

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Teknillinen tiedekunta  
LUT Energia

Faculty of Technology  
LUT Energy

Tutkimusraportti Research Report 7

Kalle Karttunen, Jarno Föhr & Tapio Ranta

## ENERGIAPUUTA ETELÄ-SAVOSTA

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia  
Tutkimusraportti 7

**Kalle Karttunen, Jarno Föhr & Tapio Ranta**

# **ENERGIAPUUTA ETELÄ-SAVOSTA**

  
Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

  
Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

  
Aalto-yliopisto  
Kauppakorkeakoulu  
Pienyrityskeskus

**Vipuvoimaa**  
EU:lta  
2007-2013



Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia, Mikkelin yksikkö  
Prikaatinkatu 3 E  
50100 MIKKELI

Teknillinen tiedekunta. LUT Energia - Tutkimusraportti 7  
ISBN 978-952-265-003-0  
ISBN 978-952-265-023-8 (PDF)  
ISSN 1798-1328

Lappeenranta 2010

## TIIVISTELMÄ

Kalle Karttunen, Jarno Föhr ja Tapio Ranta

Energiapuuta Etelä-Savosta

Lappeenranta 2010

150 s.

Teknillinen tiedekunta. LUT Energia - Tutkimusraportti 7

ISBN 978-952-265-003-0

ISBN 978-952-265-023-8 (PDF)

ISSN 1798-1328

Energiapuuta Etelä-Savosta hankkeessa tutkittiin ja kehitettiin energiapienpuun mahdollisuuksia osana suurimittakaavaista alueellista hankintaa. Energiapienpuun potentiaali suurimittakaavaisena polttoaineena on lupaava johtuen hyvästä biomassan saatavuudesta ja tarjontahallukkuudesta, korjuun teknologisesta edistyksestä ja logististen ratkaisujen monipuolisuudesta sekä käyttömäärien kasvusta.

Hanke kokonaisuus sisälsi seuraavia osatutkimuksia: Etelä-Savon energiatase, metsänomistajakysely, asiantuntijahaastattelu, metsänkasvatussimulointi, metsäpolttoaineiden saatavuuslaskenta, puun kosteuden seurantatutkimus, logistiikan demonstraatioita sekä energiapuun hankintalogistiikan kustannusvertailuja.

Hankkeessa käsiteltiin energiapienpuun arvoketjua metsänkasvatuksesta lopputuotteen käyttöön asti. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että energiapienpuulla on mahdollisuudet suurimittakaavaisessa hankinnassa, kunhan toimitusketjussa panostetaan tehokkuuden ja laadun jatkuvaan parantamiseen.

Avainsanat: energiapuu, logistiikka, arvoketju

## **ABSTRACT**

Kalle Karttunen, Jarno Föhr ja Tapio Ranta

Energywood from South-Savo

Lappeenranta 2010

150 p.

Faculty of Technology. LUT Energy - Research report 7

ISBN 978-952-265-003-0

ISBN 978-952-265-023-8 (PDF)

ISSN 1798-1328

Energywood from South-Savo project studied and developed large-scale procurement of small-sized energywood in South-Savo region in Finland. The potential of small-sized wood as an energy resource is promising because of good availability of biomass and forest-owners willingness to produce and sell it, development of harvesting technology, diversity of logistical solutions and growth of forest-based fuel demand.

The project included the following sub-studies: energy balance of South-Savo, a questionnaire for forest-owners, an interview of energywood procurement specialists, a simulation study of forest management, availability analyses of forest fuels, a follow-up study of energywood moisture content, logistical demonstrations and cost-analyses of energywood supply chains.

The project focused on the value chain of small-sized energywood from forest management to the final use of energy. The results of the project show potential of small-sized energywood as a resource for large-scale energy use as long as the supply chain is continuously improved by increasing effectiveness and quality.

Keywords: energywood, logistics, value chain

## ALKUSANAT

Tämä julkaisu on ”Energiapuuta Etelä-Savosta” –hankkeen loppuraportti, jossa tarkastellaan energiapienpuun mahdollisuuksia osana suurimittakaavaista alueellista hankintaa. Etelä-Savo tarjoaa hyvät mahdollisuudet laajentaa metsäpolttoaineiden korjuuta ja käyttöä. Suurin potentiaali löytyy nuorien metsien energiapienpuusta, joka on päätehakkuista lyhyellä tähtämellä riippumaton metsäpolttoaine. Energiapienpuun mahdollisuudet suurimittakaavaisena polttoaineena ovat lupaavia johtuen hyvästä tarjontahalukkuudesta ja saatavuudesta, korjuun teknologisesta edistyksestä ja logististen ratkaisujen monipuolisuudesta sekä käyttömäärien kasvusta.

Tutkimushanke toteutettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston bioenergiateknologian tutkimusyksikössä Mikkeliissä. Tutkimustyön vastuullisena johtajana toimi prof. Tapio Ranta ja projektipäällikkönä Kalle Karttunen. Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Timo Leppänen (Etelä-Savon Energia Oy, projektipartneri). Tutkimustyön osatehtävien suorittamiseen on osallistunut bioenergiateknologian tutkimusyksiköstä tutkijat Jarno Föhr, Olli-Jussi Korpinen ja Antti Karhunen. Aalto yliopiston Kauppakorkeakoulun Pienyrityskeskus osallistui hankkeeseen projektipartnerina alihankintatöiden osalta. Pienyrityskeskuksen tutkija Sinikka Mynttinen toteutti haastattelututkimuksina metsänomistajakyselyn ja terminaaliiverkostomallin analyysin. Samuli Rinne toteutti ”Energiapuun murskauksen ja haketuksen kustannukset” diplomityön ja käsitteli lisäksi laajemmin terminaalia liiketoimintana. Tutkimusjohtaja Jari Handelberg osallistui alihankintatöiden toteutukseen.

