

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Metsähakkeen markkinahinnan kehitys ja hintaan  
vaikuttavat tekijät

Price development of forest chips and factors  
affecting prices

Työn tarkastaja: Tapio Ranta

Työn ohjaaja: Tapio Ranta

Lappeenranta 11.5.2013

Mikko Kärkkäinen

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO</b>	<b>2</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>3</b>
<b>2 METSÄHAKKEEN TUOTANTO</b>	<b>5</b>
2.1 Metsähakkeet .....	5
2.2 Hakkeen tuotantojärjestelmät .....	6
2.2.1 Palstahaketus .....	7
2.2.2 Välivarastohaketus .....	7
2.2.3 Terminaalihaketus .....	9
2.2.4 Käyttöpaikkahaketus .....	9
<b>3 MARKKINAHINTA</b>	<b>11</b>
3.1 Yleinen puukauppa .....	11
3.2 Metsähakkeen käytön kehittyminen .....	11
3.3 Energiapuukaupan ominaispiirteitä .....	13
3.4 Markkinahinnan tilastoitu kehitys .....	14
3.5 Puustamaksukyky .....	17
<b>4 KUSTANNUSTEKIJÄT</b>	<b>19</b>
4.1 Tuotantoketjun kokonaiskustannukset .....	19
4.2 Puun korjuu .....	20
4.2.1 Pienenergiapuun korjuu .....	20
4.2.2 Hakkuutähdehakkeen korjuu .....	21
4.2.3 Kantojen korjuu .....	22
4.2.4 Koneiden työllistyminen .....	22
4.3 Metsäkuljetus .....	22
4.4 Kaukokuljetus .....	24
4.5 Varastointi ja kuivaus .....	26
4.6 Haketus .....	28
4.7 Tuet .....	29
4.7.1 Energiapolitiikka .....	29
4.7.2 Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuva tuotantotuki .....	30
4.7.3 Yhteistuotantolaitosten syöttötariffi .....	31
4.7.4 Pienpuun energiatuki ja Kemera-tuki .....	32
4.8 Metsähakkeen kustannukset käyttöpaikalla .....	32
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Lyhenteet

CHP	Lämmön ja sähkön yhteistuotanto
ha	hehtaari
i-m <sup>3</sup>	irtokuutio
m <sup>3</sup>	kuutio
MWh	Megawattitunti
<i>P<sub>o</sub></i>	Turpeen päästöoikeuden kolmen kuukauden keskiarvo
tn	tonni
TWh	Terawattitunti
<i>TUKI</i>	Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuva tuotantotuki
<i>Ve</i>	Turpeen vero

## 1 JOHDANTO

Metsähake on puuperäinen polttoaine, jota on Suomessa käytetty 1900-luvun puolivälistä lähtien teollisuuden polttoaineena. Metsähake on puupolttoaine, jonka raaka-aine on korjattu metsistä energiakäyttöön. Metsähakkeen raaka-aineita ovat hakkuutähteet, kannot ja harvennuksilta syntyvä pienenergiapuu. Teollisuuden lisäksi metsähaketta on käytetty myös laajasti yksityisten kiinteistöjen lämmöntuotannossa. Metsähakkeen suosio voimalaitospolttoaineena on vaihdellut runsaasti kilpailevien polttoaineiden hintojen mukaisesti. Kiinnostus metsähaketta kohtaan on aina kasvanut kilpailevien polttoaineiden kallistuessa. Halvan energian aikoina metsähakkeen tuotanto on vähentynyt kilpailukyvyn puutteen takia. Metsähakkeen tuotanto on ollut voimakkaassa kasvussa 2000-luvulla ja metsähakkeen käytön lisäämisellä on suuri rooli Suomen uusiutuvan energian käytön lisäystavoitteissa.

Tämän työn tavoitteena on selvittää metsähakkeen käytön kehittymistä, markkinahinnan muodostumista ja hakkeen hintaan vaikuttavia tekijöitä. Tarkoitus on luoda hyvä yleiskuvaus metsähakemarkkinoista ja metsähakkeen tuotantoon vaikuttavista tekijöistä. Käytön kehittymistä tarkastellaan yleisesti tuotannon alkua ajoista 1950-luvulta lähtien ja tarkempaa tietoa esitetään 2000-luvun tuotantotilastojen perusteella. Markkinahinnan muodostumisessa painotetaan tuotannon kustannusten vaikutusta kokonaiskustannuksiin ja jätetään itse puun hinta ja hinnan vaihtelut vähemmälle huomiolle. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty metsähakkeen yksityiskäyttö.

Metsähakkeen markkinahinta muodostuu tuotantokustannusten ja kilpailevien polttoaineiden markkinahinnan mukaan. Tässä työssä tarkastellaan hakkeen tuotannon tyypillisiä kustannustekijöitä ja tuotantoketjun osia. Kustannukset muodostuvat yksittäisistä työsuorituksista, kuten puun korjuusta, haketuksista ja kuljetuksista. Metsäalan kustannuksiin vaikuttavat erittäin paljon hakkuualueen sijainti, maaston olosuhteet ja henkilöstön kokemus. Erilaisilta työkohteilta peräisin olevilla hakkeilla on siten erilainen kokonaiskustannus. Kustannuksia tarkastellaan yleisellä tasolla. Työssä on esitetty Tilastokeskuksen vuositilastoja metsähakkeen keskimääräisistä käyttöpaikkahinnoista vuodesta 2007 alkaen. Lisäksi tuotantoketjujen kustannusvertailuissa on pyritty hyödyntämään esimerkkitapauksia muiden aikaisemmin tekemistä tarkemmista tutkimuksista (Asikainen et al. 2004 & 2005;

Laitila & Väätäinen 2011; Pajuoja 2011; Karttunen et al. 2012). Tarkastelussa on keskitytty metsähakkeen kahteen pääasialliseen raaka-aineeseen eli hakkuutähteisiin ja pienenergiapuuhun.

Metsähakkeen tuotannolle on annettu sen kilpailukykyä lisääviä tukia, koska metsähakkeen käytön avulla yritetään lisätä Suomen uusiutuvan energian käyttöä. Tässä työssä metsähakkeen tukia on käsitelty kustannustekijöinä. Tuet vähentävät hakkeen tuotannon kokonaiskustannuksia ja alentavat hakkeen hintaa käyttäjän kannalta. Työssä on myös sivuttu hieman metsänomistajan ja metsähakkeen hankkijan välistä puukauppaa ja energiapuukaupan ominaispiirteitä. Metsähakkeen hinnan tarkempi määräytyminen ja hakkuualueille tehtävät kustannuslaskelmat on rajattu pois tämän työn tarkastelusta.

## 2 METSÄHAKKEEN TUOTANTO

### 2.1 Metsähakkeet

Metsähake on yleisnimitys kaikelle energiakäyttöön tarkoitettulle puuperäiselle hakkeelle. Metsähake pitää sisällään erilaiset raaka-ainevaihtoehdot, kuten kannot, hakkuutähteet ja runkopuut. Metsähake on tehty suoraan metsästä saatavasta puuaineksesta. Metsähake voidaan valmistaa hienontamalla puuaines terävillä terillä hakettamalla tai murskaamalla puu tylpillä iskevilla terillä. Yleensä hake tehdään teollisuuden ainespuuksi kelpaamattomasta puusta. Tällaisia ovat alimittaiset puut, lahot rungot, oksat ja kannot. Ainespuuta ei käytetä energian- ja lämmöntuotantoon kustannussyistä. Metsähakkeen tuotanto voidaan jakaa kahteen alalajiin hakkuutavan perusteella. Runkopuuhaketta tuotetaan taimikoiden ja metsien harvennuksen yhteydessä. Siinä raaka-aineena voi olla joko pelkät karsitut puunrungot tai sitten karsimattomat puut oksineen ja neulasineen. Metsähaketta voidaan tuottaa myös puuraaka-aineesta, jota jää muutoin metsään ainespuuhakkuiden yhteydessä. Tällaisia osia ovat oksat, neulaset ja alle ainespuukoon olevat rungot. Uudishakkuualoilla voidaan haketta tehdä myös tarpeeksi paksuista yli 50 millimetrin halkaisijan omaavista kannoista. (Vesisenaho 2003, 37–40.)

Metsähake on polttoaine, jolla on useita haastavia ominaisuuksia. Näitä ovat alhainen energiatiheys, tuoreen ja talvella tuotetun hakkeen suuri kosteus ja suuri vaihtelu lopputuotteen palakoossa. Hakkeen energiatiheydellä tarkoitetaan polttoaineen irtokuutiometrin tehollista lämpösisältöä ( $\text{MWh}/\text{i-m}^3$ ). Energiatiheyteen vaikuttavat puuaineksen tiheys ja hakkeen tiiveys. Puun tiheys vaihtelee puulajeittain. Runkopuun osalta suurin tiheys on koivulla  $470\text{--}500 \text{ kg}/\text{m}^3$  ja oksien osalta männyllä  $450 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Tiiveys ilmoittaa metsähakkeen kiintotilavuuden ja irtotilavuuden suhteen. Tiiveys vaihtelee yleensä välillä  $0,36\text{--}0,46 \text{ m}^3/\text{i-m}^3$ . Ylivuotinen hake on tiiviimpää kuin tuore. Neulaset pienentävät hakkeen tiiveyttä. Metsähakkeen energiatiheys vaihteleeekin puulajista riippuen välillä  $0,7\text{--}0,85 \text{ MWh}/\text{i-m}^3$ . Hakkeen lämpöarvon kannalta merkittävin tekijä on metsähakkeen kosteus käyttöpaikallaan. Kosteuteen vaikuttaa suuresti puuaineksen korjuuajankohta. Kesäaikaan tuoreen kuorellisen runkopuun kosteus voi olla 58 painoprosenttia ja latvusmassalla 52–55 %. Talvella

hakkuutähdehakkeen kosteus voi nousta jopa 65 %:iin. Kosteuden suuri nousu johtuu pääsääntöisesti hakkeen sekaan joutuneesta lumesta ja jäästä. Metsähakkeen kosteus pyritään pitämään alle 40 %:ssa pienillä laitoksilla ja alle 50 %:ssa suurilla laitoksilla. Metsähakkeen palakoko ja hakkeen laatu riippuvat raaka-aineesta ja haketusmenetelmästä. Palakoko pyritään pitämään mahdollisimman vakiona. Kiinteistökokoluokan laitoksissa palakoon laatuvaatimukset ovat huomattavasti tiukempia kuin suurissa teollisuuslaitoksissa. (Kuitto 2004, 298–299.)

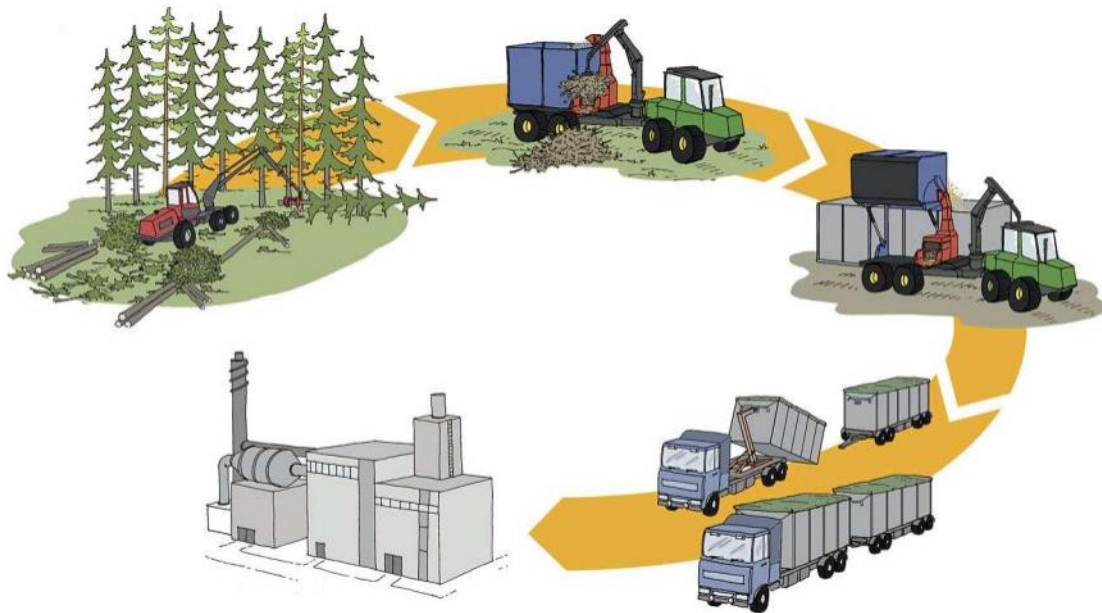
Metsähake on lähes rikitön polttoaine, jonka rikkipitoisuus on alle 0,05 % kuiva-aineen massasta. Hake luokitellaan hiilineutraaliksi polttoaineeksi, koska palamisessa vapautuvan hiilidioksidin oletetaan sitoutuvan kasvavaan puustoon. Puun tuhkapitoisuus on pienempi kuin muilla kiinteillä polttoaineilla. Havupuiden neulasissa on alkalimetalleja ja klooria. Neulasten pitkäaikainen polttaminen voi aiheuttaa alkaliklorideista aiheutuvia hapetus- ja korroosioreaktioita kattilaan ja tulistimiin. Haitallisten kemiallisten reaktioiden estämiseksi poltettavan metsähakkeen sekaan voidaan sekoittaa turvetta. Metsähakkeen ja turpeen seospolton etuja ovat myös polttoarvon paraneminen ja polttoainevirran laadun hallinnan helpottuminen. (Kuitto 2004, 299.)

