

# Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjuissa

Tanja Ihalainen & Anssi Niskanen



Euroopan unioni  
Euroopan sosiaalirahasto

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2007–2013

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

**Toimitus**

PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

**Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Ihalainen, Tanja & Niskanen, Anssi			
<b>Nimeke</b> Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjuissa			
	<b>Sivumäärä</b> 47s. + 3 liitettä	<b>ISBN</b> 978-951-40-2245-6 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Joensuun tutkimusyksikkö / 343201, Metsäenergia-hanke			
<b>Hyväksynyt</b> Leena Paavilainen, 9.8.2010			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mistä eri osatekijöistä kustannukset bioenergia-arvoketjuissa muodostuvat sekä syyt kustannuseroihin eri arvoketjujen välillä. Tutkimuksessa mallinnettiin CHP -laitoksen kustannusrakenne. CHP-laitoksen kustannusmalli yhdistettiin metsähakkeen hankinnan kustannusmalliin laitoksen polttoainekustannusten kautta. Energiantuotannon kustannusmalli ja metsähakkeen hankinnan kustannusmalli muodostavat yhdessä kokonaismallin tuotannolle, kuljetukselle ja käytölle.</p> <p>Laskenta suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusyksikössä kehitettyjen hakelaskureiden, kirjallisuuden ja asiantuntijahaastatteluiden avulla. Kustannustekijöiden muutosten vaikutusta kokonaiskustannuksiin ja kannattavuuteen tarkasteltiin herkkyyksianalyysillä.</p> <p>Herkkyyksianalyysin perusteella polttohakkeen kaukokuljetusmatkalla, kosteuspitoisuudella ja kantohinnalla on eniten merkitystä käyttöpaikkakustannusten muodostumiseen ja tätä kautta CHP-laitoksen polttoainekustannuksiin. Bioenergian tuotannon kokonaiskustannusten ja kilpailukyvyn kannalta suurin merkitys oli kuitenkin poliittisilla tekijöillä kuten päästöoikeuden hinnalla tai Kemera-tuella.</p> <p>Alhaisimmat kustannukset ja paras tuotto tutkituista energiantuotantoketjuista saatiin, kun polttoaineeksi energiantuotantoon valitaan irtonaista latvusmassaa, joka kuljetetaan suoraan käyttöpaikalle haketettavaksi. Lähes yhtä hyvä tuotto saatiin myös välivarastolla haketetulla latvusmassalla tai kokopuulla.</p> <p>Julkaisu on tuotettu osana Euroopan Sosiaalirahaston osittain rahoittamaa METSÄENERGIA-hanketta.</p>			
<b>Asiasanat</b> Metsäenergia, arvoketju, bioenergiantuotanto, käyttöpaikkahinta, herkkyyksianalyysi, puustamaksukyky			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp166.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp166.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Tanja Ihalainen, Itä-Suomen Yliopisto, PL 68, 80101 JOENSUU, <a href="mailto:tanja.ihalainen@metla.fi">tanja.ihalainen@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b>			

## Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Kustannusten laskentaperusteet metsäenergian hankinnassa .....</b>	<b>6</b>
2.1. Metsäenergian tuotannon kustannuslaskenta.....	7
2.2. Leimikkotekijät.....	8
2.3. Konekustannustekijät.....	9
<b>3. Korjuu- ja kuljetuskustannusten määrittäminen .....</b>	<b>9</b>
3.1. Kone- ja työkustannukset .....	9
3.2. Koneiden käyttötuntikustannukset ja ajanmenekkimallit .....	12
3.3. Muut kustannuksiin vaikuttavat tekijät.....	15
<b>4. Kustannusten laskentaperusteet CHP-tuotannossa .....</b>	<b>16</b>
4.1. Kiinteät pääomakustannukset .....	18
4.2. Kiinteät käyttökustannukset.....	19
4.2.1. Henkilökustannukset .....	19
4.2.2. Muut kiinteät käyttökustannukset .....	19
4.3. Muuttuvat käyttökustannukset.....	20
4.3.1. Polttoainekustannukset ja päästökaupan aiheuttamat lisäkustannukset .....	20
4.4. Energiaverotus – ja tuet .....	21
4.5. Kaukolämmön ja sähkön tuotannosta aiheutuvat kustannukset.....	22
4.5.1. Pumppauskustannukset .....	22
4.5.2. Sähkön siirtokustannukset ja verkkoon liittyminen .....	22
<b>5. Käyttöpaikkahinta eri metsähakkeen tuotantoketjuissa .....</b>	<b>23</b>
5.1. Kustannusanalyysi .....	23
5.2. Strategiset kustannustekijät eri tuotantoketjuissa .....	25
<b>6. Herkkyysanalyysi.....</b>	<b>26</b>
6.1. Metsähakkeen käyttöpaikkahinnat ja niihin vaikuttavat tekijät.....	26
6.1.1. Leimikkotekijät.....	26
6.1.2. Koneiden käyttötuntikustannusten vaikutus käyttöpaikkakustannuksiin .....	32
6.2. Herkkyysanalyysi ja eri tekijöiden vaikutus CHP-energian omakustannushintaan.....	34
6.2.1. Polttohakkeen ominaisuudet ja leimikkotekijät.....	34
6.2.2. Konekustannustekijöiden vaikutus energian omakustannushintaan .....	35
6.2.3. Poliittiset tekijät .....	35
<b>7. CHP-tuotannon kustannukset ja kannattavuus .....</b>	<b>36</b>
7.1. CHP-tuotannon kustannusrakenne.....	36
7.2. CHP-tuotannon kannattavuus eri metsäenergiajakeilla ja toimitusketjuilla .....	40
<b>8. Yhteenveto .....</b>	<b>42</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>43</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>48</b>

## 1. Johdanto

1990-luvulla metsähakkeen hinta polttolaitoksella laski tuotantokustannusten ja korjuuteknologisen kehityksen seurauksena. Vuoden 2000 jälkeen hinta on kuitenkin noussut tuotantotekniikan ja logistiikan muutoksista huolimatta (Pöyry 2006, Tilastokeskus 2009). Bioenergian kysyntään liittyvien tavoitteiden seurauksena hankintaa on jouduttu ulottamaan laajemmalle maantieteelliselle alueelle ja vaikeammille korjuukohteille. Kansallisen metsäohjelman vuoden 2015 tavoitteiden toteutuminen tarkoittaisi nykyisten korjuumäärien liki kolminkertaistumista vajaassa kymmenessä vuodessa. Kahdeksan miljoonan kiintokuutiometrin tavoitetasolla päätehakkuualojen latvusmassaa korjattaisiin vuonna 2015 lähes kaksinkertaiselta pinta-alalta nykytasoon verrattuna (Metsäenergian hankinnan...2008).

Energiapuulla korjuun ja kuljetuksen yksikkökustannukset ovat alhaisemman tuottavuuden vuoksi korkeammat kuin ainespuulla. Se on usein hyvälaatuinen polttoaine ja sen kysyntä on kasvussa pienpolttolaitosten lisääntyessä (Sirén 2007). Pienpuuhakkeen tuotannolla on lisäksi usein metsänhoidolliset lähtökohdat. Kokopuun ja rankapuun korjuun kannattavuuden ja kilpailukyvyn parantaminen lisäisi metsätalouden kannattavuutta monella tasolla. Korjuut ohjautuisivat ensisijaisesti hoitotöitä tarvitseville kohteille ja laitosten polttoaineen laatu parantuisi.

Päätehakuiden latvusmassasta valmistetun hakkeen tuotanto voidaan helposti integroida työtapoja muuttamalla osaksi ainespuun korjuuta. Kannonostoon liittyy vielä ratkaisemattomia seikkoja, kuten ympäristövaikutusten hallinta ja mahdollinen kantohinnan nousu, jotka tulevat luultavasti vaikuttamaan kantojen energiakäytön kannattavuuteen tulevaisuudessa. Viime vuonna kantojen käyttö energiantuotannossa tosin nousi latvusmassan käyttöä nopeammin.

Energiapuun arvo määrittyy kuorman energiasisällön mukaan, ei niinkään tilavuuden tai massan (Hakkila 2006), ja tämä vaikuttaa myös energiapuun kilpailukykyyn. Energiasisältöön vaikuttavia tekijöitä kuten säätä tai varasto-olosuhteita on vaikea hallita ja ne vaikuttavat lopulliseen hinnanmuodostukseen suuresti. Pitkät kuljetusmatkat nostavat hakkeen käyttöpaikkakustannuksia, sillä metsähakkeen kuljetuskustannukset nousevat nopeasti pitkillä kuljetusetäisyyksillä alhaisen tiheydensä vuoksi. Kustannuksia voidaan kuitenkin alentaa esimerkiksi terminaalien ja polttolaitosten sijoittelulla sekä alhaisen tiheyden omaavien biomassojen tiivistämisellä. Tulevaisuudessa logistinen suunnittelu tulee vaikuttamaan yhä enemmän bioenergian kilpailukykyyn, kun välimatkat korjuukohteilta laitoksille pitenevät.

Vuonna 2005 metsähakkeen keskimääräinen hinta käyttöpaikalla oli 11,1 €/MWh sisältäen kaikki metsähakelaadut kannoista ja latvusmassasta pienpuuhakkeeseen. Vuoden 2009 lopussa Pöyryn tilastojen mukaan metsähakkeen keskimääräinen käyttöpaikkahinta oli noin 16,9 €/MWh (Puupolttoaineiden hintaseuranta 2009)

Metsähakkeen hinta energialaitoksella ja energialaitosten puustamaksukyky ovat merkittäviä metsähakkeen käyttöä ohjaavia tekijöitä. Kilpailevien polttoaineiden käyttökustannus on suoraan puustamaksukykyyn vaikuttava tekijä, kun taas lopputuotteen hinnalla on epäsuora vaikutus. Koska metsähake korvaa ensisijaisesti turvetta, puustamaksukyky on määräytynyt ensisijaisesti turpeen hinnan, puun saaman sähköntuotannon tuen ja päästöoikeuksien perusteella (Pöyry 2006). Vuodesta 2004 vuoteen 2007 puupolttoaineiden kilpailukyky on parantunut suhteessa öljyyn ja maakaasuun (Pöyry 2007).

Jotta kotimaisen puupolttoaineen käytöstä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty, on myös niitä käyttävät laitokset mitoitettava sekä käytöntechnisesti että taloudellisesti ajatellen oikein. Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksen mitoitustehoon vaikuttaa kaukolämpöverkon jo olemassa oleva sekä tulevaisuudessa rakennettava lämpökuorma. Tarvittava lämmöntarve on oltava olemassa, että laitos kannattaa rakentaa. (Kaukolämpötietoa...1983).

Suomessa suurin osa nykyisestä kaukolämmityspotentiaalista on jo rakennettu. Kaukolämmön kysynnän kasvu riippuu paikkakunnan uudisrakentamisesta sekä yhdyskuntarakenteen kehittymisestä. Markkinoiden arvioidaan kasvavan 1 %:n vuodessa (Energia ja Suomen...2005). Bioenergialla ja puupolttoaineilla on kuitenkin suuri merkitys myös nykyisessä kaukolämmön tuotannossa, kun tavoitteena on vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja lisätä toimitusvarmuutta käyttämällä paikallisia polttoaineita.

Biopolttoaineiden käytön lisäämisen kannalta on tärkeää löytää kustannustehokkaita bioenergian tuotantomenetelmiä, jotka takaavat sen kilpailukyvyn myös pitkällä aikavälillä. Koska bioenergian tuotantoon osallistuu useita yrityksiä ja toimitusketjut ovat usein pitkiä, on tärkeää tuntea koko toimitusketjun kustannusrakenne. Kustannustehokkuus ja kilpailuetu lopputuotemarkkinoilla haetaan usein koko toimitusketjun kustannuksista aiempaa läheisemmän verkosto- ja toimittajayhteistyön välityksellä (Seppänen ym. 2002).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää bioenergian hankinnan- ja tuotannon kustannusrakenne ja tutkia koko toimitusketjun kustannusrakennetta. Tavoitteena oli selvittää eri kustannustekijöiden vaikutusta sekä bioenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan ja kuinka suuri vaikutus erilaisilla korjuun ja kuljetuksen aikaisilla muuttujilla oli lopulliseen energian omakustannushinnan muodostumiseen.

## 2. Kustannusten laskentaperusteet metsäenergian hankinnassa

Metsäenergian omakustannushintaan (€/MWh) vaikuttavat polttoainekustannukset, jotka muodostuvat käytetyn polttoaineen käyttöpaikkakustannuksista ja laitoksen kulutussuhteista. Metsähakkeen käyttöpaikkahinta puolestaan muodostuu kantohinnasta, organisaatiokustannuksista, korjuu- ja metsäkuljetuskustannuksista, kaukokuljetuksesta aiheutuvista kustannuksista sekä haketuskustannuksista (Kuva 1). Kustannuksiin ja korjuun tuottavuuteen vaikuttavat myös leimikkotekijät, kuten korjattavien runkojen järeys, leimikon kokonaiskertymä sekä metsäkuljetusmatka (Lauhanen & Laurila 2007, Heikkilä ym. 2007). Koneiden käytöstä ja tuottavuudesta johtuvat kustannustekijät vaikuttavat myös lopullisen käyttöpaikkahinnan muodostumiseen.



**Kuva 1.** Metsäenergian tuotannon arvoketjut ja käyttöpaikkahinnan muodostuminen

## 2.1. Metsäenergian tuotannon kustannuslaskenta

Metsähakkeen tuotannossa kustannustekijät liittyvät koneisiin, työolosuhteisiin, työntekijöihin, organisaatioon tai tuotteeseen. Tietoja kustannustekijöistä ja niiden vaikutuksista tarvitaan, kun arvioidaan eri korjuuteknologioiden ja – menetelmien sekä toiminnan organisointitapojen soveltuvuutta ja kilpailukykyä erilaisissa toimintaympäristöissä (Asikainen ym. 2001).

Metsähakkeen tuotantomenetelmät voidaan jakaa haketuspaikkansa mukaan keskitetyn ja hajautetun haketuksen menetelmiin. Palstahaketusketjussa haketus tapahtuu palstalla palstahakkurilla. Hake kuljetetaan käyttöpaikalle kuorma-autolla. Tienvarsihaketusketjussa metsäenergiajakeet haketetaan joko integroidulla hakkuri-hakeautolla, jolla tapahtuu myös hakkeen kaukokuljetus, tai erillisellä hakkurilla/murskaimella tienvarressa, josta hake kuljetetaan erillisellä autolla käyttöpaikalle. Terminaalihaketusketjussa metsäraaka-aine kuljetaan keskitetysti terminaaliin, jossa haketus tapahtuu. Hake kuljetetaan loppukäyttöpaikkaan kuorma-autolla, laivalla tai junalla. Käyttöpaikkahaketusketjussa metsäenergiajakeet kuljetetaan suoraan käyttöpaikalle, jossa ne haketetaan.

Se, millä tuotantoketjulla haketta tuotetaan, riippuu ensisijaisesti tuotettavasta metsäenergiajakeesta, korjuuoloista, tienvarsivarastotilasta, kuljetusmatkasta, lämpö- ja voimalaitosten käyttömääristä, saatavilla olevasta kalustosta ja kustannuksista. Keskittämällä haketus terminaaliin tai käyttöpaikalle voidaan nostaa hakkurin vuosituotosta ja käyttöastetta sekä lyhentää odotusaikoja tuotantoketjussa. Kun kukin työvaihe voidaan tehdä niin tehokkaasti kuin kalustolla on mahdollista ilman turhia odotusaikoja, päästään eroon ns. ”kuumasta ketjusta” (Kärhä 2009, Metsäenergian hankinnan 2009).

Vuonna 2008 latvusmassahakkeen tuotannosta 60 % perustui tienvarsivarastohaketuksen ja terminaaleissa tuotetun hakkeen osuus oli noin 10 %. Vajaa kolmannes energiantuotantoon käytetystä latvusmassasta haketettiin käyttöpaikalla (Kärhä 2009).

Vuonna 2008 kantoahakkeen tuotannosta 70 % perustui käyttöpaikalla murskaukseen ja 30 % terminaalimurskaukseen. Kantojen murskaus tienvarsivarastoilla oli erittäin harvinaista (Kärhä 2009).

Pienpuuhakkeen tuotannossa tienvarsihaketuksen osuus oli melkein 80 %, josta valtaosa, 82 %, tuotettiin tavanomaisella hakkuri-hakeauto – yhdistelmällä. Terminaaleissa haketetun pienpuuhakkeen osuus oli 8 % ja käyttöpaikalla haketetun 7 % (Kärhä 2009, Metsäenergian hankinnan ...2008).

Maantiekuljetus on tällä hetkellä vallitseva metsäpolttoaineen kaukokuljetusmuoto Suomessa. Metsähakkeen kaukokuljetuskalusto koostui vuonna 2007 yhteensä 151 ajoneuvoyksiköstä, joista kaksi kolmasosaa oli hakeautoja ja vajaa kolmannes irtorisujen ja kantojen kuljetukseen soveltuvia energiapuuautoja (Kärhä 2007).

Tässä tutkimuksessa kustannustekijät jaettiin leimikkotekijöihin ja konekustannustekijöihin. Leimikkotekijöillä tarkoitetaan leimikon sijainnista, koosta tai korjattavan puuston muutoksista aiheutuvia kustannuseroja eri toimitusketjujen välillä. Konekustannustekijöillä tarkoitetaan kustannuslaskennan yhteydessä jolloin lähinnä koneiden käyttötuntikustannuksia. Konekustannus- ja leimikkotekijöiden vaikutusta eri toimitusketjujen kustannuksiin tutkittiin herkkyys-

analyysin menetelmin, jolloin saatiin selville niiden absoluuttinen ja suhteellinen vaikutus metsähakkeen käyttöpaikkakustannuksiin ja myöhemmin energian omakustannushintaan.

Yksisuuntaisessa herkkyysoanalyysissä tutkittiin yksittäisen muuttujan vaikutusta pitämällä muut arvot vakiona ja vaihtelemalla tutkittavan muuttujan arvoa. Kaksisuuntaisessa herkkyysoanalyysissä tutkittiin kahta muuttujaa samanaikaisesti. Herkkyysoanalyysissä pyrittiin selvittämään eri työvaiheiden tai tekijöiden absoluuttinen (€) ja suhteellinen (%) vaikutus lopulliseen toimitushintaan tehtaalla tai loppukäyttäjällä.

## 2.2. Leimikkotekijät

Kustannuslaskennassa annettiin vakioarvot kaikkia toimitusketjuja koskeville leimikkotekijöille vertailun mahdollistamiseksi eri ketjujen välillä (Taulukko 1). Yksisuuntaisella herkkyysoanalyysillä tarkasteltiin kuitenkin myös näiden tekijöiden vaikutusta kokonaiskustannuksiin.

**Taulukko 1.** Vakioidut leimikkotekijät ja suluissa niiden vaihteluväli hakelaskureiden herkkyysoanalyysissä.

Leimikon koko (ha)	2
Metsäkuljetusmatka (m)	200 (200-300)
Kaukokuljetusmatka (km)	50 (50-150)
Matka terminaaliin (km)	20 (15-30)
Matka terminaalista loppukäyttäjälle (km)	15 (5-20)

Vakioitavia leimikkotekijöitä olivat leimikon koko, metsäkuljetusmatka, kaukokuljetusmatka, matka terminaaliin ja matka terminaalista loppukäyttäjälle. Leimikkotekijöitä, jotka vaihtelivat korjattavan metsäenergiajakeen mukaan, olivat puuston tilavuus, kertymä leimikolla ja kosteusprosentti. Leimikon kertymää ja puuston tilavuutta muunneltiin herkkyysoanalyysissä kaikilla bioenergiajakeilla samoilla vaihteluväleillä herkkyysoanalyysin mahdollistamiseksi. Lisäksi tutkittiin tarvittaessa varastointiajan pituuden vaikutusta kustannuksiin (Taulukko 2). Organisaatiokulut olivat kaikilla ketjuilla 3,15 euroa/m<sup>3</sup>, eikä niiden määrää muunneltu (Metsäteho 2009).

**Taulukko 2.** Leimikkotekijät ja näiden vaihteluvälit eri toimitusketjuilla

	Puuston tilavuus (-20 – + 40 %)	Puuston kokonaiskertymä (-10 – +20 %)	Varastointi aika, kk	Hakkeen kosteusprosentti (varastokuivattu)
Kuitupuun korjuu	80, (72-96) dm <sup>3</sup>	50, (45-60) m <sup>3</sup> /ha	(1) -	40 %, (25 – 40)
Rankapuun korjuu	25, (20-35) dm <sup>3</sup>	80, (72-96) m <sup>3</sup> /ha	0, 6-9	35 %, (25 – 40)
Kokopuun korjuu	25, (20-35) dm <sup>3</sup>	80, (72-96) m <sup>3</sup> /ha	0, 3 - 6	35%, (25 – 40)
Kantojen nosto	39, (32-47) cm	600, (540 – 720) kpl/ha	(8) oletusarvo	30 %, (25 – 40)
Latvusmassan keräys	-	180, (162 – 220) m <sup>3</sup> /ha (kuusitukki)	0, 3 - 6	35 %, risutukki 40 % (25 – 40)

Tässä tutkimuksessa kannonnostolle ei asetettu peruslaskelmassa kantohintaa, latvusmassan kantohinnaksi asetettiin 0,5 €/m<sup>3</sup>, pienpuulle 5 €/m<sup>3</sup> ja kuitupuulle 14 €/m<sup>3</sup>. Herkkyysoanalyysi-



sissä pienpuun kantorahan arvoa muunneltiin välillä 0-10 €/m<sup>3</sup>, kantomurskeen ja latvusmasan välillä 0-3,5 €/m<sup>3</sup> ja kuitupuun 12-20 €/m<sup>3</sup> välillä.

Hankintaketjun alkuvaiheessa metsäbiomassa on halpa- tai jopa ilmaistuote, josta metsänomistaja hyötyy pikemminkin välillisesti metsänhoitoetujen kuin välittömän rahallisen korvauksen muodossa (Hakkila 2006). Metsäenergian kantorahakorvauksesta ei ole ollut toistaiseksi yhtenäistä käytäntöä ja erot eri yhtiöiden ja alueiden välillä ovat suuria. Kannoista ei yleisesti ole maksettu korvausta metsänomistajalle. Kantojen nostosta tarjotaan yleensä korvaukseksi maanmuokkausta. Jos kantoja kertyy noin 50-100 k- m<sup>3</sup>/ha ja maanmuokkaus maksaa 200 – 300 €/ha, olisi metsänomistajan saama hyöty noin 2 – 5 €/k-m<sup>3</sup> (Hassinen 2009, suull. tieto).

Energiapuuharvennuksilta korjattavasta pienpuusta maksetaan metsänomistajalle tavallisesti joko pinta-alaperusteisesti tai korjattuun energiapuumäärään perustuen. Kokopuuna korjattavasta energiapuusta maksettavat tienvarsihinnat vaihtelevat alueellisesti. Paikallisesti kokopuuna korjatusta energiapuusta on maksettu jopa kuitupuuta korkeampia hintoja. Latvusmasasta maksetaan usein kohteen hakattuun ainespuukertymään sidottu hinta, joka vaihtelee yleensä 0,2 – 0,5 €/ainespuuk-m<sup>3</sup> (Hassinen 2009, suull. tieto).

## 2.3 Konekustannustekijät

Konekustannusten rakenne on riippuvainen korjattavasta energiapuusta sekä haketus- ja kaukokuljetusketjusta, mutta myös yleisestä polttoaineiden hintatasosta, koska työkoneiden muuttuvista kustannuksista yli 80 % on polttoainekustannuksia. Muutokset polttoaine-, palkka- ja korkokustannuksissa aiheuttavat muutoksia koneiden käyttötuntikustannuksiin. Oletuksena oli, että muutokset esimerkiksi polttoaine- tai korkokustannuksissa aiheuttavat kustannusten muutoksia kaikkien koneiden käyttö- tai pääoman korkokustannuksissa samanaikaisesti. Analyysissä polttoaineen hintaa, kuljettajien tuntipalkkaa, ja korkotasoa varioitiin välillä -5 - +10 %. Eri kustannustekijöiden vaikutus koneiden käyttötuntikustannuksiin oli -2 - + 5 %. Koneiden kustannukset käyvät ilmi taulukosta 3. Laskelmissa kokonaiskustannusten muutos ja leimikko- ja konetekijöiden vaikutukset kokonaiskustannuksiin merkittiin suhteellisina lukuina (%). Peruskustannukset, jolloin minkään kustannustekijän arvoa ei ole muutettu, on merkitty 100 %:lla.

## 3. Korjuu- ja kuljetuskustannusten määrittäminen

### 3.1 Kone- ja työkustannukset

Korjuukustannuslaskenta aloitettiin määrittelemällä korjuukoneiden käyttötuntikustannukset. Hakelaskureissa alun perin olleet käyttötuntikustannukset päivitettiin mm. polttoainekustannusten, palkkojen sekä korkokustannusten osalta (Laitila 2001, 2004 & 2005). Laskennassa hakkuukoneiden ja korjureiden sekä kaivinkoneen laskennallisena pitoaikana käytettiin 13000 tuntia. Kuormatraktoreiden ja paalaimen laskennallisena pitoaikana käytettiin 15000 tuntia (Väättäinen ym. 2007). Hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden vuotuinen käyttöaika oli noin 2600 tuntia (+100 tuntia). Kaivinkoneella vuotuinen käyttöaika oli kantojen korjuun kausiluonteisuudesta johtuen 1400 tuntia vuodessa. Pääomakustannusten laskennassa käytettiin 5 %:n korkokantaa, ja koneiden jälleenmyyntiarvoksi arvioitiin 23 % uushankintahinnasta (Vää-

täinen ym. 2007). Käyttöpaikkamurskaimen käyttötuntilaskelmassa kiinteän murskainaseman pitoajaksi arvioitiin 10 vuotta ja vuotuisesti poistoksi 30 % edellisen vuoden jäännösarvosta.

Puutavara-auton käyttötuntikustannukset perustuivat menopalukuljetus-malliin (MEPA), jossa puutavara-auton tuntikustannukset laskettiin 50 km:n kuljetusmatkalle ja 3600 tunnin vuotuiselle käyttöajalle. Hakeauton ja hakkuriauton vuotuinen tuntimääräksi arvioitiin 2600 tuntia.

