

Hakkeella toimivan lämpölaitoksen polttoaineen hankinnan ja toimituk- sen tehostaminen

Eero Saarinen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä Saarinen, Eero	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä joulukuu 2020
	Sivumäärä 35	Julkaisun kieli suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi Hakkeella toimivan lämpölaitoksen polttoaineen hankinnan ja toimituksen tehostaminen		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja Hytönen Kari, Kivistö Hannu		
Toimeksiantaja Keuruun Energiatekniikka Oy		
Tiivistelmä <p>Suomessa käytettiin vuonna 2018 ennätysmäärä puupolttoaineita, energiasisällöltään noin 27 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Tutkimuksen toimeksiantajan Keuruun Energiatekniikka Oy:n omistamalla lämpölaitoksella on käytetty metsähaketta lämmön tuottamiseen vuodesta 2004 ja kuljetukset tuolle laitokselle on tehty yrityksen omalla kalustolla siitä lähtien.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Keuruun Energiatekniikka Oy:n hakkeen toimituksista syntyvät kustannukset, kartoittaa yrityksen liiketoiminnalle sopivaa karttapohjaista varastohallintajärjestelmää ja optimoida raaka-aineen hankintaprosessia.</p> <p>Tutkimustavoitteiden toteuttamiseksi oli kartoitettava nykytilanne ja tehtävä kustannuslaskelmia sekä nykytilanteesta että potentiaalisista vaihtoehtoista toimintamallin kehittämistä varten.</p> <p>Tutkimus kustannusanalyysiä varten toteutettiin keräämällä tietoa ajopäiväkirjoista ja yrityksen kirjanpidosta. Varastohallintajärjestelmän osalta vaihtoehtoja kartoitettiin etsimällä sopivia vaihtoehtoja ja ottamalla niitä testikäyttöön.</p> <p>Tutkimustuloksena saatiin laskelma, jonka perusteella Keuruun Energiatekniikka Oy:lle ehdotettiin toisen käytössä olevan kuorma-auton poistamista käytöstä ja suuremman kontin hankkimista kuljetusten tehostamiseksi. Kaksi eri karttapohjaista varastohallintaohjelmaa otettiin testikäyttöön yrityksen toimesta. Hankintaprosessia ei lähdetty kehittämään, sillä tutkimuksen aikana yritys ilmoitti sopimuksen suurimman asiakkaan kanssa päättyvän kahden vuoden kuluttua, joten sen osalta kehitystä ei yrityksen toimesta enää koettu tarpeelliseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Energiapuu, Energiapuun mittausta, Metsähake, Varastohallintajärjestelmä, Hakekuljetus		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) <small>Liitteet 1–6 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta. Salassapito päättyy 8.12.2030.</small>		

Author Saarinen, Eero	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 35	Permission for web publication: x
Title of publication Optimizing the fuel procurement and delivery for a wood chip heating plant		
Degree programme Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor Hytönen Kari, Kivistö Hannu		
Assigned by Keuruun Energiatekniikka Oy		
Abstract <p>A record amount of wood-based fuel was used in Finland in 2018, amounting to 27% of total energy consumption of the whole country. The assignor of the study, Keuruun Energiatekniikka Oy, has used wood chip to produce heat energy at one of their heating plants since 2004 and they have used their own transportation equipment for the deliveries since then.</p> <p>The aim of the study was to investigate the costs of wood chip deliveries by Keuruun Energiatekniikka Oy, search for a warehouse control system that would fit the company's business needs and optimize the procurement process of their raw material.</p> <p>To accomplish the research goals the current situation needed to be mapped. Also, there was a need to create cost analyses of both the current and other potential scenarios to develop the ways of working.</p> <p>The study for the cost analysis was done by gathering information from driving journals and company's accounting. Regarding the warehouse controlling system a few alternatives were found and taken to test use.</p> <p>As a result, a calculation was compiled, and Keuruun Energiatekniikka Oy was suggested to stop using their other truck and buy a new bigger container for the remaining truck. In addition, two different map-based warehouse controlling system were taken into test use by the company.</p> <p>During the study, the company informed that their contract with their biggest customer will be ending in two years, so the company did not find the development of their procurement process any longer useful.</p>		
Keywords/tags (subjects) Energy wood, Energy wood measurement, Forest chips, warehouse control system, Forest chips transport		
Miscellaneous (Confidential information) <p>Appendixes 1-6 are confidential and they have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, section 24, 17: business or professional secret. Period of secrecy is ten years and it ends 8.12.2030</p>		

Sisältö

1	Termistö	3
2	Johdanto.....	4
2.1	Energiapuun käyttö Suomessa	5
2.2	Energiapuun käyttöön liittyviä tekijöitä	6
2.3	Opinnäytetyön taustaa ja rajaamista	7
2.4	Yritys	8
3	Tutkimuskohteen kuvaus	9
4	Energiapuun mittaus.....	11
5	Tutkimusmenetelmä.....	14
6	Tutkimustulokset.....	15
6.1	Toimintamallit ja kustannukset	15
6.2	Hankinta	19
6.3	Karttaohjelman valinta	20
7	Johtopäätökset	22
8	Pohdinta	24
8.1	Ajatuksia	24
8.2	Tutkimuksen luotettavuus.....	25
8.3	Jatkotutkimustarpeet	26
	Lähteet.....	27
	Liitteet	30
	Liite 1. Ajopäiväkirjojen yhteenveto vuosilta 2017-2019 (salassa pidettävä).....	30
	Liite 2. Nykytilanteen kokonaiskustannukset (salassa pidettävä).....	31
	Liite 3. Vain isompi kuorma-auto (salassa pidettävä)	32
	Liite 4. Puuauto (salassa pidettävä)	33
	Liite 5. Ulkopuolisen urakoitsijan haketoimitukset (salassa pidettävä).....	34
	Liite 6. Vertailu (salassa pidettävä).....	35

Kuviot

Kuvio 1. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2018.....	5
--	---

Taulukot

Taulukko 1. Metsähakkeen ja -murskeen kiintotilavuusprosentit, kun mittaus tehdään kuljetuksen jälkeen.....	13
Taulukko 2. Kuljetuskaluston maksimikantavuudet	17

1 Termistö

Ainespuu = Kannon yläpuolinen puun osuus, joka käytetään metsäteollisuuden puunjälöstuksessa (Heikurainen, Routa, Rintala, Mäkelä, Saarentaus, Immonen, Sirviö, Jaakkola, Palojärvi, Laiho & Hongisto 2020, 3).

Energiapuu = Puuainesta, joka pitää sisällään rangan, kokopuun, kannot ja latvusmassan, sekä niistä valmistetun hakkeen (Heikurainen ym. 2020, 5).

Hake, puuhake = Leikkaavalla terällä tietynkokoisiksi palasiksi hakettua puubiomasista valmistettuja puunpalasia, joiden tyypillinen koko on 5–50 mm (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 9).

Hakkuutähde (3113) = Aineesta, joka on ainespuun hakkuun sivutuotteena jäljelle jäävää runko-, oksa- ja latvusmassaa (Alakangas ym. 2016, 9).

Irtokuutiometri ($i\text{-m}^3$) = Irtonaista materiaalia kehysmitaltaan kuutiometrin tilavuudessa. Käytetään usein hakkeen mittasuureena (Hakkila 2006, 12).

Kehystilavuus = Kanta x korkeus x leveys

Kiintokuutiometri (m^3) = Tilavuudeltaan kuutiometrin vastaava alue pelkkää puuainesta. Kiintotilavuus on ainespuu- ja metsämittauksessa vakiintunut suure (Hakkila 2006, 11–12).

Kokopuu (3112) = Kannon ja juurien yläpuolinen puun katkaistu osa, joka sisältää puun runko-osan oksineen ja neulasineen (Alakangas ym. 2016, 12).

Kokopuuhake = Kokopuusta valmistettua haketta

Metsähake = Yleistermi metsäbiomassasta tehdyille hakkeelle tai murskeelle, joka on valmistettu rangasta, kokopuusta tai metsätähteestä (Alakangas ym. 2016, 14).

Metsätähdehake = Hakkuutähteestä valmistettua haketta

Pinokuutiometri (p-m^3) = Pinomaisen muodostelman kehysmitaltaan kuutiometrin tilavuudessa, joka voidaan muuntaa kiintotilavuudeksi kiintotilavuuskertoimen avulla (Hakkila 2006, 12).

Ranka (3111) = Karsittu puu, joka ei täytä ainespuun laatuvaatimuksia, nimitystä käytetään yleisesti läpimitaltaan pienistä puista (Alakangas ym. 2016, 17).

Rankahake = Rankapuusta valmistettua haketta

Tuorepaino = Puutavaran kokonaispaino punnitushetkellä. Pitää sisällään puutavaran kuivapainon ja kosteuden (Hakkila 2006, 12).

Tuoretiheys (kg/m^3) = Puutavaran tuorepainon ja tilavuuden suhde (Heikurainen ym. 2020, 4).

