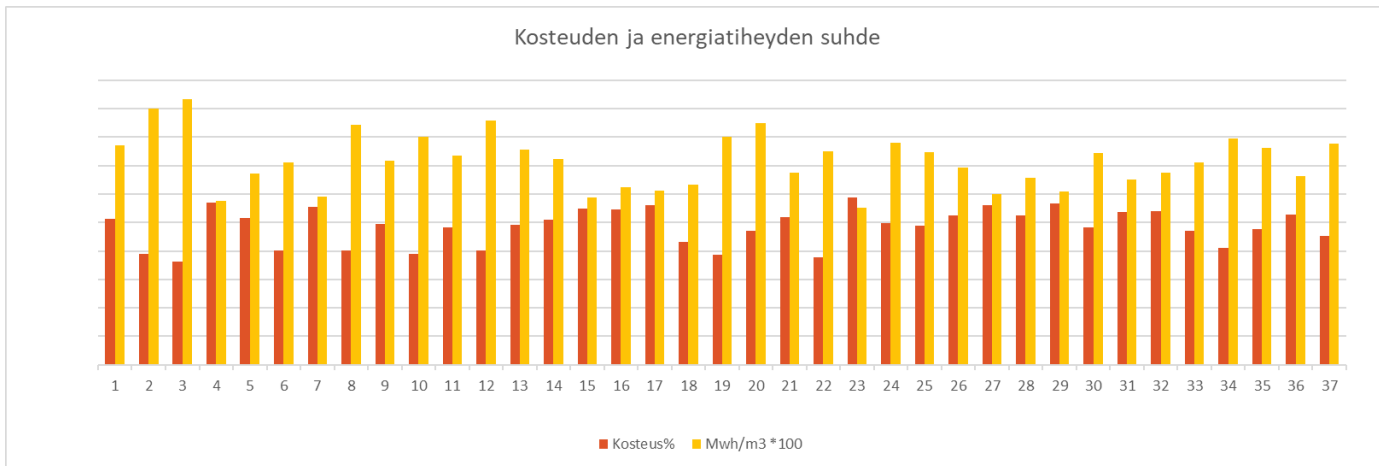
Tutkimus osoittaa, että toiminnan ollessa laadukasta ja kustannustehokasta, Keitele Forest Oy:n hakkuutähdetoimitukset ovat taloudellisesti kannattavia. Sen sijaan yhden tai useamman kustannustekijän noustessa muihin kustannuksiin nähden, toiminnan kannattavuus kärsi voimakkaasti. Tulokset vastaavat annettuihin tutkimusongelmiin hyvin ja toiminnasta löydettiin kehitettäviä kohteita, joilla kannattavuutta voitaisiin edelleen parantaa.

Tutkimuksen tulokset ovat linjassa aiheesta aiemmin tehtyjen tutkimusten kanssa ja lähes kaikille tuloksille löytyi selitys yrityksen toiminnasta. Jotta työn sisältämät yhtiön liikesalaisuudet pysyisivät salassa, käytetään tulosten analysoinnissa prosentti- ja muita osuuksia sekä piilotetaan kuvioista todellisia hintoja, taksoja tai summia kuvaavia tietoja.

Kuten luvussa 6.2 kerrotaan, tutkimusaineistossa oli lukuisia sopimuksia, joiden tiedot olivat vajavaisia tai puuttuivat kokonaan. Puuttuvat tiedot saattavat aiheuttaa sen, että yksittäisten sopimusten väliset erot saattavat jäädä huomioimatta. Virheiden mahdollisuuksista on kerrottu lisää kappaleessa 8.3.

Esitän seuraavaksi tutkimuksen tulokset. Aluksi kerron yleisistä kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä yhtiön toiminnassa, jonka jälkeen mittauksesta, joka vaikuttaa oleellisesti kannattavuuteen ja sen arviointiin. Tulosten tarkastelu tapahtuu selkeyden vuoksi erillisessä kappaleessa 8. Tuloksiin, sekä niiden tarkasteluun perustuva pohdinta tapahtuu myöhemmin kappaleessa 9.

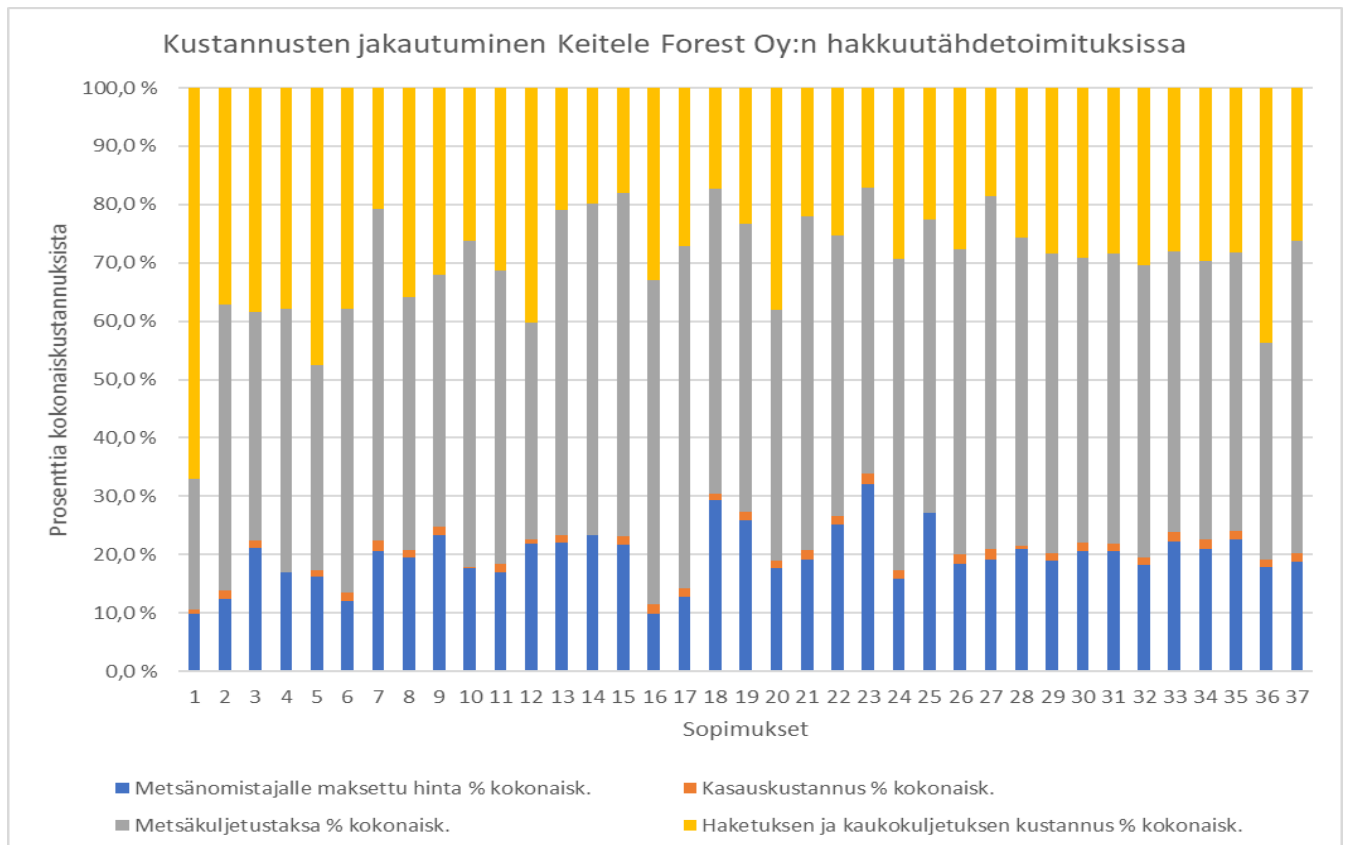
Seuraavan sivun kuvioista 5 voidaan tulkita kosteuden vaikutusta toimitetun hakkeen energiasisältöön tässä tutkimusjoukossa. Kuten luvussa 3 kerrotaan mitä kuivempaa toimitettu lopputuote eli hakkuutähdehake on, sitä enemmän siitä saadaan energiaa. Kuviossa on kaikki tutkimusjoukon sopimukset.



KUVIO 5. Kosteuden vaikutus energiatihedyn

7.1. Toimitusten kustannusrakenne

Keitele Forest Oy:n hakkuutähdetoimitusten kustannukset jakautuvat melko samassa suhteessa aiheesta aiemmin tehtyjen tutkimusten kanssa. Kuviossa 6 on kuvattu yhtiön hakkuutähdetoimitusten kustannusrakennetta vuodesta 2017 vuoteen 2019.



KUVIO 6. Hakkuutähdihakkeen kokonaiskustannusten jakautuminen työvaiheittain ja sopimuksittain

Yllä olevassa kuviossa 6 esitetään kustannusten jakautuminen kaikkien tutkimusaineistoon kuuluvien sopimusten kohdalta. Kuten kappaleessa 6.2 kerrotaan niiden sopimusten kohdalta, joilta tieto metsäkuljetustaksasta puuttui, käytettiin samalta metsäkuljetusmatkalta korjattujen hakkuutähteiden metsäkuljetustaksojen keskiarvoa. Hakkuutähteen korjuun kustannusrakennetta käsitellään aiempien tutkimusten perusteella yleisesti luvussa 5.

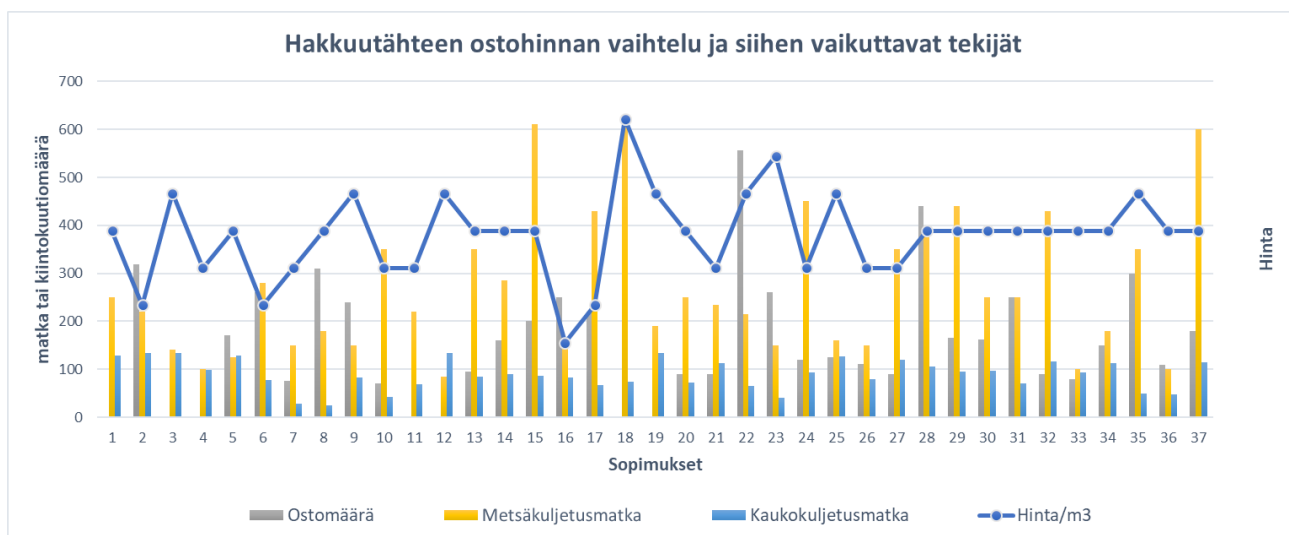
Metsäkuljetuskustannukset olivat tutkimusjoukossa huomattavan korkeita ja suuri prosenttiosuus viittaa suoraan melko pitkiin metsäkuljetusmatkoihin. Kuten luvussa 3 on kerrottu, hakkuutähdettä kannattaa korjata vain alle 300 metrin kuljetusmatkoilta (Lepistö 2010). Lisäksi pienet hakkuutähdemäärät voivat kohottaa taksoja, kuten kappaleessa 5.2 kerrotaan. Alle 100 m³ kokoisilla työmailla metsäkuljetuskustannukset kasvavat merkittävästi (Rieppo 2002). Tutkimusjoukon metsäkuljetusmatkan keskiarvo oli 268 metriä.