Tutkimusta rahoitti EU:n aluekehitysrahasto (EAKR) sekä alalla toimivat yritykset ja yhteisöt (Etelä-Savon Energia Oy, Suur-Savon Energiasäätiö, Etelä-Savon Metsäkeskus, Bio-Esme Oy ja Kotimaiset Energiat Oy). Metsänomistajienliitto Järvi-Suomi ry. ja Etelä-Savon energiatoimisto osallistui hankkeeseen asiantuntijaorganisaatioina. Erityiskiitoksena voidaan mainita Bio-Esme Oy:n panos tutkimuksen demonstraatioiden toteutuksen mahdollistamiseen.

Tutkimustyön toteuttajat kiittävät hankkeen rahoittajia työn mahdollistamisesta, hankkeen ohjausryhmää osallistumisesta hankkeen linjaukseen ja mukana olevia yrityksiä kiinnostuksesta ja yhteistyöstä tutkimus- ja kehitystyöhön.

Mikkeli Joulukuu 2010

Kalle Karttunen

## SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto.....	8
1.1 Energiapuuta Etelä-Savosta.....	8
1.2 Hankkeen tavoitteet.....	8
1.3 Raportin rakenne.....	9
2 Energiapuun tarjontahalukkuus.....	11
2.1 Johdanto.....	11
2.1.1 Tausta.....	11
2.1.2 Tutkimuksen tavoite ja toteuttaminen.....	11
2.2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät.....	12
2.2.1 Perusjoukko ja aineisto.....	12
2.2.2 Analyysimenetelmät.....	12
2.3 Tulokset.....	13
2.3.1 Metsänomistajien taustapiirteet.....	13
2.3.2 Energiapuun myynti ja korjuu.....	15
2.3.3 Energiapuun kauppa ja tietotarpeet.....	18
2.4 Yhteenveto ja päätelmät.....	30
3 Energiapienpuun saatavuus.....	33
3.1 Johdanto.....	33
3.2 Aineisto ja menetelmät.....	35
3.2.1 Laskentamallin kuvaus.....	35
3.2.2 Etelä-Savon energiapuuvarat.....	35
3.3 Tulokset.....	37
3.4 Johtopäätökset.....	39
4 Metsähakkeen kysyntä.....	41
4.1 Johdanto.....	41
4.2 Menetelmät.....	41
4.3 Tulokset.....	43
4.3.1 Etelä-Savon energiatase 2008.....	43
4.3.2 Uusiutuvan energian käyttö Etelä-Savossa.....	46
4.3.3 Fossiilisten energialähteiden käyttö Etelä-Savossa.....	48
4.3.4 Sähköenergian kokonaiskulutus Etelä-Savossa 2008.....	48
4.3.5 Etelä-Savon energiatase 2020.....	49
4.4 Johtopäätökset.....	51
5 Energiapuuharvennuksen kannattavuus.....	52
5.1 Johdanto.....	52
5.2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät.....	52
5.2.1 Aineisto.....	52
5.2.2 Simulointi.....	53
5.2.3 Kannattavuus.....	54
5.3 Tulokset.....	55
5.3.1 Kertymät.....	55
5.3.2 Kannattavuus.....	57
5.4 Johtopäätökset.....	59

6 Energiapienpuun kuivuminen.....	62
6.1 Johdanto.....	62
6.2 Aineisto ja menetelmät.....	63
6.2.1 Aineisto.....	63
6.2.2 Menetelmät.....	63
6.3 Tulokset.....	65
6.3.1 Energiapienpuun kuivuminen.....	65
6.3.2 Palstakuivaus.....	66
6.3.3 Piikkikosteusmittarin luotettavuus.....	68
6.4 Johtopäätökset.....	69
7 Energiapienpuun tienvarsihaketusketju.....	71
7.1 Johdanto.....	71
7.2 Tutkimuksen suoritus.....	71
7.2.1 Aineisto.....	71
7.2.2 Työkoneet.....	71
7.2.3 Menetelmät.....	73
7.3 Tulokset.....	74
7.3.1 Tuottavuus ja haketusketjun ajankäyttö.....	74
7.3.2 Kosteuspitoisuus.....	75
7.3.3 Energiamäärä.....	75
7.3.4 Laatuluokitus.....	76
7.4 Johtopäätökset.....	77
8 Energiapienpuun terminaalihaketusketju.....	83
8.1 Johdanto.....	83
8.2 Tutkimuksen suoritus.....	83
8.2.1 Aineisto.....	83
8.2.2 Työkoneet.....	84
8.2.3 Menetelmät.....	85
8.3 Tulokset.....	87
8.3.1 Työn tuottavuus.....	87
8.3.2 Kosteuspitoisuus.....	88
8.3.3 Energiamäärä.....	89
8.3.4 Laatuluokitus.....	90
8.4 Johtopäätökset.....	92
9 Energiapienpuun hankintalogistiikka.....	97
9.1 Johdanto.....	97
9.1 Aineisto ja menetelmät.....	99
9.3 Tulokset.....	102
9.3.1 Kokopuu.....	102
9.3.2 Rankapuu.....	104
9.3.3 Kokopuu vs. rankapuu.....	105
9.4 Johtopäätökset.....	106
10 Terminaaliverkostomalli.....	110
10.1 Johdanto.....	110
10.1.1 Tausta.....	110
10.1.2 Yritykset ja verkostot.....	112