## **2.2 Hakkeen tuotantojärjestelmät**

Metsähakkeen tuotantojärjestelmät muodostuvat puuraaka-aineen käsittelyketjuista alkaen puun korjuusta metsistä ja päättyen valmiin hakkeen toimitukseen käyttöpaikalle. Suurin osa tuotannon työtehtävistä liittyy puun kuljetukseen ja puun siirtelyyn ajoneuvon ja ajoneuvosta pois. Myös haketus tai murskaus on tuottavuuden kannalta merkittävä vaihe. Metsähakkeen tuotanto voidaan toteuttaa käyttäen useita erilaisia, haketuspaikan perusteella nimettyjä perusmenetelmiä. Metsähakkeen tuotantohistorian aikana kaupallisen asteen saavuttaneita perusmenetelmiä ovat palstahaketus, välivarastohaketus, terminaalihaketus ja käyttöpaikkahaketus. (Kuitto 2004, 95.)

### 2.2.1 Palstahaketus

Palstahaketuksessa puu haketetaan suoraan hakkuualueella. Haketus suoritetaan yleensä palstalla metsäkoneiden ajourien vieressä pienillä hakkuriyksiköillä, josta valmis hake kuljetetaan sitten metsätien varteen jatkokuljetusta varten. Yleensä hakkuriyksiköt ovat rakennettu traktorisovelluksiksi, mutta hakkuri on myös mahdollista asentaa maastokelpoiseen kuorma-autoon. Palstahaketus soveltuu parhaiten hyvin kantaville ja tasaisille hakkuualueille. Maaston ollessa vaikeakulkuista tai kaltevaa palstahaketus ei ole kilpailukykyinen muihin haketusmenetelmiin verrattuna. Palstahaketus ei sovellu myöskään paksun lumen aikaan. Metsähakkeen tuotanto käynnistyi 1950-luvulla juuri palstahaketusmenetelmällä, mutta 2000-luvulla sen merkitys on vähentynyt, eikä sitä juuri enää esiinny markkinoilla. Palstahaketus on esitetty kuvassa 1. (Kuitto 2004, 96.)



**Kuva 1.** Metsähakkeen palstahaketus (Kärhä 2008, 4).

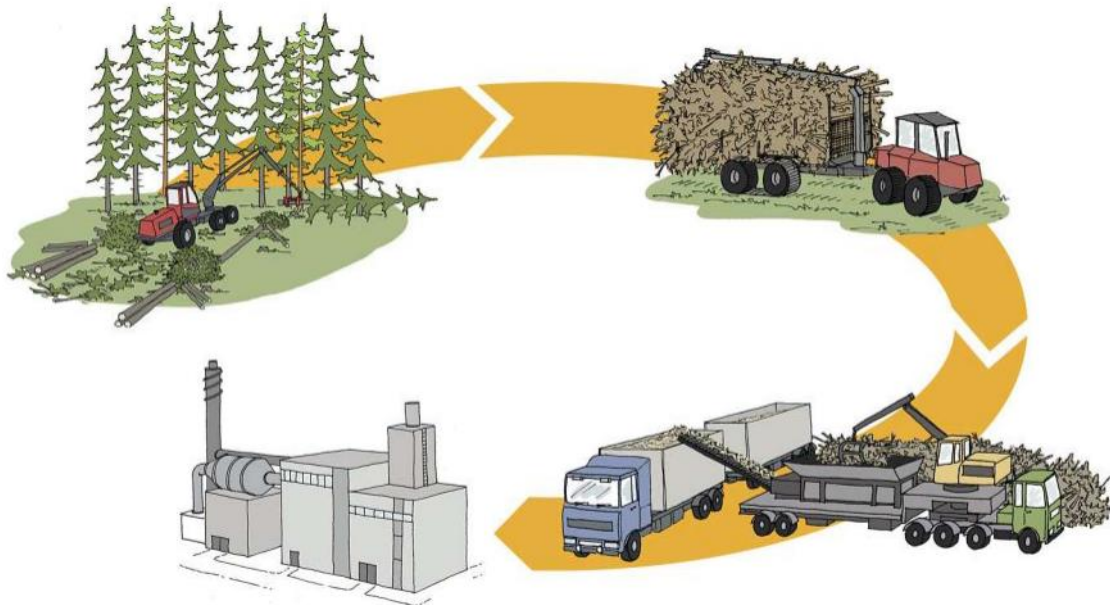
### 2.2.2 Välivarastohaketus

Välivarastohaketuksessa hakettava raaka-aine kuljetetaan hakkuualueelta metsäkoneilla tai metsätraktoreilla tien varteen. Tien varressa puu kasataan varastokasoihin odottamaan haketusta. Nämä välivarastokasat pyritään tekemään suuriksi, jotta tuotanto olisi mahdollisimman taloudellista. Haketuksessa käytetään



pääsääntöisesti kuorma-autoalustaisia hakkureita. Hakkureiden koko aiheuttaa yhdessä hakeautojen kanssa vaatimuksia välivarastoalueelle, sillä hakkuriauto voi painaa 30 tonnia ja täysi hakeauto 60 tonnia. Varastoalueiden maaperän tulee olla kantavaa ja alueella on oltava riittävästi tilaa ajoneuvoyhdistelmien tarpeita varten. Heikommilla alueilla voidaan käyttää kevyempiä traktorihakkureita. Välivarastohaketuksen yhteydessä on myös mahdollista käyttää hakkeenkuljetusajoneuvoja, joihin on integroitu kuorma-autohakkuri. Tällöin sama ajoneuvo hoitaa sekä haketuksen että hakkeen jatkokuljetuksen. Ajoneuvon kuljetuskapasiteetti on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin normaalilla kuorma-autolla, joten sen käyttö rajoittuu lyhyille kuljetusmatkoille ja pienille työmaille. Välivarastohaketus mahdollistaa suurien työmaiden tehokkaan ympärivuotisen hakkeentuotannon. Se onkin nykyään yleisin hakkeentuotantomenetelmä. (Kuitto 2004, 96.)

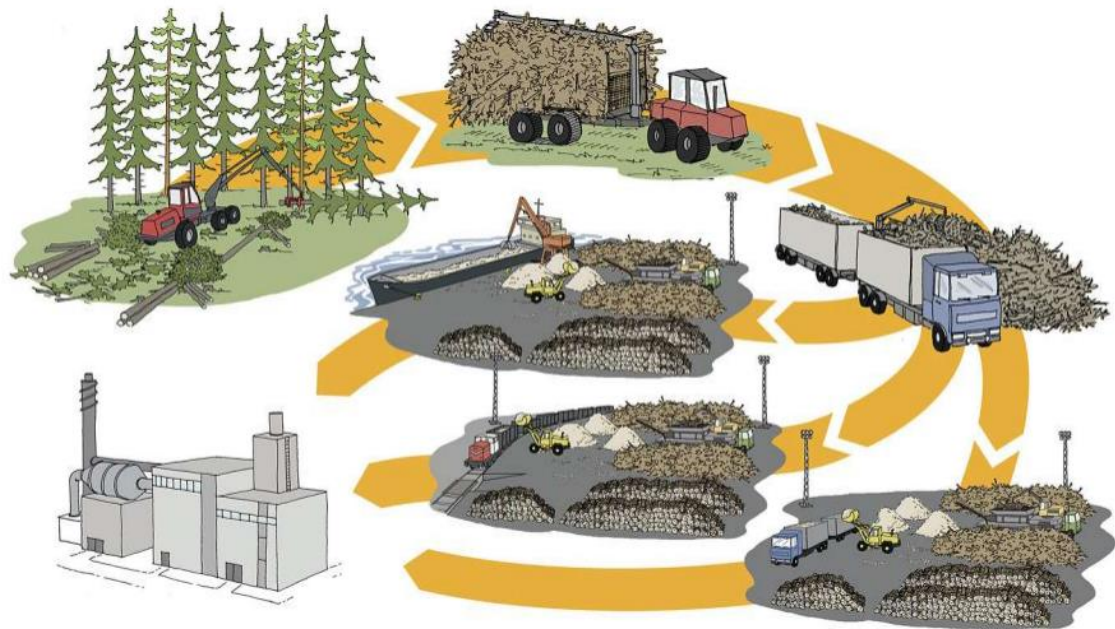
Kuvassa 2 on esitetty tuotantoprosessikuvaus metsähakkeen välivarastohaketuksesta. Kuvan tapauksessa puun korjuu hoidetaan hakkuukoneen ja metsäkoneen yhdistetyllä tuotantoketjulla ja haketus hoidetaan erillisellä hakkurilla ja kaukokuljetus hakeautolla.



**Kuva 2.** Metsähakkeen välivarastohaketus (Kärhä 2008, 5).

### 2.2.3 Terminaalihaketus

Terminaalihaketuksessa puuraaka-aine kuljetetaan haketettavaksi haketerminaaliin. Haketus tapahtuu näissä suurissa varastoissa, joista valmis hake kuljetetaan käyttöpaikalleen. Terminaalihaketuksen etu on siinä, että tuotettu hake voidaan varastoida terminaalialueelle hakekasoihin, eikä sitä tarvitse heti kuljettaa käyttöpaikalleen. Tämän takia se soveltuu hyvin esimerkiksi usean pienen voimalaitoksen yhteiseksi hakkeentuotantopaikaksi. Terminaalihaketuksen tuotantoprosessi on esitetty kuvassa 3. (Kuitto 2004, 96–99.)

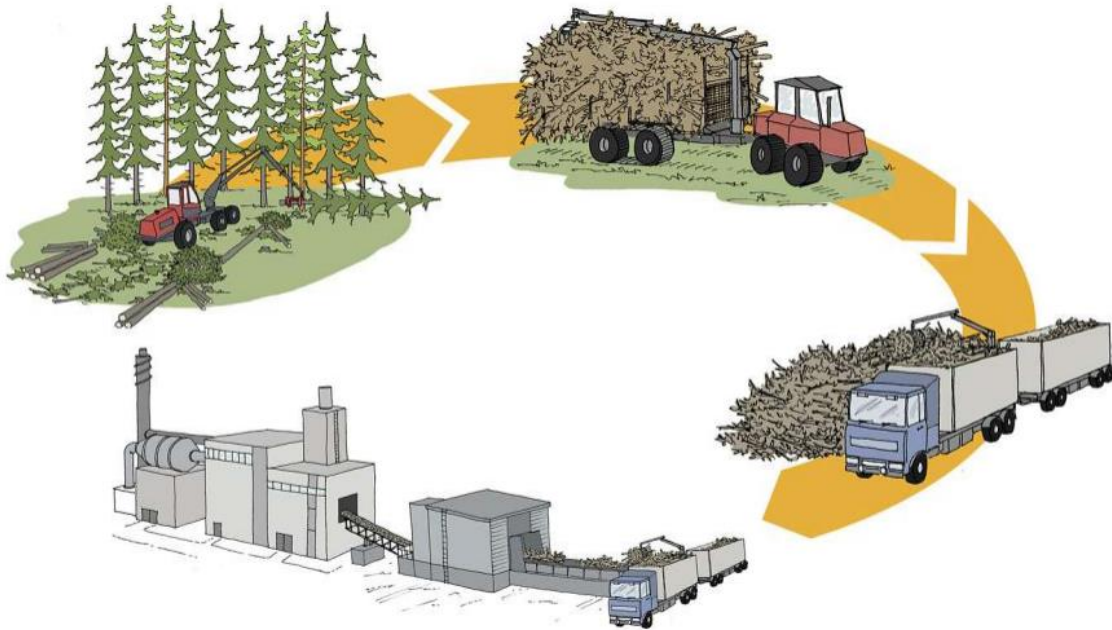


**Kuva 3.** Metsähakkeen terminaalihaketus (Kärhä 2008, 7).

### 2.2.4 Käyttöpaikkahaketus

Käyttöpaikkahaketuksessa hakettamaton puuaines kuljetetaan käyttöpaikalleen. Kuljetus voidaan toteuttaa irtotavarana tai risutukkeina. Käyttöpaikalla haketus tai murskaus tapahtuu siirrettävillä tai kiinteillä suurtehohakkureilla. Käyttöpaikkahaketuksen etuna on tuotantoketjun helppo hallittavuus. Tällä menetelmällä vältetään muissa menetelmissä oleva hakkurin ja sitä seuraavan hakkeenkuljetusajoneuvon lastaamisesta aiheutuva odotusaika ja aikataulutuksen tarve. Huonona puolena on hakettamattoman

raaka-aineen huono energiatiheys kuljetuksien aikana. Menetelmä vaatiikin lyhyet kuljetusetäisyydet metsästä käyttöpaikalle. Käyttöpaikkahaketusta käytetäänkin pääsääntöisesti hakkuutähdehakkeen ja erityisesti kanto- ja juuripuumurskeen tuotannossa. Käyttöpaikkahaketus on esitetty kuvassa 4. (Kuitto 2004, 99.)