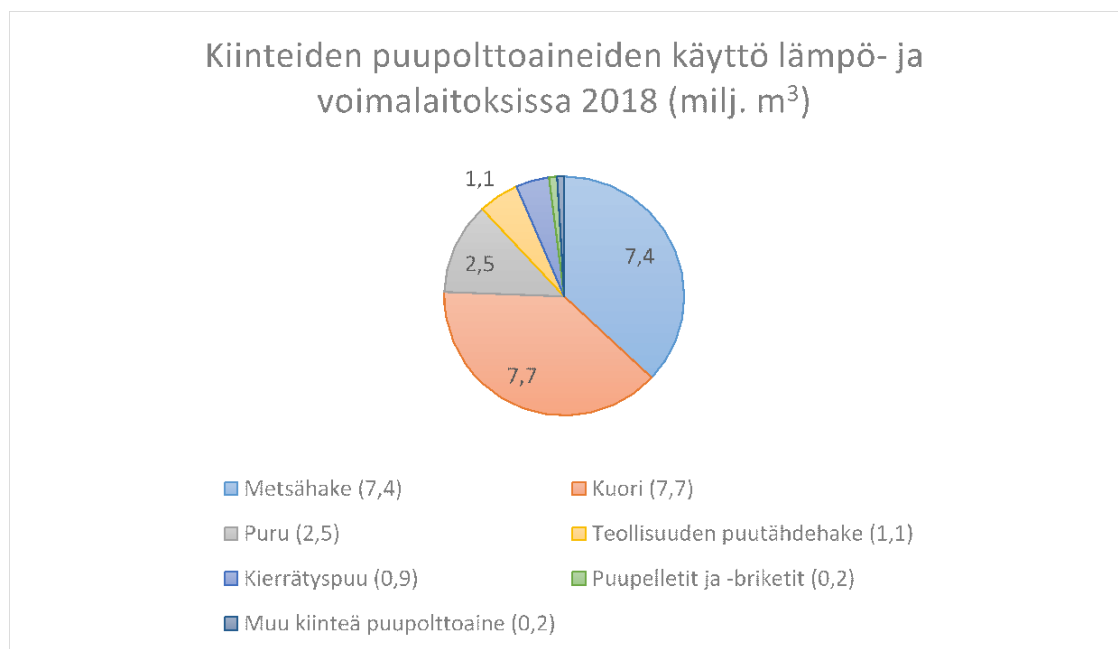
2 Johdanto

Metsähakkeen käyttö on noussut melko tasaisesti 2000-luvulla (Puun energiakäyttö, 2020). Työ- ja elinkeinoministeriön tavoitteiden mukaan metsähakkeen käyttö oltiin nostamassa 14,5 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2030 mennessä (Huttunen 2017, 81). Energiapuun käytön noustessa on siitä tullut merkittävä markkinatuote perinteisten ainespuuartikkelien rinnalle. Kuitenkin energiapuukaupassa on ollut vakiintumattomia ja puutteellisia menetelmiä (Lindblad, Jahkonen, Laitila, Kilpeläinen, Sirkiä & Repola 2014, 171). Näitä asioita on kehitetty ja seurauksena on Luonnonvarakeskuksen tuottama ohje energiapuun mittaukseen.

Tämä työ keskittyy Keuruun Energiatekniikka Oy:n hakekuljetuksien parannuksiin ja sivuaa energiapuualaan yleisesti liittyviä ongelmia. Työssä ei kuitenkaan pureuduta itse energiapuualan ongelmiin vaan selvitetään kuinka ne vaikuttavat yrityksen toimintaan.

2.1 Energiapuun käyttö Suomessa

Suomessa käytettiin energiantuotannossa vuonna 2018 ennätysmäärä puupolttoaineita. Energiasisällöltään tämä määrä vastasi 104 terawattituntia (TWh), joka oli noin 27 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Suomen kokonaisenergiankulutus oli 383 terawattituntia. Tästä määrästä kiinteiden puupolttoaineiden osuus lämpö- ja voimalaitoksilla oli 39 TWh, joka puumääränä on 20 miljoonaa kuutiometriä (Kuvio 1). Tämä vastaa Suomen kokonaisenergian kulutuksesta vajaata 10 %. Tästä määrästä metsähakkeen osuus oli 7,4 miljoonaa kuutiometriä. (Ylitalo 2019, 133.)



Kuvio 1. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2018 (Ylitalo 2019, 142.)

Metsähake, jonka käsittelyyn tämä opinnäytetyö painottuu, valmistetaan puubio-massasta, joko hakettamalla tai murskaamalla. Metsähakkeeksi lasketaan metsästä suoraan hakkeeksi jalostettu hake, joka sulkee pois puunjalostusteollisuuden puutähteenä syntyvät hakkeet. Termi itsessään ei ota kantaa minkälaisesta puuaineksesta hake on tehty, vaan se pitää sisällään esimerkiksi kokopuusta, rangasta, latvuksista ja kannoista valmistetun hakkeen. (Alakangas ym. 2016, 14.)

Vuonna 2018 Suomessa käytettiin metsähaketta lämpö- ja voimalaitoksilla energiantuotantoon yhteensä 7,4 miljoonaa kuutiometriä. Tästä käytettiin voimalaitoksilla 4,7 miljoonaa kuutiometriä ja lämpölaitoksilla 2,7 miljoonaa kuutiometriä. Pientaloissa poltettu metsähake 0,6 miljoonaa kuutiometriä nostaa kokonaiskäytön 8,0 miljoonaa kuutiometriin. (Ylitalo 2019, 133.)

2.2 Energiapuun käyttöön liittyviä tekijöitä

Energiapuun käyttöön liittyy paljon tekijöitä, jotka vaikuttavat puuaineksen käytettävyyteen voima- tai lämpölaitoksella. Kustannuksiin vaikuttavat muun muassa puuaineksen laatu, varastointi ja sijainti laitokselta. Kosteus on suurin laatuun vaikuttava tekijä. Lisäksi vaikuttaa se, miten ja minkälaisella kalustolla energiapuu kuljetetaan ja haketetaan tai murskataan. (Lindblad ym. 2014, 176.)

Energiapuun varastoinnin vaikutus aluspuineen on suurin kosteuteen vaikuttava tekijä. Toiseksi suurin vaikutus on peittämisellä. (Lepistö 2010, 19.) Peittämisellä voi olla n. 6 % vaikutus hakkeen loppukosteuteen, kun taas aukealla varastoidun kasan ja metsän varjossa varastoidun kasan välillä kosteusero voi olla jopa 7-17 % (Hillebrand 2009, 5-6). Hakkuutähteiden peittämisellä on päästy jopa 10-15 % alempiin kosteuksiin hakkeen loppukosteuksissa (Hillebrand 2009, 5).

Energiapuun kosteudesta on haittaa niin kuljetuksessa kuin poltossa. Kosteus lisää hakkeen painoa ja aiheuttaa ylimääräistä kulua kuljetuksessa. Lisäksi kosteus aiheuttaa ongelmia, mikäli puuainesta varastoidaan hakkeena ja se myös lisää riskiä hakekasojen lämpenemiselle. (Lepistö 2010, 7.)

Puuaineksen laatu vaikuttaa merkittävästi käytettävyyteen laitoksella. Kosteaa hake aiheuttaa talviaikaan ongelmia varastossa jäätymisen muodossa ja näin ollen se aiheuttaa haasteita sekä hakkeen syöttöön että lisää päivystyskäyntejä. Kosteus vaikuttaa myös merkittävästi puun polttotapahtumaan. (Lepistö 2010, 19.)

Puu on hygroskooppinen eli vettä imevä aine. Puu pystyy sitomaan ja luovuttamaan kosteutta ympärillä vallitsevan kosteuden mukaan. Puun kosteus muuttuu kohti

tasapainokosteutta, jolloin haihtuvan ja sitoutuvan veden määrät ovat yhtä suuria. Tämä tarkoittaa myös sitä, että puun kosteus on jatkuvassa muutostilassa. (Lindblad ym. 2014, 174.)

Lindbladin ja muiden mukaan Haikonen (2005) toteaa energiapuun kuivumisnopeuteen vaikuttavan raaka-aineen ominaisuuksien lisäksi myös kuivumisolosuhteet. Kuivatettavan aineen pinnalta veden siirtymistä vesihöyryinä ilmaan kutsutaan haihtumiseksi. Haihtumisen määrään vaikuttaa suuresti ympäröivä ilmankosteus. Suhteellisen ilmankosteuden laskiessa ja lämpötilan noustessa ilman kyky sitoa vettä kasvaa, jolloin kuivuminen on suurempaa. (Lindblad ym. 2014, 174.)

Haihtumista mitataan suurella mm/vrk. Potentiaalinen haihdunta kuvaa sitä veden määrää, joka haihtuu täysin puun pinnalta. Energiapuiden kuivumista on tutkittu tuoretiheyslukujen määrittelyä varten 1995-2010. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksen mukaan potentiaalihaihdunta alkaa nousta viikon 10 paikkeilla ja loppuu lähes kokonaan viikon 40 kohdalla. (Lindblad ym. 2014, 174-175.)

Metsäntutkimuslaitoksen mukaan varastointiajan sääolosuhteisiin perustuvalla mallinnuksella voidaan energiapuiden kosteuden ennustamista lisätä. Haasteellista on kuitenkin yli talvikauden varastoitujen energiapuuvarastojen kosteuden mallintaminen, koska haihtumista ei juuri tapahdu. Lisäksi sadevesistä johtuva uudelleen kastuminen ja lumi vaikuttavat energiapuiden kosteuteen. (Lindblad ym. 2014, 177.)

