

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma/ bioenergia

Juuso Sipola

POLTTOHAKKEEN TUOTANTOKETJU

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikka

SIPOLA, JUUSO

Polttohakkeen tuotantoketju

Opinnäytetyö

31 sivua

Työn ohjaaja

Lehtori Jyri Mulari

Toimeksiantaja

Pousin Puutarha Oy

Toukokuu 2015

Avainsanat

energiapuun, korjuukustannukset, energiasisältö

Tässä opinnäytetyössä käsitellään energiapuun kulkua pystymetsästä lämpölaitokselle. Työn tarkoituksena oli tuottaa Pousin Puutarha Oy:lle kokonaiskuva energiapuun logistisen ketjun toiminnasta ja puun kuivumisen vaikutuksesta sen energiasisältöön. Lisäksi työssä käsitellään lyhyesti puukaupan eri muotoja ja niiden eroja.

Työssä käsitellään useita eri puunkorjuun, kaukokuljetuksen ja haketuksen vaihtoehtoja sekä miten puu tulisi varastoida. Lisäksi vertaillaan eri luonnonkuivatusmenetelmiä energiapuun kuivatuksessa.

Tuloksista voidaan päätellä, että puuston järeydestä johtuvilla korjuukustannuksilla ja puun kosteudella on suuri merkitys megawattihinnan muodostumisessa. Myös metsäkoneen kuljettajalta vaaditaan ammattitaitoa puiden käsittelyssä, ettei energiapuukaasaan joudu kiviainesta ja että kasa olisi sijoitettu mahdollisimman aurinkoiseen ja tuuliseen paikkaan kuivumisen nopeuttamiseksi.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

SIPOLA, JUUSO

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

May 2015

Keywords

Production chain of fuel chips

31 pages

Jyri Mulari, Lecturer

Pousin Puutarha Oy

energy wood, harvesting costs, energy content

In this thesis, the journey of energy wood from the forest to the power plant was observed. The purpose was to provide Pousin Puutarha Oy with a clear picture about how the logistic chain of procuring energy wood is organized and how the moisture content of the wood affects the energy content. Also, some key factors of timber trade are examined.

In the thesis, different methods of harvesting, transporting and chipping of energy wood are examined. Also, some details are showed on how the wood should be stored before chipping so that it would dry up as much as possible. Two different natural drying techniques are demonstrated.

Based on the results, it can be concluded that timber harvesting costs resulting from the sturdiness of the tree stand and moisture content have the largest effect on the cost per Mwh. Skills are required of the forest machine operator in harvesting and especially transporting the wood to roadside so that there is no rocks inside the woodpile and that the pile is located in a sunny and windy location so that the wood would dry as much as possible.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEITÄ

1	JOHDANTO	7
2	YRITYSESITELY	7
	2.1 Pousin Puutarha Oy	7
	2.2 Lämpölaitos	7
3	METSÄHAKKEEN ERI MUODOT	8
	3.1 Metsätähdehake	8
	3.2 Kokopuuhake	8
	3.3 Rankahake	8
4	KORJUU	9
	4.1 Hakkuu	9
	4.1.1 Karsittu ranka	9
	4.1.2 Kokopuu	10
	4.1.3 Integroitu korjuu	11
	4.2 Metsäkuljetus	12
	4.3 Kaukokuljetus	13
	4.4 Korjuukustannukset	14
	4.5 Varastointi	16
5	HAKETUS	17
	5.1 Tienvarsihaketus	18
	5.2 Terminaalihaketus	19
	5.3 Käyttöpaikkahaketus	19
6	PUUN ENERGIASISÄLTÖ	20
	6.1 Lämpöarvo	20
	6.2 Puun kuivatus	21

6.3	Palsta- ja pinokuivatus	23
6.4	Megawattihinnan muodostuminen	25
7	PUUKAUPPA	26
7.1	Pysty-, hankinta-, ja käteiskauppa	26
7.2	Puiden mittaus	27
7.3	Verotus	27
8	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	30

KÄSITTEITÄ

Ainespuu: Saha/paperiteollisuuden raaka-aineeksi kelpaava puutavara.

Energiapuu: Hakkuutähteet, harvennusten pienpuu, kannot ja muu puutavara, joka ei kelpaa jalostukseen.

Ennakkoraivaus: Toimenpide, jossa leimikolta kaadetaan näkyvyyttä haittaavat almittaiset puut ennen hakkuuta.

Irtokuutiometri: Irtokuutiometri, i-m³, tarkoittaa laatikkoa, jonka jokainen sivu on metrin mittainen ja johon puut on heitelty sekaisin. Irtokuutioita käytetään yleensä pilkotun polttopuun ja hakkeen mittauksessa.

Joukkokäsittely: Hakkuumenetelmä, jossa hakkuupäähän kerätään useampia runkoja ennen niiden kaatamista maahan. Joukkokäsittelyllä pyritään tehostamaan pieniläpimittaisen puun korjuuta.

Kiintokuutiometri: Kiintokuutiometri tarkoittaa 1000 litraa kiinteää puuta. Lyhenteenä voidaan käyttää m³ tai k-m³

Leimikko: Kuvio, josta on tehty metsänkäyttöilmoitus ja jossa on tarkoitus suorittaa metsänhoidollisia toimenpiteitä.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä oli tarkoitus luoda Pousin puutarha Oy:lle tiivis opas polttohakkeen tuotantoprosessista kannolta kattilaan. Yritys tarvitsee etenkin talviaikaan paljon energiaa kasvihuoneiden lämmitykseen. Aiemmin tämä lämpö tuotettiin maakaasulla, mutta joulukuusta 2012 lähtien lämpö on tuotettu polttohakkeella.

Työssä käydään läpi mitä ominaisuuksia ja eroavaisuuksia kokopuulla ja karsitulla rangalla on korjuun, metsäkuljetuksen, kaukokuljetuksen ja haketuksen kannalta. Lisäksi tarkastellaan puun kuivumista luonnon olosuhteissa erilaisia kuivatusmenetelmiä käyttäen ja kosteuden vaikutusta puun energiasisältöön.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Pousin Puutarha Oy

Pousin Puutarha Oy on haminalainen perheyritys, joka on perustettu 1930-luvulla. Yrityksellä on kaksi toimipaikkaa, toinen Tikkamäessä ja toinen Kolsilassa. Tällä hetkellä Kolsilan toimipaikasta vastaa yrityksen toimitusjohtaja Jarmo Pousi. Tikkamäen toimipisteestä vastaa Ensio Pousi. Yrityksen tuotteisiin kuuluvat lehti-, jää- ja tammenlehväsalaatit, kurkku, persilja, tilli, ruohosipuli ja kesäkukat. Ympärivuotisen toiminnan saavuttamiseksi kasvihuoneita on lämmitettävä talvella. Tikkamäen kasvihuoneiden lämpö tuotetaan hakkeella. Vuotuinen lämmöntarve on noin 6500 MWh, jonka tuottamiseen tarvitaan noin 10 000 irtokuutiometriä haketta, joka tarkoittaa noin 4000 kiintokuutiota karsittua rankaa. Kolsilassa lämmitys hoidetaan maakaasulla. (1.)

2.2 Lämpölaitos

Tikkamäessä otettiin käyttöön 2012 joulukuussa nimellisteholtaan 2 MW:n kiinteälle polttoaineelle suunniteltu Jernfors Energi System AB:n valmistama kattila. Hake varastoidaan siiloissa, joihin mahtuu kerrallaan noin 500 m³ haketta. Siiloista hake kulkeutuu kolakuljettimia pitkin polttoainesäiliöön ja sieltä ruuvin kautta kattilaan. Arina koostuu kiinteästä osasta eli pudotusarinasta ja liikkuvista porrasarinoista. Ruuvi syöttää hakkeen pudotusarinalle, josta se valuu porrasarinoiden päälle. Palaminen tapahtuu hiljalleen hakkeen siirtyessä eteenpäin porrasarinan päällä. Edetessään arinan päällä

hake kuivuu ennen varsinaista palamisprosessia. Savukaasujen puhdistus tapahtuu multisyklonilla, jossa on kytketty rinnan useita pieni sykloneja. (2.)