10.1.3	Luottamus verkostossa .....	113
10.1.4	Yhteistyö verkostossa .....	114
10.2	Tutkimuksen tavoite ja toteuttaminen .....	116
10.3	Tulokset .....	117
10.3.1	Nykyiset yhteistyökumppanit .....	117
10.3.2	Energiapuumarkkinoiden keskeiset muutostekijät .....	118
10.3.3	Terminaaliverkostomallin hyödyt ja haitat omalle liiketoiminnalle.....	118
10.3.4	Terminaaliverkostomalliin liittyvät ulkoiset mahdollisuudet ja uhat .....	119
10.3.5	Luottamusta edistävät seikat terminaaliverkostomallissa.....	119
10.4	Tulosten tarkastelu.....	120
10.5	Johtopäätökset .....	122
11	Terminaaliliiketoimintana .....	125
11.1	Johdanto.....	125
11.1.1	Terminaalitoiminnot .....	125
11.1.2	Puustamaksukyky voimalaitoksella.....	128
11.2	Aineisto ja menetelmät .....	129
11.2.1	Terminaalikustannukset.....	129
11.2.2	Saatavuus ja hankintakustannukset .....	131
11.3	Tulokset .....	132
11.3.1	Terminaalikustannukset.....	132
11.3.2	Saatavuus ja hankintakustannukset .....	134
11.3.3	Kannattavuus .....	136
11.4	Tulosten tarkastelu.....	137
11.4.1	Terminaalikustannukset.....	137
11.4.2	Saatavuus ja hankintakustannukset .....	139
11.4.3	Kannattavuus .....	139
11.5	Johtopäätökset .....	142
12	Loppupäätelmä .....	146
13	Viestintäraportti .....	150



# 1 Johdanto

## 1.1 Energiapuuta Etelä-Savosta

Etelä-Savossa voidaan nostaa maakunnan energiaomavaraisuutta ja uusiutuvia energialähteitä tehokkaimmin lisäämällä metsäenergian käyttöä. Hakkuutähteet ja kannot ovat olleet jo käytössä voimalaitosmittakaavassa, mutta energiapienpuun käyttö on rajoittunut pienempiin käyttökohteisiin. Näin ollen valtaosa maakunnassa saatavilla olevasta pienpuusta on jäänyt metsiin ilman hyötykäyttöä. Metsähakkeen hankinnan toimintaympäristö on kuitenkin muuttunut taantuman vaikutuksesta. Päätehakkuiden hakkuutähte ja sahoilta saatavat sivutuotteet vähenivät ja niiden puutetta pyrittiin korvaamaan energiapienpuulla nuoren metsän harvennuskohteilta.

Energiapienpuun käyttö on kasvanut viime vuosina merkittävästi. Energiapienpuun (karsimaton kokopuu ja karsittu ranka) käyttö on tilastoitu maakuntatasolla erikseen vasta vuodesta 2008 lähtien, jolloin sen käyttö oli Etelä-Savossa 144 000 m<sup>3</sup>. Aikaisempina vuosina käytön voi arvioida jääneen alle 100 000 m<sup>3</sup>. Energiapienpuun käyttö Etelä-Savossa oli vuonna 2009 yhteensä 171 000 m<sup>3</sup>, metsähakkeen kokonaiskäytön ollessa 381 000 m<sup>3</sup>. Merkille pantavaa on erityisesti se, että pienpuu osuus ohitti ensimmäistä kertaa päätehakkuiden hakkuutähteen käytön vuonna 2009. (Ylitalo 2010)

Puupolttoaineiden käyttöä voitaisiin lisätä Etelä-Savossa lähinnä nostamalla metsäenergian käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa, sillä puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ovat jo lähes kokonaan hyödynnetty maakunnassa ja toisaalta puun pienkäytön ei oleteta merkittävästi kasvavan nykyisestä.

Metsähakkeen käyttömääriä on tavoitteena kasvattaa edelleen Etelä-Savossa, mutta Suomen metsäisimmällä maakunnalla on myös kansallinen vastuu tuottaa raaka-ainetta muiden käyttöpaikkojen tarpeisiin. Suurin käyttämätön metsähakepotentiaali löytyy nuorista kasvatusmetsistä, mutta korjuun hinta on ollut toiminnan laajentamisen esteenä.

Energiapuuharvennuksien tarkastelu osana suurimittakaavaista metsäpolttoaineiden hankintaa auttaa hahmottamaan toiminnan laajentamisen mahdollisuuksia ja tukemaan toimijoiden nykyhetken ja tulevaisuuden investointien päätöksentekoa. Korjuumäärien kasvattamisella, teknologian ja liiketoiminnan kehittämällä on mahdollista luoda energiapuuharvennuksien pienpuulle kustannustehokkaat ja toimivat markkinat.