Huomioitavaa on myös se, että kuten kappaleissa 3 ja 5.2 kerrotaan hakkuutähteen korjuun ollessa kannattavaa tulisi korjattavaksi määräksi kertyä vähintään 80 m³ ja mielellään yli 100 m³. Tutkimusjoukossa oli 10 sopimusta, joissa metsäkuljetettu määrä oli alle 100 m³. Näistä sopimuksista kahdeksalla metsäkuljetettu määrä oli alle 80 m³. Keskimääräinen kuljetusmäärä tutkimuksessa oli 214 m³. Keskimääräistä kuljetusmäärää nostivat erityisesti ne viisi sopimusta, joissa kuljetettu määrä ylitti 400 m³. Määrät nähdään myöhemmin esitetystä kuviosta 9.

Haketuksen ja kaukokuljetuksen osuus tutkimusjoukon kokonaiskustannuksista on kuvion 6 mukaan pääsääntöisesti 20-40 % välillä. Näihin kustannuksiin vaikuttaa eniten matka loppukäyttöpaikalle. Kappaleessa 5.3 kerrotaan haketuksen ja kaukokuljetuksen kustannusten syntymisestä ja jakautumisesta työlajien välillä tarkemmin.

Kasoille hakkuusta maksettava taksalisä on hyvin pieni osa hakkuutähdetoimitusten kokonaiskustannuksista. Sen osuus kokonaiskustannuksista vaihtelee tutkimusjoukossa 0-1,8 % välillä. Joiltain työmailta kasalle hakkuusta ei ollut maksettu ollenkaan taksalisää hakkuukoneyrittäjälle. Tämän vuoksi joukossa on myös nolla-arvoja.

Metsänomistajalle hakkuutähteestä maksettu yksikköhinta kattaa kuvion 6 mukaan keskimäärin noin 20 % osuuden kokonaiskustannuksista. Maksetussa hinnassa on kuitenkin suuria vaihteluita olettaen, että muiden kustannusten osuudet pysyvät sopimuksien välillä samassa suuruusluokassa. Seuraavassa kuviossa 7 on esitetty ostohinta, metsäkuljetusmatka, matka loppukäyttöpaikalle ja hakkuutähteen ostomäärä. Kuviossa on mukana kaikki sopimukset, vaikka osalla sopimuksista ostomäärä on 0 m³.



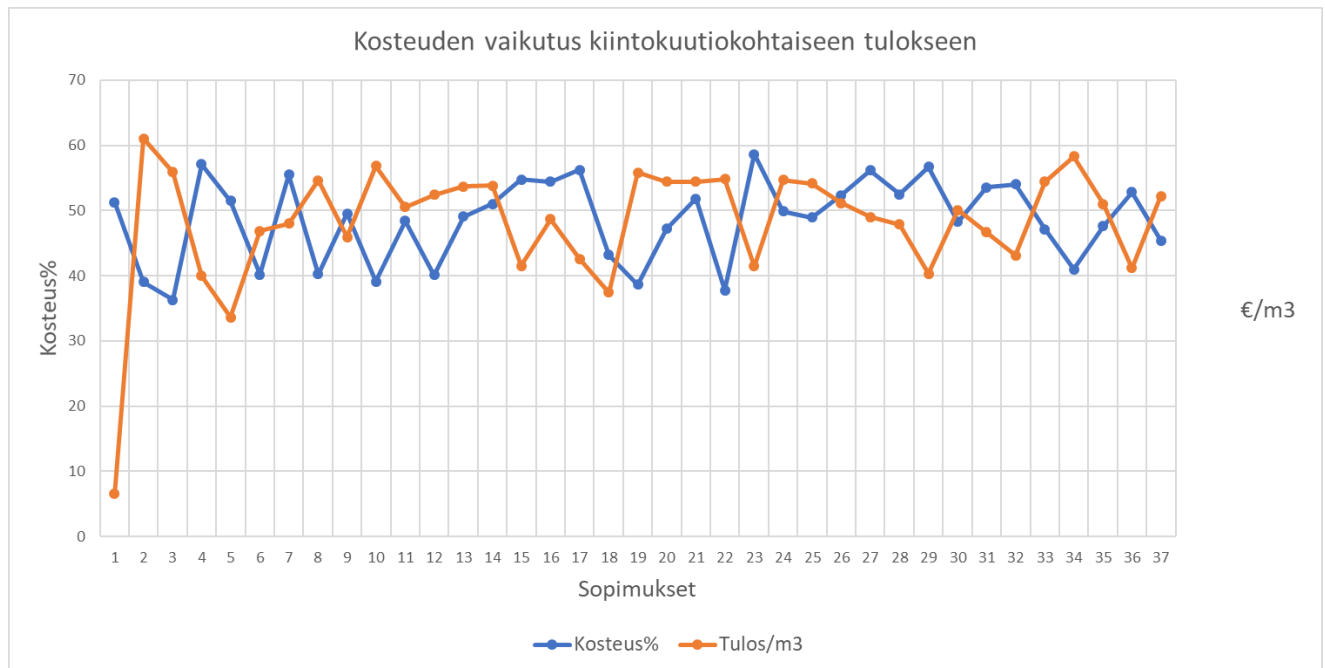
KUVIO 7. Muuttujien vaikutus hakkuutähteen ostohintaan

Kuviossa näkyy hankittujen hakkuutähteen hinta, metsäkuljetusmatka, matka loppukäyttöpaikalle ja ostettu kiintokuutiomäärä. Hinta on esitetty viivalla ja sen arvot on piilotettu toiselta pystyakselilta, jotta metsänomistajalle maksettu hinta ei paljastu työssä. Hinnan vaihteluun ei näytä olevan selkää syytä, sillä lyhyilläkin kauko- ja metsäkuljetusmatkoilla sekä suurella hakkuutähteen määrällä saattaa olla korkeampi hinta kuin pitkiltä kuljetusmatkoilta korjatun pienen määrän. Yhtiössä hakkuutähteen hinnan määrittelyyn ei ilmeisesti ole kovin yhtenäistä linjaa. Tulosten tarkastelussa ja pohdinnassa kerron hinnan vaikutusta toiminnan kannattavuuteen enemmän.

7.2. Kannattavuus tällä hetkellä

Keitele Forest Oy:n toimittamien hakkuutähdehake-erien kannattavuus vuosina 2017-2019 oli vaihteleva ja toiminta oli kannattavimmillaan silloin, kun aiemmin

mainittuja ohjeistuksia ja suosituksia oli noudatettu korjuussa. Sen sijaan kohteilla, joissa ei ollut toimittu suositusten mukaan kannattavuus oli heikkoa tai jopa kannattamatonta. Kuviossa 8 on esitetty lopputuotteen kosteuden vaikutusta saavutettavaan tulokseen. Kappaleessa 3.2 kerrotaan kosteuden olevan tärkein lopputuotteen laatuun vaikuttava tekijä. Näin ollen kuivempi lopputuote tuottaa yritykselle paremman katteen.



Kuvio 8. Kosteuden vaikutus kiintokuutiometrikohtaiseen tulokseen

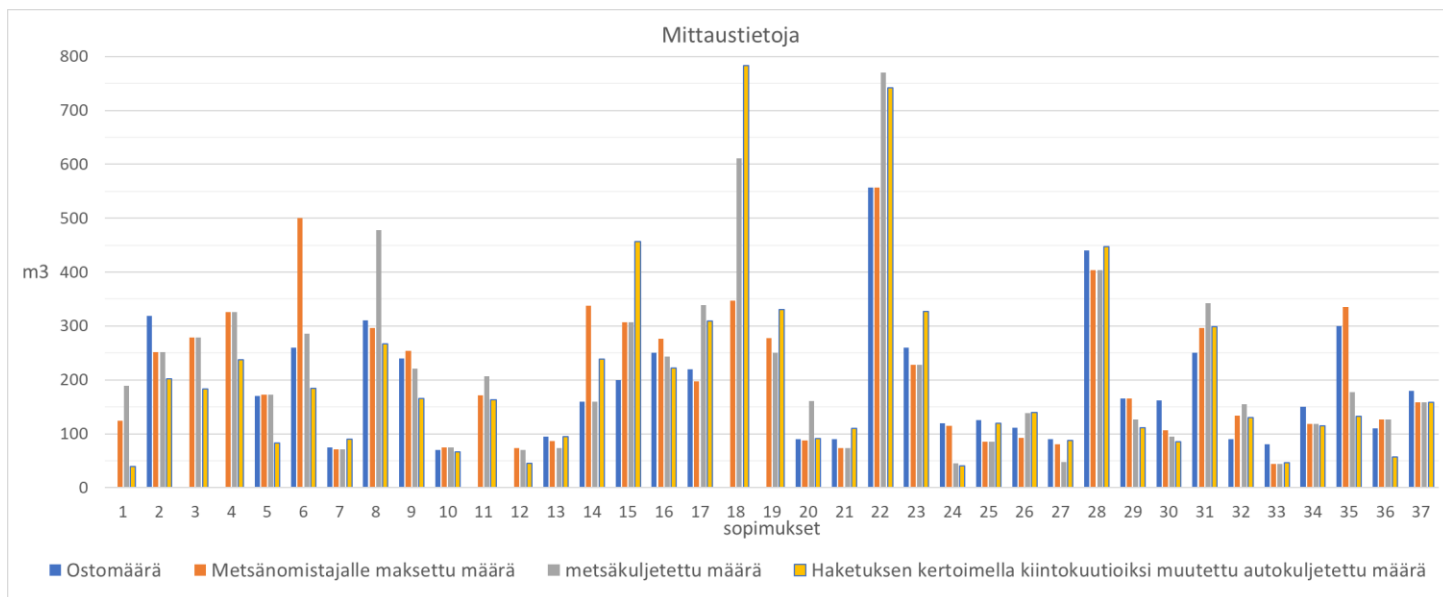
Yhtiön liikesalaisuuksien salassa pitämiseksi kuvioista on piilotettu toisen pystyakselin arvot, eli kiintokuutiokohtaisen tuloksen arvo. Kuvioista 8 voidaan päätellä, että kuivan ja laatuvaatimukset täyttävän hakkuutähdehakkeen toimittaminen Kuopion Energia Oy:n tuotantolaitokselle on kannattavaa liiketoimintaa. Sen sijaan sopimukset, joissa jokin kustannustekijä on noussut merkittävästi muihin sopimuksiin verrattuna tai kosteus on ollut poikkeuksellisen korkea, kate on ollut heikkoa ja toiminta ei ole ollut kovin kannattavaa.