3 METSÄHAKKEEN ERI MUODOT

3.1 Metsätähdehake

Metsätähdehakkeella tarkoitetaan päätehakkuun yhteydessä syntyneistä hakkuutähdeistä (latvukset ja oksat) tehtyä haketta. Hakkuun aikana hakkuutähteet kerätään karsinnan yhteydessä omille kasoilleen ajouran viereen, josta kuormatraktori kuljettaa ne tienvarsipinon ainespuun kuljetuksen jälkeen. Tienvarsivarastossa hakkuutähteiden annetaan kuivua kesän yli ennen haketusta. Kuivuminen on tehokkaampaa, jos hakkuu on tehty kesäaikaan ja hakkuutähdekasojen annetaan kuivua palstalla tienvarsipinon sijaan. Muutaman viikon palstakuivatuksen aikana hakkuutähteiden kosteus laskee 50 %:sta jopa 20–30 %:iin. Palstakuivatuksessa myös suurin osa neulasista varisee palstalle ravinteiksi ja samalla neulasissa oleva haitallinen kloori ei ajaudu polttoon.

3.2 Kokopuuhake

Kokopuuhaketta valmistetaan hakettamalla korjatut puut oksineen päivineen. Kokopuuhakkuussa kertymät ovat suuremmat kuin karsitun rangan hakkuussa. Kokopuun korjuuta suositaankin juuri tämän vuoksi pienipuustoisissa kohteissa. Kasvupaikka asettaa kuitenkin rajoitteita kokopuun korjuulle. Runkopuun lisäksi metsästä poistuu suurin osa oksista ja neulasista, jotka karsitun rangan hakkuussa jäisivät metsään lannoitteeksi kasvamaan jäävälle puustolle. Kokopuun korjuussa käytetään työmenetelmänä lähes poikkeuksetta joukkokäsittelyä.

3.3 Rankahake

Karsittua energiapuuta valmistettaessa puu syötetään karsivan hakkuukouran läpi ja katkaistaan latvaläpimitan ollessa n. 3 – 4 cm. Karsittaessa puut, jäävät oksat ja neulas ravinteiksi jäljelle jäävälle puustolle. Karsimisella saadaan myös hakkuutähteitä ajouralle maaston kantavuuden parantamiseksi ja puiden juurien suojaksi. Myös neulasten polton kannalta haitallinen kloori jää metsään. Karsitun rangan valmistuksessa voidaan myös hyödyntää joukkokäsittelyä korjuunopeuden kasvattamiseksi. (3.)

4 KORJUU

Lähestulkoon kaikki teollisuuden käyttämä energiapuu korjataan nykyään koneellisesti. Karsitun rangan ja kokopuun korjuu eroavat toisistaan ainoastaan käytettävien hakkuupäiden osalta.

4.1 Hakkuu

4.1.1 Karsittu ranka

Karsittu ranka korjataan tavallisella harvesterilla, jolla suoritetaan myös normaali ainespuuhakkuu. Energiapuun talteenotto ei siis vaadi mitään lisävarusteita alustakoneeseen. Joukkokäsittelyn helpottamiseksi harvesteripäähän voidaan kuitenkin asentaa ns. keruukäpälet, mitkä pitävät sahattua runkoa otteessaan sillä aikaa, kun karsintaterillä ja syöttörullilla tartutaan uuteen runkoon. Joissain kouramalleissa sahattua puuta voidaan pitää syöttörullilla kiinni kun terillä tartutaan uuteen runkoon. Tällöin ei välttämättä tarvita keruukäpäliä. Kourassa olisi hyvä olla syöttörullat myös pohjassa sivurullien lisäksi. Pohjarullat auttavat puunipun syötössä ja kaikki puut tulevat varmemmin yhtä aikaa kouran läpi. Kuvassa 1 näkyy John Deeren H 754 neljällä syöttörullalla varustettu harvesterikoura, joka sopii hyvin joukkokäsittelyyn.



Kuva 1. Energiapuun joukkokäsittelyä syöttävällä harvesterikouralla (4)

Syötettäessä nippua kouran läpi karsintaterät ja syöttörullat rikkovat puun kuorta, joka parantaa puun kuivumista manuaaliseen hakkuuseen verrattuna. Lisäksi hakkuuajan-kohta vaikuttaa kuoren irtoamiseen. Nila-aikana eli touko – kesäkuussa kuori on herkimmillään ja irtoaa todella helposti. Tänä aikana suoritettu koneellinen hakkuu irrottaa lähes kaiken kuoren puusta. Nila-aika kuitenkin ajoittuu kelirikon kanssa samaan aikaan, jolloin metsäpohjan ja tiestön kunto saattavat estää puunkorjuun tai kaukokuljetuksen.

4.1.2 Kokopuu

Kokopuu korjataan hakkuupäällä, joka vain katkaisee rungon. Kaatokourissa voidaan myös hyödyntää joukkokäsittelyä pienirunkoisten puiden korjuun tehostamisessa. Nämä kourat katkaisevat puun joko saksikatkaisulla tai giljotiiniterällä, joka puristaa puun poikki. Kaatopäissä ei ole syöttöä tai karsintaominaisuuksia, joten kaikki oksat lähtevät pois metsästä puiden mukana. Viime aikoina myös katkaisupäihin on kehitetty kantokäsittelylaitteistoja, jolloin niiden käyttö on mahdollista myös kesäaikana. Kasvukauden aikana kaadettujen puiden kanton tulee levittää torjunta-ainetta, joka estää juurikäävän leviämisen kantojen kautta terveisiin puihin. Torjunta-aineena käytetään yleensä ureaa. Yksinkertaisemman tekniikan vuoksi pelkät kaatopäät ovat investointina pienempiä kuin tavalliset ainespuukourat. Tämä johtuu syöttörullien ja

karsintalaitteiston puutteesta ja siitä, että kaatopäissä ei ole minkäänlaista mittalaitteistoa. Tämä johtaa suoraan siihen, että kokopuun hakkuu on hieman edullisempaa kuin karsitun rangan korjuu, mutta kaatokouralla ei vastaavasti voi korjata ainespuuta karsinta- ja mittalaitteiston puuttumisen vuoksi.

4.1.3 Integroitu korjuu

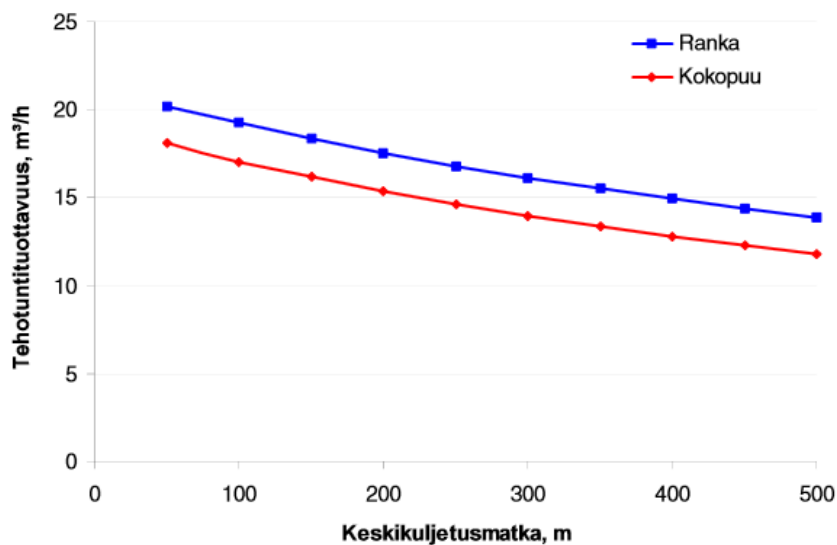
Integroidulla korjuulla tarkoitetaan ainespuun ja energiapuun korjuuta samalta leimikolta samaan aikaan. Tässä menetelmässä järeät puut hakataan ainespuuksi, yleensä kuitupuuksi paperi- ja sellutehtaita varten ja latvat sekä pienet rungot hakataan karsituksi energiapuuksi. Sekä ainespuun että energiapuun hakkuussa voidaan hyödyntää joukkokäsittelyä, joskin isot rungot on helpompi hakata yksitellen. Työn tehokkuuden kasvattamiseksi kuitupuuksi tulisi ottaa enintään kahta lajia ja hakata kaikki loppu energiapuuksi. Kuvassa 2 on esitetty integroidun hakkuun jälkeä, jossa ainespuu ja energiarangat ovat hakattu omiin kourakasoihinsa.



