

Ville Ruotsalainen

Vuodenajan ja varastopaikan vaikutus hakkeen energiasisältöön

Metsänhoitoyhdistys Keski-Savo

Opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma


Huhtikuu 2011



KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä
Tekijä Ville Ruotsalainen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Metsätalouden koulutusohjelma Metsätalous	
Nimeke Vuodenajan ja varastopaikan vaikutus hakkeen energiasisältöön		
Tiivistelmä <p>Energiapuun korjuu on ajankohtainen aihe ja energiapuuta korjataan nykyään enemmän kuin koskaan. Ilmaston muutoksen torjuminen tai vähentäminen energiapuulla tai muulla bioenergialla on yksi tulevaisuuden haasteista. Työssä käydään läpi energiapuunkorjuuseen ja varastointiin liittyviä seikkoja ja työn tutkimusosiossa tutkitaan varastopaikan vaikutusta energiasisältöön.</p> <p>Hakkeen energiasisältöön vaikuttavat useat tekijät. Kosteudella on suuri merkitys hakkeesta saatavaan energiamäärään. Tutkimustulosten perusteella varastopaikan ja kosteuden ohella myös useat muut tekijät vaikuttavat hakkeesta saatavaan energiamäärään.</p> <p>URN:NBN:fi:mamk-opinn201130895</p>		
Asiasanat (avainsanat) Hake, energiasisältö, vuodenaika		
Sivumäärä 27 s. + liitt.6 s.	Kieli Suomi	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn201130895
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Timo Antero Leinonen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Metsänhoitoyhdistys Keski-Savo	

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis April 6, 2011
Author Ville Ruotsalainen	Degree programme and option Degree Programme in Forestry	
Name of the bachelor's thesis The Effect of the Location of a Roadside Warehouse and the Season on the Energy Content of Wood Chips		
Abstract Harvesting wood for getting clean energy is very popular nowadays. Reducing or stopping global warming is a challenge of the future. One way to reduce global warming is to use renewable energy from forests, sun, water or wind. This thesis deals with storage and harvesting of energy wood. In the research part of this thesis the location of a roadside warehouse for energy wood and the season are studied and how they affect the energy content of wood chips. Many different factors affect the energy content of wood chips. To the energy content of wood chips affect many different things. The moisture of chips is not the only thing that affects the energy content of wood chips.		
Subject headings, (keywords) Wood chips, energy content, season		
Pages 27 p. + app. 6 p.	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn201130895
Remarks, notes on appendices No notes		
Tutor Timo Antero Leinonen	Employer of the bachelor's thesis Metsänhoitoyhdistys Keski-Savo	

SISÄLTÖ

KUVAILULEHDET

1	JOHDANTO	1
2	ENERGIAPUUNKORJUUKOhteET	2
3	ENERGIAPUUNKORJUUN VAIKUTUS YMPÄRISTÖÖN JA RAVINTEISIIN	
4	ENERGIAPUUSTA TEHTÄVÄT POLTTOAINETYYPIT	4
	4.1 Pilke	4
	4.2 Hake	4
5	ENERGIAPUUN VARASTOINTI	6
6	ENERGIAPUUHUN LIITTYVÄT TUET	9
7	ENERGIAPUUN KORJUUMENETELMÄT JA LAITTEET	10
	7.1 Yksinpuinkorjuu	10
	7.2 Kokopuukorjuu	10
	7.3 Joukkokäsittelykorjuu	11
	7.4 Korjuussa käytettävät koneet	11
8	PUUAINEN TERMISIÄ OMINAISUUKSIA.....	13
	8.1 Puuaineen kosteus	13
	8.2 Puun lämpöarvo	14
9	ENERGIAPUUN MITTAUSMENETELMIÄ	15
	9.1 Pinomittaus	15
	9.2 Kosteuden mittaus.....	16
	9.3 Energiapuun ja hakkeen massan mittaus	17
	9.4 Energiahakkeen tilavuuden laskenta.....	17

10	ENERGIAPUUN MARKKINAT	18
11	TUTKIMUS	18
	11.1 Aineisto ja sen luokittelu	18
	11.2 Tutkimuksen taustat, tekeminen	19
	11.3 Tulokset.....	20
12	POHDINTA	24
	12.1 Tutkimustulosten analysointi	24
	12.2 Tutkimuksen luotettavuus	25
	12.3 Energiapuun tulevaisuus	25
	LÄHTEET	28
	LIITTEET.....	30
	LIITE 1. Hyvä varastopaikka. Stora Enso.....	30
	LIITE 2. Huono varastopaikka. Stora Enso.....	31
	LIITE 3. Hyvä varastopaikka. Heinäveden Aluelämpö Oy.....	32
	LIITE 4. Huono varastopaikka. Heinäveden Aluelämpö Oy	33
	LIITE 5. Koottu taulukko. Hyvä varastopaikka.	34
	LIITE 6. Koottu taulukko. Huono varastopaikka	35

1 JOHDANTO

Energiapuuta on korjattu iät ja ajat kotitalouksien lämmittämistä ja ruoanlaittoa varten. Nykypäivänä energiapuuta käytetään niin omakotitalojen kuin suurten teollisuuslaitosten energiantuotantoon.

Entisaikaan polttopuuksi kerättiin maahan pudonneita oksia. Kun tekniikka kehittyi, puita alettiin kaataa terävillä kivillä, joista siirryttiin ajan kuluessa kirveisiin ja sahoihin. 1900-luvulla käsikäyttöisistä sahoista on siirrytty moottorisahoihin ja nykypäivänä moottorisahaa käytetään edelleen, mutta niin aines- kuin energiapuunkorjuussa metsäkoneiden käyttö on lisääntynyt 1960-luvulta lähtien.

Energiapuunkorjuulla voidaan vaikuttaa myös ilmastonmuutokseen käyttämällä fossiilisten polttoaineiden ohella tai tilalla puuta tai muita luonnosta saatavia uusiutuvia biopolttoaineeksi kelpaavia aineita ja näin toimimalla voidaan pienentää päästöjä. Kansainvälisillä sopimuksilla on tarkoitus saada teollisuusmaita maailmanlaajuisesti vähentämään huomattavasti fossiilisten polttoaineiden aiheuttamia päästöjä ja näin ilmastonmuutos saataisiin pysäytettyä tai ainakin sitä voitaisiin hillitä. Suomen omista tavoitteista osa liittyy ilmastonmuutokseen eli fossiilisten polttoaineiden vähentämiseen ja osa tavoitteista liittyy metsänhoitoon eli taimikonhoito- ja harvennusrästien kuntoon saattamiseksi. Lisäksi kansallisella ja EU-tasolla voidaan nähdä pyrkimys kohti suurempaa energiaomavaraisuutta ja huoltovarmuutta. Valtion myöntämät tuet ovat yksi keino pyrkiä näihin tavoitteisiin.

Tämän opinnäytetyön on tarkoitus antaa informaatiota siitä, millä menetelmillä ja minkälaisilta alueilta energiapuuta tuotetaan, minkälaista tekniikkaa on kehitetty energiapuunkorjuuseen sekä minkälaisia varastointimenetelmiä energiapuuta varten on olemassa. Varastopaikkaa, sen sijaintia ja sijainnin vaikutusta hakkeen sisältämään kosteuteen tarkastellaan työn tutkimusosiossa.

Energiapuun käyttökohteeksi on perinteisen hakkeen ja pilkkeen lisäksi tulossa muun muassa biodiesel. Työssä käsitellään myös hakkeen ja pilkkeen valmista sekä pienessä määrin myös biodieselin valmistamista. Myös tämänhetkistä energiapuun markkinatilannetta on pyritty selvittämään.

2 ENERGIAPUUNKORJUUKOhteet

Parhaiten energiapuuta saadaan päätehakuilta, ensiharvennuksilta sekä taimikoista. Taimikosta energiapuuta korjattaessa suositeltava puuston vähimmäispituus on koi-vulla ja männyllä 8 metriä sekä kuusella 5 metriä. Poistettavan puuston runkoluvun tulisi olla vähintään 1 000 kpl/ha. (Energiapuunkorjuu 2009.) Liian riukuuntunut puusto on korjuukustannuksiltaan turhan kallista korjattavaksi energiapuuksi. Suositus onkin, että alle neljä senttimetriä läpimitaltaan olevat puut jätetään metsään. (Työelä-mäiltapäivä 2009.)

Nuorista kasvatusmetsistä saatava energiapuu on parhaimmillaan ja tuottavimmillaan ennen ensiharvennusta, varsinkin silloin, kun taimikonhoito on myöhästynyt. Yleensä harventamaton ja ylitieheä puusto korjataan koneellisesti. Riukuuntunut puusto on usein kooltaan liian pientä selluteollisuuden käyttöön, joten kannattavin vaihtoehto on tehdä siitä energiahaketta. (Energiapuunkorjuu iskee rytinällä metsätalouteen 2009.)

Päätehakuilta suurimmat energiapuukertymät saadaan kuusikoista, joista päätehakkuussa hakkuutähteitä muodostuu noin 20–30 % korjattavasta puustosta. Niillä päätehakkuukuviolla, joilla on havaittu sienituhoja, kuten tyvitervastautia tai kuusenjuuri-kääpää, voidaan nostaa myös kantoja sienituhon leviämisen estämiseksi. Muita hyviä kannonnostoalueita ovat myös tonttimaat ja teiden hakkuualat. (Energiapuunkorjuu 2009.)

3 ENERGIAPUUNKORJUUN VAIKUTUS YMPÄRISTÖÖN JA RAVINTEI-SIIN

Puustosta irtoavasta karikkeesta vapautuu maaperään ravinteita ja nämä ravinteet ovat tärkeitä puuston ravinnesaannissa. Karikkeella on vaikutusta maaperän viljavuuden lisäksi myös maaperän veden- ja ravinteidenpidätyskyvyn kannalta (Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset 2008).

Maaperän jälkeen suurimmat typpipitoisuudet ovat oksissa ja neulasissa. Toinen suuri ravinnepuutos energiapuunkorjuun yhteydessä on boorinpuutos kaskialueilla, joilla

metsät ovat palaneet useaan kertaan. Vanhoja kaskialueita ovat Pohjois-Savo ja osittain Etelä-Savo sekä Kainuu. Pahimmat boorinpuutosalueet ovat Siilinjärvi-Nilsiiäseudulla. Booria on oksien ja latvusmassan lisäksi paljon myös runkopuussa, kannoissa ja juurissa, jälkimmäisissä jopa enemmän kuin latvusmassassa ja oksissa. Energiapuunkorjuu vaikuttaisi myös maaperän fosforitasapainoon, koska neulasissa ja oksissa on typen ja boorin lisäksi myös fosforia (Energiapuun korjuuraportti 2008).

Puuston ravinnetarve on suurin ensiharvennuksen jälkeen, jolloin puusto käyttää hitaasti vapautuvat ravinteet tarkoin hyväkseen. Vastaavasti uudistushakkuun jälkeen istutettu tai kylvetty taimikko ei juuri tarvitse lisäravinteita, joita vapautuisi hakkuutähteestä. Kuitenkin vapautumatta jääneille ravinteille, kuten esimerkiksi puuston kasvun kannalta tärkeä typpi, olisi myöhemmin esimerkiksi ensiharvennusten jälkeen käyttöä (Energiapuun korjuuraportti).

Energiapuunkorjuun yhteydessä ravinteiden huuhtoutuminen lähivesistöihin yleensä vähenee, koska liukenevat ravinteet korjataan energiapuunkorjuun yhteydessä pois hakkuualalta. Nykysuositusten mukaan hakkuualalle, jolta korjataan energiapuuta, tulisi jättää hakkuutähteestä noin kolmannes ja hakkuutähteet tulisi korjata pois vasta neulasten varistua. Koska neulaset ovat nopeimmin hajoava osa puusta, ne vapauttavat sitomansa ravinteet nopeasti. Vastaavasti oksien hajoaminen vie useita vuosia ja ne vapauttavat ravinteita paljon hitaammin verrattuna neulasiin. Kantojen hajoamiseen menee vastaavasti useita kymmeniä vuosia ja ravinteet vapautuvat myös erittäin hitaasti (Energiapuun korjuuraportti).