Hakkuutähteen korjuun ollessa osa liiketoimintaa, siihen on syytä suhtautua sellaisena. Liiketoiminnan tulisi aina olla kannattavaa ja jos ostettava leimikko ei vaikuta hakkuutähteen korjuuseen soveltuvalta tai kohteen korjuuta ei pystytä suorittamaan suositusten mukaisesti, on hakkuutähdeet syytä jättää metsään.

7.3. Määräerot ja mittaustarkkuus

Tämä kappale käsittelee hakkuutähteiden määräeroja toiminnan eri vaiheissa. Hakkuutähteen määrää arvioidaan ja mitataan korjuun eri vaiheissa monella tavalla. Kuten kappaleessa 3.6 kerrotaan, ostomäärä on arviomäärä siitä, paljonko hakkuutähdettä leimikolta voisi kertyä. Metsänomistajalle maksettu määrä on kertyneestä ainespuusta tietyn kertoimen avulla laskettu määrä. Metsäkuljetettu määrä on kuviossa 2 esitettyyn taulukosta valitun tuoretiheysluvun ja metsäkuljetetun kokonaismassan osamäärä. Autokuljetettu määrä on haketuksen jälkeinen kuljetettu hakeirtokuutiomäärä.

Alla olevasta kuvioista 9 nähdään hakkuutähteen toimitusketjun määräerot ostomäärän, metsänomistajalle maksetun määrän, metsäkuljetetun määrän ja haketuksen jälkeisen kaukokuljetusmäärän osalta. Kuvio sisältää kaikki tutkimusjoukon sopimukset, vaikka osalla sopimuksista hakkuutähdettä ei ollut ostettu ainespuukaupan yhteydessä, tai sitä oli ostettu vain 1 m³ puutavaralajin yksikköhinnan määrittelymiseksi.



KUVIO 9. Mittaustietojen vertailua

Kuviossa 9 on huomioitava, että toimitetut hakeirtokuutiot on muutettu kuvion selkeyttämisen vuoksi kiintokuutioiksi haketuksen kertoimen avulla. Haketuksen kerroin on metsäkuljetettujen kiintokuutioiden ja toimitettujen hakeirtokuutioiden osamäärä. Optimitilanteessa metsäkuljetettu kiintokuutiomäärä ja kiintokuutioiksi muutettu autokuljetettu määrä olisi identtinen. Autokuljetettujen kiintokuutioiden

suurehkot vaihtelut sopimusten välillä selittyvät yksinkertaisesti sillä, että metsäkuljetusmäärän mittauksessa on tullut virhe tai eri sopimusten kuormat ovat sekoittuneet hakkuriyrittäjällä keskenään.

7.3.1 Ostomäärä ja metsänomistajalle maksettu määrä

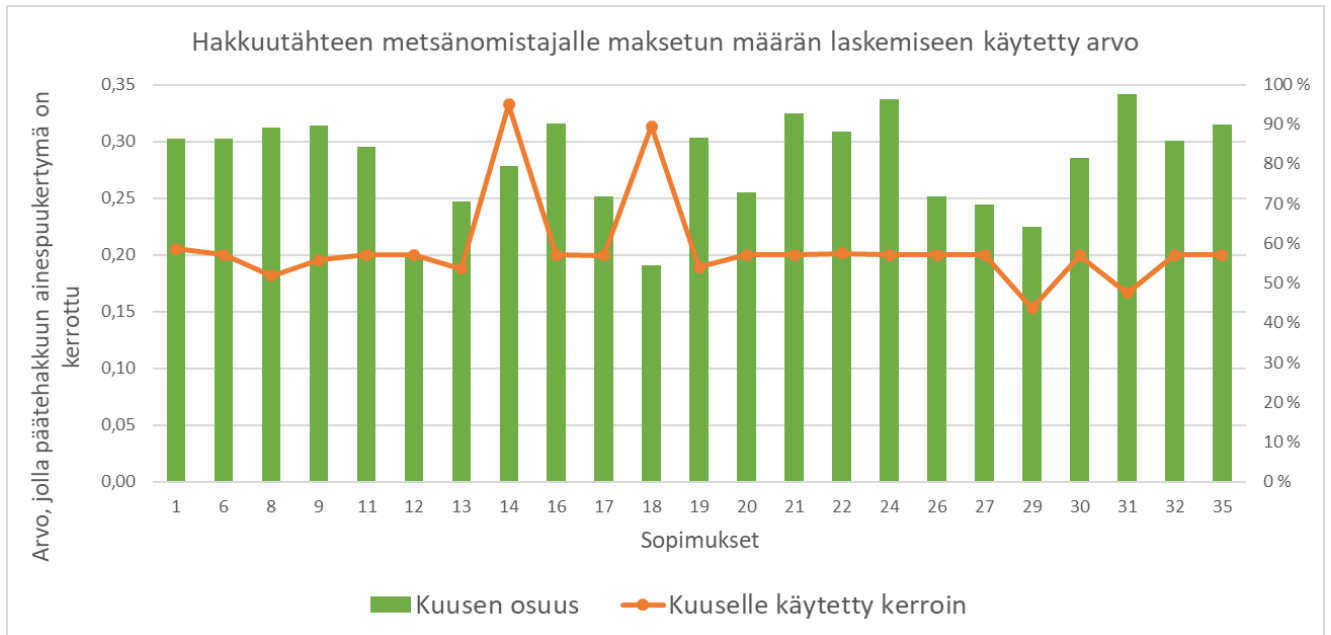
Tehdessä ostopäätöstä hakkuutähteestä ainespuukaupan yhteydessä, on tärkeää saada mahdollisimman tarkasti tietoon hakkuutähteen potentiaalinen korjuumäärä. Edellisen sivun kuvioista 9 näkee puustoarvioon perustuvan ostomäärän ja metsänomistajalle maksetun määrän eron. Kuvioista voi päätellä sen, että puustoarvioihin perustuvassa ostettavan määrän määrittelyssä ollaan pääsääntöisesti oikeassa suuruusluokassa, eikä suuria heittoja varsinkaan alaspäin ole.

Ostettava määrä määritellään kertomalla arvioitu ainespuukertymä tietyllä arvolla. Hakkuutähteen ostomäärän selvittämiseksi käytetyn kertoimen tarkka tutkiminen ei niukan aineiston vuoksi ole kovin tarkkaa. Ostoskerroin näyttää kuitenkin yhtiön nykyisessä toiminnassa olevat riittävän tarkkaa korjuukohteiden hakkuutähteen korjuuseen soveltuvuuden arviointiin. Ostoskerroimella ei ole suoraa vaikutusta kannattavuuteen, sillä ostomäärää ei käytetä maksuperusteena.

Kuviossa 9 on esitetty kaikki tutkimusjoukon sopimukset. Sopimuksista 14:sta hakkuutähteen maksu metsänomistajalle oli tehty vasta hakkuutähteen metsäkuljetuksen jälkeen, kuten kappaleessa 3.6 kerrotaan.

Sopimuksia, joilta hakkuutähteen maksu metsänomistajalle suoritettiin kertomalla päätehakkuulta kertynyt ainespuumäärä tietyllä arvolla, oli siis yhteensä 23 kappaletta. Seuraavassa kuviossa 10 esitetään viivoilla hakkuutähteen metsänomistajalle maksetun määrän arvioinnissa käytettyä kerrointa. Näiltä kohteilta hakkuutähteen määrän, jonka mukaan on maksettu metsänomistajille, määrittely on tapahtunut pelkän kertyneen ainespuumäärän perusteella. Kappaleessa 3.6 kerrotaan, että metsänomistajalle maksetun määrän perustuessa ainespuukertymään, yhtiössä käytettävän kertoimen tulisi olla 0.20 kuusen ainespuulle. Kertynyt kuusiainespuumäärä siis tulisi kertoa arvolla 0.20, jotta saadaan selville

paljonko palstakasoilla on hakkuutähdettä. Kuvioon on valittu käytetyn kertoimen lisäksi kuusen osuus päätehakkuiden puulajeista sopimuksittain.



KUVIO 10. Hakkuutähteen metsänomistajalle maksetun määrän laskemisen arvot sekä kuusen osuus hakkuualan puulajeista

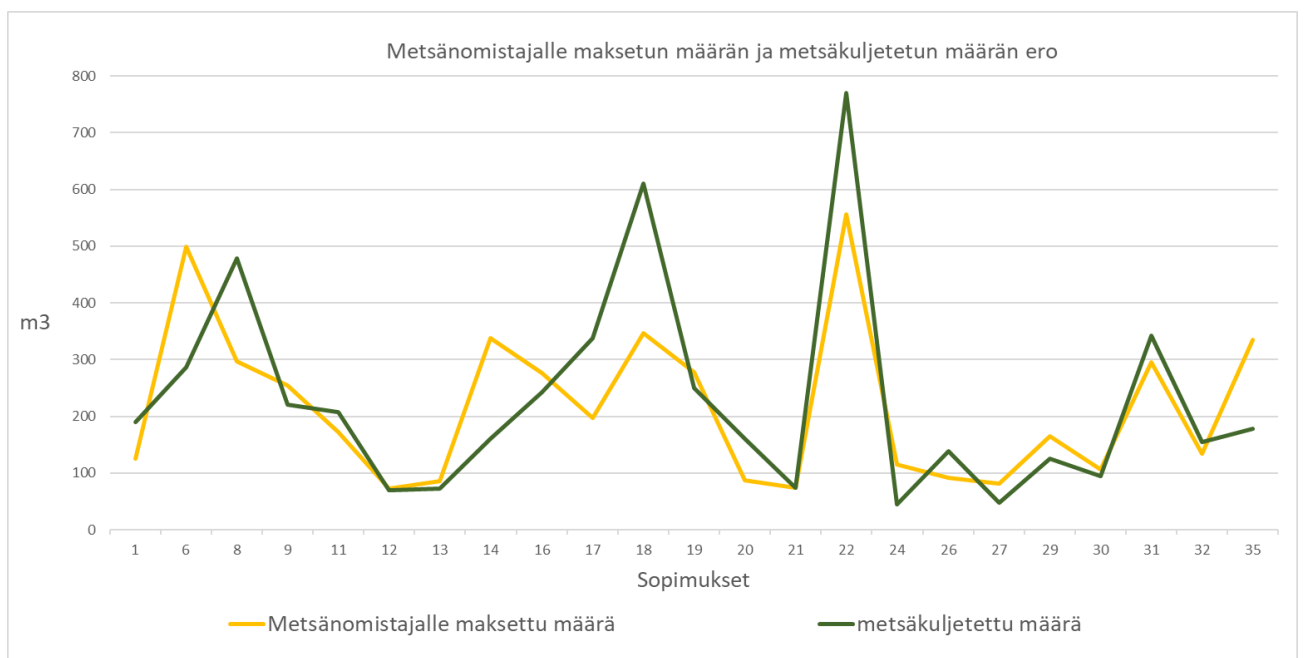
Kuviosta 10 nähdään selkeästi, kuinka metsänomistajalle maksettavan määrän laskemisessa on käytetty arvoja välillä 0.15-0.33. Suurimmalla osalla tutkimusjoukon sopimuksista kuusen ainespuun kertoimena oli käytetty arvoa 0.20. Tällä tavalla menettely jättää kuitenkin huomioimatta muiden puulajien sisältämän hakkuutähteen. Kertoimia on selkeästi muokattu hankintaesimiesten toimesta. Kertoimen muokkaamisen syitä ja seurauksia on pohdittu kappaleessa 8.1.