2.3 Opinnäytetyön taustaa ja rajaamista

Tehtävänä oli selvittää Keuruun Energiatekniikka Oy:n hakkeen toimituksesta syntyvät kulut ja pohtia sen perusteella onko toimintamalleihin tarvetta tehdä muutoksia. Asiaa lähdettiin pohtimaan myös siltä kannalta, että toiminnan volyyminmuutoksiin pystyttäisiin jatkossa reagoimaan paremmin, joten muutoksia selvittäessä mietittiin mahdollisuutta ulkopuolisen urakoitsijan käyttöön sekä mahdollisen haketerminaalin perustamiseen. Työn kausiluontoisuus oli tehnyt omat haasteensa operatiivisen toiminnan järjestämiseen, johon urakoitsijan mahdollisen

käytön uskottiin tuovan helpotusta. Tavoitteena oli kuitenkin säilyttää yhteistyö ja hyväksi havaitut toimintamallit energiapuutoimittajien suuntaan.

Ostettavan energiapuun määrän arviointia helpottamaan oli tarkoitus luoda helppokäyttöinen varastohallintajärjestelmä, josta olisi helppo nähdä käytettävissä oleva puumäärä ja varastojen tiedot ja puunlaadut. Suurena ongelmana oli puunlaadun ja varastoinnin suuret vaihtelut, jotka vaikuttavat paljon energiapuun laatuun ja käytettävyyteen. Tähän ratkaisuksi koitettiin hakea ohjeiden yhtenäistämistä ja ostotapahtuman muuttamista niin, että energiapuun laadunvaihtelut saataisiin minimoitua tai ainakin hankitun puuaineksen käytettävyys olisi paremmin tiedossa.

Tämän opinnäytetyön tekemisessä lähdettiin selvittämään:

- Kustannukset hakkeen toimitukselle nykyisellä toimintamallilla
- Varastojen hallintaan soveltuvaa tietokonepohjaista kartalla varusteltua järjestelmän luomista tai yleisesti käytössä olevien ohjelmien selvitystä yrityksen käyttöön
- Selkeää mallia energiapuun ostoon ja hinnoitteluun

Yllä listatut ongelmat rajoittuvat suoranaisesti kyseisen yrityksen toimintaan ja malleihin ja sen vuoksi työ ei välttämättä tarjoa ratkaisua muihin vastaaviin toimialan ongelmiin.

2.4 Yritys

Keuruun Energiatekniikka Oy valmistaa hakkeensyöttölaitteistoja 20kW-1500kW kokuokassa. Syöttölaitteistoja toimitetaan eri laitekokonaisuuksista avaimet käteen -periaatteella valmiisiin laitoskokonaisuuksiin. Laitosten kunnossapito ja korjaustyöt luuluvat kiinteästi toimintaan. Lisäksi yritys huolehtii erään omistamansa laitoksen käytöstä ja polttoaineen toimituksesta sekä myy lämpöä laitokselta asiakkaalle. Haketta toimitetaan myös hakkeen pienkäyttäjille muutamalle muulle lämpölaitokselle. (Saarinen 2020.)

Yritys on perustettu Keuruulla vuonna 1983 ja se on toimittanut useita kymmeniä laitoksia ympäri Suomen. Vuonna 2004 valmistui haketta polttoaineena käyttävä 1000kW tehoinen lämpölaitos Pohjois-Pirkanmaalle, josta on siitä lähtien toimitettu lämpöä paikalliselle vankilalle. (Saarinen 2020.)

Lisäksi yritys on ollut mukana kahdessa projektissa, jossa on kehitetty edellytyksiä piensähköntuotannolle yrityksen valmistamien laitosten kokoluokassa. Projektit toteutettiin Jyväskylän yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Yritys hankki myös itselleen koelaitoksen, jonka tuotantoon saamiseksi työskennellään. (Saarinen 2020.)

3 Tutkimuskohteen kuvaus

Pohjois-Pirkanmaalla sijaitseva lämpölaitos, jonka hakkeen toimitusketjun parannuksiin tämä opinnäytetyö keskittyy, on toiminut vuodesta 2004 pääasiallisena lämmönlähteenä paikalliselle vankilalle. Haketoimitukset laitokselle on pääasiassa hoidettu yrityksen omalla kalustolla. Raaka-aines eli energiapuu on pääasiassa ostettu yksityisiltä metsänomistajilta Pohjois-Pirkanmaan ja eteläisen Keski-Suomen alueelta. Energiapuun osto on hoidettu suoraan yrityksen toimesta. Hankinta ja varastokirjanpito on ollut täysin paperisten käytäntöjen varassa. Haketoimituksiin yrityksellä on kuorma-auton alustalle rakennettu hakkuri sekä kuljetuksiin kaksi vaihtolavalaitteilla varustettua kuorma-autoa. (Saarinen 2020.)

Tavoitteena oli selvittää hakkeen toimituksesta syntyvät kustannukset vuositason nykyisen kaluston ja toimintatavan mukaan. Kuluista on olemassa dokumentteja yrityksen kirjanpidossa, mutta niitä ei ole kerätty yhteen tiedon hyödyntämistä varten päätöksen tekoon. Tämän tiedon kerääminen yhteen ja hyödynnettävään muotoon oli yksi tutkimuksen keskeisimmistä tavoitteista, jotta kustannukset ja niihin vaikuttavat tekijät saataisiin tietoon.

Toimintamallien kehittyminen nykyiselleen on tapahtunut operatiivisen toiminnan turvaamiseksi, ja kustannusten vaikutukset on jäänyt vain vähäiselle tarkastelulle.

Tarve tiedon selvittämiselle on syntynyt epäilyksestä, että nykyinen toimintamalli ei välttämättä ole kustannustehokas. Tutkimus rajoittuu pelkästään hakkeen kuljetukselle eikä siinä keskitytä itse haketuksen parannuksiin.

Hakerangan hankinnalla pystytään vaikuttamaan lämpölaitoksen lämmöntuotannon varmuuteen ja häiriökäyntien määrään. Energiapuun laadulla on myös suuri vaikutus lämmönmyynnistä saatavaan myyntivoittoon. Kaikki energiapuun laadussa käytettävyyttä huonontavat tekijät pienentävät suoraan katetta. Tästä syystä energiapuun hinnoittelun pitäisi olla jollain tapaa sidottuna energiapuun laatuun. (Raitila, Virkkunen & Heiskanen 2014, 38.)

Laitoksella tarvitaan tietty määrä hyvälaatuista haketta, jolla turvataan lämmöntuotanto kovien pakkasten aikana. Laitoksen maksimikattilateho on hyvin lähellä tehollista maksimikuormaa. Tällaisessa tilanteessa vaaditaan polttoaineelta hyvää laatua. Talvella pakkasen aikana kostean hakkeen jäätyminen aiheuttaa myös herkästi ongelmia hakevarastossa holvaantumisen muodossa ja kuljettimilla jäisinä paakkuina. (Saarinen 2020.)

Lämpölaitoksen kattilan teho on 1MW eli 1000kW ja sillä on mitoitettu käytettäväksi haketta, jonka kosteus on 50 %. Kuitenkin pyrkimyksenä on pitää polttoaineen kosteus alle 40 %. Laitos on varustettu erillisellä tulipesällä, jossa hakkeen polttaminen tapahtuu arinalla. Hakkeen syöttö tulipesään tapahtuu syöttöruuvilla, jota ennen on lokerosyötin ilmalukon aikaansaamiseksi. Ajatuksena laitoksen mitoituksessa on ollut se, että kokonaisenergiamäärä saadaan tuotettua mahdollisimman suurelta osin hakeella. Verkostoon on kytketty edelleen vanhan lämmitysmuodon jäljiltä kaksi 700kW tehoista kevytöljykattilaa, jotka toimivat varalämmönlähteenä ja tasoittavat mahdollisia huippukuormia. (Saarinen 2020.)

Hakevarastona toimii kiinteä betonista rakennettu varasto, josta hake puretaan ketjukolajulkuljettimelle kolmella tankopurkaimella. Varaston tilavuus on noin 125 irto-m³, mutta hyötytilavuus käytettäessä jää noin 90 irto-m³. Varastossa ei ole sekoitusmah-

dollisuutta eri laatuksille polttoaineille. Lämpölaitoksella ei myöskään ole varastointimahdollisuutta terminaalissa tai ulkoisessa varastossa. Vuositasolla lämmöntuotannossa haketta kuluu noin 3000–5000 irto-m³. (Saarinen 2020.)