## 1.2 Hankkeen tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli tutkimuksen ja kehittämisen keinoin pyrkiä tukemaan energiapuuharvennuksien korjuun ja pienpuun energiakäytön lisäystä pienissä ja suurissa lämpö- ja voimalaitoksissa Etelä-Savossa. Keskeistä oli tarkastella energiapienpuun logistiikan koko-

naisuutta metsänkasvatuksesta lopputuotteen käyttöön asti. Hankkeen tavoitteena oli luoda toimintamalli, jonka avulla saadaan maakunnan pienpuun energiahyötykäyttö moninkertaistettua. Määrällisenä tavoitteena oli luoda hankkeen aikana edellytykset lisätä energiapuuharvennuksien pienpuuhakkeen korjuuta ja käyttöä maakunnassa 100 000 m<sup>3</sup> (200 GWh).

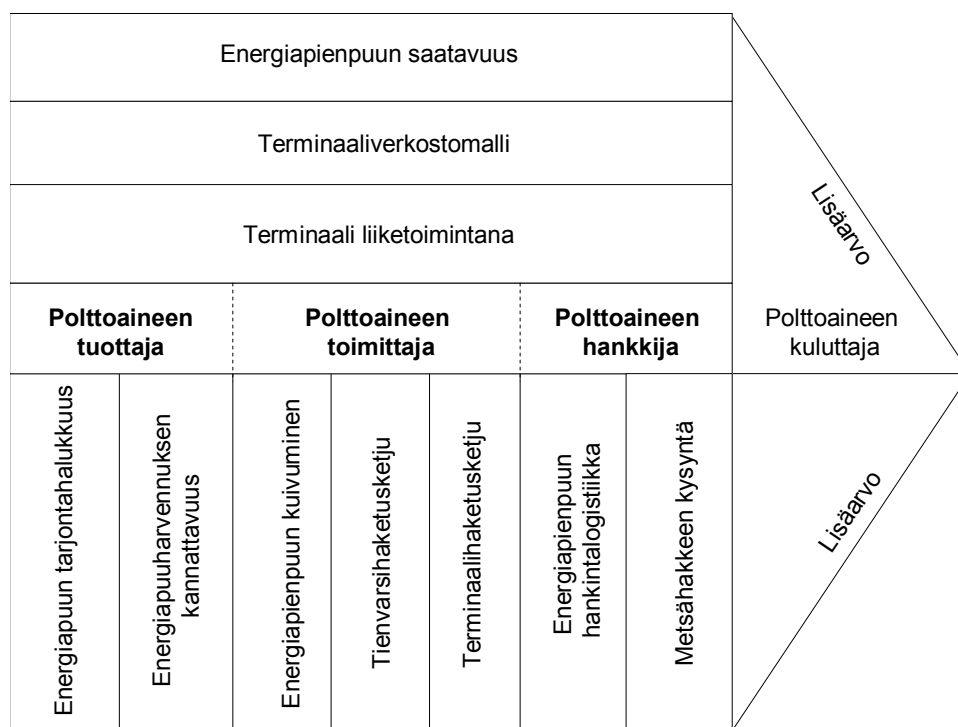
Tavoitteiden saavuttamiseksi olennaista on kytkeä suunnitelmallinen metsänhoito tähtäämään energiapuuharvennuksen sisältämään metsänkasvatukseen sopivista kohteista. Pienpuun käsittelyn ja varastoinnin laajentuessa pitää hankintaa laajentaa hajautetuissa tienvarsivarastoista keskitettyihin terminaaleihin. Käsittelyn suuremman mittakaavan ja tarjonnan ansiosta voitaisiin kustannuksia pienentää kilpailukykyiselle tasolle myös pienpuun osalta. Näin voitaisiin mahdollistaa tehokas jakelu sekä pieniin että suuriin käyttökohteisiin.

Hankkeessa tavoitteita lähestyttiin tutkimuksen ja kehittämisen keinoin. Hankkeessa demonstroitiiin ja kehitettiin energiapienpuun hankinnan liiketoimintamallia soveltumaan pienpuun suurimittakaavaiseen hankintaan ja keskityttiin erityisesti tarkastelemaan metsäpolttoaineiden terminaalitoimintoja osana laajaa kokonaisuutta. Terminaalit voivat olla keskitettyjä suuria yksiköitä tai hajautettuja varastopaikkoja, jotka täydentävät tienvarsivarastointia ja parantavat näin saatavuutta ja toimitusvarmuutta käyttöpaikkojen näkökulmasta.

### **1.3 Raportin rakenne**

Tutkimusraportti on ”Energiapuuta Etelä-Savosta” –hankkeen loppuraportti. Raportin rakenne koostuu kymmenestä erillisestä artikkelista, joiden kirjoittajina ovat hankkeessa työskennelleet tutkijat. Artikkelit käsittelevät hankkeen tutkimusteemoja tutkimussuunnitelman mukaisesti ja muodostavat yhdessä kattavan analyysin energiapienpuun mahdollisuuksista suurimittakaavaisena energialähteenä.

Raportin rakenne noudattelee hankkeen tavoitteellista lähtökohtaa kuvata energiapienpuun logistiikan kokonaisuutta metsänkasvatuksesta lopputuotteen käyttöön asti. Raportin alkuun artikkeleissa luodaan yleinen katsaus Etelä-Savon toimintaympäristöön tarkastelemalla energiapuun tarjontahalukkuuden, energiapienpuun saatavuuden ja metsähakkeen kysyntää. Energiapuuharvennuksen sisältävää metsänkasvatusta käsittelevässä artikkelissa käsitellään metsänhoitosuosituksiin liitetyn kasvatustavan kannattavuutta metsänomistajan näkökulmasta. Hankkeessa toteutettuja demonstraatioita käsitellään kolmessa artikkelissa polttoaineen toimittajan lähtökohdista. Energiapienpuun hankintakustannuksia käsitellään polttoaineen hankkijan näkökulmasta. Kahdessa viimeisessä artikkelissa käsitellään terminaalien verkostomalleja ja niiden liiketoiminnallista perustaa koko arvoketjussa. Terminaalien olennaisena tarkoituksena on turvata polttoaineen saatavuutta ja toimitusvarmuutta, mutta terminaalien rooli tulisi nähdä myös mahdollisuutena luoda uutta liiketoimintaa. Raportin kokonaisuus muodostaa energiapienpuun arvoketjun osana metsäpolttoaineiden tuotantoa, jakelua ja käyttöä (kuva 1).