Energiapuunkorjuu voi aiheuttaa myös maaperän happamoitumista, koska oksien ja kantojen mukana lähtee kaliumia ja magnesiumia. Mitä happamampi maaperä on sitä paremmin metallit ja raskasmetallit liukenevat veteen ja voivat kulkeutua ojia pitkin vesistöihin (Energiapuun korjuuraportti 2008).

Energiapuuta korjattaessa ajokertoja tulee useita ja ajourat tiivistävät maaperää. Ajourat voivat edesauttaa ravinteiden liukenemistä vesistöihin. Myös kantojen noston on todettu aiheuttavan ravinteiden liukenemistä maaperästä sadeveteen. Myös varastoidusta peittämättömästä energiapuubarastosta voi liueta sadeveden mukana ravinteita ja ne kulkeutuvat ojien mukana vesistöihin (Energiapuun korjuuraportti 2008).

4 ENERGIAPUUSTA TEHTÄVÄT POLTTOAINETYYPIT

4.1 Pilke

Yleisin käytössä oleva kotitalouksien ja esimerkiksi kesämökkien puuperäinen lämmitysjärjestelmä toimii edelleen pilkkeellä. Pilke on käsiteltävyydeltään helppoa ja se myös kuivaa oikein pinottuna hyvin. (Knuutila 2003, 53–54.)

Pilketuotantoa on nykyaikana koneellistettu sen tuottavuuden parantamiseksi. Traktorikäyttöiset pilkekoneet (kuva 1) ovat tehokkaita ja hyödyllisiä, varsinkin silloin, kun pilkettä joudutaan tekemään paljon. Tietenkin pienimuotoista pilketuotantoa tehdään edelleen käsi- ja moottorisahoilla. (Knuutila 2003, 53–54.)



KUVA 1. Traktorikäyttöinen yhdenmiehen pilkekone giljotiiniterällä ja kuljettimella (Nokka pilkekone).

4.2 Hake

Metsähaketta lämmöntuotantoon käyttävät yleensä suuret maatilat ja teollisuuslaitokset. Metsähaketta tuotetaan yleensä kokonaisista karsimattomista puista tai karsituista rangoista. Varsinkin rankoja kuljetettaessa pyritään saamaan mahdollisimman suuret kuormakoot. Karsimatta jätetyllä kokopuulla kuormat jäävät pieniksi, eikä niiden kul-

jettaminen metsästä varastopaikalle ole taloudellisesti kannattavaa. Karsitun tavaran varastointi varastopaikalle on paljon helpompaa ja vähemmän tilaa vievää. Haketettavia puita voidaan säilyttää ilmassa kasoissa peitettynä jopa kaksi vuotta. Pienten kiinteistöjen ja lämpölaitosten tarvitsemaa haketta tuotetaan yleensä metsäautoteiden varsilla joko traktorihakkurilla tai kuorma-autohakkurilla (kuva 2). Poiskuljetus tapahtuu traktoreihin kiinnitetyllä perävaunulla tai hakkeen ajoon valmistetulla kuorma-autolla. (Knuutila 2008, 58–59.)



KUVA 2. Haketusta traktorihakkurilla (Energiapuun oikeaoppinen varastointi 2005).

Suuria lämpölaitoksia varten haketta voidaan tuottaa kolmella eri ketjulla. Palstahaketusjärjestelmässä kuormatraktoriin kiinnitetty hakkuri hakettaa hakkeen kuviolla omaan säiliöön, josta hake puretaan varastopaikalla kuorma-autoon tai tyhjille vaihtolavoille. Palstahaketusjärjestelmä ei sovellu vaikeakulkuisille alueille tai heikosti kantaville turvemaille. Kuljetusmatka asettaa myös omat rajoitteensa, mitä pitempi matka sitä suuremmat kustannukset. Matka saa olla maksimissaan 300–400 metriä. (Knuutila 2003, 58–67.)

Välivarastohaketusjärjestelmässä hakkuutähteet tai kokopuut ajetaan kuormatraktorilla metsätien varteen varastopaikalle, jossa erillinen hakkuri, yleensä kuorma-autohakkuri, hakettaa hakkeen suoraan autoon. Tämä menetelmä vaatii suuren varastopaikan, koska kaikki hakettava puusto ajetaan yhteen suureen kasaan tienvarteen ja hakkurin sekä hakeauton on mahduttava toimimaan samalla alueella. Välivarasto-

menetelmässä hakkureina käytetään yleensä rumpu- ja laikkahakkureita sekä murskaimia, joista murskain lienee käytetyin malli. (Knuuttila 2003, 58–67.)

Käyttöpaikkahaketusjärjestelmässä energiapuu ajetaan varastopaikalle kuormatraktorilla ja sieltä edelleen puutavara-autolla käyttöpaikalle, jossa se haketetaan itse omaan käyttöön yleensä kiinteällä hakkurilla (Knuuttila 2003, 58–67).

Kannot valmistetaan polttoaineeksi murskaimella. Hakkuria ei käytetä, koska antojen mukana nousee kiviä ja muuta maa-ainesta. Murskaimessa ei ole leikkaavia teriä vaan tylpät vasarat. Kannoista saatava energiamäärä on lähes kaksinkertainen hakkuutähtiin verrattuna. Kannonnostolla (kuva 3) saatavat hyödyt koskevat myös muuta metsätaloutta. Samalla kertaa voidaan suorittaa maanmuokkaus ja juurikäävän vaivaamat alueet voidaan puhdistaa sienestä tehokkaasti. (Knuuttila 2003, 70.)



KUVA 3. Kantojen nostoa (Kantojen noston yhteydessä maanmuokkaus).

5 ENERGIAPUUN VARASTOINTI

Knuuttilan (2003, 76) mukaan hakkuutähteet suositellaan kuivattavaksi palstalla kesän yli. Vasta kaadettu hakkuutähti on kosteusprosentiltaan jopa 50–60 %, jolloin kesän

yli kuivauksella kosteus saadaan pudotettua noin 20–30 %. Kuivuminen tapahtuu myös nopeammin, koska hakkuutähteet eivät ole niin tiivisti kuin esimerkiksi välivarastolla. Hyvissä olosuhteissa hakkuutähteet kuivavat riittävästi noin 13 viikossa. Pals-tavarastoinnilla saadaan myös ravinnetappioita pienennettyä, koska neulaset ja lehdet putoavat kuivuneesta hakkuutähteestä helposti maahan.

Hakkuutähteet voidaan korjata myös ainespuunkorjuun jälkeen, jolloin myös uudista-minen nopeutuu ja hakkuutähteiden kertymä on palstavarastointia suurempi. Varjo-puolena on se, ettei kosteutta ehdi haihtua niin paljoa kuin palstavarastoinnissa sekä ravinnetappiot ovat suuremmat, koska neulaset eivät ehdi putoamaan pois ja jäämään hakkuualalle. (Knuuttila 2003, 76–77.) Vihreissä neulasissa on myös klooria, joka syövyttää kattilaa.

Hakkuutähteiden ja kantojen varastokasat (kuva 4) tienvarressa pyritään tekemään päältä kuperaksi siten, että sadevesi valuu kasan päältä pois. Hakkurin on myös voitava tehdä yksi autokuorma haketta yhdestä kohtaa, ilman että sen tarvitsee siirtyä toi-seen paikkaan. Kasojen suositeltava koko on noin 80–120 i-m³ eli noin yhden auto-kuorman verran. Myös hakkurin tekniset ominaisuudet asettavat omat rajoituksensa puutavaran varastoinnin suhteen. Lähinnä rajoituksena on se, kummalle puolelle tietä varastopino tulee tehdä. (Knuuttila 2003, 76–77.)

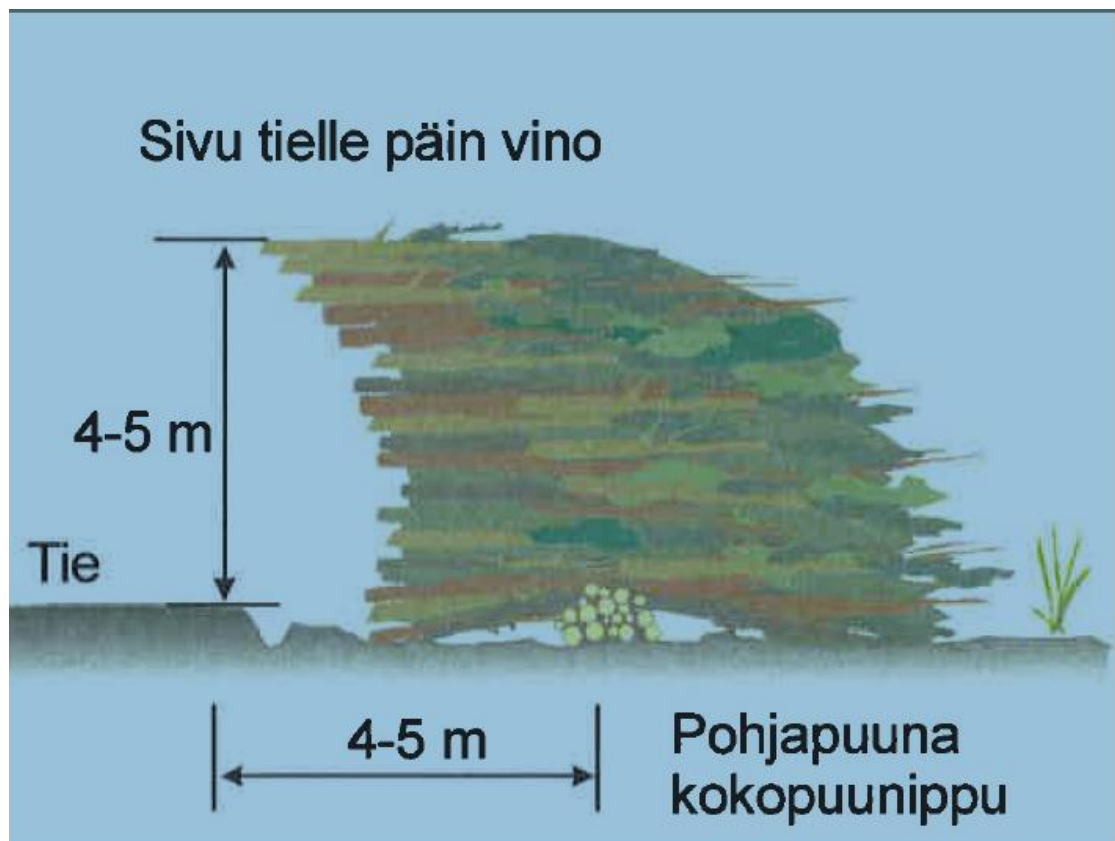


KUVA 4. Kanto- ja ainespuukasa metsäautotien varressa (Kantokasa tienvarressa).

Nykyään varastoinnissa käytetään peitteenä tervapaperia, jonka koneenkuljettaja levittää kuivatun hakkuutähdekasan päälle viimeisen kuorman jälkeen. Tällä saadaan aikaiseksi se, että hakettaminen onnistuu myös huonossa säässä. Peitetyn hakkuutähdekasan kosteusprosentti voi joissain tapauksissa laskea vielä peittämisen jälkeen. Tervapaperi voidaan hakata lopussa hakkeen joukkoon ja polttaa myöhemmin lämpökattilassa. (Knuutila 2003, 77.)