4 Energiapuun mittaus

Kiintokuutiometri on kuutiometri kiinteää puuta. Irtokuutiometri on kehysmitaltaan kiintokuutiometriä vastaava tilavuus sekaisin jotain puuainesta, mutta eroaa kiintokuutiometrillä siten, että kiintokuutiometri on pelkkää puuta, kun taas irtokuutiometri voi nimensä mukaisesti olla irtonaista materiaalia. Esimerkiksi haketta mitataan irtokuutiometrin avulla, mutta tarvittaessa se voidaan muuttaa kiintokuutiometriksi. Yksi kiintokuutiometri raakapuuta vastaa noin 2,5 irtokuutiometriä haketta. (Metsäalan ammattilehti 2013)

Suomessa puukauppaa tehdessä noudatetaan puutavaran mittauslakia eli lakia puutavaran mittauksesta, LPM. Lain tarkoituksena on yhtenäistää puutavaran mittauksessa toteutettavia menetelmiä, laitteita ja ohjeistuksia niin, että päästään luotettavuudeltaan riittävän tarkkaan mittaustulokseen. (L 414/2013, 2 §.) LPM:n mukaisten toimintatapojen käyttäminen puukaupassa toimii myös laillisena oikeusturvana myyjälle sekä ostajalle epäselvissä tilanteissa. Laissa säädetään mm. mittauksen toteuttamisesta, mittalaitteista, mittamenetelmistä, sopimisesta, dokumentoinnista ja määräajoista. (Metsäntutkimuslaitos 2014.)

Vuoden 2014 alusta lähtien energiapuun mittaus tuli puutavaran mittauslainsäädännön alaiseksi. Myöhemmin valmistui ohje energiapuunmittauksen ohjeista, jotka tehtiin yhteisesti metsänomistajille, puunostajille, puuteollisuudelle ja energiapuun kuljetuksessa ja korjauksessa toimiville yrityksille. (Heikurainen ym. 2020, 1.)

Mikäli energiapuukauppaa tehdään ilman mittauksia, hinnasta sovitaan muulla tavalla, tai se perustuu johonkin muuhun määritelmään, kuten esimerkiksi hakkuutähteiden

korjaamiseen pinta-alan mukaan, ei mittauslainsäädäntö silloin päde. Mittauslainsäädäntö ei kiellä eikä rajoita tällaista kaupankäyntiä. Mutta samalla lain tuoma turva mittauseriäisyyksille jää pois. (Heikurainen ym. 2020, 6.)

Käytännössä energiapuun mittauksessa LPM:n alaista mittaamista tarvitaan joko luovutusmittauksen, työmittauksen tai urakointimittauksen perusteena olevan maksun määrittelyyn. Tilavuusmittausta käytettäessä voidaan käyttää joko kiintotilavuutta tai kehystilavuutta. Kiintotilavuuden mittaamiseen voidaan käyttää samaa mittaustapaa kuin ainespuun mittaukseen, mikäli puuaines vastaa laadultaan ainespuuta. Kehystilavuus voidaan mitata joko hakkeesta tai pinomittauksena energiapuukasasta. Toisena vaihtoehtona on punnitus ja muuntokertoimien käyttäminen joko tuorepainon tai kuivapainon mukaan (Heikurainen ym. 2020, 5–6). Mittauksessa syntynyttä tulosta voidaan muuntaa Luonnonvarakeskuksen ohjeistuksien mukaan johonkin toiseen yksikköön.

Energiapuun mittauksesta haasteellista tekee energiapuupinojen tiheyden eroavuus ja se, että energiapuuna käytetään monesti puuainesta, jota ei pystytä mittaamaan samalla tavalla kuin ainespuuta, jonka mittausmenetelmät ovat vakiintuneet vuosien saatossa. Ainespuuta mitataan yleisesti hakkuukoneen kaatopäässä olevalla mittalaitteella. Mittaus perustuu kuitenkin siihen, että mitattava puu kulkee mittarullien tai kynsien läpi, joka ei kuitenkaan energiapuun kohdalla usein toteudu, sillä energiapuuta on monesti sitä puuainesta, joka jää jäljelle metsäteollisuuden hyödynnettävästä ainespuusta.

Hakkeen tiiviys vaihtelee suuresti, mutta vaihteluväli on pienempi kuin energiapuupinoilla. Hakkeen tiiviys vaikuttaa siihen, kuinka paljon hakeirtokuutioita saadaan kiintokuutiosta puuta. Suurimmat hakkeen tiiviyyteen vaikuttavat tekijät ovat puulaji, palakoko, palan muoto, oksat, tikut, kuormaustapa, painuminen, kosteus ja vuodenaika. Hake on heterogeenistä ja pienemmät palaset täyttävät isompien palasten välejä kuormatessa ja kuljetusten yhteydessä. Hakkeen seassa olevat pitkät palaset vähentävät tiiviyyttä. Myös mitä suurempi hakepalasen leveys on suhteessa paksuuteen, sitä alhaisempi sen tiiviys on. (Alakangas ym. 2016, 67–68.)

Hakkeen painuminen kuljetuksen yhteydessä on suurinta alkumatkasta ja pienenee jo 20 kilometrin ajon jälkeen. Painumiseen vaikuttaa myös se, onko hake tippunut kuljettimelta vai puhallettu hakkurista. Puhaltamalla kuormattu hake on tiiviimpää kuin kuljettimelta tullut hake. (Alakangas ym. 2016, 68.) Näistä syistä haluttaessa määritellä kiintokuutioiden irtokuutioiden perusteella energiapuun ja hakkeen mittaukseen on tehty ohje, joka kertoo käytettävän kertoimen puulajin ja lastaustavan mukaan.

Kiintotilavuusprosentti kertoo hakkeen toimitustilan mukaisen kiintotilavuuden suhteessa kehystilavuuteen. Luonnonvarakeskuksen määrittelemien ohjeiden ja taulukon mukaan (Taulukko 1) ohje on, että mikäli puulaji ei vastaa määritelmiä, käytetään lähinnä olevaa luokkaa. Mikäli menetelmiä ja puulajia ei tiedetä, voidaan käyttää kiintotilavuusprosenttia 40 %. (Luonnonvarakeskus 2017.) Silloin tässä tilanteessa pätee yleisesti käytössä oleva muuntokerroin 1 kiintokuutiometri on 2,5 irtokuutiometriä haketta.

Kuormausmenetelmä	Olosuhteet	Karsimaton puutavara		Karsittu puutavara		Latvusmassa
		Havupuu	Lehtipuu	Havupuu	Lehtipuu	
		Kiintotilavuusprosentti, %				
Puhallus	Kesä	46	44	48	44	38
kuormatilaan	Talvi	47	48	49	48	38
Kuormaus kippaamalla	Kesä	39	41	39	41	38
tai kuljettimella	Talvi	43	44	43	44	38

Taulukko 1. Metsähakkeen ja -murskeen kiintotilavuusprosentit, kun mittaus tehdään kuljetuksen jälkeen (Luonnonvarakeskus 2017).

Kiintotilavuus on mittauskerän kehystilavuuden ja kiintotilavuusprosentin tulo. Ohjeen mukaan tulos ilmoitetaan 0,1 kuution tarkkuudella. Kehystilavuus saadaan ohjeen mukaan mittaamalla kuormatilan leveys, pituus ja korkeus senttimetrin tarkkuudella. Hake tasoitetaan yläreunaan nähden viiden senttimetrin tarkkuudella. Kehystilavuus saadaan pituuden, leveyden ja hakkeen pinnan korkeuden tulosta ja ilmoitetaan 0,1 kuution tarkkuudella. (Heikurainen ym. 2020, 22.)

Kuormainvaakamittauksessa puun paino punnitaan joko korjuun tai kuljetuksen yhteydessä. Puun painosta saadaan tilavuus Luonnonvarakeskuksen määrittelemien

tuoretiheyslukujen avulla. (Lindblad & Repola 2019, 3.) Puutavaran kaukokuljetuksen yhteydessä suoritettavat muutokset pitävät sisällään vain ainespuun muutokset. Eli energiapuulle niitä voidaan käyttää vain, mikäli energiapuu on laadultaan ainespuun kaltaista.

Energiapuuoppaan mukaisesti tapahtuvat muutokset pätevät ainoastaan lähikuljetuksen yhteydessä tehdyissä punnituksissa. (Heikurainen ym. 2020, 6.)

5 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön taustalla on melkein aina ongelma, joka tulisi ratkaista (Kananen, 2012, 13). Kananen (2012) mukaan kehittämistutkimus yhdistää kehittämisen ja tutkimuksen syklisessä prosessissa. Kehittämistutkimus ei itsessään ole oma erillinen tutkimusmenetelmä, vaan ryhmä erilaisia tutkimusmenetelmiä, jolloin puhutaan monimenetelmäisestä tutkimusotteesta (Kananen 2012, 19).

Syy kehittämiselle lähtee tarpeesta muuttaa jotakin olemassa olevaa hiukan parempaan suuntaan. Kehittämiskohteena voi olla lähes mikä vaan, mihin voidaan vaikuttaa, esimerkiksi prosessi, toiminto tai tuote (Kananen 2012, 21). Jotta voidaan kehittää, on syytä selvittää lähtötilanne. Tässä opinnäytetyössä tarve kehittämiselle lähti siitä, kun Keuruun Energiatekniikalla oli tarve kartoittaa nykytila selvittämällä nykyisellä toimintamallilla hakkeen kuljetuksesta syntyvät kustannukset, jotta saataisiin selville, olisiko toimintamalliin tarvetta tehdä muutoksia. Toisena tarpeena oli löytää sopiva varastonhallintajärjestelmä helpottamaan energiapuunostoa, hankintaa ja inventaariota.

