

Kustannustekijöiden vaikutukset pelletintuotannon arvoketjuissa

Tanja Ihalainen & Lauri Sikanen



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

Julkaisija

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

Tekijät Ihalainen, Tanja & Sikanen, Lauri			
Nimeke Kustannustekijöiden vaikutukset pelletintuotannon arvoketjuissa			
	Sivumäärä 27 s. + 3 liitettä	ISBN 978-951-40-2271-5 (PDF)	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Joensuun tutkimusyksikkö / 343201, Metsäenergia-hanke			
Hyväksynyt Leena Paavilainen, 16.11.2010			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pelletintuotannon kustannusrakenne ja analysoida myös toimitusketjun kustannusrakennetta. Tutkimuksessa tarkasteltiin vuosikapasiteetiltaan 21 600 tn:n pellettitehtaan kustannusten muodostumista ja tutkittiin eri kustannustekijöiden vaikutusta lopulliseen pelletin omakustannushintaan. Tavoitteena oli vertailla eri raaka-aineilla tuotettavien pellettien kustannuseroja ja kannattavuutta.</p> <p>Laskenta suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusyksikössä kehitettyjen hakelaskureiden, kirjallisuuden ja asiantuntijahaastatteluiden avulla. Kustannustekijöiden vaikutusta kokonaiskustannuksiin ja kannattavuuteen tarkasteltiin herkkyysanalyysillä.</p> <p>Herkkyysanalyysin perusteella raaka-aineen käyttöpaikkakustannuksilla ja kosteuspitoisuudella sekä laitoksen huipunkäyttöajan muutoksilla on eniten merkitystä pelletin omakustannushinnan muodostumisen kannalta.</p> <p>Alhaisimmat kustannukset ja paras tuotto tutkituista pelletintuotantoketjuista saatiin, kun raaka-aineena käytettiin kuivaa kutterinlastua tai sahanpurua. Kuitupuuhakkeen käyttö pelletintuotannon raaka-aineena oli kustannusanalyysissä kannattavaa, mutta kuitupuupohjaisen pelletin kokonaiskustannukset (€/t) olivat noin 28 % korkeammat verrattuna sahanpurupohjaisen pelletin tuotantokustannuksiin.</p> <p>Jos puupohjaisen raaka-aineen kuorinta ei ole tarpeen pelletin laadun kannalta, ei kuitupuumittaisen puutavaran käyttö pelletin raaka-aineeksi ole taloudellinen vaihtoehto sen korkean kantohinnan vuoksi. Laitoksilla, joissa on mahdollista valmistaa pellettejä kuorimattomasta raaka-aineesta, kustannustehokkain vaihtoehto olisi käyttää esimerkiksi rankahaketta nuorten metsien kunnostuskohteilta.</p> <p>Julkaisu on tuotettu osana Euroopan Sosiaalirahaston osittain rahoittamaa METSÄENERGIA-hanketta, jota ovat rahoittaneet myös Joensuun seudun kehitysytio JOSEK Oy sekä Pohjois-Karjalan ELY-keskus.</p>			
Asiasanat Metsäenergia, pelletti, raaka-aine, arvoketju, kuitupuu, pelletintuotanto, pelletointi, kannattavuus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp181.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Tanja Ihalainen, Itä-Suomen Yliopisto, PL 68, 80101 JOENSUU, tanja.ihalainen@metla.fi			
Muita tietoja			

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Kustannusten laskentaperusteet raaka-aineiden hankinnassa.....	5
2.1. Kuitupuun tuotannon kustannuslaskenta	6
2.2. Leimikkotekijät.....	6
2.3 Konekustannustekijät.....	7
3. Korjuu- ja kuljetuskustannusten määrittäminen kuitupuun tuotantoketjuissa ..	7
3.1 Kone- ja työkustannukset	7
3.2. Koneiden käyttötuntikustannukset ja ajanmenekkimallit	10
3.3. Muut kustannuksiin vaikuttavat tekijät.....	11
4. Kustannusten laskentaperusteet pelletin tuotannossa	11
4.1 Energiankulutus pelletintuotannon eri vaiheissa.....	12
4.1.1 Energiantuotannon ja kuivurin polttoainekustannukset.....	13
4.2 Energiatase.....	14
5. Pelletin tuotannon kustannukset	14
5.1 Kiinteät kustannukset.....	14
5.1.1 Pääomakustannukset.....	14
5.1.2 Henkilöstökustannukset ja muut kiinteät käyttökustannukset	15
5.2 Muuttuvat käyttökustannukset	15
5.2.1 Raaka-ainekustannukset	15
5.2.2 Kaukolämmön tuotannosta aiheutuvat kustannukset.....	16
6. Pelletintuotannon kustannusrakenne	16
7. Kuitupuupohjaisen pelletintuotannon herkkyyshanalyysi ja eri tekijöiden vaikutus pelletin omakustannehintaan ja kannattavuuteen	18
8. Pelletintuotannon kannattavuus eri tuotantoketjuilla	23
LÄHTEET	25
LIITTEET	28

1. Johdanto

Puupelletit sekä tätä suuremmat brikitit ovat yleensä mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista kuten sahanpurusta ja kutterinlastuista tehtyjä sylinterinmuotoisia polttoainepuristeita. Puupellettien käyttö lisääntyy erityisesti Euroopassa uusiutuvan energian käytön edistämisen myötä. Pellettien etuna on suuri energiatiheys tilavuutta kohti. Pelletti on hyvin tiivis polttoaine ja se sisältää painoonsa nähden enemmän energiaa kuin esimerkiksi sahanpuru tai polttohake, mistä johtuen sen kuljetus- ja varastointikustannukset ovat edullisemmat (Wolf et. al 2006). Irtokuutiometrissä metsähaketta on energiaa noin 1 MWh kun sen sijaan pelletissä energiasisältö on noin 3,2 MWh.

Pelletistä on tullut tärkeä osa Euroopan energiahuoltoa ja pelletillä on jo globaalit markkinat. Pellettejä tuodaan Eurooppaan erityisesti Pohjois-Amerikasta ja tulevaisuudessa entistä enemmän Venäjältä. Jos pelletin raaka-aineena käytetään yksinomaan saha- ja puutuoteteollisuuden sivutuotteita, riippuu polttoaineen saatavuus erittäin suhdanneherkän teollisuudenalan tuotannon volyyminä. Siksi on erittäin tärkeää tarkastella metsäpohjaisten raaka-aineiden käytettävyyttä suoraan pelletin tuotannossa. Myös metsäpohjaisista raaka-aineista kuten runkopuusta, kuoresta tai hakkuutähteistä puristetaan pellettejä, mutta Suomessa metsäpohjaisten raaka-aineiden käyttö pelletin valmistuksessa on vähäisempää teollisessa mittakaavassa. Sen sijaan Pohjois-Amerikassa ja Ruotsissa on pellettitehtaita, joiden raaka-aine on runkopuuta. Valmiin pelletin kosteusprosentti on noin 6-10 % ja tuhkapitoisuus alle 0,7 %. Tuhkapitoisuus on ollut yksi rajoittavimmista tekijöistä pelletin raaka-ainepohjaa laajennettaessa, sillä korkea tuhkapitoisuus aiheuttaa ongelmia pienkäyttäjille. Sen sijaan teollisuuskäytössä ja esimerkiksi suurissa CHP-laitoksissa ei tuhkapitoisuus muodosta ongelmaa raaka-ainepohjaltaan monimuotoisemman pelletin käytölle.

2. Kustannusten laskentaperusteet raaka-aineiden hankinnassa

Tutkimuksessa tarkasteltiin 21 600 t:n pellettitehtaan kustannusrakennetta ja tutkittiin eri kustannustekijöiden vaikutusta lopulliseen pelletin omakustannushintaan. Tavoitteena oli vertailla metsäpohjaisen pelletintuotannon kustannusrakennetta ja kannattavuutta sahanpurulla tuotettavan pelletin kustannustasoon. Tässä tapauksessa metsäpohjaisella raaka-aineilla tarkoitetaan ensisijaisesti ensiharvennusmittaista kuitupuuta.

Kustannusanalyysissa kustannustekijät jaettiin leimikkotekijöihin sekä kone- ja prosessikustannustekijöihin. Leimikkotekijöillä tarkoitetaan leimikon sijainnista, koosta tai korjattavan puuston muutoksista aiheutuvia kustannuseroja eri toimitusketjujen välillä. Konekustannustekijöillä tarkoitetaan lähinnä koneiden käyttötuntikustannuksia. Konekustannus- ja leimikkotekijöiden vaikutusta eri toimitusketjujen kustannuksiin tutkittiin herkkyyksianalyysin menetelmin Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun yksikössä kehitettyjen hakelaskureiden avulla, jolloin saatiin selville niiden absoluuttinen ja suhteellinen vaikutus kuitupuun käyttöpaikkakustannuksiin ja myöhemmin pelletin omakustannushintaan.

Prosessikustannustekijöitä ovat esimerkiksi kuivausenergiankulutus ($\text{kWh}/t_{\text{vettä}}$) ja huipunkäyttöaika. Prosessikustannustekijöitä tutkitaan pelletointiprosessille kehitetyllä kustannuslaskurilla.

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

2.1. Kuitupuun tuotannon kustannuslaskenta

Kuitupuun käyttöpaikkahinta muodostuu kanto hinnasta, organisaatiokustannuksista, korjuu- ja metsäkuljetuskustannuksista ja kaukokuljetuksesta aiheutuvista kustannuksista (kuva 1). Kustannuksiin ja korjuun tuottavuuteen vaikuttavat myös leimikkotekijät, kuten korjattavien runkojen järeys, leimikon kokonaiskertymä sekä metsäkuljetusmatka (Lauhanen & Laurila 2007). Koneiden käytöstä ja tuottavuudesta johtuvat kustannustekijät vaikuttavat myös lopullisen käyttöpaikkahinnan muodostumiseen.



Kuva 1. Metsäenergian tuotannon arvoketjut ja käyttöpaikkahinnan muodostuminen

Kuitupuun hankinnassa ja 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).

2.2. Leimikkotekijät

Kustannuslaskennassa annettiin vakioarvot kaikkia toimitusketjuja koskeville leimikkotekijöille vertailun mahdollistamiseksi eri ketjujen välillä (Taulukko 1). Vakioitavia leimikkotekijöitä olivat leimikon koko, metsäkuljetusmatka, puuston tilavuus ja kertymä leimikolla.

Herkkyysanalyysissä tutkittiin kaukokuljetusmatkan, terminaalikuljetusmatkan sekä kosteusprosentin vaikutusta kuitupuun käyttöpaikkahintaan. Organisaatiokulut olivat kaikilla ketjuilla 3,15 euroa/m³, eikä niiden määrää muunneltu (Metsäteho 2009).

Taulukko 1. Leimikkotekijät ja näiden vaihteluvälit eri toimitusketjuilla

Leimikon koko (ha)	2
Metsäkuljetusmatka (m)	200
Puuston kokonaiskertymä	60 m ³ /ha
Puuston tilavuus	90 dm ³
Varastointiaika, kk	1-2
Kosteusprosentti	40 %, (25 – 40)
Kaukokuljetusmatka (km)	50 (50-150)
Matka terminaaliin (km)	20 (15-30)
Matka terminaalista loppukäyttäjälle (km)	15 (5-20)

Pelletin raaka-aineena käytetään kuivaa sahanpurua (11 %), kosteaa sahanpurua (55 %) tai tehtaalla kuoritusta kuitupuusta valmistettua haketta, joko kuivuneena 40 %:n kosteuteen tai tuoreena (50 %). Sahanpurun hintatiedot ovat helmikuun 2010 koko maan keskiarvoja. Kuivalle kutterinlastulle ja märälle sahanpurulle käytetään samaa hintaa, 17,7 €/MWh (Puupolttoaineiden hintaseuranta, Pöyry 2010). Hakkeen hintana käytetään hakelaskureiden kautta saatavia käyttöpaikkakustannuksia kuitupuulle ja rankahakkeelle. Kantohinnan vakioarvoksi asetettiin kuitupuulle 14 €/m³. Herkkyysanalyysissä kantorahan arvoa muunneltiin välillä 12-20 €/m³ ja sahanpurun ja kutterinlastun hintoja välillä 10-20 €/MWh. Kaksisuuntaisessa herkkyysanalyysissä muunneltiin molempien raaka-aineen hintoja tehtaalla välillä 12-24 €/MWh vertailun mahdollistamiseksi.