Energiapuun varastopaikan tulisi täyttää seuraavat vaatimukset. Paikan tulisi olla pohjaltaan kuiva ja tasainen eikä siellä ole irtokiviä ja muuta roskaa. Paikan tulisi olla myös mahdollisimman tuulinen ja valoisa, jotta hakettava puuainees pääsee kuivamaan lämmön ja ilmavirran vaikutuksesta. Talvisaikaan pinoon ei saa aurata lunta ja uuden varastopaikan pohja tulisi puhdistaa tarvittaessa lumesta puhtaaksi. Hakkuria ja hakeautoa varten lähistöllä tulisi olla riittävän suuri kääntöpaikka, jossa hakerekka pääsee kääntymään ongelmitta sekä hakettavan kasan ympärillä riittävästi tilaa hakeutusta varten. Huomiota tulisi kiinnittää myös ladontaan. Puita ei saa latoa ristiin, koska hakettaminen vaikeutuu ja pinoa ei välttämättä saada hakettua aivan pohjaa myöten. (Energiapuun varastointiohje).

Kokopuuta ja rankaa varastoitaessa puiden tyvet tulisi latoa tielle päin ja mieluiten etelää kohti. Varastointiaika tulee olla enintään kaksi vuotta. Pinon tulee olla riittävän korkea, jotta sateella kastuva pinta-ala on tarpeeksi pieni. Pinon etureunaan tulee tehdä pieni lippa, jotta sadevedet eivät pääsisi suoraan kastelemaan pinoa edestäpäin. Pinon alle kasataan muutama runko tai kourallinen poikittain, jotta ilma pääsee kiertämään myös pinon alaosassa. Peitettäessä pino tervapaperilla on huolehdittava, että paperin päällä on riittävästi painoa, ettei paperi lähde tuulen mukana lentoon (Energiapuun varastointiohje).



KUVA 5. Energiapuubaraston oikeaoppinen muoto (Energiapuun varastointiohje)

6 ENERGIAPUUN LIITTYVÄT TUET

Energiapuun korjaamiseen on saatavilla tukia, mikäli korjattava kuvio täyttää kestävän metsätalouden rahoituslain ehdot. Pienin tuettava energiapuumäärä on 20 m³ ja tuki 7 €/m³. Tukea ei makseta, jos energiapuu tulee omaan käyttöön. (Energiapuutuet 2009.)

Ehdot Kemera-tuen saamiselle ovat seuraavat: tukikelpoisen puuston vähimmäispituus on noin 2 metriä. Kasvamaan jäävän puuston rinnankorkeusläpimitta on oltava alle 16 cm. Tuki on haettava korjuun jälkeen erikseen metsäkeskukselta sekä ennen tuen maksamista tuen saajan on toimitettava vakuutus että korjattu puusto on luovutettu energiakäyttöön. Korjuulla tarkoitetaan energiapuukäyttöön toimitettavan puutavaran kasausta ja metsäkuljetusta. (Energiapuutuet 2009.)

Normaalin tuen lisäksi puutavaran hakettamiseen voidaan myöntää tukea 1,70 €/ hake-tettu irtokuutio. Tuen voi saada haketta tekevä ja välittävä lämpöyhtiö, maanomistaja, haketusyrittäjä tai muu vastaava yhteisö. (Energiapuun korjuu 2009.)

7 ENERGIAPUUN KORJUUMENETELMÄT JA LAITTEET

7.1 Yksinpuinkorjuu

Yksinpuinkorjuu energiapuunkorjuumenetelmänä on melko hidas. Siinä käytetään hyödyksi normaalia harvesterin kaatopäätä, jota käytetään erimerkiksi harvennuksilla. Yksinpuin menetelmä sopii pienialaisille energiapuukohteille, sen hitauden takia. (Bioenergiaa metsästä 2003–2007.) Yksinpuinkorjuuta voidaan tehdä myös metsuri-työnä siten, että metsuri kaataa ja kasaa puut ja kuormatraktori hakee ajouran varteen kasatut puut pois.

Laitteistona käytetään karsivia kaatopäitä, joissa karsinta tapahtuu rulla-, valssi-, pyörä- tai ketjuvedolla ja sellaisilla kaatopäillä, joista karsintalaitteisto on otettu pois. Kaatopäät, joista karsintalaitteisto on otettu pois, ovat paljon kevyempiä ja yksinkertaisempia sekä helpompia huoltaa. Puun kaataminen kyseisillä laitteilla tapahtuu ketjulla tai giljotiinileikkurilla. (Bioenergiaa metsästä 2003–2007.)

7.2 Kokopuukorjuu

Kun ainespuuta ja energiapuuta korjataan samaan aikaan, pinotaan ainespuu (yleensä kuitupuu) omiin kasoihin ja energiapuu (latvustot) omiin kasoihin. Korjattaessa metsi-

kön puusto kokopuukorjuuna myös ravinnetappiot kasvavat, kun ravinnepitoinen latvusmassa ja neulaset poistuvat, eivätkä jää maatumään ja vapauttamaan ravinteita maaperään. (Tapio 2006, 14.) Kokopuun on luultu aiemmin kuivuvan paremmin, kun lehdet ja neulaset haihduttavat nesteitä. Kuitenkin lehdet ja oksat ovat puun kostein osa ja kun puu karsitaan, kuori rikkoontuu ja puuaines kuivaa nopeammin. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että karsittu ranka on yleensä varastoinnin jälkeen kuivempaa kuin kokopuukorjuuna korjattu puuaines. Kokopuukorjuuta voidaan tehdä myös metsurityönä. Metsuri tekee siirtelykaadon ja kasaa rungot palstalle, josta kuormatraktori kerää kasat ja vie ne varastopaikalle. Kokopuu on kasattavaksi raskas ja pituus tuottaa myös ongelmia metsurityössä.

Kun aines- ja energiapuunkorjuu on yhdistetty, on kustannuksia saatu roimasti alas-päin ja tuottavuutta on parannettu huomasti. Näin toimimalla myös hiilidioksidipäästöt ovat pienentyneet kuutiometriä kohti huomattavasti. (Yhdistetty aines- ja energiapuunkorjuu 2009.)

7.3 Joukkokäsittelykorjuu

Joukkokäsittelykorjuu energiapuun korjuumenetelmänä on yksinpuinmenetelmään verrattuna huomattavasti nopeampi, koska metsästä voidaan kaataa useita puita kerrallaan. Joukkokäsittelylaitteistoja voidaan käyttää pelkästään energiapuun tai vaihtoehtoisesti niitä voidaan käyttää myös saha- ja selluteollisuudelle menevän puun korjaamiseen, mikäli metsästä hakataan ainespuuta sekä energiapuuta. (Bioenergiaa metsästä 2003–2007.)

Joukkokäsittelylaitteistoja on tehty pelkästään energiapuun korjuuseen, jolloin kaatopäästä on otettu karsintalaitteisto pois. Karsintalaitteistolla varustettuja kaatopäitä käytetään sekä aines- että energiapuun korjuuseen. Kaatolaitteistona kaatopäissä käytetään ketju- sekä giljotiinikaatoa. (Bioenergiaa metsästä 2003–2007.)

7.4 Korjuussa käytettävät koneet

Energiapuun korjuuseen käytetään tavallisia metsätraktoreita ja niiden muunnelmia. Energiapuun korjuuseen suunniteltu ”korjuri” kaataa sekä kuljettaa puut metsästä pois.

(Energiapuun korjuumenetelmät). Muutoin käytetään normaaleja hakkuukoneita ja kuormatraktoreita, jotka on muokattu kuormatilaltaan ja/tai hakkuupäältäään energiapuun korjuuseen sopiviksi. Metsäkoneisiin on tehty myös hakkuutähdepaalaimia, jotka tekevät hakkuutähteestä tiiviin nipun palstalle. Kuormatraktorit kuljettavat niput siisteihin pinoihin tien varteen, josta puutavara-auto käy hakemassa paalit terminaaliin tai suoraan käyttöpaikalle, jossa ne haketetaan.

Myös maataloustraktoreita on valjastettu energiapuunkorjuuseen niihin sopivilla kuormaimilla sekä puutavaran ajoon sopivilla perävaunuilla. Kuormaimet voivat olla traktoriin kiinnitettyjä tai vaihtoehtoisesti perävaunuun kiinnitettyjä.

Tietenkin pienimuotoista energiapuunkorjuuta tapahtuu myös moottorisahoilla ja käsityökaluilla kuten vesurilla. Puita ajetaan metsästä pois mönkijöillä (kuva 6) ja niiden perävaunuilla, joista joihinkin malleihin voidaan asentaa myös hydraulinen kuormain.

Noin puolet viime vuosina haketetusta hakkuutähteestä on haketettu tienvarsihaketuksella ja kalustona on ollut kuorma-autoon integroitu hakkuri ja erillinen auto hakkeen kuljetusta varten. Loput noin 50 % haketuksista on tehty terminaali- ja käyttöpaikka-haketuksena. Hakkuutähdepaalien osuus terminaalihaketuksissa on vähentynyt huomattavasti viimeisten kuuden vuoden aikana (Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2009).

Kantomursketta vastaavasti on tehty käyttöpaikkahaketuksena yli 70 % muihin murskausmenetelmiin verrattuna. Terminaalihaketus on myös yhtenä haketusmenetelmänä noin 20–30 % osuudella. Tienvarsihaketusta ei juurikaan kantojen osalta tehdä tai sen osuus on huomattavan pieni ja käytössä on ollut erillinen hakkuri ja hakeauto (Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2009).

Haketettaessa järeää ja lahovikaista runkopuustoa eniten käytetty haketusmenetelmä vuonna 2009 oli käyttöpaikkahaketus. Kaksi vuotta aiemmin eniten käytetty menetelmä oli terminaalihaketus ja myös tienvarsihaketusta tehtiin huomattavasti enemmän kuin vuonna 2009. Tienvarsihaketusta tehtiin erillisellä kuorma-autohakkurilla ja hakeautolla (Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2009).



KUVA 6. Mönkijä metsätöissä (Työmönkijä haastaa traktorin metsähommissa).

8 PUUAINEN TERMISIÄ OMINAISUUKSIA

8.1 Puuaineen kosteus

Matti Kärkkäisen (2003,125) mukaan puuaineen kosteudella tarkoitetaan puun sisältämän veden ja puun kokonaismassa suhdetta. Vastaavasti puun kuiva-ainepitoisuudella tarkoitetaan puun kuiva-aineen ja kokonaismassa suhdetta. Puuaineen kosteusprosentti eli puun sisältämä vesimäärä vaikuttaa suoraan poltossa saatavaan energiamäärään. Esimerkiksi männyllä puuaines on kosteampaa latvassa kuin tyvässä. Tämä kosteuden vaihtelu johtuu siitä, että puuaineen kuiva-tuoretiheys alenee, eli mitä tuoreempaa tai ”uudempaa” puuaines on, sitä kosteampaa se on. (Kärkkäinen 2003, 126.)

Kosteuden vaihtelua sydänpuun ja mantopuun välillä havaitaan vain havupuilla. Lehtipuilla tällaista kosteuden vaihtelua ei ole. Lehtipuun kosteuteen sen sijaan vaikuttaa paljon muun muassa vuodenaika. (Kärkkäinen 2003, 126–127.) Puuaineksen kosteuteen vaikuttavat siis puuaineen manto- ja sydänpuun osuus sekä rungon osa pituussuunnassa. Kun puhutaan poltettavasta hakkeesta, on otettava huomioon myös kuoren kosteus. Kuoren kosteuteen vaikuttaa rungon osa, onko hake tehty latvasta vai tyvestä. Latvassa kosteus on suurempi kuin tyvässä. Myös oksien kosteus vaihtelee oksien koosta ja sijainnista riippuen. (Kärkkäinen 2003, 129–130.)