Kehittämistutkimus nousi parhaaksi tavaksi tälle opinnäytetyölle, sillä kehittämistutkimuksella ei pyritä yleistämään vaan tutkimustuloksena saadaan muutos siihen kyseiseen tilanteeseen, jota on tutkittu (Kananen 2012, 43). Sama pätee tähän opinnäytetyöhön, sillä työn tarkoituksena ei ole hankkia yleistettävää tietoa vaan ainoastaan löytää ratkaisuja kyseisen yrityksen ongelmiin.

6 Tutkimustulokset

6.1 Toimintamallit ja kustannukset

Työssä lähdettiin selvittämään hakekuljetuksista syntyviä kuluja. Tähän tarkasteluun otettiin vuodet 2016–2019 (joissain tapauksissa vasta 2017), jotta otannasta saataisiin riittävän luotettava. Samalla nähtäisiin, onko vuosien välillä havaittavissa suuria eroja, ja mistä ne johtuisivat. Kuluja selvitettiin 2016 vuonna käyttöön otetusta sähköisestä kirjanpitojärjestelmästä, josta löytyivät yrityksen kaikki laskut. Tämä rajasi otannan vain vuoden 2016 jälkeiselle ajalle. Laskujen läpikäyminen oli suuri operaatio, koska järjestelmää ei ole tehty niin, että tietyn osa-alueen laskut olisi kohdistettu ja kerätty samaan paikkaan. Laskut jouduttiin siis käymään suurelta osin läpi ja erittelemään hakkeenkuljetuksesta syntyvät kulut manuaalisesti. Työmäärän arvioinnissa suuria haasteita aiheutti se, että työtunteja ei ollut eritelty riittävän tarkasti juuri hakkeen ajon ja siihen liittyvien töiden osalta. Hakkeenajon osalta työtunnit kyllä saatiin selville ajopäiväkirjoista, mutta esimerkiksi kaluston oman kunnossapidon osalta ei saatu riittävän tarkkoja tietoja ja siksi ne jätettiin huomiotta. Kaluston oman kunnossapidon osuutta arveltiin kuitenkin melko mittavaksi ja näin päädyttiin ratkaisuun, että tulevaisuudessa siitä pidetään tarkempaa kirjaa.

Ajoja selvitettiin ajopäiväkirjoista, joita oli täytetty kuljetusten yhteydessä paperisille lomakkeille. Niistä saatiin selville päivämäärät, työtunnit, kilometrimäärät, kuljetetun hakkeen määrä sekä polttoainekulut. Ajopäiväkirjojen tiedot syötettiin Excel-taulukoon, jotta tietojen analysointi helpottuisi. Näihin taulukkoihin syötettiin kaikki kuorma-autoilla ajettut kuljetukset siten, että ajot pystyttiin erittelemään kuljetustehävän mukaan. Nämä tiedot analysoitiin ja saatiin kolmen vuoden ajalta tiedot, joita pystyttiin käyttämään kulujen laskemisessa (liite 1). Oleellisina tietoina pidettiin työpäivien, työtuntien, kuormien, hake- ja kilometrimääriä. Näiden perusteella pystyttiin laskemaan ajettu kilometrit työtunnissa, keskimääräiset kuormakoot, keskikuljetusmatkat ja työtuntien ja hakemäärien väliset suhteet.

Selvitys tehtiin kaikkien hakekuljetusten osalta, ja se piti sisällään myös hakkeen toimitukset pienkäyttäjille sekä pienen varmuusvaraston ylläpidon. Näin tehtiin, jotta otanta saataisiin mahdollisimman suureksi. Loppujen lopuksi kustannuslaskentaan sisällytettiin kuitenkin vain omalla lämpökeskuksella kuluvan hakkeen määrä, jossa käytettiin analyysin tuottamia kertoimia. Tämä johtui siitä, että oman lämpökeskuksen hakkeentoimitus on päätoimintaa, johon pientoimitukset ovat vain pieni lisä. Ajatuksena oli, että mikäli oman lämpökeskuksen hakkeen toimituksen toimintatapaa muutetaan, jäisivät pientoimitukset kokonaan pois. Luotettavuuden arveltiin pysyvän silti riittävänä laskennan suorittamiseen.

Työssä lähdettiin selvittämään neljää eri vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto oli nykyinen toimintamalli, jossa hakekuljetukset hoidettiin kahdella vaihtolavakuorma-autolla. Käytössä oli kaksi konttia tilavuuksiltaan 29 m^3 ja $28,5 \text{ m}^3$. Toinen autoista oli kantavuudeltaan 17000 kg ja toinen 25000 kg, muuten ne olivat hyvin saman tyyppiisiä. Nykyisten konttien tilavuudet eivät kuitenkaan hyödynnä toisen isomman auton koko kantavuutta. Toinen laskentavaihtoehto oli samankaltainen ensimmäisen kanssa, mutta siinä isommalla kantavuudella olevan auton kontiksi ajateltiin kantavuuden rajoissa isompaa konttia. Näin kuljetuksen tehokkuutta saataisiin nostettua. Pienemmällä kantavuudella ollut auto jätettiin huomiotta tässä vaihtoehdossa. Kolmannessa vaihtoehdossa lähdettiin siitä ajatuksesta, että perustetaan terminaali, johon hakkeen raaka-aine kuljetettaisiin puuautolla rankana ja haketettaisiin terminaalissa. Myös edelleen tarvittaisiin vaihtoehdon kaksi mukainen kuorma-auto isommalla kontilla, mutta sillä kuljetettaisiin ainoastaan valmis hake lämpölaitokselle. Neljäs vaihtoehto oli ulkopuolinen urakoitsija, joka toimittaa omaa haketta suoraan lämpölaitokselle ja maksu tapahtuu toimitetun tavarahan mukaan. Tässä vaihtoehdossa oma hakkeen hankinta lopetettaisiin ja kuorma-autoista luovuttaisiin.

Ensimmäiseksi laskettiin nykyisen toimintamallin mukaiset kulut, joka piti sisällään kahden kuorma-auton kiinteät kulut, juoksevat kulut ja työmäärän. Lisäksi laskentaan lisättiin hakkeen raaka-aineen hinta ja haketuksen kulu, jotta saatiin vertailukelpoinen tulos, esimerkiksi hakkeen ostamiselle laitokselle. Laskennassa käytettiin vuoden 2019 mukaisia tietoja. Pääomakustannuksia ei huomioitu, koska autojen ajateltiin jo

maksaneen itsensä takaisin vuosien varrella. Lisäksi kesken työtä saatiin tieto lämpö-
laitoksen sopimuksen päätyemisestä kahden vuoden päästä, joten arveltiin, että ny-
kyisellä kalustolla selvittäisiin. Laskennan tulokset näkyvät työn liitteissä (liite 2).

Toinen vaihtoehto laskettiin suuremman kantavuuden omaavan auton mukaan. Au-
ton kiinteät kulut laskettiin samalla tavalla kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa ja
muuttuvat kulut laskettiin keskikuljetusmatkan ja kilometriä per tunti kertoimien
avulla, joiden ajateltiin pysyvän hyvin samoina. Kuormakoon kasvu pienensi koko-
naiskilometrimäärää ja työn määrää. Kontin koko määriteltiin kantavuuden mukaan
(Taulukko 2). Tässä tapauksessa toista autoa ei tarvittaisi ja se myytäisiin autojen ku-
lujen minimoimiseksi. Lisäksi ajopäiväkirjoja tarkastellessa ajoista pääteltiin, että toi-
nen auto ei olisi välttämätön. Huomattiin, että autoilla ei ajeta yhtäaikaisia ajoja niin
paljon etteikö niitä pystyisi hoitamaan ajojärjestelyin. Toisen auton myynnin ajateltiin
kattavan isomman kontin hankinnan ja näin kontin hankinnasta syntyviä pääomaku-
luja ei ole huomioitu. Laskennan tulokset näkyvät työn liitteissä (liite 3).

Sarake1	Puuauto	BZF-494	HZK-559
Suurin sallittu bruttopaino kg	76000	17000	25000
Kuorma-auto tyhjäpaino kg	27000	10000	12000
Nettokuorma kg	49000	7000	13000
Tuoretiheyspaino kg/m ³	750	600	600
kiintokuutioita kuormassa	65.3	11.7	21.7
Irtokuutiota kuormassa	163.3	29.2	54.2

Taulukko 2. Kuljetuskaluston maksimikantavuudet

Taulukon 2 tuoretiheyspainoina on käytetty energiapuun mittausoppaan mukaisesti
kosteudeltaan alle 40 % puuta, ja näin on saatu kuljetuskaluston maksimikapasiteetti
selville. Puuautolla on käytetty korkeampaa lukemaa, koska mikäli puita siirrettäisiin
ne täytyisi siirtää tuoreena riittävän tarkan mittaustuloksen saamiseksi.