Puutavara-auton sekä haketta kuljettavan täysperävaunuyhdistelmän pitoajaksi arvioitiin 6 vuotta ja jäännösarvoksi 23 % hankintahinnasta (Väätäinen ym. 2007). Hakkuriautojen pitoaikana laskennallisena pitoaikana käytettiin 5 vuotta ja jäännösarvona 23 %:a hankintahinnasta.

Taulukossa 3 esitetään tiedot koneiden hankintahinnoista, toiminnallisesta käyttöasteista sekä käyttötuntikustannuksista. Kaukokuljetusajoneuvoilla käyttötuntikustannus laskettiin erikseen ajolle, sekä kuorman teolle ja purkamiselle (Taulukko 3). Korjuukoneiden ja koneketjujen tuottavuudet ja korjuukustannukset perustuvat tässä raportissa esitettyihin ajanmenekki-funktioihin sekä tuntikustannus- ja tuottavuustietoihin (Taulukot 3, 5 ja 6).

**Taulukko 3.** Käyttötuntikustannusten laskennassa käytetyt arvot (Laitila ym. 2004 & 2007, Kärhä 2006, Väätäinen ym. 2007, Kiema ym. 2005 )

Kone- tai autotyyppi	Hinta, € (ALV 0 %)	Toiminnallinen käyttöaste, %	Käyttötuntikustannus, €/h
Harvesteri (Normaali tavaralajimenetelmä ja integroitu hakkuumenetelmä)	365 000	85	75,1
Harvesteri (keräävä kaatopää /joukkokäsittely)	285 000	80	68,2
Korjuri	350 000	83	72,0
Kevyt kuormatraktori	223 000	85	59,2
Raskas kuormatraktori	254 000	90	61,3
Paalain	395 000	84	75,4
Paalain	99 000	88	57,1
Kaivinkone			
Laidoilla varustettu rekka	271 000	90	72,7
- Ajo			51,0
- Kuormaus & purku			
Hakerekka	230 000	90	
- Ajo			71,4
- Kuormaus & purku			47,0

Puutavararekka	221 000	90	
- Ajo			59,6
- Kuormaus & purku			48,0
Autoalustainen hakkuri/ Tienvarsihaketus	400 000	65	141,0 (tai 5,0 €/m <sup>3</sup> )
	1 000 000	6500 h/vuosi	389,0
Käyttöpaikkamurska in	-	2600h/vuosi	(tai 2,5 €/m <sup>3</sup> ) 129,7
	-	2600h/vuosi	(tai 3,5 €/ m <sup>3</sup> ) 96,0
Terminaalimurskaus	-	2600h/vuosi	
Palstahaketus			

Käyttötuntikustannukset laskettiin ilman arvonlisäveroa. Polttoainekustannuksina käytettiin Öljy- ja kaasualan keskusliiton keskimääräisiä tilastohintoja (15.5.2009) dieselille sekä polttoöljylle hintaa 0,77 €/l, joka vastaa vuosien 2008 ja 2009 keskiarvoa.

Palkkakustannukset määritettiin metsäkonealan ja kuorma-autoalan yleisten työsopimusehtojen mukaan (Taulukko 4). Palkkaryhmään II kuuluvat esimerkiksi metsäkuljetus, puuenergian korjuu, kaivinkonetyöt, haketus, koneellinen istutus ja taimikonhoito sekä miestyönä tehtävä hakkuu- ja metsänhoitotyöt. Hakkuukoneen kuljettajat kuuluvat palkkaryhmään III (Metsäkonealan työehtosopimus 2009).

**Taulukko 4.** Palkkakustannusten laskennassa käytetyt arvot (Metsäkonealan yleinen työehtosopimus 2009, Kuorma-autoalan yleinen työehtosopimus 2009)

Metsäkonealan perustuntipalkkataulukko 1.10.2009:				
		Yli 2 V	Yli 5V	Yli 8V
Palkkaryhmä I	9,39	9,76 €/h	10,33€/h	10,89€/h
Palkkaryhmä II	10,43	10,85€/h	11,47€/h	12,10€/h
Palkkaryhmä III	11,21	11,66€/h	12,33€/h	13,01€/h
Kuorma-autoalan työehtosopimus 1.2.2009	€/h			
Täysperävaunun kuljettaja	12,48 (4-8 vuotta)			
Puoliperävaunun kuljettaja	12,01 (4-8 vuotta)			
Kuorma-auton kuljettaja	11,73 (4-8 vuotta)			

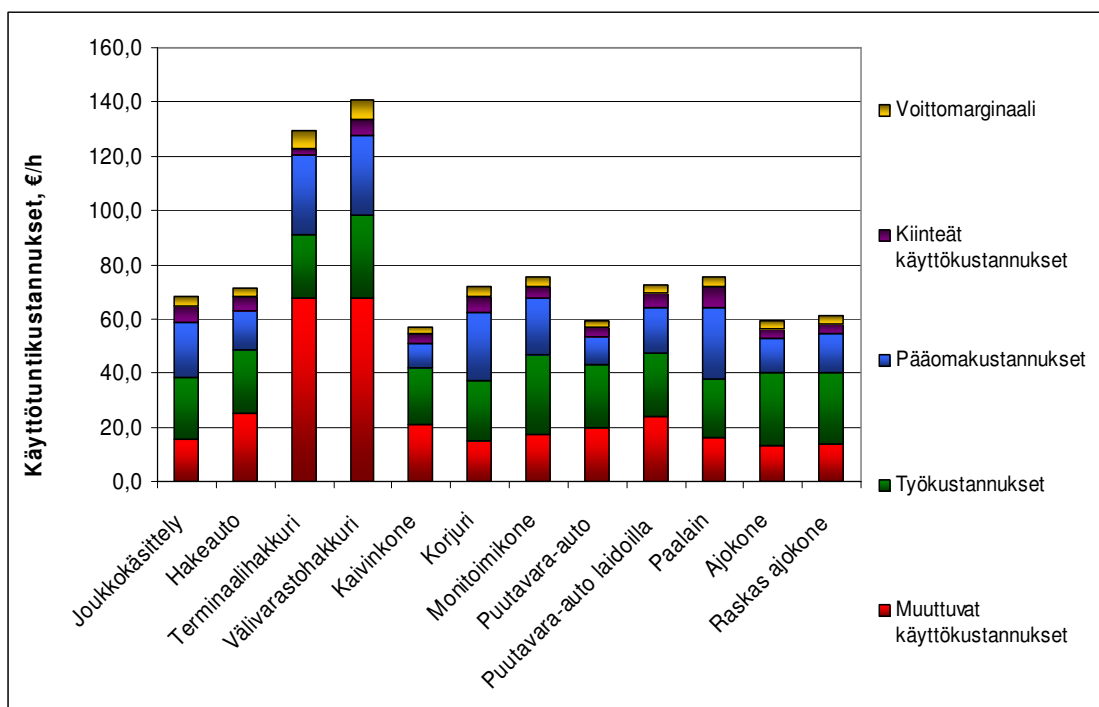
Käyttötuntikustannuksia laskettaessa hakkuukoneen kuljettajan tuntipalkaksi arvioitiin 11,60 €/h. Yhdistelmäkoneen eli korjurin, paalaimen, ajokoneen sekä metsäenergian korjuun tuntipalkaksi arvioitiin 11,00 €/h. Kaivinkoneen kuljettajan peruspalkaksi arvioitiin 10,8 €/h (Taulukko 4).

Puutavara-autonkuljettajan ja hakeauton kuljettajan peruspalkka kustannuslaskelmissa oli 12,50 €/h. Hakkuriautojen kuljettajien tuntipalkka perustui kuorma-autonkuljettajan tuntipalkkaan 11,7 €/h (Kuorma-autoalan työehtosopimus 2009).

Hankinnan organisointikustannukseksi oletettiin laskelmassa 3,15 €/m<sup>3</sup>, mikä vastaa tehtaalle toimitetun kotimaisen raakapuun hankinnan yleiskustannustasoa vuonna 2008 (Metsäteho 2009). Latvusmassan kasoille hakkuun kustannus oli 0,3 €/m<sup>3</sup>. Latvusmassan paalauksen tuotavuudeksi arvioitiin 20 risutukia käyttötunnissa ja risutukin kiintotilavuudeksi 0,55 m<sup>3</sup>.

Työkoneiden käyttötuntikustannuksia laskettaessa kustannukset jaettiin työkustannuksiin, kiinteisiin käyttökustannuksiin, muuttuviin käyttökustannuksiin, pääomakustannuksiin ja yrittäjän voittomarginaaliin (Kuva 2). Pääomakustannuksiin luettiin pääoman poistot ja korot. Muuttuvat käyttökustannukset muodostuivat lähes kokonaan polttoainekustannuksista. Kiinteät käyttökustannukset olivat huolto- ja korjauskustannuksia sekä vakuutusmaksuja. Työkustannuksiin sisältyivät palkkakustannukset sivukustannuksineen.

Lukuun ottamatta terminaali- ja välivarastohakkureita, työkoneiden kustannusrakenteet olivat yhtäläiset. Muuttuvien käyttökustannusten osuus korjuukoneiden kustannuksista oli keskimäärin 26,4 %. Työkustannusten osuus kaikista kustannuksista oli 24 %, pääomakustannusten 19 % ja kiinteiden käyttökustannusten 3,9 %. Yrittäjän voittomarginaaliksi arvioitiin noin 2,9 % korjuukoneiden kokonaiskustannuksista (Kuva 2).



Kuva 2. Työkoneiden kustannusrakenne

Tärkeimmät kustannukset, jotka voivat vaihdella lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä ovat polttoaineen markkinahinta, palkkakustannukset sekä kaluston poistoista aiheutuvat korkokustannukset. Muut kustannukset pysyvät vakioina vähintään keskipitkällä aikavälillä, tai kustannuserät ovat sen verran alhaisia, että niiden vaikutus käyttötuntikustannuksiin on vähäinen (esim. vakuutusmaksut). Polttoaineen, palkkakustannusten ja korkokustannusten vaikutusta korjuukoneiden käyttötuntikustannuksiin tutkittiin herkkyyksianalyysillä.

### 3.2. Koneiden käyttötuntikustannukset ja ajanmenekkimallit

Tässä tutkimuksessa käytettiin rankahakkeen, kokopuuhakkeen, latvusmassahakkeen ja kantomurskeen laskentaohjelmia sekä erillistä kuitupuun laskentaohjelmaa, joka kehitettiin hake-laskurin pohjalle muuntamalla tuottavuutta ja ajanmenekkiä ainespuun korjuulle (Laitila 2001, 2004 ja 2005, Väättäin ym. 2007, Heikkilä ym. 2005, Väkevä ym. 2001).

Kantojen noston ja paloittelun tuottavuus perustui ajanmenekkimalliin, jossa 17,5 tonnin kai-vukone on varustettu kantojen nosto- ja pilkontalaitteella (Laitila ym. 2007) ja nostotyön yh-teydessä tehdään uudistusalan maanmuokkaus. Laskentamallissa maanmuokkaustyöstä ei ko-neyrittäjälle makseta erillistä korvausta. Yhdistetyn maanmuokkauksen ja kantojen noston te-hotuntituottavuus muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,17. Kertoimilla otettiin huomioon käytännön työssä esiintyvät keskeytykset ja mahdolliset olosuhde- ja työskentely-erot tutkimustyömaiden välillä (Heikkilä ym. 2005) (Taulukko 5). Laskelmassa kantojen nos-ton tuottavuus oli 8,3 m<sup>3</sup> käyttötunnissa.

Nuorten metsien pienpuun hakkuun tuottavuudet perustuivat keräävällä energiapuukouralla varustetun harvennusharvesterin ajanmenekkimalleihin (Laitila ym. 2004). Hakkuun teho-ajanmenekit muutettiin käyttötuntituottavuuksiksi kertoimella 1,3 (Taulukko 5). Laskelmassa hakkuutyön tuottavuus perustui oletukseen, että pienpuun kertymä leimikolla on 80 m<sup>3</sup> ja keskimääräinen energiapuuksi korjattavan rungon tilavuus 25 dm<sup>3</sup> (Jylhä 2006b, Heikkilä 2005).

Ainespuun korjuussa vertailtiin integroitua korjuuta (yhdistetty energia- ja ainespuun korjuu), ainespuun korjuuta korjurilla (ainespuun korjuu ja metsäkuljetus yhdellä koneella joukkokäsit-telyominaisuutta hyödyntäen) sekä perinteistä tavaralajimenetelmää (ensiharvennushakkuu harvennuskoneella ja metsäkuljetus kuormatraktorilla). Kertymä leimikolla oli 50 m<sup>3</sup> ja tila-vuus 80 dm<sup>3</sup> ainespuulle ja 17 dm<sup>3</sup> ainespuun mitat alittaville energiapuuringoille (Niemi 1992, Heikkilä 2005). Ainespuumitat alittavia runkoja korjattiin ainoastaan integroidulla korjuumenetelmällä.

Korjattaessa ainespuuta perinteisellä tavaralajimenetelmällä käytettävät ajanmenekkimallit perustuivat Väätäisen ym. muokkaamiin ainespuun korjuun ajanmenekkimalleihin (Väätäinen ym. 2007) ja Metsätehon päivitettyihin puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekkimalleihin (Väkevä ym. 2001). Perinteisessä tavaralajimenetelmässä malleissa sovellettu hakkuun tuotta-vuus perustui harvennuskoneen ajanmenekkimalliin, jossa tehoajanmenekki muunnettiin käyt-tötuntituottavuudeksi kertoimella 1,39 (Taulukko 5). Ensiharvennusleimikolla, jossa rungon keskitilavuus oli 80 dm<sup>3</sup> ja ainespuukertymä noin 50 m<sup>3</sup>, mallin laskema perinteisen tavarala-jimenetelmän tuntituottavuus oli noin 6,56 m<sup>3</sup> käyttötunnissa.

Korjurin ajanmenekkimallissa ainespuun hakkuu ja metsäkuljetus tapahtuu yhdellä koneella. Ajanmenekki perustui Väätäisen ym. (2007) malliin, jossa tavaralajimenetelmän ajanmenek-kimallia on korjattu kiinteäkuormatilaisen korjurin kertoimilla vastaamaan yhdistelmäkonen hakkuutapaa. Korjurin ajanmenekkimallissa tehoajanmenekki muutettiin käyttötuntituottavuu-deksi kertoimella 1,30 (Jylhä ym. 2006b). Mallissa käyttötuntituottavuus korjurilla oli noin 3,72 m<sup>3</sup> käyttötunnissa, joka oli hieman alhaisempi kuin energiapuun korjuun käyttötuntituot-tavuus.

Integroidun hakkuun (yksinpuin korjuu) tuottavuudet perustuivat harvennuskoneen ajan-menekkimalliin, jossa integroitu hakkuu sisälsi yhteenlasketun ainespuun hakkuun, latvakap-paleiden hakkuun ja pienpuiden hakkuun ajanmenekin (Heikkilä ym. 2005). Koneen teho-ajanmenekki muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,39. Integroidun hakkuun yh-teenlaskettu tehotuntituottavuus oli 8,1 m<sup>3</sup> käyttötunnissa, kun ainespuuringon keskitilavuus oli 80 dm<sup>3</sup>, pienpuun 17 dm<sup>3</sup> ja latvusten 10 dm<sup>3</sup>. Käyttötuntituottavuus on lähellä aiempien tutkimuksien käyttötuntituottavuuksia vastaavilla tilavuuksilla (Heikkilä ym. 2005).

Latvusmassan, risutukkien, nuorten metsien energiapuun sekä kantojen metsäkuljetuksen tuot-tavuudet perustuivat Asikaisen et al. (2001) ja Laitilan et al. (2004) & (2007) ajanmenekki-

malleihin. Laskelmissa tehotuntuottavuudet muutettiin käyttötuntuottavuudeksi kertoimella 1,2 (Taulukko 5). Kokopuun metsäkuljetus tehtiin keskiraskaalla kuormatraktorilla, jonka kuormakoko oli 6,0 m<sup>3</sup>. Latvusmassan korjuussa kuormakoko oli 7,8 m<sup>3</sup> kuormatraktorilla ja 6 m<sup>3</sup> palstahakkurilla (Asikainen ym. 2001). Risutukeilla ja kannoilla kuormakoot olivat 11,0 ja 8,0 m<sup>3</sup>, kun työ tehtiin raskaalla kuormatraktorilla (Taulukko 5). Energiapuun korjuussa tehotuntuottavuudet muutettiin käyttötuntuottavuudeksi kertoimella 1,2 (Taulukko 5).

Ainespuun metsäkuljetuksen ajanmenekkimallit koottiin Väätäisen ym. simulointitutkimuksesta, ja ne perustuivat Väkevän ym. (2001) ja Brunbergin ym. (2004) alkuperäisiin metsäkuljetusmalleihin. Metsäkuljetuksen tuottavuus ensiharvennusleimikolla perustui malliin, jossa ainespuuta kuljetetaan keskiraskaalla kuormatraktorilla, jolloin kuormakoko on ensiharvennusleimikolla 11,0 m<sup>3</sup> kaikilla korjuumenetelmillä. Ainespuun metsäkuljetuksessa tehotuntuottavuudet muutettiin käyttötuntuottavuudeksi kertoimella 1,302 (Taulukko 5).

**Taulukko 5.** Metsäkuljetuksen, hakkuun, paalauksen ja kantojen noston kustannusten laskennassa käytetyt arvot

Materiaali	Kuormakoko, metsäkulj. m <sup>3</sup>	Käyttötuntikerroin, metsäkuljetuksessa	Käyttötuntikerroin, hakkuu tai nosto	Tilavuus, dm <sup>3</sup>
Kokopuu	6,0	1,2	1,3	25
Latvusmassa	7,8	1,2	-	-
Risutukit	20 kpl	1,2	-	550
Kannot	8,0	1,2	1,17	190 (lpm 39 cm)
Kuitupuu				
Integroitu	11,0	1,302	1,39	80
Tavaralaji	11,0	1,302	1,39	80
Korjuri	11,0	-	1,30	80

Autokuljetuksen kuormattuna ja tyhjänä ajon ajanmenekki laskettiin Rannan (2002) ajanmenekkimalleilla kuljetusmatkan mukaan. Kokopuun, latvusmassan ja kantojen kaukokuljetukseen laskelmissa oletettiin käytettävän puutavara-autoa, joka on varustettu laidoilla ja pohjalla ja jonka kuormakoko on 30 m<sup>3</sup> (Taulukko 6). Risutukkien kaukokuljetukseen oletettiin käytettävän tavallista puutavara-autoa, jonka kuormakoko on 70 risutukkia. Latvusmassa- ja kokopuuhakkeen kaukokuljetukseen oletettiin käytettävän täysperävaunullista hakeautoyhdistelmää, jonka kuormakoko on 44 m<sup>3</sup> (Taulukko 6).

Hakkeen kaukokuljetuksessa kuormausaika on kytköksissä hakkurin tuottavuuteen, joka tässä laskelmassa oli latvusmassan haketuksessa 65 i-m<sup>3</sup>/h ja kokopuun haketuksessa 85 i-m<sup>3</sup>/h. Taulukossa 5 on eritelty kuormaus ja purkuajat eri metsähakelajeilla ja ajoneuvotyypeillä. Käyttöpaikkahaketusmenetelmässä oletettiin, että kannot, latvusmassa ja kokopuu puretaan autosta suoraan käyttöpaikkamurskaimen syöttöpöydälle.

Puutavara-auton käyttötuntikustannukset perustuivat menopaluukuljetus-malliin (MEPA), jossa puutavara-auton tuntikustannukset laskettiin 50 km:n kuljetusmatkalle. 20 tonnia painavaan puutavara-autoon sopii ainespuuta 45 - 55 m<sup>3</sup>, eikä auton kokonaispaino saa ylittää 60 tonnia. Menopaluukuljetuksissa tyhjänä ajon osuus minimoidaan, mutta hyötykuorma pienenee 2-3 tonnia, koska kuormainta on välttämätöntä kuljettaa mukana edellisen ja seuraavan kuormauksen tapahtuessa eri varastopaikoissa.

**Taulukko 6.** Kaukokuljetuskustannusten laskennassa käytetyt arvot

Kuljetettava materiaali	Kuormako ko, m <sup>3</sup>	Kuormantekoaika, h	Purku- & apuajat, h
Koko- ja rankapuu	30	1,0	0,5 & 0,3
Koko- ja rankapuuhake	44	1,3	0,5 & 0,3
Latvusmassa	30	1,4	0,5 & 0,3
Latvusmassahake	44	1,7	0,5 & 0,3
Risutukki	70 kpl	0,8	0,3 & 0,3
Kannot	30	1,4	0,5 & 0,3
Kuitupuu	~ 33	1,0	0,5 & 0,3

Käyttöpaikalla haketuksen kustannus oletettiin olevan kaikilla muilla materiaaleilla 2,5 €/m<sup>3</sup> lukuun ottamatta kantomursketta, jonka haketuskustannuksiksi oletettiin 3,0 €/m<sup>3</sup> (Taulukko 3). Latvusmassahakkeen haketuskustannus tienvarsivarastolla oli 5,9 €/m<sup>3</sup>. Nuorten metsien energiapuulla tienvarsihaketuksen kustannus oli paremmasta haketustuottavuudesta johtuen 5,0 €/m<sup>3</sup>. Terminaalihaketuksen kustannukset on laskettu perustuen terminaalihakkurin tuntikustannuksiin. Haketuksen kustannuksiksi arvioidaan 3,5 €/m<sup>3</sup>. Kantomurskeen käsittely kuitenkin nostaa kustannuksia. Kantomurskeen terminaalihaketuksen kustannuksiksi arvioidaan 7 €/m<sup>3</sup>.

### 3.3. Muut kustannuksiin vaikuttavat tekijät

Koneellisessa puunkorjuussa kuljettajan ammattitaidolla ja työmenetelmällä on suuri merkitys työn tuottavuuden ja kustannusten muodostumisessa. Ammattitaitoinen kuljettaja voi samoissa olosuhteissa nostaa tuottavuutta useita kymmeniä prosentteja. Myös tuottava työtekniikka voi nostaa tuottavuutta 10–15 % (Ovaskainen 2009). Lisäksi maasto-olosuhteilla ja säätekijöissä on merkitystä korjuun, lähi- ja kaukokuljetuksen ajanmenekin muodostumisessa. Nämä tekijät oletettiin kuitenkin muuttumattomiksi tässä tutkimuksessa.

Kemera-tuet vaikuttavat merkittävästi pienpuun eli kokopuun ja rankapuun korjuun kustannuksiin (Taulukko 7). Kannon noston yhteydessä Kemera-tukia voidaan maksaa, jos kantoja nostetaan juurikäävän vaurioittamalta leimikolta. Päätehakkuualoilta kerättävälle hakkuutähteelle ja ensiharvennuskuitupuulle ei myönnetä tukea. Toisen kehitysluokan ensiharvennusleimikoille voidaan myöntää Kemera-tukea, jos kohteet täyttävät Kemera-lain vaatimukset. Hyväksyttävissä kohteissa puuston valtapituus ei saa olla havupuumetsiköissä yli 14 metriä eikä lehtipuumetsiköissä yli 15 metriä käsittelyn jälkeen. Mikäli kaikki puu käytetään energiapuuksi, valtapituus voi olla suurempi. Poistuman on lisäksi oltava yli 1000 runkoa hehtaarilta (Kemera-opas 2008).

**Taulukko 7.** Kemera-tukilajit

Hehtaarituki	210,5	€/ha	
Esimerkkileimikon koko	2,0	ha	
<u>Hakkuukertymä hehtaarilta, m<sup>3</sup></u>			
Pienpuu	80 m <sup>3</sup> tai 168-		
Päätehakkuu (tukki ja kuitu yhteensä)	175MWh 550 m <sup>3</sup>		
Toteutusselvitystuki 42,10 € + 4,21€/ha	50,52 0,63	€ €/k-m <sup>3</sup>	0,31-0,33 €/MWh
Energiapuun korjuutuki	7	€/ k-m <sup>3</sup>	3,5 €/MWh
Haketus- / murskaustuki	1,7 4,25	€/i-m <sup>3</sup> €/k-m <sup>3</sup>	1,36 €/MWh
Haketuksen toteutusselvitystuki	0,09 0,036	€/i-m <sup>3</sup> €/k-m <sup>3</sup>	0,08 €/MWh
Mekaaninen juurikäävän torjunta	0,44	€/korjattu k-m <sup>3</sup>	

#### 4. Kustannusten laskentaperusteet CHP-tuotannossa

20 MW:n CHP-laitoksen laskennalliseksi vuosituotannoksi arvioitiin noin 88 800 MWh kaukolämpöä, kun verkoston lämpöhäviöt ovat 7,5 %. Laitoksen vuotuinen bruttosähköntuotannoksi arvioitiin noin 21000 MWh, jolloin laitoksen rakennusasteeksi saatiin 22 %. Tutkimukseen valitun 20 MW:n CHP-laitoksen kapasiteetti riittäisi esimerkiksi noin 4400 pientalon lämmitykseen kaukolämmöllä, jos tehon tarpeen vaihteluista johtuvia muutoksia ei huomioida (Taulukko 8).

Kaukolämpölaitoksen tehon tulee kattaa myös kaukolämpöverkostossa tapahtuvat lämpöhäviöt sekä tarvittava mitoitusarve. Johtoverkon mitoitukseen vaikuttavia seikkoja ovat rakennusten tehon tarve, asuntojen lukumäärä, asuntojen lämmityksen ja ilmanvaihdon tehontarve, asuntojen lämpimän käyttöveden tehontarve, käyttöveden tarpeen samanaikaisuus, kaukolämpövesivirta ja ominaispainehäviöt. Painehäviö on suoraan verrannollinen putkipituuteen. (Meuronen 2003). Suomessa kaukolämpö siirretään kaksiputkijärjestelmällä, jossa menoveden maksimilämpötila on korkeintaan 120 astetta ja paluuv veden lämpötila noin 70 astetta. Verkoston lämpöhäviöksi voidaan laskea noin 6-8 % tarvittavasta hyötyenergiasta (Suomen Kaukolämpöyhdistys 1999).