**Kuva 4.** Metsähakkeen käyttöpaikkahaketus (Kärhä 2008, 9).

### **3 MARKKINAHINTA**

#### **3.1 Yleinen puukauppa**

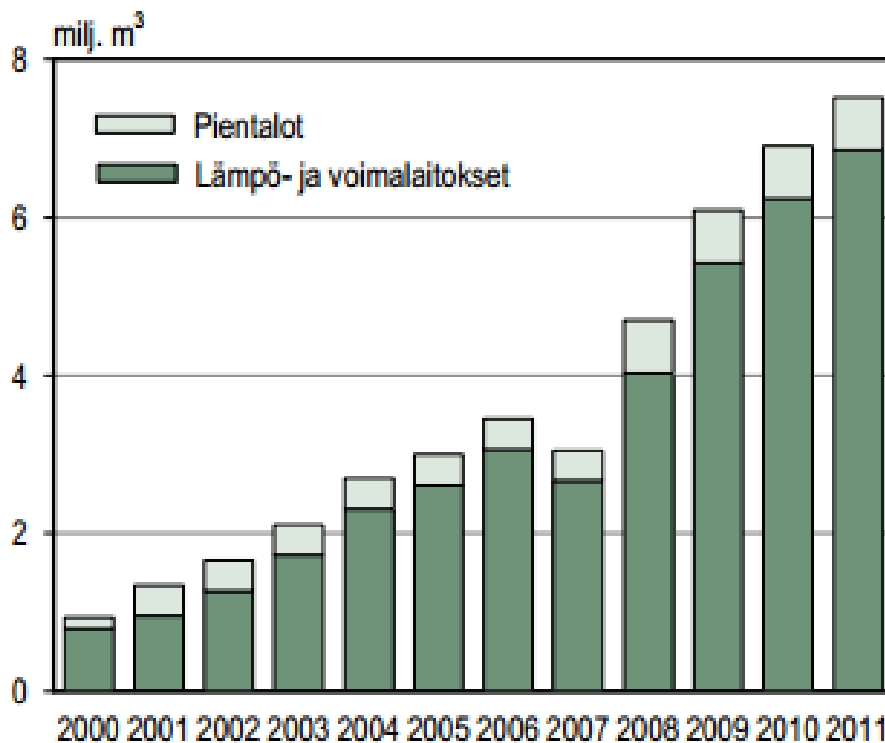
Puukauppaa käydään pääsääntöisesti pystykauppana. Siinä puun myyjä antaa ostajalle hakkuuoikeuden tietylle maa-alalle. Ostaja huolehtii puun korjuusta ja maksaa korjatusta puusta kantohinnan. Kantohintojen suuruuteen vaikuttaa puun korjuussa käytettävä hakkuutapa. Uudistushakkuista maksetaan tavallisesti enemmän kuin harvennushakkuista, sillä uudishakkuualoilla hakkuun kustannukset ovat pienemmät. Puukauppaa voidaan tehdä myös hankintakauppana. Hankintakaupassa myyjä huolehtii hakkuun kustannuksista ja toteutuksesta sekä puiden kuljettamisesta kaukokuljetusreitinvarelle. Hankintakaupan erikoistapaus on käteiskauppa, jossa myyjä hoitaa puut kuljetusreitinvarelle ennen puukauppasopimuksen tekoa. Pystykauppa on merkittävin puukaupan muoto Suomessa. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 153.)

Puukaupassa hinta määräytyy kuten missä tahansa muussakin kaupassa, eli tuotteen hinta on se, millä ostaja ostaa ja myyjä myy. Ostajaosapuoli laskee hinnan vähentämällä puuraaka-aineen tehdashinnasta puun hankinnan kustannukset. Myyjäosapuoli painottaa neuvotteluissa enemmän puutuotannon kustannuksia. Puukaupassa hinnat määräytyvät yleensä leimikoittain. Puun hintaa laskevat pitkät metsäkuljetusmatkat, pienet leimikkokoot, puuraaka-aineen sekalaisuus ja pieni hehtaarikertymä. Myös suuret kaukokuljetuskustannukset laskevat leimikolta maksettavaa hintaa. Kaukokuljetuskustannuksiin vaikuttavat kuljetusmatkan pituus, puutavaran määrä sekä varaston ja tiestön kunto. Näin ollen puun hinta vaihtelee suuresti leimikoiden kesken. Myös puun tarve vaikuttaa sen hintaan. (Kärkkäinen 2005, 267–268.)

#### **3.2 Metsähakkeen käytön kehittyminen**

Vaikka puun käyttöä onkin tilastoitu Suomessa, niin näistä tilastoista metsähake on puuttunut. Vasta 2000-luvun vaihteessa metsähakkeen käyttöä on alettu tilastoida vuosittain. Metsähakkeen käytön alkutaipaleelta on tilastotietoa yksittäisistä kyselytutkimuksista.

Metsähakkeen tuotannon katsotaan alkaneen 1950-luvun loppupuolella ensimmäisten siirrettävien hakkurien yleistyessä Suomessa. Hakkeen tuotanto kasvoi nopeasti. Vuonna 1960 metsähakkeen vuosikäyttö oli 99 000 m<sup>3</sup> ja vuosikäyttö nousi vielä vuosikymmenen ensimmäisellä puoliskolla 200 000 m<sup>3</sup>:iin. Tämän jälkeen metsähakkeen käyttö alkoi hiipua, koska halpa öljy alkoi olla kaikkien saatavilla. Lisäksi markkinakelvottomalle koivupuulle löytyi muita käyttökohteita puumassateollisuudessa. Metsähakkeen kilpailukyky romahti 1970-luvun alussa. Suurimmat metsähakealan toimijat olivat tässä vaiheessa Vapo ja Puolustusvoimat, jotka pitivät tärkeänä metsähakealan teknisen taidon ylläpitoa. Öljykriisi paransi metsähakkeen arvoa polttoaineena. Öljyn hinnan noustessa metsähake muuttui jälleen kilpailukykyiseksi. Metsähakkeen käyttötilanne kartoitettiin vuonna 1982, jolloin metsähakkeen kokonaiskäyttö oli 766 000 m<sup>3</sup>. Öljyn hinta kääntyi laskuun 80-luvun puolivälissä, jolloin metsähake alkoi taas menettää markkinoitaan. 1990-luvun alkuun mennessä metsähakkeen tuotanto oli pudonnut puoleen 80-luvun alun huippuvuosista. Laman jälkeen metsähakkeen käyttö alkoi kasvaa. Vuonna 1995 käyttö oli 258 000 m<sup>3</sup> ja kolme vuotta myöhemmin jo 500 000 m<sup>3</sup>. Metsähakkeen käytön kasvu on ollut nopeaa 2000-luvun alun jälkeen ja kasvun odotetaan jatkuvan reippaana myös tulevaisuudessa. Metsähakkeen käytön kehittyminen 2000-luvulla on esitetty kuvassa 5. Metsähakkeen käytön lisäämisellä on suuri osuus Suomen uusiutuvan energian lisäystavoitteissa. (Hakkila 2004, 63–65.)



Kuva 5. Metsähakkeen käytön kehittyminen 2000-luvulla (Ylitalo 2012, 3).

### 3.3 Energiapuukaupan ominaispiirteitä

Metsähakkeeksi päätyvää puuta kertyy hakkuutähteistä, kannoista ja harvennushakkuun yhteydessä hakatuista pienistä puista. Energiapuukaupalle ei ole olemassa vakiintunutta sopimuskäytäntöä. Ostaja ja myyjä pyrkivät tekemään molempia tyydyttävän sopimusratkaisun. Yleensä energiapuukaupasta sovitaan yhdessä muun puukaupan yhteydessä. Energiapuukaupassa vaikein vaihe on kaupan kohteen sopiminen. Kohde voi olla oikeus korjata energiapuuta tai oikeus ja velvollisuus korjata energiapuuta. Kohde voi olla myös tien varteen tai lämpölaitokselle toimitettava määrä puuta. Kohde voi olla myös yksittäinen tien varrella oleva erä energiapuuta. (Kiviniemi 2006, 251–252.)

Kaupan kohteen määrittämisen jälkeen on myyjän ja ostajan sovittava vastike energiapuulle. Vastike voi määräytyä pinta-alaperusteisesti, jolloin ostaja maksaa tietyn euromäärän hakkuualueen hehtaaria kohden. Pinta-alaperusteista vastiketta käytetään erityisesti hakkuutähteiden korjuussa. Vastike voi olla myös tietty euromäärä

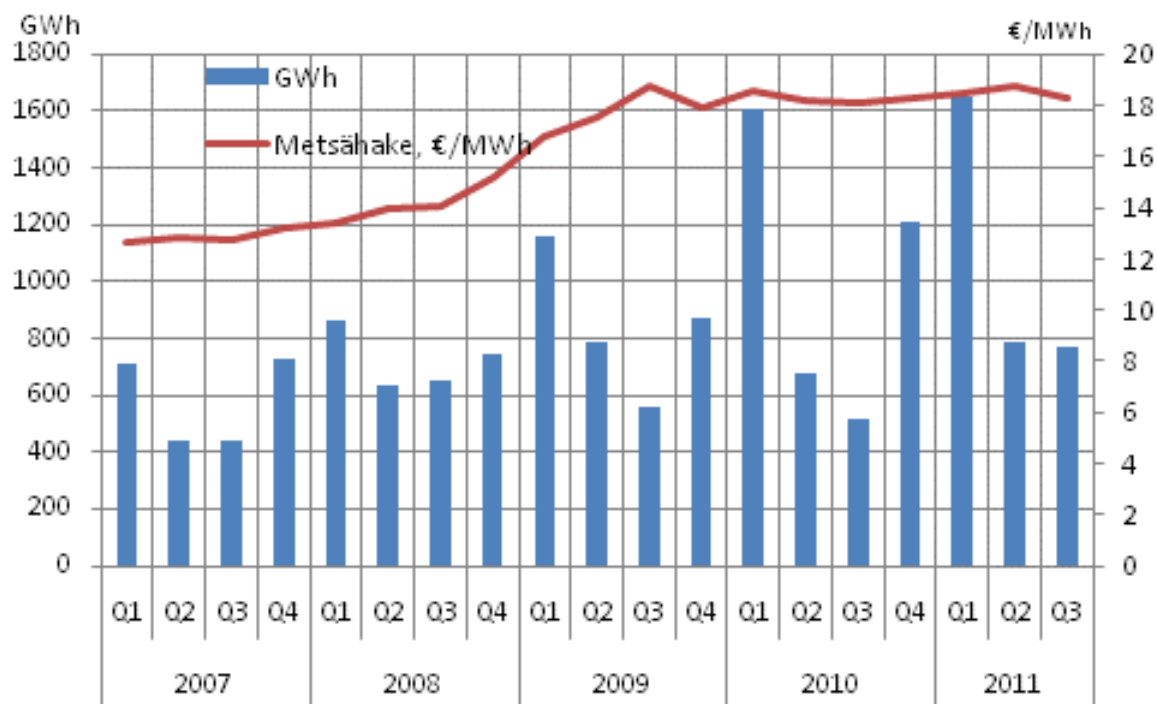
tilavuusyksikköä kohden. Vastikkeessa voidaan huomioida puun kosteusprosentti ja lämpöarvo, jolloin vastike on tietty euromäärä energiayksikköä kohden. Vastike voi olla myös painoperusteinen. Tätä käytetään yleensä korjuun ja kuljetuksen hinnoittelussa. (Kiviniemi 2006, 251–252.)

Energiapuukaupan vastike voi olla myös luontaisuuoritus. Luontaisuuorituksella tarkoitetaan metsänhoidollisia toimenpiteitä, kuten metsän uudistamista haittaavan puuston ja pensaikon poistoa hakkuukohteelta tai hakkuualueen maanmuokkausta istutusta varten. Hakkuutähteiden kerääminen hakkuualueilta helpottaa maanmuokkaamista ja metsänviljelyä, kantojen korjuu kattaa osan maanmuokkauksen vaatimuksista ja torjuu juurikäpää ja harvennushakkuut edistävät jäljelle jäävän puuston kasvattamista. Luontaisuuoritukselle lasketaan yleensä rahallinen arvo, jota sitten verrataan kohteelta saadun energiapuun arvoon. Jos luontaisuuorituksen arvo on suurempi kuin puun arvo, niin voidaan sopia metsänomistajan korvaavan aiheutuneita kustannuksia puun ostajalle. Tämä toimii myös toisinpäin ja yleensä ostaja maksaa välirahaa luontaisuuorituksen lisäksi. (Kiviniemi 2006, 91 & 251–253.)

Nuoren metsän hoitokohteissa osa ainespuusta saattaa päätyä energiapuuksi. Tämä johtuu siitä, ettei pienehköä määrää kuitupuuta kannata kerätä erikseen. Kuitupuuta ei kannata kerätä, jos sitä ei ole kahtakymmentä kiintokuutiometriä hehtaaria kohden. Tällaisilla kohteilla kuitupuun määrä arvioidaan silmämääräisesti ja hinnoittelussa huolehditaan, että metsänomistaja saa korvauksen ainespuusta. (Kiviniemi 2006, 253–254.)