Kuva 2. Integroitu hakkuu

4.2 Metsäkuljetus

Kokopuun ja karsitun rangan metsäkuljetus voidaan tehdä normaalivarusteisella kuormatraktorilla. Ainoana poikkeuksena tolppajako saisi hyvä olla tiheämpi kuin ainespuuta ajaessa, koska rangan pituus voi vaihdella suuresti eivätkä pölkkyjen päät aina ole tasan. Tiheämmällä tolppajaolla saadaan kaikki rangat pysymään helpommin kuormatilan sisällä. Tällöin välttyään siltä, että kuormatilan ulkopuolella olevat rangat eivät raavi ajouran reunapuiden kuorta rikki. Kuormatraktorissa olisi myös hyvä olla kuormainvaaka, jolla saadaan helposti mitattua hakatun puun määrää. Kuvassa 3 on esitetty miten metsäkuljetuksen tuottavuus vaihtelee karsitulla rangalla ja kokopuulla.



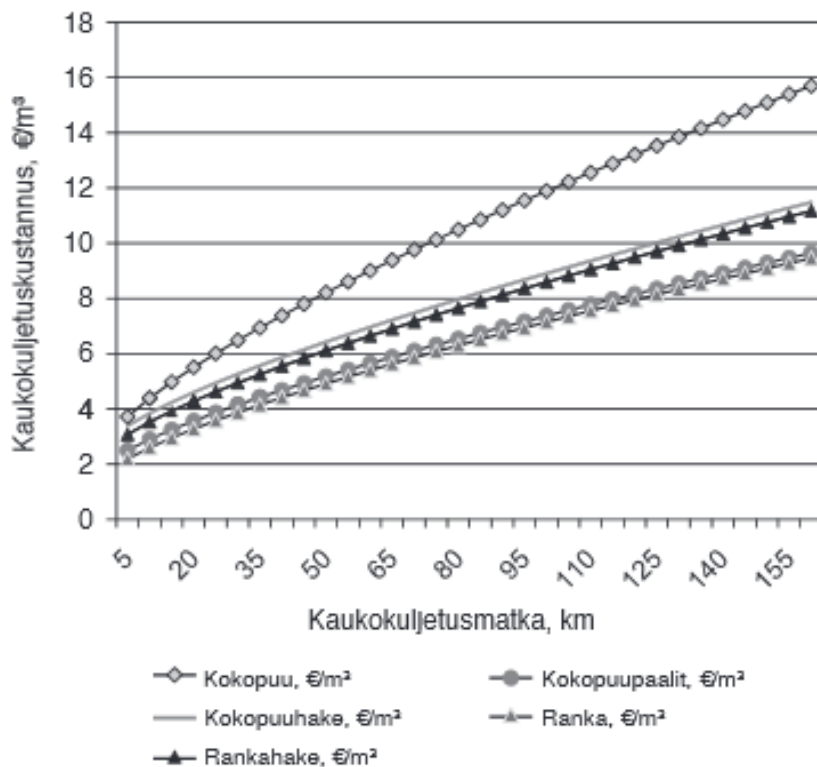
Kuva 3. Metsäkuljetuksen tuottavuus (5)

Kuormakoko karsitulla rangalla on n. 20 % suurempi kuin kokopuulla. Tämä korostuu etenkin pidemmillä kuljetusmatkoilla. Karsitulla rangalla tehotuntituottavuus 300 m ajomatkalla on noin 16 m³/h kun taas kokopuulla se on noin 14 m³/h. Tehotunnilla tarkoitetaan työaikaa, jossa keskitytään ainoastaan työn suorittamiseen, siihen ei kuulu tauot tai huollot/korjaukset. Lisäksi karsitusta rangasta tehdyn kuorman purkaminen on nopeampaa kuin kokopuusta tehdyn kuorman. Kokopuussa oksistaan toisiinsa tart-

tuneet rangat nousevat kourataakan mukana pinoon, mutta saattavat myös tippua enenaikaisesti pinoon. Nämä taakasta pudonneet rangat on aseteltava uudestaan pinoon, jotta kaikki pinossa olevat puut ovat samansuuntaisesti. Tämä helpottaa haketustyötä. (5.)

4.3 Kaukokuljetus

Karsittua rankaa voidaan ajaa tavallisella puutavara-autolla ilman lisävarusteita. Kuormakoko on likimain sama kuin ainespuuta ajettaessa. Puulajilla on pientä merkitystä kuorman kokoon. Lehtipuut tahtovat olla mutkaisempia kuin havupuut, joten ne eivät tahdo asettua kuormatilaan yhtä tiiviisti kuin havupuut. Tämä pienentää kuormakokoa. Kuvasta 4 nähdään miten eri energiapuu eri muodoissa vaikuttaa kaukokuljetuksen kustannuksiin.



Kuva 4. Kokopuun, karsitun rangan, kokopuupaalien, rankahakkeen ja kokopuuhakkeen kaukokuljetuksen yksikkökustannukset (6)

Kuvasta voidaan päätellä, että karsitun rangan kaukokuljetus on edullisinta ja kokopuun kuljetus kalleinta. Hakkeen ja kokopuupaalien kuljetuskustannukset asettuvat näiden kahden välille. (6.)

4.4 Korjuukustannukset

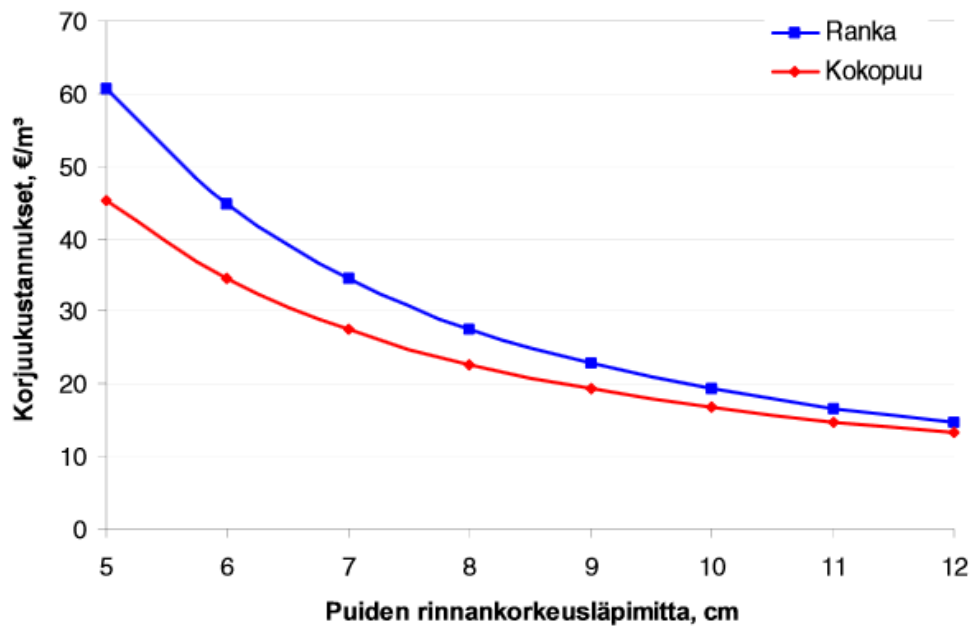
Karsittua rankaa ja kokopuuta korjataan usein runkotilavuudeltaan pienestä puustosta (rungon koko alle 40 dm³). Tämä onkin suurin syy pienpuun korjuukustannusten suuruuteen. Pienessä puustossa kertymä jää pieneksi ja tuottavuus koneenkäyttötuntia kohden jää alhaiseksi. Tämä nostaa korjuukustannuksia, koska koneen käyttökustannukset pysyvät lähes samoina puuston koosta riippumatta. Korjuukustannuksista suurimman osan muodostaa hakkuu. Hakkuussa kokopuun korjuu on hieman halvempaa suuremman kertymänsä vuoksi, mutta ero tasoittuu karsittuun rankaan nähden puuston koon kasvaessa.