**Taulukko 8.** Tyypillisiä lämmön ominaiskulutuksia ja tehontarpeita. (Energiateollisuus ry 2009)

Rakennustyyppi	Rakennustilavuus, m <sup>3</sup>	Energiankulutus, MWh/a
Pientalo	500	20
Rivitalo	2 000	100
Pienkerrostalo	5 000	225
Kerrostalo	10 000	450
Suuri kerrostalo	25 000	1125



Pääasiassa kaukolämpöä ja vain sivutuotteena sähköä tuottava yhteistuotantolaitos voi olla kannattava vain, jos sähkön myyntihinta on niin korkea, että saaduilla myyntituloilla saadaan maksettua turbiinista, generaattorista ja muista investoinneista aiheutuvat lisäkustannukset. Muussa tapauksessa on kannattavampaa tuottaa pelkkää lämpöä.

Biopolttoaineita poltettaessa kattilat on yleensä suunniteltu jonkun pääpolttoaineen mukaan. Polttoaineen laatu vaikuttaa hyötysuhteeseen, mistä syystä polttoaineen laatuvaihtelut pyritään pitämään kattilan suunnittelussa oletettujen raja-arvojen sisällä. Leijukerros poltto kuitenkin mahdollistaa useampien polttoaineiden käytön. Leijukerros poltossa ns. tukipolttoaineiden käyttö on tavallista, jolloin polttoprosessi sallii suuremman kosteusvaihtelun polttoaineessa (Meuronen 2003).

Tutkimukseen valitun kokoluokan CHP-laitokselle määritettiin oletusarvot, jotka perustuivat kyseisen kokoluokan laitoksen keskimääräisiin teknisiin käyttöpotentiaaleihin ja -arvoihin. Laitoksen teknis-taloudellisten muuttujien arvot (Taulukko 9) määriteltiin käyttäen apuna IEA:n määrittelemiä keskimääräisiä arvoja vastaavankokoiselle CHP-laitokselle (Energy technology...2008).

**Taulukko 9.** CHP-laitoksen teknis-taloudellisten muuttujien arvot.

Laitoksen kokonaisteho ( $\Phi$ ), sähkö/lämpö MW	20 MW (3,5/16)
Huipun käyttöaika (t)	6000 h/v
Pitoaika	20 v
Hyötysuhde ( $\eta$ )	86,5 %
Polttoaine	Hake 70 % / Turve 30 %
Polttoaineen käyttö (laskennallinen)	~ 135 000 MWh
Polttoaineen käyttö (todellinen)	143 000 -158 800 MWh
Investointikustannus	15 MEUR

Laitoksen pääpolttoaineeksi (70 %) oletettiin metsähake. Polttoaineen kosteuden oletettiin olevan tuoreena 50 % ja varastokuivana 30-40 % riippuen bioenergiajakkeesta. Turvetta oletettiin käytettävän seospolttoaineena (30 %) polttoteknisistä syistä. Turpeen kosteutta ei muunneltu kustannuslaskennassa.

Laitoksen laskennallinen polttoaineen käyttö saatiin kaavan 1. mukaisesti laitoksen polttoaine-tehon ( $\Phi_{pa}$ ), hyötysuhteen ( $\eta$ ) ja laitoksen huipunkäyttöajan (t) funktiona (Helynen, S. suull. tieto 2009):

$$\frac{\Phi_{\text{lämpö}} + \Phi_{\text{sähkö}}}{\eta} * t$$

(kaava 1)

Laskennallisen polttoaineen kulutus (MWh) muunnettiin vastaamaan todellista polttoaineen kulutusta hakkeen kosteudesta riippuvalla polttoaineen energiatiheyskertoimilla (MWh/i-m<sup>3</sup>) (Taulukko 10).

**Taulukko 10.** Hakkeen kosteuden vaikutus energiatiheuteen (Alakangas 2000, Hillebrand 2004)

Kosteus %	Energiatiheys (MWh/i-m <sup>3</sup> )
10	0,97
15	0,96
20	0,95
25	0,94
30	0,93
35	0,91
40	0,90
45	0,87
50	0,80

Tällöin laitoksen vuotuinen polttoaineen kulutus saatiin polttohakkeen energiatiheuden (E) mukaan seuraavasti:

$$\frac{1}{E} * \text{laskennallinen polttoaineen kulutus} \quad (\text{kaava 2.})$$

Kustannuslaskennassa hyödynjako lämmön- ja sähköntuotannon kesken suoritettiin ns. energiamenetelmällä, jossa kustannukset jaettiin tuotettujen lämpö- ja sähköenergioiden suhteessa, jolloin kaikille tuotteille kohdistui polttoaineita laitoksen kokonaisyötysuhteen mukaisesti (Vanhanen ym. 2005).

Suuren osan bioenergiaa käyttävien laitosten kustannuksista määrittelee kattila ja siihen valittu polttotekniikka sekä CHP-laitoksen varustelutaso. Investointikustannukset voivat vaihdella tästä syystä useita prosentteja eri laitosten välillä. Laitosten käyttöasteen ja vuotuisen käyttöajan on oltava korkeat, jotta korkeat investointikustannukset voidaan kompensoida alhaisilla energiakustannuksilla (Meuronen 2003).

Voimalaitosten energiantuotantokustannukset jaettiin kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteät kustannukset koostuivat pääasiassa investoinnin aiheuttamista pääomakustannuksista sekä kiinteistä käyttö- ja kunnossapitokustannuksista. Muuttuvat kustannukset sisälsivät polttoainekustannukset, päästökaupan aiheuttamat kustannukset sekä kaukolämmön ja sähköntuotannosta aiheutuvat energiantuotantokustannukset.

#### 4.1 Kiinteät pääomakustannukset

Investoinnin vuotuiset pääomakustannukset eli pääomakustannusten annuiteetti tarkoittaa hankkeeseen sijoitetun pääoman jakamista tasasuuruiseksi vuosittaisiksi kustannuseriksi investoinnin pitoajalle. Annuiteetti määrittää pääomakustannukset kaikille vuosille yhtä suuriksi.

Kustannusanalyysissä pääomakustannusten annuiteetti määritettiin soveltaen 5 % korkokantaa. Takaisinmaksuajaksi asetettiin 15 vuotta ja jäännösarvoksi nolla. Laitoksen pitoajaksi arvioitiin 20 vuotta ja kokonaisinvestointikustannuksiksi 15 miljoonaa euroa.

Kiinteää biopolttoainetta käyttävän pienen CHP -laitoksen investointi voidaan jakaa esimerkiksi seuraaviin kokonaisuuksiin ja suuruusluokkiin (Turunen 2004):

- maanrakennustyöt, perustukset (5 %)
- rakennukset, savupiippu (5 %)
- polttoaineen varastointi- ja kuljetusjärjestelmät (20 %)
- kattila (25 %)
- turbiini ja generaattori (25 %)
- sähköistys ja automaatio (20 %)

Kustannuslaskennassa kaukolämpöverkon rakentamiskustannuksia ei huomioitu, koska oletettiin, että kaukolämpöverkko on jo rakennettu ja laitoksen oletettiin välittävän tuottavansa energian tähän valmiiseen verkkoon. Jos verkko olisi rakennettava, tulisi investointikustannuksiin lisätä kaukolämpöverkon rakentamiskustannukset, jotka ovat tyypillisesti noin 35-55 % laitosinvestoinnista, eli noin 5,25-8,25 miljoonaa euroa.

## 4.2 Kiinteät käyttökustannukset

Kiinteiksi käyttökustannuksiksi lasketaan henkilöstökustannukset, huolto- ja korjauskustannukset varaosineen, vakuutus- ja hallintokustannukset sekä muut mahdolliset kiinteät käyttö- ja kunnossapitokustannukset.

### 4.2.1 Henkilökustannukset

Miehitetyn polttohaketta käyttävän vastapainevoimalaitoksen käyttöhenkilökunnan määräksi on Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) tutkimuksissa arvioitu noin 9 työntekijää (Alakangas & Flyktman 2001). Käyttötuntikustannuksia laskettaessa voimalaitoksen koneenhoitajan keskimääräisenä tuntipalkkana käytettiin 15,90 €/h (Taulukko 11).

**Taulukko 11.** Palkkakustannusten laskennassa käytetyt arvot (Tilastokeskus 2009)

Teollisuuden prosessityöntekijä palkkataulukko	
Voimalaitosten koneenhoitajat (1433 kpl)	15,90 €/h
Lämmityskattiloiden hoitajat (572 kpl)	17,34 €/h

Yhden työntekijän vuotuisiksi palkkakustannuksiksi ilta- ja yötyölisineen ja sivukuluineen arvioitiin näiden palkkakustannusten avulla olevan 31 800 euroa ja koko laitoksen henkilökustannukset sivukuluineen yhteensä 382 000 € (Taulukko 11). Tämän lisäksi voimalaitokselle arvioitiin syntyvän muita henkilöstökuluja kuten työnjohdon käynti- tai matkakuluja ja tehtaan kaukovalvontaan liittyviä kustannuksia 6 400 euroa vuosittain.

Jos tarkasteltava voimalaitos suunnitellaan miehittämätöntä käyttöä varten varustamalla laitos riittävällä automaatiolla ja määräysten edellyttämällä hälytyslaitteilla, voidaan palkkakustannuksia alentaa. Automaatio- ja hälytyslaitteet nostavat kuitenkin investointikustannuksia. Tässä tutkimuksessa laitoksen oletettiin olevan miehitetty koko ajan.

### 4.2.2 Muut kiinteät käyttökustannukset

Teknis-taloudellisissa tarkasteluissa on arvioitu, että kiinteää polttoainetta käytävien energiantuotantolaitosten vuotuiset huolto- ja korjauskustannukset ovat noin 2 % investoinnin koko-

naissummasta (Alakangas & Flyktman 2001). Kustannuslaskennassa vakuutusmaksujen suuruudeksi arvioitiin promille investointikustannuksista vuodessa (Turunen 2004).

Muut käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat tapauskohtaisia ja muodostavat yleensä vain pienen osuuden kokonaiskuluista. Näihin kuuluvat mm. tuhkan käsittely, leijukerroskattilan petihiekan vaihto sekä käyttövesien sekä jätevesien käsittely sekä kiinteistönhuollosta aiheutuvat kustannukset. Muiden käyttö- ja kunnossapitokustannusten osuudeksi arvioitiin 1,5 euroa tuotettua MWh kohti (Flyktman, M., suull. tieto2009).

## **4.3 Muuttuvat käyttökustannukset**

### **4.3.1 Polttoainekustannukset ja päästökaupan aiheuttamat lisäkustannukset**

CHP-laitoksen polttoainekustannukset laskettiin hakelaskureilla muodostettujen polttohakkeen käyttöpaikkahintojen mukaan eri metsäenergiajakeille. Polttoainekustannukset laskettiin tuoreelle sekä kuivatulle hakkeelle.

Polttoainekustannuksissa huomioitiin myös seospolttoaineena käytettävän turpeen poltosta aiheutuneet päästökauppakustannukset. Vaikka alle 20 MW CHP -laitokset ovat voimassa olevan päästökauppalain mukaan päästökaupan ulkopuolella, voi tämän suuruinen laitos tulla päästökaupan piiriin nk. opt-in -mahdollisuuden kautta: Jos samaan kaukolämpöverkkoon on kytketty tai kytketään yksikin yli 20 MW:n voimalaitos, jonka pääasiallisena tarkoituksena on tuottaa lämpöä, seuraa päästökauppariasitus myös samassa verkossa oleville alle 20 MW:n laitoksille (PäästökauppaL 4 §).

Kaudelle 2008-2012 uusille laitoksille on varattu päästöoikeuksia yhteensä 7 Mt CO<sub>2</sub> (Valtioneuvoston päätös laitoskohtaisten...2008). Koska ei kuitenkaan voida arvioida uusien perustettavien laitosten määrää kyseisellä kaudella, myönnettävien päästöoikeuksien vertailuarvona käytettiin arviota vastaavankokoisen laitoksen päästöoikeuksien määrästä kyseisellä ajanjaksolla. Tällöin päästöoikeuksien määräksi arvioitiin noin 2200 t CO<sub>2</sub>/v (Energiamarkkinavirasto 2008). Päästökauppa vaikuttaa laitoksen kustannuksiin vain siinä tapauksessa, jos yrityksen saamat ilmaiset päästöoikeudet eivät riitä ja se joutuu ostamaan lisää päästöoikeuksia.

Päästökaupan vaikutusta tutkittiin myös puustamaksukyvyn kautta. Laskelmissa vertailtiin seospolton kustannuksia ja kilpailukykyä suhteessa turpeen sekä kivihiilen käyttöön laitospolttoaineina. Polttoaineiden ominaispäästö- ja hapettumiskertoimien avulla (Flyktman 2005) laskettiin vuotuiset päästöt kullekin polttoaineelle (Taulukko 12). Hiilidioksiditonin hintana käytettiin NordPoolin markkinahintaa toukokuussa 2009 15,3 €/t CO<sub>2</sub> (NordPool 2009).

**Taulukko 12.** Päästöjen ja puustamaksukyvyyn laskeminen eri polttoaineilla

	Ominais- päästöt / t CO <sub>2</sub> /MWh	Hapettumis- kerroin	Päästöt/ tCO <sub>2</sub> vuosi	Lämpöarvo/ MWh/i-m <sup>3</sup>
Hake 70%/ Turve 30 %	0,382	0,99	13 300	0,80 - 0,97 (hake) 0,89 (turve)
Turve 100 %	0,382	0,99	51 670	0,89
Kivihiili 100 %	0,341	0,98	46 124	5,56

Päästökauppa heikentää eniten hiilidioksidikertoimeltaan korkeimman polttoaineen eli turpeen kilpailuasemaa suhteessa puuperäisiin sekä fossiilisiin polttoaineisiin (Taulukko 12) (HE 120/2006).

#### 4.4 Energiaverotus – ja tuet

Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa sähkön tuotannon polttoaineista yrityksen ei tarvitse maksaa energiaveroa. Puu ja puuperäiset polttoaineet ovat valmisteverotuksen ulkopuolella (HE 120/2006). Sen sijaan käytettäessä veronalaisia polttoaineita kuten kivihiiltä lämmöntuotantoon, on polttoaineista suoritettava valmisteveroa 49,32 €/t (HE 120/2006). Verollisen polttoaineen osuus on 0,9 kertaa tuotettu lämpömäärä (Selvitys päästökaupan ja energiaverotuksen...2003).

Puupolttoaineiden välilliseen kilpailukykyyn vaikuttaa verottoman hinnan lisäksi tukipolitiikka, päästökauppa sekä polttoaineen luonnolliset ominaisuudet. Energiaverotusjärjestelmään kuuluvat myös sähköntuotannolle maksettavat tuet. Tukea maksetaan sähkölle, joka on tuotettu puulla tai puuperäisillä polttoaineilla, metsähakkeella, kierrätyspolttoaineilla, biokaasulla, jätteenkaasulla tai kemiallisten prosessien jätelämmöllä.

Kuitupuusta tuotettavalle polttohakkeelle ei kuitenkaan tätä tuotantotukea makseta, joten kuitupuun käytöllä ei saavuteta kilpailuetua yhdistetyn sähkön- ja lämmön tuotannossa. Tässä tutkimuksessa tuotantotuen vaikutus lopulliseen CHP-sähkön hintaan oli noin 5 €/MWh, jolloin kustannussäästö ja kilpailuetu muihin polttoaineisiin on merkittävä. Lauhanen & Laurila (2007) ovat laskeneet tuotantotuen yhteisvaikutukseksi 2 €/MWh CHP-sähkölle vuoden 2006 kustannustasolla.

Sähköveroa kannetaan puolestaan kulutusvaiheessa, jolloin tuotantotavalla tai käytetyllä polttoaineella ei ole merkitystä sen määrään vaan veroa kannetaan kaikesta kulutetusta sähköstä. Kuitenkin voimalaitoksen omakäyttölaitteiden kuluttama sähkö on verotonta samoin kuin sähkön siirto sähkön tuottajalta sähköverkkoon (Kara 2005). Omakäyttösähkön kulutukseksi on tässä tutkimuksessa arvioitu 2 kWh tuotettua MWh kohti (Flyktman, M. suull. tieto 2009).

Omakäyttölaitteilla tarkoitetaan niitä laitteita, joita laitoksessa tarvitaan sähkön tai lämmön tuottamiseen ja tuotantovalmiuden ylläpitämiseen ja jotka tarvitaan tuotannon aiheuttamien ympäristöhaittojen poistamiseen tai pienentämiseen (Energiaverotusohje 2008). Verottoman omakäyttösähkön laitos voi tuottaa itse tai hankkia verottomasti sähköverkosta. Muusta kuin omakäyttösähköstä on suoritettava veroluokan I mukainen vero 0,883 c/kWh (Tilastokeskus 2009). Tutkimuksessa tarkastellun CHP -laitoksen kohdalla sähköveroa maksettiin vain

kaukolämmön pumppauksesta koska se ei kuulu sähkön tai sähkön ja lämmön tuottamiseen ja tuotantovalmiuden ylläpitämiseen.

## 4.5 Kaukolämmön ja sähkön tuotannosta aiheutuvat kustannukset

### 4.5.1 Pumppauskustannukset

CHP-laitoksen muuttuvista kustannuksista osan muodostavat kaukolämpöveden pumppauskustannukset, joiden osuus laitoksen kokonaiskustannuksista vaihtelee 0,2-1 % välillä (Energiatehokkuusselvitys...2009). Pumppaamiskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat voimalaitoksen huipunkäyttöaika sekä kaukolämpöverkon pituus, joka vaikuttaa tarvittavaan pumppausenergiaan ja välipumppaamojen määrään.

Kun kaukolämpö tuotetaan CHP-laitoksella, voidaan kaukolämpöpumpuissa käyttää voimalaitoksella tuotettua sähköä, josta ei tarvitse maksaa sähköveroa. Tutkimuksessa oletettiin, että kaukolämmössä kiertävä vesi pumpataan kahdella pumpulla. Pääpumppaamo sijaitisi CHP-laitoksella, ja sen vaatimaksi tehoksi arvioitiin 415 kW. Pääpumppaamo käytti voimalaitoksella tuotettua sähköä, jolloin siitä ei maksettu sähköveroa. Välipumppaamo sijoitettiin lämmönjakoverkon puoleenväliin ja sen tehontarve oli 138 kW. Koska välipumppaamo joutui ottamaan tarvitsemansa sähkön CHP -laitoksen ulkopuolisesta verkosta, joutui yritys maksamaan myös sähköverot. Välipumppaamolla varustetun verkon pumppausteho voi olla pienempi kuin yhdellä pumpulla varustetun verkon, jolloin säästetään energiakustannuksissa. (Energiatehokkuusselvitys...2009).

Pumppauksen aiheuttamat kustannukset määritettiin seuraavasti (Energiatehokkuusselvitys...2009):

$$(415kW * 6000h / a * 6,47c / kWh) + (138kW * 6000h / a * 6,74c / kWh) = 216910€ / a$$

### 4.5.2 Sähkön siirtokustannukset ja verkkoon liittyminen

Sähkön tuottajan kannalta siirtomaksut voidaan jakaa pääpiirteissään kolmeen eri osaan; kiinteisiin maksuihin, verkkoon annon energiamaksuihin sekä oman tuotannon kulutusmaksuihin (Vartiainen ym. 2005). Korkeat jakeluverkkoon liittymisen kustannukset sekä korkeat sähkön siirtohinnat on nähty esteeksi hajautetun energiantuotannon kehittymiselle. Liittymismaksut vaihtelevat suuresti alueittain ja kohteittain (Kara 2005).

Jakeluverkonhaltijat perivät tuotantolaitoksilta kertaluontoisen liittymismaksun ja tämän jälkeen siirtomaksua. Maksut perustuvat verkonhaltijakohtaisiin tariffeihin ja maksuihin. Valtaosa tuotannon siirtotariffeista sisältää energiaperusteisia maksukomponentteja. Muita tavallisia maksuja ovat tehomaksu sekä kiinteä perusmaksu. Analyysissa käytettiin vertailukohtana Pohjois-Karjalan Sähkön referenssihintoja tuotantolaitoksille ja tuotantolaitoksen verkkoonliittämiseksi (Pohjois-Karjalan Sähkö 2009) (Taulukko 13).

Referenssihintoina käytetyn jakeluyhtiön alueella 20 MW:n tuotantolaitokselta veloitetaan verkkoon syötetystä sähköstä tuotannon siirtohintoja, joka on energiaperusteinen, julkinen

maksu. Liittymismaksu on riippuvainen siitä, mitä muutoksia sähköverkkostoon on voimalaitoksen liittämiseksi ja tehon siirtämiseksi tehtävä. Liittymismaksua ei siis voida yksiselitteisesti arvioida, vaan se riippuu siitä minkä jakeluyhtiön verkkoon ja millaiseen verkkoon voimalaitosta oltaisiin liittämässä. 20 MW:n voimalaitos tulotaisiin hyvin todennäköisesti liittämään 110 kV:n verkkoon, jolloin rakentamis- ja liittämiskustannuksiksi olisivat noin 50000 € - 100000 €. Liittymismaksu määräytyy tarvittavien verkostomuutoksien kustannusten perusteella (Kuittinen, T. 2009, suull. tieto).

## 5. Käyttöpaikkahinta eri metsähakkeen tuotantoketjuissa

### 5.1. Kustannusanalyysi

Latvusmassan, kantojen ja nuorten metsien hinnoittelusta, korjuusta, varastoinnista ja kuljetuksesta sovitaan puukaupan yhteydessä (Metsäenergian hankinnan...2008). Hinta koostuu yleis- ja organisointikustannuksista, korjuukustannuksista, haketus/murskauskustannuksista, kaukokuljetuksesta ja mahdollisesta kanto hinnasta. Kustannusrakenne vaihtelee eri toimitusketjujen välillä riippuen korjuu- ja kuljetusmenetelmästä sekä metsäenergiajakeesta.

Tuotettaessa metsähaketta kuitupuusta tutkittiin menetelmää, jossa kuitupuuta korjattiin monitoimikoneen ja ajokoneen muodostamalla ns. perinteisellä korjuuketjulla tavaralajimenetelmällä ja leimikolta korjattiin pelkkää ainespuuta. Toisena vaihtoehtona leimikolta korjattiin integroidulla korjuumenetelmällä sekä aines- että energiapuuta. Lisäksi tutkittiin yhdistetyn korjuun ja kuljetuksen eli korjurilla korjuun vaikutusta kuitupuuhakkeen kustannusrakenteeseen. Esimerkkileimikolla perinteisen korjuuketjun käyttö osoittautui kustannustehokkaimmaksi vaihtoehdoksi. Perinteiseen korjuuketjuun verrattuna korjurin ja integroidun korjuun kustannukset olivat kustannukset n. 3-5 % korkeammat (Liite 1a).

Tulokset olivat samansuuntaisia aiempien tutkimustulosten kanssa (Jylhä ym. 2006b, Heikkilä ym. 2005). Perinteisellä korjuuketjulla käyttöpaikkahinnat asettuivat 43-45 €/m<sup>3</sup> tasolle. Tutkituista toimitusketjuista edullisin oli korjuu tavaralajimenetelmällä ja haketus käyttöpaikalla, jolloin käyttöpaikkahinnaksi muodostui 43,2 €/m<sup>3</sup> (Liite 1a).

Integroitu aines- ja energiapuun korjuumenetelmä nosti kuitupuun käyttöpaikkahintaa ja kokonaiskustannuksia noin 5 % verrattuna tavaralajimenetelmään. Selitys tälle on siinä, että suuri ainespuumitat täyttämättömien puiden määrä kasvattaa korjuukertymää, mutta nostaa samalla nopeasti korjuun kokonaiskustannuksia, etenkin yksinpuinkäsittelyssä (Heikkilä ym. 2005). Korjurilla korjuu oli yksikkökustannuksiltaan vain 10 senttiä alhaisempi kuin integroitu aines- ja energiapuun korjuu.

Vertailtaessa kokopuun korjuuta ja rankapuun korjuuta oli edullisempää korjata kokopuumenetelmällä kuin tuottaa karsittua rankapuuta. Myös Heikkilän ym. (2005) tutkimuksissa karsitun energiapuun korjuun tuottavuus oli alempi verrattuna kokopuun korjuuseen. Tuottavuuden laskuun vaikutti ensisijaisesti kertymän aleneminen. Karsitun energiapuun metsäkuljetuksen ajanmenekki oli kuitenkin 12 % pienempi kuin kokopuulla (Heikkilä ym. 2005). Tässä tutkimuksessa kokopuun toimitusketjut olivat edullisempia kuin rankapuun toimitusketjut.



Kokopuun korjuussa edullisin toimitusketju oli koneellinen korjuu harvesterilla, metsäkuljetus kuormatraktorilla ja puun haketus välivarastolla. Tällöin kokonaiskustannukset olivat noin 35,6 €/m<sup>3</sup>. Kemera-tuet laskevat lopullisia käyttöpaikkakustannuksia tutkimuksessa sovelletulla esimerkkileimikolla noin 11 €/m<sup>3</sup> eli noin kolmanneksen (Liite 1d). Korjurin käyttö korjuussa nosti kustannuksia myös kokopuun korjuussa. Manuaalinen puunkorjuu nosti lopullista käyttöpaikkahintaa, mutta sitä voidaan pitää perusteltuna valintana vaikeilla työkohteilla. Kokopuun kuljetus terminaaliin haketettavaksi ei ollut kustannustehokkuuden näkökulmasta järkevää, sillä terminaalihaketus nosti kokonaiskustannuksia kaikissa kokopuuhakkeen toimitusketjuissa.

Myös rankapuun kustannusanalyyseissä puun korjuu harvesterilla, metsäkuljetus kuormatraktorilla ja välivarastohaketus oli edullisin menetelmä. Välivarastohaketuksen kokonaiskustannukset olivat 39,1 €/m<sup>3</sup>. Terminaalihaketusketjun kustannukset ovat keskimäärin 8 % korkeammat kuin välivarastohaketusketjun. Kemera-tuet laskivat käyttöpaikkahinnat noin 33 €/m<sup>3</sup> tuntumaan välivarastohaketusketjulla ja 36 €/m<sup>3</sup> tuntumaan terminaalihaketusketjulla (Liite 1e).

Kantomurskeen tuotannossa kantojen kaukokuljetus käyttöpaikalle ja haketus käyttöpaikalla oli edullisempi toimitusketju. Käyttöpaikkahaketusketjun kokonaiskustannukset olivat 31,56 €/m<sup>3</sup> ja terminaalihaketusketjun vastaavasti 36,8 €/m<sup>3</sup> (Liite 1b). Terminaaliketjussa terminaalihaketuksen korkeat yksikkökustannukset laskevat toimitusketjun kannattavuutta.