### **3.4 Markkinahinnan tilastoitu kehitys**

Tilastokeskus on tilastoinut metsähakkeen loppukäyttäjähintoja ja käyttöä vuodesta 2007 alkaen. Hinta- ja käyttötilastot julkistetaan neljännesvuosittain. Tilastoitu metsähake pitää sisällään todellisilla markkinoilla myydyin metsähakkeen ja –murskeen. Se ei pidä sisällään konsernien sisäisiä kauppoja. Metsähake ei pidä sisällään kantohaketta ja tilastoidun hakkeen maksimikaukokuljetusmatka on 50 kilometriä. Kuvassa 6 on esitetty voimalaitoksille toimitetun metsähakkeen hintaa ja määrää vuosina 2007–2011. (Tilastokeskus 2012)

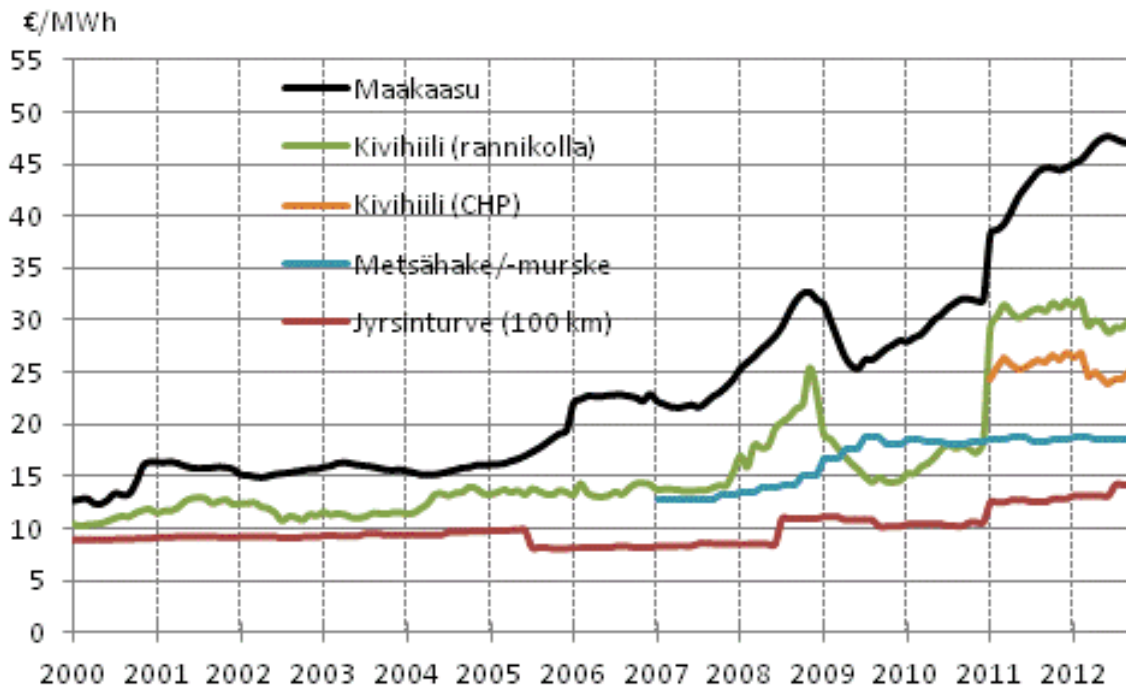


**Kuva 6.** Metsähakkeen hinta ja määrä (Tilastokeskus 2011).

Kuvasta 6 huomataan, että metsähakkeen hinta on noussut voimakkaasti vuosien 2008 ja 2009 aikana, minkä jälkeen se on jäänyt tasolle 18–19 €/MWh. Viimeisimmässä tilastokeskuksen julkaisemassa tilastossa syyskuulta 2012 metsähakkeen hinta lämmöntuotannossa oli 19,30 €/MWh (Tilastokeskus 2012). Kuvasta 6 huomataan myös käytetyn metsähakkeen määrän kasvu ja käytön keskittyminen ensimmäiselle vuosineljännekselle.

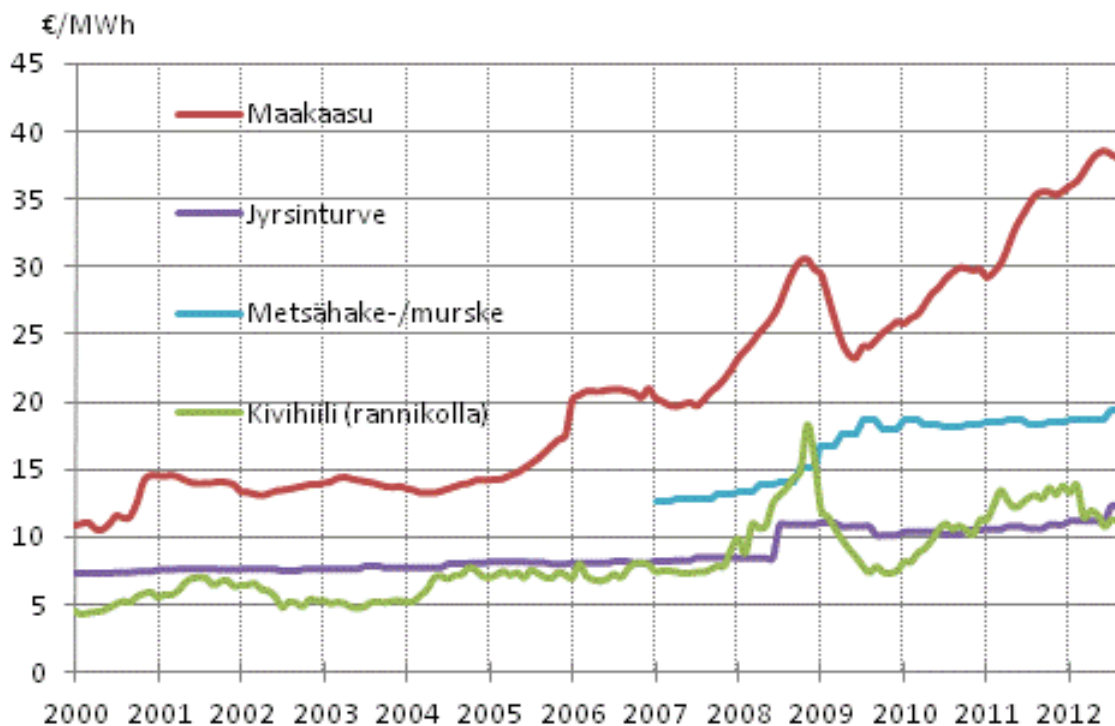
Kuvissa 7 ja 8 on esitetty eri voimalaitospolttoaineiden hintojen kehitystä lämmön- ja sähköntuotannossa. Tilastot ovat vuosilta 2000–2012. Metsähakkeen hintojen tilastointi on aloitettu vasta vuonna 2007.





**Kuva 7.** Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa (Tilastokeskus 2012).

Kuvasta 7 huomataan, että lämmöntuotannossa metsähakkeen hinta on kilpailukykyinen muihin voimalaitospolttoaineisiin verrattuna. Ainoastaan jyrsinturpeen hinta on edullisempi. Kivihiilen hinta on vaihdellut voimakkaasti vuosien 2008–2011 aikana. Välillä sen hinta on ollut metsähaketta alhaisempi, mutta nykyisellä kehityksellä metsähake on taloudellisempi vaihtoehto voimalaitoksen lämmöntuotannon kannalta. Sähköntuotantohintoja on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa (Tilastokeskus 2012).

Kuvasta 8 huomataan, että sähköntuotannossa metsähakkeen markkinahinta ei ole kilpailukykyinen kivihiileen tai jyrsinturpeeseen verrattuna. Ainoastaan maakaasulla tuotetulla sähköllä on suurempi yksikköhinta.

### 3.5 Puustamaksukyky

Puustamaksukyky on hinta, jonka voimalaitos on valmis maksamaan puusta. Puustamaksukyky on voimalaitoskohtainen suure ja se määräytyy laitoksen vaihtoehtoisen polttoaineen mukaan. Metsähaketta käytetään pääsääntöisesti lämmöntuotantoon pienen kokoluokan lämpölaitoksissa ja sähkön ja lämmön yhteistuotantoon suuremmissa mittakaavassa. Sähkön erillistuotannossa metsähake ei ole kilpailukykyinen polttoaine (Väkiparta 2003, 108). Voimalaitokset käyttävät metsähaketta polttoaineena, jos sen hinta on alhaisempi kuin vaihtoehtoisen polttoaineen. Suomessa metsähaketta ja muita puupolttoaineita poltetaan usein yhdessä turpeen kanssa. Turve on hakkeen yleisin referenssipolttoaine, jonka hankintakustannus määrittää voimalaitoksen kyvyn ja halun maksaa metsähakkeesta. Osalla voimalaitoksista referenssipolttoaineena toimii hiili. Pienemmän kokoluokan laitoksissa vertailupolttoaine voi olla myös öljy tai maakaasu. (Elo et al 2010, 27.)

Puustamaksukyky muodostuu referenssipolttoaineen verottomasta hinnasta, valmisteverosta ja päästöoikeuden hinnasta sekä puupolttoaineelle maksettavasta tuesta. CHP-laitosten rakennusasteella on suuri merkitys puustamaksukykyä määritettäessä, sillä polttoaineiden valmisteveroa maksetaan vain lämmöntuotantoon käytetystä polttoaineesta ja metsähakkeen sähköntuotannon tuki kohdistuu nimensä mukaisesti vain tuotettuun sähkөөn. (Elo et al 2010, 27–28.)

## 4 KUSTANNUSTEKIJÄT

### 4.1 Tuotantoketjun kokonaiskustannukset

Metsähakkeen tuotantoketjun kokonaiskustannukset riippuvat hakkeen raaka-aineesta. Suurin osa kustannuksista syntyy samoista työvaiheista riippumatta siitä, että onko lähtöraaka-aine hakkuutähteitä, kanto- ja juuripuuta vai metsän harvennuksen yhteydessä kerättävää energiapuuta. Tuotantokustannukset muodostuvat yleensä energiapuun kaatokustannuksista tai hakkuutähteiden kasauskustannuksista, metsäkuljetuksen kustannuksista, kaukokuljetuksen kustannuksista, haketuksen kustannuksista ja raaka-aineen hankinnasta vastaavan organisaation kustannuksista. (Nousiainen 1999, 25.)

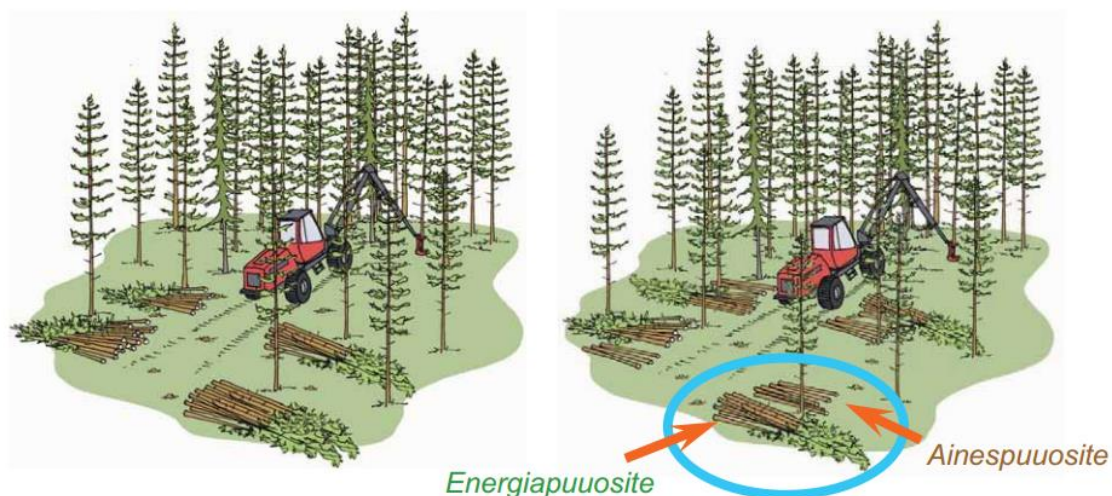
Jokaisen erillisen työvaiheen kustannukset muodostuvat erilaisista kustannustekijöistä. Näitä ovat koneisiin, työolosuhteisiin, työntekijöihin, organisaatioon ja tuotteeseen liittyviä tekijöitä. Tärkeitä muuttujia metsähakkeen kokonaiskustannuksissa ovat kuljetusmatkojen pituudet, hakkuupalstan koko ja maaston ominaisuudet ja työkoneiden ominaisuudet, kalliiden työkoneiden työllistyminen ja henkilöstön työskentelyolosuhteet. Lisäksi kerättävän raaka-aineen laadulla on suuri vaikutus lopputuotteen hintaan. Metsähakkeen tuotanto on osa laajempaa kokonaisuutta, jossa metsätalous ja ainespuuntuotanto sekä polttoainehuolto asettavat hakkeen tuotannolle erilaisia reunaehtoja. (Asikainen 2003, 79–83; Hakkila 2003, 59; Nalkki 2003, 84–85.)

Metsähakkeella on merkittävä osa Suomen uusiutuvan energian lisäyssiunitelmissa. Suunnitelmissa onkin, että metsähakkeen lisäyksellä katetaan puolet Euroopan unionin energiavelvoitteista. Tämä tarkoittaisi sitä, että metsähakkeen käytön pitäisi kaksinkertaistua vuoteen 2020 mennessä vuoden 2012 tasosta. Hakkeen käyttöä pyritään lisäämään valtion maksamilla tuilla, jotka omalta osaltaan pienentävät metsähakkeen käytön kustannuksia kilpaileviin polttoaineisiin nähden. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 1-2.)