Kuvassa 5 näkyy miten korjattavan puun koko ja korjuutapa (karsittuna/oksineen) vaikuttavat korjuukustannuksiin. Pienemmillä puilla ero on suurempi, mutta rinnankorkeusläpimitan kasvaessa ero pienenee. Korjuukustannukset jakautuvat hakkuun ja metsäkuljetuksen kesken. Kustannus tehtyä kuutiometriä kohden saadaan laskettua koneen tuntikustannuksen ja hakattujen puukuutioiden avulla. Esimerkiksi harvesterin tuntiannon ollessa 70 €/h, kuljettajan hakkuunopeus on 2 runkoa/minuutti ja puuston keskimääräinen koko on 30 dm³/runko, saadaan laskettua kustannus tehtyä kuutiometriä kohden kaavalla 1.

$$\frac{70 \text{ €/h}}{(2 \text{ r/min} * 0,03 \text{ m}^3/\text{r} * 60 \text{ min})} = 19,45 \text{ €/m}^3 \quad (1)$$

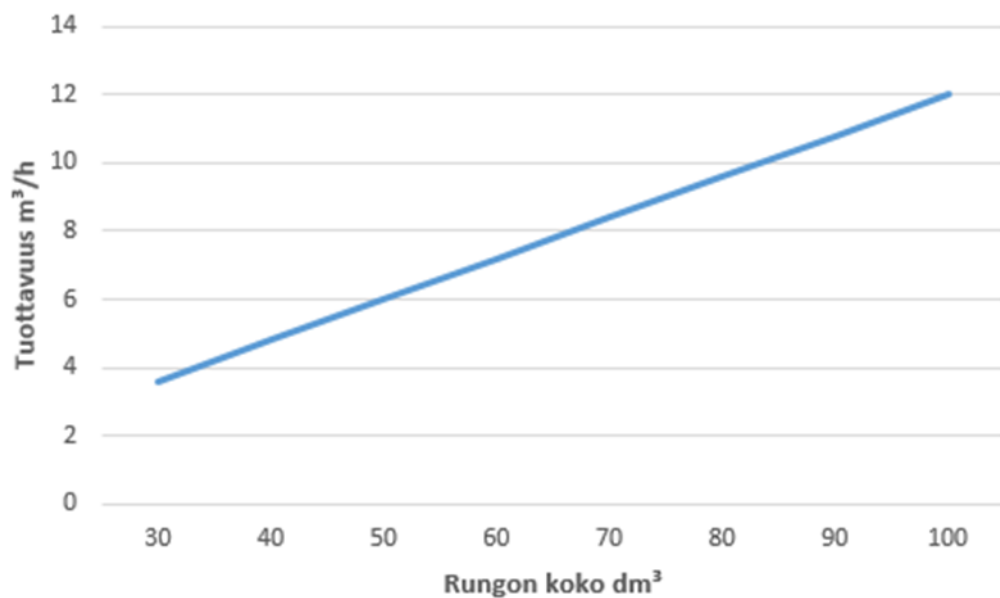
Metsäkuljetuksen kustannus lasketaan koneen tuntiannon, kuljetettujen kuutiometriä ja käytetyn ajan mukaan kaavalla 2. Esimerkiksi metsätraktorin tuntiannon on 55 €/h, karsittua rankaa kuljettaessa kuormakoko on 10 m³ ja yhden kuorman ajamiseen menee 45 minuuttia.

$$\frac{55 \frac{\text{€}}{\text{h}} * 0,75 \text{ h}}{10 \text{ m}^3} = 4,13 \text{ €/m}^3 \quad (2)$$



Kuva 5. Rangan ja kokopuun korjuukustannukset (5)

Hakkuukoneen kuljettajan hakkuunopeuden ja puuston järeyden avulla saadaan myös laskettua keskimääräinen hakkuutuottavuus puuston järeyden suhteen. Kuvassa 6 on havainnollistettu puuston järeyden vaikutusta hakkuun tuottavuuteen. Hakkuunopeutena on käytetty 120 runkoa minuutissa.



Kuva 6. Hakkuun tuottavuus puuston järeyden suhteen

4.5 Varastointi

Energiapuu tulisi varastoida aurinkoisella ja tuulisella paikalla, jolloin kuivuminen tienvarsivarastossa olisi mahdollisimman tehokasta. Pinon alle tulisi asettaa järeämpiä aluspuita tai kourataakkoja energiapuuta, jotta ilma kiertäisi myös pinon alta. Kasan sijoittamisessa tulisi ottaa huomioon hakkurin sisään syöttö, niin että pino olisi samalla puolella tietä kuin hakkurin syöttöaukko, jolloin taakkaa ei tarvitse nostaa auton ylitse.

Kuivana pysymisen kannalta kasat tulisi peittää, etteivät syys sateet ja lumi kastelisi kesän aikana kuivuneita puita. Peittämisessä tulisi käyttää tarpeeksi leveää peittomateriaalia, että koko kasa olisi peitettynä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös kahta kapeampaa peittoa vierekkäin. Liian kapeaa peittoa käytettäessä sadevesi ja sulava lumi pääsevät valumaan kasan sisään, jolloin kosteusprosentti nousee merkittävästi talven yli varastoitaessa.

Kuvassa 7 on havainnollistettu harvennuksilta korjattua karsittua energiapuuta. Puu on tyypillisesti pienen läpimittansa vuoksi ainespuuksi kelpaamatonta, mutta seassa voi olla suuriakin puita esimerkiksi haapaa, leppää tai lahovikaisia, jotka eivät kelpaa jalostukseen.



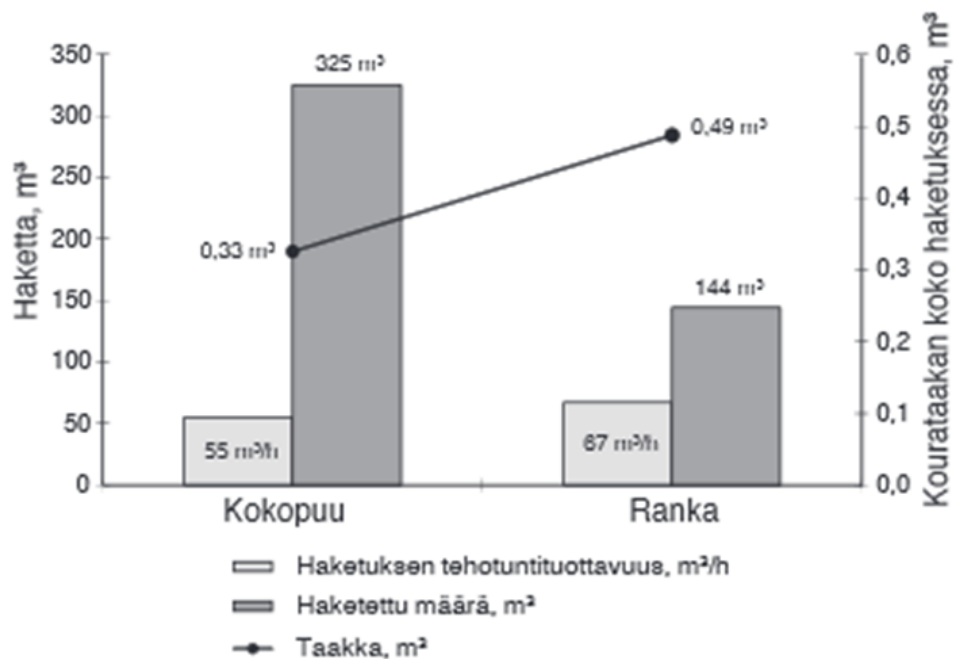
Kuva 7. Karsittua energiarankaa.