Kolmannessa vaihtoehdossa laskettiin tilannetta, jossa hakerangat kuljetettaisiin
puuautolla energiapuuterminaaliin. Kuormakokona käytettiin urakoitsijan arviota
55m³, joka rajoittuu fyysisistä mitoista, eikä kantavuudesta. Sitten rangat haketta-

siin tarpeen mukaan ja kuljetettaisiin hake lämpölaitokselle. Terminaali perustettaisiin pienen matkan päähän lämpölaitokselta, joten edelleen tarvittaisiin kalustoa siirtämään valmis hake. Tämä otettiin huomioon laskennassa, sekä lisäksi terminaalin ylläpidosta syntyvät kustannukset. Terminaalin paikkaa selvitettiin lämpölaitoksen läheisyydestä sekä lähialueilta. Aluksi etsittiin pelkästään asfalttipohjaisia kenttiä, mutta koska sellaisia ei löytynyt yhtään, lisättiin hiekkapohjaiset kantavat kentät myös selvityksen piiriin. Kentän vaatimuksena oli ehdottomasti ympärivuotinen käyttömahdollisuus. Haasteita aiheutti paikan logistinen sijainti, koska toivotulta etäisyydeltä ei löytynyt juurikaan vaihtoehtoja. Myös terminaalin vaatima tila karsi pois kaikki pienimmät kenttävaihtoehdot. Minimivaatimuksena kentän koolle pidettiin noin 2000m² suuruista pinta-alaa. Tämän lisäksi myös kentän muoto vaikutti soveltuvuuteen, parhaana mahdollisuutena pidettiin suorakaiteen muotoista aluetta. Lisäksi terminaalia ei haluttu liian lähelle asutusta toiminnasta aiheutuvan meluhaitan vuoksi, joka rajoitti myös tilannetta, koska Vilppulan taajama oli suhteellisen lähellä. Kaikesta huolimatta sopiva alue löytyi noin 10 kilometrin etäisyydeltä lämpölaitoksesta. Hinnaksi esiselvityksen perusteella terminaalille arvioitiin noin 500 €/kk. Laskennan tulokset näkyvät työn liitteissä (liite 4).

Puuautoa käytettäessä tulisi myös mittausmenetelmää vaihtaa luovutusmittauksessa myyjän ja ostajan välillä. Käytössä olevalla tavalla energiapuun määrä mitataan haketuksen yhteydessä kehystilavuuden mukaan. Asiakkaalle maksetaan hinta syntyneiden irtokuutioiden mukaan. Mikäli asiakas haluaa, on hinta laskennallisesti muutettu kertoimia käyttämällä kiintokuutioita kohden. Tämä mittautapa ei kuitenkaan olisi mahdollista käytettäessä puuautoa kaukokuljetuksissa. Lisäksi paino-otantamittauksella suoritettava mittaus ei ohjeen mukaan ole mahdollista kuin lähikuljetuksen yhteydessä.

Neljäs laskentavaihtoehto perustui ulkopuoliseen hakkeentoimittajaan, joka toimittaisi omatoimisesti valmista haketta lämpölaitokselle. Varaston fyysinen koko karsi toimittajavaihtoehtoja melko runsaasti ja vain toimittajat, jotka eivät käytä rekkaa toimituksissa ilmaisivat halukkuutta toimittaa haketta. Toisin sanoen rekalla toimittavat yritykset toimittavat haketta ainoastaan, mikäli yhdistelmän kokonaistilavuus voidaan toimittaa yhdellä kerralla. Joidenkin rekkayhdistelmien koko oli jopa 150 i-m³,

joten sellaisen määrän toimittaminen hyötytilavuudeltaan vain 90 i-m³ kokoiseen varastoon oli este. Esimerkkiyrityksen kanssa oli tehty aikaisemmin pieni koe hakkeen toimituksesta syksyllä 2019 ja sen perusteella yhteistyön arveltiin toimivan. Myöskään pienen varastokoon ei arveltu tuottavan ongelmia. Tässä vaihtoehdossa on huomioitu vain hakkeen hinta €/i-m³ ja kerrottu se arvioidulla irtokuutiomäärällä. Ulkopuolinen urakoitsija huolehtisi siis itse kuljetuksesta, energiapuun hankinnasta ja hakkeuksesta. Laskennan tulokset näkyvät työn liitteissä (liite 5).

6.2 Hankinta

Nykytilanteessa tyypillinen ostotapahtuma tapahtui puhelimitse jo asiakkaana olevan hakerangan tarjoajan tai uuden asiakkaan kanssa. Kuitenkin useimmiten kävi niin, että myyjä tarjosi hakerankaa ostettavaksi. Monesti rankakasa hyväksyttiin ostettavaksi myyjän kuvailun perusteella ilman paikan päällä käyntiä ja energiapuukasan laadun varmistamista. Tämä toimintatapa ei kuitenkaan tarjonnut realistista kuvaa tarjotun energiapuukasan laadusta tai määrästä.

Ostotapahtuman kehittämisen tueksi haluttiin selvittää tämänhetkisen hakkeen kuluista suhteessa tuotettuun lämpöön, josta pystyttäisiin rakentamaan perusteltu malli raaka-aineen hinnoittelulle. Hinnoittelu tapahtui jonkinlaisella laatuskaalauksella, mutta ei perustunut yhtenäiseen ohjeeseen. Suurimpana ostotapahtuman kehityksen tekijänä kuitenkin pidettiin laadultaan huonojen energiapuukasojen ostamisen välttämistä, joita ei pystynyt käyttämään pakkasen aikaan eli polttoaine oli laadultaan kesäaikaista.

Osasta energiapuukasoista pystyy sanomaan ulkonäön perusteella sen, onko raaka-aine laadukasta vai ei. Hankaluutena asiassa on kuitenkin se, että energiapuukasa voi odottaa käyttöönottoa jopa pari vuotta, joten tilanne käyttöönottaessa voi olla aivan eri kuin siinä tilanteessa, kun puut on luvattu ostaa. Tällaisen asian tarkastelulle ja mittaamiselle ei tällä hetkellä yrityksellä ole juurikaan mitään suoranaista teknistä mittausta vaan se tapahtuu usein ostohenkilön kokemuksen ja arvion perusteella. Lisäksi havaintojen perusteella arveltiin, että selkeä ohje energiapuun toimittajille,

josta näkyy laadun vaikutus ostohintaan, motivoisi energiapuun toimittajia panostamaan laatuun. Kokemuksen perusteella pitkäaikaisten energiapuutoimittajien kohdalla neuvot olivat jo parantaneet laatua, mutta paperisen ohjeen uskottiin helpottavan asiaa. Lisäksi sen perusteella uskottiin olevan helpompaa perustella realistisempi hinta, laadun mukaan.

Hankinnan kehittämiseen lakattiin keskittymästä, koska työtä tehdessä saatiin tieto lämmöntoimituksen sopimuksen päättymisestä syksyllä 2022. Perusteena kehitystyön lakkautukselle oli, että energiapuuta arveltiin olevan jo niin paljon ostettuna tai sovittuna ostaa, että tällainen kehitystyö ei ehdi vaikuttamaan enää lämmöntoimitusjakson aikana. Työtä jatkettiin sen osalta, että olemassa olevat varastot käytiin läpi, arvioitiin ja dokumentoitiin niin, että saataisiin mahdollisimman realistinen kuva energiapuukasojen laadusta ja määrästä. Lisäksi osalle kasoista tehtiin päätös peitteilystä, jotta turvattaisiin laadultaan riittävä hake pakkaskuukausille.

6.3 Karttaohjelman valinta

Jotta varastonkiertoa saataisiin johdonmukaistettua ja pidettyä se helposti ajan tasalla, nousi tietokonepohjaisen ohjelman käyttöönotto esille pohdinnoissa. Koska varastot sijaitsevat usein erilaisissa maastoissa, alettiin pohtia, olisiko syytä miettiä ratkaisua, jossa sekä varastonhallinta että kartta yhdistyisivät.

Kartan arveltiin helpottavan visuaalista havainnointia ja logistiikan suunnittelua. Lisäksi ohjelman täytyisi olla sellainen, että se kulkee helposti mukana, jotta tiedot tulee päivitettyä järjestelmään myös tien päällä ollessa. Ongelmana nykyisellä systeemillä oli, että kaikki varastojen tiedot eivät päätyneet mihinkään rekisteriin tai karttaan ja joitakin varastoja jäi pitkiksi ajoiksi odottamaan käyttöä. Joskus jotkut varastot jäivät jopa näkymään varastojen saldossa, vaikka kyseinen varasto oli jo tullut käyttöön.

Karttaohjelmien selvitys aloitettiin selvittämällä metsätoimialan kuljetuksien tukena käytettäviä ja olemassa olevien ohjelmien käyttömahdollisuuksia. Tällaisia ohjelmia oli ainakin:

- LogForce™
- AutoGis
- LogPro

LogForce™-ohjelmistopalvelu on tarkoitettu metsäalan kuljetusyrittäjille erilaisten bioraaka-aineiden kuten hakkeen tai pyöreän kuljetusten ohjaamiseen (Logforce. n.d.). Ohjelmistoa ei kuitenkaan saa standalone-versiona vaan se vaatii urakointisopimuksen jonkun ohjelmistoa käyttävän puuyhtiön kanssa (Hakala 2020). UPM:n käyttämää hyvin vastaavanlaista AutoGis-ohjelmaa koski ohjelmia asentavan yrityksen mukaan samat rajoitukset eli sitä ei pysty käyttämään ilman urakointisopimusta kyseiselle yhtiölle (Mäkinen 2020). Käytännössä siis tässä tapauksessa sopimuksen puuttuminen metsäyhtiöiden kanssa karsi heidän käyttämien ohjelmien käytön työn ulkopuolelle eikä vaihtoehtoja selvitetty sen syvemmin.