Lasketuille pelletin kustannuksille asetetaan 5 %:n voittomarginaali, joka vastaa yrityksen asettamaa voittomarginaalia ja tulostavoitetta. Kustannuslaskelman omakustannushintoja verrataan tämän hetken pelletin markkinahintoihin.

2.3 Konekustannustekijät

Konekustannusten rakenne on riippuvainen korjattavasta energiapuusta sekä kaukokuljetuksesta, mutta myös yleisestä polttoaineiden hintatasosta, koska työkoneiden 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 4. 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 kuitupuun tuotantoketjuissa

3.1 Kone- ja työkustannukset

Korjuukustannuslaskenta aloitettiin määrittelemällä korjuukoneiden käyttötuntikustannukset. Hakelaskureissa alun perin olleet käyttötuntikustannukset päivitettiin mm. polttoainekustannusten, palkkojen sekä korkokustannusten osalta (Laitila 2005). Laskennassa hakkuukoneiden ja korjureiden laskennallisena pitoaikana käytettiin 13000 tuntia. Kuormatraktoreiden laskennallisena pitoaikana käytettiin 15 000 tuntia (Väättäinen ym. 2007). Hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden vuotuinen käyttöaika oli noin 2600 tuntia (+100 tuntia). Pääomakustannusten laskennassa käytettiin 5 %:n korkokantaa, ja koneiden jälleenmyyntiarvoksi arvioitiin 23 % uushankintahinnasta (Väättäinen ym. 2007). Puutavara-auton käyttötuntikustannukset perustuivat menopaluu-kuljetus-malliin (MEPA), jossa puutavara-auton tuntikustannukset laskettiin 50 km:n kuljetusmatkalle ja 3600 tunnin vuotuiselle käyttöajalle. Puutavara-auton pitoajaksi arvioitiin 6 vuotta ja jäännösarvoksi 23 % hankintahinnasta (Väättäinen ym. 2007).

Taulukossa 2 esitetään tiedot koneiden hankintahinnoista, toiminnallisesta käyttöasteista sekä käyttötuntikustannuksista. Kaukokuljetusajoneuvoilla käyttötuntikustannus laskettiin erikseen ajolle, sekä kuorman teolle ja purkamiselle (Taulukko 2). Korjuukoneiden ja koneketjujen tuottavuudet ja korjuukustannukset perustuvat tässä raportissa esitettyihin ajanmenekki-funktioihin sekä tuntikustannus- ja tuottavuustietoihin (Taulukot 2 ja 4).

Taulukko 2. 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
Korjuri	350 000	83	72,0
Kevyt kuormatraktori	223 000	85	59,2
Raskas kuormatraktori	254 000	90	61,3
Puutavararekka	221 000	90	
- Ajo			59,6
- Kuormaus & purku			48,0

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 työehtosopimusehtojen mukaan (Taulukko 3). 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 3. 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)		

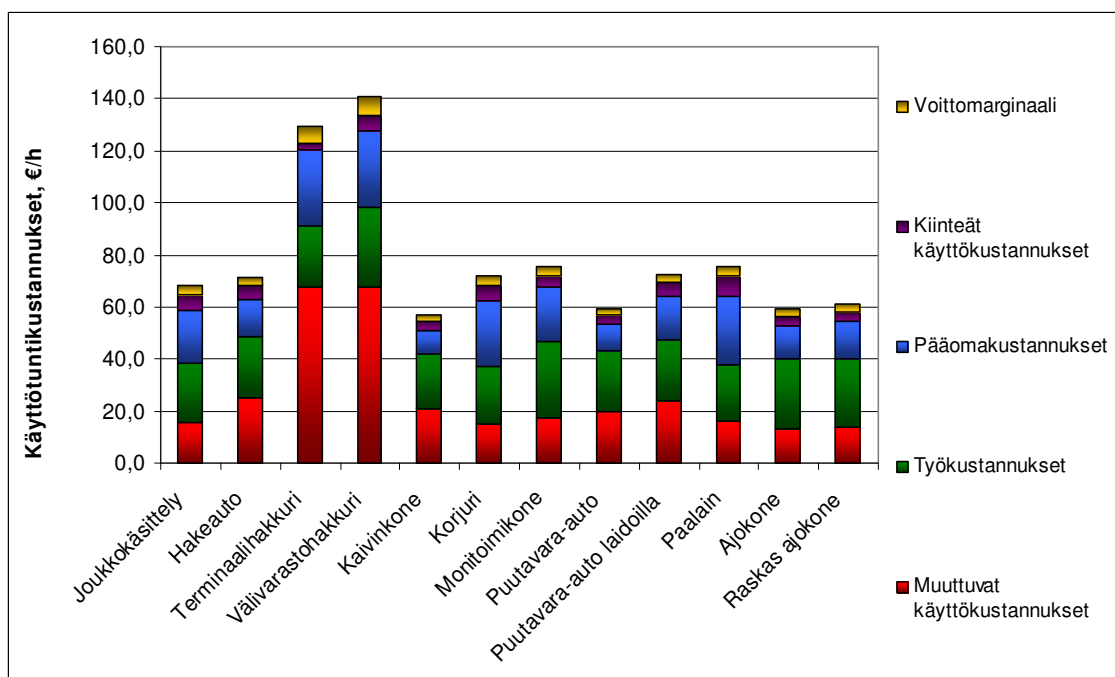
Käyttötuntikustannuksia laskettaessa hakkuukoneen kuljettajan tuntipalkaksi arvioitiin 11,60 €/h. Yhdistelmäkoneen eli korjurin, paalaimen, ajokoneen sekä metsäenergian korjuun tuntipalkaksi arvioitiin 11,00 €/h.

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 €/m³, mikä vastaa tehtaalle toimitetun kotimaisen raakapuun hankinnan yleiskustannustasoa vuonna 2008 (Metsäteho 2009).

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.

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 herkkyysanalyysillä.

3.2. Koneiden käyttötuntikustannukset ja ajanmenekkimallit

Tässä tutkimuksessa käytettiin erillistä kuitupuun laskentaohjelmaa, joka kehitettiin hakelaskurin pohjalle muuntamalla tuottavuutta ja ajanmenekkiä ainespuun korjuulle (Laitila 2005, Väätäinen ym. 2007, Heikkilä ym. 2005, Väkevä ym. 2001).

Ainespuun korjuussa vertailtiin integroitua korjuuta (yhdistetty energia- ja ainespuun korjuu), ainespuun korjuuta korjurilla (ainespuun korjuu ja metsäkuljetus yhdellä koneella joukkokäsittelyominaisuutta hyödyntäen) sekä perinteistä tavaralajimenetelmää (ensiharvennushakkuu harvennuskoneella ja metsäkuljetus kuormatraktorilla). Kertymä leimikolla oli 50 m³ ja tilavuus 80 dm³ ainespuulle ja 17 dm³ ainespuun mitat alittaville energiapuuruungoille (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 tuottavuus perustui harvennuskoneen ajanmenekkimalliin, jossa tehoajanmenekki muunnettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,39 (Taulukko 4). Ensiharvennusleimikolla, jossa rungon keskitilavuus oli 90 dm³ ja ainespuukertymä noin 60 m³, mallin laskema perinteisen tavaralajimenetelmän tuntituottavuus oli noin 7,26 m³ käyttötunnissa.

Korjurin ajanmenekkimallissa ainespuun hakkuu ja metsäkuljetus tapahtuu yhdellä koneella. Ajanmenekki perustui Väätäisen ym. (2007) malliin, jossa tavaralajimenetelmän ajanmenekkimallia on korjattu kiinteäkuormatilaisen korjurin kertoimilla vastaamaan yhdistelmäkoneseen hakkuutapaa. Korjurin ajanmenekkimallissa tehoajanmenekki muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,30 (Jylhä ym. 2006b). Mallissa käyttötuntituottavuus korjurilla oli noin 3,92 m³ käyttötunnissa, joka oli hieman alhaisempi kuin energiapuun korjuun käyttötuntituottavuus.

Integroidun hakkuun (yksipuun korjuu) tuottavuudet perustuivat harvennuskoneen ajanmenekkimalliin, jossa integroitu hakkuu sisälsi yhteenlasketun ainespuun hakkuun, latvakappaleiden hakkuun ja pienpuiden hakkuun ajanmenekin (Heikkilä ym. 2005). Koneen tehoajanmenekki muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,39. Integroidun hakkuun yhteenlaskettu tehotuntituottavuus oli 8,4 m³ käyttötunnissa, kun ainespuurungon keskitilavuus oli 90 dm³, pienpuun 17 dm³ ja latvusten 10 dm³. Käyttötuntituottavuus on lähellä aiempien tutkimuksien käyttötuntituottavuuksia vastaavilla tilavuuksilla (Heikkilä ym. 2005).

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 m³ kaikilla korjuumenetelmillä. Ainespuun korjuussa tehotuntituottavuudet muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,302 (Taulukko 4).

Taulukko 4. Metsäkuljetuksen, hakkuun, paalauksen ja kantojen noston kustannusten laskennassa käytetyt arvot

Materiaali	Kuormakoko, metsäkulj. m ³	Käyttötuntikerroin: metsäkuljetuksessa	Käyttötuntikerroin: hakkuu tai nosto	Tilavuus, dm ³
Kuitupuu				
Integroitu	11,0	1,3	1,39	90
Tavaralaji	11,0	1,3	1,39	90
Korjuri	11,0	-	1,30	90

Autokuljetuksen kuormattuna ja tyhjänä ajon ajanmenekki laskettiin Rannan (2002) ajanmenekkimalleilla kuljetusmatkan mukaan. Puutavara-auton käyttötuntikustannukset perustuivat menopaluu kuljetus-malliin (MEPA), jossa puutavara-auton tuntikustannukset laskettiin 50 km:n kuljetusmatkalle. 20 tonnia painavaan puutavara-autoon sopii ainespuuta 45 - 55 m³, eikä auton kokonaispaino saa ylittää 60 tonnia. Menopaluu kuljetuksissa tyhjänä ajon osuus minimoidaan, mutta hyötykuorma pienenee 2-3 tonnia, koska kuormainta on välttämätöntä kuljettaa mukana edellisen ja seuraavan kuormauksen tapahtuessa eri varastopaikoissa.

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.

4. Kustannusten laskentaperusteet pelletin tuotannossa

Peruslaskelmassa kuitupuusta tuotettiin kuoretonta ykkösluokan pellettiä. Kustannusanalyysissa kuorettoman kuitupuupohjaisen pelletin tuotannon kustannusrakennetta verrattiin kuorellisen kuitupuupelletin tuotantokustannuksiin sekä muihin tutkittuihin tuotantomenetelmiin.

Pelletintuotannon kustannuksista pääosa koostuu raaka-ainekustannuksista sekä energiakustannuksista kuten kuivauslämmöstä sekä pelletoinnin ja vasaramyllyn vaatimasta sähköenergiasta. Pääomakustannukset ja henkilöstökustannukset ovat raaka-aine- ja energiakustannusten jälkeen merkittävimmät kustannuserät.

Pellettitehtaan teknis-taloudellisten parametrien (Taulukko 5) määrittelyssä hyödynnettiin aiempia kustannusanalyseja ja kannattavuuslaskelmia vastaavankokoisille laitoksille (Thek & Obernberger 2004, Zakrisson 2002). Pellettitehdasta koskevat investointilaskelmat koottiin laitevalmistajilta sekä VTT:n julkaisuista (AS Hekotek 2009, Wiik et. al 2008).