5 HAKETUS

Haketus tarkoittaa puun pilkkomista nopeasti pyörivän leikkaavan terän avulla. Terätyypiltään hakkuri voi olla rumpu-, laikka- tai ruuvihakkuri. Laikka- ja ruuvihakkurit ovat tarkempia raaka-aineen suhteen ja niille parasta raaka-ainetta on karsittu puu ja sahauspinnot. Järeät, teollisuuden käyttämät mobiilihakkurit ovat lähestulkoon aina rumpuhakkureita. Rumpuhakkurin etuna on sen kyky hakettaa tehokkaasti vaihtelevia materiaaleja ja kyky sietää pieniä epäpuhtauksia.

Rumpuhakkureissa hakkeen palakokoa säädellään seulojen avulla. Seulat ohjaavat liian isoiksi jääneet puun palaset takaisin rummulle. Pienellä silmäkoolla varustetuilla seuloilla saadaan tasalaatuisempaa haketta, mutta polttoainetta kuluu tällöin enemmän. Isommilla seuloilla tuottavuus on suurempi ja polttoaineen kulutus pienempi kuin pienemmillä seuloilla, mutta hakkeen sekaan saattaa jäädä isoja hakkeen palasia ja pitkiä tikkuja, jotka voivat aiheuttaa ongelmia lämpölaitoksen polttoaineen syöttöjärjestelmissä. (7.)

Eri materiaaleja hakettaessa suurimmat tuottavuuserot muodostuvat kourataakan tiheydestä. Hakkuutähdettä hakettaessa kourataakka on tilavuudeltaan paljon pienempi kuin esimerkiksi karsittua rankaa hakettaessa. Tämä ero moninkertaistuu, kun hakettavaa tavaraa on paljon. Kokopuu asettuu näiden kahden välille. Kuvassa 8 on esitetty Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 2011 tekemän tutkimuksen tuloksia, jossa vertailtiin muun muassa kokopuun ja karsitun rangan haketustuottavuutta ja kourataakan kokoa. Kuvasta nähdään, että haketuksen tuottavuus karsitulla rangalla on noin 21 prosenttia suurempi kuin kokopuulla.



Kuva 8. Haketuksen tehotuntituottavuus ja kourataakan koko karsitulla rangalla ja kokopuulla (6)

5.1 Tienvarsihaketus

Yleisin haketusmuoto on tienvarsihaketus, jossa tienvarsiarastossa olevat puut haketaan kuljetusauton kuormatilaan (erillinen hakkuri & kuljetusrekka) tai hakkuriauton omaan kuormatilaan (integroitu hakkuri ja kuljetusauto). Integroitu hakkuri/hakeauto tulee kyseeseen vain tilanteissa, joissa hakettavaa raaka-ainetta on vähän ja kuljetusmatka on lyhyt. Erillinen hakkuriauto ja kuljetusrekka on yleisin käytetyistä ketjuista hakkeen valmistamisessa ja kuljettamisessa. Hakkeen kuljetuksessa voidaan käyttää

pohjapurkulaitteilla varustettu ajoneuvoyhdistelmää tai siirtokonteilla varustettua autoa. Siirtokonteilla varustetulla autolla haketusta voidaan tehdä huonommissakin paikoissa, missä on vähemmän tilaa. Tällöin jokainen kontti otetaan vuorotellen vetoauton kyytiin ja viedään hakkurin luokse ja täysi kontti tuodaan perävaunun päälle.

Tämä toimintamalli on todella hidaskäyttöinen ja hakkuri joutuu odottelemaan tyhjänä pitkiä aikoja, mutta tällä tavalla selvitetään paikoissa, missä ei ole isoa kääntöpaikkaa ajoneuvoyhdistelmää varten. Lyhyillä matkoilla voidaan käyttää myös liikennetraktoria isolla peräkärjellä varustettuna. Tällä yhdistelmällä haketta on mahdollista kuljettaa hankalammista paikoista kuin kuorma-autolla.

5.2 Terminaalihaketus

Terminaalihaketuksessa hakettava materiaali kuljetetaan ensin isolle terminaalialueelle odottamaan haketusta/murskausta. Terminaali toimii varmuusvarastona esimerkiksi kelirikkojen aikana ja myös puun kuivuminen on tehokkaampaa aukealla alueella kuin metsäteiden varsilla. Etenkin pienet tienvarsipinot on edullisempaa ajaa puut terminaaliin ja haketta ne vasta siellä. Muutoin hakkuriauto ja kuljetusauto joutuvat pahimmassa tapauksessa kiertämään useammalla pinolla ennen kuin kuorma on täysi. Tämän vuoksi terminaalihaketus onkin hieman edullisempaa kuin tienvarsihaketus, koska kerralla käsiteltävät määrät ovat suuria ja tämän takia hakkurin siirtoja tulee vähemmän. Terminaalihaketus kuitenkin vaatii hakkeen uudelleenkuormauksen siirtoauton kyytiin ja kuljetuksen käyttöpaikalle.

5.3 Käyttöpaikkahaketus

Käyttöpaikkahaketus tarkoittaa nimensä mukaan materiaalin hakettamista samalla alueella, missä se käytetään. Haketus tapahtuu tällöin kattilaan syötön yhteydessä, jossa puu kulkee hakkurilta kuljetinta pitkin suoraan kattilaan. Puskurivarasto on kuitenkin hyvä olla hakkurin huolto tai korjaustöiden varalta. Käyttöpaikkahaketuksen on varteenotettava vaihtoehto silloin kun käsiteltävät puumäärät ovat suuria. Se kuitenkin vaatii hakettavan materiaalin autokuljetuksen laitokselle, ja etenkin hakkuutähteillä tämä tarkoittaa kiintokuutioina mitattuna pieniä kuormia, koska hakkuutähteitä ei saada tiivistettyä tarpeeksi pelkän nosturin ja kahmarin avulla.

6 PUUN ENERGIASISÄLTÖ

Puun energiasisältöön suurin vaikuttava tekijä on kosteus. Kaatotuoreen puun kosteusprosentti on noin 50 – 55 %, jolloin puun massasta yli puolet on pelkkää vettä. Energiakäyttöä varten puun kosteutta tulisi saada alennettua 30 – 40 % tasolle, jotta poltto-prosessin hyötysuhde olisi hyvällä tasolla.

6.1 Lämpöarvo

Puun lämpöarvosta puhuttaessa käytetään termejä kalorimetrinen tai ylempi lämpöarvo, alempi lämpöarvo ja lämpöarvo toimitustilassa (kostea).