Haketettaessa latvusmassaa tutkituista toimitusketjuista edullisin oli irtonaisen latvusmassan haketus käyttöpaikalla, jolloin käyttöpaikkahinnaksi muodostui 20,8 €/m<sup>3</sup> (Liite 1c). Latvusmassan murskaus välivarastolla oli käyttöpaikkahaketusmenetelmää yksikkökustannuksiltaan ainoastaan 10 senttiä kalliimpaa. Latvusmassan paalaus nostaa sekä metsäkuljetuksen että kaukokuljetuksen tuottavuutta, mutta toimitusketjujen kokonaiskustannukset olivat kuitenkin irtonaisen latvusmassan toimitusketjuihin verrattuna yli euron kalliimpia käyttöpaikkahinnaltaan. Aikaisemmin mm. Korpilahti & Suuriniemi (2001) ovat vertailleet latvusmassahakkeen eri tuotantoketjujen tuotantotekniikkaa ja kustannuksia. Myös tässä tutkimuksessa edullisin latvusmassahakkeen tuotantotapa oli irtonaisen hakkuutähteen kuljetukseen ja käyttöpaikkamurskaukseen perustuva tuotantoketju (Korpilahti & Suuriniemi 2001).

Tällä hetkellä irtonaisen latvusmassan tienvarsihaketus on eniten käytössä oleva toimitusketju latvusmassahakkeen tuotannossa (Kärhä 2009). Tienvarsimurskauksessa kustannustaso arvioitiin tässä tutkimuksessa hieman alhaisemmaksi verrattuna tienvarsihaketukseen. Latvusmassan terminaalihaketus ei ollut kustannusanalyysin mukaan kannattavaa. Sekä irtorisun että risutukkien terminaalihaketus olivat käyttöpaikka- ja tienvarsihaketusmenetelmiä kalliimpia. Terminaalihaketus nosti kokonaiskustannuksia yli 18 % käyttöpaikkahaketusketjun kustannuksiin verrattuna (Liite 1c). Palstahaketuksen kokonaiskustannukset olivat niin ikään noin 17 % korkeampia kuin käyttöpaikkahaketusketjussa. Latvusmassan palstahaketusta ei tehty esimerkiksi vuonna 2008 ollenkaan (Kärhä 2009).

Verrattaessa eri metsäenergian tuotantoketjuja toisiinsa edullisin käyttöpaikkahinta muodostui tuoreena kerättävälle latvusmassalle, joka kuljetetaan suoraan käyttöpaikalle haketettavaksi. Latvusmassahake oli kustannuslaskelmassa kokonaisuudessaan edullisin polttoaine. Se voidaan kerätä osana muuta metsänkäsittelyä, eikä sille toistaiseksi aina makseta kantohintaa. Kokopuu ja kantomurske olivat latvusmassan jälkeen edullisimpia voimalaitospolttoaineita. Kuitupuun käyttö ei ollut kannattavaa tutkimuksessa sovelletulla kustannus- ja kantohintatasolla.



## 5.2. Strategiset kustannustekijät eri tuotantoketjuissa

Kuitupuulla kantohinta oli suurin yksittäinen kustannuserä. Kantohinnan osuus kuitupuun käyttöpaikkahinnasta oli 29 % ja vaihtelut kantohinnoissa vaikuttivat eniten sen kannattavuuteen ja kustannustasoon. Kuitupuuta ei ollut tässä tutkimuksessa kilpailukykyinen polttoaine energiantuotantolaitoksille korkean kantohintansa vuoksi.

Muilla metsäenergiajakeilla kantohinnan osuus kokonaiskustannuksista oli pienempi ja mahdolliset kantohinnan muutokset vaikuttivat kustannuksiin vähemmän (Liite 2). Tällä hetkellä latvusmassalle ei varsinaisesti makseta erillistä kantohintaa. Tässä tutkimuksessa ”korvaus” latvusmassan keräyksestä kattoi noin 2 % käyttöpaikkakustannuksista (Liite 2c). Myöskään kannonnostossa kustannuksiin ei peruskustannuslaskelmassa sisällytetty kantohintaa tai muuta metsänomistajalle maksettavaa korvausta.

Kantohinnan jälkeen suurimmat kustannuserät olivat korjuu- ja kuljetuskustannukset. Eniten korjuukustannukset vaikuttivat kokopuun ja karsitun rankapuun toimitusketjujen kustannusten muodostumiseen. Korjuu- ja kuljetuskustannukset ovat suhdanneherkkiä, koska yli 50 % niistä koostuu muuttuvista kustannuksista kuten työ- ja polttoainekustannuksista. Mitä suurempi osuus polttoaineella on kokonaiskustannuksista, sitä herkempi kuljetuskalusto on polttoaineiden hinnanvaihteluille (Karttunen ym. 2008).

Kokopuun kokonaiskustannuksista noin 30-35 % muodostui korjuukustannuksista, kun puut korjattiin koneellisesti ja 30 %, kun korjuumenetelmä oli manuaalinen. Rankapuun korjuussa karsinta lisäsi ajanmenekkiä ja kustannuksia verrattuna kokopuun korjuuseen. Karsitun rankapuun korjuukustannusten osuus oli noin 37-40 % (Liite 2d & 2e).

Kokopuun ja rankapuun toimitusketjuissa korjuun kustannukset olivat 21 % kaikista kustannuksista. Kokopuun ja rankapuun toimitusketjujen alhainen tuottavuus nosti korjuun kustannuksia verrattuna kuitupuun korjuuseen. Manuaalinen korjuu oli kallein korjuumenetelmä, mutta voi olla perustelu esimerkiksi vaikeilla korjuukohteilla tai kelirikkoaikana. Manuaalinen korjuun kustannukset olivat keskimäärin 20 % korkeammat kuin koneellisen korjuun (Liite 2d & 2e).

Latvusmassan keräyksessä metsäkuljetuksen osuus kokonaiskustannuksista oli suurin, kun latvusmassa kuljetettiin välivarastolle tai käyttöpaikalle hakettavaksi. Tällöin metsäkuljetuksen osuus kokonaiskustannuksista oli noin 32 %. Sen sijaan risutukkimenetelmässä metsäkuljetuksen suhteellinen osuus laski noin 15 %:iin (Liite 2c). Myös kannonnostossa metsäkuljetuksen suhteellinen osuus on molemmissa toimitusketjuissa yli 30 %.

Terminaalihaketusketjut olivat kalleimpia toimitusketjuja kaikilla metsäenergiajakeilla. Terminaalihaketuksen osuus oli keskimäärin 9-10 % kustannuksista kaikilla metsäenergiajakeilla paitsi latvusmassahakkeella, jolla terminaalihaketuksen osuus kokonaiskustannuksista oli 19 %. Välivarastohaketus ja käyttöpaikkahaketus olivat kustannustehokkuuden näkökulmasta kannattavimpia vaihtoehtoja. Niiden osuus kokonaiskustannuksista oli rankapuulla, kokopuulla ja kuitupuulla noin 8-9 %. Latvusmassalla välivarastohaketuksen osuus oli 25 %. Haketuksen suurempi osuus latvusmassalla selittyi erilaisella kustannusrakenteella (Liite 2).

Kaukokuljetus ja kuljetusetäisyydet ovat strategisia kustannustekijöitä kaikilla tutkituilla toimitusketjuilla ja bioenergiajakeilla. Kuljetus alhaisissa tiheyksissä nostaa kuljetuskustannusten

osuutta kokonaiskustannuksista. Kantojen kaukokuljetus kattaa 26 % käyttöpaikkahinnasta, kun kuitupuulla, kokopuulla ja karsitulla rankapuulla vastaava osuus on 11-12 %, kun kaukokuljetusmatka oli 50 km. Latvusmassan kaukokuljetuksen osuus vaihtelee toimitusketjusta riippuen. Risutukkien kaukokuljetuskustannukset olivat keskimäärin 18 % käyttöpaikkahinnasta, kun taas irtorisun kaukokuljetuskustannukset n. 37 % käyttöpaikkahinnasta (Liite 2).

## 6. Herkkyysanalyysi

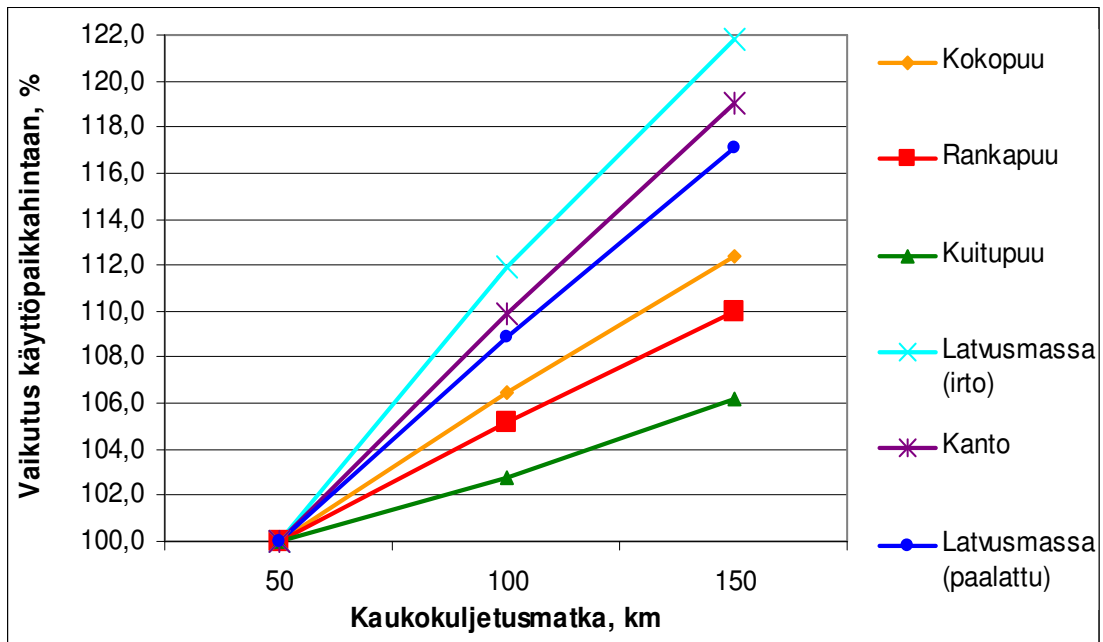
### 6.1 Metsähakkeen käyttöpaikkahinnat ja niihin vaikuttavat tekijät

#### 6.1.1 Leimikkotekijät

Yksisuuntaisella herkkyysanalyysillä tarkasteltiin hakelaskureissa käytettyjen leimikkorajoitteiden (Taulukko 1 ja 2) vaikutusta kokonaiskustannuksiin ja polttohakkeen lopulliseen käyttöpaikkahintaan eri tuotantoketjuilla. Leimikkotekijöiden muutoksen vaikutusta kokonaiskustannuksiin tarkasteltiin sekä absoluuttisena hinnanmuutoksena (€/m<sup>3</sup>, €/MWh) että suhteellisenä muutoksena (%). Herkkyysanalyysin perusteella kaikkien tutkittujen bioenergian tuotantoketjujen kokonaiskustannukset riippuvat samoista kustannustekijöistä.

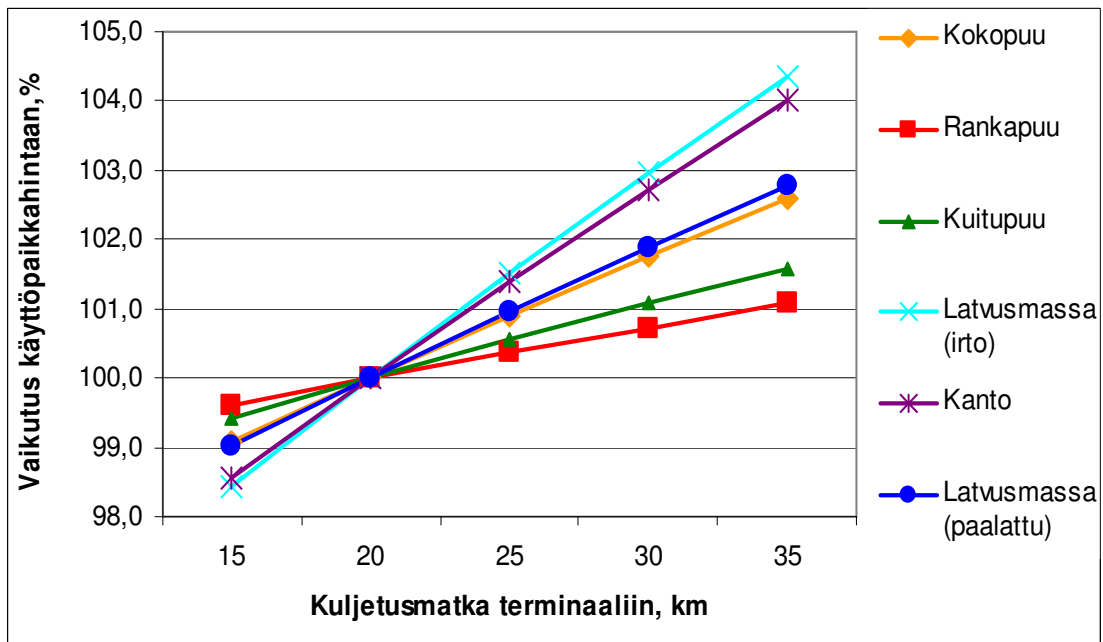
Kaukokuljetusmatkan vaikutus metsähakkeen kokonaiskustannuksiin oli merkittävä kaikilla metsähakkeen tuotantoketjuilla. Eniten kaukokuljetusmatkan muutos vaikutti latvusmassan ja kantomurskeen kokonaiskustannuksiin, sillä näissä toimitusketjuissa kuorman tiheys jäi kaukokuljetuksessa alhaisemmaksi kuin muilla bioenergiajakeilla. Latvusmassalla ja kantomurskeella kustannusten riippuvuus kaukokuljetusmatkasta oli muita bioenergiajakeita suurempi.

Kantomurskeella ja irtonaisella latvusmassalla kaukokuljetusmatkan piteneminen 50 kilometristä 100 kilometriin nosti kokonaiskustannuksia noin 10-12 %. (Kuva 3). Latvusmassan kaukokuljetuksessa myös biomassan korkea kosteusprosentti alensi kuljetuksen tuottavuutta, kun kuljetus tapahtui heti latvusmassan keräyksen jälkeen. Latvusmassan paalaus risutukeiksi nosti kuljetuksen tuottavuutta ja alensi kustannuksia noin 3 %. Pienin vaikutus kaukokuljetusmatkalla oli kuitupuun kokonaiskustannuksiin, joihin kaukokuljetusmatkan piteneminen 50 kilometrillä vaikutti noin 3 % (Kuva 3).



Kuva 3. Kaukokuljetusmatkan vaikutus eri bioenergijakeiden käyttöpaikkahintaan, €/m<sup>3</sup>

Kuljetuskustannusten vaikutusta kokonaiskustannuksiin vertailtiin herkkyysanalyysissä muuntelemalla sekä kaukokuljetusmatkaa että kuljetuskaluston tuntikustannuksia. Kaukokuljetusmatkan muutoksella oli suurempi vaikutus lopulliseen käyttöpaikkahintaan kuin kaukokuljetusten käyttötuntikustannusten muutoksella.



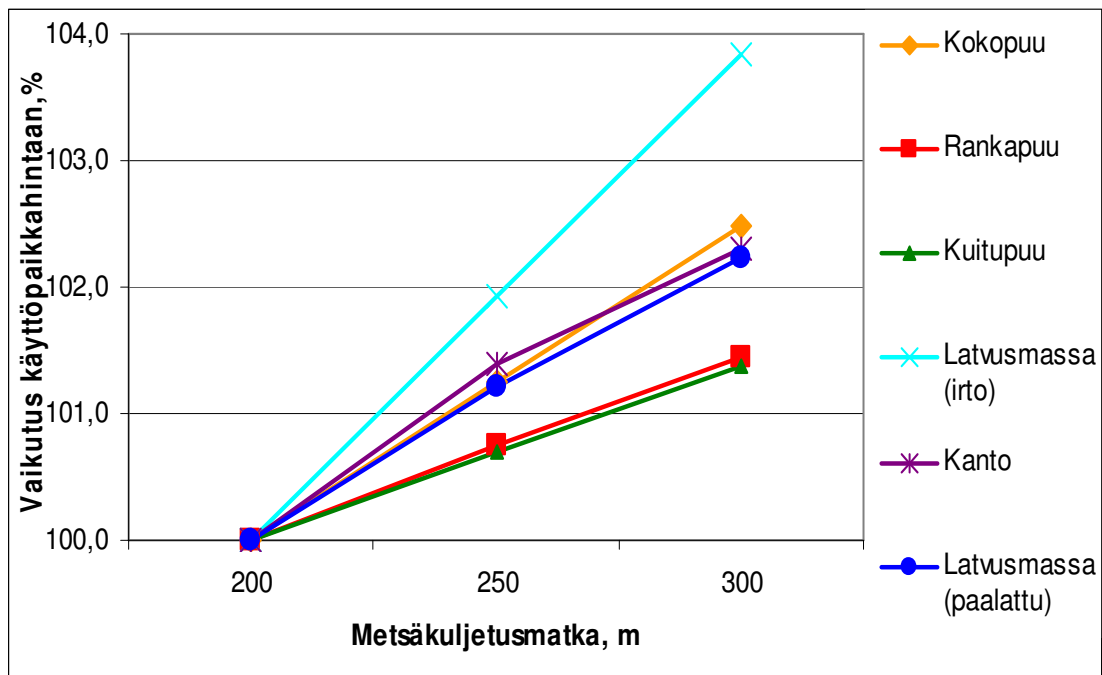
Kuva 4. Terminaalikuljetusmatkan vaikutus eri bioenergijakeiden käyttöpaikkahintaan, €/m<sup>3</sup>

Johtuen lyhyemmistä kuljetusetäisyyksistä leimikon ja terminaalin sekä terminaalin ja käyttöpaikan välillä, terminaalitoimitusketjuissa kuljetusmatkalla ei ollut yhtä suurta vaikutusta kuljetus- ja kokonaiskustannuksiin kuin kaukokuljetusketjuissa (Kuva 4). Vaihteluvälinä laskennassa oli 15-35 kilometriä. Esimerkiksi 10 kilometrin lisäys terminaalikuljetusmatkassa lisäsi kokonaiskustannuksia keskimäärin noin 3 % irtonaisen latvusmassan ja kantomurskeen toimi-

tusketjuilla. Muilla toimitusketjuilla terminaalmatkan vaikutus kokonaiskustannuksiin oli alhaisempi.

Kun kuljetusmatka terminaalista loppukäyttöpaikalle puolestaan piteni 10 kilometriä, oli vaikutus kokonaiskustannuksiin käyttöpaikalla keskimäärin alle 0,5 %, kun matkan vaihteluväli oli 5-20 km. Latvusmassahakkeella kustannukset nousivat eniten, 1,1 %.

Metsäkuljetusmatkan piteneminen nosti kokonaiskustannuksia kaikilla bioenergiajakeilla. Keskimäärin 50 metrin lisäys metsäkuljetusmatkassa nosti kokonaiskustannuksia 1-2 % riippuen käytettävästä konekannasta ja kuljetuskapasiteetista sekä korjattavasta bioenergiajakeesta (Kuva 5).



Kuva 5. Metsäkuljetusmatkan vaikutus eri bioenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan, €/m<sup>3</sup>

Metsäkuljetusmatkan pituus vaikutti irtonaisen latvusmassan keräyksessä kustannuksiin muita tuotantoketjuja enemmän johtuen mm. kuorman alhaisesta tiheydestä. Metsäkuljetusmatkan piteneminen 50 metrillä nosti irtonaisen latvusmassan kokonaiskustannuksia noin 1,9 %. Metsätehon tekemisessä latvusmassahakkeen metsäkuljetuksen ajanmenekki- ja tuottavuustutkimuksissa käyttötuntituottavuus riippui kaikilla koneilla selvästi toteutuneesta kuorman koosta ja luonnollisesta metsäkuljetusmatkasta. Kuormakoot taas vaihtelivat leimikkokohtaisesti. Myös kuusen osuus ainespuukertymästä nosti käyttötuntituottavuutta (Rieppo 2002).

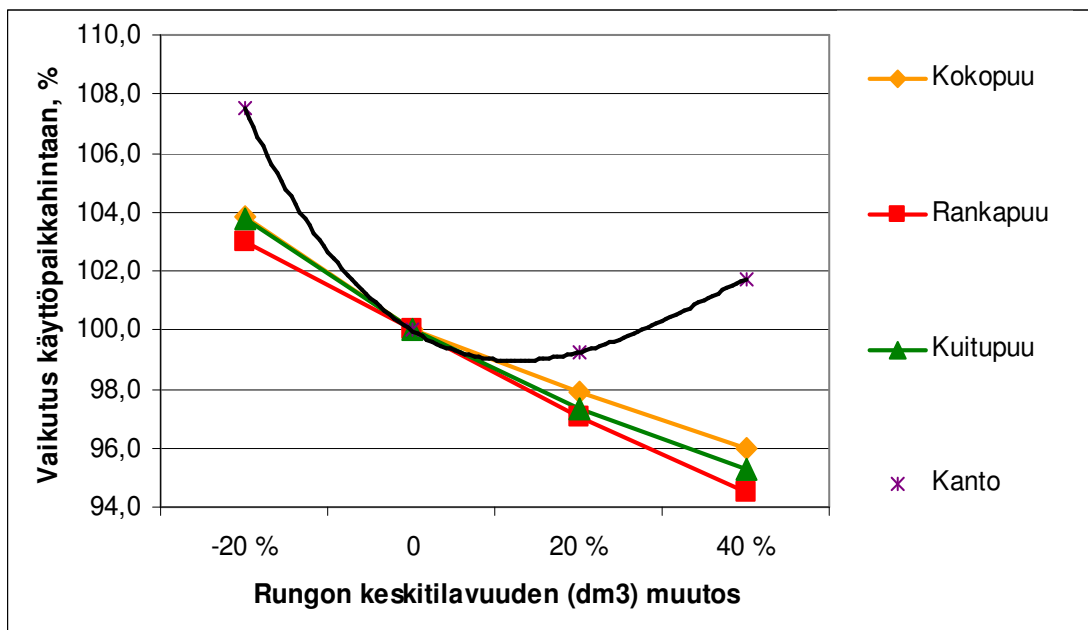
Kuitu- ja rankapuun metsäkuljetuksessa tuottavuus oli selvästi muita kuljettavia bioenergiajakeita alhaisempi, ja metsäkuljetusmatkan piteneminen 50 metrillä vaikutti käyttöpaikkahintaan vain noin 0,7-0,8 % (Kuva 5).

Muita tutkittavia leimikkorajoitteita olivat puuston tilavuus, kertymä leimikolla, varastointiaika ja kosteusprosentti. Tutkituilla tuotantoketjuilla varastointiajan piteneminen välivarastolla tai terminaalissa ei vaikuttanut kokonaiskustannuksiin merkittävästi. Kokopuuta, rankoja ja kantoja varastoidaan tienvarressa useita kuukausia, mutta lopullisiin käyttöpaikkakustannuk-

siin varastointiajan pituus ei vaikuttanut. Sen sijaan kuitupuun varastointiajan piteneminen yhdellä kuukaudella nosti kokonaiskustannuksia keskimäärin 0,25 %.

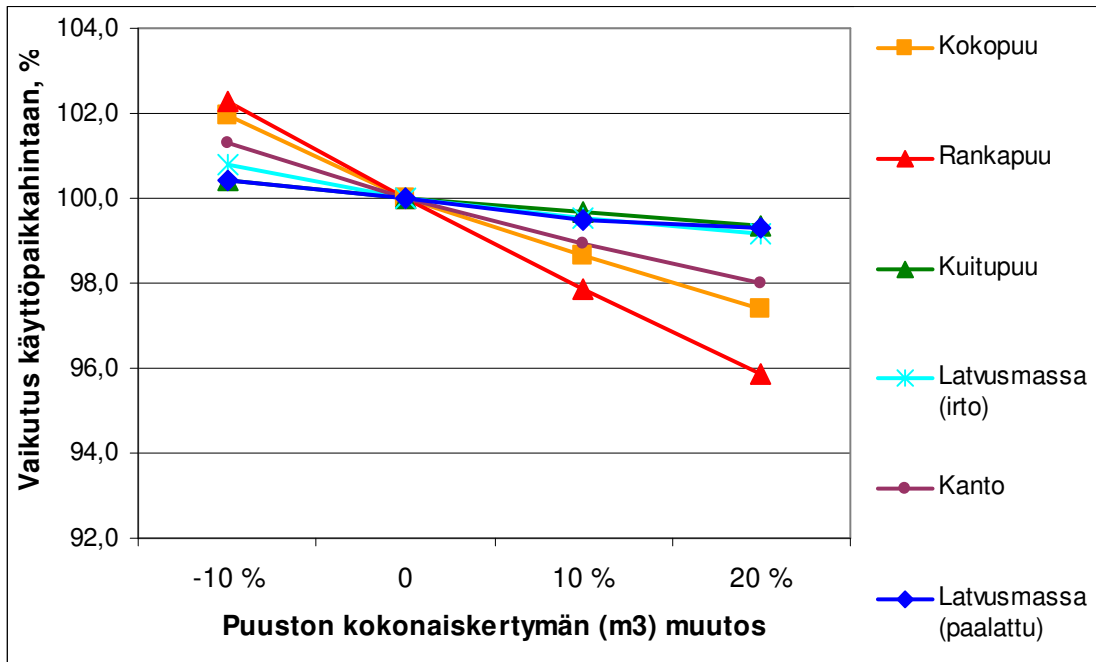
Runkojen tilavuus ( $\text{dm}^3/\text{runko}$ ) ja puuston kokonaiskertymä leimikolla ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) vaikuttivat kustannuksiin kaikilla metsähakkeen tuotantoketjuilla. Mitä pienempi oli korjattavien runkojen keskikoko, sitä alhaisempi oli työn tuottavuus ja sitä suuremmat olivat hakkuun ja metsäkuljetuksen yksikkökustannukset. Samoin, mitä alhaisempi oli kokonaiskertymä, sitä alhaisempi oli työn tuottavuus ja sitä suuremmat olivat yksikkökustannukset. Vastaavia tuloksia ovat saaneet aiemmin mm. Laitila ym. (2004) ja Lauhanen & Laurila (2007). Kokonaiskertymät ja –tilavuudet olivat kuitenkin eri bioenergiajakeilla erilaisia, jolloin vertailua tuottavuuden suhteen ei voitu suoraan tehdä. Kokopuun korjuun kertymää vaihdeltiin välillä  $75\text{--}90 \text{ m}^3/\text{ha}$ , kuusilatusmassan välillä  $60\text{--}420 \text{ m}^3/\text{ha}$  ja kannonnostossa kuusirunkojen määrää välillä  $500\text{--}900 \text{ kpl}/\text{ha}$ .