**Kuva 1.** Raportti artikkeleineen muodostaa energiapuun arvoketjun

## **2 Energiapuun tarjontahalukkuus**

*Sinikka Mynttinen, Kalle Karttunen & Jari Handelberg*

### **2.1 Johdanto**

#### **2.1.1 Tausta**

Etelä-Savon metsien hakkuukertymä on noin 6,2 milj. m<sup>3</sup> kotitarvepuu ja kiinteistöjen poltto-  
puu mukaan luettuna. Tämän lisäksi Etelä-Savon metsissä on vielä runsaasti energiapuuvaro-  
ja. Onkin arvioitu, että Etelä-Savon metsien teknis-taloudellinen, korjuukelpoinen energia-  
puureservi on noin 1,3 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Alueen korjuupotentiaali on näin ollen Suomen  
kolmanneksi suurin (Maidell ym. 2008). Sen sijaan arvioitu energiapuun tarjontahalukkuus  
olisi Etelä-Savossa vain 800 000 m<sup>3</sup>, josta pienpuun osuudeksi on arvioitu noin puolet, kanto-  
jen ja hakkuutähteiden muodostaessa toisen puolen. Maidell ym. (2008) määrittelevät tarjon-  
tahalukkuuden niiden metsänomistajien suhteelliseksi osuudeksi kaikkien eteläsavolaisten  
metsänomistajien metsäpinta-alasta, jotka ovat valmiita myymään energiapuuta itse määritte-  
lemällään hinnalla.

Etelä-Savon lämpö- ja voimalaitokset käyttivät metsähaketta energiatuotantoon yhteensä  
381 000 m<sup>3</sup> vuonna 2009 (Ylitalo 2010). Ensimmäistä kertaa energiapienpuun osuus ylitti  
hakkuutähteen osuuden kattaen puolet metsähakkeen kokonaismäärästä. Metsähakkeen li-  
säyspotentiaalia löytyy edelleen nuorista kasvatusmetsistä. Korjuumäärien kasvattamisella,  
teknologian ja liiketoiminnan kehittämällä olisi mahdollista luoda energiapuuharvennusten  
pienpuulle kustannustehokkaat ja toimivat alueelliset markkinat. Metsänomistajat voivat vas-  
tata kysyntään ottamalla suunnitelmalliset energiapuuharvennukset osaksi metsänkasvatusta.  
Energiapuun käytön lisääminen edellyttää energiapuun tarjontaan liittyvien tekijöiden tutki-  
mista ja tuntemista. Tässä tutkimuksessa selvitetään eteläsavolaisten metsänomistajien suh-  
tautumista ja valmiutta energiapuun tarjontaan.

#### **2.1.2 Tutkimuksen tavoite ja toteuttaminen**

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa ajantasaista tietoa metsänomistajien energiapuun  
tarjonnasta Etelä-Savossa, energiapuun tarjontahalukkuudesta sekä tarjontaan vaikuttavista  
tekijöistä eri metsänomistajaryhmissä. Tutkimuksen toteutus aloitettiin tutustumalla aihepii-  
ristä tehtyihin aikaisempiin tutkimuksiin ja aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen. Näiden poh-  
jalta laadittiin strukturoitu kyselylomake, jonka lähtökohtana käytettiin Pellervon taloudelli-  
sen tutkimuslaitoksen vuonna 2005 suorittamaa kyselyä (Järvinen ym. 2006). Tässä tutki-  
muksessa kysymykset rajoittuivat kuitenkin energiapuun tarjontaan ja myyntihalukkuuteen  
vaikuttaviin tekijöihin. Kysymyslomaketta laadittaessa otettiin huomioon myös alueen kes-  
keisten metsätoimijoiden näkökulmat. Kyselylomake testattiin koehaastattelulla marraskuus-  
sa 2009. Testaus osoitti, että kyselylomake on ymmärrettävä ja teknisesti toimiva. Tämän jäl-  
keen lomake viimeisteltiin.

Aineiston keruu suoritettiin metsänomistajille suunnatulla postikyselyllä. Aineiston analysointi aloitettiin tulosten tallennuksella, jonka jälkeen aineisto tarkastettiin ja tulokset analysoitiin. Tutkimuksen tuloksia verrattiin lisäksi aikaisempiin saman aihepiirin tutkimuksiin. Tutkimusten tulosten välisiä eroja ei kuitenkaan testattu tilastollisesti, vaan vertailut perustuvat silmämääräiseen tarkasteluun.