Taulukko 5. Pelletitehtaan teknis-taloudelliset parametrit

Laitoksen vuosituotos	21 600 t
Huipun käyttöaika	6000 h
Pitoaika	20 v
Hyötysuhde	90,0 %
Raaka-aineet	Kuiva sahanpuru/kutterinlastu: 216 000 i-m ³ Märkä sahanpuru: 151 200 i-m ³ Metsäpohjaiset raaka-aineet: Kuitupuu: ~ 55 600 m ³ Hake: ~120 000 i-m ³
Investointikustannus	1,5 – 3,1 MEUR
Valmiin tuotteen loppukosteus	11 %

Raaka-aineen tarve pellettointiprosessissa on johdettu em. keskimääräisten kulutuskeskiarvojen kautta (Taulukko 5). Yhden pellettitonin valmistaminen vaatii (Kytö & Äijälä 1981b):

- n. 7 i-m³ sahanpurua (kosteus 50-55%)
- n. 10 i-m³ kutterinlastua (kosteus 10-15 %)
- n. 5,5 i-m³ haketta (kosteus 25 -50 %).

Pelletitehtaan tuntituotoksen tulisi olla vähintään 3 t/h, että tehtaan toiminta olisi kannattavaa, ja koneiden toiminta-aste olisi taloudellinen (Pastre 2002). Tällöin tehdasta kannattaisi pitää yllä keskeytymättömässä kolmivuorossa läpi vuoden huipunkäyttöajalla 8000 tuntia. Tehtaat, jotka tuottavat 10 000–20 000 t/a, toimivat viisipäiväisesti kolmivuorotyössä, jolloin henkilöitä on yleensä 8. Kysynnästä riippuen myös suuret tehtaat toimivat viisipäiväisesti kolmivuorotyössä tai jatkuvassa kolmivuorossa, jolloin henkilökuntaa on 10–13 henkilöä (Halonen ym. 2003).

Tässä tutkimuksessa tuntituotokseksi on asetettu 4 t/h ja huipunkäyttöajaksi 6000, jolloin koneiden kapasiteettiaste on taloudellinen. Pelletitehtaan vuotuinen tuotanto on tällöin 21 600 tonnia vuodessa, kun laitoksen hyötysuhde on 90 %.

4.1 Energiankulutus pellettintuotannon eri vaiheissa

Eniten energiaa kuluttavat kuivaus, jauhatus ja pelletin puristus rengasmatriisissa. Kuivauksen käyttämästä energiasta 10 % on sähköä ja 90 % lämpöä. Energiankulutus pelletinvalmistuksessa on riippuvainen pellettitehtaan kokonaiskapasiteetista, käytettävästä raaka-aineesta, sen kosteudesta ja laitosteknologisista ratkaisuista (Taulukko 6).

Kuivauksessa käytetään yleisesti rumpukuivureita, jotka kuivaavat raaka-aineen esimerkiksi öljyllä tuotetuilla savukaasuilla tai kattilan savukaasujen avulla. Höyrykuivurit vastaavasti käyttävät esimerkiksi CHP-laitoksen väliottohöyryä. Kuivauksessa tarvittavan energian määrä on riippuvainen käytettävästä kuivurityypistä ja sen käyttämästä polttoaineesta sekä raaka-aineen kosteudesta. Molemmissa kuivurityypeissä ominaissähkökulutus on noin 40 kWh/t (Flyktman 2001). Rumpukuivurin keskimääräinen lämpöenergiankulutus on noin 870-950 kWh/tvettä ja tuntikapasiteetti noin 3 t/h (Wimmerstedt 1999, Pastre 2002).

Kostean sahanpurun oletuskosteusprosentti laskennassa on 55 %, välivarastokuivatun metsähakkeen 40 % ja tuoreen hakkeen 50 %. Valmiin tuotteen loppukosteus on 11 % (Taulukko 6). Lämpöenergian tarve (C) lasketaan tällöin raaka-aineen kosteuspitoisuuden ja kuivurin energiankulutuksen (Q) ja kapasiteetin funktiona:

$$C = \text{Alkukosteus}(\%) - \text{Loppukosteus} * \text{Energiankulutus}(kWh/t) * \text{Tuntikapasiteetti}(h/t)$$

Kosteuden vaikutusta energiankulutukseen on tutkittu varioimalla kosteuspitoisuutta raaka-aineissa. Keskimääräinen lämpöenergian kulutus eri raaka-aineilla on taulukon 6 mukainen.

Taulukko 6. Lämpöenergian kulutus kuivauksessa

Raaka-aine, kosteuspitoisuus (%)	Lämpöenergian kulutus (kWh/t)	Lämpöenergian tarve kuivauksessa (kWh/t)
Kuiva sahanpuru, 11 %	(Ei kuivata)	(Ei kuivata)
Kostea sahanpuru, 55 %	370	~ 1112
Välivarastokuivattu metsähake, 40 %	275,5	~ 826
Tuore hake, 50 %	418	~ 1254

Pelletoinnin kokonaisenergiankulutukseksi on useissa tutkimuksissa ja alan selvityksissä mainittu 150 kWh/t. Metsäpohjaisista biomassoista valmistettavan pellettituotannossa kuoriminen ja haketus lisäävät energiankulutusta merkittävästi, jos nämä prosessit integroidaan pelletinvalmistukseen, eikä haketta tuoda esimerkiksi terminaalista. Metsäbiomassojen jauhatu- ja vasaramyllyssä nostaa energiankulutusta 1,7-3,5 –kertaiseksi hienojakoisempiin biomassoihin kuten sahanpuruun verrattuna (Gil et. al 2008). Tässä tutkimuksessa metsähakkeen jauhatukselle käytetään kerrointa 1,7.

Kuorimisen energiankulutus on riippuvainen kuorimolinjan teknologiasta. 21 600 tonnin pellettitehtaan yhteyteen ei ole taloudellisesti järkevää investoida kuorimarumpua, koska rummun kapasiteetti jäisi liian alhaiseksi. Rotaatiotyypinen kuorimolinja soveltuu paremmin pienemmän kokoluokan laitoksille (Salminen, M. suull. tieto 2009). Kuorimon keskimääräinen energiankulutus on noin 11,25 kWh/t (Wood Industry Suppliers 2010, Hekotek AS 2009). Yhtenä vaihtoehtona kuorinnalle voisi olla Pohjois-Amerikassa yleisesti käytetty ketjukuorintamenetelmä, jossa kuori poistetaan piiskaamalla runkoja nopeasti pyörivillä ketjukimpuilla (Kuitto ja Rieppo 1993).

Hakettimena keskiuurella pellettitehtaalla on mahdollista käyttää esimerkiksi levy- tai rumpuhakkuria. Tässä tutkimuksessa haketuksen energiankulutus 182,5 kWh/t perustuu kiinteän rumpuhakkurin energiankulutukseen (Hekotek AS 2009, Heinola Sawmill Machinery 2010).

Muut pelletin valmistuksen vaiheet, pakkaus, jäähditys ja erilaiset kuljettimet ja mahdollinen hakkeen esiseulonta muodostavat yhteensä 10-18 % kokonaissähkönkulutuksesta.

4.1.1 Energiantuotannon ja kuivurin polttoainekustannukset

Laskettaessa kuivauksen kokonaiskustannuksia oletetaan, että osa pellettitehtaal- le tulevasta sivutuotevirroista ohjautuu biopolttoainekattilaan, josta savukaasut tai höyryt ohjautuvat kuivuriin. Keskimääräinen polttoaine-energian kulutus kuivausprosessissa on noin 3050kJ/kg_{vettä} (Wiik et al. 2008). Käytettäessä metsäpohjaisia raaka-aineita kuten kuitupuuta, jotka kuoritaan tehtaan omalla kuorimolla, kuivauksen polttoaineena voidaan pääosin käyttää kuorimolla syntyvää kuorijätettä. Tällöin polttoaineen hinnaksi muodostuu kuorimon energiakustannuksista ja varastoinnista muodostuva laskennallinen kustannus. Tarvittaessa polttoainetarvetta täydennetään ostopolttoaineella kuten metsähakkeella.

Käytettäessä pelletin raaka-aineena sahanpurua tai esimerkiksi rankahaketta, kuivaukseen tarvittava polttoaine joudutaan hankkimaan kokonaan tehtaan ulkopuolelta, jolloin polttoaineen hintana käytetään metsähakkeen käyttöpaikkahintaa tehtaalla.

4.2 Energiatase

Pelletintuotannon kokonaisenergiankulutus (kaikki vaiheet raaka-aineen vastaanotosta pakkaukseen laskettuna) on keskimäärin 80-150 kWh/t sähköä ja 950 kWh/t_{vettä} lämpöä. Tällöin tarkka energiankulutus prosessissa määräytyy tuotanto-olosuhteiden ja raaka-aineen ominaisuuksien perusteella. Raaka-aineen kosteus, yksittäisten partikkelien koko, käytettävä teknologia ja tehtaallaan koko vaikuttavat lopulliseen energiankulutukseen. Keskimääräiseksi kokonaisenergiakulutukseksi on arvioitu 1140 kWh/t (EUBIA 2007).

Raggamin & Bergmairin (1996) mukaan on pelletinvalmistuksen kokonaisenergiatase noin 1,5 % - 2 % lopputuotteen energiasta, kun kuivausta ei huomioida. Kostean sahanpurun tarvitsema energiamäärä on noin 7-10 % lopputuotteen energiasta. Hakkeen pelletointi vaatii keskimäärin 20 % kokonaisenergiasta eli noin 940-1040 kWh/t.

Uudemmissa tutkimuksissa on saatu korkeampia energiataaseita perustuen uudenlaiseen laskentatapaan ja raaka-aineen korkeampaan kosteuteen pelletinprosessissa (Malisius et.al 2000). Kuivan raaka-aineen pelletointi vaatisi 8-13 % lopputuotteen energiasta. Kuivaus nostaa energiataaseen 10-25 % tasolle. Puuhakkeen pelletointi vaatii 18-35 % kokonaisenergiasta.

5. Pelletin tuotannon kustannukset

5.1 Kiinteät kustannukset

5.1.1 Pääomakustannukset

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

Tehtaan kokonaisinvestointikustannukset riippuvat pelletintuotannossa käytettävästä raaka-aineesta sekä tehtaan tuotantokapasiteetista. Tiedetyt perusprosessit kuuluvat pelletinvalmistukseen riippumatta raaka-ainepohjasta tai raaka-aineen kosteudesta: Jauhatus, pelletin puristus, jäähdytys, seulonta ja pakkaus. Kuivausta ei tarvita, jos pelletin raaka-aineena käytetään kuivaa kutterinlastua tai sahanpurua, jolloin säästytään kuivurin investointikustannuksilta. Jos raaka-aineena käytetään metsäpohjaisia raaka-aineita, kuten kuorta, haketta tai kuitupuuta, joudutaan tehtaalla investoimaan kuivurin lisäksi mm. kuorimolinjaan, hakkuriin ja mahdollisiin lisäkuljettimiin, mikä nostaa investointikustannuksia.

Kustannusanalyysissa pääomakustannusten annuiteetti määritettiin soveltaen 5 % korkokantaa. Takaisinmaksuajaksi asetettiin 15 vuotta ja jäännösarvoksi nolla. Pellettitehtaan pitoajaksi arviointiin 15 vuotta ja kokonaisinvestointikustannuksiksi 1,5-3,1 miljoonaa euroa (Taulukko 8).