7.3.2 Metsänomistajalle maksetun määrän ja metsäkuljetetun määrän ero

Hakkuutähteen todellinen määrä tienvarsivarastossa selviää vasta metsäkuljetuksen jälkeen, kun hakkuutähde on metsäkuljetuksen yhteydessä punnittu kuor-mainvaa'alla. Tämän jälkeen vaa'an lukeman ja kappaleessa 3.6 esitetyn taulukon (kuvio 2) mukaisen tuoretiheysarvon mukaan laskemalla saadaan selville hakkuutähteen todellinen tienvarsivarastossa oleva määrä. Taulukosta valitaan tuoretiheysarvo, jolla hakkuutähteen kuljetettu kokonaisuudessa jaetaan. Käytettävään arvoon vaikuttaa palstallakuivatusaika, hakkuun toteutusajankohta sekä

metsäkuljetusajankohta. Taulukoista ja massaan perustuvasta mittaustavasta on kerrottu enemmän luvussa 3.6. Keitele Forest Oy:n toiminnassa metsänomistaja on yleensä saanut maksun hakkuutähteestä jo ennen kuormainvaakamittausta.

Yhtiön toiminnan kehittämisen kannalta on tarpeellista tarkastella maksetun määrän ja todellisen metsäkuljetetun määrän eroa. Samalla siis tarkastellaan sitä, onko maksuperusteena käytetty määrä oikea. Alla olevassa kuviossa 11 on esitetty metsänomistajalle maksetun määrän ja todellisen metsäkuljetetun määrän ero. Kuvioon valittiin vain ne sopimukset, joista hakkuutähteen maksu metsänomistajalle oli tehty ainespuumäärän ja tuoretiheysluvun tulon perusteella.



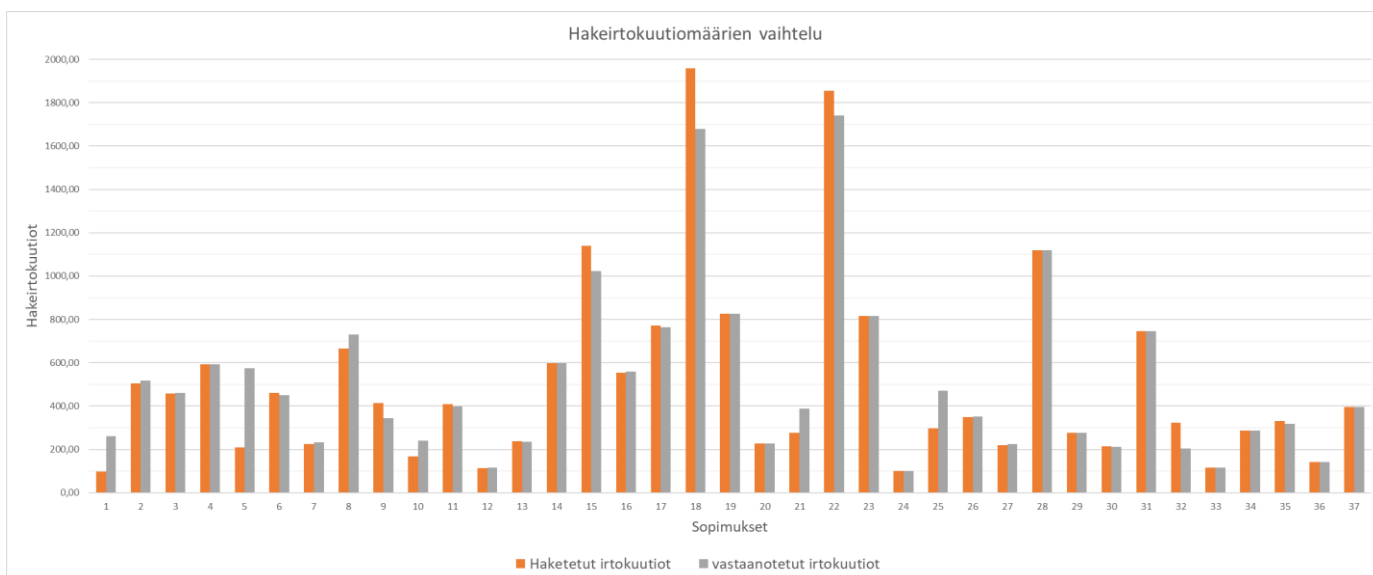
KUVIO 11. Metsänomistajalle maksetun määrän ja metsäkuljetetun määrän ero

Kuvioon valikoitui käytetyllä rajauksella 23 sopimusta, joka on yhteensä 73 % kaikista sopimuksista. Kuvioista on helposti tulkittavissa, että hakkuutähteen maksuperusteena käytetty ainespuun kertoimen avulla laskettu hakkuutähdemäärä on pääsääntöisesti hyvin kohdallaan metsäkuljetettuun määrään verrattuna. On selvää, että tuloksissa on pieniä heittoja. Nykyisillä hakkuutähteen mittaussmenetelmillä ei päästä juuri koskaan täysin identtiseen tulokseen.

Kuviosta 11 erottuu kolme sopimusta, joissa metsänomistajalle maksettu määrä on huomattavasti runsaampi kuin hakkuutähteen metsäkuljetettu määrä. Toisaalta muutamalla kohteella maksettu määrä on reilusti metsäkuljetettua määrää pienempi. Näiden vaihteluiden mahdollisia syitä pohditaan kappaleessa 8.1.

7.3.3 Toimitetun hakkeen määräerot

Toimitetuissa hakemäärissä oli eri tietolähteiden mukaan eroja. Seuraavassa kuviossa 12 on esitetty haketusyrittäjän ilmoittamien hakettujen hakeirtokuutioiden ja loppukäyttöpaikalla Haapaniemessä vastaanotettujen hakeirtokuutioiden ero. Kuviossa on kaikki tutkimusjoukon sopimukset.

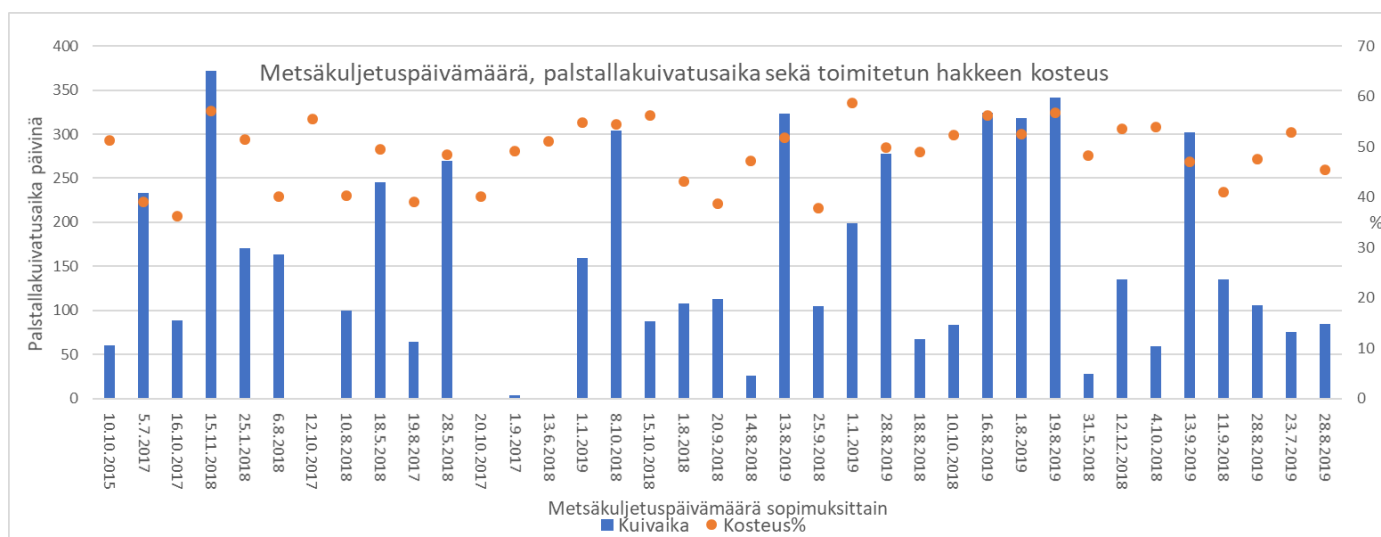


KUVIO 12. Haketoimitusten määrien vaihtelu tuotantolaitoksen vastaanottotietojen ja autokuljetettujen hakeirtokuutioiden välillä

Kuviosta 12 nähdään selkeästi, että suurimmalla osalla tutkimusjoukon sopimuksista määrät täsmäävät. Tutkimusjoukossa esiintyvät sopimusten väliset erot saattavat johtua inhimillisestä erehdyksestä, mittausvirheestä tai huolimattomuudesta. Yhteensä toimitettu määrä erosi tässä joukossa 241 hakeirtokuutiota. Se on 1,3 % kokonaismäärästä. Suurin osa tästä määrävirheestä voidaan kohdistaa ensimmäiselle sopimukselle, sillä todennäköisesti varaston haketus on mennyt sekaisin jonkin toisen sopimuksen kanssa ja haketus on aloitettu jo vuonna 2016. Tällöin Haapaniemen voimalaitoksen vastaanottotiedot eivät kuuluneet tutkimusaineistoon. Haketusyrittäjä oli kuitenkin kirjannut kuormat järjestelmään vasta vuoden 2017 ensimmäisinä päivinä. Tutkimusjoukon ensimmäisen sopimuksen jäädessä tarkastelun ulkopuolelle, toimitetun määrän ero pienenee 161 irtokuutiota. Se on enää 0,8 % kokonaismäärästä ja on selitettävissä inhimillisellä virheellä merkkauksessa.

7.4. Metsäkuljetusajankohta, palstallakuivatusaika ja tienvarsivarastointiaika

Seuraavassa kuviossa 13 on esitetty tutkimusjoukon sopimusten metsäkuljetuspäivämäärä, palstalla kuivatusajan pituus ja toimitetun hakkeen lopullinen kosteusprosentti. Kuviossa on kaikki tutkimusjoukon sopimukset.