Rungon keskitilavuuden herkkyysanalyysissä muunneltiin korjattavan rungon keskitilavuutta ( $\text{dm}^3$ ) välillä  $-20\% - +40\%$  (Taulukko 2). Kannonnostossa muunneltiin nostettavien kantojen keskiläpimittaa. Eniten rungon tilavuus vaikutti kantomurskeen ja rankahakkeen käyttöpaikkahinnan muodostumiseen. Rungon keskitilavuuden kasvu  $20\%$ :lla laskee rankahakkeen käyttöpaikkahintaa noin  $3\%$ . Kannonnostossa tuottavuus kääntyy laskuun, kun kantojen läpimitta nousee yli  $40 \text{ cm}$  (Laitila ym. 2007). Kuitupuun keskitilavuuden kasvu  $20\%$ :lla laskee kuitupuuhakkeen kustannuksia  $2\%$ . (Kuva 6). Rungon tilavuus oli sekä pienpuuhakkeen että kantomurskeen käyttöpaikkahintaan kaukokuljetusmatkan jälkeen eniten vaikuttava tekijä.



Kuva 6. Rungon keskitilavuuden vaikutus eri bioenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan, €/m<sup>3</sup>

Lauhasen ja Laurilan (2007) mukaan kone työ oli metsurityötä edullisempaa rungon koon ollessa  $35 \text{ dm}^3$  tai enemmän. Tässä kustannusanalyysissä manuaalista hakkuutapaa tutkittiin ainoastaan kokopuun hakkuussa, jossa sen kustannustaso oli tutkituilla rungon keskitilavuuksilla ( $20\text{--}35 \text{ dm}^3$ ) koneellista korjuuta korkeampi.

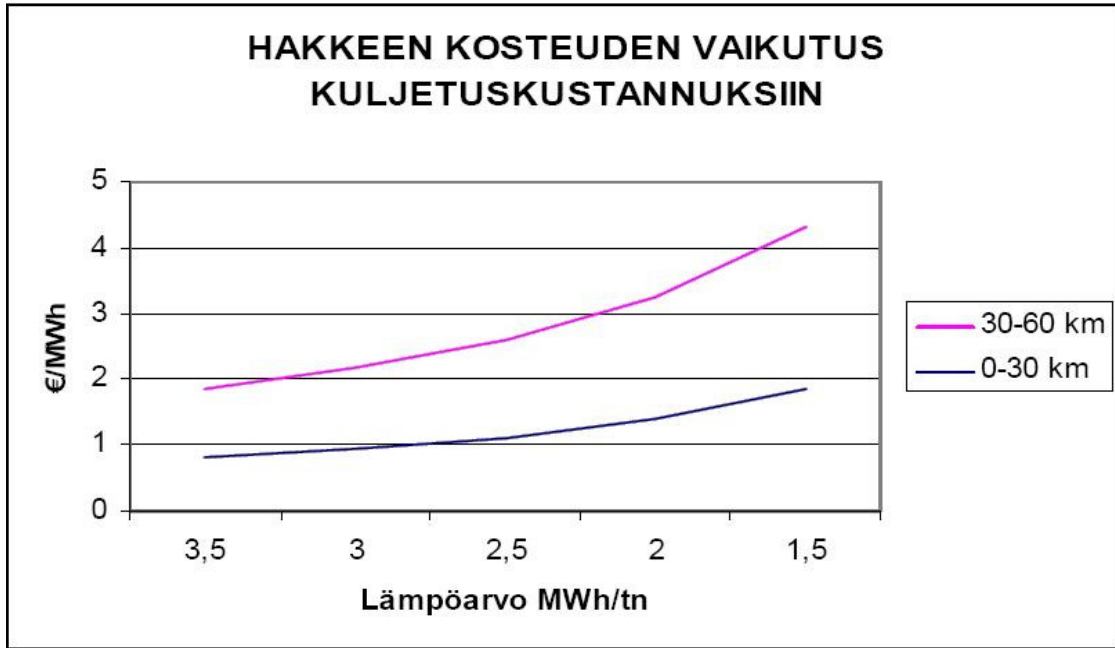


Kuva 7. Puuston kertymän vaikutus eri bioenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan, €/m<sup>3</sup>

Leimikon kokonaiskertymän herkkyyssanalyysissä kertymää muunneltiin välillä -10 – +20 % (Taulukko 2). Kertymän muutos vaikutti eniten pienpuuhakkeen kokonaiskustannuksiin käyttöpaikalla. Kokonaiskertymän kasvu 20 %:lla alensi rankahakkeen kokonaiskustannuksia yli 4 % ja kokopuuna korjattavan pienpuun kokonaiskustannuksia noin 2,3 %. (Kuva 7). Muiden bioenergiajakeiden korjuu- ja käyttöpaikkakustannuksiin kertymän vaikutus oli pienempi.

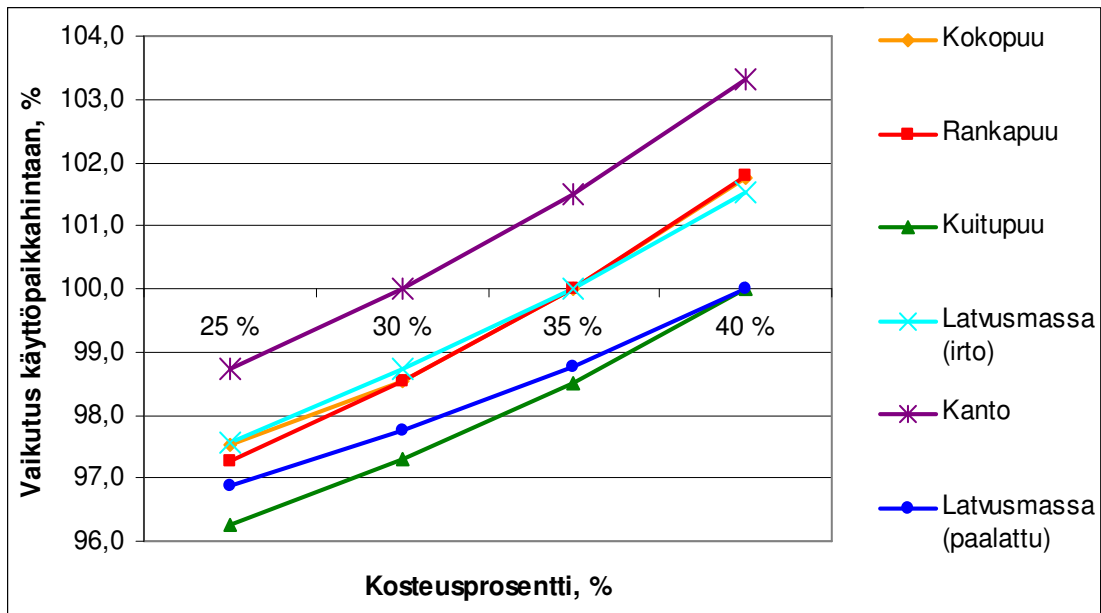
Kuitupuun korjuussa leimikon kokonaiskertymä oli muita vertailtavia tuotantoketjuja korkeampi, jolloin työn tuottavuus oli korkeampi ja yksikkökustannukset alhaisemmat. Tällöin kertymän muutokset eivät vaikuttaneet yhtä paljon kuitupuun korjuun kokonaiskustannuksiin kuin esimerkiksi koko- ja rankapuun korjuun. Myös Sirénin ja Aaltion (2003) tutkimuksissa rungon koko, poistuma, sekä puutaveralajien määrä olivat tuottavuuteen eniten vaikuttavia seikkoja korjureilla ja korjuuketjuilla.

Kun tuotantokustannuksiin liitetään hakkeen energiasisältö, tarkastellaan kosteusprosentin vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Metsähake ja kannot on mahdollista kuivata, jolloin puun kosteuspuoisuutta voidaan alentaa jopa 20-30 %:iin tuorepainosta (Kiema ym. 2005). Kuitupuulla pitkät varastoimisajat eivät kuitenkaan ole mahdollisia tuholaisriskin takia ja se joudutaan toimittamaan käyttöpaikalle 40-60 %:n kosteudessa.



Kuva 8. Kosteuden vaikutus kaukokuljetuskustannuksiin (Martikainen 2005)

Voimalaitokselle toimitettavan polttoaineen kuljetuskustannukset nousevat lineaarisesti polttoaineen kosteuden noustessa, koska lämpöarvon laskiessa laitokselle on ajettava enemmän polttoainetta (Kuva 8). Koska metsähakkeen energiasisältö irtokuutiometriä kohden laskettuna on noin 0,1 MWh pienempi turpeeseen verrattuna, kasvaa voimalaitokselle tulevien autokuormien lukumäärä kun turvetta korvataan metsähakkeella (Metsäenergian hankinnan... 2008).



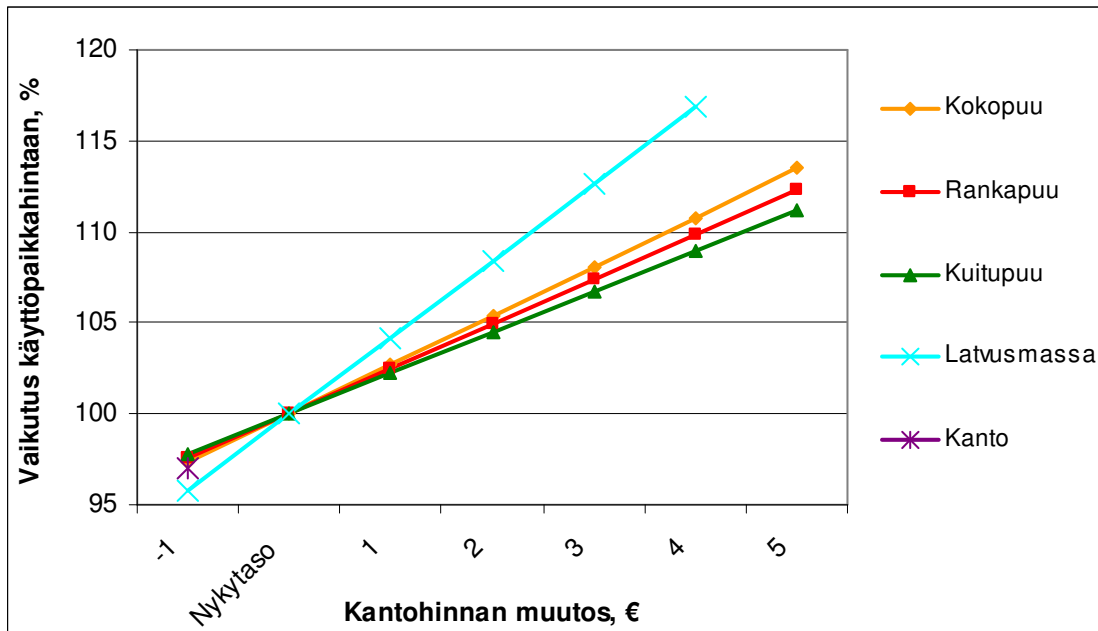
Kuva 9. Kosteuden vaikutus eri bioenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan, €/MWh

Kosteudella on suuri merkitys hakkeen kilpailukyvyllä ja käyttöpaikkakustannuksille. Hakkeen kosteusprosentin kasvu 5 %:lla nosti käyttöpaikkakustannuksia keskimäärin 1,1 %:lla kaikilla toimitusketjuilla (Kuva 9). Eniten kosteuspiitoisuuden vaihtelut vaikuttivat kanto-

murskeen, irtonaisen latvusmassan sekä kokopuu- ja rankahakkeen käyttöpaikkakustannuksiin.

Metsähakkeesta maksettavat korvaukset maanomistajalle vaihtelevat yrityksittäin ja alueittain ja yhtenäistä käytäntöä ei tällä hetkellä ole. Hakkeesta voidaan maksaa joko hehtaarikohtainen korvaus, kantohintaa (€/i-m<sup>3</sup>) tai ei lainkaan korvausta. Tässä kustannusanalyysissä tutkittiin myös mahdollisen kantohinnan tuomaa lisää kokonaiskustannuksiin.

Latvusmassalla kantohinnaksi asetettiin 0,5 €/k-m<sup>3</sup>, joka maksetaan ainespuukaupan yhteydessä. Muille metsäenergiajakeille asetettiin kantohinnaksi 5 €/k-m<sup>3</sup>. Kuitupuulla kantohintana käytettiin perusarvona 14 €/m<sup>3</sup>. Kannolle ei tällä hetkellä makseta kantohintaa vaan tavallisesti kantomurskeen kantohintana pidetään maanomistajalle koituvia säästöjä maanmuokkauksesta. Tutkimuksessa haluttiin kuitenkin selvittää kantohinnan vaikutusta myös kantomurskeen kokonaiskustannuksiin.



Kuva 10. Kantohinnan vaikutus eri bioenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan, €/m<sup>3</sup>

Mahdollinen kantohinnan nousu vaikutti suhteellisesti eniten hakkuutähteen ja kannonnoston kokonaiskustannuksiin ja käyttöpaikkahintaan. Kokopuun ja rankapuun sekä kuitupuun yhden euron kantohinnan nousu nosti kokonaiskustannuksia käyttöpaikalla 2 %. Kantomurskeen tai kantojen kantohinnan nousu yhdellä eurolla nosti kustannuksia noin 3 %. Latvusmassalla puolestaan kantohinnan nousu yhdellä eurolla nosti kustannuksia noin 4,5 % (Kuva 10). Latvusmassan kohdalla huomionarvoista on, että kokonaiskustannukset nousivat jyrkästi jo hyvin alhaisella kantohinnalla.

### 6.1.2 Koneiden käyttötuntikustannusten vaikutus käyttöpaikkakustannuksiin

Koneiden kustannuslaskenta perustuu yleisesti käytettyyn metsäkoneiden kustannuslaskentatapaan, jossa koneiden kiinteät pääomakustannukset yms. jaetaan koneen käyttäjälle (vuosille) ja muuttuvat käyttö- ja palkkakustannukset lasketaan kustannuksiin suoraan vuotuisen



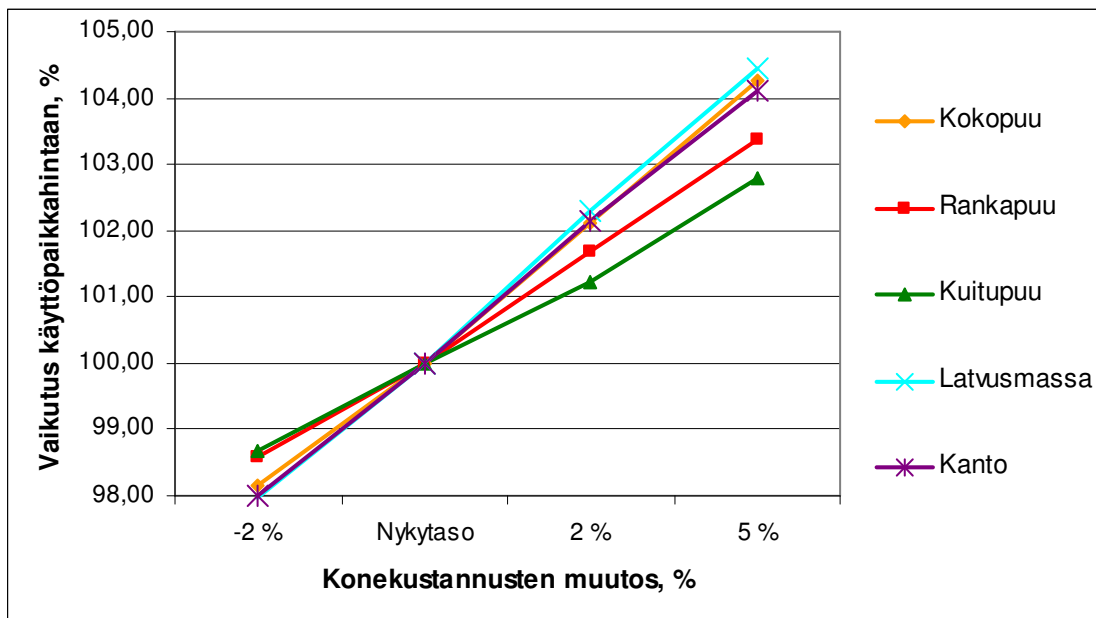
käyttötuntimäärän perusteella. Konekustannusten laskentaperusteet on esitetty kappaleessa 2.3.

Yksittäisen koneen kustannustason muutos ei vaikuttanut polttohakkeen kokonaiskustannuksiin käyttöpaikalla, ellei muutos ollut useita kymmeniä prosentteja. Suurin vaikutus hakkeen käyttöpaikkakustannuksiin oli kuitupuun korjuussa korjurilla ja risutukin paalauksessa. Korjurin tuntikustannusten nousu 5 %:lla nosti kokonaiskustannuksia 2 %:lla ja paalaimen kustannusten nousu 5 % kokonaiskustannuksia 1 %:lla.

Kuormatraktorin tuntikustannusten muutoksilla oli selkeä vaikutus irtonaisen latvusmassan käyttöpaikkakustannuksiin. Kuormatraktorin tuntikustannusten nousu 5 %:lla nosti irtonaisen latvusmassan kokonaiskustannuksia 1,5-2 %. Muiden metsäenergiajakeiden käyttöpaikkakustannuksiin kuormatraktorin tuntikustannusten 5 % nousu vaikutti keskimäärin 1 %:n.

Kaukokuljetuskaluston (puutavara-auto, hakerekka) tuntikustannuksilla ei ollut suurta vaikutusta kaukokuljetuskustannusten muutokseen. Tuntikustannusten nousu 5 %:lla nosti käyttöpaikkakustannuksia keskimäärin 1 %:lla.

Koska yli 80 % muuttuvista kustannuksista oli polttoainekustannuksia, polttoaineiden hinnan nousu vaikutti eniten kokonaiskustannuksiin. Kuljetuspolttoaineiden hintojen vaikutus kokonaiskustannuksiin riippui kaluston kustannusrakenteesta. Mitä suurempi osuus polttoaineella oli kokonaiskustannuksista, sitä herkempiä kokonaiskustannukset olivat polttoaineiden hinnanvaihteluille. Polttoaineen 25 % hinnan nousu nosti esimerkiksi hakkeen autokuljetusten kokonaiskustannuksia keskimäärin 10 % (Karttunen ym. 2008).



Kuva 11. Konekustannusten vaikutus eri metsäenergiajakeiden käyttöpaikkahintaan

Herkkyysanalyysissä tutkittiin konekustannusten vaikutusta kokonaiskustannuksiin, kun kaikki kustannukset muuttuivat -2 – + 5 % (Kuva 11). 2 %:n yleinen konekustannusten lasku vaikutti eniten niiden bioenergiajakeiden kokonaiskustannuksiin, joiden tuottavuus korjuussa ja kuljetuksessa on alhaisin. Kantomurske, latvusmassa ja kokopuu olivat suhdanneherkimpää konekustannusten vaihtelulle. Kuitupuun ja rankahakkeen kokonaiskustannuksiin konekustannusten vaihtelut vaikuttivat vähemmän. 2 %:n yleinen konekustannusten nousu nosti metsä-

hakkeen käyttöpaikkakustannuksia keskimäärin 1,5 %. 5 %:n konekustannusten nousu aiheutti käyttöpaikkakustannuksiin 4,5 %:n nousun latvusmassalla, kantomurskeella sekä kokopuulla, 3,5 % rankapuulla ja 2,7 % kuitupuulla.

## **6.2 Herkkyysanalyysi ja eri tekijöiden vaikutus CHP-energian omakustannushintaan**

### **6.2.1 Polttohakkeen ominaisuudet ja leimikkotekijät**

Energiantuotannon herkkyysanalyysiin valikoitiin muuttujia, joiden oletettiin vaikuttavan eniten CHP-energian omakustannushinnan muodostumiseen. Energiantuotannon kustannuksiin ja laitoksella tuotettavan energian hintaan vaikuttavat polttoaineen hinnan lisäksi työ- ja konekustannukset CHP-laitoksella sekä useat metsä- ja energiapoliittiset päätökset. Tässä tutkimuksessa tarkasteltuja metsäenergian hintaan vaikuttavia leimikkotekijöitä olivat puuston tilavuus, kertymä leimikolta, polttohakkeen kosteus sekä kaukokuljetusmatka käyttöpaikalle ja terminaaliin. Poliittisia muuttujia tässä tutkimuksessa olivat Kemera-tuki, hiilidioksidin päästökauppahinta sekä bioenergiapuusta maksettava kantohinta. Tarkasteltuja työ- ja konekustannuksia olivat eri koneiden käyttötuntikustannukset, joiden arvoja vaihdeltiin välillä -2 % – +5 %.

Laskettua keskimääräistä CHP-energian, kaukolämmön- ja sähkön omakustannushintaa verrattiin vuoden 2009 sähkön ja kaukolämmön markkinahintoihin. Kustannuslaskelmassa yrityksen asettamaksi voittomarginaaliksi oletettiin 10 %.

Leimikkotekijöistä johtuvat kustannusvaihtelut vaikuttivat eniten CHP-energian omakustannushintaan, jos laitospolttoaineena käytettiin pienpuuta. Sen sijaan käytettäessä laitospolttoaineena latvusmassaa, kantomursketta tai kuitupuuta leimikkomuuttujilla ei ollut juurikaan vaikutusta CHP-energian omakustannushintaan herkkyysanalyysissä tutkituilla vaihteluväleillä.

Muutokset leimikon kertymässä tai hakattavan puuston tilavuudessa vaikuttivat merkittävästi CHP-laitoksen omakustannushintaan, kun korjattavan leimikon koko tai korjattavan energiaapuun keskitiheys oli alhainen. Puuston järeyden nousu vaikutti eniten ranka- ja kokopuun tuotantoketjuissa, joissa rungon keskitilavuuden kasvu 10 dm<sup>3</sup>:lla laski CHP-energian omakustannushintaa noin 51-70 c/MWh (1,2-1,3 %) riippuen polttoaineesta.

Leimikon kokonaiskertymän vaikutus lopulliseen CHP-energian hintaan oli suurin niin ikään ranka- ja kokopuun toimitusketjuilla. Näillä ketjuilla leimikon kokonaiskertymän kasvu 10 m<sup>3</sup>:llä hehtaarilta alensi CHP-energian omakustannushintaa suhteessa enemmän kuin esimerkiksi kuitupuun tai kantomurskeen toimitusketjuissa. Kokonaiskertymän kasvun vaikutus lopulliseen energian omakustannushintaan oli noin 39-65 c/MWh (-0,9- -1,2 %).

Poltettavien metsäenergiamateriaalien kosteuden vaihtelu vaikuttaa sekä kuljetuskustannusten muodostumiseen, mutta myös lopulliseen energian hintaan. Kosteuspitoisuuden noustessa metsäenergiamateriaalien lämpöarvo ja energiatiheys alenevat, jolloin polttoaineen massavirta nousee ja savukaasujen määrä poltossa lisääntyy. Raaka-aineen kosteuspitoisuus ja alhaisempi energiatiheys nostivat CHP-energian omakustannushintaa noin 1,2 %:a eli 46-52 c/MWh aina jokaista noussutta viittä kosteusprosenttia kohti, kun polttoaineena käytettiin ranka- tai koko-

puuta. Kuitupuulla kosteuspitoisuuden nousu 10 prosenttiyksiköllä vaikutti CHP-energian omakustannushintaan noin 94 c/MWh (1,7 %). Koska kannot kuivataan välivarastoinnin aikana keskimäärin 30 %:n kosteuteen kasvatti 5 prosenttiyksikön kosteuspitoisuuden nousu CHP-energian omakustannushintaa 48 c/MWh (1,1 %).

Latvusmassalla kosteuden vaihtelut vaikuttivat lopputuotteen hintaan muita tutkittuja bioenergiaketjuja vähemmän. Kosteuspitoisuuden nousu 10 prosenttiyksiköllä nosti CHP-energian omakustannushintaa keskimäärin 27 c/MWh (0,7 %). Koska latvusmassan käyttöpaikkahinta oli muita bioenergiajakeita alhaisempi, kosteuden vaihtelusta aiheutuvat energiasaannon muutokset eivät aiheuttaneet niin suuria muutoksia polttoainekustannuksiin ja lopulliseen energian omakustannushintaan kuin muilla bioenergiajakeilla.

Tutkituista leimikkorajoitteista kaukokuljetusmatka laitokselle vaikutti ratkaisevasti energian omakustannushintaan. Mikäli polttoainetta joudutaan kuljettamaan useampia kymmeniä kilometrejä, sen kilpailukyky muihin suurvoimantuotannon polttoaineisiin verrattuna heikkenee.

Kaukokuljetusmatkan kaksinkertaistuminen 50 kilometristä 100 kilometriin nosti energian omakustannushintaa 2-3 %. Kustannusanalyysissä kaukokuljetusmatkan kasvaminen 20 kilometrillä nosti polttihakkeen käyttöpaikkahintaa noin 40-60 c/MWh. Sen sijaan terminaalin etäisyydellä korjuukohteesta tai laitoksesta ei ollut juurikaan merkitystä CHP-laitoksen omakustannushintaan. Eroa eri bioenergiajakeiden välillä ei juuri muodostunut.

## **6.2.2 Konekustannustekijöiden vaikutus energian omakustannushintaan**

Muutokset korjuu- ja kuljetuskoneiden käyttötuntikustannuksissa vaikuttavat korjuu- ja kuljetuskustannuksiin ja sitä kautta lopulliseen polttihakkeen kustannuksiin käyttöpaikalla. Kustannuslaskennassa 2 %:n yleinen kustannustason muutos koneiden käyttötuntikustannuksissa vaikutti energian omakustannushintaan noin 0,5 %. 5 %:n käyttötuntikustannusten nousu puolestaan nosti energian omakustannushintaa noin 1 %.