## 4.2 Puun korjuu

### 4.2.1 Pienenergiapuun korjuu

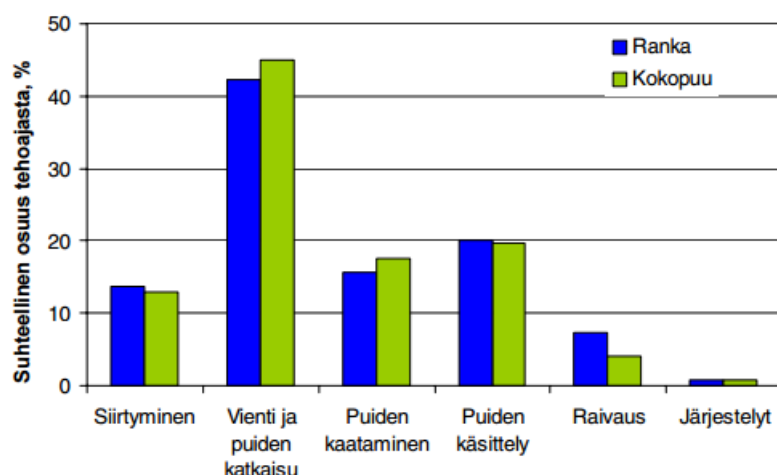
Pienenergiapuuta korjataan pääsääntöisesti nuorten metsien harvennusten yhteydessä. Harvennuksilla tyypillinen korjuutapa on siirtelykaato, jossa metsäkone hakkaa ajouran auki ja harventaa aina kahden ajouran välille jäävän alueen. Puut kaadetaan suunnatusti ja katkotaan sopivaan kuljetuspituuteen. Myös latvuksien ja oksien pinoaminen on mahdollista. Kuvassa 9 on esitetty siirtelykaadon peruseriaate. Samassa kuvassa on myös esitetty integroitu energia- ja ainespuun hakkuu. Integroidussa hakkuussa ainespuuksi päätyvät rungot eritellään omiin kasoihinsa ja energiapuun omiinsa. Ainespuun erottelu ei ole taloudellisesti kannattavaa kohteilla, joissa ainespuun kertymä on vähäistä. Se vain lisää korjuun kokonaiskustannuksia. (Korpilahti & Örn 2002, 16–18 & 24.)



**Kuva 9.** Pienenergiapuun eri hakkuumenetelmät (Kärhä 2009, 44).

Energiapuun korjuu muodostuu metsäkoneen siirtymisestä työpisteiden välillä, hakkuulaitteen viennistä puulle ja puun katkaisusta, puun tai puunipun kaatamisesta ja siirrosta käsittelypaikalle, puun tai puunipun karsinnasta ja katkonnasta tarvittaessa, aliskasvoksen raivauksesta ja järjestelyistä. Metsäkoneen tuntikustannukset muodostuvat palkkakustannuksista, käyttökustannuksista ja kiinteistä kustannuksista. Syntyvälle metsähakkeelle kohdistetut hakkuun kustannukset saadaan jakamalla

keskimääräinen koneen tuntituottavuus sen tuntikustannuksilla. Tuntikustannuksiin on hankala vaikuttaa, mutta työajankäyttöä on kohtuullisen helppoa tehostaa. Koulutetut kuljettajat ja hyvät työmallit parantavat tuntituottavuutta. Teknisiä mahdollisuuksia työajan tehostamiseen tarjoaa joukkokäsittelykouran käyttö. Tavallinen metsäkoneen hakkuukoura käsittelee kerrallaan vain yhden puun, mutta joukkokäsittelykouralla voidaan käsitellä samanaikaisesti useita runkoja. Myös ainespuun ja energiapuun integroidulla hakkuulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki joukkokäsittelyä käyttävän hakkuukoneen työajan jakautumisesta eri työvaiheisiin. Kuvasta huomataan, että suurin osa työajasta menee hakkuupään vientiin ja puiden katkaisuun. (Asikainen et al. 2005, 12–15.)



**Kuva 10.** Joukkokäsittelyä hyödyntävän hakkuukoneen työajan jakautuminen eri työvaiheisiin (Asikainen et al. 2005, 15).

#### 4.2.2 Hakkuutähdehakkeen korjuu

Hakkuutähdehakkeen korjuu on integroitu osaksi ainespuun korjuuta. Erillistä hakkuuta ei tarvita, vaan integroidussa hakkuussa hakkuukoneen toimintatapa muutetaan siten, että oksat ja latvat kasataan hakkuu-uran viereen kasoiksi. Normaalisissa ainespuun hakkuussa hakkuutähteet pyritään levittämään ajouralle suojaamaan maaperää ja parantamaan kantavuutta. Hakkuutähdehakkeen tuotanto pienentää hieman ainespuun korjuun tuottavuutta, jolloin rahallinen menetys voidaan kohdistaa metsähakkeen hakkuun kuluihin. (Asikainen et al. 2010, 45–46.)

### 4.2.3 Kantojen korjuu

Uudishakkuualoilta voidaan kerätä kantoja metsähakkeen raaka-aineeksi. Kannot nostetaan maasta kaivukoneilla tai metsäkoneeseen liitettyllä kannon nostolaitteella eli korjurilla. Kantojen korjuun työajanmenekki muodostuu kaivukoneen osalta puomin viemisestä kannolle, kannon paloittamisesta, kannon irrotuksesta, kannon tai sen palojen nostosta, puhdistamisesta ja kasauksesta, kannonnostojäljen tasauksesta, työpisteeltä toiselle siirtymisestä ja maan muokkauksesta. Korjurilla työajanmenekki muodostuu kouran viennistä kannolle ja kanton tarttumiseen, kannon prosessoinnista ja siirtymisestä työpisteeltä toiselle. Työajan menekkiin vaikuttavat mm. kantojen koko ja kantojen hehtaarikertymä. (Laitila 2010, 6-8.)

### 4.2.4 Koneiden työllistyminen

Metsähakkeen kilpailukyvyn edellytys on metsäkoneiden työllistyminen. Koneet ovat kalliita ja yrittäjien kannalta parasta olisi täystyöllisyys. Kiinteiden kustannusten osuuden minimoiminen yksikkökustannuksissa parantaa metsähakkeen kilpailukykyä. Kiinteät kustannukset ovat kustannuksia, jotka eivät riipu koneiden käyttöasteesta. Aika vaikuttaa kiinteisiin kustannuksiin. Esimerkiksi metsätraktorin siirtyessä 1,5-vuorotyöstä 2-vuorotyöhön tuntikustannukset pienenevät 8-12 % ja kohoavat 9-10 % siirryttäessä yhteen vuoroon. Kiinteiden kustannusten osalta korostuvat koneiden työllistyminen ja koneiden tekninen käyttövarmuus. (Asikainen 2003, 79–81.)

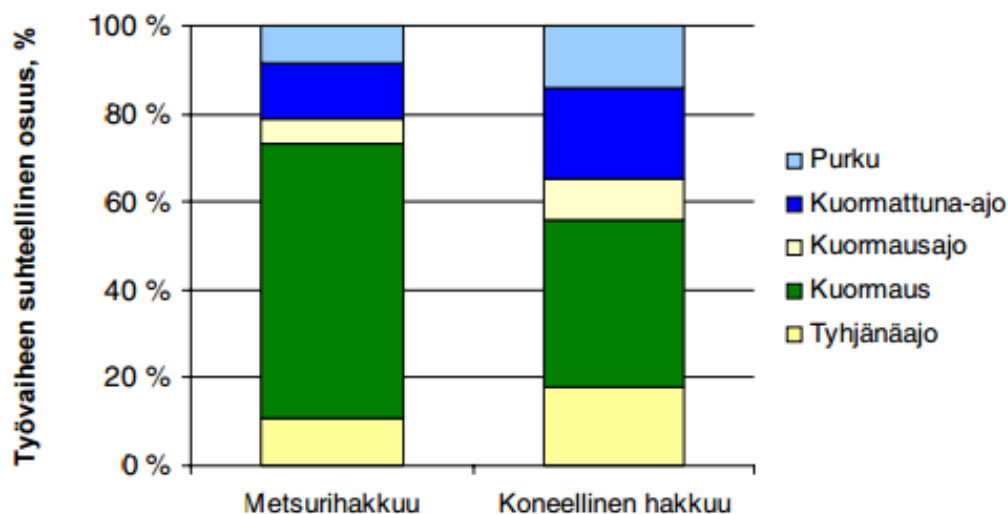
## 4.3 Metsäkuljetus

Metsähakkeen raaka-aineen metsäkuljetuskustannukset riippuvat metsäkuljetusmatkasta, työalueen hakkuupoistumasta, puun kaato- ja kasaustavasta ja metsätraktorin kuljetuskapasiteetistä. Hakkuualueen maastolla ja keliolosuhteilla on myös suuri vaikutus metsäkuljetukseen käytettyyn aikaan. Huonoissa olosuhteissa metsäkuljetuksen tuottavuus voi olla alle puolet normaaliin kohteeseen verrattuna. Metsäkuljetuksen vaiheisiin lasketaan tyhjänäajo kohteelle, traktorin kuormaus, traktorin kuormausajo, kuormattuna ajo ja kuorman purku. Kuormausajo on ajoa, jonka aikana metsätraktori siirtyy kuormauspaikalta seuraavalle. Tärkeä tekijä kuormausajossa on kuormattavan puun ajouranvarsitiheys. Työvaiheista eniten aikaa vie yleensä

kuormaus. Kuljetuskaluston osalta metsätraktorin kuormatilan koon kasvattamisella voidaan parantaa huomattavasti metsäkuljetuksen tuottavuutta. Ratkaisevin tekijä on kuitenkin kuljettajan ammattitaito, sillä kokeneen kuljettajan tuottavuus voi olla yli kaksinkertainen normaaliin kuljettajaan verrattuna. Taitavalla reitinvalinnalla ja nopealla kuormauksella ja kuorman purulla voidaan pienentää kuormakohtaista ajankäyttöä ja parantaa tuottavuutta. Metsäkuljetuksen tuntikustannukset muodostuvat pääomakustannuksista, käyttökustannuksista ja palkkakustannuksista. Metsätraktorilla tuntikustannukset jakautuvat suhteessa 20/40/40 % kustannuslajien mukaan siten, että pääomakustannusten osuus on pienin. Metsätraktorin käyttökustannukset ovat verrannollisia polttoaineen hintaan, sillä polttoainekustannukset muodostavat noin 80 % käyttökustannuksista. (Asikainen et al. 2004, 22–43.)

Kuvassa 11 on esitetty eri hakkuutapojen vaikutusta metsäkuljetuksen työvaiheiden suhteelliseen osuuteen työkohteella, jossa metsäkuljetusmatka on 250 metriä, kuormakoko on 6 m<sup>3</sup> ja pienpuukertymä on 60 m<sup>3</sup>/ha. Kuvasta huomataan hakkuutavan merkitys työvaiheiden ajankäytölle. Koneellisen hakkuun jäljiltä puu on helpommin kuormattavissa ja kuorman teko on nopeampaa. Samoin kuormattavat puut ovat isommissa kasoissa kuin metsurihakkuun jäljiltä. Absoluuttisten työaikojen osalta koneellisen hakkuun korjaaminen on huomattavasti nopeampaa kuin metsurihakkuun puiden korjaaminen. Muut työvaiheet kestävät saman verran hakkuutavasta riippumatta. (Asikainen et al. 2004, 30–32.)





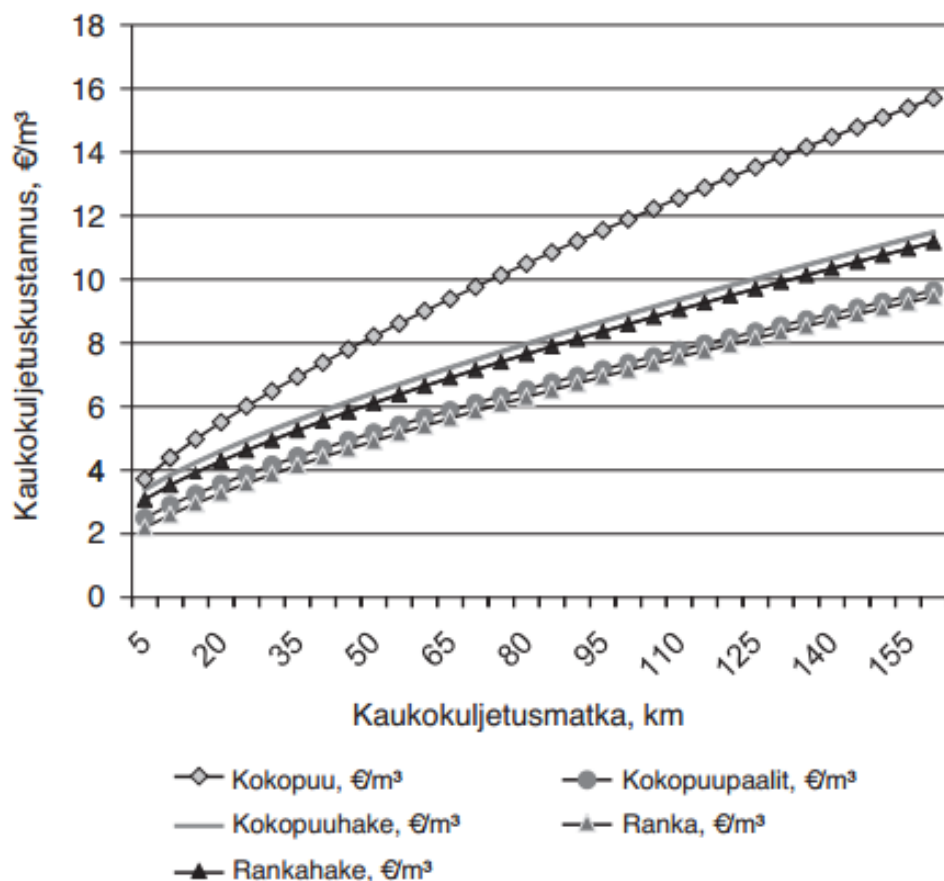
**Kuva 11.** Metsäkuljetuksen työvaiheiden suhteellinen osuus eri hakkuutavoilla (Asikainen et al. 2004, 31)