8.2 Puun lämpöarvo

Polttaessa puuta saadaan tietty määrä energiaa, joka ilmaistaan lämpöarvona. Lämpöarvon yksikkönä käytetään J/kg, joulea kilogrammaa kohti. Kun kysymys on puun polttamisesta, puun energiatiheyttä voidaan kuvata myös suureella J/m^3 , joulea kuutiometriä kohti. Tämä yksikkö auttaa hahmottamaan energiapitoisuutta paremmin, koska puhuttaessa puusta tilavuusyksikkönä käytetään kuutiometriä. (Kärkkäinen 2007, 245.)

Puuaineen lämpöarvo voidaan ilmoittaa joko kuivan tai kostean puuaineksen massan suhteen. Poltettaessa yksi kg absoluuttisen kuivaa puuta, josta kaikki palamisen vaikutuksena syntynyt vesi tiivistyy nesteeksi 25 °C lämpötilaan, saadaan kuivan puun ylempi lämpöarvo. Kuivan puun alempi lämpöarvo, eli tehollinen lämpöarvo, saadaan vastaavasti polttamalla yksi kg absoluuttisen kuivaa puuta, josta palamisreaktiossa muodostuva vesi haihtuu höyrynä. (Kärkkäinen 2007, 246.) Kotitalouksissa ja pienissä lämpölaitoksissa vesihöyry poistuu savun mukana ilmaan. Isommassa, muutaman megawatin laitoksissa vesihöyryn hukkalämpö otetaan talteen.

Kostean puun tehollinen lämpöarvo ilmaistaan joko kuivaa tai kosteaa puuainesta kohti. Puuaineksen kosteuden lisääntyessä on selvää, että enemmän puuaineen lämpöarvo alenee kuivan puun massayksikköä kohti. Erot eivät kuitenkaan ole järin suuret. Kun puuaineksen tehollinen lämpöarvo ilmaistaan puun kostean massan suhteen, se laskee suoraviivaisesti kosteuden kasvaessa (Kärkkäinen 2007, 246).

Pääpuulajien lämpöarvon laskentaan (mänty, kuusi ja koivu) voidaan käyttää seuraavaa kaavaa. Alla olevissa yhtälöissä w = kostean puun tehollinen lämpöarvo kostean puun massaa kohti MJ/kg sekä u = kosteus prosentteina (veden massa puun ja veden kokonaismassasta) (Kärkkäinen 2007, 246.)

- Mänty: $w = 19,34 - 0,218u$
- Kuusi: $w = 18,97 - 0,214u$
- Koivu: $w = 18,88 - 0,213u$

Myös puu- ja puutavaralajien lämpöarvoissa on eroja. Suuremman ligniini rasvapitoisuuden vuoksi kuoren lämpöarvo on korkeampi kuin runkopuussa. Myös neulasissa ja kannoissa lämpöarvot ovat runkopuuta korkeammat. Kantojen korkeampi arvo johtuu siitä, että kannot sisältävät erilaisia uuteaineita.

Kosteus on tärkein lämpöarvoa selittävä tekijä. Useimmissa tapauksissa vastaanotettavan energiapuun lämpöarvo voidaan määrittää riittävän tarkasti mittaamalla massa ja kosteus.

9 ENERGIAPUUN MITTAUSMENETELMIÄ

9.1 Pinomittaus

Harvennuksilta saadut energiapuupinot voidaan mitata pinomittausohjeen mukaan. Kuormainvaakamittaus on usein kätevämpi ja myös tarkempi mittausmenetelmä.

Pinon pituus mitataan pinon etureunasta päästä päähän yhden desimetrin tarkkuudella. Pinon takaosan pituuden poikkeama otetaan huomioon pinon korkeutta mitattaessa. Korkeutta mitattaessa pino jaetaan kahden tai kolmen metrin osiin. Kolmen metrin osia käytetään mittauksessa silloin, kun pinon pituus on yli 20 metriä. Jokainen pinonosa mitataan mittausvälin puolivälistä ja pituus tasataan viiden senttimetrin luokituksella. Viimeiseen pinonosaan joko lisätään tai vähennetään pinon takaosan pituuden korjaus. Pinon korkeuden mittaukset suoritetaan pinon etuosasta. Pinon leveys mitataan kasassa olevan harvennetun puun keskipituuden mukaan. Pinon kehystilavuus saadaan laskemalla mitattujen osien tilavuudet yhteen (Energiapuun mittausopas 2010).

Kiintotilavuusprosentilla tarkoitetaan pinon kehystilavuuden ja kiintotilavuuden suhdetta. Kiintotilavuutta mitattaessa pinon korkeus on pinon etuosan korkeuksien keskiarvo ja luokituksena käytetään yhden metrin tasaavaa luokitusta. Kiintotilavuutta mitattaessa tarvitaan myös pölkkyjen läpimitta tietoa. Pölkkyt mitataan pinon etuosasta ja mittauksessa ei huomioida onko pölkky tyvipölkky vai puun keskeltä otettu pölkky. Pölkkyjen keskiläpimitta arvioidaan joko silmämääräisesti tai se mitataan pölkkyistä

jonka jälkeen lasketaan läpimittojen keskiarvo. Pinon kiintotilavuus lasketaan kiintotilavuusprosentin ja kehystilavuuden tulona (Energiapuun mittaussopas 2010).

9.2 Kosteuden mittaus

Biopohjaisten polttoaineiden kosteuden mittauksessa käytetään SFS-EN 14774-2 standardin mukaista uunikuivaus ohjetta. Näyte kuivataan uunissa, jonka lämpötila on säädetty 105 celsius asteeseen. Standardin mukaisessa uunissa lämpötilanvaihtelut saavat olla 2 astetta ja ilman täytyy vaihtua noin 3–5 kertaa tunnissa sellaisella nopeudella, ettei kuivattavasta aineesta lähde ilmapirran mukana hiukkasia. Näytteen punnituksessa käytetyn vaa’an tarkkuus tulee olla 0,1 grammaa.

Näytteen valmistuksessa tulee huomioida kuljetuslaatikkoon tai pussiin tiivistynyt kosteus. Kosteutta sisältävä astia punnitaan ennen kuivattamista sekä kuivattamisen jälkeen. Astia voidaan joko kuivattaa uunissa tai vaihtoehtoisesti huoneen lämmössä.

Mitattavan näytteen painon tulee olla vähintään 300 grammaa. Mittauksessa käytettävän astian paino tulee olla tiedossa 0,1 gramman tarkkuudella. Mitattava erä punnitaan astioineen ja näytteineen jonka jälkeen se laitetaan kuivatusuuniin. Kuivatusaika ei saa ylittää 24 tuntia, koska puuaines sisältää kosteuden lisäksi myös muita haihtuvia ainesosia. Kun näyte on kuivunut tarpeellisen ajan, se punnitaan heti uunista oton jälkeen, koska jäähtyessään näyte voi imeä huoneilmasta kosteutta itseensä.

Näytteen kosteus mitataan seuraavalla kaavalla (Kiinteät biopolttoaineet 2011)

$$m(ar) = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} * 100$$

- m_1 on tyhjän astian massa grammoina
- m_2 on kuivausastian ja näytteen massa grammoina ennen kuivausta
- m_3 on kuivausastian ja näytteen massa grammoina kuivauksen jälkeen
- m_4 on pakkaukseen sitoutuneen kosteuden määrä grammoina

Tulos lasketaan kahden desimaalin tarkkuudella ja pyöristetään lähimpään 0,1 %:iin raportointia varten (Kiinteät biopolttoaineet 2011).

9.3 Energiapuun ja hakkeen massan mittaus

Energiapuun massa voidaan mitata jo palstalla kuormatraktoriin kouraan sijoitetulla kuormainvaa'alla. Kouralliset punnitaan kuorman tekemisen tai purkamisen yhteydessä ja tulokset kirjataan ylös puutavaralajeittain. Työmaakohtaiset tulokset kirjataan kokonaisuudessaan ylös ja tallennetaan. Kuormatraktorin kuormainvaa'alla tehtävässä menetelmässä massa muutetaan muuntolukujen avulla tonneista kuutiometreiksi. Kuormatraktorin kuormainvaakamittausta käytetään vain metsäkuljetuksen yhteydessä tehtävässä mittauksessa (Energiapuun mittausopas 2010).

Punnittava hake-erän bruttopaino punnitaan joko kiinteällä autovaa'alla siten, että autossa on täysikuorma päällä tai kuorman paino punnitaan kuormainvaa'alla kuormausvaiheessa. Punnittavan erän omapaino saadaan vähentämällä bruttopainosta ajoneuvon tyhjäpaino. Ajoneuvon tyhjäpainossa otetaan huomioon ajoneuvon varustelu ja omamassa. (Energiapuun mittausopas 2010). Jos kuormainvaakamittausta tehdään kaukokuljetuksen yhteydessä, tehdään jokaisen erän yhteydessä muuntoluvun eli tilavuuspainon määrittäminen. Tilavuuspainolla tarkoitetaan m^3/kg arvoa. Kuivalle energiapuulle ei ole tehty muuntolukuja, puolikuivalle kuitupuulle sen sijaan on.

9.4 Energiahakkeen tilavuuden laskenta

Mittauserän kuorellinen kiintotilavuus saadaan jakamalla mitattavan erän tuorepaino (kg) tuoretiheydellä (kg/m^3) tai vaihtoehtoisesti erästä mitatun kosteusprosentin ja kuivatuoretiheyden perusteella. Kosteuden ja kuivatuoretilavuuden perusteella lasketaan tuoretiheys (Energiapuun mittausopas 2010).

Hakkeen tilavuutta traktori- tai autokuormassa mitataan kuutioimalla kuormatilat autosta sekä auton tai traktorin perävaunusta. Mittauksessa mitataan kuormatilan korkeus, leveys sekä pituus metreinä, jolloin saadaan kuormatilan tilavuus kuutiometreinä.

Haketetun kuormatilassa olevan puuaineksen mittayksikkönä käytetään i-m^3 eli irto-kuutiometriä, joka vastaa noin 2,5 kiintokuutiometriä.

10 ENERGIAPUUN MARKKINAT

Energiapuun markkinat ovat alkaneet muodostua vasta 2000-luvun alussa. Metsäyhtiöt ovat aikaisemmin saaneet kannot ilmaiseksi hakkuualueilta ja yleensä myöskään hakkuutähteistä ei ole maksettu aiemmin mitään. (Energiapuun korjuu iskee rytinällä metsätalouteen 2009).

Nykyään energiapuun myymisestä saatavia tuottoja voidaan verrata jopa kuitupuun myymiseen. Valtion maksama hakkuu- ja korjuutuki, 7 €/m^3 , ja haketuksesta saatava, $1,70 \text{ €/irto-m}^3$, tuki otetaan huomioon energiapuun hinnoittelussa. (Energiapuun korjuu iskee rytinällä metsätalouteen 2009).

11 TUTKIMUS

11.1 Aineisto ja sen luokittelu

Tutkimuksessa on käytetty aineistona Heinäveden Aluelämpö Oy:n sekä Stora Enson Varkauden tehtaan voimalaitoksen sekä NSE BioFuels Oy:n biodieselkoelaitoksen kuukausikohtaisia haketietoja. Aineistosta käyvät ilmi kaikki oleelliset tiedot hakekuormasta, kuten kosteusprosentti, kuormakohtainen energiasisältö, lämpöarvo yms. Aineistosta ei käy ilmi, mitä puulajia on haketettu.

Koska aineisto on toimitettu kuukausittain Metsänhoitoyhdistys Keski-Savolle, on tutkimuksessa aineisto jaoteltu kuukauden perusteella neljään luokkaan Energiapuun mittausoppaan Etelä-Suomen kuivumisaikajaottelun perusteella (Energiapuun mittausopas, energiapuun mittausoppaan uudistaminen ja käyttöönotto 2011).