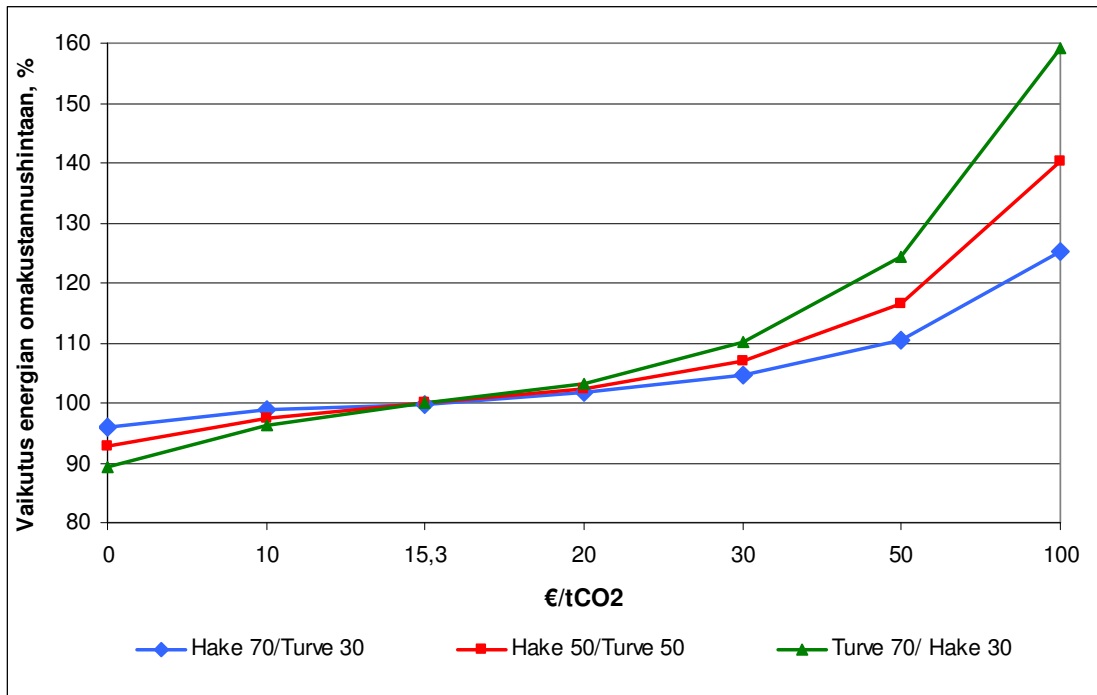
## **6.2.3 Poliittiset tekijät**

Poliittiset tekijät pyrkivät ohjaamaan ja tukemaan bioenergian tuotantoa vaikuttamalla energian tuotantokustannuksiin. Puuperäisille polttoaineille maksettavien sähköntuotannon tukien lisäksi Kemera-tuki parantaa pienpuun eli kokopuun ja rankapuun korjuun ja haketuksen kannattavuutta. Jos Kemera-tuen vaikutus siirretään kokonaisuudessaan polttihakkeen käyttöpaikkahintaan, alentaa se lopullista CHP-energian omakustannushintaa keskimäärin 15 %. Kantomurskeella Kemera-tuen vaikutus CHP-energian omakustannushintaan on vain noin 1,5 %, koska kannonnostolle ohjattu Kemera-tuki on kokopuun ja rankapuun korjuu- ja haketus-tukea huomattavasti alhaisempi.

Metsäenergiajakeiden kantohinta nostaa käyttöpaikkahintaa ja alentaa etenkin kuitupuun kilpailukykyä energiantuotannossa verrattuna muihin metsäenergiajakeisiin. Tällä hetkellä metsähake on edullisempaa energiatuotannossa kuin kuitupuu pitkälti siitä syystä, että sen kantohinta on alhainen. Kustannuslaskelmassa kantohinnan nousu yhdellä eurolla nosti CHP-energian omakustannushintaa 1 % (40-55c/MWh), kun polttoaineena käytettiin kuitupuuta,

pienpuuta tai kantomursketta. Latvusmassan kantohinnan nousu 50 sentillä nosti CHP-energian omakustannushintaa 1 % (39-44 c/MWh).

Päästökauppa vaikuttaa metsähaketta pääpolttoaineenaan käyttävän laitoksen kustannuksiin lähinnä seospolttoaineen eli yleisesti turpeen päästöoikeuksien ja –hinnan kautta. Päästökaupaoikeuksien kallistuminen muuttaa kuitenkin merkittävästi energiantuotannon kokonaiskustannuksia ja vaikuttaa merkittävästi energian omakustannushintaan (Kuva 12). Tutkimuksen tekohetkellä hiilidioksiditonin hinta oli 15,3 €/t.



Kuva 12. Päästöoikeuden hinnan vaikutus CHP-laitoksen kokonaiskustannuksiin.

Jos laitokselle ei koidu kustannuksia päästökaupasta, kustannussäästö olisi keskimäärin 4 %, kun laitoksen pääpolttoaineena on hake (70 %) ja seospolttoaineena käytetään turvetta (30 %). Jos päästöoikeuden hinta puolestaan nousisi tasolle 20 €/t CO<sub>2</sub>, kokonaiskustannukset nousisivat 2 %. Päästöoikeuden hinnalla 50 €/t kustannusten nousu olisi 11 % (Kuva 12).

Polttoaineiden seossuhteiden muuttuminen nostaa päästökaupasta aiheutuvia kustannuksia, jolloin metsäpolttoaineiden kilpailukyky on turvetta parempi. Sen sijaan tilanteessa, jossa päästöoikeuksien hinnat alenevat tai laitokselle ei koidu päästökaupakustannuksia lainkaan, turvetta polttavat laitokset ovat kilpailukykyisempiä.

## 7. CHP-tuotannon kustannukset ja kannattavuus

### 7.1 CHP-tuotannon kustannusrakenne

Koska polttoainekustannusten osuus 20 MW CHP -laitoksen kokonaiskustannuksista oli keskimäärin 49 %, on laitoksen polttoainevalinnalla ja mahdollisella päästökaupasta aiheutuvalla lisärasitteella suuri merkitys laitoksen kokonaiskustannusten ja kilpailukykyyn kannalta (Tau-

lukko 14, Kuva 13). Suurimmillaan polttoainekustannukset olivat 58 % kokonaiskustannuksista, kun polttoaineena käytettiin integroidulla korjuumenetelmällä korjattua tuoretta kuitupuuta, joka oli haketettu terminaalissa. Alhaisimmillaan polttoainekustannukset kattoivat 41 % kokonaiskustannuksista, kun polttoaineena käytettiin käyttöpaikalla haketettua irtonaista latvusmassaa tai kokopuuta.

20 MW laitoksen kattilainvestoinnin vuosittaisista poistoista aiheutuvat kiinteät kulut muodostivat noin 38 % kokonaiskustannuksista (Kuva 13) Kiinteät kustannukset olivat kaikilla tuotantoketjuilla samat, koska kattilateknologia oletettiin samaksi kaikille tutkituille kaikille polttoaineille.

Sähköntuotannosta aiheutuvat suorat tai välilliset kustannukset muodostivat arvion mukaan vain keskimäärin vain 5 % CHP -laitoksen kokonaiskustannuksista. Palkkakustannusten osuus oli 8 %, kun laitoksen henkilökunnan kooksi oletettiin 9 työntekijää 40 tunnin työviikolla ja kaksivuorotyöllä (Taulukko 13). Lisäksi CHP-laitokselle arvioitiin kohdistuvan hallinto- ja vakuutuskuluja, joiden osuus vuosittaisista kokonaiskustannuksista oli yhteensäkin alle 1 %:a.

**Taulukko 13.** CHP-tuotannon kustannukset

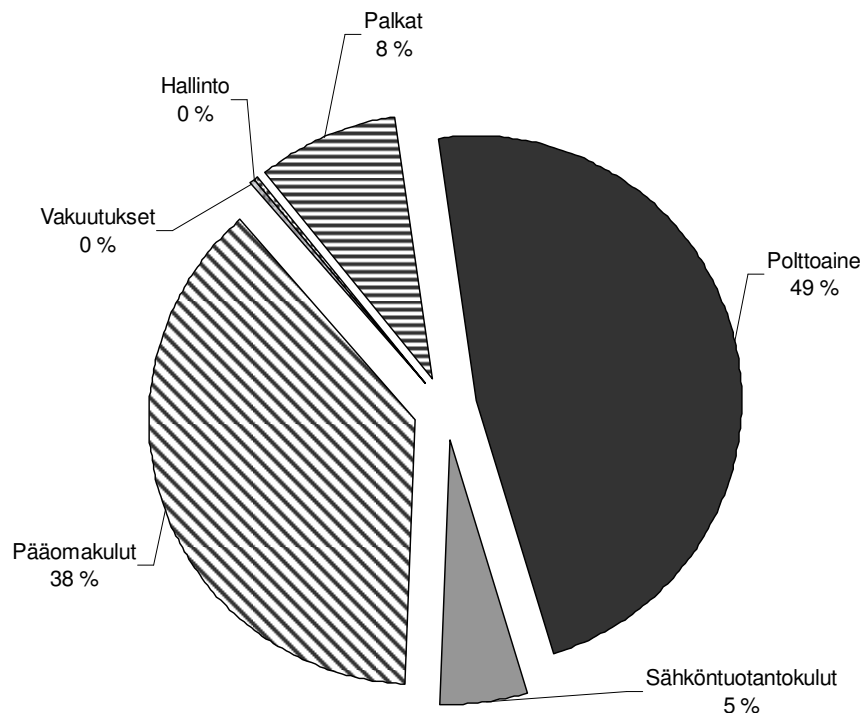
Kustannuslaji	Kustannus, €/vuosi	Yksikkökustannus, €/käyttötunti tai €/MWh
<b>Kiinteät kustannukset:</b>		
Poistot	1 000 000 €/vuosi	167 €/h
Korot	482 000 €/vuosi	80,4 €/h
Ylläpitokustannukset -vesi, jätehuolto ym.	n. 3500 €/vuosi	0,6 €/h
Vakuutukset, 1 %	15 000 €/vuosi	2,5 €/h
Korjaus- ja huolto, 2 %	13 800	2,30 €/h
Petihiekan vaihto, Tuhkan ja veden käsittely	286 000	47,6 €/h
Prosessin kaukovalvonta	~ 6400 €/vuosi	1,08 €/h
<b>Palkkakustannukset:</b>		
Hallinto	5000 €/vuosi	0,83 €/h
Työntekijöiden palkkakust. -9 hlö, sis.: -sosiaalikustannukset 42 % -kertaluonteiset erät 8,7 % -henkilöstörahasot 0,1 % -vapaapäivien palkat 10,5 % -luontoisedut 0,75 % -sosiaaliturvan kustannukset 21,45 % - Muut työvoimakustannukset 0,7 %	382 000 €/vuosi	66,33 €/h

**Sähkön- ja  
kaukolämmöntuotanto:**

Pumppauskustannukset	217 000 €/vuosi	2,45 €/MWh <sub>lämpö</sub>
Siirtokustannukset	14 400 €/vuosi	0,79 €/MWh <sub>sähkö</sub>
Verkkoonliittymismaksu ja sen poisto (perustuu arvioon)	100 000 €	0,36 €/MWh <sub>sähkö</sub>
Oman tuotannon kulutusmaksu	~7100 €/vuosi	2,67 €/MWh <sub>sähkö</sub>
<b>Polttoainekustannukset*</b>	~1 960 000 – 3 190 000 €/vuosi	15,5 - 27,3 €/MWh
Mahdolliset päästökaupan aiheuttamat lisäkustannukset turpeelle	204 000 €/vuosi	~ 33,9 €/h, 1,78 €/MWh

\*riippuvaisia käytettävästä polttoaineesta ja kosteusprosentista

Kuvan 13 kustannusrakenne laskettiin keskimääräisillä hakkeen käyttöpaikkahinnoilla, jotka ovat 15,41 €/MWh kuivalle polttohakkeelle ja 14,89 €/MWh kostealle polttohakkeelle. Tarkempi kustannuserittely on esitetty liitteissä 1 ja 3.



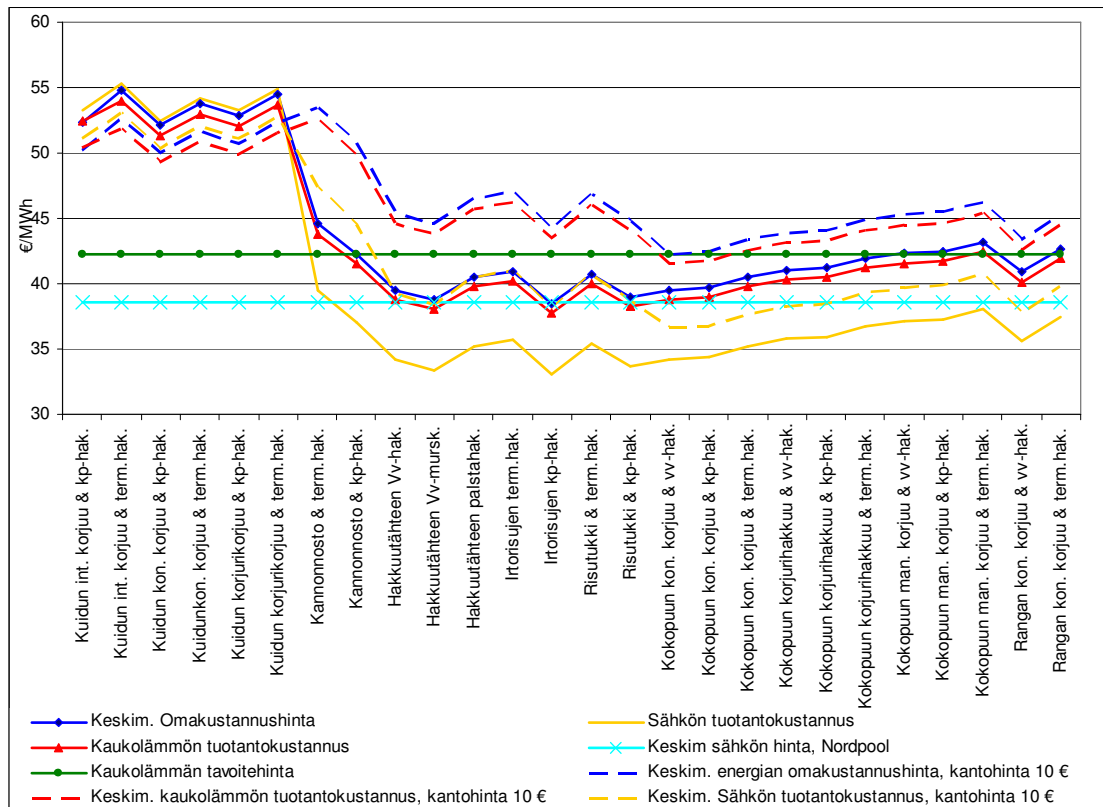
**Kuva 13.** 20 MW CHP -laitoksen keskimääräinen kustannusrakenne

Tällä kustannusrakenteella 20 MW CHP -laitoksen keskimääräiseksi käyttötuntikustannukseksi ilman arvonlisäveroa muodostui 43,86 €/MWh 35 % kosteuteen kuivatulla polttohakkeella ja 45,50 €/MWh tuoreella polttohakkeella. Kun sähköntuotannossa huomioitiin tuki metsähakkeella tuotetulle sähkölle, käytettäessä kuivaa polttohaketta kustannukset olivat 38,74

€/MWh. Tuoretta polttohaketta käytettäessä keskimääräiset sähkön tuotannon kustannukset olivat 40,46 €/MWh.

Tuotetun lämmön kustannukset olivat lähellä keskimääräisiä käyttötuntikustannuksia johtuen tuotannon rakennusasteesta eli tuotetun sähkön ja lämmön osuudesta kokonaistuotannossa. Keskimääräiset lämmöntuotannon kustannukset olivat 43,10 €/MWh kuivatulla polttohakkeella ja 44,73 €/MWh tuoreella polttohakkeella.

Erot tutkittujen tuotantoketjujen välillä olivat merkittäviä ja polttoaineen valinnalla oli huomattava vaikutus lopullisen energian omakustannushinnan muodostumisessa. Halvimman tuotantoketjun, käyttöpaikalla haketettujen risutukkien ja kalleimman, terminaalissa haketetun kuitupuuhakkeen välinen ero oli kustannuslaskelmassa peräti 40 % tarkasteltaessa keskimääräistä energian omakustannushintaa ja 64 % tarkasteltaessa sähkön omakustannushintaa. Sen sijaan muiden polttoaineiden välillä erot olivat keskimäärin 9-12 % välillä (Kuva 14, Liite 3).



Kuva 14. CHP-energian omakustannehinta eri metsähakelajeilla ja kuljetusetkuilla, €/MWh

Laitoksen puustamaksukyvyyn kannalta puupolttoaine ja hake ovat kilpailukykyisiä polttoaineita verrattuna turpeen ja kivihiilen käyttöön laitospolttoaineena (Taulukko 14). Päästökaupan oloissa energiantuottajan puustamaksukyky ja -halu on määräytynyt pitkälti päästöoikeuden ja korvaavan polttoaineen toimitushinnan perusteella (Taulukko 12, Taulukko 14). Päästöoikeudenhinnan noustessa myös puusta pystytään maksamaan laitoksella korkeampia hintoja. Käytännössä rajahinta turvetta polttoaineenaan käytävillä laitoksilla on ollut karkeasti muotoa:

$$\text{Rajahinta (€/MWh)} = \text{turpeen hinta (€/MWh)} + \text{päästöoikeuden hinta (€/t)} * 0,38 \text{ (t/MWh)}.$$

Päästöoikeuden hinnalla 15,3 €/t ja turpeen hinnalla 11,08 €/MWh laitosten rajakustannuksiksi puupolttoaineesta muodostui noin 16,78 €/MWh. Mikäli puupolttoaineen laitos hinta on tätä

rajahintaa korkeampi, olisi kannattavampaa polttaa turvetta ja ostaa päästöoikeuksia kuin puupolttoainetta kustannusten (polttoaineet + päästöoikeudet) minimoimiseksi (Metsäenergian hankinnan...2008). Kustannusanalyysissä kaikki metsäenergiajakeet kuitupuuta lukuun ottamatta jäivät rajahinnan alapuolelle ja niiden käyttö energiantuotannossa verrattuna muihin polttoaineisiin on kannattavaa.

**Taulukko 14.** Laitoksen puustamaksukyky eri polttoaineilla

	Kokonaispoltto- ainekustannukset/ polttoaine +päästökauppa (MEUR)	Polttoainekus- tannukset €/MWh, (kemeratuet huomioituna/ ilman tukia)	Päästökaupan aiheuttamat kustannukset €/MWh	Energiantuotantokustan- nukset (Brutto) €/MWh, (kemeratuet huomioituna/ilman tukia)
Metsähakkeen polttoaine- kustannukset (metsähake 70 %, turve 30 %)	1,96/2,64	16,8/22,6	1,7	~41,3/47,6
Kokopuuhake	1,99	17,8	1,7	~41,6
Rankahake	2,66	22,8	1,7	~47,8
Kuitupuuhake	3,19	27,3	1,7	~52,8
Latvusmassahake	1,80	15,3	1,7	~39,7
Kantomurske	2,19/2,27	18,7/19,4	1,7	~43,4/44,2
Vaihtoehto 1 (kivihiili 100 %)	2,69	23,1	5,7	50,5
Vaihtoehto 2 (Turve 100 %)	2,53	21,7	7,3	49,0

Päästökauppa aiheuttaa turpeelle ja kivihiilelle suuremman rasiitteen, jolloin niiden kokonaispolttoainekustannusten vaihtelu on suurempaa verrattuna puupohjaisiin polttoaineisiin. Kuitupuuta ei voida pitää kovinkaan kilpailukykyisenä vaihtoehtona turpeelle sen nykyisellä kantohintatasolla. Päästöoikeuden hinnalla 25,3 €/t CO<sub>2</sub> kuitupuun ja turpeen käyttö ovat yhtä kannattavia vaihtoehtoja CHP-tuotannossa. Tätä korkeammilla päästöoikeuden hinnoilla laitosten puustamaksukyky kuitupuusta lisääntyy ja kuitupuulla tuotettavan energian kannattavuus verrattuna vaihtoehtoihin energiantuotantomuotoihin paranee.

## 7.2 CHP-tuotannon kannattavuus eri metsäenergiajakeilla ja toimitusketjuilla

Kaukolämmön myyntihinta muodostuu lämmön tuotannon, siirron ja jakelun kustannuksista. Useimmiten tuotanto- ja myyntiketjut ovat saman yrityksen hallinnassa, joten erillisiä tukku- ja vähittäismyymälämarkkinoita ei ole, vaan energiantuottaja myy tavallisesti kaukolämmön suoraan sen ostajalle. Asiakaskunta koostuu pääasiassa kiinteistö- ja asunto-osakeyhtiöistä sekä yrityksistä.

Kaukolämmön hinnoittelu voi perustua joko pelkkään muuttuvaan tariffiin (muuttuva) tai kaksikomponenttitariffiin (muuttuva ja kiinteä maksu) (Kaukolämmön hinnoittelumallit 2009). Kaukolämpötariffi muodostuu liittymismaksusta, perusmaksusta, energiamaksusta ja harvoin vesivirtamaksusta. Kun tariffin eri maksut asetetaan vastaamaan laitoksen kustannusrakennetta, myyntitulot kattavat laitoksen polttoainekustannukset riippumatta kylmien ja lämpimien vuosien vaihteluista ja polttoainehintojen muutoksista (Meuronen 2003).

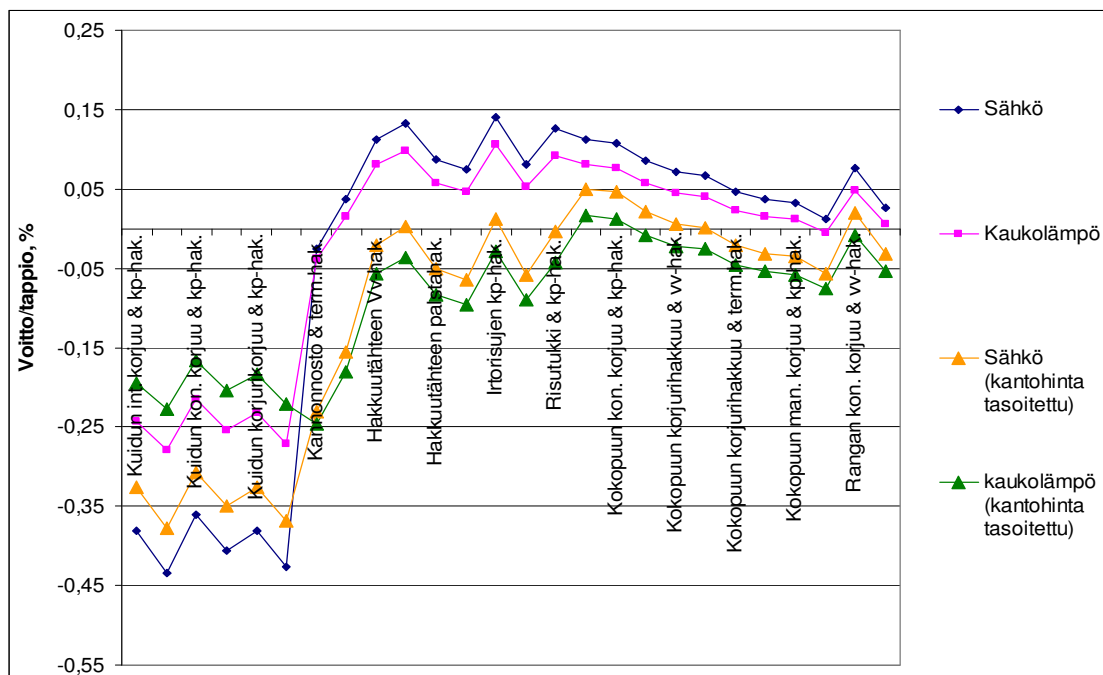


Pelkällä energiahinnalla laskuttava kaukolämpöyritys joutuisi vuosittain korottamaan lämmön hintaa kattaakseen kiinteät kustannuksensa, kun taas kaksikomponenttitariffia käyttävä yritys voisi säilyttää hintatasonsa ennallaan (Kaukolämmön hinnoittelumallit 2009).

Sähkön myyntihinta perustuu sähköpörssin aluehintaan. Lopullinen myyntihinta muodostuu sähköpörssin määrittelemästä Spot-hinnasta, myyntikustannuksista ja kaupankäyntikuluista sekä yrityksen asettamasta voittomarginaalista. Pörssisähkön hinnan nousu vaikuttaa näin suoraan sähkön vähittäishintaan. Kaupankäyntikuluihin kuuluvat mm. sähköpörssin vaatimat takuumaksut ja riskienhallinta. Myyntikustannuksiin lasketaan markkinoinnin ja laskutuksen kulut (Kara 2005).

Sähkön systeemihinnan vuoden 2009 keskiarvohinta oli noin 35,02 €/MWh (tammikuu/2009-joulukuun/2009). Suomen keskimääräiset sähkön markkinahinnat samalla ajanjaksolla olivat noin 36,98 €/MWh. Spot-hinta 10 %:n voittomarginaalilla vastaisi noin 38,552 €/MWh myyntihintaa. Vertailtaessa CHP-laitoksen sähkön tuotantokustannuksia spot-hintaan 10 %:n voittomarginaalilla, oli energian tuotanto ja myynti kannattavaa kaikilla muilla metsäenergiajakeilla paitsi kuitupuulla. (Kuva 15, Liite 3). Huomion arvoista kuitupuun kohdalla oli, ettei sen käyttö olisi ollut tämänhetkiseen Spot-hintaan verrattuna kannattavaa myöskään alemmilla kantohinnoilla tässä tutkimuksessa käytetyillä kantohinnan vaihteluväleillä (kuva 15). On myös todennäköistä, että kantohinnan lasku vaikuttaisi kuitupuun saatavuuteen ja markkinoille tuloon.

Muilla metsäenergiajakeilla kantohinnan nousu heikensi kannattavuutta huomattavasti, ja etenkin kantomurskeella ja latvusmassalla kannattavuus painui alle nollarajan. Terminaalihaketus laski energiantuotannon kannattavuutta kaikilla korjattavilla metsäenergiajakeilla ja korjuumenetelmillä (Kuva 15).