Kustannuslaskennassa pelletintuotannon sivutuotteena syntyvän kaukolämmön tuottamiseen tarvittavan kaukolämpöverkon rakentamiskustannuksia ei huomioitu, koska oletettiin, että kau-

kolämpöverkko on jo rakennettu ja tehtaan oletettiin välittävän tuottamansa energian tähän valmiiseen verkkoon. Jos verkko olisi rakennettava, tulisi investointikustannuksiin lisätä kaukolämpöverkon rakentamiskustannukset, jotka ovat tyypillisesti noin 35-55 % tehdasinvestoinnista, eli noin 0,5-1,7 miljoonaa euroa.

5.1.2 Henkilöstökustannukset ja muut kiinteät käyttökustannukset

Kiinteiksi käyttökustannuksiksi lasketaan henkilöstökustannukset, kiinteiksi kustannuksiksi luokiteltavat huolto ja korjaus varaosineen, vakuutukset sekä muut mahdolliset kiinteät käyttö- ja kunnossapitokustannukset.

21 000 tonnin pellettitehtaan käyttöhenkilökunnan määräksi on Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) tutkimuksissa arvioitu noin 6-9 työntekijää (Halonen ym. 2003). Käyttötuntikustannuksia laskettaessa työntekijöiden lukumääräksi oletettiin 8 henkilöä ja työntekijän keskimääräisenä tuntipalkkana käytettiin 16,10 €/h (Taulukko 7).

Taulukko 7. 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 arviointiin 43 000 euroa ja koko laitoksen henkilökustannukset sivukuluineen yhteensä 344 200 € (Taulukko 8). Tämän lisäksi voimalaitokselle arviointiin syntyvän muuta henkilöstökuluja kuten työnjohdon palkka-, käynti- ja matkakuluja 35 200 euroa vuosittain.

Muut käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat tapauskohtaisia ja muodostavat yleensä vain pienen osuuden kokonaiskuluista. Näihin kuuluvat mm. tuhkan käsittely tehtaan energiantuotannon yhteydessä, jätevesien käsittely, markkinointi- ja hallintokustannukset, vakuutusmaksut sekä kiinteistöhuollosta aiheutuvat kustannukset. Teknis-taloudellisissa tarkasteluissa on arvioitu, että vuotuiset huolto- ja korjauskustannukset ovat noin 2 % investoinnin kokonaissummasta (Alakangas & Flyktman 2001). Huollon osuus voi nousta kuitenkin jopa 10 %:iin investointikustannuksista esimerkiksi raskaan kuormituksen tai korkean käyttöasteen koneissa kuten kuorimoissa. Kustannuslaskennassa vakuutusmaksujen suuruudeksi arviointiin promille investointikustannuksista vuodessa (Turunen 2004). Muiden kiinteiden käyttökustannusten osuus kokonaiskustannuksista on noin 5-6 % kokonaiskustannuksista.

Valmiiden pellettien jakelukustannusten osuudeksi oletettiin 10 % valmistuskustannuksista (Paju & Alakangas 2002). Pellettien jakelusta vastaavat pellettien tuottajat tai erilliset jälleenmyyjät.

5.2 Muuttuvat käyttökustannukset

5.2.1 Raaka-ainekustannukset

Pääosa Suomessa valmistettavasta pelletistä valmistetaan käyttäen raaka-aineena kuivaa sahanpurua tai kutteria. Kuitenkin raaka-aineiden saatavuus on viime vuosina heikentynyt ja mm. kostean sahanpurun ja metsäpohjaisten raaka-aineiden käyttö pelletintuotannossa lisääntynyt. Osasyynä tähän ovat myös kohonneet raaka-ainekustannukset. Sahanpurun hinta on noussut vuodesta 2005 vuoteen 2009 mennessä 76 % ja tämä on pakottanut pelletin valmistajia etsimään uusia raaka-ainelähteitä (Tuohiniitty, H. suul. tieto 2010).

Raaka-ainekustannukset muodostuvat käytetyn raaka-aineen käyttöpaikkakustannuksista ja kulutussuhteista pelletin valmistusprosessissa (Taulukko 8). Sahanpurusta maksettavat hinnat perustuvat usein kahdenvälisiin sopimuksiin, ja hinnat vaihtelevat voimakkaasti kysynnän ja tarjonnan mukaan, joten niiden arvioiminen on tästä syystä melko vaikeaa. Lisäksi saatavilla oleva tieto on usein puutteellista. Sahanpurun energiasisältö vaikuttaa lisäksi merkittävästi hinnan määräytymiseen.

Vuonna 2000 sahanpurun ja kutterinlastun hinta oli noin 6,5-6,7 €/MWh ja vuonna 2010 koko maan keskimääräisiksi hinnoiksi arvioitiin noin 16-17,7 €/MWh (Puupolttoaineiden hintaseuranta, Pöyry 2010). Sivutuotteiden hinnoissa tulee tapahtumaan nousua, mikä heikentää näiden raaka-aineiden kilpailukykyä pelletintuotannossa.

Kuitupuun ja tätä pienemmän rankapuun käyttöpaikkahinnat puolestaan muodostuvat kantohintojen vaihteluista sekä korjuu- ja kuljetuskustannuksista käyttöpaikalle (Kuva 1). Kustannuksiin ja korjuun tuottavuuteen vaikuttavat myös leimikkotekijät ja kuljetusetäisyys käyttöpaikalle (Lauhanen & Laurila 2007). Koneiden käytöstä ja tuottavuudesta johtuvat kustannustekijät vaikuttavat myös lopullisen käyttöpaikkahinnan muodostumiseen.

Ainespuusta maksettavissa kantohinnoissa on sahanpurun ja kutterinlastun tavoin alueellista vaihtelua yrityksittäin ja alueittain, mutta kuitupuun kantohintojen vaihtelu on ollut huomattavasti maltillisempaa. Kun kantohinnaksi asetetaan keskimääräinen kantohinta 14 €/m³, käyttöpaikalle asti kuljetettuna kuitupuun hinnaksi muodostuu noin 21,6-23,4 €/MWh riippuen raaka-aineen korjuutavasta ja kosteusprosentista. Jos pelletin raaka-aineena käytetään kuitupuuta pienempää rankapuuta, keskimääräiset käyttöpaikkahinnat asettuvat noin 18 €/MWh tasolle.

5.2.2 Kaukolämmön tuotannosta aiheutuvat kustannukset

Pellettitehtaan muuttuvista kustannuksista osan muodostavat kaukolämpöveden pumppauskustannukset, joiden osuus laitoksen kokonaiskustannuksista vaihtelee 0,2-1 % välillä (Energiatehokkuusselvitys...2009). Pellettitehtaalla voidaan tuottaa kaukolämpöä, kun osa kuivauslämmöntuotannossa syntyvästä energiasta ohjataan esimerkiksi taajaman kaukolämpöverkkoon. Pumppaamiskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat voimalaitoksen huipunkäyttöaika sekä kaukolämpöverkon pituus, joka vaikuttaa tarvittavaan pumppausenergiaan.

Kun kaukolämpö tuotetaan pellettitehtaan yhteydessä, kaukolämpöpumpuissa käytettävä sähkö joudutaan ostamaan laitoksen ulkopuolelta, jolloin siitä maksetaan sähkövero. Tutkimuksessa oletettiin, että kaukolämmössä kiertävä vesi pumpataan yhdellä pumpulla. Pääpumppaamo sijaitisi pellettitehtaalla, ja sen vaatimaksi tehoksi arvioitiin 35 kWh/MWh.

6. Pelletintuotannon kustannusrakenne

Pelletteitavan raaka-aineen valinta ja tuotannolliset ratkaisut vaikuttavat lopulliseen lopputuotteen hintaan. Raaka-ainekustannusten osuus 21 600 tonnin pellettitehtaan kokonaiskustannuksista oli keskimäärin 53 %, jolloin laitoksen raaka-aineen valinnalla ja laadulla on suuri merkitys tehtaan kokonaiskustannusten ja kilpailukyvyn kannalta (Taulukko 8, Liite 3). Suurimmillaan raaka-ainekustannukset olivat 68 % kokonaiskustannuksista, kun raaka-aineena käytettiin kuivaa sahanpurua tai kutterinlastua. Alhaisimmillaan raaka-ainekustannukset kattoivat 52 %

kokonaiskustannuksista, kun raaka-aineena käytettiin kosteaa sahanpurua tai suoraan käyttöpaikalle kuljetettua kuitupuuta, joka oli korjattu tavaralajimenetelmällä (Liite 3).

Pellettitehtaan lämpökattilassa kuivausenergiaksi tuotetusta lämmöstä saadaan lämmöntalteenotolla talteen 50 %, josta noin 86 % ohjautuu edelleen kaukolämmöntuotantoon. Lämmöntuotannosta aiheutuvat suorat tai välilliset kustannukset muodostivat arvion mukaan vain keskimäärin 1-2 % pellettitehtaan kokonaiskustannuksista. Kaukolämmöntuotanto pellettituotannon yhteydessä on keskimääräistä edullisempaa. Jos lämmöntuotantoon käytettävät polttoaineet on mahdollista hankkia pääosin esimerkiksi oman tehtaan kuorimolta, muodostuu kaukolämmön polttoainekustannuksiksi alle 10 €/MWh. Käytettäessä ostopolttoaineita kuten metsähaketta polttoainekustannukset olivat lähellä keskimääräisiä käyttöpaikkakustannuksia.

Tehtaan vuosittaisista poistoista aiheutuvat kiinteät kulut muodostivat noin 8-11 % kokonaiskustannuksista riippuen kokonaisinvestointikustannuksista (Taulukko 8) Merkittäviä eroja pellettitehtaiden investointikustannuksissa syntyi silloin, jos pelletoitava raaka-aine täytyi kuoria. Investointi kuorimolinjaan lisäsi vuotuisia poistokustannuksia tässä esimerkkilaskelmassa noin 8,7 %.

Palkkakustannusten osuus oli 10-13 %, kun laitoksen henkilökunnan kooksi oletettiin 8 työntekijää 40 tunnin työviikolla ja kaksivuorotyöllä (Taulukko 8). Lisäksi pellettitehtaalte arvioitiin kohdistuvan hallinto- ja vakuutuskuluja, joiden osuus vuosittaisista kokonaiskustannuksista oli yhteensä 2 %:a.

Taulukko 8. Pelletin tuotannon kustannukset

Kustannuslaji	Kustannus, €/vuosi	Yksikkökustannus, €/tn tai €/h
Kiinteät kustannukset:		
Poistot		
-kokonaisinvestointi	~401 600	66,94 €/h
-investointi ilman kuorimoa	~369 300	61,55 €/h
-investointi ilman kuorimia ja haketinta	~277 300	46,22 €/h
-investointi ilman kuorimoa haketinta ja kuivuria	~202 900	33,82 €/h
Palkkakustannukset:		
Hallinto	7500 €/vuosi	1,25 €/h
Työntekijöiden palkkakust.	344 200 €/vuosi	56,93 €/h
8 hlö, sis.:		
-sosiaalikulut 42 %		
-kertaluonteiset erät 8,7 %		
-henkilöstörahat 0,1 %		
-vapaapäivien palkat 10,5 %		
-luontoisedut 0,75 %		
-sosiaaliturvan kustannukset 21,45 %		
- Muut työvoimakustannukset 0,7 %		
Toimihenkilön/Työnjohdon palkkakustannukset	~35 200	5,87 €/h
Kaukolämmöntuotanto:		
Pumppauskustannukset	22 370 €/vuosi	2,17€/MWh _{lämpö}

Energiakustannukset		
pelletintuotannossa:	~76 700-312 600 €/vuosi	12,78-52,11 €/h,
-lämpö		3,55-14,41 €/tn
	~263 400-788 700 €/vuosi	43,91-131,45 €/h
-sähkö		12,19-36,51 €/tn
	~1 605 000	74,3 – 88,7 €/tn
Raaka-ainekustannukset	– 1910 000 €/vuosi	
Petihiekan vaihto, Tuhkan ja veden käsittely	19 200-29 100 €/vuosi	2,50 €/MWh
Ylläpitokustannukset ja muut kustannukset		
Varastointi	13 400-34 800 €/vuosi	2,28-5,81 €/h
Vakuutukset, 1 %	7700-15400 €/vuosi	1,29-2,56 €/h
Korjaus- ja huolto	27 100-34 000 €/vuosi	1,25-1,58 €/h
Jakelu loppukäyttäjälle	10 % kokonaiskustannuksista	