## **2.2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät**

### **2.2.1 Perusjoukko ja aineisto**

Tutkimuksen perusjoukon muodostivat yli viisi hehtaaria Etelä-Savossa metsää omistavat suomalaiset, joita on noin 29 000. Otannan suoritti Etelä-Savon metsäkeskus tasaväliotannalla marraskuussa 2009. Tasaväliotannalla painottuvat automaattisesti ne alueet, joilla on eniten metsänomistajia. Otokseen tulleille henkilöille postitettiin kyselylomake kahdessa erässä: marraskuussa 2009 ja tammikuussa 2010. Kysely postitettiin kaikkiaan 1 500 metsänomistajalle, joista 388 palautti lomakkeen. Ensimmäisestä erästä (1 000 kpl) vastauksia palautettiin 247 kpl (25 %) ja toisesta (500 kpl) 141 kpl (28 %). Palautetuista vastauksista hylättiin kuusi. Hylkäämisen syitä olivat heikko kysymysten sisäistäminen ja tyhjät lomakkeet. Lopulliseen aineiston käsittelyyn hyväksyttiin siten 382 vastausta, jolloin lopulliseksi vastausprosentiksi tuli 25 %.

### **2.2.2 Analyysimenetelmät**

Aineiston analysointi suoritettiin PASW Statistics 18.0 - tilasto-ohjelmalla. Analysointimenetelminä käytettiin keskiarvotestejä sekä ristiintaulukointeja. Tulokset raportoidaan suoraan ja kaubin ja keskiarvoin.

Ristiintaulukointien avulla pyrittiin selvittämään taustaltaan erilaisten metsänomistajien energiapuutarjontaan liittyviä näkemyksiä ja niissä esiintyviä eroja. Todennäköisyyttä muuttujien välisen riippuvuuden olemassaolosta testattiin  $\chi^2$ -testillä ristiintaulukoinneissa. Jatkuvien muuttujien keskiarvojen eroja eri luokissa analysoitiin t-testin ja yksisuuntaisen varianssianalyysin (ANOVA) avulla. Jälkimmäisessä toisistaan eroavat ryhmät selvitettiin Bonferroni-kerrointa käyttäen. Raportoinnissa esitetään ainoastaan tulokset, joissa riski virhetulkintaan tilastollisen riippuvuuden olemassa olosta on korkeintaan 5 % ( $p < 0,05$ ). Kyselytutkimukseen liittyy silti aina tiettyjä riskejä, jotka on syytä huomioida tuloksia tulkittaessa. Tulokset saattavat esimerkiksi olla herkkiä kysymysten muotoilulle ja asettelulle.

Tulosten esittelyä varten kyselylomakkeen jatkuvien muuttujien mittauksessa käytetty 6-portainen asteikko (1, 2, 3, 4, 5, 6) muutettiin 3-portaiseksi. Kolmiportaisessa asteikossa arvot 1 ja 2 yhdistettiin arvoksi 1, arvot 3 ja 4 saivat arvon 2 ja arvot 4 ja 5 yhdistettiin arvoksi 3. Analyysit ja näiden tulkinta perustuvat kuitenkin alkuperäisellä 6-portaisella asteikolla mitattuihin muuttujiin.

## 2.3 Tulokset

### 2.3.1 Metsänomistajien taustapiirteet

Kyselyn metsänomistajajoukko näyttäisi vastaavan pääpiirteissään Etelä-Savossa metsää omistavien yksityismetsänomistajien yleistä rakennetta (Taulukko 1). Naisia (21 %) vastaajissa on kuitenkin hieman vähemmän kuin metsänomistajissa alueella keskimäärin (25 %). Metsänomistajien keski-ikä on suhteellisen korkea (60 vuotta), mikä näkyy myös kyselyaineistossa (yli 60-vuotiaita 53 %). Voidaankin ajatella, että vanhimmat metsänomistajat olivat jonkin verran yliedustettuina. Metsänomistajista puolet asui maaseudulla ja noin 40 prosenttia tilallaan, kun perusjoukossa tilalla asuvia on noin puolet. Suurimmat omistajaryhmät olivat eläkeläiset, palkansaajat ja maatalousyrittäjät. Tutkimuksen tuloksia voi taustapiirteiden perusteella yleistää Etelä-Savossa metsää omistaviin kohtalaiseen turvallisesti.

**Taulukko 1.** Metsänomistajiin liittyvät ominaispiirteet

<b>Muuttuja</b>	<b>Ryhmä</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
<b>Sukupuoli</b>			
	Mies	303	<b>79</b>
	Nainen	79	21
<b>Ikä (v)</b>			
	Alle 40	28	7
	40-59	149	39
	Yli 60	204	<b>53</b>
<b>Ammattiasema</b>			
	Palkansaaja	128	34
	Maa- ja metsätalousyrittäjä	50	13
	Muu yrittäjä	27	7
	Eläkeläinen	172	<b>45</b>
	Muu	5	1
<b>Asuinpaikka</b>			
	Maaseutu	190	<b>50</b>
	Taajama tai pienehkö kaupunki	57	15
	Kaupunki (20 000 - 100 000 asukasta)	95	25
	Kaupunki (yli 100 000 asukasta)	39	10
<b>Asuminen tilaan nähden</b>			
	Tilalla	149	39
	Tilan sijaintikunnassa	67	18
	Tilan sijaintikunnan ulkopuolella	164	<b>43</b>

Huom! Pyöristyksestä johtuen luokat eivät välttämättä summaannu sataan.