Kalorimetrisessä lämpöarvossa eli ylempässä lämpöarvossa on otettu huomioon palamisen yhteydessä höyrystyvän veden höyrystymisenergia. Kalorimetrinen lämpöarvo mitataan kalorimetripommiksi kutsutulla laitteella. Ilmakuivasta näytteestä tehdään 1 g kokoinen polttoainepelletti, joka poltetaan veteen upotetussa kammiossa. Palamisesta lämmenneen nesteen lämpö mitataan. Lämpötilaeron ja polttoaineen massan avulla saadaan määritettyä näytteen lämpöarvo (MJ/kg). (3)

Alemmassa lämpöarvossa otetaan huomioon puussa olevan vedyn palaminen, jonka palamistuotteena on vettä. Alempi lämpöarvo lasketaan kaavalla: $q_{\text{alempi}} = q_{\text{ylempi}} - 0,22H$, jossa H on vedyn määrä puussa prosentteina (6 %). Kalorimetrisestä lämpöarvosta käytetään usein vakioarvoa 20,0 tai 20,5 MJ/kg kuiva-ainetta. Näin ollen alempi lämpöarvo on: $(20,0 - 0,22 * 6) \text{ MJ/kg} = 18,68 \text{ MJ/kg}$ tai: $(20,5 - 0,22 * 6) \text{ MJ/kg} = 19,18 \text{ MJ/kg}$. (8)

Kaavalla 3 saadaan laskettua alempi lämpöarvo alkuainekoostumuksen perusteella ja kaavalla 4 alin lämpöarvo, eli lämpöarvo saapumistilassa.

$$H_{u(\text{kuiva})} = 34,8m_C + 93,8m_H + 10,5m_S + 6,3m_N - 10,8m_O \quad (3)$$

$$H_{u(\text{kostea})} = H_{u(\text{kuiva})} \cdot (1 - m_{H_2O}) - r_{25^\circ C} \cdot m_{H_2O} \quad (4)$$

joissa H_u lämpöarvo [MJ/kg]

m komponentin massa yhdessä kilossa polttoainetta [kg]

$r_{25^{\circ}\text{C}}$ veden ominaishöyrystymislämpö (2,443 MJ/kg) (9.)

Taulukko 1. Puun alkuainekoostumus (3)

C	H	S	O	N	TUHKKA
50,4 %	6,2 %	0 %	42,5 %	0,5 %	0,4 %

Kuivan puun lämpöarvo:

$$Hu_{(\text{kuiva})} = 34,8 \times 0,504 + 93,8 \times 0,062 + 6,3 \times 0,005 - 10,8 \times 0,425$$

$$= 18,8 \text{ (MJ/kg)}$$

Puun lämpöarvo, jonka kosteus on 50 %:

$$Hu_{(\text{kosteaa})} = 18,8 \text{ (MJ/kg)} * (1 - 0,50) - 2,443 \text{ (MJ/kg)} * 0,50$$

$$= 8,2 \text{ (MJ/kg)}$$

Megajoulet saadaan muutettua kilowattitunneiksi (kWh) jakamalla megajoulet luvulla 3,6. (10)

Esimerkiksi:

$$\frac{8,2 * 10^6 \text{ Ws}}{3600 \text{ s/h}} = 2,28 * 10^3 \text{ Wh} \rightarrow 2,28 \text{ kWh}$$

Kuten esimerkkilaskelmasta nähdään, puun kosteudella on suuri merkitys siitä saatavaan energiamäärään. Tämä korostuu etenkin pienemmissä kattiloissa.

6.2 Puun kuivatus

Kiintokuutiossa tuoretta puuta on noin 400 kg vettä, josta pitäisi saada mahdollisimman suuri osa haihdutetuksi, jotta puusta saatava energiamäärä ei kuluisi pelkästään

puussa olevan kosteuden haihduttamiseen. Haihtuneen veden määrän avulla voidaan laskea puun energiasisältö eri kosteuksissa.

Haihtuneen veden määrä voidaan laskea kaavalla 5:

$$m_{\text{vesi}} = m[x_1 - x_2(100 - x_1)/(100 - x_2)]/100 \quad (5)$$

jossa	m	kostean puun alkumassa [kg]
	x_1	alkukosteus [%]
	x_2	tavoiteltava loppukosteus [%]

(11.)

Esimerkkilaskussa on käytetty mäntykuitupuuta, jonka keskimääräinen tuorepaino on 900 kg/m^3 kosteuden ollessa 55 %. Kun puu kuivataan 50 % kosteuteen, puusta poistuvan veden massa on tällöin:

$$m_{\text{vesi}} = 900 * [55 - 50(100 - 55) / (100 - 50)] / 100$$

$$= 90 \text{ kg}$$

50 % kosteudessa hakekuution paino on 352 kg (kerroin 2,5) ja puun energiasisältö on 8,2 MJ/kg. Tällöin $352 \text{ kg} * 8,2 \text{ MJ/kg} / 3,6 = 801,78 \text{ kWh} \rightarrow 0,80 \text{ MWh}$

Poistetun veden määrän avulla voidaan määrittää hakekuution paino eri kosteuksissa. Puun painon ja lämpöarvon avulla saadaan laskettua energiatiheys hakkeelle eri kosteuksissa. (11)

Taulukko 2 Veden vaikutus puun painoon ja energiasisältöön

kosteus [%]	kiinto-m ³ paino [kg]	poistetun ve- den määrä [kg]	hake-m ³ paino [kg]	MWH/hake-m ³
55	900	0	391	0,77
50	810	90	352	0,80
45	737	163	320	0,82
40	675	225	293	0,84
35	624	276	271	0,86
30	579	321	251	0,87
25	540	360	234	0,88

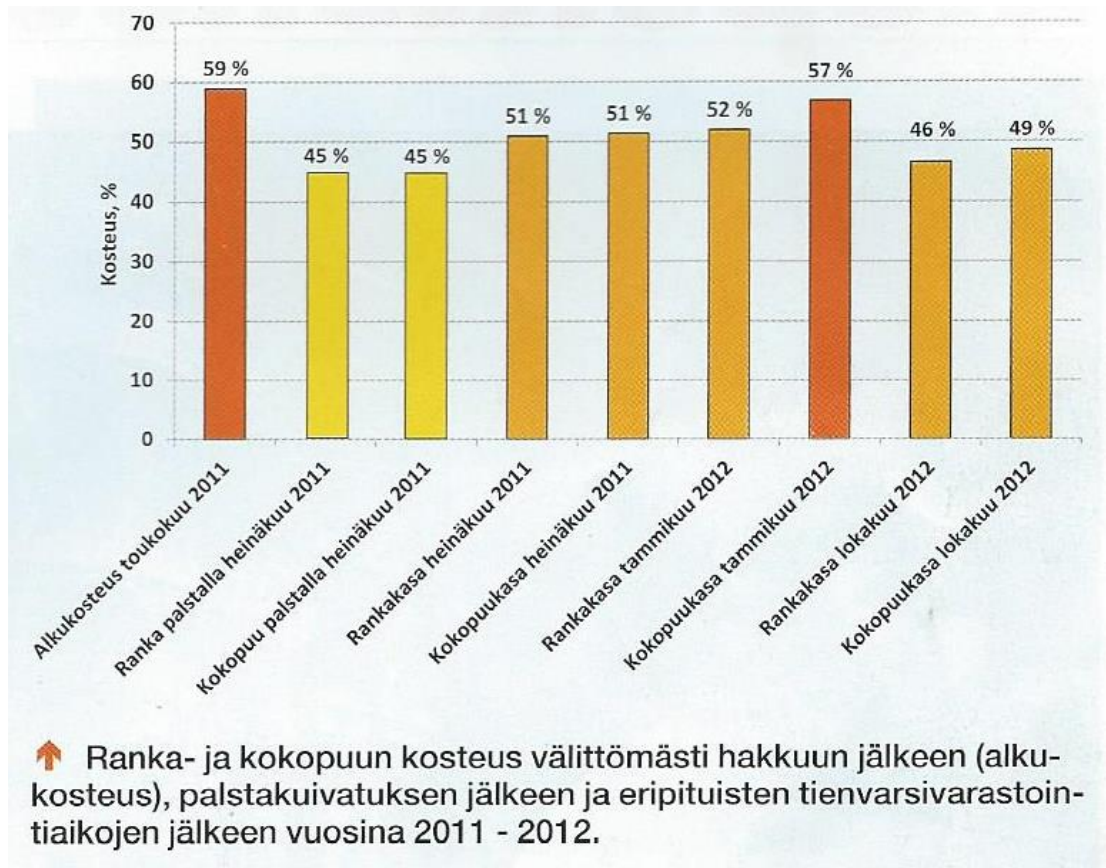
Kiintokuution ja hakekuution välillä on käytetty Metsäntutkimuslaitoksen hyväksymää muuntokerrointa 2,5.