#### 4.4 Kaukokuljetus

Metsähakkeen kaukokuljetuksella tarkoitetaan puuraaka-aineen kuljetusta hakkuualueen läheisen tienvarren lastauspaikalta käyttökohteeseen tai terminaaliin. Kuljetus hoidetaan yleensä täysperävaunuautolla, junalla tai proomulla. Kaukokuljetus voi olla myös yhdistelmä useita eri kuljetusvälineillä suoritettuja kuljetuksia. Puuraaka-aine voidaan kuljettaa kokopuuna, runkopuuna, risutukkeina tai hakkeena. Kaukokuljetuksen kustannukset muodostuvat kuljetuksesta ja kuorman tekoon ja purkuun käytettävästä ajasta. Kustannukset ovat hyvin maasto ja hakkuualuekohtaisia, sillä maaston kunto ja kuljetettava raaka-ainelaji vaikuttavat niihin suuresti. Tärkeitä tekijöitä kuljetuksessa ovat kuljetusmatka, puun kosteus ja kuljetusvälineen kuormatilaan mahtuvan puun tilavuus. (Laitila & Väättäinen 2011, 107–126)

Yleisin kaukokuljetustapa on puun kuljettaminen täysperävaunuautolla. Auton kuormatilan toteutusratkaisu riippuu kuljetettavan puutavara laadusta. Hakkeen kuljetus vaatii umpilava-autoa mutta kokopuupaaleja ja runko- ja kokopuuta voidaan kuljettaa myös ainespuun kuljetuksissa käytettävillä autoilla. Kuvassa 12 on esitetty nuorten metsien energiapuun kaukokuljetuskustannuksia kuljetusmatkan funktiona. Kuvasta huomataan, että käsiteltäessä pelkkää kuljetuskustannusta taloudellisimmat vaihtoehdot ovat puun kuljettaminen kokopuupaaleina tai rankana. Hakkeen kaukokuljetuksen

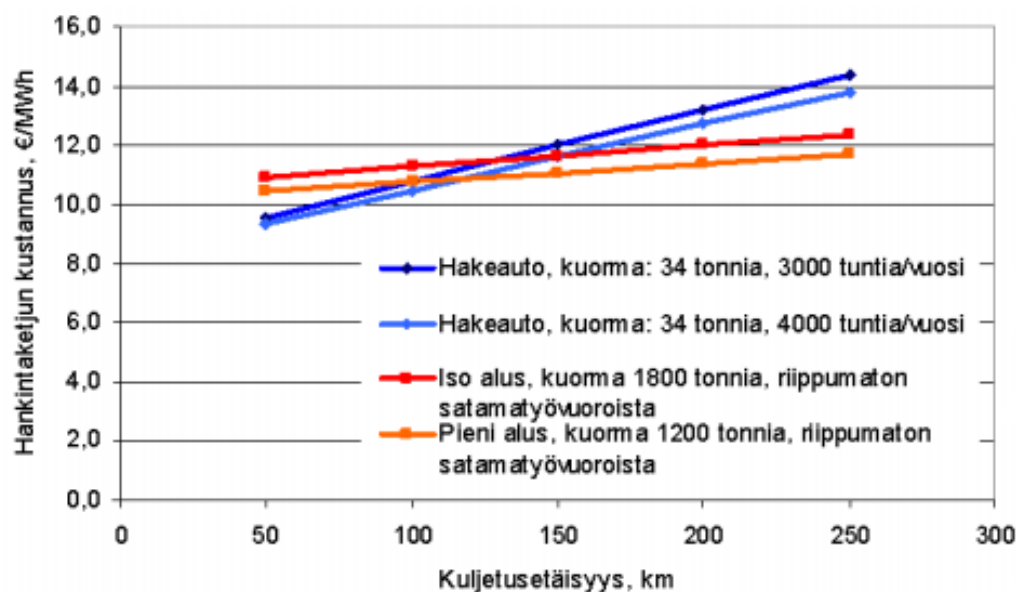
suuremmat kustannukset johtuvat hakkeen suuremmista kuormaus- ja purkuajoista sekä pienemmästä kuormatiheydestä. (Laitila & Väättäin 2011, 120)



**Kuva 12.** Nuorten metsien energiapuun kaukokuljetuskustannukset (Laitila & Väättäin 2011, 120).

Sopivissa olosuhteissa voidaan käyttää myös proomukuljetusta. Metsähaketta käyttävät suuret voimalaitokset ovat yleensä vesistöjen rannalla. Proomukuljetusta voidaan käyttää erityisesti rannoilla sijaitsevien nuorten metsien energiapuun kuljetuksiin ja saarisavottoihin. Proomukuljetuksen etuja ovat suuri lasti, ja mahdollisuus yhdistää energia- ja ainespuun kuljetuksia. Lisäksi joissain tapauksissa on mahdollista saada proomuille myös osittaisia paluukuormia. Tämä ei ole mahdollista normaalilla puuautokalustolla. Kuvassa 13 on esitetty metsähakkeen käyttöpaikkakustannuksia kaukokuljetusmatkan funktiona eri kuljetustavoille. Molemmilla kuljetustavoilla puun hankinta- ja korjuukustannukset ovat samoja. Proomukuljetukset pitävät sisällään 30 kilometrin autokuljetuksen hakkuualueelta proomun lastauspaikalle. Kuvasta

huomataan, että yli sadan kilometrin kuljetusmatkoilla proomukuljetus alkaa muuttua autokuljetusta taloudellisemmaksi. (Jäppinen et al. 2009, 2-25).



**Kuva 13.** Metsähakkeen kaukokuljetustavan vaikutus käyttöpaikkakustannukseen (Karttunen et al. 2012, 408).

Metsähakkeen junakuljetuksella on vähäisempi merkitys kokonaiskuljetusmäärissä verrattuna auto tai proomukuljetuksiin. Risutukkien junakuljetusten kustannukset ovat samaa luokkaa kuin ainespuun kuljetukset ja junakuljetusten hyötynä ovat suuret kuormakoot ja vähäinen polttoaineen kulutus. Ongelmia ovat sopivien terminaali-alueiden puute, kilpailun puute rautatiemarkkinoilla ja vaunukaluston saatavuus. Lisäksi loppuasiakkaiden määrä on vähäinen, sillä kaikille voimalaitoksille ei mene rautatietä. (Asikainen et al. 2010, 42–43.)

#### 4.5 Varastointi ja kuivaus

Tuoreeltaan kaadetun puun kosteus on yleensä väliltä 50–60 %. Vaikka suuret voimalaitokset sietävät suuriakin kosteuden arvoja ja hakkeen laadun vaihteluita, niin energiapuun kuivauksella saavutetaan merkittäviä hyötyjä. Pienenergiapuun yhteydessä puuta kuivatetaan yleensä välivarastoissa ja hakkuutähteiden osalla niitä voidaan kuivattaa myös hakkuualueella. Pienkokopuu kuivuu hyvin välivarastoissa kesäaikaan

ja avoimeen paikkaan tehdyllä varastolla puun kosteus laskee yhden kesän aikana alle 40 %:iin. Risutukkien osalta hyvä kuivausaika on noin kolme kuukautta, jolloin saavutetaan alle 40 % kosteus. Liian pitkä risutukkien kuivausaika aiheuttaa kuiva-ainetappioita. Kuivausta edistää myös hakkuutähteiden palstakuivaus ennen risutukkien paalausta. Kesäaikaan hakkuutähteitä kannattaa kuivattaa palstalla niissä kasoissa, mihin tähteet ovat hakkuun jälkeen jääneet. Jo 1-3 viikon kuivaus mahdollistaa alle 40 % kosteuden. Tämän jälkeen hakkuutähteet kannattaa siirtää tienvarsivarastoon. Puu voidaan kuivata kasoissa myös terminaalihaketuksen yhteydessä. (Hillebrand 2009, 4-15.)

Varastoinnin yhteydessä energiapuukasat on syytä peittää ja suojata sateelta. Tärkeää on myös estää talven yli varastoitujen pinojen kostuminen sulavasta lumesta. Kasojen peittämisen vaikutus on huomattavin hakkuutähteen osalta. Pienpuun ja risutukkien osalta peitettyjen kasojen kosteusprosentti on 5 yksikköä pienempi kuin peittämättömällä varastokasalla ja hakkuutähteen osalta päästään 10–15 prosenttiyksikön hyötyyn. Kasojen peittämisen kustannukset muodostuvat peitteen hinnasta ja peittotyön hinnasta. Peitteen hinta kattaa 80 % kokonaiskustannuksista. Peittäminen on taloudellista, jos sen avulla kosteutta saadaan alennettua 6-8 prosenttiyksikköä. Kokonaisuudessaan energiapuun kosteuspitoisuuden kuivattaminen 40 %:iin tuoreen puun 55 %:sta lisää puun tehollista lämpöarvoa 10 %. (Hillebrand 2009, 4-15.)

Varastointia suoritettaessa on vältettävä epäpuhtauksien kuten kivien ja maan pääsy puun joukkoon. Epäpuhtaudet haittaavat haketusprosessia. Lisäksi pinoille on tehtävä aluspuut, jotka parantavat kasan kuivumista. Varasto on pyrittävä tekemään mahdollisimman aukealle ja tuuliselle paikalle kuivumisen maksimoimiseksi. Varastojen tekemisessä on huomioitava myös mahdollinen hakkurin tilantarve ja muu tuotantologistiikka. Kuvassa 14 on esitetty energiapuun haketus hyvältä varastopaikalta. Kuvan varastopaikalla on kuivattava ympäristö, kasa on ympäristöä korkeammalla ja kasan ympärillä on runsaasti työskentelytilaa. (Tuominen, 2-9, Lepistö 2011, 10)



**Kuva 14.** Välivarastohaketusta hyvältä varastopaikalta (Lepistö 2011, 10).

## 4.6 Haketus

Tienvarsihaketus on käytetyin haketustapa metsähakkeen valmistuksessa. Eri haketusvaihtoehtojen osuudet kokonaistuotannosta vaihtelevat vuosittain. Vuonna 2008 tienvarsihaketuksen osuus oli yli 80 % pienpuuhakkeen tuotannosta ja noin 60 % hakkuutähdehakkeen tuotannosta. Käyttöpaikkahaketuksen osuudet olivat 7 % pienpuulle ja noin 30 % hakkuutähteelle. Terminaalihaketuksen osuus oli 8 % pienpuulle ja 10 % hakkuutähteelle. Kantomurskeen tuotannon osalta vallitseva hakkuumenetelmä on käyttöpaikkahaketus 70 %:n osuudella ja terminaalihaketus 30 %:n osuudella. Kokonaisuudessaan tyypillisin haketusjärjestelmä metsähakkeen tuotannossa oli vuonna 2008 hakkuri-hakeauto -tuotantoketju. (Kärhä 2009, 13–19.)

Yleisimmät hakkurityypit metsähakkeen tuotannossa ovat laikkahakkuri, rumpuhakkuri ja kartioruuvihakkuri. Laikkahakkuri tuottaa tasalaatuista haketta, mutta se vaatii tasalaatuisen raaka-aineen. Laikkahakkuri soveltuu parhaiten karsitun rangan ja kokopuun haketukseen. Kartioruuvihakkuri soveltuu vain karsitun rangan ja sahauspintojen haketukseen. Rumpuhakkurilla voidaan hakettaa karsitun rangan ja runkopuun lisäksi myös latvusmassaa ja suurtehohakkureilla myös risutukkeja. Rumpuhakkuriin voidaan vaihtaa halutun hakepalakoon mukaan erilaisia seuloja. Rumpuhakkuri on toimiva yleishakkuri, mutta sen ongelmana ovat haketuksessa

syntyvät pitkät tikkumaiset hakepalat, jotka voivat jumittaa voimalaitosten polttoaineen kuljettimia. Haketta voidaan tuottaa hakkurien lisäksi murskaimilla. Murskaimia käytetään esimerkiksi kantojen hakettamisessa. (Lepistö 2010, 27–31.)

Haketuksen kustannukset muodostuvat kiinteistä kustannuksista, palkkakustannuksista ja käyttökustannuksista. Kiinteisiin kustannuksiin ei voida juurikaan vaikuttaa muuten kuin käyttöaikaa lisäämällä, jolloin kiinteän kustannuksen suhteellinen osuus pienenee. Palkka- ja käyttökustannukset riippuvat koneen käyttöajasta. Työaika muodostuu haketukseen valmistautumisesta, kasojen järjestelystä, haketuksesta, hakkurin tyhjänä pyörimisestä, hakkurin työpistesiiirroista, hakeauton siirtymisestä, jälkitöistä, tauoista ja huollosta. Yksittäisen hakekuution haketuskustannuksiin vaikuttavat työajan käytön tehokkuus ja vallitseva polttoaineen hintataso. (Laitila & Väättäin 2011, 112–115.)