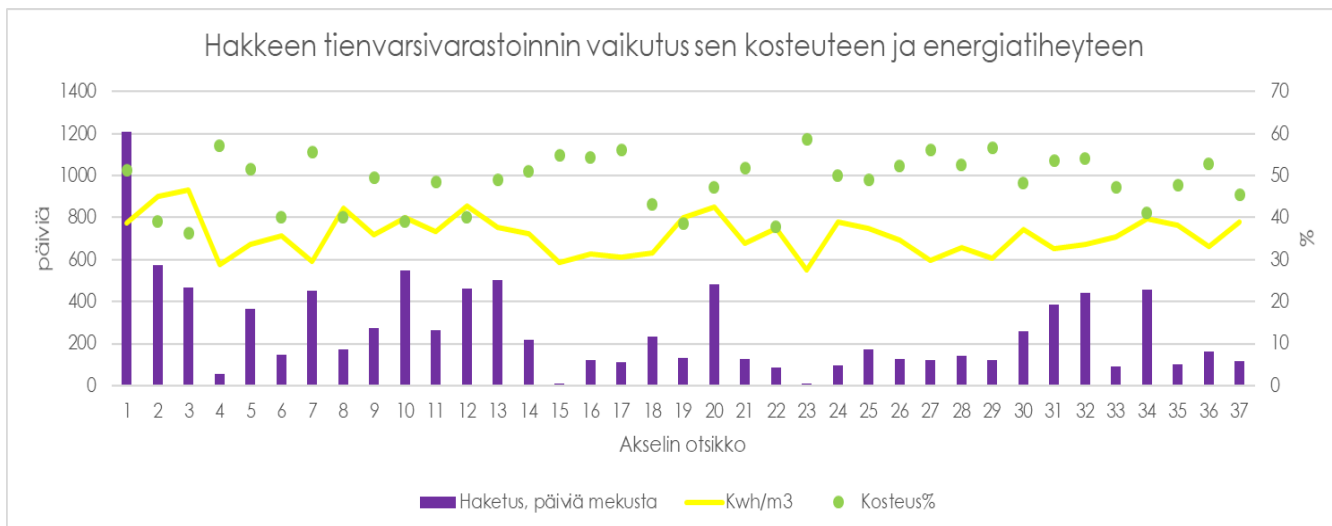
KUVIO 13. Palstallakuivatusaika, metsäkuljetuspäivämäärä sekä toimitetun hakkeen kosteus

Kuviosta 13 nähdään selkeästi metsäkuljetuksen oikea-aikaisuuden vaikutukset toimitetun hakkeen kosteuteen. Kuten kappaleessa 3.2 kerrotaan, kuivumista tapahtuu Suomen oloissa lähinnä alkukesästä. Kohteilla, joilla kuivatus on tapahtunut alku- tai keskikesästä, hakkuutähde on saatu verrattain kuivaksi. Lyhyilläkin palstakuivatusajoilla on päästy mataliin, alle 40 % kosteuksiin vuodenajan ollessa oikea. Puolestaan ylipitkillä, lähes vuoden palstalla olleilla kohteilla kosteudet ovat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta yli 50 %. Kaikkien talvella metsäkuljetettujen hakkuutähteiden kosteus oli yli 50 %. Talvella tai keväällä hakattujen ja loppukesällä metsäkuljetettujen hakkuutähteiden kosteudet olivat vaihtelevia, mutta pääsääntöisesti 45-50 % välillä.

Tutkimusjoukossa on lisäksi sopimuksia, joista hakkuutähde on korjattu tuoreena, eli hakkuutähteen metsäkuljetus on toteutettu ainespuun metsäkuljetuksen yhteydessä. Näiden hakkuutähde-erien kosteudet vaihtelivat 40-55 % välillä. Hakkuutähteen kosteuteen vaikutti näillä kohteilla vain hakkuutähteen tuorekos-

teus ja tienvarsivarastossa mahdollisesti tapahtuva kuivuminen. Polttoaineen laatuvaatimukset eivät näillä kohteilla toteutuneet, sillä kuten kappaleessa 2.3 on kerrottu laatuohjeen ja metsänhoidon suositusten mukaan hakkuutähde tulisi kuivattaa palstalla siten, että suurin osa alkuainepitoisesta neulasmassasta jää palstalle. (Alakangas & Impola 2014; Koistinen ym. 2016).

Seuraavassa kuviossa 14 esitetään tienvarsivarastointiaika ja sen vaikutukset toimitetun hakkeen kosteuteen ja energiasisältöön. Kuten luvussa 3.2 on kerrottu tienvarsivarastointiaika aiheuttaa lähes aina kuiva-ainetappioita. Tappiot ovat pienempiä, mitä kuivempaa hakkuutähde varastossa on. (Routa ym. 2015). Kuviossa 14 on kaikki tutkimusjoukon sopimukset. Kuvion selkeyttämisen vuoksi energiatihyettä on kuvattu kilowattitunneilla.



KUVIO 14. Tienvarsivarastointiaika ja sen vaikutus hakkeen kosteuteen ja energiatihyteen

Tässä tutkimuksessa varastointiajoilla ja energiatihyeksillä ei näytä olevan suoranaista yhteyttä. Kosteus näyttäisi selittävän paljon paremmin energiatihyden vaihtelun. Nurmen (1999) mukaan 10 % ero lopputuotteen kosteudessa tarkoittaa 2,25 megajoulen eroa jokaista hakkuutähdehakkeen märkäkiloa kohti.

Yhdellä tutkimusaineiston sopimuksella tienvarsivarastointiaika oli poikkeuksellisen pitkä ja kuiva-ainetappio saattaa selittää pienempää energiatihyettä. Energiatihyys on kuitenkin samaa luokkaa muiden saman kosteusprosentin omaavien

varastojen kanssa, joten voidaan todeta kosteuden olevan kuiva-ainetappiota merkittävämpi tekijä tälläkin varastolla.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Hakkuutähteen kannattavuutta on tutkittu paljon ja tämän tutkimuksen tulokset ovat linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa. Kuten monesti aiemminkin on todettu, hakkuutähdetoimitusten kannattavuuteen ja sen arviointiin vaikuttavat lopputuotteen kosteus, mittaustarkkuus, hakkuutähteestä metsänomistajalle maksettu hinta sekä leimikko-olosuhteet.

8.1. Mittauksen yhteenveto

Hakkuutähdetoimitusten kannattavuuden arvioinnissa mittaustarkkuus on tärkeää. Mittauksen ollessa tarkkaa, pystytään toiminta optimoimaan mahdollisimman kustannustehokkaaksi. Lisäksi hakkuutähteen korjuun kannattavuutta on helpompi arvioida, jos kertyvän hakkuutähteen määrä on tarkasti tiedossa. Hakkuutähteen ainespuun kertymän perusteella lasketun ennakkomittauksen on oltava paikkaansa pitävä, sillä sen perusteella Keitele Forest Oy yleensä maksaa hakkuutähteestä metsänomistajalle. Kappaleissa 7.3.1 ja 3.6 on kerrottu tästä mittaustavasta tarkemmin.

Yleisesti voidaan todeta, että hakkuutähteen mittaaminen on ainespuun mittaukseen verrattuna haastavaa. Mittauksen onnistumiseen vaikuttaa usein monet muutkin asiat, kuin pelkkä hakkuutähteen määrä. Vaihtelevat keliolosuhteet, huonosti kantavat maat ja arviointivirheet tekevät tarkan mittaustuloksen saamisesta haasteellista.

Kappaleessa 7.3.1 kerrotaan hakkuutähteen määrän arvioinnista ainespuukertymän mukaan. Kuten kappaleessa 3.6 kerrotaan, yhtiössä on ohjeistettu laskemaan hakkuutähteen määrä kertomalla kertynyt kuusiainespuukiintokuutiomäärä arvolla 0.2. Tuloksissa kuitenkin selvisi, että käytettyä kerrointa on todellisuudessa usein muokattu. Kuviossa 10 kuvataan Keitele Forest Oy:n hankintaesimiesten käyttämiä arvoja niillä kohteilla, joista hakkuutähteestä maksaminen metsänomistajalle on tapahtunut ennen metsäkuljetusta. Kuten tuloksissa kerrotaan, varmin tapa selvittää hakkuutähteen metsänomistajalle maksettu määrä

olisi suorittaa maksu vasta metsäkuljetuksen jälkeen. On kuitenkin ymmärrettävää, että osa metsänomistajista haluaa maksun hakkuutähteestä heti, kun se on mahdollista. Palstallakuivatusaika on kappaleen 3.2 mukaan pisimmillään lähes vuoden mittainen ja metsäkuljetuksen odottaminen venyttäisi metsänomistajan maksun saamista pahimmillaan yli vuoden. Kuvioista 10 ja kappaleesta 7.3.1 voidaan todeta, ettei hankintaesimiehillä näytä olevan selkeää käsitystä siitä, miten hakkuutähteen määrää kuuluisi arvioida. Määrän selvittämisessä on käytetty kertoimia välillä 0.10-0.33.

Käytetyn arvon pienentäminen saattaa olla perusteltua esimerkiksi silloin, kun hakkuutähdettä joudutaan käyttämään maanpinnan kantavuuden parantamiseen ainespuun metsäkuljetuksessa. Tai sen ollessa todennäköistä, myöhemmin hakkuutähteen metsäkuljetuksessa. Samasta kuvioista (10) voidaan tulkita hankintaesimiesten soveltaneen kerrointa myös ylöspäin. Voisi olettaa, että toimimalla tällä tavalla on yritetty ottaa paremmin huomioon leimikon muista puulajeista kertyneet hakkuutähteet. Tätä oletusta tukee myös se, että kuvion 10 mukaan leimikoilta, joissa kuusen puulajiosuus on pienempi, on selkeästi käytetty suurempaa kerrointa. Tästäkin huolimatta kertoimen nostaminen on väärä tapa selvittää metsänomistajalle maksettavaa määrää. Parempi keino hakkuutähteen määrän arvioimiseen olisi esimerkiksi oman kertoimen käyttäminen männystä ja lehtipuusta kertyneelle ainespuulle.

Latvusmassan määrän on todettu olevan koivulla noin 20 % ja männyllä 22 % ainespuun määrästä (Lindblad ym. 2013, 11). Palstalla kuivumisen aikana lehtien sekä neulasten varisemisen takia määrä pienenee 4-8 prosenttiyksikköä. (Nurmi 1999). Todellinen laskennassa käytettävä arvo muiden puulajien kohdalla voisi olla esimerkiksi 0.16. Käytettäessä eri kerrointa muiden puulajien osalta, kuuselle käytettävää 0.20 kerrointa ei tarvitsisi soveltaa missään tilanteessa. Näin toimiessa myös määrä todennäköisesti tarkentuisi ainakin niillä kohteilla, joilla kuusen osuus puulajeista on alle 90 %.

Kuten kappaleesta 7.3.1 sekä 7.3.2 ja kuvioista 9, 10 ja 11 voidaan todeta, tutkimusjoukossa on muutamia kohteita, joissa metsäkuljetettu määrä heittelee huomattavasti metsänomistajalle maksettuun määrään verrattuna. Tähän on monia mahdollisia syitä, mutta keskeisempänä lienee hakkuutähteen metsäkuljetuksen

ajankohta ja korjuuolosuhteet. Metsäkuljetuksen tapahtuminen aikaisin keväällä tai myöhään syksyllä ei ole optimaalista hakkuutähteen korkean kosteuden ja maanpinnan eroosioherkkyyden vuoksi (Hakkila ym. 1998). Osalla tutkimusjoukon kohteista ajourien heikko kantavuus on varmasti pienentänyt hakkuutähteen todellista kertymää. Kuten kappaleessa 3.2 kerrotaan, metsäkuljetuksen yhteydessä hakkuutähdettä saatetaan joutua levittämään ajourille maaston kantavuuden parantamiseksi.