- 1.4–30.4 Hitaan kuivumisen jakso
- 1.5–15.8 Nopean kuivumisen jakso

- 16.8–30.9 Hitaan kuivumisen jakso
- 1.10–31.3 Erittäin hitaan kuivumisen jakso

Kaikki aineistossa mukana olevat hakevarastot on oletettavasti peitetty ja ne on tutkimuksessa käsitelty peitettyinä. Sen sijaan varastopaikkatiedoista puuttuvat tiedot seuraavista asioista: onko käytetty aluspuita, onko pinolle tehty lippa vai ei, pinon muodot yms. Varastopaikan ominaisuudet on määritelty metsäneuvojan karttaan tekemän merkinnän perusteella, eikä varastopaikan sijaintia ole jälkeempään varmistettu, onko se ollut juuri siinä pisteessä. Varastopaikat on luokiteltu kahteen ryhmään maaston muotojen ja ympäröivän puuston perusteella.

- 1. ryhmän eli hyvän varastopaikan ominaisuudet ovat seuraavat: Varasto sijaitsee tasamaalla tai mäen päällä. Vähintään toisella puolella on avointa maastoa kuten peltoa, aukkoa tai taimikkoa.
- 2. ryhmän eli huonon varastopaikan ominaisuudet ovat seuraavat: Varasto sijaitsee notkelmassa tai suolla. Molemmilla puolilla on vähintään nuorta kasvatusemetsää tai sitä suurempaa metsää.

Luokittelussa on käytetty apuna Mhy:n tietojärjestelmässä olevaa maastokarttaa, vääriväri-ilmakuvaa sekä asiakastietoja. Osa varastopaikoista ei kuulut selvästi kumpaankaan otantaan ja ne jätettiin siitä syystä pois tutkimuksesta.

11.2 Tutkimuksen taustat, tekeminen

Tutkimuksessa oli mukana nopean kuivumisen jaksolla haketetut kuormat, koska tällöin saadaan selville parhaiten, onko hakkeen sisältämällä kosteudella, kuorman painolla sekä energiasisällöllä jotain selkeää yhteyttä toisiinsa ja mistä niiden vaihtelut mahdollisesti johtuvat. Tutkimuksessa pyritään siis selvittämään, miksi joistakin hakekuormista on saatu vähän megawattitunteja ja mistä vähäiset megawattituntimäärät johtuvat. Tutkimuksessa on otettu huomioon kuormien kosteusprosentti ja niiden keskiarvot kuukausittain, MWh:n suhde kuorman painoon sekä MWh:n suhde kuorman kokoon eli kuutiomäärään.

Aineiston perusteella tehtiin otanta, jossa joka toinen kuljetettu kuorma otettiin mukaan ja sen kuorman varastopaikka arvioitiin aiemmin kerrotulla tavalla. Yhteensä tutkimukseen tuli mukaan 65 kappaletta hakekuormia touko-, kesä- ja elokuulta. Heinäkuussa haketoimituksia ei ollut. Myös varastopaikkaluokittain otanta on tasainen. 1. luokkaan tuli yhteensä 30 kuormaa ja 2. luokkaan 35.

11.3 Tulokset

Tutkimuksessa kävi ilmi, että varastopaikkojen valinnalla on vaikutusta puuaineksen kosteuteen. Heinäveden aluelämmön aineistossa varastopaikkaluokassa 1. kosteusprosentin keskiarvo on 34,36 % ja luokassa 2. vastaavasti 38,06. Stora Enson aineistossa vastaavat luvut ovat 31,0 % ja 33,5 %. Hakkeen kosteus vaihteli Heinäveden aluelämmön hyvällä varastopaikalla arvoista 25,2 %–45,4 % ja huonolla varastopaikalla arvoista 23,4 %–50,9 %. Vastaavat arvot Stora Enson aineistossa ovat hyvällä varastopaikalla 16,8 %–44,8 % ja huonolla varastopaikalla 22,7 %–52,3 %. Kts. liitteet 1-4.

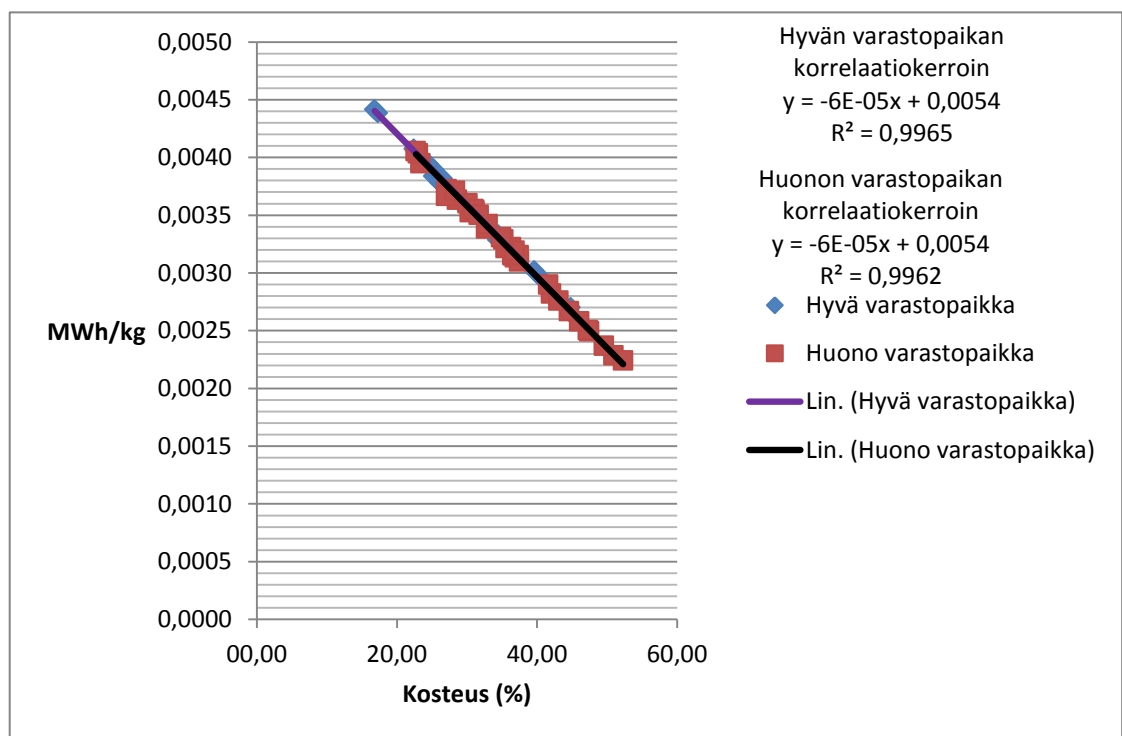
Mediaani hyvän varastopaikan kosteudessa on 25,9 %, tuoretiheydessä 191,8 kg/m³, lämpöarvossa kilogrammaa kohti 0,003 MWh/kg, lämpöarvossa kuutiometriä kohti 0,7 MWh/m³ sekä energiasisältöä kohti 40,1 MWh. Huonon varastopaikan vastaavat arvot ovat kosteudessa 35,5 %, lämpöarvossa kilogrammaa kohti, tuoretiheydessä 242,7 kg/m³, lämpöarvossa kilogrammaa kohti 0,0 MWh/kg, lämpöarvossa kuutiometriä kohti 0,8 MWh/m³ sekä energiasisällössä 47,2 MWh. Kts. (liitteet 5-6.)

Alakvartaalit hyvällä varastopaikalla lajiteltuna pienimmästä arvosta suurimpaan: kosteus 45,4 %, tuoreiheys 213,8 kg/m³, lämpöarvo kilogrammaa kohti 0,003 MWh/kg, lämpöarvo kuutiometriä kohti 0,7 MWh/m³ ja energiasisältö 43,4 MWh. Yläkvartaalit hyvällä varastopaikalla: kosteus 39,6 %, tuoreiheys 268,1kg/m³, lämpöarvossa kilogrammaa kohti 0,004 MWh/kg, lämpöarvossa kuutiometriä kohti 0,9 MWh/m³ ja energiasisällössä 73,5 MWh. Kts Liitteet 5-6.

Alakvartaalit huonolla varastopaikalla kosteuden perusteella lajiteltuna: Kosteus 30,4, tuoreiheys 234,7, lämpöarvo kilogrammaa kohti 0,003, lämpöarvo kuutiometriä kohti 0,7, energiasisältö 40,0. Yläkvartaalit huonolla varastopaikalla: kosteus 42,0, tuorei-

heys 263,6, lämpöarvo kilogrammaa kohti 0,004, lämpöarvo kuutiometriä kohti 0,9 ja energiasisältö 57,8. Kts. Liitteet 5-6.

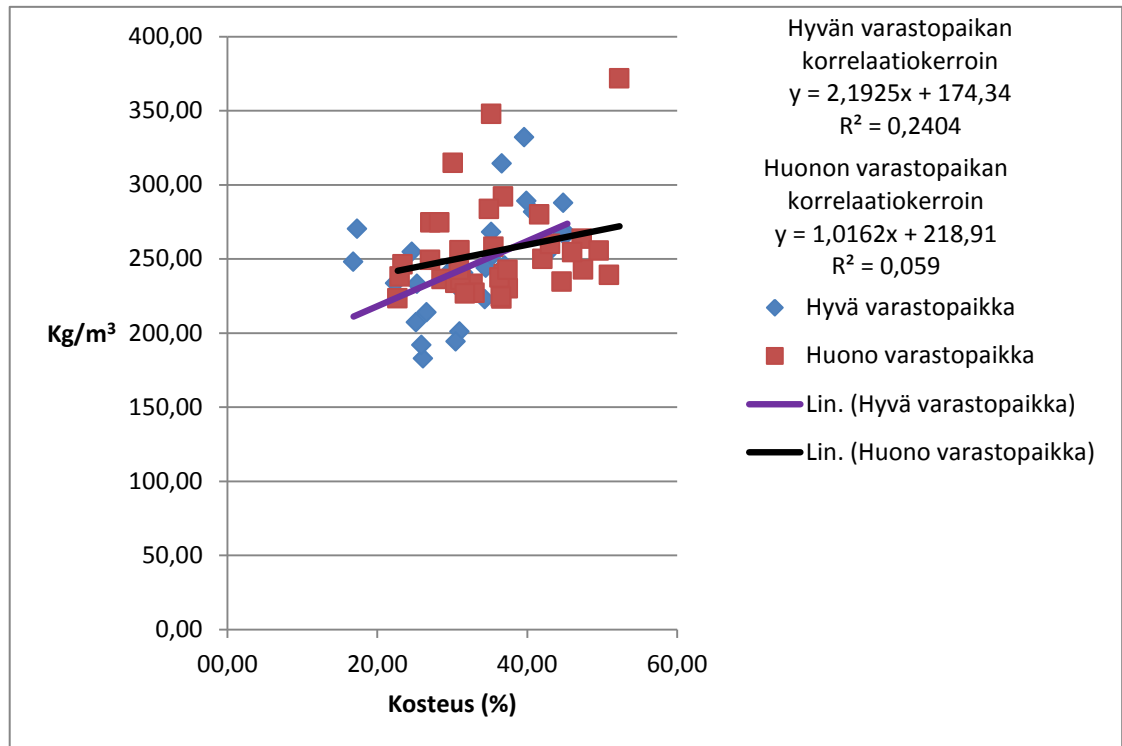
Kosteuden vaikutus lämpöarvoon laskettiin aineiston perusteella. Aivan loogista on, että mitä suurempi puun sisältämä veden määrä on, sitä vähemmän puusta saadaan poltettaessa lämpöä. Varastopaikalla ei ollut merkitystä tarkasteltaessa kosteuden vaikutusta lämpöarvoon. Selitysasteen ollessa melkein 1, voidaan johtopäätöksenä todeta, että kosteus vaikuttaa lämpöarvoon erittäin paljon riippumatta varastopaikan sijainnista (kuvio 1).