## **4.7 Tuet**

### **4.7.1 Energiapolitiikka**

Euroopan unionin Suomelle asettamien velvoitteiden mukaisesti Suomen pitää nostaa uusiutuvan energian osuus energian loppukäytöstä 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa 2008 ja Uusiutuvan energian velvoitepaketissa 2010 on linjattu kansallisia keinoja energiatavoitteiden täyttämiseksi. Metsähakkeen käytön lisäämisen uskotaan kattavan puolet uusiutuvan energian lisästarpeesta. Tämä tarkoittaa sitä, että metsähakkeen käyttö kaksinkertaistuu vuoden 2012 tasosta. Tavoitteeksi on asetettu 25 TWh sähkön ja lämmön tuotannossa. Energiämäärä vastaa noin 13,5 miljoonaa kiintokuutiometriä haketta. Metsähaketta poltettiin vuonna 2011 15 TWh:n edestä. Metsähakkeen käyttöä pyritään lisäämään parantamalla sen taloudellista kilpailukykyä kilpaileviin polttoaineisiin nähden. Yleensä vertailupolttoaineena käytetään turvetta. Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuva tuotantotuki, Pienten metsähaketta tai metsäteollisuuden sivuvirtoja käyttävien sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten syöttötariffi ja Metsäpään tuki nuorista metsistä tai ensiharvennuksilta peräisin olevan pienpuuhakkeen kannattavuuden turvaamiseksi ovat

osa vuonna 2010 esitettyä kolmiportaista tukijärjestelmää. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 1-4.)

#### 4.7.2 Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuva tuotantotuki

Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuvan tuotantotuen tarkoitus on taata hakkeen kilpailukyky turpeeseen verrattuna. Tuotantotuki tuli voimaan vuonna 2011 ja se korvasi aikaisemman vuoteen 2010 asti voimassa olleen verotuen. Verotuella maksettiin tuotantolaitoksille 6,9 €/MWh metsähakkeella tuotetusta sähköstä. Uutta muuttuvassa tuotantotuessa on se, että tuen suuruus on sidottu turpeen päästökaupan mukaisten päästöoikeuksien hintaan. Tällä tavoin metsähake pysyy kilpailukykyisenä turpeeseen nähden riippumatta päästöoikeuksien hintojen vaihteluista. (Laki uusiutuvalla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010, 23–26 §.)

Vuosien 2011 ja 2012 tukitasolla metsähakkeen tuotantotuki sähköntuottajalle oli 18 €/MWh, kun turpeen päästöoikeuksien hinta oli alle 10 €/MWh. Tuki on suunniteltu niin, että se pienenee tasaisesti päästöoikeuksien hinnan kohotessa. Muuttuva tuki olisi mennyt nolnaan turpeen päästöoikeuden noustessa 23 €/MWh suuruiseksi. Tukikäytäntö muuttui uudestaan vuoden 2013 alusta alkaen. Nyt hakkeelle maksetaan tukea 13,13 €/MWh, kun turpeen päästöoikeuksien hinta on alle 10 €/MWh. Tuen pienentyminen on perusteltu turpeen verotuksen kiristyksellä. Vuoden 2013 turpeen verotasolla hakkeen tuotantotukea ei enää makseta, kun turpeen päästöoikeuksien hinta ylittää 19,67 €/MWh. Turpeen verotusta on tarkoitus kiristää vielä vuonna 2015, jonka jälkeen metsähakkeen tuotantotuen suuruus on 11,30 €/MWh alle 10 €/MWh päästöoikeushinnalla ja tuen maksaminen loppuu, kun päästöoikeus ylittää tason 18,33 €/MWh. Muuttuvan tuotantotuen suuruus lasketaan seuraavasti.

$$Tuki \left( \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = 35,65 - 1,824 \cdot Ve - 1,358 \cdot Po \quad (1)$$

, missä

*Tuki* Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuva tuotantotuki

*Ve* Turpeen vero

*Po* Turpeen päästöoikeuden kolmen kuukauden keskiarvo. Jos keskiarvo on alle 10 €/MWh, niin silloin yhtälössä  $Po=10$

EU on hyväksynyt muuttuvan tuotantotuen Euroopan yhteismarkkinoille soveltuvaksi. Metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuvaa tuotantotukea maksetaan kaikille hakelajeille ja vuonna 2012 tuki kohdistui noin 10,5 TWh:n metsähakkeen käyttöön. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 3-5; Laki uusiutuvalla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010, 23–26 §.)

#### 4.7.3 Yhteistuotantolaitosten syöttötariffi

Vuonna 2011 otettiin käyttöön Pienten metsähaketta tai metsäteollisuuden sivuvirtoja käyttävien sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten syöttötariffi. Tariffi on tarkoitettu vain uusille CHP-laitoksille. Tariffi takaa puupolttoainevoimalassa tuotetulle sähkölle minimihinnan 83,5 €/MWh. Tukea maksetaan aina tariffin takaaman minimihinnan ja sähkön kolmen kuukauden markkinahinnan välinen erotus. Sähkön markkinahinnan miniminä käytetään 30 €/MWh, eli jos hinta laskee sen alle, niin tariffin tukea maksetaan ainoastaan 53,5 €/MWh. Metsähakevoimalassa tuki maksetaan metsähakkeella tuotetun sähkön muuttuvan tuotantotuen mukaisesti. Tukea maksetaan laitoksille kahdentoista vuoden ajan. Voimalan sähköntuotannolle voidaan maksaa myös lämpöpreemiota 20 €/MWh, jos lämpöä tuotetaan hyötykäyttöön ja voimalan hyötysuhde on Euroopan unionin Energiatehokkuus-direktiivin mukainen. (Laki uusiutuvalla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010, 23–26 §.)

Energiatehokkuusdirektiivin mukaan CHP-laitoksen yhteistuotannon primäärienergian säästön tulee olla yli 10 % verrattuna sähkön ja lämmön erillistuotantoon. Lisäksi sähköntuotantokapasiteetiltaan yli 25 MW:n yhteistuotantolaitoksen kokonaishyötysuhteen tulee olla yli 70 %, jos laitos tuottaa sähkön ja lämmön lisäksi mekaanista energiaa, jotta laitos pääsee tuen piiriin. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta 2012/27/EU, Liite II)



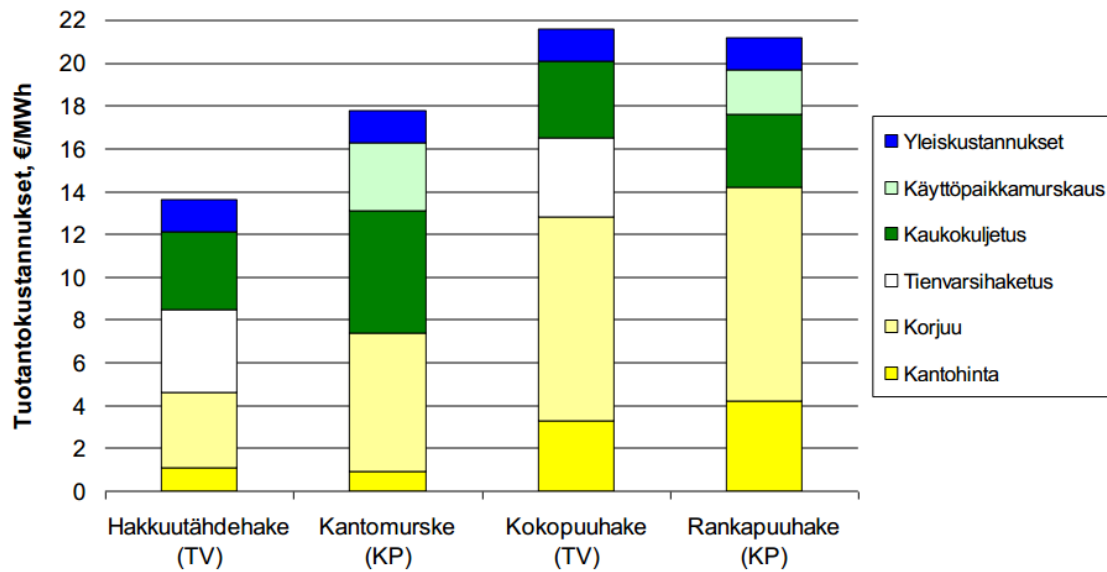
#### 4.7.4 Pienpuun energiatuki ja Kemera-tuki

Kaikista hakkeen raaka-aineista pienpuun käyttö aiheuttaa keskimäärin suurimmat kustannukset. Tämä johtuu siitä, että energiapuun kertymä pinta-alaa kohti on heikko ja korjuu on työvoimavaltaista. Tämän takia nuorista metsistä tai ensiharvennuksilta peräisin olevalle hakkeelle on maksettu vuodesta 1993 asti energiapuun korjuutukea ja vuodesta 1997 energiapuun haketustukea. Vuonna 2010 esitettiin vanhat tuet korvattavan uudella pienpuun energiatuella. Laki tuesta hyväksyttiin vuonna 2011, mutta EU:n komissio ei hyväksynyt sitä kyseisessä muodossa. Tukea on sittemmin muutettu siten, että tuki kohdistuu lähemmäs energiantuotantopistettä, mutta se on vielä komission käsittelyssä eikä tule voimaan ainakaan vuoden 2013 alusta. Tällä hetkellä käytetään vielä vanhaa Kemera-tukea, eli energiapuun korjuutukea. Energiapuun haketustuen maksaminen loppui vuoden 2013 alusta. Pienpuun energiatuen esitetty taso on 5 euroa haketettua kiintokuutiometriä kohti, mikä vastaa noin 2 euroa irtokuutiometriä kohti. Pienpuun korjuutuki on tarkoitettu puulle, joka on korjattu yksityismetsistä nuoren metsän hoidon yhteydessä. Puun minimikertymä hoitokohteelta on 20 kiintokuutiometriä ja puu on luovutettava energiakäyttöön. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 5-6.)

Tällä hetkellä energiapuun korjuutuki on 7 euroa haketettu kiintokuutiometriä kohti. Tuki on kohdennettu erikseen puun korjuulle ja kuljetukselle siten, että molempien suuruus on 3,5 €/kiinto-m<sup>3</sup>. Edellytyksenä tuelle on se, että tuettavalta työkohteelta kertyy yli 20 kiintokuutiometriä haketta ja hake päätyy energiakäyttöön. Lisäksi työllisyystyönä tehdyille energiapuunkorjuulle myönnetään tuotettua hakekiintokuutiometriä kohden 1,70 euron työllisyystuki. Vuoden 2013 alussa poistunut haketustuki oli 1,70 €/irto-m<sup>3</sup>. (Metsäkeskus 2012.)

#### 4.8 Metsähakkeen kustannukset käyttöpaikalla

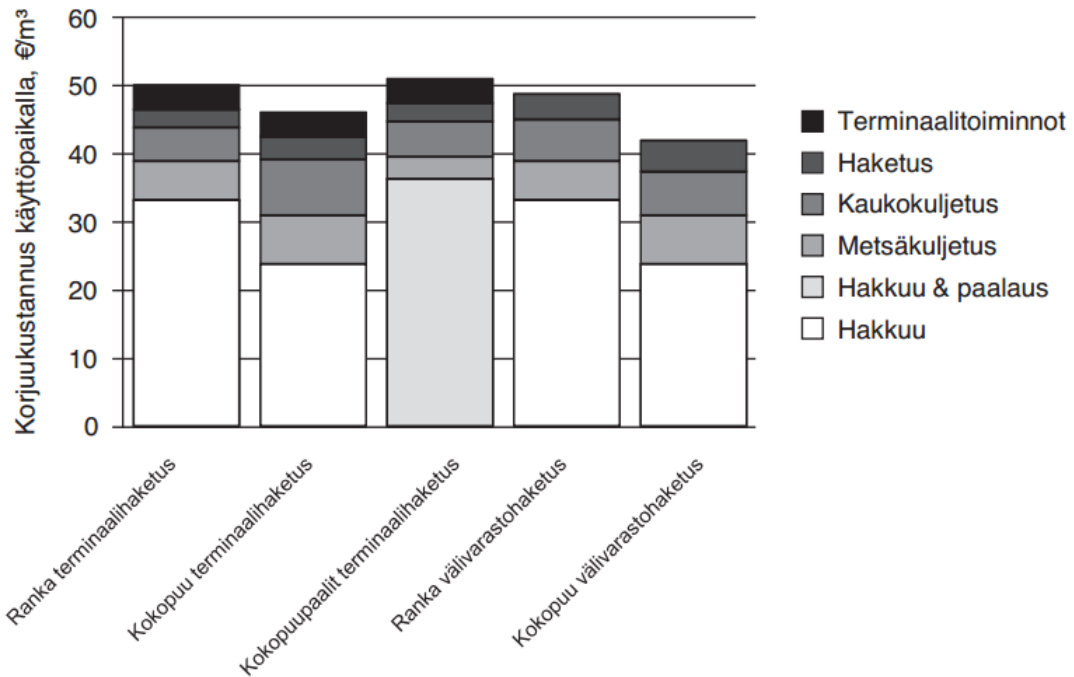
Metsähakkeelle on vaikeaa esittää yleistä kustannusrakennetta, koska työkohteiden olosuhteet vaikuttavat suuresti kokonaiskustannuksiin. Kuvassa 15 on esitetty Metsätehon Heikki Pajujan Itä-Suomen bioenergiapäivillä vuonna 2011 esittämä esitys perinteisten metsähakejakeiden keskimääräisistä tuotantokustannuksista.