Myöhään syksyllä tai talvella metsäkuljetettu hakkuutähte saattaa sisältää paljon lunta ja jäätä. Eli hakkuutähdemassassa saattaa olla enemmän vettä, kuin puuainesta. Massaan perustuvassa mittauksessa tämä aiheuttaa suuria määräeroja, kuten kappaleessa 3.6 on kerrottu (Lindblad & Korri 2014).

Kuvioita 11 ja 13 vertailemalla nähdään, kuinka hakkuutähteen metsäkuljetuspäivämäärien ollessa kappaleessa 3.2 kerrottujen suositusten vastaiset, myös korjatun hakkuutähteen määrä heittelee paljon. Kohteilta, joilta hakkuutähdettä ei voida metsäkuljettaa kesällä hakkuutähteen korjuuta olisi syytä välttää. Osalta tutkimusjoukon kohteista metsäkuljetus on jouduttu tekemään talvella. Nämä kohteet voivat olla sellaisia, joilta hakkuutähdettä ei olla pystytty metsäkuljetamaan kesällä esimerkiksi maan huonon kantavuuden takia. Tällaisissa tapauksissa olisi todennäköisesti ollut kannattavampaa jättää hakkuutähteet korjaamatta. Toisaalta myös huolimattomuus tai välinpitämättömyys saattavat olla syytä talvella tapahtuvalle metsäkuljetukselle.

Tuoreena korjattu hakkuutähte ei täytä kappaleissa 2.2.1 ja 3.2 määriteltyjä laatuvaatimuksia. Tästäkin huolimatta tutkimusjoukossa oli kohteita, joiden metsäkuljetus oli tapahtunut heti leimikon ainespuun metsäkuljetuksen jälkeen. Toisaalta kuvioita 11 ja 13 vertailemalla voidaan myös huomata hakkuutähteen ollessa todella kuivaa määrät heittelevät. Tämä voi kertoa siitä, että taulukosta valittuna tuoretiheysarvona, jonka mukaan määrä lasketaan ei olla ”uskallettu” käyttää oikeaa arvoa, vaan hakkuutähte on arvioitu todellista kosteammaksi.

Kuvioita 10 ja 11 vertailemalla voidaan nähdä myös metsänomistajalle maksetun määrän määrittelyssä käytetyn kertoimen soveltamisen vaikutuksia hakkuutähteen määräeroihin. Muutamalta sopimukselta on selkeästi huomattavissa

yhteys muokatun kertoimen ja suuren määräeron välillä. Tuloksista voidaan tehdä johtopäätös, että kertoimia ei tulisi muuttaa, mikäli halutaan pysyä oikeassa suuruusluokassa hakkuutähteen metsänomistajalle maksettavan määrän määrittelyssä. Varsinkin kertoimen korjaaminen ylöspäin näyttää tämän tutkimuksen perusteella aiheuttavan lähes aina suurta heittelyä määrien välillä.

Todellinen korjatun hakkuutähteen määrä selviää vasta haketusvaiheessa, joten mittauksessa esiintyvät virheet näkyvät konkreettisesti vasta haketuksen jälkeen. Tässä työssä käsiteltyjen hakeirtokuutioiden määrien kohdalla on tällä hetkellä kuitenkin paljon virheen mahdollisuuksia sillä kuten kappaleessa 6.2 kerrotaan, tiedot on pääosin syötetty käsin ja pitkillä aikaväleillä. Niinpä hakeirtokuutiomäärien vaihteluun ei tämän tutkimusaineiston perusteella kannata paneutua liikaa.

8.2. Kannattavuuden parantaminen

Hakkuutähdetoimitusten kannattavuuden parantamiseen on monia keinoja. Kuten aiemmin luvuissa 5 ja 3 on mainittu, kannattavuus koostuu pääosin toimitettavan lopputuotteen kosteudesta ja kuljetusmatkoista sekä metsäkuljetuksen että kaukokuljetuksen osalta. Keitele Forest Oy:n hakkuutähdetoimitusten tämänhetkistä kannattavuutta on arvioitu luvussa 7.3.

Metsäkuljetusmatkojen ollessa nykyisen mittaisia ja metsäkuljetuksen muodostaessa liki puolet kokonaiskustannuksista, kannattaa erityisesti metsäkuljetusmatkaan kiinnittää jatkossa huomiota. Metsäkuljetusmatkan ylittäessä 300 metriä on syytä pohtia muita hakkuutähteen ostolla saavutettavia hyötyjä. Jos kohde on lähellä loppukäyttöpaikkaa, korjattava määrä on suuri tai voidaan olla varmoja siitä, että lopputuotteen laatu on hyvää, voidaan pitempiäkin metsäkuljetusmatkoja harkita. Optimaalisin hakkuun toteutusaika kuivan hakkuutähdehakkeen tuottamiseksi on keväällä kelirikon aikaan, jolloin palstallakuivatusaika on lyhyimmillään ja metsäkuljetuksella ei ole kiire. Toisaalta kuten tämäkin tutkimus osoittaa, kuivan hakkuutähdehakkeen tuottaminen onnistuu myös optimaalisten olosuhteiden ulkopuolella.

Metsäkuljetuksen hintaan vaikuttaa myös kuljetettu määrä. Kuten kappaleessa 7.1 kerrotaan metsäkuljetetut määrät ovat kaukana tavoitelluista useilla tutkimusjoukon sopimuksilla. Kuten kappaleessa 5.2 kerrotaan hakkuutähteen metsäkuljetettavan määrän ollessa alle 100 m³ kustannukset nousevat rajusti. Tutkimuksen keskimääräinen metsäkuljetettu määrä oli 214 m³. Jatkossa alle 100 m³ ja varsinkin alle 80 m³ kohteiden korjuuta tulisi välttää, korkeiden metsäkuljetuskustannusten takia.

Hakkuutähteen korjuussa korjattavaan määrään, kaukokuljetuksen kuluihin, haketuksen ja metsäkuljetuksen kuluihin pystytään harvoin vaikuttamaan. Sen sijaan on syytä pohtia jo puukauppatarjousta tehdessä, onko hakkuutähteen korjuu leimikolta kannattavaa. Kannattavuuteen voidaankin vaikuttaa käytännössä vain hakkuutähteestä metsänomistajalle maksettavassa hinnassa, toimitetun hakkeen loppukosteudessa, ja päätöksessä, kerätäänkö hakkuutähdettä puukaupan yhteydessä vai ei.

Hakkuutähteestä maksetuissa metsänomistajahinnoissa oli tutkimusjoukossa suuria vaihteluita. Kuten kappaleessa 7.1 ja kuviossa 6 kerrotaan, hinta muodostaa kokonaiskustannuksista 10-30 % osuuden. Tämän perusteella voidaan olettaa, että hakkuutähteestä maksettavalle hinnalle ei hankintaesimiesten keskuudessa ole kovin yhtenevää ohjeistusta. Hankintaesimiehet näyttävät tarjoavat hakkuutähteelle hintaa oman aiemman kokemuksensa perusteella. Toisaalta kuviossa 7 on nähtävissä myös perusteltavia syitä korkeammalle yksikköhinnalle. Tällaisia syitä ovat esimerkiksi lyhyt matka loppukäyttöpaikalle ja suuri hakkuutähteen ostomäärä.

Mittaustarkkuus ja määräerojen pienentäminen liittyvät vahvasti toiminnan kannattavuuden arviointiin ja varsinkin määrät, joita käytetään maksuperusteena, tulisi laskea huolellisesti. Tämänhetkisessä toiminnassa metsänomistajalle maksetun määrän laskemisessa käytettyjä kertoimia on syytä tai toisesta muokattu. Kertoimen käyttämiseen tulisi kiinnittää jatkossa huomattavasti enemmän huomiota, jotta määräerot saataisiin pysymään pieninä.

8.3. Tutkimuksen mahdolliset virheet

Tutkimus on melko virhealtis, sillä lähes jokainen tieto syötettiin aineistonkoostamisvaiheessa taulukkoon käsin. Inhimillisen näppäilyvirheen mahdollisuus on aina olemassa. Tosin aineistosta pystyi löytämään ja poistamaan helposti selkeimmät ja suurimmat näppäilyvirheet. Toinen merkittävä tutkimustuloksiin vaikuttava asia oli tarpeellisten tietojen puuttuminen sopimuksilta. Yli kolmasosasta tutkimusjoukon sopimuksista puuttui tietoja, joten niiden korvaaminen keskiarvoilla ja muualta koostuneista tiedoista saattaa vaikuttaa tämän tutkimuksen tuloksiin.

Virheellisyyden arvioinnissa on myös syytä ottaa huomioon pääosin talvella tapahtuvan haketuksen tarpeet tien auraukselle. Hakkuutähteen haketus tapahtuu pääosin erillään muista toimenpiteistä, joten runsaslumisena talvena tienvarsivarrastoille pääseminen edellyttää tien auraamista. Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon mahdollisia aurauksen kustannuksia, sillä irrallisten aurauksien kohdistaminen sopimuksittain olisi tapahtunut vain hankintaesimiesten muistin varassa oleviin tietoihin. Näin ollen mahdolliset tienhoidon kustannukset jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Lisäksi tutkimuksessa on inhimillisen virheen mahdollisuus myös tutkimusaineiston koostajalla, sillä tiedot kohdistettiin manuaalisesti jokaisen kuorman nettopainon mukaan oikealle vastaanotetulle kuormalle. Sekä hakkuriyrittäjä, että tutkimusaineiston koostaja voi tehdä virheen jokaisessa tietojen syöttämisen vaiheessa. Hakkuriyrittäjä kohdistaa kuljetetun hake-erän oikealle sopimukselle. Kuviossa 12 voidaan päätellä muutamien sopimusten sekoittumisen keskenään siten, että toisella sopimuksella määrä on saman verran pienempi, kuin se on toisella suurempi.

Ostomäärän arvioimisessa käytettyä kerrointa ei käsitelty tässä tutkimuksessa kovin syvällisesti, sillä tutkimusjoukon sopimuksista vain 19 kappaletta eli 51 % tutkimusjoukosta sisälsi siihen tarvittavat tiedot. Lisäksi hakkuuutähteen ostomäärä ei ole maksuperusteena käytetty määrä. Sitä käytetään yhtiössä vain kor-

juukohteen soveltuvuuden arviointiin, sekä metsänomistajalle tarjottavana hakkuutahteen määräärviona. Lisäksi viitekehyksessä mainittuja yleiskuluja ei otettu tässä tutkimuksessa huomioon.

9 POHDINTA

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että Keitele Forest Oy pystyy kannattavasti toimittamaan Kuopion Energia Oy:n Haapaniemen voimalaitokselle hakkuutähdehaketta. Tulosten perusteella hakkuutähteitä pystytään korjaamaan kustannustehokkaasti ja näin ollen tuottamaan yhtiölle voittoa. Kannattavassa yritystoiminnassa kaikelle toiminnalle täytyy saada kate, mutta jo pienellä katteella saatetaan lisäksi saavuttaa niin sanottuja näkymättömiä hyötyjä. Todellisuudessa nämä hyödyt voivat olla arvokkaampia, kuin itse hakkuutähdehankintien kate. Joskus saattaa olla hyvin perusteltua ostaa hakkuutähdettä hiukan pitkällä metsäkuljetusmatkalla tai kaukaa lämpölaitokselta, jos samalla varmistetaan esimerkiksi ison päätehakkuleimikon puukauppasopimuksen syntyminen ja tällä tavoin saadaan pääliiketoimintaan tarvittava puutavara hankittua.