Alle 20 hehtaaria metsää omistavia oli noin kolmannes metsänomistajista ja yli 50 ha omistavia jonkin verran enemmän (Taulukko 2). Etelä-Savossa suurimman metsänomistajaryhmän muodostavat 20 – 49 hehtaaria metsää omistavat (34 %), mikä täsmää hyvin tutkimusotokseen. Sen sijaan pieniä metsätiloja on tutkimusotoksessa vähemmän ja yli 100 hehtaarin tiloja enemmän kuin perusjoukossa. 77 %:lla metsänomistajista metsätila oli ollut omistuksessa yli 10 vuotta, neljänneksellä vähintään 30 vuotta.

**Taulukko 2.** Metsänomistukseen liittyvät taustapiirteet.

<b>Muuttuja</b>	<b>Ryhmä</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
<b>Metsäala (ha)</b>			
	Alle 20	118	31
	20-49	130	<b>34</b>
	50-99	82	22
	Vähintään 100	52	14
<b>Metsätilan hallinta-aika (v)</b>			
	Alle 5	37	10
	5-9	50	13
	10-19	102	<b>27</b>
	20-29	90	24
	Vähintään 30	101	26

Lähes kaksi kolmasosaa metsänomistajien asunnoista lämmitettiin muulla kuin puuperäisellä energialla (Taulukko 3). Yksittäisistä lämpölähteistä puu oli kuitenkin yleisin ja suurin osa siitä tuotettiin halkojen ja pilkkeiden avulla. Puulämmityksessä hakkeen käyttö on vielä hyvin vähäistä. Puun merkitystä lämmönlähteenä korostaa se, että sitä käytettiin lisälämmönlähteenä valtaosassa myös niistä asunnoista, joissa oli jokin ei-puuperäinen lämmitysmuoto. Lähes 40 prosentilla niistä metsänomistajista, jotka eivät asuneet tilallaan, on siellä kuitenkin loma-asunto (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Metsänomistajien asumiseen liittyvät taustatiedot

Muuttuja	Ryhmä	N	%
<b>Asunnon pääasiallinen lämmönlähde</b>			
	Puu (halko, pilke)	126	33
	Sähkö	97	25
	Kaukolämpö	72	19
	Öljy	33	9
	Puu (hake)	18	5
	Lämpöpumppu	19	5
	Muu	3	1
<b>Puu lisälämmönlähteenä</b>		142	37
<b>Loma-asunto tilalla</b>		150	39
<b>Loma-asunto metsätilan maakunnassa</b>		62	16

### 2.3.2 Energiapuun myynti ja korjuu

Metsänomistajista 45 prosenttia ilmoitti, että heidän metsästään on korjattu puuta haketettavaksi, kun hieman suurempi osa (48 %) antoi kieltävän vastauksen. Kolmannes metsänomistajista ilmoitti tehneensä hakkuita viimeisten kolmen vuoden aikana. Tyypillisesti korjuumäärissä oli paljon vaihtelua: alle 50 m<sup>3</sup> – yli 300 m<sup>3</sup>. Sen sijaan vuoden 2005 koko maata koskevassa tutkimuksessa noin 15 prosenttia metsänomistajista oli tarjonnut haketettavaa puuta markkinoille. Noin neljännes ei halunnut tuolloin lainkaan tarjota energiapuuta, kun haluttomien osuus oli nyt pudonnut viidennekseen (ks. taulukko 10).

**Taulukko 4.** Energiapuuta haketettavaksi luovuttaneiden metsänomistajien määrä.

Energiapuuta korjattu haketettavaksi	Lukumäärä	%
Kyllä	171	45
Ei	185	48
En osaa sanoa	8	2
Yhteensä	364	95
Puuttuvia	18	5
Yhteensä	382	100

Energiapuun tarjonta on ollut sitä yleisempää mitä suurempi tilan metsäpinta-ala on ja useammin kuin kaupunkilaismetsänomistajat energiapuuta markkinoille ovat tarjonneet maaseudulla asuvat metsänomistajat. Taulukossa 5 esitetään, kuinka moni metsänomistajista ilmoitti korjanneensa energiapuuta omaan käyttöön ja myyntiin vuonna 2009 sekä heidän arvionsa vuoden 2010 korjuusta. Myös energiapuuerien suuruus ilmoitetaan.



## Vuonna 2009 korjatun energiapuun käyttö ja määrät

Noin viidennes niistä metsänomistajista, joiden metsästä oli korjattu haketta vuonna 2009, tarvitsi haketta omiin tarpeisiinsa. Hieman suurempi osa metsänomistajista ilmoitti luovuttaneensa haketta myytiin (29 %). (Taulukko 5)

Vuonna 2009 omaan käyttöön haketettavaksi korjatun energiapuun määrät eivät vaihdelleet merkittävästi metsänomistajaryhmittäin. Sen sijaan haketettavan energiapuun myyntimäärissä oli eroja: eniten haketettavaa energiapuuta olivat myyntiin korjanneet maaseudulla ja tilalla asuvat sekä 20–49 ha omistavat metsänomistajat. Pieniä eriä myyneet metsänomistajat asuivat tyypillisesti isoissa kaupungeissa, kun taas suuria eriä ovat myyneet pienissä kaupungeissa (20 000–100 000) asuvat ja yli 100 hehtaaria omistavat metsänomistajat.