KUVIO 1. Kosteuden (%) vaikutus lämpöarvoon (MWh/kg).

Kosteuden vaikutus tuoretiheyteen heitteli aineistossa jonkin verran. Syinä arvojen heittelyyn lienee se, että kuormassa on ollut mukana myös maa-ainesta, kiviä, soraa tai muuta sinne kuulumatonta tavaraa. Myös puulajisuhteet sekä tyveysten, raakkipölkkyjen ja leikkojen määrä kuormassa voivat selittää vaihtelua. Varastopaikat ovat olleet aina tienvarressa ja esimerkiksi sateiden aikana tien pinnasta roiskuu pisaroiden mukana soraa ja hiekkaan kasaan. Myös konekuljettajan kouran huolimaton käsittely voi nostaa soran, kivien ja muun kuulumatottoman aineksen määrää haketettavassa kassassa. Selitysasteen ollessa hyvällä varastopaikalla noin 0,2 ja huonolla varastopaikal-

la 0,05 voidaan johtopäätöksenä esittää, että kosteuden lisäksi tuoretiheyteen vaikuttavat myös edellä mainitut asiat (kuvio 2).



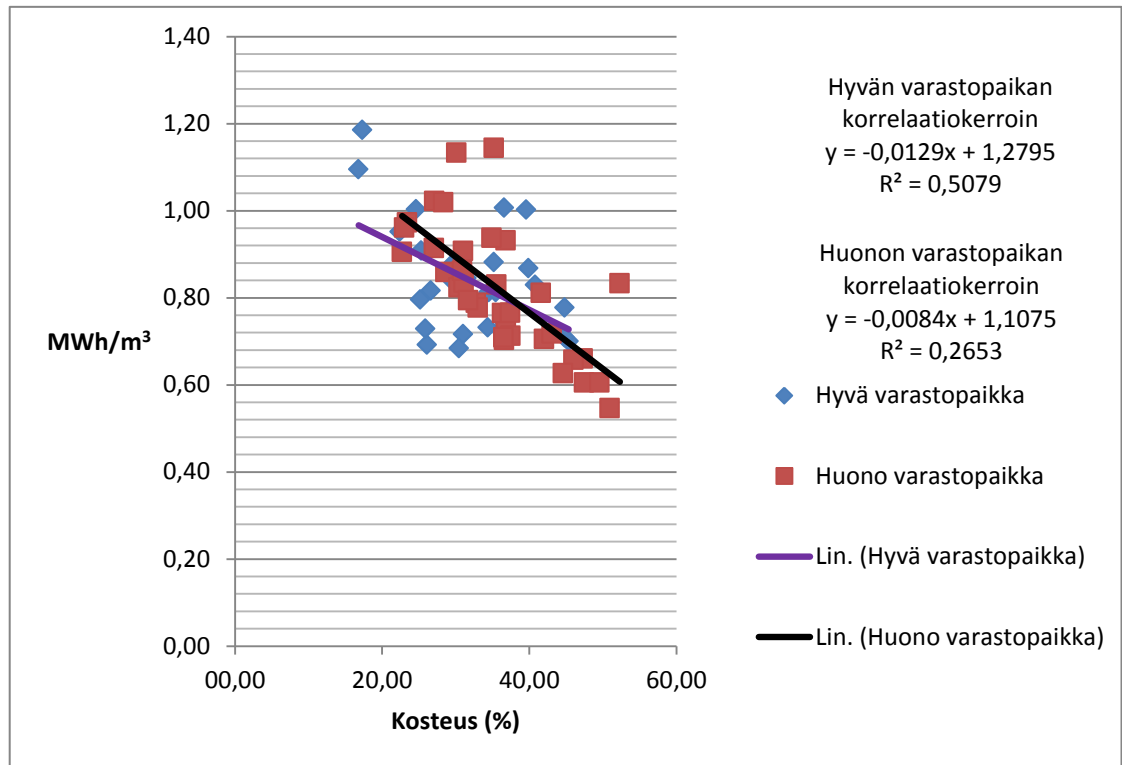
KUVIO 2. Kosteuden (%) vaikutus tuoretiheyteen (kg/m^3).

Kosteuden vaikutus kuutiometristä saatavaan lämpöarvoon heittelee myös jonkin verran. Kuvaajan tulisi olla suora, jos kuormassa olisi pelkästään puuainesta. Puuaineksen tilavuuden muutos on kosteuden muutokseen verrattuna pientä. Kosteus muuttuu kymmeniä prosentteja, kun vastaavasti tilavuus muuttuu vain muutamia prosentteja. Mittaustulokseen voi vaikuttaa myös kuljettajan työskentelytavat, kuljetusmatkan sekä hakkurin malli ja tyyppi. Selitysasteen ollessa hyvällä varastopaikalla noin 0,5 ja huonolla 0,2, voidaan johtopäätöksenä esittää, että edellä mainituilla asioilla on kosteuden lisäksi vaikutusta hakkeen kuutiosta saatavaan energiasisältöön (kuvio 3).

Kuitenkin esimerkiksi Stora Enson aineistossa suurin piirtein samoilla arvoilla on saatu suurempia lämpöarvoja kuin Heinäveden aineistossa.

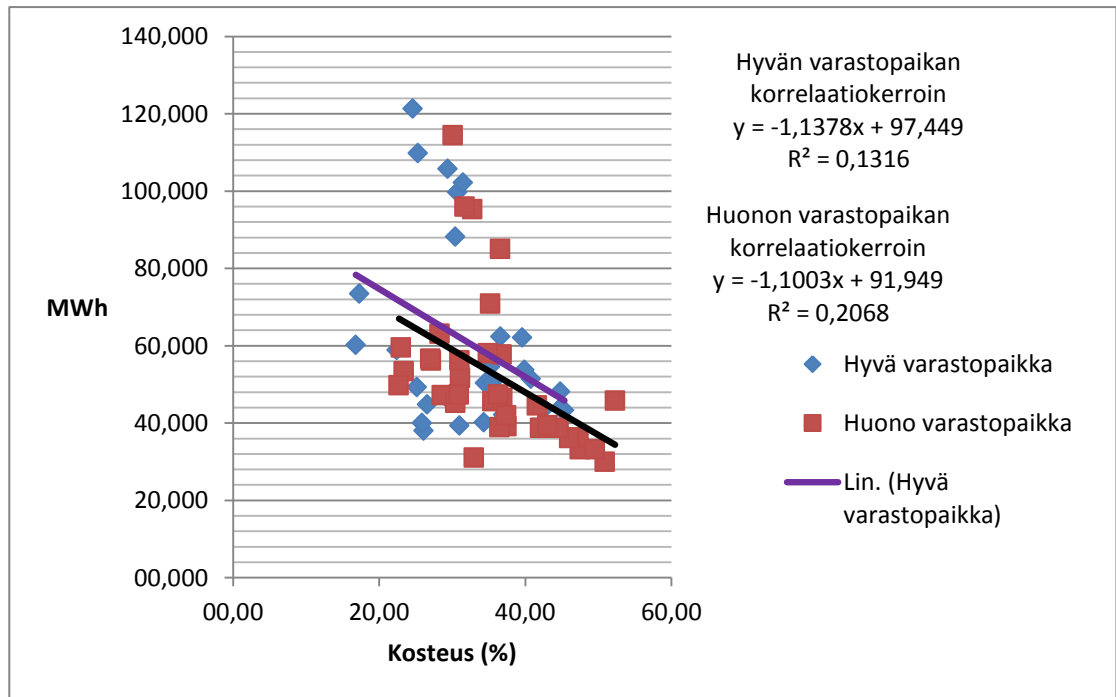
Tähän vaikuttanee muun muassa se, että Stora Ensolle haketta on toimitettu Varkauden lähistöltä ja vastaavasti Heinäveden Aluelämmölle haketta on toimitettu Heinäveden lähistöltä. Hankinta-alueilla toimivat eri koneyritykset ja kuljettajat. Niin kuorma-

traktorin kuin hakkurin kuljettajankin kouran käsittelyn huolellisuudella on suuri merkitys siihen, mitä haketettavasta pinosta lopulta löytyy.



KUVIO 3. Kosteuden (%) vaikutus MWh/m³ arvoon.

Kosteuden vaikutus hakkeen energiasisältöön (kuvio 4.) hyvällä ja huonolla varastopaikalla heittelee myös jonkin verran. Syynä lienee se, että hakkeen joukossa on palamatonta ainesta kuten kiviä ja soraa. Selitysasteiden ollessa melko pienet, voidaan päätellä, että hakkeesta saatavaan energiasisältöön vaikuttavat kosteuden lisäksi monet muut tekijät.



KUVIO 4. Kosteuden (%) vaikutus energiasisältöön (MWh).

12 POHDINTA

12.1 Tutkimustulosten analysointi

Kun hakkeen sisältämä kosteus vaihtelee varastopaikkaluokittain, vaihtelee myös hakkeen sisältämä energiamäärä. Kosteuteen vaikuttaa myös varaston peittämisen laatu, onko se peitetty kokonaan vaiko vain osittain. Peittämisellä estetään sadeveden imeytyminen haketettavaan puuainekseen. Aluspuiden käytöllä saadaan vastaavasti estettyä kosteuden ja vesisateiden aikana sadeveden imeytymistä maaperästä haketettavaan puuainekseen. Jos haketettavaan pinoon on tehty lippa, sillä saadaan estettyä sateiden aikana veden imeytyminen pinon etuosasta. Kuitenkaan näiden vaikutusta tuloksiin ei ole voitu mitenkään todistaa, koska kaikki tutkimuksessa mukana olleet varastot on jo haketettu ja poltettu.

Hyvällä, eli tuulisella ja aurinkoisella, varastopaikalla on aineiston perusteella vaikutusta puuaineen kosteuteen. Tuuli ja lämpö vaikuttavat kosteuden haihtumiseen huomattavasti. Tietenkin tuulella ja lämmöllä on vaikutuksia haihtumiseen, mutta vaikutukset eivät tietenkään ole yhtä selkeitä kuin molempien yhteisvaikutus. Huonolla,

varjoisalla ja painanteessa olevalla, varastopaikalla haihtumista tapahtuu myös lämmön ja tuulen vaikutuksella, mutta haihtuvan veden määrät ovat pienempiä verrattuna tuuliseen ja tasamaalla olevaan avoimeen varastopaikkaan.

Hakkeen energiasisältöön vaikuttavat muut haketettavan puuaineksen mukana tulevat ei palavat ainekset, kuten kivet, sora ja muu maa-aines. Maa-aineksen ja muun palamattoman aineen joutumista hakkeen joukkoon tulisi välttää, palamaton aines vaikeuttaa polttoprosessia ja saattaa jopa vaurioittaa lämpölaitoksen kattilaa aiheuttaen suuria korjaustoimenpiteitä. Palamattoman aineksen joutumista poltettavan hakkeen sekaan voidaan välttää parantamalla kouran käytön huolellisuutta koneen ja hakkurin kuljettajan toimesta.

Tämän tutkimuksen aineistolle tehdyllä Studentin t-testillä ei löydetty tilastollisesti merkitsevää eroa hyvien ja huonojen varastopaikkojen välillä.

12.2 Tutkimuksen luotettavuus

Varastopaikan sijainti on määritelty metsäneuvojan karttaan piirtämän merkinnän perusteella. Käytössä ollut ilmakuva on noin kaksi vuotta vanha ja varastopaikkaa ympäröivän maaston arviointi on tehty sen perusteella. Maastokartta sisältää korkeuskäyrästä, jonka perusteella varastopaikan sijaintia ja ympäröivää maastoa on määritelty. Varastopaikan sijainti on saattanut muuttua kuormatraktorin kuljettajan toimesta joko parempaan tai huonompaan suuntaan. Varastopaikan sijaintitietoja, eli onko varasto sijainnut juuri kartalle merkityssä paikassa, ei ole tutkimusta tehdessä varmistettu mistään, eikä varastopaikalla ole käyty tarkastamassa asiaa.