Hakkuutähteen korjuupotentiaalia olisi Keitele Forest Oy:n hankinta-alueella todennäköisesti enemmänkin, enkä näe mitään syytä sille, miksi hakkuutähteen korjuuta ei olisi kannattavaa lisätä soveltuvilta kohteilta. Hakkuutähteen korjuusta voidaan tehdä yritykselle kannattavaa liiketoimintaa, kunhan toiminnan laadusta pidetään kiinni. Hankintaesimiesten innostus hakkuutähteen korjuulle varmasti vaihtelee ja hakkuutähteen hankinta keskittyykin pääosin heille, jotka haluavat sitä puukaupan yhteydessä ostaa. Hakkuutähteen hankinnalla saavutettavien hyötyjen valossa hankintaa kannattaisi tulevaisuudessakin tukea ja mahdollisesti jatkokouluttaa henkilöstöä korjuukohteen valintaan, korjuun onnistumiseen ja yksikköhintaan liittyvissä asioissa.

Hakkuutähteen hankinnan kannattavuus on sahaorganisaation kannalta kuitenkin muutakin, kuin pelkkää rahallista tuottoa. Päätehakkuleimikoita ostettaessa asiakkaan, eli metsänomistajan tahdolla voi olla suuri merkitys kaupan syntymiselle. Hakkuutähteen korjuun kohentaessa myyntitiliä, helpottaessa maanmuokkausta ja myös parantaessa maisema-arvoja saattaa hakkuutähteen korjaaminen esimerkiksi asuinrakennuksen läheisyydessä olevalle päätehakkuleimikolle olla ratkaiseva tekijä puukauppasopimuksen syntymisessä. Tarjoamalla hakkuutähteen korjuuta puukaupan ohella, saadaan siis paremmin varmistettua puukaupan syntyminen ja näin ollen turvattua pääliiketoiminnan edellytykset.

Tutkimusjoukossa oli myös sopimuksia, joiden kohdalla tulos oli heikkoa tai negatiivista. On kuitenkin mahdotonta sanoa, mikä on todellisuudessa ollut kyseisten sopimusten kokonaisarvo yritykselle. Ehkä juuri näillä sopimuksilla on saavutettu muita hyötyjä sillä kustannuksella, että hakkuutähde on korjattu hiukan pienemmällä katteella tai jopa pienellä tappiolla. Toisaalta hakkuutähdeestä maksettavalla yksikköhinnalla pystytään helposti alentamaan kustannuksia kohteilta, joissa korjuun kustannukset uhkaavat nousta korkeiksi. Hinnan sopivuutta metsänomistajalle ja sen vaikutusta vaikkapa ainespuiden kantohintaan on tämän tutkimuksen perusteella vaikeaa arvioida.

Tutkimuksen tuloksissa kiintokuutiometrille laskettua keskimääräistä tulosta ei siis kannata liikaa tuijottaa, vaan keskittyä sopimuksiin, joissa korjuu oli tapahtunut suositusten mukaan. Jos toiminta jatkossa kehittyy ja korjuukohteiden valintaan ja toiminnan laatuun panostetaan, pystytään samankaltaisilla kohteilla saavuttamaan samanlainen tulos. On ymmärrettävää, että suositusten mukaan toimiminen ei aina ole mahdollista. Siihen olisi kuitenkin pyrittävä, jotta hakkuutähde-toimituksilla saavutettaisiin paras mahdollinen tulos. Tällä hetkellä toiminnassa on paljon kehittämisen varaa. Talvella tapahtuvasta, sekä tuoreen hakkuutähde- metsäkuljetuksesta on pyrittävä eroon. Näin toimiessa lopputuotteen laatu, sekä mittaustarkkuus paranee huomattavasti.

Vaikka työssä mainitaankin arvoja, joiden täytyessä hakkuutähdettä kannattaa tai ei kannata korjata, ei selkeää merkkiä kannattavalle korjuulle ole. Kaukaakin metsä- tai kaukokuljetettujana hakkuutähdehake voi tuottaa yhtiölle hyvää tulosta, jos muut sen valmistuksen kustannukset kompensoivat pitkiä matkoja ja lopputuote on laadukasta. Toisinpäin käännettynä myös suositukset täyttävältä korjuukohteelta voidaan tehdä tappiollisia hakkuutähdehake-toimituksia lopputuotteen ollessa kosteaa tai toiminnan ollessa muutoin kannattamatonta. Kannattamattomuus voi johtua muun muassa liian korkeasta metsänomistajalle maksettavasta hinnasta.

Määräerojen ja mittaustarkkuuksien osalta tutkimustulokset olivat vaihtelevia. Tärkein hakkuutähde-toimitusten kannattavuuteen vaikuttava määräero on metsänomistajalle maksetun määrän ja metsäkuljetetun määrän ero. Kuten tutkimuk-

sen tuloksissa kerrotaan, niiltä kohteilta, joilta maksu metsänomistajalle oli tapahtunut ainespuumäärän ja käytetyn kertoimen tulolla, määräerot olivat pääsääntöisesti pieniä. Tämä kertoo siitä, että oikein käytettynä kertoimet toimivat määrän arvioimisessa melko hyvin. Virheellinen kerrointen käyttö sen sijaan näyttää aiheuttavan suuriakin määräeroja. Työn kappaleessa 10, eli kehitysehdotuksissa on esitetty tapoja, joilla määräeroja saataisiin entistä pienemmiksi.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon tutkittavan aikavälin sääolosuhteita. Sääolosuhteet kuitenkin vaikuttavat paljon palstalla kuivatukseen onnistumiseen, sekä hakkuutähteen tienvarsivaraston kosteuteen. Sääolosuhteiden tutkiminen olisi kuitenkin laajentanut tutkimusta valtavasti, sillä sääolot saattavat vaikuttaa myös korjuuolosuhteisiin. Sää vaikuttaa maaston kantavuuteen sekä siihen, minkä tyyppisiä päätehakkuualoja on pystytty korjaamaan. Tutkimuksessa ei myöskään huomioitu varastoinnin laatua tai mahdollisia tienhoidollisia kuluja, kuten talviaikaista aurausta. Mahdollisia yleiskustannuksia ei pystytty tutkimuksessa ottamaan huomioon, sillä niistä ei ollut käytettävää tietoa sopimuksittain. Kannattavuuden määrittelyssä on kuitenkin hyvä muistaa, että korjuun suunnittelu vaatii oman aikansa ja sillekin toimihenkilön työajalle täytyisi saada kate.

Hakkuutähteen korjuulla mahdollistetaan paitsi metsänomistajien toiveiden toteutuminen, myös yhtiön energiaomavaraisuuden parantaminen. Keitele Forest Oy pystyy hakkuutähdehaketoimituksilla lisäksi parantamaan yhtiön imagoa uusiutuvan energian tuottajana ja vierastoimittajana.

Koneyrittäjien työ on pääosin sesonkipainotteista, eli heillä on talviaikaan paljon töitä ja kesäaikaan voi esiintyä työttömyyttä. Hakkuutähteen korjuulla pystytään työllistämään koneyrittäjiä myös kesäaikaan, sillä hakkuutähteen metsäkuljetuksen pitäisi tapahtua pääosin yrittäjille rauhalliseen ja työkohteiden puutteen vuoksi haastavaan vuodenaikaan. Korjuuyrittäjät voivat näin ollen työllistää työntekijänsä paremmin kesäaikana. Hakkuutähteen korjuu työllistää myös haketuspalvelua tarjoavaa yrittäjää. Haastattelun mukaan haketuspalveluyrittäjän liiketoiminnasta arviolta 15 % koostuu Keitele Forest Oy:n hankkimasta bioenergiasta. (Väisänen 2020). Hakkuutähteen korjuu tarjoaa siis työpaikkoja myös välillisesti.

Keitele Forest Oy tarjoaa puukaupan lisäpalveluna maanmuokkaus ja istutuspalveluita alihankintayritysten toteuttamana. Hakkuutähteen korjaaminen aiheuttaa usein viivästystä metsänviljelyketjussa, sillä suositukset palstalla kuivatusajasta ovat pisimmillään lähes vuoden mittaiset. Lyhyemmätkin palstallakuivatusajat ajoittuvat suosituimman metsänviljelyajankohdan kanssa päällekkäin. Maanmuokkauspalvelujen tarjoaminen puukaupan yhteydessä on hakkuutähteen korjuukohteilla helpompaa, sillä silloin yrityksellä on varma tieto siitä, milloin hakkuutähteet on korjattu ja maanmuokkaustyöt voidaan aloittaa. Toisen organisaation hoitaessa maanmuokkausta joudutaan aina erikseen ilmoittamaan, koska hakkuutähte on kuljetettu. Metsänomistaja voi siis luottaa puukauppaa tehdessään, että myös uudistustyöt tulevat tehtyä niin nopeasti kuin mahdollista. Lisäksi kuten kappaleessa 3.5 on kerrottu maanmuokkaus on nopeampaa ja taimien eloonjäänti varmempaa kohteilla, joilta hakkuutähte on korjattu (Saksa ym. 2002; Saksa 2014).

Tämän opinnäytetyön tekoprosessi oli pitkä ja aikaa vievä. Opin ymmärtämään energiapuunkorjuun ongelmallisuutta ainespuunkorjuuseen verrattuna sekä ennen kaikkea, kuinka haastavaa hakkuutähteen mittaaminen on. Työläimmäksi osuudeksi työssäni koin aineiston keruun. Haastavinta oli pohtia, miten puuttuvat tiedot saataisiin koostettua siten, että ne olisivat luotettavia ja vertailukelpoisia. Sain mielestäni vastattua tärkeimpään kysymykseen toimitusten kannattavuudesta niin hyvin, kuin siihen pystyin. Liiketoiminnallisten tietojen salaaminen aiheutti haasteita tulosten esittämiselle. Työstä olisi tullut kattavampi ja tuloksista huomattavasti selkeämmät, jos työn liikesalaisuuksia ei olisi tarvinnut salata. Tulosten tarkastelussa kerrottuja huomioita olisi lisäksi voinut pohtia laajemmin, mutta asioiden liika toistaminen olisi ollut mielestäni turhaa.

10 KEHITYSEHDOTUKSET JA JATKOTUTKIMUKSET

Työn aineistonkeruuvaiheessa huomasin yhtiön prosessissa puutteita, jotka vaikeuttivat tutkimuksen aineistonkeruuta ja aiheuttivat epätarkkuutta tuloksiin. Jos yhtiö haluaa tarkastella prosessiaan tarkemmin, täytyy nämä puutteet korjata, jotta tulokset olisivat aukottomia. Merkittävin kehitysehdotus yritykselle onkin erillisen metsämaksun eli metsäkuljetuksen lisääminen jokaiselle sopimukselle, jolta on ostettu hakkuutähdettä. Tämä helpottaisi sopimusten myöhempää tarkastelua sekä takaisi korjuuyrittäjille sen että he saavat tehdystä työstä oikeansuuruisen korvauksen.