**Kuva 15.** Kantohintojen ollessa 10 €/m<sup>3</sup> kaikilla metsäenergiajakeilla, kantomurskeen ja hakkuutähteen suhteellinen kannattavuus energiantuotannossa heikkenee selvästi.

Vuonna 2009 yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön keskimääräinen kokonaishinta ilman arvonlisäveroa oli noin 46,0 €/MWh (Energiateollisuus ry 2009). Puun tai puuperäisten polttoaineiden osuus oli kuitenkin ainoastaan 12,2 % kokonaistuotannosta. Puulla tuotettavan kaukolämmön omakustannushinta on hieman painotettua keskiarvohintaa alhaisempi, koska tuotantokustannuksista jäävät pois fossiilisille polttoaineille ominaiset kustannukset kuten päästökauppa. Puulla tuotetun kaukolämmön keskimääräiseksi hinnaksi on joissain yhteyksissä arvioitu noin 40 €/MWh (Niskanen ym. 2008).

20 MW:n laitoksessa sähkön tuotannon voitto muodostui hieman suuremmaksi kuin kaukolämmön tuotannon. Kun kaukolämmön myyntihinnaksi asetettiin keskimääräinen metsähakepohjaisen kaukolämmön myyntihinta, tuotanto olisi ollut tappiollista kaikilla muilla polttoaineilla paitsi latvusmassalla. Myydyn kaukolämmön tavoitehintana voidaan pitää tutkimukseen valitussa esimerkkilaitoksessa noin 42 €/MWh, jolloin myös huonosti kannattavat ketjut (kuitupuuta lukuun ottamatta) ovat voitollisia.

Alhaisimmat kustannukset ja paras kannattavuus tutkituista metsäenergian tuotantoketjuista saatiin, kun polttoaineeksi valitaan irtonainen latvusmassa, joka kuljetetaan suoraan käyttöpaikalle hakettavaksi. Lähes yhtä korkea kannattavuus arvioitiin saatavan myös välivarastolla haketetulla latvusmassalla tai kokopuulla sekä kantomurskeella (Kuva 15, Liite 3).

## 8. Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli mallintaa metsähakepohjaisen CHP -energian kustannusrakennne. Tutkimuksessa selvitettiin kustannustekijöiden vaikutusta sekä polttohakkeen käyttöpaikkahintaan että lopulliseen energian omakustannushintaan laitoksella.

Herkkyysanalyysissä tutkituista kustannustekijöistä polttohakkeen kaukokuljetusmatkalla ja kosteudella oli strategista merkitystä käyttöpaikkakustannusten muodostumiseen ja tätä kautta laitoksen polttoainekustannuksiin. Kaukokuljetusmatkan pidentyessä metsäenergiajakaiden kilpailukyky verrattuna muihin laitospolttoaineisiin kuten turpeeseen heikentyi. Etenkin alhaisen tiheyden omaavilla metsäenergiapolttoaineilla kuten irtonaisella latvusmassalla ja kantomurskeella kaukokuljetusmatkan kasvaminen heikensi kannattavuutta merkittävästi. Laitosten oikealla sijoittelulla ja kaukokuljetusmatkan optimoinnilla voidaan saavuttaa merkittävää kustannus- ja kilpailuetua.

Kosteuden vaihtelu vaikutti niin ikään metsäenergian tuotannon kannattavuuteen. Alhaisen tiheyden ja korkean kosteusprosentin omaavaa haketta ei ole kannattavaa kuljettaa pitkien matkojen päästä. Kosteuspitoisuuden vaihtelu vaikuttaa kuljetuskustannusten lisäksi myös lopulliseen polttohakkeen menekkiin prosessissa. Kosteuden vaihtelua ei kuitenkaan voida täysin hallita. Kosteuspitoisuutta voidaan alentaa varastoinnilla, mutta se on silti riippuvainen erilaisista ympäristötekijöistä. Kustannusanalyysissä polttoaineen kuivauksella saavutettiin merkittävää kustannusetua CHP-energian omakustannushinnassa (Liite 3). Polttolaitosten tulisikin kustannusanalyysin perusteella pyrkiä hankkimaan mahdollisimman kuivaa raakaainetta tai kuivata polttoainetta itse.

Bioenergian tuotannon kokonaiskustannuksiin ja kilpailukykyyn vaikuttivat kuitenkin logistisia seikkoja enemmän poliittiset tekijät; Kemera-tuki ja päästöoikeuden hintataso sekä bioenergiasta maksettava kantohinta. Etenkin kuitupuumittaiselle energiapuulle kantohinnan taso

muodostui kannattavuutta merkittävästi heikentäväksi tekijäksi energiantuotannossa. Sen sijaan muilla metsäenergiajakeilla maksetut kantohinnat eivät heikentäneet niiden kannattavuutta ja kilpailukykyä. Pienpuusta ei makseta tällä hetkellä kovinkaan korkeita kantohintoja, mutta on oletettavaa, että kantohintojen tasossa tulee tapahtumaan muutoksia, mikä puolestaan vaikuttaa kustannustasoon.

Päästöoikeuden hinta vaikuttaa puupohjaisen CHP-tuotannon kannattavuuteen, mutta kuitenkin vain siinä tapauksessa, että CHP-laitos kuuluu päästökaupan piiriin. Jos hiilidioksidin hinta tulee kohoamaan, voi myös kuitupuun kilpailukyky laitospolttoaineena lisääntyä, mutta nykytilanteessa sen poltto ei ole kannattavaa. Nykytilanteessa päästökaupan vaikutukset bioenergian ja puuta käyttävien CHP-laitosten kilpailukykyyn ovat välillisiä ja riippuvat ensisijaisesti polttoainehintojen kehittymisestä. Päästökauppa vaikuttaa turpeen kilpailukykyyn heikentävästi ja lisää siten laitosten halukkuutta käyttää puuperäisiä polttoaineita. Puun kysynnän kasvaessa ja saatavuuden heikentyessä voi myös puun hinnassa näkyä nousupaineita (Selvitys päästökaupan...2003). Tällöin polttoaineiden saatavuus voi heikentyä varsinkin pienemmän kokoluokan lämpölaitoksilla ja laitoksilla, jotka eivät osta polttoaineita saman konsernin sisältä (Ranta et. al 2007).

Vastaavasti, jos päästöoikeuksia jää joissain käyttämättä, niiden hinta putoaa ja käyttämättä jääneet oikeudet ovat käytettävissä joissain muualla ja laitosten puustamaksukyky heikkenee turpeen kilpailukykyyn parantuessa. Muutokset päästöoikeuksien hinnoissa eivät kuitenkaan vaikuta turvetta seospolttoaineena käyttävän CHP-laitoksen kannattavuuteen ja kilpailukykyyn niin suuresti kuin tilanteessa, jossa laitos joutuisi ostamaan tarvitsemiaan päästöoikeuksia pörssihintaan markkinoilta.

Sähkömarkkinat siirtävät päästöoikeuden hinnat markkinahintaan riippumatta alkujasta, koska energiantuottajalla on mahdollisuus myös jättää sähkö tuottamatta ja myydä käyttämättä jääneet kiintiöt (Selvitys päästökaupan...2003). Marginaalituotantomuodon eli hiililauhteen päästökaupparasitus määrää päästökaupan kokonaisvaikutuksen sähkön hintaan. Puupohjaisen CHP-laitosten päästökaupparasitus on hiililauhdevoimaloiden päästöarastusta selvästi pienempi, jolloin ne hyötyvät päästökaupassa, ja saavuttavat selvää kilpailuetua fossiilisiin energiantuotantomuotoihin verrattuna päästökaupassa ja sähkön hinnoittelussa.

Merkittävänä, poliittisena kannattavuuteen ja metsäenergiasta tuotettavan energian kokonaiskustannuksiin vaikuttavana tekijänä voidaan pitää metsäenergian korjuuta ja tuotantoa tukevaa tukipolitiikkaa. Uuden hyväksytyt uusiutuvan energian tukipaketin vaikutusta on vielä vaikea arvioida (Kohti vähäpäästöistä...2010). Tällä hetkellä nuorista metsistä korjattavan ranka- ja kokopuuhakkeen kilpailukyky on lähes täysin Kemera-tuen varassa. Ilman tukea energiantuotantokustannukset ovat lähes samaa tasoa kuitupuun tuotannon kanssa.

## LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia . Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2045. 172 s. + 17 s.
- Alakangas, E, Flyktman, M. 2001. Biomass CHP technologies. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Energy Reports 7/2001. Jyväskylä. 50 p. + app. 4 p.

- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. ja Hämäläinen J. 2001. Hakkuutähdehakkkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 131. 108 s.
- Asplund, D. 2008. Bioenergian kehitysnäkymät. Näkökulma 2008 – tulevaisuusseminaari. Seminaariesitys. Espoo. Saatavilla: <http://www.nakokulma.ramboll.fi/2008/images/eistykset/asplund.pdf> [viitattu 26.11.2009]
- Brunberg, T. 2004. Underlag till produktionsnormer för skotare (Productivity norm data for forwarders). Redogörelse från skogforsk, nr 3/2004. 12 s.
- Electrowatt-Ekono. 2003. Selvitys päästökaupan ja energiaverotuksen vaikutuksesta sähkön ja lämmön yhteistuotannon asemaan sekä lämmitysmarkkinoihin. Selvitys. 27 s.
- Energiamarkkinavirasto. 2009. Päästöoikeustase. Saatavilla: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/paastooikeustase2008.pdf> [viitattu 1.10.2009]
- Energy-An Consulting. 2009. Kaukolämmön hinnoittelumallit. Selvitystyö. Saatavilla:[http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/tutkimusraportit/liitteet/kaukol%20A4mm%20B6n\\_hinnoittelumallit\\_2009.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Fkaukolampo%2Fkirjasto%2Ftutkimusraportit](http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/tutkimusraportit/liitteet/kaukol%20A4mm%20B6n_hinnoittelumallit_2009.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Fkaukolampo%2Fkirjasto%2Ftutkimusraportit) [viitattu 27.11.2009]
- Energiateollisuus ry. 2005. Energia ja Suomen kilpailukyky. Selvitystyö. Saatavilla: <http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/julkaisut%20ja%20tutkimukset/liitteet%20tutkimukset%20ja%20selvitykset/energiajasuomenkilpailukykyraportti.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Fjulkaisut> [viitattu 4.3.2010]
- Energiateollisuus ry. 2009. Kaukolämmön hintatilastot. Saatavilla: [http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/tilastot/kaukol%20A4mp%20B6tilastot/kaukolammon\\_hinta/liitteet/hinta0709.pdf.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Ftilastot%2Fkaukolampon%20tilastot%2Fkaukolammonhinta](http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/tilastot/kaukol%20A4mp%20B6tilastot/kaukolammon_hinta/liitteet/hinta0709.pdf.pdf?SectionUri=%2Ffi%2Ftilastot%2Fkaukolampon%20tilastot%2Fkaukolammonhinta) [viitattu 16.11.2009]
- Flyktman, M. 2005. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. VTT:n tutkimuslauseita. Jyväskylä. 34 s. + 12 s.
- Flyktman, M. 2009. VTT. Suullinen tieto.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 8/2006. Helsinki. 31 s.
- Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta (HE 120/2006). 2006. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2006/20060120> [viitattu 14.7.2009]
- Hassinen, U. 2009. Pohjois-Karjalan Metsäkeskus. Suullinen tieto.
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantu, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K., Korhonen K. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 10. 56 s.
- Helynen, S. 2009. VTT. Suullinen tieto.
- Hillebrand, K. 2004. Pienpuun kuivatus ja varastointi. Seminaariesitys. Saatavilla: [http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ja\\_aktivointi/Seminaarit/Nuoret\\_metsat/Hillebrand\\_kalvot.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/Nuoret_metsat/Hillebrand_kalvot.pdf) [viitattu 12.12.2009]
- IEA. 2008. Energy technology perspectives 2008. Scenarios & Strategies to 2050. Chapter 9.
- Jylhä, P., Väättäin, K., Rieppo, K. & Asikainen, A. 2006b. Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla. Kirjallisuuskatsaus. Metsätutkimuslaitoksen työraportteja 34. 40 s.
- Kara, M. 2005. Päästökaupan vaikutus pohjoismaiseen sähkökauppaan. Ehdotus Suomen strategiaksi. VTT tiedotteita 2280. VTT prosessit. Espoo. 120 s. + 17 liitettä.
- Karttunen, K., Jäppinen, E., Väättäin, K. & Ranta, T. 2008. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energia- ja ympäristötekniikan osasto, Bioenergiatekniikka, Mikkeli. 54 s.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1983. Kaukolämpötietoa päättäjille. Energiaosaston julkaisuja. Sarja D: 39. 79 s + 2 liitettä.
- Kemera-opas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2008. Helsinki. 34 s. + 10 liitettä.

- Kiema M., Pasanen K., ja Parviainen J. 2005. Bioenergian logistiikka (BIOLOG), osaprojektin loppuraportti. Kuopion Yliopisto. 83 s.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2010. Kohti vähäpäästöistä Suomea. Uusiutuvan energian velvoitepaketti. Tiedote. Saatavilla: [http://www.tem.fi/?s=2471&89519\\_m=98836](http://www.tem.fi/?s=2471&89519_m=98836) [viitattu 27.4.2010]
- Korpilahti, A. & Suuriniemi, S. 2001. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto. Metsätehon raportti 122. Metsäteho Oy. Helsinki. 47 s.
- Kuittinen, T. 2009. Pohjois-Karjalan Sähkö. Suullinen tieto.
- Kuorma-autoalan työehtosopimus.2009. Saatavilla: [http://www.akt.fi/easydata/customers/akt/files/Tarja/Kuorma-autoalan\\_tes\\_2008-2009.pdf](http://www.akt.fi/easydata/customers/akt/files/Tarja/Kuorma-autoalan_tes_2008-2009.pdf) [viitattu 9.6.2009]
- Kärhä, K. 2009. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2008. Metsätehon tuloskalvosarja 14/2009. 21 s.
- Kärhä, K. 2007. Metsähakkeen tuotantokalusto Suomessa 2007. Metsäteho Oy:n tuloskalvosarja 2007/11. 37 s.
- Laitila, J. 2004. "Kokopuuhakkeen kustannuslaskentaohjelma". Excel-pohjainen ohjelma.
- Laitila, J. 2004. "Kantomurskeen tuotantokustannusten laskentaohjelma". Excel-pohjainen ohjelma.
- Laitila, J. 2005. "Rankahakkeen kustannuslaskentaohjelma". Excel-pohjainen ohjelma.
- Laitila, J. Ala-Fossi, A. Vartiamaäki, T. Ranta, T. Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Metlan työraportteja 46 / Finnish Forest research Institute Working Papers 46. 26 s.
- Laitila, J. Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K., Nuutinen, Y. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. 2004. Metlan työraportteja 3. 58 s.
- Laitila, J., Ranta, T. 2001. "Hakkuutähdehakkeen kustannuslaskentaohjelma". Excel-pohjainen ohjelma.
- Lauhanen, R & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 42. 58 s.
- Martikainen, K. 2005. Metsähakkeen kuljetuslogistiikan kehittäminen sisävesillä osana EU:n pohjoista ulottuvuutta. Hyötypaperi Oy:n osaraportti. Saatavissa: <https://kouvolaregion.jalusta.com/files/download/Vesitieselvitys-METSHAKKEENKULJESIS VESILLOPPURAPsp.pdf> [viitattu 21.7.2009]
- Meuronen, V. (toim.). 2003. Kaukolämmitys. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. energia- ja ympäristötekniikan osasto. Lecture Notes. 244 s.
- Metsäkonealan työehtosopimus. 2009. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/tes/stes3722-MU23Metskon0802.pdf> [viitattu 9.6.2009]
- Metsäteho. 2009. Puunkorjuu ja puutavaran kaukokuljetusvuonna 2008. Metsätehon katsaus 39/2009. 4 s.
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.
- Niskanen, A., Donner-Amnell, J., Häyrynen, S., Peltola, T. 2008. Metsän uusi aika- kohti monipuolisempaa metsäalan elinkeinorakennetta. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Silva carelica 53. Tammerpaino. 272 s.
- Nordpool. 2009. Carbon contracts. Saatavilla: <http://www.nordpool.com/en/asa/Markets/Emissions/EUACER2/> [viitattu 1.10.2009]
- Nurmi, J. 2004. Hakkuutähteen kuivatus palstalla. Teoksessa: Larsson, S. (toim.). Metsäpolttoaineen poistuma raivauksessa, harvennuksessa ja päätehakkuussa. Bioenergiaa metsästä 2003-2004 projekti. SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet. BTK-raportti 10: 29.
- Ovaskainen, H. 2009. Timber harvester operators' working technique in first thinning and the importance of cognitive abilities on work productivity. University of Joensuu, Faculty of Forest Sciences. 62 p.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2009. Tuotannon siirtopalvelun hinnat 1.1.2009 alkaen. Saatavilla: <http://www.pks.fi/modules/system/stdreq.aspx?P=1853&VID=default&SID=206763277663146&S=0&C=26184> [viitattu 2.10.2009]
- Päästökauppalaki 2004/683. 2004. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20040683> [viitattu 9.9.2009]

- Pöyry Energy Oy. 2009. Energiatehokkuusselvitys kaukolämmityksen pumppausjärjestelyistä. Raportti. 17 s. + 6 liitettä
- Pöyry Forest Industry Consulting. 2006. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. Loppuraportti. 47 s.
- Pöyry Forest Industry Consulting. 2007. Puupolttoaineiden kysyntä ja tarjonta Suomessa vuonna 2020 - Päivitetty tilannekatsaus. Kauppa- ja teollisuusministeriön selvitys. Helsinki 34 s.
- Ranta, T. 2002. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability and supply cost analysis. Väitöskirja, Acta Universitatis Lappeenrantaensis 128, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 180 s.
- Ranta, T., Lahtinen, P., Elo, J., Laitila, J. 2007. The effect of CO<sub>2</sub> emission trade on the wood fuel market in Finland. Biomass and Bioenergy (31): 535-542
- Rieppo, K. 2002. Hakuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 136. Helsinki. 47 s.
- Ryymin, R., Pohto, P., Laitila, L., Humala, I., Rajahonka, M., Kallio, J., Selosmaa, J., Anttila, P., Lehtoranta, T. 2008. Metsäenergian hankinnan uudistaminen. Jyväskylä 82 s.
- Seppänen, M., Lyly-Yrjänäinen, J., Jämsen, M., Kulmala, H. I., Lahikainen, T., Paranko, J. 2002. Kannattavuuden jäljillä. Yritysverkoston kustannuslaskenta ja sen kehittäminen. MET-julkaisuja nro 1/2002. Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. Vantaa. 84 s.
- Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvesters and harvester-forwarders. International Journal of Forest Engineering 14(1): 39-48.
- Sirén, M. 2007. Bioenergian merkitys metsänomistajalle. Seminaariesitys. Saatavilla: <http://www.metsaliitto.fi/default.asp?path=1;37;236;3435;3469;3646> [viitattu 26.11.2009]
- Suomen kaukolämpöyhdistys ry. 1999. Kaukolämmön tekninen laatu. Raportti KK5/2000. Saatavilla: [http://www.planora.fi/tiedostot/KK5\\_00.pdf](http://www.planora.fi/tiedostot/KK5_00.pdf) [viitattu 16.11.2009]
- Tilastokeskus. 2009. Energiaverot sekä huoltovarmuus- ja öljynsuojamaksut.
- Tilastokeskus. 2009. Kivihiilen, maakaasun ja kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat lämmöntuotannossa.
- Tilastokeskus. 2009. Työvoimakustannusten rakenne työmarkkinasektorien mukaan vuosina 1996, 2000 ja 2004 (osuus työvoimakustannuksista, %) Saatavilla: [http://pxweb2.stat.fi/Database/StatFin/pal/tvtutk/tvtutk\\_fi.asp](http://pxweb2.stat.fi/Database/StatFin/pal/tvtutk/tvtutk_fi.asp) [viitattu 2.10.2009]
- Tilastokeskus. 2009. Yksityisen sektorin tuntipalkat. Saatavilla: [http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/pal/ystp/2008/2008\\_fi.asp](http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/pal/ystp/2008/2008_fi.asp) [viitattu 2.10.2009]
- Tullihallitus. 2008. Energiaverotusohje. 7/350/08. Helsinki. 27 s. + 5 liitettä
- Turunen, P. 2004. Pienten biopolttoainevoimalaitosten markkinaselvitys. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta. 116 s.
- Uusi Kemera-laki – Mikä muuttuu? 2009. Verkkodokumentti. Saatavissa: [http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/75B195D5-EBEE-4E97-B58A-C82DDFA40709/0/Uitamo\\_kemera.pdf](http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/75B195D5-EBEE-4E97-B58A-C82DDFA40709/0/Uitamo_kemera.pdf) [Viitattu 17.7.2009]
- Valtioneuvoston päätös laitoskohtaisten päästöoikeuksien myöntämisestä. 2008. Saatavilla: [http://www.tem.fi/files/18533/MYONTAMISPAATOS\\_2008-2012\\_%282%29.pdf](http://www.tem.fi/files/18533/MYONTAMISPAATOS_2008-2012_%282%29.pdf) [viitattu 1.10.2009]
- Vanhanen, J., Syrjänen, M., Vartiainen, E. 2005. Kaukolämpötoiminnan viranomaisvalvonnan kehittäminen. Selvitystyö. Gaia Group Oy. Helsinki. 44 s.
- Van Loo, S & Koppejan, J. (edit.). 2008. Handbook of biomass combustion & co-firing. London. 442 p.
- Vartiainen, E., Vanhanen, J., Syrjänen, M. 2005. Selvitys sähkön tuotantolaitosten sähkön siirtomaksuista. Loppuraportti. Gaia Group Oy. Helsinki. 29 s.
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J., Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123. Helsinki. 41 s. + 3 liitettä.
- Väätäinen, K., Lappalainen, M., Asikainen, A., Anttila, P. 2008. Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 73. 52 s.

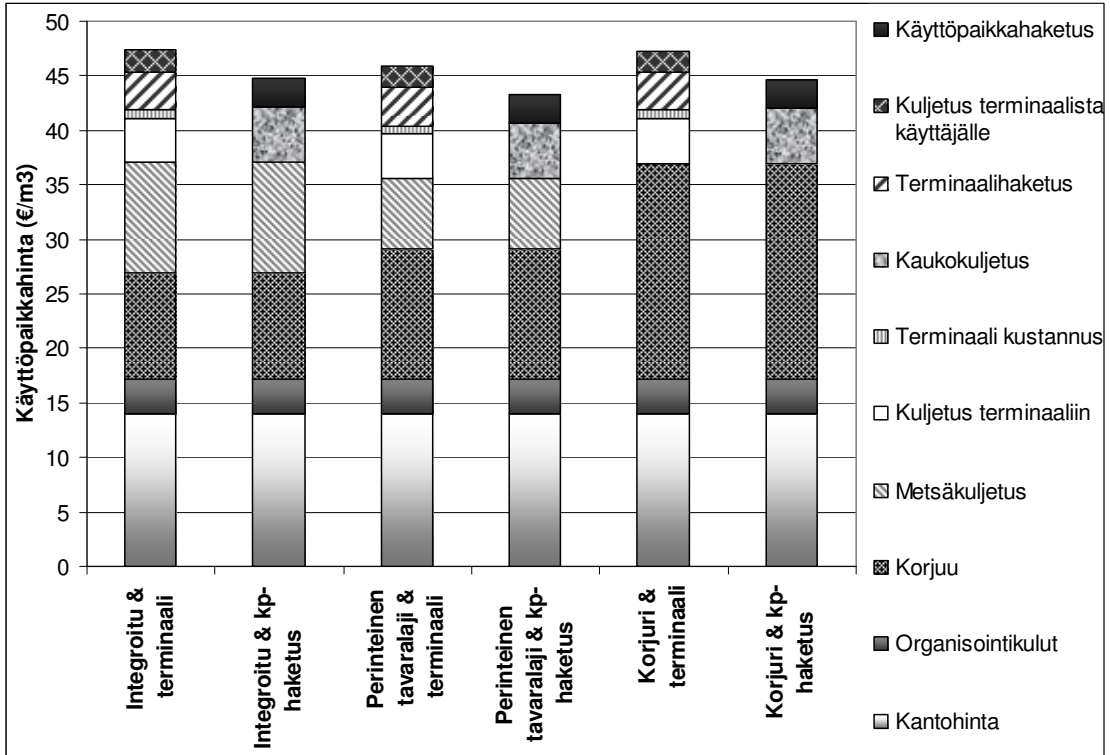
Väätäinen, K., Liiri, H. Asikainen, A., Sikanen, L. Jylhä, P, Rieppo, K. Nuutinen, Y., Ala-Fossi, A. 2007. Korjureiden ja korjuuketjun simulointi ainespuun korjuussa. Metlan työraportteja 48/ Finnish Forest research Institute Working Papers 48. 63 s. + 3 liitettä

Ölly- ja kaasualan keskusliitto. 2009. Kuluttajahintaseuranta. Saatavilla: [http://www.oilgas.fi/files/260\\_HinnatjaverotSuomessa.pdf](http://www.oilgas.fi/files/260_HinnatjaverotSuomessa.pdf) [viitattu 1.6.2009]