12.3 Energiapuun tulevaisuus

Mielestäni energiapuunkorjuu on tulevaisuuden puunkorjuumuoto. Jos paperin tuotantoa vähennetään Suomessa entisestään, kuitupuuksi aiemmin menneet puut tullaan suuremmassa määrin korjaamaan energiantuotantoa varten.

Energiapuunkorjuussa käytettävät koneet ovat tänä päivänä yleensä vanhempaa korjuukalustoa, mutta kuitupuun kysynnän vähentyessä uudempaa konekalustoa vapautuu energiapuunkorjuuseen.

Pienimuotoista polttopuuajoa tehdään oma- tai tehdastekoisilla maataloustraktoriin kiinnitetyillä perävaunuilla, joissa joissakin voi olla hydraulinen puutavaranoisturi. Jotkut isännät ovat voineet hankkia vanhemman metsätraktorin omia metsiään varten. Silloin näillä niin sanotuilla ”isäntälinjan” koneilla tehdään metsäyhtiölle kuitu- ja tukkipuut sekä omaan käyttöön polttopuut tai hakkeeksi menevät hakkuutähteet yms.

Myös mönkijät kasvattavat suosiotaan energiapuun korjuussa, koska niiden vetokyky on suhteellisen suuri, eivätkä ne eivät paina juuri mitään, jolloin niillä pääsee parempiinkin paikkoihin. Osasyyn mönkijöiden suureen ja kasvavaan suosioon lienee se, että mönkijöillä voi tehdä myös muutakin kuin ajaa pelkästään puita. Mönkijät soveltuvat myös lumen auraukseen, mutta suurin syy mönkijän hankkimiseen lienee se, että sillä on mukavaa vain ajella.

Yksi tulevaisuuden vaihtoehto energiapuun käyttöön on biodiesel. Tästä aiheesta ei kovinkaan paljoa tietoa löydy, koska se on uusinta teknologiaa, jota ei juuri ole vielä käytössä. Biodiesel valmistetaan esimerkiksi hakkuutähteistä tehdystä hakkeesta tai vastaavasti sahan ylijäämä- ja tasauspaloista tehdystä hakkeesta. Hake kaasutetaan ja kaasusta valmistetaan jatkojalostamalla dieselpolttoöljyä.

Energiapuuksi kelpavaa puuta löytyy Suomesta muualtakin kuin tavanomaisilta hakkuualoilta; taimikoista, nuorista kasvatusmetsistä ja päätehakuualoilta. Mielestäni esimerkiksi sähkölinjoilta sähköyhtiön tai sen alihankkijan kaatama vesakko voitaisiin aivan hyvin käyttää jotenkin hyödyksi, tässä tapauksessa esimerkiksi hakkeen tuotantoon. Vastaavanlaisia mahdollisesti hyödynnettävissä olevia kohteita ovat teiden varret. Joka kesä teiden varsia niitetään vesakosta puhtaaksi, jolloin poltettavaksi kelpavaa puustoa jää paikalleen makaamaan. Korjaamalla kaadettu vesakko esimerkiksi energiantuotantoa varten, teiden varret saataisiin esteettisemmän ja siistimmän näköiseksi. Puuston järeys ei välttämättä yllä esimerkiksi Tapion suositteliin lukuihin, mutta jos korjuukustannukset saadaan tarpeeksi alas, näiltäkin kohteilta saataisiin runsaasti energiantuotantoon sopivaa raaka-ainetta. Sekä tienvarsista että sähkölinjoilta

saataisiin maaperän ravinteita pois eli tuleva vesakoituminen vähentyisi. Se on lisäetu, joka puoltaa energiaksi keruuta.

Edellä mainitut mahdolliset korjuukohteet asettavat kuitenkin rajoituksia kaluston suhteen. Sähkölinjojen alle ei kovinkaan suurella koneella uskalla mennä sähköiskuvaaran takia. Myös puun korjuu teiden varsilla tieltä käsin voi aiheuttaa vaaratilanteita muulle liikenteelle kuin myös koneen kuljettajalle.

Tulevaisuudessa energiapuun korjuuseen on saatavilla enemmän tukia ja energian tuottajat ovat valmiita maksamaan raaka-aineesta enemmän. Nykyiselläänhan energiapuun korjuu nuorenmetsän hoitokohteilta ei olisi kannattavaa ilman valtion maksamaa Kemera-tukea. Tuen korottaminen saisi varmasti enemmän metsänomistajia myymään hakkuutähteitä energiapuuksi. Öljyn hinnan nouseminen pakottaa ihmisiä etsimään halvempia lämmitysratkaisuja, jolloin uusiutuvat energiamuodot, kuten puuenergia hakkeineen ja pilkkeineen saavat lisää käyttäjiä. Kun käyttäjiä tulee enemmän, tuottokin lisääntyy ja kannattavuus paranee jopa nykyisillä hinnoilla.

Mielestäni energiapuu on tulevaisuutta ja siihen pitäisi etsiä uusia innovaatioita sekä parantaa nykyisten korjuumenetelmien tuottavuutta kustannuksia laskemalla.

LÄHTEET

Bioenergiaa metsästä 2003-2007. WWW-dokumentti.

https://ciweb.chydenius.fi/project_files/FI-INFO-pdf-b/INFO-F114.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 30.10.2009.

Energiapuun korjuu. 2009. WWW-dokumentti.

http://www.metsakeskus.fi/web/fin/palvelut/puuenergia/energiapuun_korjuu/etusivu.htm. Päivitetty 28.7.2009. Luettu 30.10.2009.

Energiapuun korjuu iskee rytinällä metsätalouteen. 2009. WWW-dokumentti.

http://www.mtk.fi/metsa/ajankohtaista/metsauutiset/metsauutiset_2009/fi_FI/energiapuun/. Päivitetty 11.8.2009. Luettu 30.10.2009.

Energiapuunkorjuun ympäristövaikutukset. 2008. WWW-dokumentti.

http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf. Päivitetty 11.2.2008. Luettu 7.2.2011.

Energiapuunkäyttö. WWW-dokumentti.

http://www.metsakeskus.fi/web/fin/uutiset/uu_ta_tj_energiapuun+kaytto.htm. Päivitetty 13.9.2009. Luettu 30.10.2009.

Energiapuun oikeaoppinen varastointi on tärkeää. 2005. WWW-dokumentti.

http://www.mhy.fi/kalajokilaakso/energiahanke/fi_FI/varastointi/. Päivitetty 2005. Luettu 20.11.2009.

Energiapuutuet. 2008. WWW-dokumentti.

<http://www.metsakeskus.fi/web/fin/palvelut/puuenergia/energiapuutuet/etusivu.htm>. Päivitetty 19.2.2008. Luettu 30.10.2009.

Energiapuun mittausopas. 2010. WWW-dokumentti.

http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvakysyty_27092010.pdf. Päivitetty 27.9.2010. Luettu 7.2.2011.

Energiapuun korjuuraportti. 2008. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/julkaisut/muut/energiapuu/energiapuun-korjuu-raportti.pdf>. Julkaistu 11.2.2008. Luettu 10.2.2011.

Energiapuun mittausopas, energiapuun mittausoppaan uudistaminen ja käyttöönotto. 2011. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.1.2011. Luettu 12.2.2011.

http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/aineistoja/EMT_energiapuun_mittauksen_tuoretiheysluvat_koulutuspaketti_25112010.pdf.

Energiapuun varastointiohje. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 8.3.2011.

EU:n päästökauppaan liittyvien polttoaine tutkimusten haasteita. WWW-dokumentti.

http://www.mikes.fi/documents/upload/markku_herranen_fin-aspaiva_2009.pdf. Päivitetty 22.1.2009. Luettu 8.2.2011.

Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. WWW-dokumentti.

http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf. Päivitetty 27.5.2010. Luettu 8.3.2011.

Kantokasa tienvarressa. WWW-dokumentti.

http://picasaweb.google.com/lh/photo/sW3_0-OdNunwkYCtLIBemA. Ei päivitystietoa. Luettu 23.11.2009.

Kantojen noston yhteydessä maanmuokkaus. WWW-dokumentti.

http://www.mhy.fi/kalajokilaakso/energiahanke/fi_FI/kantoenergia/_print/. Ei päivitystietoa. Luettu 20.11.2009.

Kiinteät biopolttoaineet. 2011. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. PDF-dokumentti. Luettu 3.3.2011. Päivitetty 5.10.2010.

Knuuttila, Kirsi (toim.) 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus.

Kärkkäinen, Matti 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.

Kärkkäinen Matti 2007, Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto & Metsälehti.

Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa. 2009. WWW-dokumentti.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_09_Metsahakkeen_tuotantoketjut_Suomessa_2009_kk.pdf. Luettu 3.3.2011. Päivitetty 31.5.2010.

Nokka pilkekone. WWW-dokumentti.

http://www2.yamarin.com/modules/imagemanage/images/Dsc_00764.jpg. Ei päivitystietoa. Luettu 21.11.2009.

Tapio 2006. Energiapuuta ainespuusta tinkimättä. Lönnberg Print 2006.

Työmönkijä haastaa traktorin metsätöissä. 2008. WWW-dokumentti.

<http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/article76820.ece>. Päivitetty 4.4.2008. Luettu 20.11.2009.

Yhdistetty aines- ja energiapuun korjuu. 2009. WWW-dokumentti.

<http://www.ponsse.fi/suomi/tuotteet/bioenergia/index.php>. Päivitetty 22.4.2009. Luettu 23.11.2009.

LIITTEET

LIITE 1. Hyvä varastopaikka. Stora
Enso.

Päivämäärä	Paino (kg)	Kuiva- aine	Kosteus (%)	Saapumistila	Saapumistila	Kuorman energia	Kuorman koko	Kg/m3	MWh/kg	MWh/m3	Varastopaikkaluokka
				MJ/kg	MWh/t	MWh	m3				
27.5.2010	17460	59,2	40,80	10,61	2,95	51,45	62	281,61	0,0029	0,83	hyvä
26.5.2010	29080	68,5	31,50	12,66	3,52	102,24	121	240,33	0,0035	0,84	hyvä
26.5.2010	30820	75,4	24,60	14,18	3,94	121,38	121	254,71	0,0039	1,00	hyvä
27.5.2010	17920	60,1	39,90	10,81	3,00	53,79	62	289,03	0,0030	0,87	hyvä
27.5.2010	17840	55,2	44,80	9,73	2,70	48,20	62	287,74	0,0027	0,78	hyvä
28.5.2010	14480	77,6	22,40	14,66	4,07	58,98	62	233,55	0,0041	0,95	hyvä
22.6.2010	20580	60,4	39,60	10,87	3,02	62,15	62	331,94	0,0030	1,00	hyvä
2.6.2010	11760	73,4	26,60	13,74	3,82	44,87	55	213,82	0,0038	0,82	hyvä
7.6.2010	27980	69,3	30,70	12,83	3,56	99,74	121	231,24	0,0036	0,82	hyvä
23.6.2010	15120	65,5	34,50	12,00	3,33	50,38	62	243,87	0,0033	0,81	hyvä
9.6.2010	29040	70,6	29,40	13,12	3,64	105,83	121	240,00	0,0036	0,87	hyvä
16.8.2010	16760	82,7	17,30	15,79	4,39	73,50	62	270,32	0,0044	1,19	hyvä
16.8.2010	13640	83,2	16,80	15,90	4,42	60,23	55	248,00	0,0044	1,10	hyvä
19.8.2010	19480	63,4	36,60	11,53	3,20	62,41	62	314,19	0,0032	1,01	hyvä
20.8.2010	16620	64,8	35,20	11,84	3,29	54,67	62	268,06	0,0033	0,88	hyvä
27.8.2010	28200	74,7	25,30	14,02	3,90	109,85	121	233,06	0,0039	0,91	hyvä
	20423,75		31,00	12,77	3,55	72,48		261,34	0,0035	0,92	