LogPro-ohjelma oli Piimega-nimisen yhtiön tarjoama varastohallintaohjelma. Piimegan liiketoimintajohtajan Antti Miettusen kanssa pidetyssä palaverissa todettiin, että ohjelma on mahdollista saada myös ilman urakointisopimuksia puuyhtiön kanssa ja toimii näin myös itsenäisesti toimivan yrityksen tarpeisiin. (Miettunen 2020.) Kuvauksen mukaan ohjelma vaikutti asialliselta ja työhön soveltuvalta, mutta ohjelman löytymisen työn loppumetreillä, jätti sen muuten tämän työn ulkopuolelle.

Vaihtoehtoja siirryttiin selvittämään vapaasti käytettävien ilmaisten karttaohjelmien joukosta. Ensimmäisenä käsitteilyyn otettiin karttaohjelmat kuten Applen kartat ja Google Maps. Ohjelmien karttoja pidettiin hyvinä ja mikäli haluttiin etsiä tiettyä osoitetta, osoittautui karttojen hakutoiminto tähän hyväksi ominaisuudeksi. Olemassa olevat energiapuukasat eivät kuitenkaan usein sijaitse missään tietyssä osoitteessa, vaan esimerkiksi metsäautotiellä ja näin ollen varastojen sijainnin lisääminen manuaalisesti haluttiin mahdolliseksi. Tämäkin oli mahdollista edellä mainituissa karttaohjelmissa, mutta jälkikäteen tietojen muokkaus osoittautui epäkäytännölliseksi. Lisäksi varastojen sijaintien jakaminen tai näkymän saanti jollekin muulle laitteelle kuin laitteelle, jolla lisäys tehtiin, huomattiin olevan kömpelöä. Edellä mainittuja karttaohjelmia ja niiden käyttöä ei koettu helpottavaksi tekijäksi, joten alettiin kartoittaa muita mahdollisuuksia.

Tarjolla oli erinäinen määrä karttaohjelmia, jotka oli rakennettu luonnossa liikku-
mista, retkeilyä tai metsästystä silmällä pitäen. Monessa ohjelmassa pientä lisämak-
sua vastaan ohjelmien ominaisuuksia sai lisättyä ja laajennettua. Koekäyttöön valikoi-
tui Karttaselaimen tarjoama kartta, joka oli ilmainen ja johon lisämaksua vastaan sai
lisää ominaisuuksia, kuten paikkojen tallentamisen usean käyttäjän välillä ja offline
kartat (Karttaselain 2020). Tallennettuja paikkoja käytettiin varastojen tietojen tallen-
tamiseen, vaikka ohjelmassa ei varsinaista varastohallintajärjestelmää ollutkaan. Li-
säksi ohjelman valikoitumiseen testikäyttöön vaikutti saman yrityksen tarjoama pal-
velu metsävaratietojen liittämistä karttaan. Tästä arveltiin olevan hyötyä, mikäli
yrityksen toimialaa laajennettaisiin energiapuiden korjuuseen ja tekemiseen met-
sästä. Ohjelmasta oli saatavilla määrääjäksi koekäyttöön täysversio ilman kustannuk-
sia, mikä madalsi kynnystä ohjelman testiin ottamiseen. Myös metsävaratiedot sisäl-
tyivät kokeiluun. Positiiviset kokemukset koekäytöstä sekä helppokäyttöisyys ja edul-
linen hinta vaikuttivat siihen, että muiden ohjelmien selvitys lopetettiin ja keskityttiin
varastojen tallentamiseen Karttaselaimen karttapohjaan.

Myöhemmin kuitenkin törmättiin toisaalla juuri energiapuun varastohallintaan kehi-
tettyyn ohjelmaan Sirppi Energia, joka otettiin myös koekäyttöön. Kartasta saa visu-
aalisen näkymän varastojen sijainneista sekä klikkaamalla varastoa sen tiedot näky-
viin. (Sirppi Energia käyttöohje. n.d.)

7 Johtopäätökset

Nykyisen toimintamallin kustannukset saatiin selvitettyä. Laskennan apuna käytettyä
taulukkoa voi jatkossa käyttää laskurina kustannuksia laskiessa. Tulosten perusteella
toiminnan muuttamiselle löytyi myös taloudellinen kannustin.

Yrityksen toimintatapoihin ja olemassa oleviin järjestelyihin parhaiten vastaisi vaihto-
ehto kaksi, jossa vain toinen kuorma-auto säilytettäisiin ja hankittaisiin isompi kontti.
Kyseinen vaihtoehto on kokonaisedullisin (liite 6) ja lisäksi asiaa puoltaa myös se, että
osa kuluista on työntekijäkuluja, joilla ajateltiin olevan positiivisia vaikutuksia pitää

työntekijöitä töissä. Myös seikka, että kuorma-autoa tarvitaan välillä yrityksen muuhun toimintaan puoltaa vaihtoehto kahta. Näitä seikkoja pidettiin suurempina kuin sitä, että ulkopuolisen urakoitsijan käyttäminen todennäköisesti vähentäisi yllätyksiä kulurakenteeseen. Laskennassa on huomioitu hyvin minimaalisesti minkäänlaisia muuttujia, esimerkiksi kuorma-auton hajoamista.

Koska toimitettavat hakemäärät ovat suhteellisen pieniä, nostavat kiinteät kulut nopeasti hintaa toimitettua yksikköä kohden. Tämä jättää vaihtoehdon kolme kokonaan pois harkinnasta, koska terminaalien kustannukset näillä hakekuutioilla nostavat kuutiointihintaa liikaa. Tämän lisäksi myöskään omasta kuljetuskalustosta ei voida luopua kokonaan, sillä hake täytyisi kuitenkin siirtää terminaalista edelleen lämpölaitokselle jollain tavalla. Energiapuun siirto on kuitenkin huomattavasti edullisempaa puuautolla siirrettäessä, kuin hakkeen siirto omalla kuljetuskalustolla. Mikäli toimitettava hakemäärä olisi suurempi, puuauto voisi nousta uudelleen harkintaan.

Puuauton käyttäminen toisi myös niin suuren rakenteellisen muutoksen sekä oston, että mittauksen osalta, että siihen ei ryhdytty näin pienessä ajassa, sopimusta ollessa jäljellä enää pari vuotta. Energiapuun laatu täytyisi ohjata vahvasti samaan suuntaan ainespuun kanssa, jotta se pystyttäisiin kuljettamaan puuautolla. Tämä poistaisi käytöstä lähes kokonaan puuaineksen, joka on laadultaan muuhun metsäteollisuuteen kelpaamatonta ja näin ollen hyvä hyödyntää energiantuotannossa. Jotta energiapuun luovutusmittaus puun myyjän ja ostajan välillä saataisiin energiapuun mittauksen lainsäädännön mukaiseksi, se pitäisi joko olla mitattu kuten ainespuu, punnittu metsäkuljetuksen yhteydessä tai mitattu pinomittauksena. Vaihtoehtona olisi myös pitää se terminaalissa erillään omana eränä ja mitata vasta haketuksen yhteydessä kehystilavuutta käyttäen. Mutta terminaalien käytettävyyttä kärsisi suuresti, mikäli eri erät pitäisi pitää erillään. Vaikka kyseisille toimintatavoille on määritelty ohjeet, arveltiin, että olemassa olevat asiakkaat eivät pitäisi uusista mittausmenetelmistä.

Varastonhallintajärjestelmien löytäminen oli erittäin haasteellista. Kaikesta huolimatta kaksi järjestelmää otettiin koekäyttöön. Todennäköisesti ohjelma, joka käytössä todetaan toimivammaksi jää myös tulevaisuudessa käyttöön. Varastotilanne on

jo nyt huomattavasti kootumpi ja selkeämmin todettavissa. Kahta eri järjestelmää ei ole tarkoituksenmukaista pitää toiminnassa koekäyttö vaiheen jälkeen.

Energiapuiden ostojen osalta päädyttiin ratkaisuun, jossa olemassa olevat energia-puun toimittajat käytiin läpi ja varastot kirjattiin varastohallintajärjestelmään. Uusia varastoja ei tutkimushetkellä ole tarvetta ostaa. Ostotapahtuman kehitys ja ohjeistus tulisi uudelleen ajankohtaiseksi, mikäli löydettäisiin jokin uusi vastaavanlainen hakkeentoimituskohde.

8 Pohdinta

8.1 Ajatuksia

Toiminnasta syntyvistä kustannuksista voidaan päätellä, että toiminnan volyyymi on suurena haasteena. Kustannukset tahtovat jäädä korkeaksi kuljetettua yksikköä kohden. Mikäli hakemäärät olisivat suurempia, putoaisi kiinteiden kustannusten osuus kuljetettua yksikköä kohden. Myös kaluston tyyppiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota, koska vaikka pääomakustannukset ovat pienet, niin jo pelkät muuttuvat kustannukset jäävät liian korkealle vertailua tehdessä. Eritoten huomiota pitäisi kiinnittää kuormakoon kasvattamiseen. Kuljetetun hakkeen määrää pitäisi saada nostettua suhteessa ajettuihin kilometreihin.