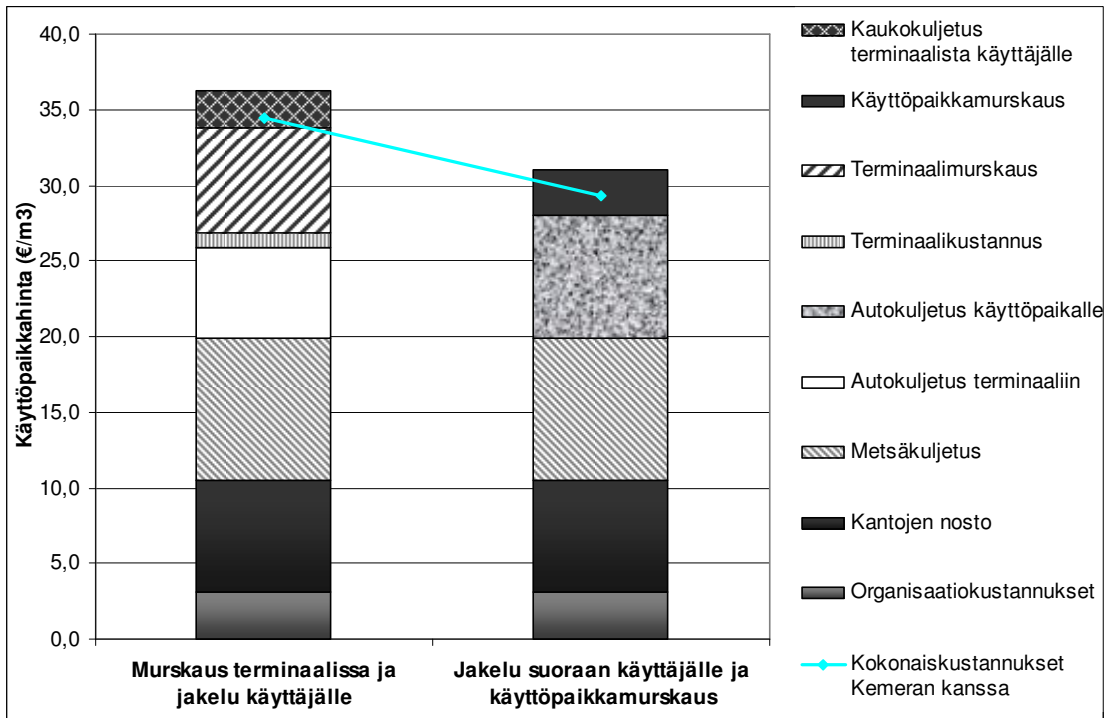


## Liitteet

**Liite 1.** Metsähakkeen käyttöpaikkahinnat  
 1.a.) Kuitupuuhakkeen käyttöpaikkahinnat

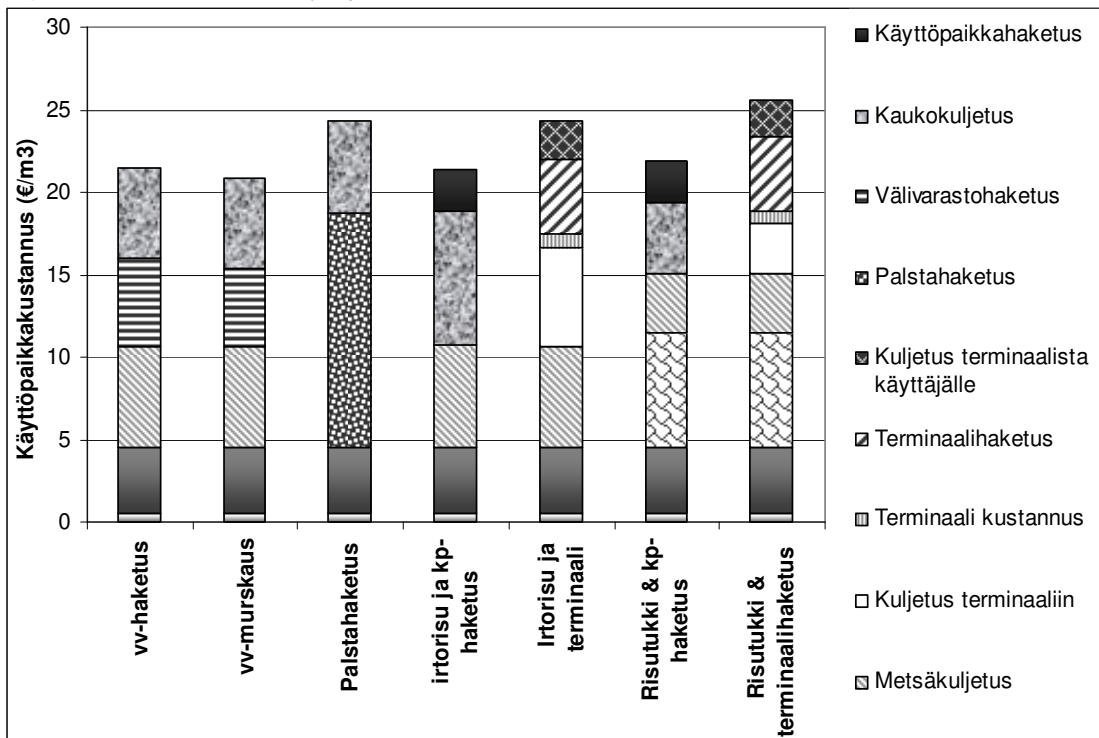


1.b.) Kantomurskeen käyttöpaikkahinnat

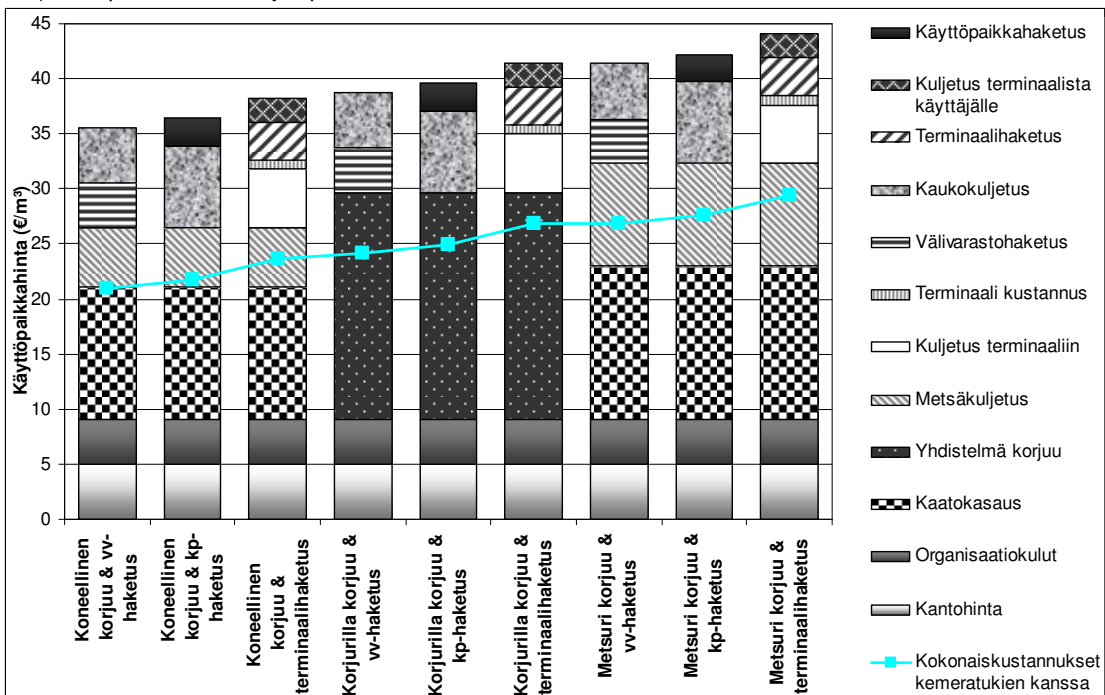




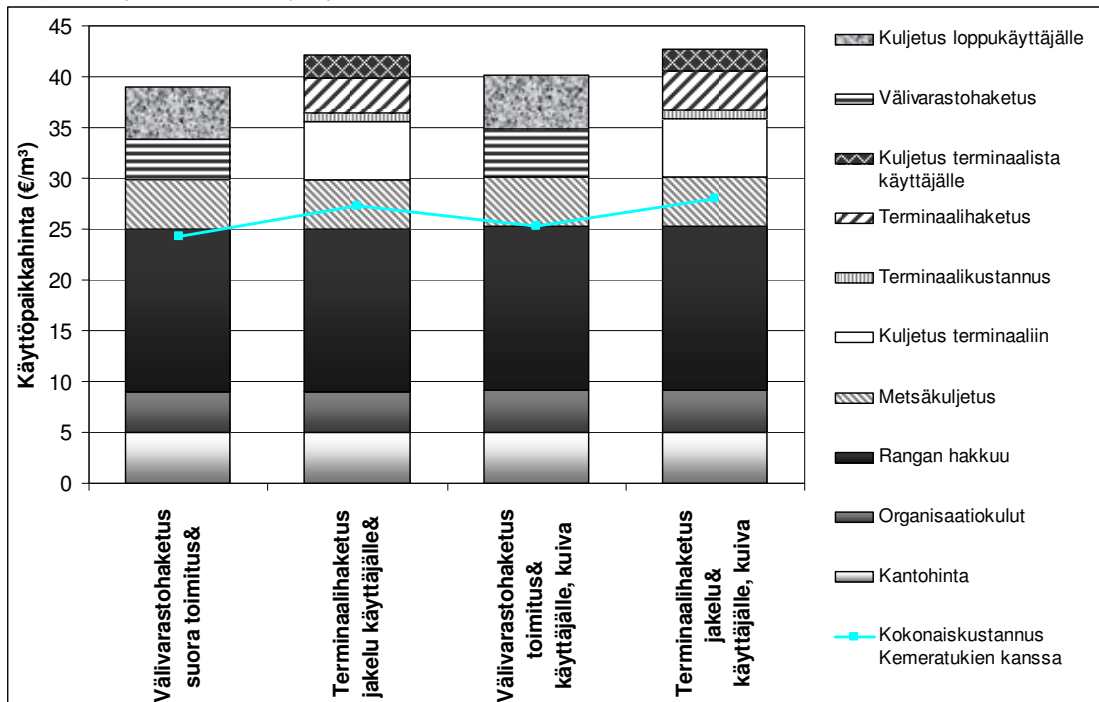
1.c.) Latvusmassahakkeen käyttöpaikkahinnat



1.d.) Kokopuuhaakkeen käyttöpaikkahinnat

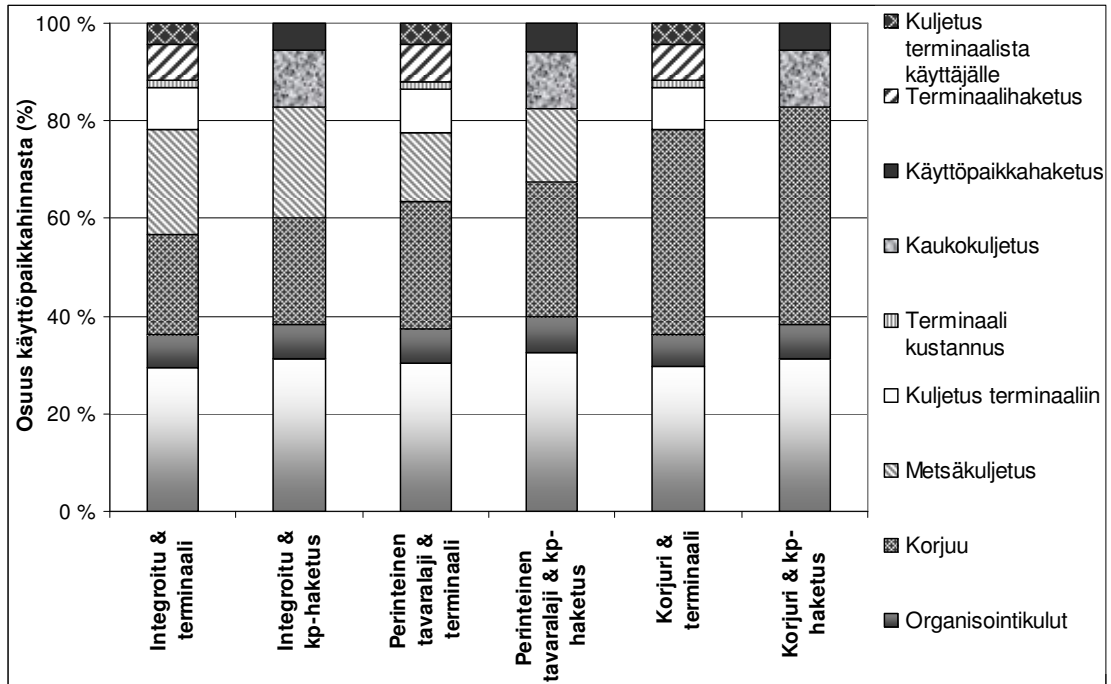


1.e.) Rankapuuhakkeen käyttöpaikkahinnat

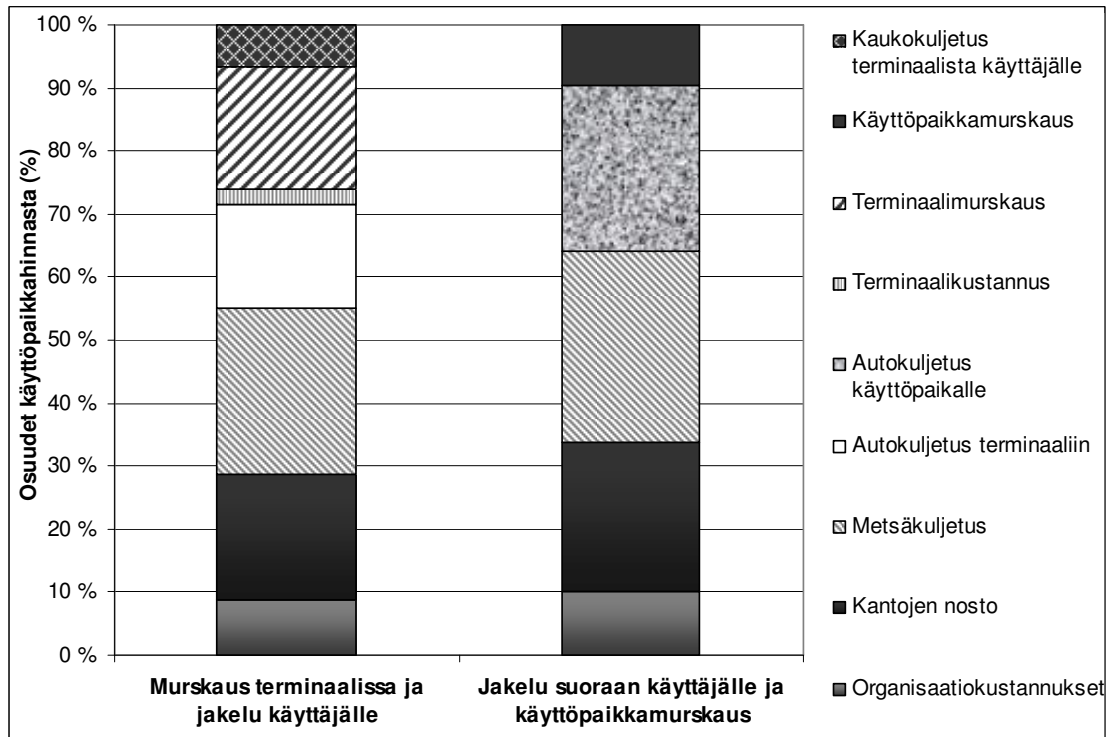


**Liite 2.** Eri kustannuslajien osuuden käyttöpaikkahinnasta

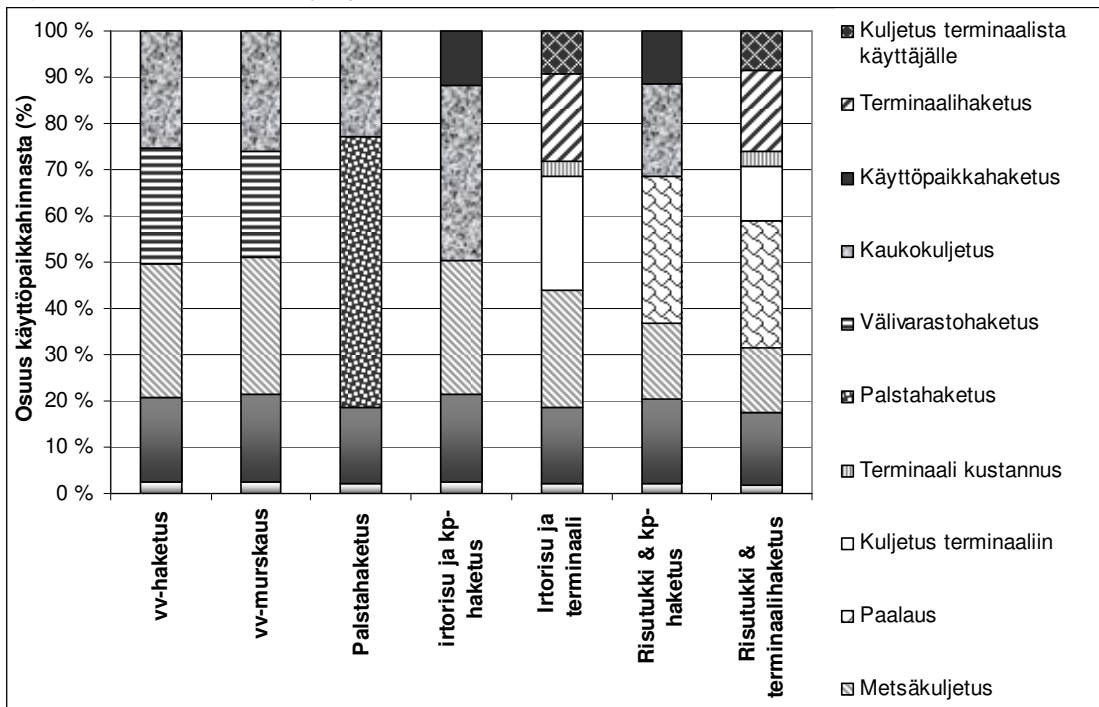
2.a.) Kuitupuuhakkeen käyttöpaikkahinnan kustannusrakenne



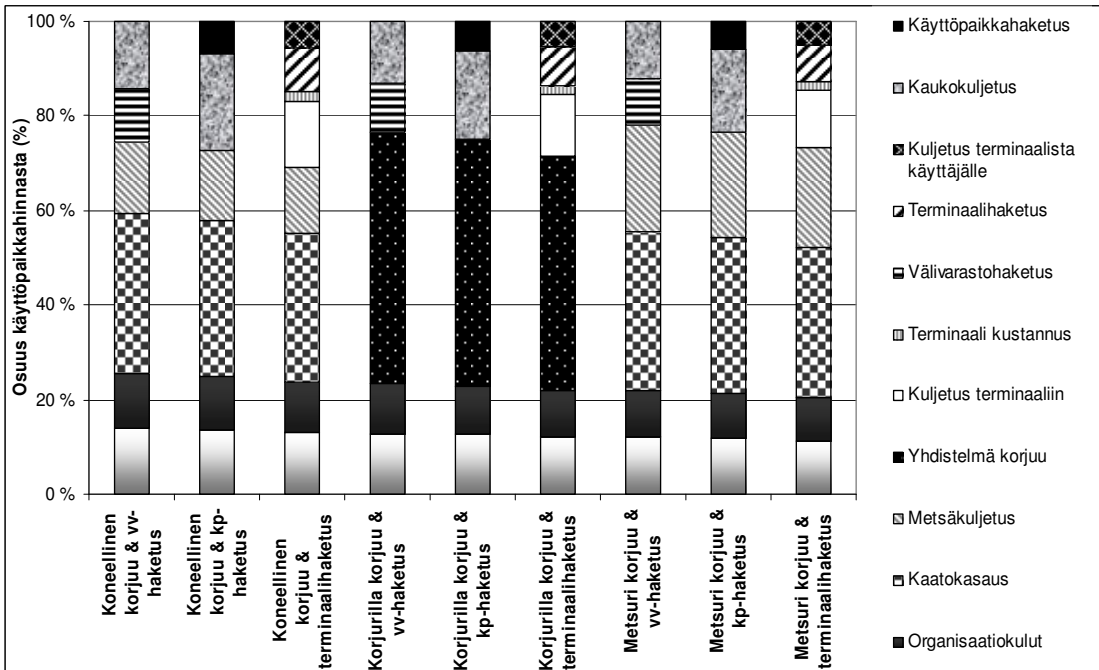
2.b.) Kantomurskeen käyttöpaikkahinnan kustannusrakenne



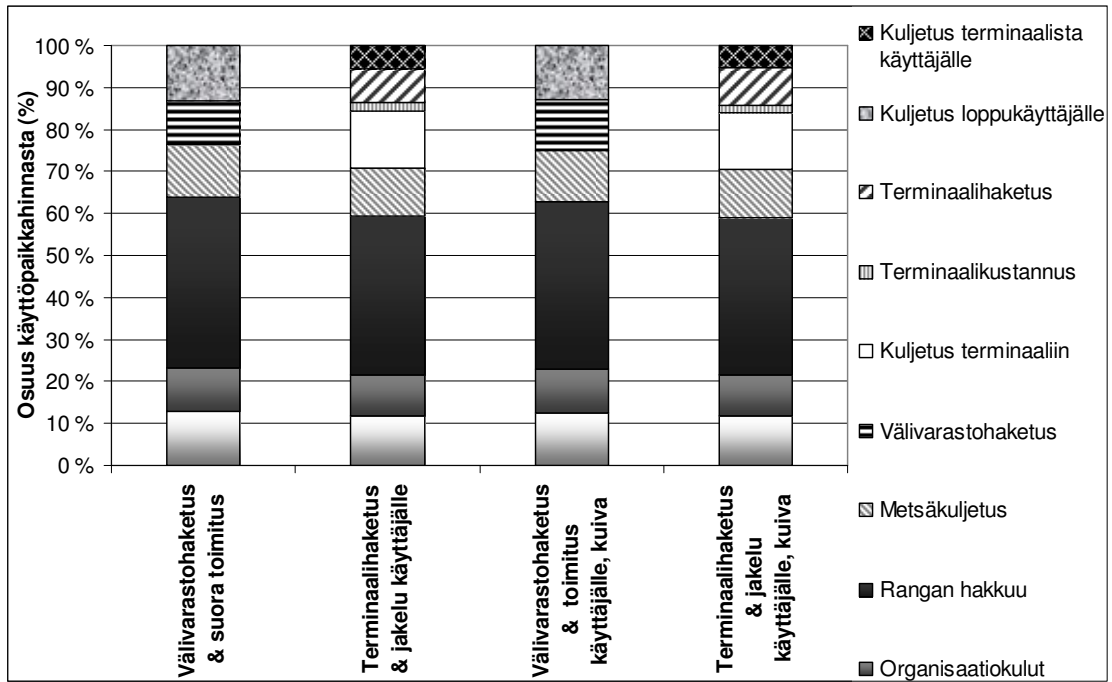
2.c) Latvusmassahakkeen käyttöpaikkahinnan kustannusrakenne



2.d.) Kokopuuhaakkeen käyttöpaikkahinnan kustannusrakenne



## 2.e.) Rankapuuhakkeen käyttöpaikkahinnan kustannusrakenne



**Liite 3.** CHP-energian omakustannushinnat eri polttoaineilla ja tuotantoketjuilla (kemera-tuet ja sähköntuotannon tuet huomioituna)

<b>Polttoaineen tuotantoketju</b>	<b>Kokonaishinta (välivarastokuiva/pals takuiva*/tuore)</b>	<b>Lämpö</b>	<b>Sähkö</b>
Kuitupuun integroitu korjuu & kp-haketus	52,33/ 55,88	52,49/ 55,02	53,22/ 56,38
Kuitupuun integroitu korjuu & terminaalihaketus	54,82/ 57,61	53,96/ 56,72	55,27/ 58,19
Kuitupuun koneellinen korjuu & kp-haketus	52,12/ 54,46	51,29/ 53,60	52,44/ 54,89
Kuitupuun koneellinen korjuu & terminaalihaketus	53,76/ 56,21	52,91/ 55,34	54,16/ 56,73
Kuitupuun korjuu korjurilla & kp-haketus	52,86/ 55,27	52,03/ 54,41	53,22/ 55,74
Kuitupuun korjuu korjurilla & terminaalihaketus	54,51/ 57,03	53,65/ 56,15	54,94/ 57,58
Kantojen nosto & terminaalihaketus	44,58/ -	43,82/ -	39,49/ -
Kantojen nosto & kp-haketus	42,27/ -	41,53/ -	37,07/ -
Latvusmassan Vv-haketus	39,50/ 39,75/ 40,15	38,79/ 39,04/ 39,44	34,18/ 34,44/ 34,86
Latvusmassan Vv-murskaus	38,51/ 38,75/ 40,11	37,81/ 38,05/ 39,39	33,14/ 33,40/ 34,81
Latvusmassan palstahaketus & kuljetus tehtaalle	40,47/ -/ 41,67	39,75/ -/ 40,94	35,19/ -/ 36,45
Latvusmassan terminaalihaketus	40,93/ 40,12/ 41,64	40,21/ 39,41/ 40,91	35,67/ 34,83/ 36,41
Latvusmassan kp-haketus	38,46/ 38,27/ 40,07	37,76/ 37,58/ 39,35	33,09/ 32,89/ 34,72
Risutukkimenetelmä ja terminaalihaketus	40,70/ 42,21/ 42,33	39,98/ 41,47/ 41,60	35,43/ 37,01/ 37,14
Risutukkimenetelmä & kp-haketus	38,99/ 40,82/ 40,38	38,29/ 40,10/ 39,66	33,64/ 35,56/ 35,10
Kokopuun koneellinen korjuu & vv-haketus	39,52/ 40,90	38,81/ 40,17	34,20/ 35,64
Kokopuun koneellinen korjuu & kp-haketus	39,67/ 41,35	38,96/ 40,62	34,35/ 36,11
Kokopuun koneellinen korjuu & terminaalihaketus	40,49/ 42,33	39,77/ 41,60	35,21/ 37,14
Kokopuun korjuu korjurilla & vv-haketus	41,05/ 42,63	40,32/ 41,89	35,79/ 37,45
Kokopuun korjuu korjurilla & kp-haketus	41,19/ 43,07	40,47/ 42,32	35,95/ 37,91

---

Kokopuun korjuu korjurilla & terminaalihaketus	41,97/ 44,05	41,23/ 43,30	36,76/ 38,94
Kokopuun metsurikorjuu & vv- haketus	42,31/ 44,04	41,57/ 43,29	37,12/ 38,93
Kokopuun metsurikorjuu & kp- haketus	42,49/ 44,49	41,72/ 43,74	37,27/ 39,40
Kokopuun metsurikorjuu & terminaalihaketus	43,19/ 45,48	42,45/ 44,71	38,04/ 40,43
Rankapuun koneellinen korjuu & vv-haketus	40,87/ 42,37	40,14/ 41,63	35,60/ 37,17
Rankapuun koneellinen korjuu & terminaalihaketus	42,68/ 43,98	41,94/ 43,23	37,50/ 38,87

---

\*Latvussmassahakkeen tuotantoketjuissa