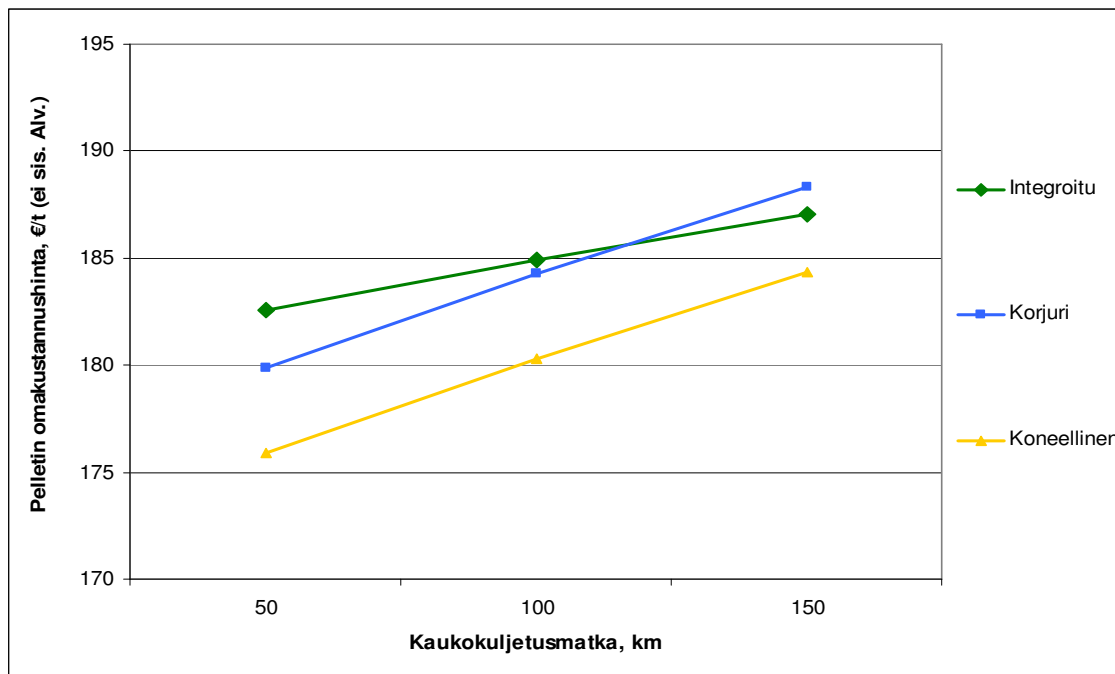
Tällä kustannusrakenteella 21 600 tonnin pellettitehtaan keskimääräisiksi tuotantokustannuksiksi ilman arvonlisäveroa muodostui 144,8 €/t, kun raaka-aineena käytettiin kuivaa sahanpurua tai kutterinlastua ja 155,9 €/t, kun raaka-aineena oli kostea sahanpuru. Käytettäessä pelletintuotantoon kuitupuuta kustannukset olivat 173-191 €/t riippuen käytettävästä korjuumenetelmästä, tehtaalle toimitettavan kuitupuun kosteudesta ja kantohinnasta. Tuoretta kuitupuuta pellettoitaessa keskimääräiset tuotantokustannukset olivat 183 €/t ja kuivaa kuitupuuta pellettoitaessa 181€/t, kun kuitupuun kantohintana käytettiin 14 €/m³ (Liite 3).

7. Kuitupuupohjaisen pelletintuotannon herkkyyshanalyysi ja eri tekijöiden vaikutus pelletin omakustannehintaan ja kannattavuuteen

Kuitupuupohjaisen pelletintuotannon herkkyyshanalyysissä tarkasteltiin ensisijaisesti raaka-aineen hinnan ja energiakustannusten vaihteluiden vaikutusta pelletin omakustannushinnan muodostumiseen. Analyysissä tarkasteltiin myös kuitupuun hankinnan kustannusten muutosten vaikutusta lopulliseen pelletin omakustannushintaan. Kuitupuun hankintaketjussa tarkasteltuja tekijöitä olivat raaka-aineen kosteus, kaukokuljetusmatka ja terminaalikuljetusmatka. Tarkasteltuja työ- ja prosessikustannuksia olivat eri koneiden käyttötuntikustannukset, kuivausenergian tarve pelletointiprosessissa ja huipunkäyttöaika.

Yksisuuntaisella herkkyyshanalyysillä tarkasteltiin hakelaskureissa käytettyjen tekijöiden vaikutusta kokonaiskustannuksiin ja kuitupuun lopulliseen käyttöpaikkahintaan eri tuotantoketjuilla (Taulukot 2 ja 3). Muutosten vaikutusta käyttöpaikkahintaan tarkasteltiin sekä absoluuttisena hinnanmuutoksena (€/m³, €/MWh) että suhteellisenä muutoksena (%).

Kuljetuskustannusten vaikutusta kokonaiskustannuksiin vertailtiin muuntelemalla sekä kaukokuljetusmatkaa että kuljetuskaluston tuntikustannuksia. Vaikka korjuu- ja kuljetuskustannukset ovatkin merkittäviä kustannuseriä kuitupuun hankintaketjuissa, konekustannusten vaihtelulla ei ollut vaikutusta lopulliseen pelletin omakustannushintaan. 5 % muutos konekustannuksissa nosti pelletin omakustannushintaa noin 1 %:n.



Kuva 3. Kaukokuljetusmatkan vaikutus pelletin omakustannushintaan

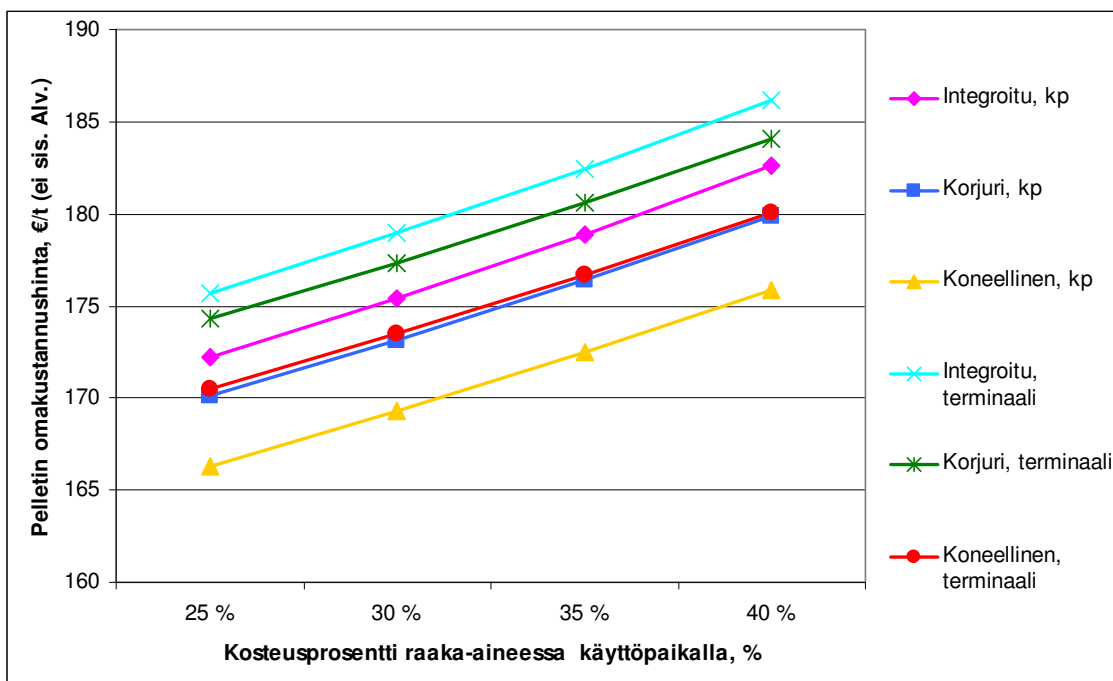
Sen sijaan kaukokuljetusmatkan muutoksella oli suurempi vaikutus pelletin tuotannon kokonaiskustannuksiin. Kaukokuljetusmatkan piteneminen 50 kilometristä 100 kilometriin kasvatti käyttöpaikkakustannuksia 2,5 €/t (1,5 %) integroidulla korjuuketjulla ja n. 4 €/t (2,5 %) verran koneellisella korjuuketjulla ja käytettäessä korjuria ainespuun korjuuseen (Kuva 3).

Herkkyysanalyysissä tutkittiin lisäksi terminaalikuljetusmatkan vaikutusta pelletintuotannon kustannuksiin. Oletuksena oli, että terminaalit toimisivat kuitupuun välivarastointipaikkana, josta puu kuljetettaisiin edelleen tehtaalle kuorittavaksi ja hakettavaksi. Analyysissä oletettiin myös, että matka terminaaliin oli kaukokuljetusmatkaa lyhyempi, 15-35 km. Edelleen matka terminaalista tehtaalle oli 5-20 km. Terminaalikuljetusmatkan vaihtelulla ei ollut merkitystä pelletin tuotannon kustannusten muodostumiseen herkkyysanalyysissä tutkituilla vaihteluväleillä. 5 kilometrin muutos terminaalikuljetusmatkassa vaikutti pelletin omatuotantokustannuksiin alle 0,5 %.

Kaukokuljetusmatka vaikuttaa ratkaisevasti pelletin raaka-aineen saatavuuteen sekä kustannusten muodostumiseen, jolloin kannattavan kuljetusetäisyyden optimointi on kustannustaloudellisesti tärkeää. Pyöreän puun etuna verrattuna sahanpuruun ja kutterin lastuun on pidempi taloudellinen kuljetusmatka, mikä mahdollistaa laajemman raaka-aineen hankintasäteen ja hajautetun pelletintuotannon. Pyöreälle puulle keskimääräinen kannattava kuljetusetäisyys on 1000 km, kun taas kutterinlastulle ja sahanpurulle kuljetusetäisyys on 100 km (Kuokkanen 2009).

Kustannusanalyysissä koneellinen korjuu ja kaukokuljetus suoraan käyttöpaikalle oli edullisin toimitusmenetelmä kaikilla tutkituilla kaukokuljetusmatkoilla. Integroidun korjuumenetelmän

kokonaiskustannukset olivat korjurimenetelmää alhaisempia, kun kaukokuljetusmatka oli vähintään 125 kilometriä (Kuva 3).