Kaikissa tapauksissa toinen kuorma-autoista pitäisi hävittää. Toisen kuorma-auton tarpeellisuus nousee ainoastaan esille toimintavarmuudessa, sillä kyse on kuitenkin hakkeen tai lämmön-toimittamisesta, joka ei saa katketa missään tilanteessa. Toisaalta pienimuotoisella suunnittelulla ja yhteistyöverkoston parantamisella tämänkin ongelman pääsee kiertämään ilman toista omaa autoa.

Varastohallintajärjestelmien osalta haasteellista tuntui olevan kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen. Koekäyttöön valikoitujen ohjelmien kehittäjät tuntuivat olevan

avuliaita ja kiinnostuneita ohjelman kehityksestä ja mielissään mahdollisesta käyttöönotosta. Käytyjen keskustelujen perusteella kuitenkin kävi ilmi, että asiakaskunnan löytäminen on vaikeaa. Asiaa en ihmettele sen perusteella, kuinka vaikeaa ohjelmia oli löytää. Kumpaankin koekäyttöön valikoituun ohjelmaan törmättiin sattumalta työn ulkopuolelta, eikä varsinaisen selvitystyön yhteydessä.

Vaihtoehtoja vertaillaessa esille nousi pohdintaan myös yrityksen muun toiminnan suunta tulevaisuudessa. Tällä hetkellä hakkeen toimituksiin sitoutuva työ tuottaa haasteita sovittaa sitä yhteen yrityksen muun toiminnan kanssa. Mutta mikäli hakemäärät saataisiin nostettua paljon suuremmaksi, voisi se luoda edellytyksiä sille, että keskityttäisiin vain hakkeen toimituksiin.

8.2 Tutkimuksen luotettavuus

Työtä kirjoittaessa huomasin haasteen, joka syntyy tilanteesta, jossa kirjoittajalla on jo ennestään tietoa aihealueesta. Koska olin jo kirjoitusprosessin alkaessa työskennellyt alalla useamman vuoden, koin välillä haastavaksi minulle lähes itsestään selvien asioiden johdonmukaisen käsittelyn.

Työn luotettavuutta pidetään nykytilanteen osalta hyvänä, sillä luvut laskennan pohjalle perustuvat kirjanpidossa oleviin kuluihin. Lisäksi vaihtoehtoisten toimintatapojen laskennassa käytetyt luvut perustuivat tarjouskyselyihin tai eri yritysten veloittamiin tunti- tai kuutiohintoihin. Työn määrän arvioissa käytettiin ajopäiväkirjoista saatuja kertoimia ja niiden uskottiin olevan riittävän luotettavia laskennan suorittamiseen.

Lisäksi yleinen maailmantilanne ja valloillaan oleva covid-19 virus vaikutti kirjallisuuslähteiden hyödyntämiseen työssä ja rajasi vaihtoehdot käytännössä sähköiseen materiaaliin.

8.3 Jatkotutkimustarpeet

Yritykselle voisi tehdä markkinaselvityksen lähialueiden lämmönmyyntikohteista tai hakkeentoimituskohteista. Uudet kohteet voisivat lisätä myös laitosten kysyntää ja hakkeentoimituksen liikevaihtoa. Tällä hetkellä vallitseva tilanne on päättymässä ja tästä tutkimuksesta saadut hyödyt jäämässä pieniksi, mikäli uusia kohteita ei saada tilalle.

Lisäksi varastonhallinta- ja karttaohjelmien markkinatutkimuksella voitaisiin lisätä ohjelmien tunnettavuutta ja lisätä käyttömääriä. Kuten aikaisemmin todettiin, ohjelmien löytäminen tapahtui sattuman kautta eikä varsinaisen selvitystyön pohjalta. Uskon kuitenkin, että kyseisille ohjelmille olisi kysyntää alalla toimivien yritysten piirissä.

Lähteet

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Viitattu 4.12.2020. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Hakala, S. 2020. Palvelupäälikkö. LogForce™. Puhelinhaastattelu 20.4.2020

Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Viitattu 4.12.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160305/trm%202006_8_Selvitys%20energiapuun%20mittauksen%20j%C3%A4rjest%C3%A4misest%C3%A4%20ja%20kehitt%C3%A4misest%C3%A4.pdf

Heikurainen, M., Routa, J., Rintala, P., Mäkelä, M., Saarentaus, T., Immonen, K., Sirviö, J., Jaakkola, S., Palojärvi, K., Laiho, J., Hongisto, T. 2020. Energiapuun mittaus. Viitattu 4.12.2020. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/545654/Energiapuun_mittaus_PMNK_suositus_10032020.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi: Yhteenveto aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista. VTT:n raportteja. Viitattu 7.12.2020. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2009/VTT-R-07261-09.pdf>

Huttunen, R. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 7.12.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEM-jul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Karttaselain. 2020. Karttaselaimen verkkosivusto. Viitattu 7.12.2020

<https://www.karttaselain.fi/plus>

L 414/2013. Laki puutavaran mittauksesta. Viitattu 7.12.2020.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130414>

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

Viitattu 7.12.2020.

https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/laatuhaakkeen_tuotanto-opas_2.painos.pdf

Lindblad, J., Jahkonen, M., Laitila, J., Kilpeläinen, H., Sirkiä, S., & Repola, J. 2014. Metsäbiomassan määrän ja laadun mittaus. Julkaisussa Bioenergiaa metsistä - Tutkimus- ja kehittämisohjelman keskeiset tulokset. Metlan työraportteja. Toim. A. Asikainen, H. Ilvesniemi & T. Muhonen. Metlan työraportteja 289. Viitattu 7.12.2020.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp289-20.pdf>

Lindblad, J. & Repola, J. 2019. Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. Metsätieteen aikakauskirja 2019-10101. Suomen Metsätieteellinen Seura. Viitattu 7.12.2020.

<https://metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article10101.pdf>

Logforce. N.d. Palvelun LogForce™ kuvaus yrityksen verkkosivulta. Viitattu 7.12.2020.

<https://www.logforce.fi/palvelun-kuvaus/>

Luonnonvarakeskus. 2017. Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä murtoluvuista. Liite 3: Metsäntutkimuslaitoksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista annetun Metsäntutkimuslaitoksen määräyksen liitteen muuttamisesta. Nro 2/2013. Viitattu 7.12.2020.

[https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/03/Luonnonvarakeskuk-](https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/03/Luonnonvarakeskuksen_maarays_puutavaran_mittaukseen_liittyvista_muuntoluvuista_FI_22122017.pdf)

[sen_maarays_puutavaran_mittaukseen_liittyvista_muuntoluvuista_FI_22122017.pdf](https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/03/Luonnonvarakeskuk-sen_maarays_puutavaran_mittaukseen_liittyvista_muuntoluvuista_FI_22122017.pdf)

Metsäalan ammattilehti. 2013. Viitattu 7.12.2020.

<https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a100=5551>

Metsäntutkimuslaitos. 2014. Infokirje 30.6.2014. Viitattu 7.12.2020.

<https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/03/energiapuunmittaus-ohjekirje-30062014-1.pdf>

Miettunen, A. 2020. Liiketoimintajohtaja. Piimega. Teams-haastattelu 8.12.2020.

Mäkinen, J. 2020. Vastaus kyselyyn AutoGis-ohjelman käytöstä. Sähköposti 19.11.2020.

Puun energiakäyttö. 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT) Luonnonvarakeskuksen www-sivuilla 28.5.2020. Viitattu 7.12.2020.

<https://stat.luke.fi/puun-energiakaytto>

Raitila, J., Virkkunen, M. & Heiskanen, V-P. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. VTT:n raportteja. Viitattu 7.12.2020.

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04524-14.pdf>

Saarinen, A. 2020. Toimitusjohtaja. Keuruun Energiatekniikka Oy. Haastattelu 20.4.2020.

Sirppi Energia käyttöohje. N.d. Sirppi Energia sovelluksen verkkosivut, käyttöohje. Viitattu 7.12.2020

<https://www.sirppi.fi/fi/energia-ohje/>

Ylitalo, E. 2019. Puun energiakäyttö. Julkaisussa Suomen metsätilastot. Toim. A. Peltola. Helsinki: Luonnonvarakeskus, 133–144. Viitattu 7.12.2020.

https://stat.luke.fi/sites/default/files/suomen_metsatilastot_2019_verkko2.pdf

Liitteet

Liite 1. Ajopäiväkirjojen yhteenveto vuosilta 2017-2019 (salassa pidettävä)

Liite 2. Nykytilanteen kokonaiskustannukset (salassa pidettävä)

Liite 3. Vain isompi kuorma-auto (salassa pidettävä)

Liite 4. Puuauto (salassa pidettävä)

Liite 5. Ulkopuolisen urakoitsijan haketoimitukset (salassa pidettävä)

Liite 6. Vertailu (salassa pidettävä)