Hakkuutähteen oston kannalta järkevillä alueilla toimivia toimihenkilöitä voitaisiin ohjeistaa siitä, kuinka hakkuutähdettä saadaan korjattua kannattavasti. Aiheesta voisi tämän opinnäytetyön ja muiden tutkimusten ja suositusten perusteella muodostaa yhtiölle yhteisen ohjeistuksen. Yhtenäiseen ohjeistukseen voisi myös liittää hakkuutähteestä metsänomistajalle maksettavaan hintaan liittyvää tietoa. Toimimalla tällä tavalla, voitaisiin hintavaihtelu ja sen aiheuttamat tappiot saada vähentymään. Ohjeistukseen voisi lisätä maininnan siitä, että kaikkien hankintaesimiesten tulisi tarjota hakkuutähteen korjuuta puukaupan oheispalveluna siihen soveltuville kohteille.

Hinnan lisäksi ohjeistukseen voisi muotoilla karkean selonteon siitä, millaisilta kohteilta hakkuutähdihaketta ei voida toimittaa kannattavasti. Yhtenä tärkeimpänä mainittavana tietona on kuljetusmatkojen merkityksen korostaminen. Tämän tutkimusjoukon metsäkuljetustaksat olivat korkeita ja 268 metrin metsäkuljetusmatkojen keskiarvo kertoo metsäkuljetuksen olevan kaukana optimaalisesta. Kuljetusmatkojen pidentyessä muiden kustannusten, kuten hinnan tulisi laskea, jotta se kompensoisi kohonneita kustannuksia. Lisäksi olisi syytä huomioida hakkuutähteen korjattava määrä. Tässä aineistossa määrät olivat suositusten vastaisia kahdeksalla kohteella. Toiminnan kannattavuus varmasti paranee, jos hankintaa keskitetään vain suurille kohteille.

Muiden arvojen vertailu yhteisessä ohjeistuksessa on lähes mahdotonta, sillä kuten aiemmin mainitsin, puukaupan syntymisen kannalta hakkuutähteen tappiollisenkin korjuu voi olla yrityksen kannalta varteenotettava vaihtoehto. Ohjeistukseen tulisi ehdottomasti sisällyttää hakkuutähteen ostomäärän ja metsänomistajalle maksettavan määrän määrittelyssä käytettävän arvon periaatteita. Samalla hankintaesimiehille olisi hyvä kertoa miten hakkuutähteen määrän arvioiminen onnistuu muille puulajeille, kuin kuuselle. Kappaleessa 8.3 kerron enemmän hakkuutähteen määrän laskemisessa käytetyistä arvoista.

Yhtenä kehitysehdotuksena haketusyrittäjälle on hakekuormien parempi kohdentaminen sopimuksittain. Jotta kuorma pystytään kohdistamaan oikealle sopimukselle, tulisi nettopainon olla merkattuna jokaiselle kuormalle ja kuormat pitäisi merkitä myös heti toimituksen jälkeen. Näin toimittaessa poistuisi inhimillisen muistivirheen mahdollisuus, sillä kuormat tulisivat reaaliajassa järjestelmään. Toinen vaihtoehto olisi merkata kuormat jokaisen varastopaikan tyhjentyessä. Tosin haketettaessa useita varastoja yhtä aikaa tämäkin toimintatapa saattaisi aiheuttaa ongelmia.

Ehdottaisin tehtäväksi jatkotutkimuksen samanlaisella aineistorajauksella yhtiön hakkuutähdetoimitusten kannattavuudesta esimerkiksi vuonna 2024, jolloin saataisiin tähän tutkimukseen verrattava ja samankokoinen aineisto täydellisillä tiedoilla. Jos yhtiön prosessi kehittyy siten, että kaikilta sopimuksilta löytyvät tiedot metsäkuljetuksesta ja toimitettujen hakeirtokuutioiden määrästä, saataisiin tämä tutkimus toistettua tarkempana. Näin hakkuutähdetoimitusten kannattavuudesta saataisiin kattavaa tutkimustietoa pitkältä aikaväliltä. Tarkkailemalla yhtiön toimintaa hakkuutähteen hankinnassa, voidaan tarttua esiin nouseviin ongelma-kohtiin nopeasti ja saada toimintaa optimoitua.

Uudessa tutkimuksessa voitaisiin tutkimuksen luotettavuuden parantamiseksi ottaa huomioon myös mahdolliset tienhoidolliset kulut, kuten tien aeraus talviaikaan. Tämä edellyttäisi, että laskut kohdistettaisiin tarkasti sopimuksittain. Jatkotutkimus olisi helppo toteuttaa samankaltaisena opinnäytetyönä.

LÄHTEET

Alakangas, E., Hurskanen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 258. Tampere: Juvenes Print. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Alakangas, E. & Impola, R. 2014. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT ohje. n.d. Päivitetty 13.11.2014. Helsinki. https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf

Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 131. Joensuu: Joensuun yliopistopaino.

Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. Julkaistu 28.8.2010. Luettu. 27.1.2020. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.pdf>

Egnell, G. & Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. Tutkimusartikkeli. Skandinavian journal of forest research (14): 303-311. Luettu 18.3.2020.

Elonen, J. & Korpilahti, A. 1996. Hakkuutähdeksen talteenoton vaikutus hakkuun ajanmenekkiin ja tuottavuuteen. Artikkel. n.d. Metsäteho. Luettu 12.3.2020. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1996_05.pdf

Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähde energianlähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hakonen, T. & Viitasaari, T. (toim.) 2013. Energiapuuta päätehakkuulta - opas. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy. http://www.puulakeus.net/docs/109-bKw-Energiapuuta_paatehakkuulta_opas_web.pdf

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2001. Hakkuutähdeksen laadunhallinta. Teoksessa: Alakangas, E. 2001 Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja. Espoo: Otavamedia Oy. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2001/S216.pdf>

Ikonen, T., Jahkonen, M., Pasanen, K. & Tahvanainen, T. 2013. Laadunhallinta ja keskeiset laatutekijät metsäenergian toimitusketjuissa. Metlan työraportteja 275. n.d. Luettu 7.3.2020. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp275.pdf>

Jääskeläinen, P-J. Korjuuesimies. 2020. Keitele Forest Oy:n sahaus-, puunhankinta- ja tukinkäyttömäärät. Sähköpostiviesti. Luettu. 7.4.2020.

Keitele Group Oy. n.d. Hankinta-alue, Nettisivu. Luettu 6.3.2020. https://www.keitelegroup.fi/resources/images/Keitele_hankinta-alueet_2018_web.jpg

Knuutinen, J. Polttoainemestari. 2020. Kuopion Energian vuonna 2019 käyttämät polttoaineet. Sähköpostiviesti. Luettu. 1.4.2020.

Koistinen, A., Luiro, J-P. & Vanhatalo, K. 2016. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuu, työopas. Tapion julkaisuja. Helsinki: Metsäkustannus Oy.

Korpilahti, A. 2015. Bigger vehicles to improve forest energy transport. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2015. Metsäteho Oy. Julkaistu 10.2.2015. Luettu 17.3.2020. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2015_03_Bigger_vehicles_to_improve_forest_energy_transport_ak.pdf

Kuopion Energia. n.d. Nettisivu. Luettu 6.3.2020 <https://www.kuopionenergia.fi/>

Kärhä, K. 2008. Metsähakkeen tuotantoprosessikuvaukset. Metsätehon tuloskalvosarja 3/2008. Metsäteho Oy. Julkaistu 24.4.2008 Luettu 21.1.2020. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2008_03_Metsahakkeen_tuotantoprosessi_kk.pdf

Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010. Kiinteiden polttoaineiden saataavuus ja käyttö vuonna 2020. Työ- ja Elinkeinoministeriö. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita – Research notes 2564. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus.

Lindblad, J., Jahkonen, M., Laitila, J., Kilpeläinen, H. & Sirkiä, S. 2013. Energiapuun määrä ja laatu sekä niiden arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 259. Luettu 20.3.2020. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp259.pdf>

Lindblad, J. & Korri, J. 2014. Energiapuun mittaus. Metsätalouden kehittämisskeskus Tapio, Metsäntutkimuslaitos ja Työtehoseura ry. 30.6.2014. Luettu: 20.3.2020. <https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/03/energiapuun-mittausopas-30062014.pdf>

Lepistö, T. 2010. Laatuhakkeen tuotanto-opas. 2. painos. Sastamala: Vammalan kirjapaino.

Luonnonvarakeskus. Tilastopalvelu. Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö muuttujina Vuosi, Maakunta, Yksikkö ja Puupolttoaine. Luettu 19.4.2020. http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_10%20Puun%20energiakaytto/01a_Laitos_ekaytto_maak.px/table/table-ViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Luonnonvarakeskus. Tilastopalvelu. Energiapuun hinta muuttujina Vuosi, Kaupatapa, Hinta-alue ja Energiapuulaji. Luettu 15.3.2020.

http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_04%20Energiapuun%20kauppa/03_Energiapuun_hinta_v.px/table/table-ViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. Tutkimusartikkeli. Folia Forestalia Metsätieteen aikakauskirja. 1994(2);113-122. Luettu 12.3.2020 <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article5921.pdf>

Nurmi, J. 1999 Hakkuutähteen ominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 722. Kokkola: KPPaino.

Pentinpuro, I. Metsäpäällikkö. 2020. Keitele Forestin energiaomavaraisuus. Sähköpostiviesti. Luettu 7.4.

Rieppo, K. 2002. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 136. 28.8.2002. Helsinki. Luettu 12.3.2020

Routa, J., Asikainen, A., Björheden, R., Laitila, J. & Röser, D. 2012. Forest energy procurement: state of art in Finland and Sweden. n.d. Luettu 17.3.2020. https://www.researchgate.net/publication/305354893_Forest_Energy_Procurement_State_of_The_Art_In_Finland_and_Sweden

Routa, J., Kolström, M., Ruotsalainen, J. & Siikanen, L. 2015. Precision measurement of forest harvesting residue moisture change and dry matter losses by constant weight monitoring. International journal of forest engineering. n.d. Luettu: 22.3.2020. https://www.researchgate.net/publication/276868491_Precision_measurement_of_forest_harvesting_residue_moisture_change_and_dry_matter_losses_by_constant_weight_monitoring

Saksa, T. 2014. Hakkuutähteen korjuun vaikutuksista 10-vuotiaissa kuusen taimikoissa. Artikkel. Teoksessa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H. & Muhonen, T. 2014. Metlan työraportteja 289. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp289.htm>

Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002 Hakkuutähde ja metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 851. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Strandström, M. 2019. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2018. Metsätehon tuloskalvosarja 16/2019. Julkaistu 23.5.2019. Luettu 16.1.2020. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2019_16_Mets%C3%A4hakkeen_tuotantoketjut_2018.pdf

Tilasto: Energian hinnat. 4. vuosineljännes 2019. Julkaistu 12.3.2020 Helsinki: Tilastokeskus. Luettu. 15.3.2020. http://www.stat.fi/til/ehi/2019/04/ehi_2019_04_2020-03-12_tie_001_fi.html

Väisänen, M. Haketusyrittäjä. 2020. Haastattelu 15.4.2020. Haastattelija Kivelä, J. Tampere.