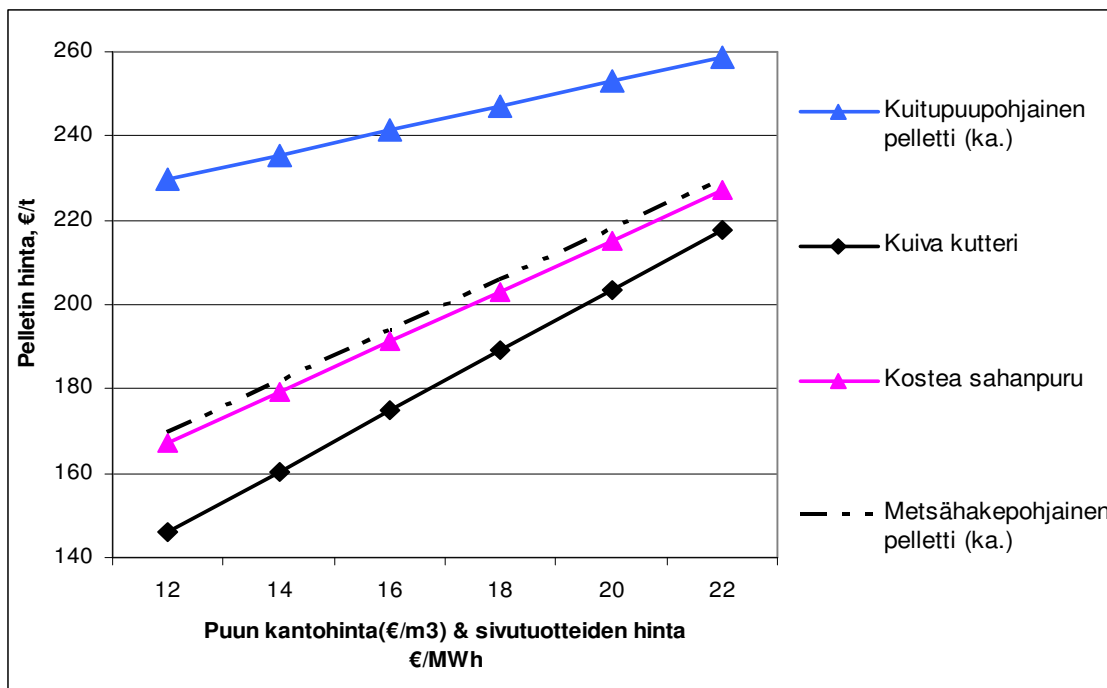


Kuva 4. Kosteuspitoisuuden vaikutus pelletin omakustannushintaan

Kosteuspitoisuuden vaihtelut vaikuttivat sekä raaka-aineen hankinnan kustannuksiin, mutta ensisijaisesti kuivausenergian tarpeeseen pelletin tuotantoprosessissa. Kosteuspitoisuuden noustessa 5 %:lla välivarastokuivatussa kuitupuussa, nousi pelletin omakustannushinta noin 2-2,5 €/t (2 %) (Kuva 4). Tuoreella kuitupuulla 5 %:n kosteuspitoisuuden nousu nosti omakustannushintaa 2,7 %. Käytettäessä raaka-aineena sahanpurua kosteuspitoisuuden vaihtelut vaikuttivat omakustannushintaan vähemmän. Kosteaa sahanpurun kosteuspitoisuuden nousu 5 %:lla nosti pelletin tuotantokustannuksia 1,3 %.

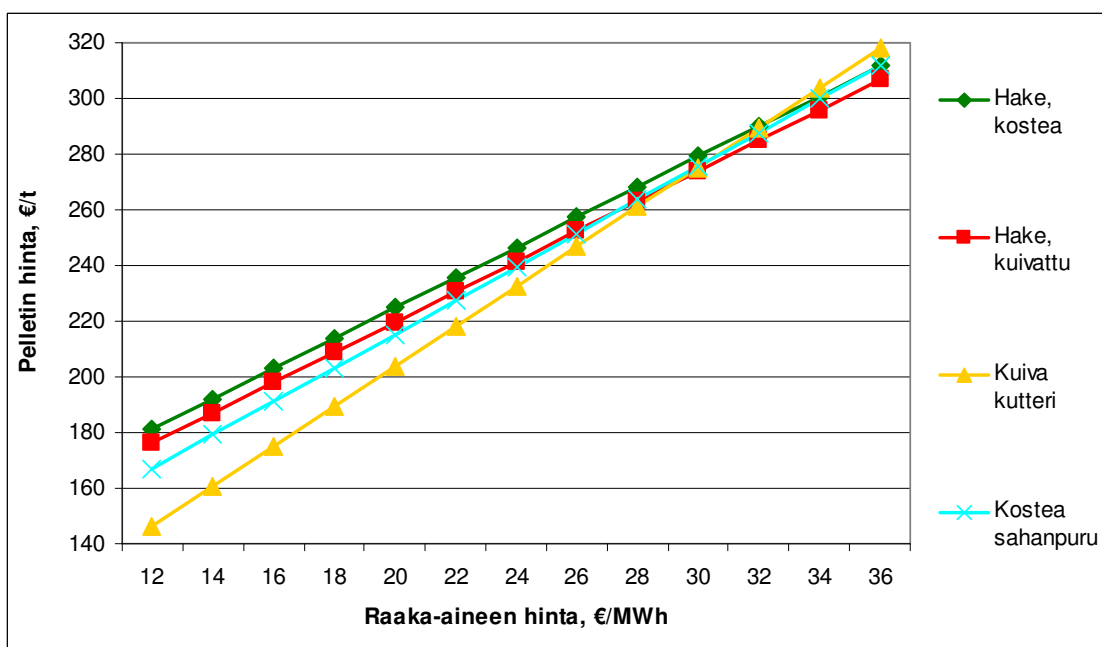
Herkkyysanalyysissä tutkittiin kantohintojen vaihteluiden vaikutusta raaka-ainekustannusten muodostumiseen pellettitehtaalla sekä kuinka suuri vaikutus lopullisilla raaka-ainekustannuksilla oli pellettintuotannon kustannusten muodostumiseen ja kannattavuuteen.

Kuitupuulla kantohinta on suurin yksittäinen kustannuserä käyttöpaikkahinnasta. Kantohinnan osuus kuitupuun käyttöpaikkahinnasta oli 29 % (Ihalainen & Niskanen 2010). Vaikka herkkyysanalyysissä kuitupuun kantohinnan vaihtelun vaikutus pellettintuotannon kustannuksiin oli sivutuotteiden ja myös rankahakkeen hinnanvaihteluja vähäisempi (Kuva 5), on kantohinnan merkitys yksittäisenä kustannustekijänä kuitenkin merkittävä, jolloin se heikentää kuitupuun kilpailukykyä pelletin tuotannon raaka-aineena.



Kuva 5. Kuitupuun kantohinnan ja sahanpurun tehdashinnan vaihteluiden vaikutus pelletin omakustannushintaan

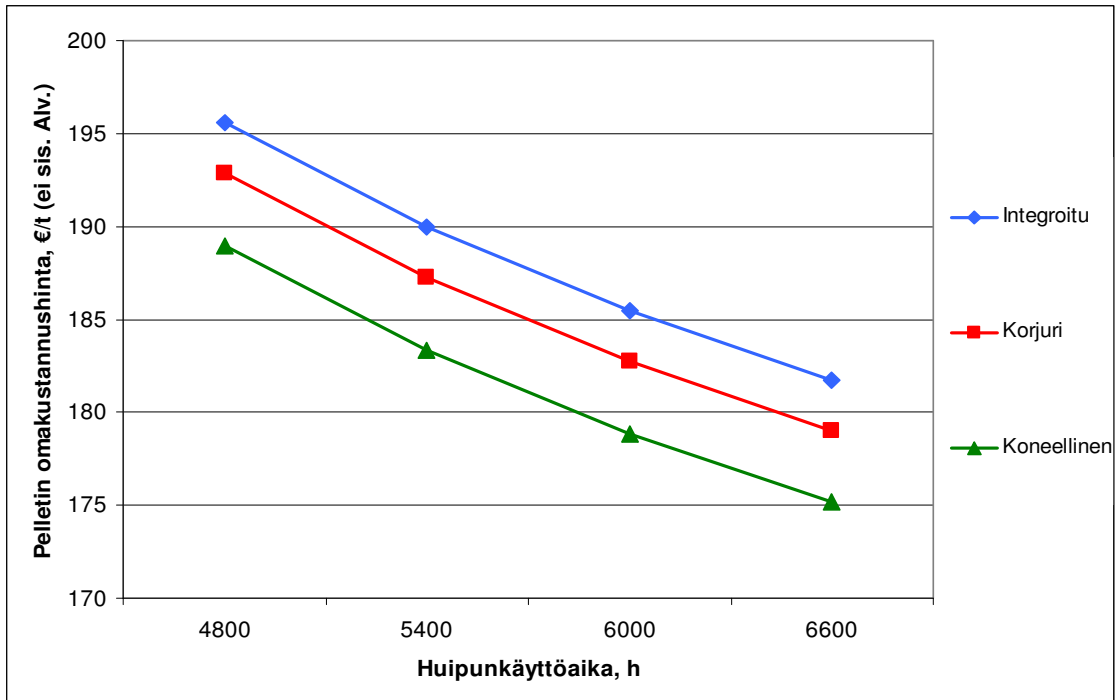
Kuitupuun kantohinnan noustessa 2 €/m³, nousi pelletin omakustannushinta tuotantoketjusta riippuen 4,3-4,4 €/t (2,5-2,7 %). Sivutuotteiden hintojen noustessa 2 €/MWh, pelletin omakustannushinta nousi 9,3 €/t kostealla sahanpurulla ja 11,0 €/t kuivalla purulla (3-4 %).



Kuva 6. Raaka-aineiden tehdashintojen (€/MWh) vaihtelun vaikutus pelletin omakustannushintaan

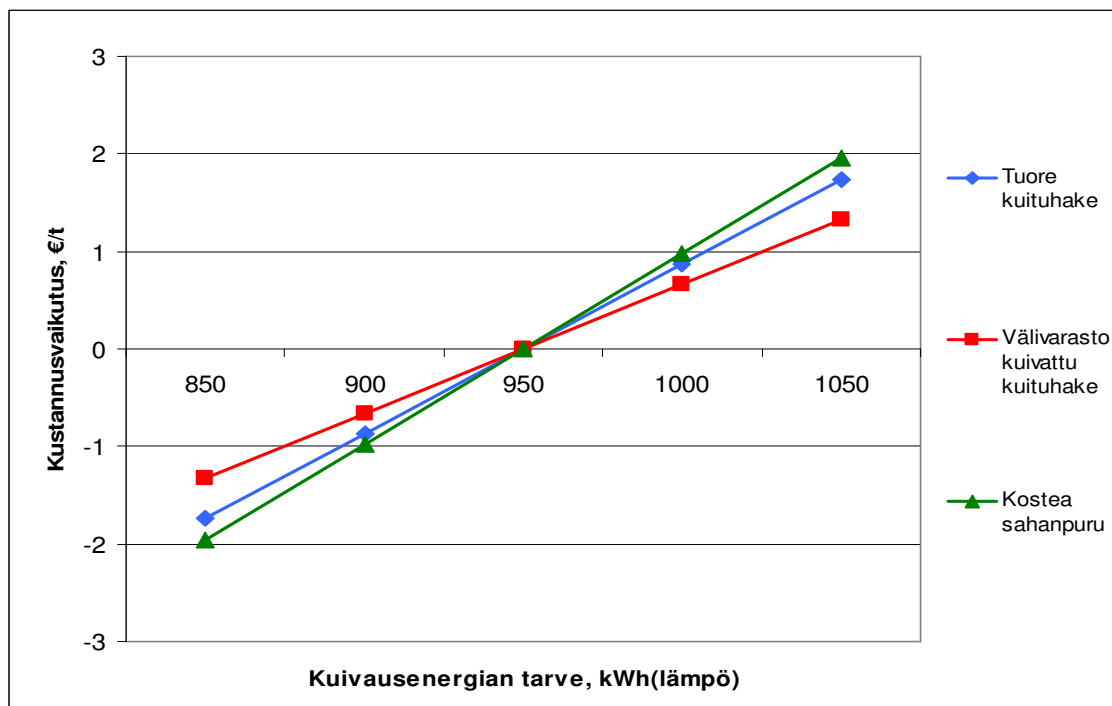
Kustannusanalyysissä hakkeen käyttöpaikkahintojen (€/MWh) vaihtelut vaikuttivat pelletin omakustannushintaan niin ikään sahanpurun käyttöpaikkahintoja suhteellisesti vähemmän (Kuva 6). Hakkeen käyttöpaikkahintojen 2 €/MWh hintojen nousu nosti pelletin omakustannushintaa tuotantoketjusta riippuen 5-6 %. Kuivan ja kostean sahanpurun hinnan nousu 2 €/MWh nostaa pelletin omakustannushintaa 6-7 %.