Kuten taulukosta nähdään, puun kuivumisella on suuri merkitys sen massa- ja energiasisältöön (MWh/hake-m³). Kuivaamisella on myös vaikutusta puun kuljetuskustannuksiin kaukokuljetuksessa kuorman painon laskiessa.

6.3 Palsta- ja pinokuivatus

Puuta voidaan kuivattaa myös palstalla kesäaikana tehdyissä hakkuissa. Normaalisti puut ajetaan heti hakkuun jälkeen pois, mutta palstakuivatuksessa niiden annetaan kuivua kourakasoissa muutamasta viikosta jopa kahteen kuukauteen. Palstakuivatuksen teho selittyy sillä, että kourakasassa on enemmän pinta-alaa puumäärän tilavuuteen nähden kuin isossa tienvarsipinossa. Seinäjoen ammattikorkeakoulun ja Metsäkeskuk-

sen vuosina 2011 - 2012 tekemässä tutkimuksessa vertailtiin palstakuivatusta ja tienvarsikuivatusta. Tutkimuksessa kesäaikaan hakattujen puiden lähtökosteus oli 59 % ja kahden kuukauden kuluttua palstakuivatuksen jälkeen kosteus oli 45 %. Samassa ajassa tienvarsipinossa olleiden puiden kosteus oli laskenut 51 prosenttiin. Saman vuoden aikana kokopuun ja karsitun rangan kuivumisessa ei ollut eroa. Kuitenkin seuraavan vuoden syksynä kokopuukasa oli muutaman prosenttiyksikön kosteampaa kuin rankakasa. Kuvassa 9 näkyy miten rangan ja kokopuun kosteus kuivuminen edistyy palsta- ja pinokuivatuksessa ja miten kosteus muuttuu pinossa varastoitaessa puita yli vuoden ajan. (12:42 – 43)



Kuva 9. Palsta- ja varastokasakuivatuksen erot (12: 42 – 43)

6.4 Megawattituntihinnan muodostuminen

Puusta maksettava hinta voi myös määräytyä sen energiasisällön mukaan perinteisen tilavuusperusteisen hinnoittelun sijaan. Tällöin summataan kaikki kustannukset ennen kuin hake on valmista kattilaan syötettäväksi ja verrataan kustannuksia puun kosteudesta riippuvaan energiamäärään (MWh/m³ tai i-m³). Megawattihintaan vaikuttavat eniten puun kosteus ja korjuukustannukset.

Esimerkkilaskelmassa on esitetty mistä kaikista tekijöistä megawattihinta muodostuu ja kuvaajassa havainnollistettu kosteuden vaikutusta siihen.

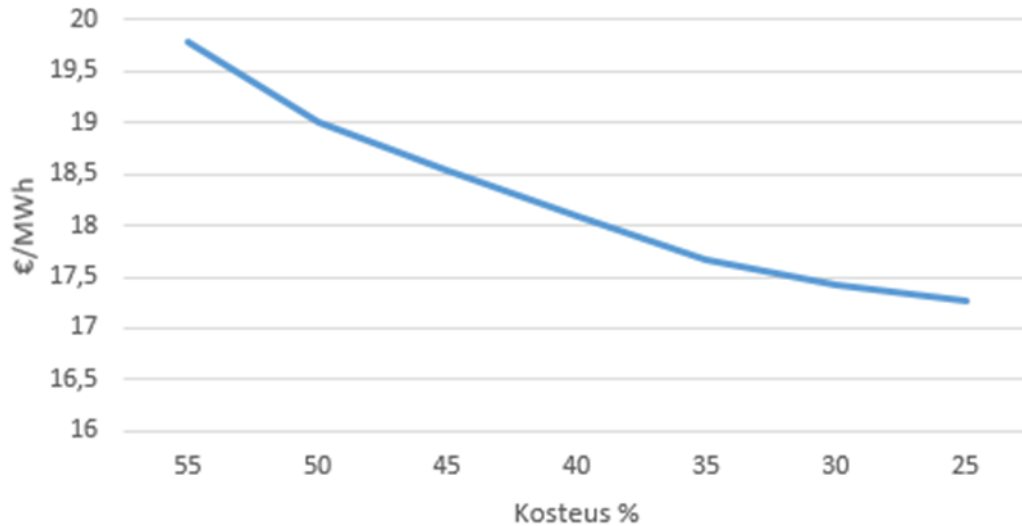
Hakkuu + metsäkuljetus	22 €/m ³
Kaukokuljetus	4 €/m ³
Haketus	10 €/k-m ³
Muut kulut (MHY yms.)	2 €/m ³
Yht.	38 €/m ³

Hakekuutioina mitattuna kustannukset ovat 15,20 €/i-m³

Sivulla 23 olevasta taulukosta 2 nähdään, että esimerkiksi 40 %:n kosteudessa puussa on energiaa 0,84 MWh/hake-m³. Näiden tietojen avulla saadaan laskettua megawattihinta kaavalla 6.

$$\frac{15,20 \frac{\text{€}}{\text{i-m}^3}}{0,84 \frac{\text{MWh}}{\text{i-m}^3}} = 18,10 \text{ €/MWh} \quad (6)$$

Kuvassa 10 on havainnollistettu, miten kosteus vaikuttaa megawattihintaan. Pienetkin erot hinnassa kertautuvat, kun määrät ovat suuria.



Kuva 10. Puun kosteuden vaikutus megawattihintaan.

7 PUUKAUPPA

7.1 Pysty-, hankinta-, ja käteiskauppa

Pystykaupassa metsänomistaja myy hakkuuoikeuden puunostajalle ja täten valtuuttaa tämän tekemään ennalta sovittuja toimenpiteitä metsässään, esimerkiksi ensiharvennusta tai päätehakkuuta. Pystykaupassa puusta maksettavasta hinnasta käytetään nimitystä kantohinta tai pystyhinta ja se sisältää korjuun sekä kuljetuksen käyttöpaikalle. Hakkuuoikeuden ostaja myös vastaa korjuujäljestä ja mahdollisten tiehen kohdistuvien vaurioiden korjauksesta. Aines- ja energiapuusta maksetaan yleensä kiintokuutioiden mukaan (€/k-m³). Kantojen hinta määräytyy painon perusteella, koska kantojen tilavuutta on hankala mitata.

Hankintakaupassa metsänomistaja solmii puunostajan kanssa sopimuksen, jossa määritellään puutavaran määrä ja laatuvaatimukset. Metsänomistajan vastuulle jää toimittaa sovittu puutavaraerä tienvarteen kaukokuljetusta varten. Tällöin metsänomistaja on itse vastuussa korjuujäljestä ja siitä, että tiestö kestää tukkiautolla ajamista.

Käteiskaupassa sopimus puiden ostosta allekirjoitetaan sen jälkeen, kun puutavara on toimitettu tienvarteen. Käteiskaupassa onkin vaarana, että puille ei löydy ostajaa ja ne jäävät myymättä. Muilta osin käteiskauppa on verrattavissa hankintakauppaan. (13.)

7.2 Puiden mittaus

Puut voidaan mitata hakkuukonemittauksella, joka on yleisin tapa karsitun puun mitauksessa. Hankintakaupassa käytetään vielä toisinaan pinomittausta, jossa pinon kehystilavuuden ja kiintotilavuusprosentin avulla määritetään kiintokuutiot.

Energiapuuta ja kantoja on helpompi mitata painon perusteella joko metsätraktorin tai kuorma-auton nosturiin liitetyllä kuormainvaa'alla. Saadut kilomäärät muutetaan Metsäntutkimuslaitoksen vahvistamilla kertoimilla kiintokuutioiksi. Kuormainvaakamittausta voidaan käyttää myös kuitupuun mittauksessa hankintakaupassa. Joissain tapauksissa voidaan käyttää myös ajoneuvovaakaa, jolloin auto punnitaan tullessa kuorma päällä ja poistuessa punnitaan tyhjä auto. Tästä saadaan selville kuorman paino. Tämä mittaustapa toimii esimerkiksi terminaalissa tai käyttöpaikalla.