**LIITE 2. Huono varastopaikka. Stora
Enso**

Päivämäärä	Paino (kg)	Kuiva- aine	Kosteus (%)	Saapumistila	Saapumistila	Kuorman energia	Kuorman koko	Kg/m3	MWh/kg	MWh/m3	Varastopaikkaluokka
				MJ/kg	MWh/t	MWh	m3				
22.5.2010	31780	69,9	30,10	12,97	3,60	114,46	101	314,65	0,0036	1,13	huono
27.5.2010	14620	68,9	31,10	12,75	3,54	51,76	62	235,81	0,0035	0,83	huono
28.5.2010	9080	67,0	33,00	12,33	3,42	31,09	40	227,00	0,0034	0,78	huono
28.5.2010	15860	69,0	31,00	12,77	3,55	56,25	62	255,81	0,0035	0,91	huono
28.5.2010	14720	63,7	36,30	11,60	3,22	47,43	62	237,42	0,0032	0,76	huono
2.6.2010	14760	77,0	23,00	14,53	4,04	59,58	62	238,06	0,0040	0,96	huono
3.6.2010	13340	62,6	37,40	11,36	3,15	42,08	55	242,55	0,0032	0,77	huono
3.6.2010	13340	69,1	30,90	12,79	3,55	47,39	55	242,55	0,0036	0,86	huono
18.6.2010	18100	63,2	36,80	11,49	3,19	57,76	62	291,94	0,0032	0,93	huono
19.6.2010	15400	58,4	41,60	10,43	2,90	44,62	55	280,00	0,0029	0,81	huono
20.8.2010	17020	71,7	28,30	13,36	3,71	63,17	62	274,52	0,0037	1,02	huono
23.8.2010	20440	47,7	52,30	8,07	2,24	45,83	55	371,64	0,0022	0,83	huono
26.8.2010	27420	68,3	31,70	12,61	3,50	96,07	121	226,61	0,0035	0,79	huono
23.8.2010	21560	64,8	35,20	11,84	3,29	70,92	62	347,74	0,0033	1,14	huono
24.8.2010	12280	77,3	22,70	14,60	4,05	49,79	55	223,27	0,0041	0,91	huono
30.8.2010	17580	65,1	34,90	11,91	3,31	58,15	62	283,55	0,0033	0,94	huono
	17331,25		33,52	12,21	3,39	58,52		268,32	0,0034	0,90	

LIITE 3. Hyvä varastopaikka. Heinäveden Aluelämpö Oy

Päivämäärä	Kosteus (%)	Kuorman koko	Kuorman energia	Paino (kg)	Saapumistila		Saapumistila		Varastopaikkaluokka	
		(m3)	MWh		MJ/kg	MWh/t	Kg/m3	MWh/kg		MWh/m3
7.5.2010	34,36	55	40,255	12250	12,03	3,34	222,73	0,0033	0,73	hyvä
7.5.2010	36,74	55	40,693	12950	11,50	3,20	235,45	0,0031	0,74	hyvä
7.5.2010	37,02	55	42,193	13500	11,44	3,18	245,45	0,0031	0,77	hyvä
14.5.2010	35,45	62	50,396	15650	11,79	3,27	252,42	0,0032	0,81	hyvä
14.5.2010	42,60	62	43,778	15700	10,21	2,84	253,23	0,0028	0,71	hyvä
15.5.2010	45,35	62	43,4	16550	9,60	2,67	266,94	0,0026	0,70	hyvä
15.5.2010	44,79	62	43,959	16550	9,73	2,70	266,94	0,0027	0,71	hyvä
15.5.2010	36,67	62	46,096	14650	11,52	3,20	236,29	0,0031	0,74	hyvä
5.8.2010	26,09	55	38,045	10050	13,85	3,85	182,73	0,0038	0,69	hyvä
5.8.2010	25,89	55	40,065	10550	13,89	3,86	191,82	0,0038	0,73	hyvä
18.8.2010	25,19	62	49,341	12850	14,05	3,90	207,26	0,0038	0,80	hyvä
21.8.2010	30,45	129	88,23	25050	12,89	3,58	194,19	0,0035	0,68	hyvä
24.8.2010	29,48	55	46,191	12900	13,10	3,64	234,55	0,0036	0,84	hyvä
31.8.2010	31,00	55	39,4	11050	12,77	3,55	200,91	0,0036	0,72	hyvä
	34,36		46,574	14304	12,03	3,34	227,92	0,0033	0,74	

**LIITE 4. Huono varastopaikka. Heinä-
veden Aluelämpö Oy**

Päivämäärä	Kosteus (%)	Kuorman koko	Kuorman energia	Paino (kg)	Saapumistila		Saapumistila			Varastopaikkaluokka
		(m3)	MWh		MJ/kg	MWh/t	Kg/m3	MWh/kg	MWh/m3	
14.5.2010	35,52	55	45,667	14200	11,77	3,27	258,18	0,0032	0,83	huono
10.6.2010	50,92	55	30,06	13150	8,38	2,33	239,09	0,0023	0,55	huono
10.6.2010	47,47	55	33,299	13350	9,14	2,54	242,73	0,0025	0,61	huono
11.6.2010	47,29	55	36,326	14500	9,18	2,55	263,64	0,0025	0,66	huono
11.6.2010	42,04	55	38,805	13750	10,33	2,87	250,00	0,0028	0,71	huono
14.6.2010	49,56	55	33,272	14050	8,68	2,41	255,45	0,0024	0,60	huono
14.6.2010	46,03	55	36,138	14000	9,45	2,63	254,55	0,0026	0,66	huono
15.6.2010	44,59	62	38,823	14550	9,77	2,71	234,68	0,0027	0,63	huono
15.6.2010	36,86	62	46,556	14850	11,48	3,19	239,52	0,0031	0,75	huono
21.6.2010	36,58	121	85,104	27000	11,54	3,20	223,14	0,0032	0,70	huono
21.6.2010	32,75	121	95,408	28200	12,38	3,44	233,06	0,0034	0,79	huono
22.6.2010	43,07	55	39,469	14300	10,11	2,81	260,00	0,0028	0,72	huono
15.6.2010	37,45	55	39,208	12650	11,35	3,15	230,00	0,0031	0,71	huono
15.6.2010	36,50	55	38,987	12350	11,56	3,21	224,55	0,0032	0,71	huono
4.8.2010	23,38	55	53,511	13550	14,45	4,01	246,36	0,0039	0,97	huono
4.8.2010	27,11	55	56,23	15100	13,62	3,78	274,55	0,0037	1,02	huono
31.8.2010	28,60	55	47,241	13000	13,30	3,69	236,36	0,0036	0,86	huono
4.8.2010	27,03	62	56,67	15450	13,64	3,79	249,19	0,0037	0,91	huono
24.8.2010	30,42	55	45,283	12850	12,90	3,58	233,64	0,0035	0,82	huono
	38,06		47,161	15308	11,21	3,11	244,67	0,0031	0,75	

LIITE 5. Koottu taulukko.**Hyvä varastopaikka.**

nro	Varastoluokka	Kosteus (%)	Kg/m3	MWh/kg	MWh/m3	MWh
1	1	26,09	182,73	0,0038	0,69	38,045
2	1	31,00	200,91	0,0036	0,72	39,4
3	1	25,89	191,82	0,0038	0,73	40,065
4	1	34,36	222,73	0,0033	0,73	40,255
5	1	36,74	235,45	0,0031	0,74	40,693
6	1	37,02	245,45	0,0031	0,77	42,193
7	1	45,35	266,94	0,0026	0,70	43,4
8	1	42,60	253,23	0,0028	0,71	43,778
9	1	44,79	266,94	0,0027	0,71	43,959
10	1	26,60	213,82	0,0038	0,82	44,87
11	1	36,67	236,29	0,0031	0,74	46,096
12	1	29,48	234,55	0,0036	0,84	46,191
13	1	44,80	287,74	0,0027	0,78	48,20
14	1	25,19	207,26	0,0038	0,80	49,341
15	1	34,50	243,87	0,0033	0,81	50,38
16	1	35,45	252,42	0,0032	0,81	50,396
17	1	40,80	281,61	0,0029	0,83	51,45
18	1	39,90	289,03	0,0030	0,87	53,79
19	1	35,20	268,06	0,0033	0,88	54,67
20	1	22,40	233,55	0,0041	0,95	58,98
21	1	16,80	248,00	0,0044	1,10	60,23
22	1	39,60	331,94	0,0030	1,00	62,15
23	1	36,60	314,19	0,0032	1,01	62,41
24	1	17,30	270,32	0,0044	1,19	73,50
25	1	30,45	194,19	0,0035	0,68	88,23
26	1	30,70	231,24	0,0036	0,82	99,74
27	1	31,50	240,33	0,0035	0,84	102,24
28	1	29,40	240,00	0,0036	0,87	105,83
29	1	25,30	233,06	0,0039	0,91	109,85
30	1	24,60	254,71	0,0039	1,00	121,38
Keskihajonta	1	7,74	34,60	0,00	0,13	24,26
Mediaani	1	32,93	242,10	00,003	00,81	50,39

LIITE 6. Koottu taulukko.
Huono varastopaikka

nro	Varastoluokka	Kosteus (%)	Kg/m3	MWh/kg	MWh/m3	MWh
31	2	35,52	258,18	0,0032	0,83	45,667
32	2	50,92	239,09	0,0023	0,55	30,06
33	2	47,47	242,73	0,0025	0,61	33,299
34	2	47,29	263,64	0,0025	0,66	36,326
35	2	42,04	250,00	0,0028	0,71	38,805
36	2	49,56	255,45	0,0024	0,60	33,272
37	2	46,03	254,55	0,0026	0,66	36,138
38	2	44,59	234,68	0,0027	0,63	38,823
39	2	36,86	239,52	0,0031	0,75	46,556
40	2	36,58	223,14	0,0032	0,70	85,104
41	2	32,75	233,06	0,0034	0,79	95,408
42	2	43,07	260,00	0,0028	0,72	39,469
43	2	37,45	230,00	0,0031	0,71	39,208
44	2	36,50	224,55	0,0032	0,71	38,987
45	2	23,38	246,36	0,0039	0,97	53,511
46	2	27,11	274,55	0,0037	1,02	56,23
47	2	28,60	236,36	0,0036	0,86	47,241
48	2	27,03	249,19	0,0037	0,91	56,67
49	2	30,42	233,64	0,0035	0,82	45,283
50	2	30,10	314,65	0,0036	1,13	114,46
51	2	31,10	235,81	0,0035	0,83	51,76
52	2	33,00	227,00	0,0034	0,78	31,09
53	2	31,00	255,81	0,0035	0,91	56,25
54	2	36,30	237,42	0,0032	0,76	47,43
55	2	23,00	238,06	0,0040	0,96	59,58
56	2	37,40	242,55	0,0032	0,77	42,08
57	2	30,90	242,55	0,0036	0,86	47,39
58	2	36,80	291,94	0,0032	0,93	57,76
59	2	41,60	280,00	0,0029	0,81	44,62
60	2	28,30	274,52	0,0037	1,02	63,17
61	2	52,30	371,64	0,0022	0,83	45,83
62	2	31,70	226,61	0,0035	0,79	96,07
63	2	35,20	347,74	0,0033	1,14	70,92
64	2	22,70	223,27	0,0041	0,91	49,79
65	2	34,90	283,55	0,0033	0,94	58,15
Keskihajonta	2	8,02	33,58	0,00	0,14	19,42
Mediaani	2	35,52	242,73	00,003	00,81	47,24