Prosessimuuttujien kuten huipunkäyttöajan tai kuivauksen lämpöenergian tarpeen vaikutus tuotetun pelletin hintaan oli suuri. Tehtaan huipunkäyttöajan muutoksilla voidaan saavuttaa merkittävää kustannusetua pelletintuotannossa, koska samalla investoinnilla saadaan huipunkäyttöajan kasvaessa tuotettua enemmän pellettiä. Tästä syystä huipunkäyttöajan pidentyminen vähentää esimerkiksi pääoma- ja korkokustannusten merkitystä. 600 tunnin huipunkäyttöajan nosto laski kuitupuupohjaisen pelletin omakustannushintaa noin 2-4 €/t (2 %) toimitusketjusta riippuen (Kuva 7). Huipunkäyttöaika oli kaukokuljetusmatkan ja raaka-aineen hinnan ohella merkittävin kustannuksiin vaikuttava tekijä.



Kuva 7. Huipunkäyttöajan vaikutus kuitupuupohjaisen pelletin omakustannushinnan muodostumiseen

Pellettitehtaan kuivurin ominaisenergiankulutuksella ($\text{kWh}/\text{t}_{\text{vettä}}$) oli myös merkitystä kustannusten kannalta, mutta kustannusvaikutus oli alle prosentin 100 kWh kohden ja vaikutus kokonaiskustannuksiin oli vähäinen (Kuva 8). Raaka-aineen kosteuden vaihtelulla oli suurempi merkitys kuivauksen energiankulutukseen (Kuva 4).



Kuva 8. Kuivurin ominaisenergiankulutuksen vaikutus pelletin omakustannushintaan

Herkkyysanalyysissä kaikkien pelletintuotantoketjujen kannattavuus oli riippuvainen samoista kustannustekijöistä. Eniten kustannusten muodostumiseen vaikuttivat raaka-aineen hinta ja kosteus tehtaalla sekä erilaiset prosessimuuttujat kuten huipunkäyttöaika. Kuitupuun kantohinnan vaihtelulla oli hieman ennakoitua vähemmän merkitystä lopulliseen pelletin omakustannushintaan. Sen sijaan kuitupuupohjaisessa pelletintuotannossa kaukokuljetuskustannusten ja kaukokuljetusmatkan merkitys kustannustekijöinä korostui.

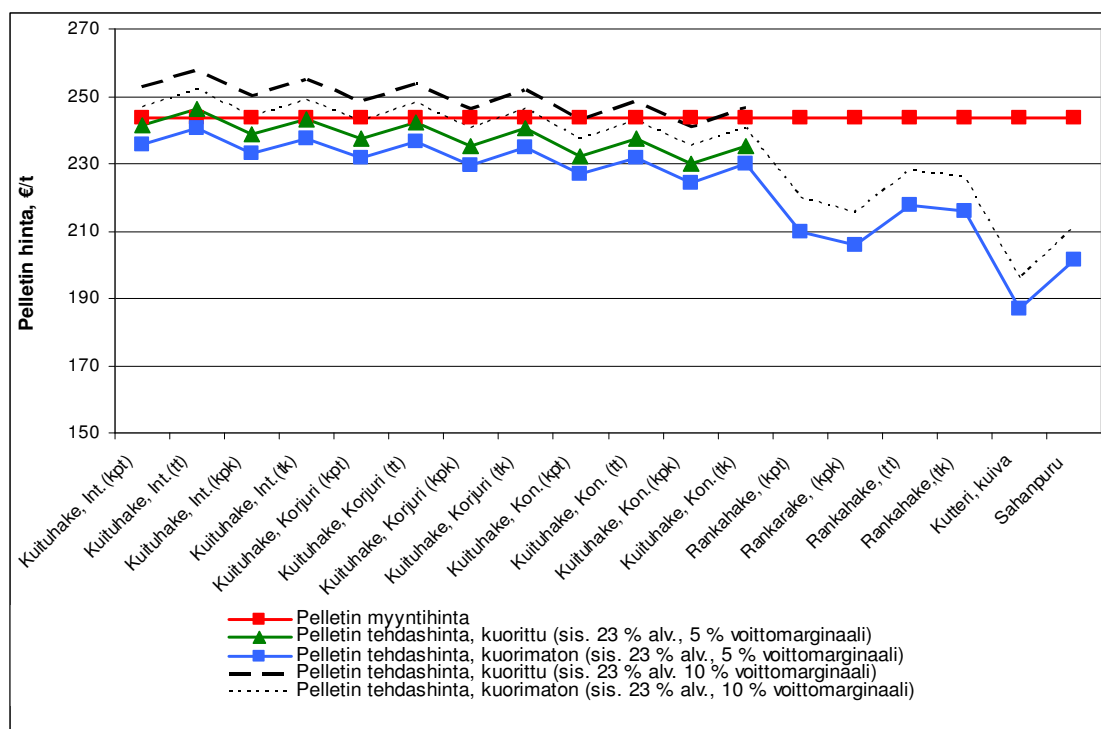
8. Pelletintuotannon kannattavuus eri tuotantoketjuilla

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sekä sivutuotepohjaisen että kuitupuupohjaisen pelletintuotannon kustannusrakennetta. Kuitupuupohjaisen pelletintuotannon kustannusanalyysissä tarkasteltiin kustannustekijöiden vaikutusta sekä kuitupuun käyttöpaikkahintaan että lopulliseen pelletin omakustannushintaan 21 600 tonnin laitoksella.

Kustannuserot tutkittujen tuotantoketjujen välillä olivat merkittäviä. Halvimman; kuivalla puurulla tuotetun pelletin ja kalleimman; terminaalien kuljetetun, integroidulla korjuumenetelmällä korjatusta tuoreesta kuitupuusta valmistetun pelletin välinen ero oli kustannuslaskelmassa peräti 43 % tarkasteltaessa omakustannushintaa. Sen sijaan kuitupuulla tuotetun pelletin tuotannossa arvoketjujen väliset erot olivat keskimäärin 2-6 % välillä (Kuva 9, Liite 3).

Tällä hetkellä sahanpurusta ja kutterista valmistettu pelletti on yhä edullisempaa tuotantokustannuksiltaan kuin kuitupuupohjainen pelletti. Sen sijaan rankahakepohjaisen pelletin tuotantokustannukset olivat vain hieman sivutuotepohjaista pellettiä korkeammat. Kuitenkin, jos raaka-aineen hinnoissa tapahtuu merkittävää nousua ja hinnat nousevat yli 30 MWh/t, tai alueelliset vaihtelut raaka-aineiden markkinahinnoissa ovat suuret, tulee myös kuitupuusta kannattava vaihtoehto pelletintuotantoon sahanpurun oheen. (Kuva 6).

Investointi hakkuriin ja mahdolliseen kuorimolinjaan nosti kuitupuupohjaisen pelletin tuotanto-kustannuksia ja heikensi tuotannon kannattavuutta verrattuna muihin pelletintuotantoketjuihin ja –raaka-aineisiin. Kuitupuupohjaisen pelletintuotannon kustannustaso on keskimäärin 25-30 % korkeampi verrattuna sivutuotepohjaisen pelletintuotannon kustannuksiin ja noin 20-25 % korkeampi verrattuna rankahakepohjaisen pelletintuotannon kustannuksiin (Kuva 9). Laitoskoon kasvaessa myös kuitupuupohjaiseen tuotantoon tehtävät investoinnit ovat kannattavia ja riskit vähenevät.



Kuva 9. Pelletin tuotannon kannattavuuden vertailu 21 00 tonnin laitoksessa.

Alhaisimmat kustannukset ja paras kannattavuus tutkituista arvoketjuista saatiin, kun raaka-aineena käytettiin kuivaa sahanpurua tai kutterinlastua (Kuva 9). Kuivan raaka-aineen saatavuus on viime aikoina ollut heikko ja sivutuotteiden hintojen vaihtelu voimakasta, mikä on heikentänyt pellettitehtaiden kannattavuutta.

Kustannusanalyysissä oletuksena oli, että tuotettaessa ykkösluokan pellettiä kuitupuusta, raaka-aine kuoritaan. Jos kuorinta ei kuitenkaan ole tarpeen raaka-aineen laadun kannalta, ei kuitupuun puutavaran käyttö pelletin raaka-aineeksi ole taloudellinen vaihtoehto sen korkean kantohinnan vuoksi. Laitoksilla, joissa on mahdollista valmistaa pellettejä kuorimattomasta raaka-aineesta, kustannustehokkain vaihtoehto olisi käyttää esimerkiksi rankahaketta nuorten metsien kunnostuskohteilta (Kuva 9).

Pelletin kuluttajamyntihinta vuoden 2010 heinäkuussa oli noin 243,5 €/t (Pellettienergiayhdistys 2010). Verrattaessa kustannusanalyysin tehdashintoja 5 % voittomarginaalilla (sis. alv. 23 %) keskimääräiseen kuluttajahintaan, oli kuoritun kuitupuupohjaisen pelletin tuotanto 21 600 tonnin laitoksessa kannattavaa kaikilla korjuuyhdistelmillä ja suoraan tehtaalle kuljetettuna. 10 % voittomarginaalilla kuoritun kuitupuupelletin tehdashinnat olivat yli kuluttajahintojen. Terminaalikuljetusketjuissa kustannustaso vastasi keskimääräistä kuluttajahintaa tai oli sen yläpuolella, jolloin tuotanto oli kannattamatonta. Vaikka terminaalikuljetus nostaa kustannuksia verrat-

tuna suoraan käyttöpaikkakuljetukseen, voi terminaalien käyttö kuitenkin olla perusteltua tietyissä tapauksissa.

Kuorimattoman kuitu- ja hakepohjaisen pelletin tuotanto oli kannattavaa kaikilla tuotantoketjuilla ja raaka-aineilla 5 %:n voittomarginaalilla (Kuva 9). 10 %:n voittomarginaalilla kuorimattoman puupohjaisen pelletin tuotanto oli kannattavaa ainoastaan, jos korjuumenetelmänä käytettiin perinteistä hakkuumenetelmää ja kaukokuljetusta suoraan käyttöpaikalle (Kuva 9).

Pelletin tuotannon kustannusrakenteen muodostumiseen ja lopulliseen kannattavuuteen vaikuttavat lukuisat sekä tehtaan sisäiset tuotannolliset ratkaisut ja lisäksi monet ulkoiset seikat. Pelletintuotantolaitosten väliset erot esimerkiksi prosessin energiankulutuksen sekä investointikustannusten suhteen vaihtelevat suuresti, jolloin on keskimääräisen kustannusrakenteen muodostaminen pelletin tuotantoon melko vaikeaa. Koska raaka-aineen hinnoissa että pelletin markkinahinnoissa on suuria alueellisia eroja ja hinnanmuodostusmekanismeja ei kunnolla tunneta, on lisätutkimuksen ja uusien case-tutkimusten tekeminen aiheesta edelleen tarpeen. On huomiotava että tässä raportissa tarkasteltu, 21 600 tonnin vuosikapasiteetin laitos edustaa keskikokoista laitosta esimerkiksi Suomen pellettitehtaita tarkasteltaessa. Pelletoinnin kustannus pienenee laitoksen koon suurentuessa, olettaen että koko kapasiteetti hyödynnetään. Mani (2006) on esittänyt että pellettoinnin kustannustason pienentyminen voisi olla 25-30% kasvatettaessa laitoksen kapasiteetti noin 25 000 tonnista vuodessa noin 50 000 tonniin.

Tämän tutkimuksen perusteella on mahdollista myös arvioida tukitarvetta, jos pellettiä halutaan käyttää kivihiililaitoksissa biopolttoaineena. Pelletin raaka-ainepohjan laajentaminen on mahdollista sekä teknisesti että kustannusnäkökulmasta. Kannattavuus suhteessa perinteisiin raaka-aineisiin on kuitenkin merkittävästi heikompi.

LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. 172 s + liit. 17s. Espoo.
- Alakangas, E, Flyktman, M. 2001. Biomass CHP technologies. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Energy Reports 7/2001. Jyväskylä. 50 p. + app. 4 p.
- Alakangas, E., Paju, . 2002.P.Puupellettien tuotanto-, jakelu ja käyttöketjun tekniikka, talous ja markkinat. Opet raportti 1. VTT prosessit. Jyväskylä 73 s. + liitteet 28 s.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. ja Hämäläinen J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 131. 108 s.
- Brunberg, T. 2004. Underlag till productionsnormer för skotare (Productivity norm data for forwarders). Redogörelse från skogforsk, nr 3/2004. 12 s.
- Biomass pelletising. 2007. EUBIA. Saatavilla: <http://www.eubia.org/194.0.html> [viitattu 15.11.2009]
- Energian hintakehitys pientalokiinteistöissä 2002-2010. 2010. Pellettienergiayhdistys. Saatavilla: http://www.pelettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=76 [viitattu 20.9.2010]
- Flyktman, M. 2001. Pellettien kuivauskustannukset eri laitoskytkennöillä. VTT:n tutkimusselostuksia
- Gil, M., Gonzalez, A., Gil, A. 2008. Evaluation of milling energy requirements of biomass residues in a semi-industrial pilot plant for co-firing. Centre of Research for Energy Resources and Consumption. Saatavissa: [http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigos/0497/\\$FILE/cp0497-a.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigos/0497/$FILE/cp0497-a.pdf) [viitattu 15.1.2010]
- Haldna, T. AS Hekotek. 2009. Suul. tieto.

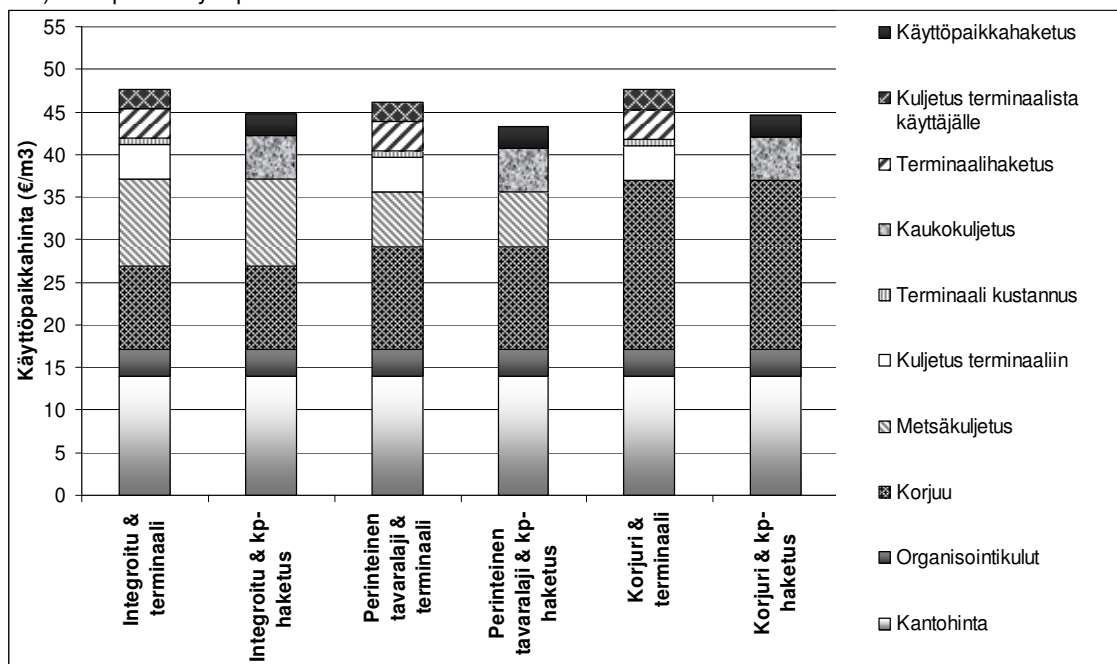
- Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Kallio, M., Paappanen, T., Vesterinen, P. 2003. Bioenergian tuotannon ja käytön suorat työllisyysvaikutukset. VTT Tiedotteita 2219. 51 s. Jyväskylä.
- Heinola Sawmill Machinery. 2010. Saatavilla: http://www.heinolasm.com/storage/media/5r1KUCJMYk1xnsLer9jxMNOQxcWe2uCS/HSM_hakkuri_esite_FIN.pdf [viitattu 18.1.2010]
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tanttu, 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.
- Ihalainen, T. & Niskanen, A.. 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjuissa. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 166. 45 s +liitteet
- Jylhä, P., Väätäinen, K., Rieppo, K. & Asikainen, A. 2006b. Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla. Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 34.
- Kuitto, P-J & Rieppo, K. 1993. Peterson Pacific DDC 5000 –ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikkö ensiharvennuspuun hankinnassa. Metsätehon katsaus 3/1993. 8 s.
- Kuokkanen, M. 2009. Ekotehokkaan puupohjaisen pellettituotannon kehittäminen. Seminaariesitys. Olulun yliopisto. 32 s.
- Kuorma-autoalan työehtosopimus.2009. Saatavilla: http://www.akt.fi/easydata/customers/akt/files/Tarja/Kuorma-autoalan_tes_2008-2009.pdf [viitattu 9.6.2009]
- Kytö, M & Äijälä, M. 1981b. Metsäenergian käyttö ja jalostus. Osa 4, Puun pelletoinnin kokeellinen tutkimus. VTT tutkimusraportteja 41/1981. 45 s + liitteet 8s. Espoo
- Laitila, J. 2005. "Rankahakkeen 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.
- Malisius, U., Jauschnegg, H., Schmidl, H., Nilson, B., Rapp, S., Strehler, A., et al. 2000. Wood pellets in Europe - state of the art technologies, activities, market. Industrial network on wood pellets. Thermie B, DIS/2043/98-AT. 73 p + 9 app.
- Mani, S. 2006. Simulation of Biomass Pelleting Operation. Bioenergy Conference & Exhibition 2006 Prince George. May 31, 2006. http://www.bioenergyconference.org/docs/speakers/2006/Mani_BioEn06.pdf
- Metsäteho. 2009. Puunkorjuu ja puutavaran kaukokuljetusvuonna 2008. Metsätehon katsaus 39/2009.
- Metsäkonealan työehtosopimus. 2009. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/tes/stes3722-MU23Metskon0802.pdf> [viitattu 9.6.2009]
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.
- 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
- Pastre, O. 2002. Analysis of the technical obstacles related to the production and utilisation of fuel pellets made from agricultural residues. Eubia. Saatavilla: <http://www.pelletcentre.info/resources/1093.pdf> [viitattu 9.11.2009].
- Puupolttoaineiden hintaseuranta. 2010. Pöyry Energy Oy. Saatavilla: <http://www.puunhinta.fi/tilastot.htm?graph=fi-all-main> [viitattu 16.9.2010]
- Pöyry Energy Oy. 2009. Energiatehokkuusselvitys kaukolämmityksen pumppausjärjestelyistä. Raportti. 17 s. + 6 liitettä
- Raggam, A. & Bergmair, J. 1996. Gesamtenergieaufwand bei der Herstellung von Hackgut und Pellets. Forschungsinstitut für alternative Energienutzung und Biomasseverwertung. Im Auftrag der Regionalenergie Steiermark.
- 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.
- Salminen, M. 2009. Suullinen tieto. Högfors Sahala Oy. Heinola.

- 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 [viitattu 2.10.2009]
- Tilastokeskus. 2009. Yksityisen sektorin tuntipalkat. Saatavilla: http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/pal/ystp/2008/2008_fi.asp [viitattu 2.10.2009]
- Thek, G. & Obernberger, I. 2004. Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions. *Biomass and Bioenergy* 27.
- Tuohiniitty, H. suul. tieto 2010.
- Turunen, P. 2004. Pienten biopolttoainevoimalaitosten markkinaselvitys. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Energiatekniikan osasto. Lappeenranta. 116 s.
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J., Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätalon raportti 123. Helsinki. 41 s. + liitteet.
- 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 liit.
- Wiik, C., Heiskanen, V-P., Kallio, M., Anttila, P. 2008. Feasibility assessment: Wood pellet raw material from Canadian British Columbia. VTT Research report. Jyväskylä. 43 pages + 6 appendices.
- Wimmerstedt, R. 1999. Recent advances in biofuel drying. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 38, Issues 4-6, Pages 441-447.
- Wolf, A., Vidlund, A., Andersson, E. 2006. Energy-efficient pellet production in the forest industry – a study of obstacles and success factors. Linköping Institute of technology. *Biomass & Bioenergy* 30 p. 38-45.
- Wood industry suppliers. 2009. Saatavilla: <http://www.wis.za.com/index.asp> [viitattu 15.1.2010]
- Zakrisson, M. 2002. Internationell jämförelse av produktionskostnader vid pelletstillverkning. A comparison of international pellet production costs. Examensarbeten nr 39/2002. Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för skogshushållning. 69 s. Uppsala.
- Ölly- ja kaasualan keskusliitto. 2009. Kuluttajahintaseuranta. Saatavilla: http://www.oil-gas.fi/files/260_HinnatjaverotSuomessa.pdf [viitattu 1.6.2009]

LIITTEET

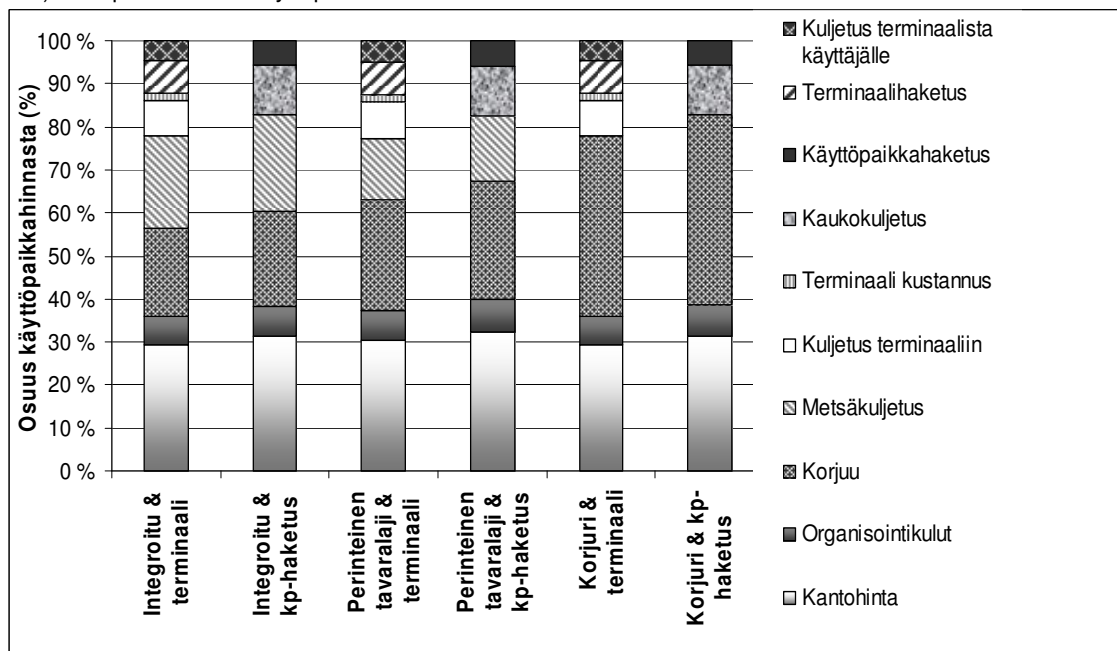
Liite 1. Kuitupuun käyttöpaikkahinnat

1.a.) Kuitupuun käyttöpaikkahinnat



Liite 2. Eri kustannuslajien osuuden käyttöpaikkahinnasta

2.a.) Kuitupuuhakkeen käyttöpaikkahinnan kustannusrakenne



Liite 3. Pelletin omakustannehinnat eri raaka-aineilla