7.3 Verotus

Puun ostajan on toimitettava Verohallinnolle ennakonpidätys metsänomistajalle makсамastaan puukaupahinnasta. Pystykaupassa ennakonpidätyksen määrä on 20 % arvonlisäverottomasta hinnasta. Hankinta- ja käteiskaupassa määrä on 14 %. Ennakonpidätys maksetaan, kun kaupan kohteena on jalostamaton puutavara. Jalostamatonta puutavaraa ovat tukit, kuitupuu, pilkkeet, hake, kannot, hakkuutähteet ja muu metsäenergiapuu. Puun ostajan velvollisuuksiin kuuluu tarkistaa, milloin ennakonpidätys tulee kyseeseen puukaupoissa.

Puun ostajan kuuluu ilmoittaa ja tilittää pidättämänsä verot Verohallinnolle ja annettava vuosi-ilmoitus Verohallinnolle kalenterivuoden aikana tekemistään puukaupoista. Tämän lisäksi puun myyjälle on annettava tosite, josta käy ilmi arvonlisäveron osuus, kauppahinta ja ennakonpidätyksen osuus. Tämä tosite on annettava myyjälle maksuvuotta seuraavan tammikuun 15 päivään mennessä.

Tilanteissa, jossa puun myyjänä on yleisesti verovelvollinen yhteisö kuten valtio, säätiö, osakeyhtiö, avoin yhtiö, kommandiittiyhtiö, osuuskunta, seurakunta, yhdistys tai

yhteismetsä ennakonpidätysvelvollisuutta ei ole. Myöskään jalostetun puutavaran (sahattu lauta) kohdalla tai kaupan summan jäädessä alle sadan euron, ei ennakonpidätysvelvollisuutta ole. (14.)

Alla on esitetty esimerkki tiedoista, mitä puun ostajan puun myyjälle annettavassa tositteessa on oltava.

Tuote	Karsittu ranka
Määrä	100 m ³
€/m ³	20
Veroton hinta	2000 €
Ennakonpidätys (14 %)	280 €
Alv. (24%)	480 €
Maksetaan	2200 €

Yksikköhinnan ja määrän perusteella lasketaan puumäärälle arvonlisäveroton hinta. Tästä hinnasta vähennetään ennakonpidätys. Jonka jälkeen summaan lisätään verottomalle hinnalle laskettu arvonlisävero.

Arvonlisäveron osuus: $(2000 \text{ €} * 0,24 = 480 \text{ €})$

Maksettava hinta: $[(100 \text{ m}^3 * 20 \text{ €/m}^3) - (2000 \text{ €} * 0,14)] + 480 \text{ €} = 2200 \text{ €}$

Puun ostajan on lisäksi annettava vuosi-ilmoitus (lomake 7807) seuraavan vuoden tammikuun loppuun mennessä. Hankinta- ja käteiskaupan suorituslaji on 9B. (13)

8 YHTEENVETO

Harvennuksilta kerättävä energiapuu voidaan toteuttaa yhdessä kuitupuun korjuun kanssa tai täysin erikseen. Korjuutapa valitaan sen mukaan miten kullakin taveralajilla on kysyntää. Lisäksi korjuussa on otettava huomioon, onko kohde tarpeeksi rehevä kasvualustaltaan, jotta se voidaan korjata kokopuuna.

Hakkuutyön sujumisen kannalta kohde tulisi olla ennalta raivattu, jotta vältyttäisiin suuremmilta korjuuvaurioilta ja työ sujuisi nopeammin. Kohteen puuston keskijäreys saisi olla myös vähintään 40 dm³/r, että se olisi kannattavaa korjata koneellisesti. Pienessä puustossa korjuukustannukset nousevat muuten niin korkeiksi, ettei se ole enää taloudellisesti kannattavaa. Hakkuuajankohtaa suunniteltaessa tulee myös ottaa huomioon metsäpohjan ja tiestön kantavuus, jotta puut saadaan korjattua ja kuljetettua pois tienvarsipinosta. Pino tulisi aina sijoittaa mahdollisimman avaraan paikkaan, jossa se kuivuisi mahdollisimman paljon ja olisi helposti haketettavissa tai kuormattavissa siirtoa varten.

Haketusmuodolla ei varsinaisesti ole olemassa yhtä ainoaa oikeaa vaihtoehtoa vaan se valitaan yleensä lämpölaitoksen varastotilojen, kuljetusmatkojen ja haketettavan materiaalin mukaan. Esimerkiksi karsittua rankaa voidaan kuljettaa tehokkaasti autolla käyttöpaikalle ennen haketusta, mutta kokopuulla ja hakkuutähteillä kuormakoot jäävät niin alhaisiksi, että ne olisi hyvä hakettaa tienvarsivarastolla. Toisaalta energiapuun kuljetus terminaaliin/käyttöpaikan varastoon nopeuttaa sen kuivumista, koska aukealla paikalla tuulee enemmän ja aurinkokin pääsee paremmin kuivattamaan puita.

Puukaupassa on hyvä sopia puukauppamuoto ja mittausmenetelmä. Tarvittavista lumitöistä ja mahdollisista tienkorjauksista on myös hyvä sopia etukäteen. Puun ostajan tulee myös muistaa hoitaa yhteiskunnalliset velvoitteet eli ennakonpidätyksen toimitaminen Verohallinnolle.

LÄHTEET

1. Pousin Puutarha Oy:n internet-sivusto. Saatavissa:
<http://www.pousinpuutarha.fi/> [Viitattu 6.2.2015].
2. Toiminnankuvaus ja ylläpito-ohjeet KPA-kattila 2,0 MW. Word-tiedosto. Jernforsen Energi System AB. Ei saatavilla.
3. Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Saatavissa:
<http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf> [Viitattu 15.1.2015].
4. https://www.deere.fi/fi_FI/products/equipment/energy_wood/multi_tree_handling_heads/multi_tree_handling_heads.page? [Viitattu 6.4.2015].
5. Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K. T. 2005. Metla. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Saatavissa:
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf> [Viitattu 18.12.2014].
6. Laitila, J. & Väätäinen, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus. Saatavissa:
<http://www.metsantutkimuslaitos.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff112107.pdf> [Viitattu 21.12.2014].
7. Jylhä, P. Autohakkurin seula-aukon koon kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen. Saatavissa:
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp272.pdf> [Viitattu 15.4.2015].
8. Härkönen, M. 2011. Kostean puun energiasisältö. Centria. Saatavissa:
http://www.forestpower.net/data/liitteet/112231=1018_kostean_puun_energiasalto.pdf [Viitattu 16.3.2015].
9. Kiinteiden biopolttoaineiden jalostus, kurssimateriaalia, Hannu Sarvelainen, marras-, joulukuussa 2013 (ei julkaistu).

10. Bioenergianeuvoja. Energia-arvot ja muuntokertoimet. Saatavissa:
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia/> [Viitattu 14.1.2015].
11. Härkönen, M. 2011. Puun kosteus. Centria Saatavissa:
http://www.forestpower.net/data/liitteet/112323=1016_puun_kosteus.pdf [Viitattu 16.3.2015].
12. Laurila, J. & Hakonen, T. 2013. Puun kuivuminen vähäistä vuonna 2012. Koneviesti bioenergia-liite 1/2013, s. 42 – 43.
13. Stora Enso Metsä. 2014. Erilaiset puukauppamuodot. Saatavissa:
<http://www.storaensometsa.fi/puukauppamuodot/> [Viitattu 15.4.2015].
14. Verohallinto. Puunostajan ennakonpidätysvelvollisuus. Saatavissa:
http://www.vero.fi/fi-FI/Yritys_ja_yhteisoasiakkaat/Maatalousyrittaja_ja_metsanomistaja/Puun_myynti/Puun_ostajan_ennakonpidatysvelvollisuus%2810608%29
[Viitattu 6.2.2015].