**Kuva 15.** Metsähakejakeiden keskimääräiset tuotantokustannukset (Pajujoja 2011, 18).

Kuvasta 15 huomataan, että hakuutähdehakkeen tuotantokustannukset ovat pienimmät. Samoin siitä huomataan, että pienenergiapuusta tehdyn hakkeen, eli koko- ja rankapuuhakkeen yksikkökustannukset ovat korkeita. Tulevaisuuden metsähakkeen käytön lisäyksen pitäisi tulla juuri pienenergiapuusta, jolloin metsähakkeen keskihinta tulee nousemaan hakuutähdehakkeen osuuden pienentyessä.

Kuvassa 16 on esitetty tarkemmin pienenergiapuuhakkeen kustannusrakennetta eri haketus- ja korjuuvaihtoehdoilla. Tiedot perustuvat Metlan koko- ja rankapuun kuljetus- ja haketustuottavuutta käsitelleeseen tutkimukseen. Tutkimuksessa hakkuupoistuman rinnankorkeusläpimitta oli 8 cm, metsäkuljetusmatka 300 m, kaukokuljetusmatka käyttöpaikalle tai terminaaliin 50 km ja terminaalin etäisyys käyttöpaikasta 15 km. (Laitila & Väättäinen 2011, 119.)



**Kuva 16.** Kokopuu- ja rankahakkeen kustannusrakenne (Laitila & Väättäinen 2011, 119).

Kuvasta 16 huomataan, että kyseisessä tapauksessa terminaalihaketuksen kustannukset ovat suuremmat välivarastohaketukseen verrattuna riippumatta haketettavasta materiaalista. Tutkimuksen perusteella kokopuuhakkeen tuotantokustannukset olivat rankapuuhaketta alhaisemmat molemmilla haketustavoilla.

## 5 YHTEENVETO

Metsähakkeen käyttö voimalaitospolttoaineena on ollut suuresti riippuvainen kilpailevien polttoaineiden ja varsinkin öljyn markkinahinnasta. Kalliin öljyn aikana kiinnostus metsähaketta kohtaan on aina lisääntynyt ja öljyn hinnan laskiessa hakkeen käyttö on vähentynyt. Nykyisin metsähakkeen tärkeimmät referenssipolttoaineet ovat turve ja kivihiili sekä pienillä lämpölaitoksilla polttoöljy.

Metsähakkeen markkinahinta muodostuu sen tuotantokustannuksista. Hakkeen tuotanto on työvoimavaltaista ja työkalusto kallista. Suurimpia yksittäisiä kustannuksia ovat palkat ja työkoneiden polttoainekustannukset. Metsähakkeen raaka-ainekustannukset ovat pienet varsinkin hakkuutähteen osalta. Pienenergiapuuhakkeen tuotannossa lopputuotteen markkinahintaa nostavat puun korjuun kustannukset.

Metsähakkeen tuotantomäärät riippuvat paljon hakkuualueen maastosta ja sijainnista. Hakkeen tuotantokustannukset vaihtelevat suuresti eri työkohteiden kesken. Suuri vaikutus on myös hakkuu ja haketustavoilla. Lisäksi markkinahintaan vaikuttaa voimalaitosten referenssipolttoaineisiin perustuva puustamaksukyky. Eri työkohteita ja työtapoja on vaikea verrata keskenään ja puuta kerätään yleensä käytettävissä olevan kaluston ehdoilla. Metsähakkeen eri raaka-ainevaihtoehdot eivät kilpaile keskenään vaan muiden voimalaitospolttoaineiden kanssa.

Metsähakkeella on suuri osuus Suomen uusiutuvan energian lisäystavoitteissa. Metsähakkeelle maksetaan erilaisia tukia, jotka omalta osaltaan pienentävät hakkeen tuotannon kokonaiskustannuksia ja alentavat markkinahintaa. 2000-luvulla metsähakkeen käyttö on lähtenyt jyrkkään nousuun ja metsähakkeen tulevaisuus voimalaitospolttoaineena näyttää hyvältä.

## LÄHTEET

Asikainen Antti, 2003. Puupolttoaineiden tuotannon kustannustekijät. Teoksessa: Knuuttila Kirsi (toim.), 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknoliakeskus Oy. 79–83 s. ISBN 952-5165-20-5.

Asikainen Antti, Flyktman Martti, Laitila Juha, Leinonen Arvo, Virkkunen Matti, 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. Espoo. VTT Tiedotteita – Research Notes 2564. 143 s. [verkkajulkaisu]. [viitattu 09.03.2013]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf>

Asikainen Antti, Heikkilä Jani, Korhonen Kari, Laitila Juha, Lindblad Jari, Pasanen Karri, Siren Matti, Tantu Vesa, Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10. 56 s. [verkkajulkaisu]. [viitattu 16.3.2013]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf>

Asikainen Antti, Korhonen Kari, Laitila Juha, Nuutinen Yrjö, Sikanen Lauri, 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3. 58 s. [verkkajulkaisu]. [viitattu 10.3.2013]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.pdf>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta 2012/27/EU.

Hakkila Pentti, 2003. Metsähakkeen tuotantojärjestelmät. Teoksessa: Knuuttila Kirsi (toim.), 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknoliakeskus Oy. 59 s. ISBN 952-5165-20-5.

Hakkila Pentti, 2004. Metsähakkeen käytön kehittyminen. Teoksessa: Kuitto Pekka-Juhani (toim.), 2004. Metsästä polttoaineeksi –Polttihakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: FINBIO –Suomen Bioenergiayhdistys ry. 63–65 s. ISBN 952-5135-28-4

Elo Juha, Heiskanen Heikki, Keskinen Sirkka, Kärhä Kalle, Lahtinen Perttu, Pajuoja Heikki, Räsänen Tapio, Saijonmaa Pekka, Strandström Markus, 2010. Kiinteiden

puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 66/2010. 68 s. ISBN 978-952-227-468-7. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.4.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/28437/TEM\\_66\\_2010\\_verkkojulkaisu.pdf](http://www.tem.fi/files/28437/TEM_66_2010_verkkojulkaisu.pdf)

Hillebrand Kari, 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi – yhteenveto aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista. VTT. 17 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 9.3.2013]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/VTT-R-07261-09.pdf>

Jäppinen Eero, Karttunen Kalle, Ranta Tapio, Väätäinen Kari, 2008. Metsäpolttoaineiden proomukuljetus. Metsäteho. [verkkojulkaisu]. [viitattu 09.03.2013]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja\\_2009\\_04\\_Metsapolttoaineiden\\_proomukuljetus\\_ak.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_04_Metsapolttoaineiden_proomukuljetus_ak.pdf)

Karttunen Kalle, Väätäinen Kari, Asikainen Antti, Ranta Tapio, 2012. The Operational Efficiency of Waterway Transport of Forest Chips on Finland's Lake Saimaa. Silva Fennica 46(3): 395–413 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.4.2013]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf463395.pdf>

Kiviniemi Matti, 2006. Puukauppa. Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy. 539 s. ISBN 952-5118-82-7.

Knuuttila Kirsi (toim.), 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknologikeskus Oy. 115 s. ISBN 952-5165-20-5.

Korpilahti Antti, Örn Jouko, 2002. Energiapuun hankinta nuorista metsistä. Metsätehon raportti 141. 34 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.3.2013]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_141.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_141.pdf)

Kuitto Pekka-Juhani (toim.), 2004. Metsästä polttoaineeksi –Polttohakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: FINBIO –Suomen Bioenergiayhdistys ry. 324 s. ISBN 952-5135-28-4

Kärhä Kalle, 2009. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2008. Metsätehon tuloskalvosarja 14/2009. 33 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.3.2013]. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja\\_2009\\_14\\_Metsahakkeen\\_tuotantoketjut\\_kk.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_14_Metsahakkeen_tuotantoketjut_kk.pdf)

Kärkkäinen Matti, 2005. Maailman metsäteollisuus. Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy. 355 s. ISBN 952-5118-78-9

Laitila Juha, 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metlan työraportteja 150. 29 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.3.2013]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.pdf>

Laitila Juha & Väätäinen Kari, 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketustuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 107–126. [verkkojulkaisu]. [viitattu 9.3.2013]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff112107.pdf>

Laki uusiutuvalle energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta, 30.12.2010/1396.

Lepistö Tanja (toim.), 2010. Laatuhaakkeen tuotanto –opas. Sastamala. Metsäkeskukset. 42 s. ISBN 978-951-98723-6-0. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.1.2013]. Saatavissa: [http://www.bioenergiatieto.fi/default/?\\_E\\_VIA\\_WYSIWYG\\_FILE=4554&name=file](http://www.bioenergiatieto.fi/default/?_E_VIA_WYSIWYG_FILE=4554&name=file)

Lepistö Tanja, 2011. Energiapuun varastointi. Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa. 34 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.3.2013]. Saatavissa: [http://www.metsakeskus.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=5e980985-f5fe-420a-9630-544190d9aa79&groupId=10156](http://www.metsakeskus.fi/c/document_library/get_file?uuid=5e980985-f5fe-420a-9630-544190d9aa79&groupId=10156)

Maa- ja metsätalousministeriö, 2012. Ajankohtaiskatsaus metsäenergiasta, Metsäneuvoston kokous 4.9.2012. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.1.2013]. Saatavissa: [http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/6Bm85SwNG/Liite1\\_metsaenergiakatsaus\\_metsaneuvostolle.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/6Bm85SwNG/Liite1_metsaenergiakatsaus_metsaneuvostolle.pdf)

Metsäkeskus, 2013. Energiapuun korjuu- ja haketustuki. [verkkojulkaisu]. [viitattu 3.1.2013]. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/kemera-tuet-energiapuu>

Metsätilastollinen vuosikirja, 2012. Metsätutkimuslaitos. 172 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.4.2013]. Saatavissa: [http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2012/vsk12\\_04.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2012/vsk12_04.pdf)

Nalkki Janne, 2003. Puupolttoainejalosteet. Teoksessa: Knuutila Kirsi (toim.), 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknologikeskus Oy. 84–85 s. ISBN 952-5165-20-5.

Pajuoja Heikki, 2011. Mitä metsäenergian lisäystavoitteet tarkoittavat käytännössä. Metsäteho. 28 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 3.1.2013]. Saatavissa: <http://www.isbeo2020.fi/dman/Document.phx?documentId=mi17811140349113&cmd=download>

Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 3. Vuosineljännes 2011, Liitekuvio 7. Metsähakkeen hinta ja määrä. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.3.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2011/03/ehi\\_2011\\_03\\_2011-12-15\\_kuv\\_007\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2011/03/ehi_2011_03_2011-12-15_kuv_007_fi.html)

Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 3. Vuosineljännes 2012, Liitekuvio 3. Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.3.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2012/03/ehi\\_2012\\_03\\_2012-12-18\\_kuv\\_003\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2012/03/ehi_2012_03_2012-12-18_kuv_003_fi.html)

Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-7984. 3. Vuosineljännes 2012, Liitekuvio 4. Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.3.2013]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2012/03/ehi\\_2012\\_03\\_2012-12-18\\_kuv\\_004\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2012/03/ehi_2012_03_2012-12-18_kuv_004_fi.html)

Tuominen Timo. Energiarangan oikeaoppinen varastointi. Metsänhoitoyhdistys Kalajokilaakso. 9 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.1.2013]. Saatavissa:



[https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:pX18EC84LWEJ:www.mhy.fi/kalajokilaaako/energiahanke/fi\\_FI/eneriatietoa/files/74383472603630408/default/Energiarangan%2520oikeaoppinen%2520varastointi.ppt+&hl=fi&gl=fi&pid=bl&srcid=ADGEEShT88dk5jMTari5\\_GK0e6FFyDwP0TteBfW3Km9NkmUm1\\_f6p99BoSXHP5HTB-R5z\\_zp2ywTsSis\\_CNvIMDBhOqcg0qc9WRJtzzEfq27rMCqrV4ynn57FodGQJmhXERZ0V0Ij2kt&sig=AHIEtbR25VeG5Pr6JVxsrOgnuqTHMChEOA](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:pX18EC84LWEJ:www.mhy.fi/kalajokilaaako/energiahanke/fi_FI/eneriatietoa/files/74383472603630408/default/Energiarangan%2520oikeaoppinen%2520varastointi.ppt+&hl=fi&gl=fi&pid=bl&srcid=ADGEEShT88dk5jMTari5_GK0e6FFyDwP0TteBfW3Km9NkmUm1_f6p99BoSXHP5HTB-R5z_zp2ywTsSis_CNvIMDBhOqcg0qc9WRJtzzEfq27rMCqrV4ynn57FodGQJmhXERZ0V0Ij2kt&sig=AHIEtbR25VeG5Pr6JVxsrOgnuqTHMChEOA)

Vesisenaho Tero, 2004. Metsähakkeet. Teoksessa: Knuuttila Kirsi (toim.), 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknologikeskus Oy. 37–40 s. ISBN 952-5165-20-5.

Väkiparta Jorma, 2003. Sähköntuotannon kustannustekijät. Teoksessa: Knuuttila Kirsi (toim.), 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän Teknologikeskus Oy. 108–109 s. ISBN 952-5165-20-5.

Ylitalo Esa, 2012. Puun energiakäyttö 2011. Metsäteollisuustiedote 16/2012. Metsäntutkimuslaitos. 7 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.3.2013]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/mtt/2012/puupolttoaine2011.pdf>