## Energiapuun arvioitu korjuumäärä ja käyttö vuonna 2010

Arviot energiapuun korjuumääristä vuodelle 2010 ovat edellisen vuoden toteutumaan verrattuna korkeat. Metsänomistajista 42 prosenttia aikoo ilmoituksensa mukaan käyttää metsästään haketettavaa energiapuuta vuonna 2010. (Taulukko 5). Vastaavan arvion koko maassa vuosille 2005–2006 antoi noin kymmenen prosenttia metsänomistajista (Järvinen ym. 2006). Haketettavaa energiapuuta aikoi myyntiin korjata 34 prosenttia metsänomistajista. Samoin kuin pääosa omaan käyttöön aiotuista energiapuueristä vuonna 2010, myös haketettavan energiapuun arvioidut myyntierät ovat pieniä, tyypillisesti alle 50 m<sup>3</sup> (48 %). Vuonna 2010 pieniä eriä haketettavaa puuta aikovat yleisimmin myydä isoissa kaupungeissa, alle 20 ha ja alle 5 vuotta metsää omistaneet metsänomistajat. Suuria eriä suunnittelevat myyvänsä keskikokoisissa kaupungeissa asuvat ja 10–19 ha metsää omistavat. Haketetun puun käyttäjinä erottautuvat pienten erien osalta palkansaaajat ja tilan sijaintikunnassa asuvat metsänomistajat. Suurempia eriä aikoivat käyttää erityisesti maa- ja metsätalousyrittäjät ja tilalla asuvat.

**Taulukko 5.** Energiapuun korjuumäärät omaan käyttöön ja myyntiin 2009 sekä arvio vuodelle 2010.

<b>Energiapuun korjuumäärät</b>									
<b>Omaan käyttöön</b>					<b>Myyntiin</b>				
	2009		Arvio 2010			2009		Arvio 2010	
m <sup>3</sup>	Lkm	%	Lkm	%		Lkm	%	Lkm	%
< 50	73	19	132	35	< 50	37	10	63	17
50 – 100	19	5	26	7	50 – 99	25	7	26	7
> 100	5	1	4	1	100 – 300	26	7	32	8
					> 300	22	6	9	2
Yhteensä	97	25	162	42	Yhteensä	110	29	130	34
Puuttuvia	285	75	220	58	Puuttuvia	272	71	252	66
Yhteensä	382	100	382	100	Yhteensä	382	100	382	100

## Energiapuun myynti osto- ja välittäjäorganisaatioille

Taulukko 6 osoittaa, että reilusti yli puolet metsänomistajista oli tietoisia metsätilan lähellä olevista energiapuun ostajista. Kuitenkin edelleen kolmannes metsänomistajista ei tiennyt, kenelle tarjota energiapuuta myyntiin. Verrattuna vuoden 2005 valtakunnallisen kyselyn tuloksiin ero on melkoinen. Tuolloin vain neljäsosa (27 %) metsänomistajista tiesi tilan lähellä toimivista energiapuun ostajista.

Naismetsänomistajilla oli vähemmän tietoa energiapuun ostajista kuin miehillä, samoin alle 40-vuotiailla, eläkeläisillä ja pienten metsälöiden omistajilla. Lisäksi kaupungeissa ja tilan sijaintikunnan ulkopuolella asuvat metsänomistajat olivat vähemmän tietoisia energiapuun ostajista kuin maaseudulla asuvat.

**Taulukko 6.** Tieto energiapuun ostajista.

<b>Tiedättekö energiapuuta ostavia organisaatioita?</b>	Lukumäärä	%
Kyllä	237	62
En	128	34
Yhteensä	365	96
Puuttuvia	17	4
Yhteensä	382	100

Yli puolet Etelä- Savossa energiapuuta myyneistä metsänomistajista oli käyttänyt metsänhoitoyhdistystä välittäjänä. Neljännes oli myynyt metsäteollisuusyritykselle ja 15 prosenttia polttoaineen toimittajalle. Vain kaksi prosenttia oli myynyt energiapuuta suoraan voimalaitokselle. Kolme viidestä metsänomistajasta (62 %) oli tietoinen heidän tilansa lähettyvillä olevista energiapuun ostajista. (Taulukko 7)

Metsänomistajien mainitsemat energiapuun ostajat muodostivat hyvin kirjavan joukon, jossa oli metsänhoitoyhdistyksiä, metsäyhtiöitä, valtakunnallisia ja paikallisia energiayrityksiä, polttoaineen toimittajia, kuntatahoja ja metsäpalveluorganisaatioita. Useimmin mainitut ostajatahot olivat suuruusjärjestyksessä: metsänhoitoyhdistykset, Metsäliitto, Biowatti, UPM, Stora Enso, Bio-Esme ja Etelä-Savon Energia.

**Taulukko 7.** Toteutunut energiapuun osto- /välitysorganisaatio.

<b>Toteutunut osto/välitysorganisaatio</b>	Lukumäärä	%
Metsänhoitoyhdistys	100	26
Metsäteollisuusyritys	49	13
Polttoaineen toimittaja	28	7
Voimalaitos	6	2
Yhteensä	183	48
Puuttuvia	199	52
Yhteensä	382	100

Kun metsänomistajilta tiedusteltiin, miten energiapuun myynti kannattaisi organisoida, nousi valinnanvapaus tärkeäksi: kaikkia mainittuja myyntitapoja katsottiin tarvittavan (Taulukko 8). Yksittäisistä vaihtoehdoista parhaimpana pidettiin kilpailuttamista metsänhoitoyhdistyksen valtakirjakaupalla (30 % vastaajista), mutta lähes yhtä paljon kannatusta sai myynti polttoainetta toimittavalle yritykselle (27 % vastaajista). Sen sijaan myyntiä suoraan metsänhoitoyhdistykselle tai metsäyhtiölle ei pidetty yhtä hyvänä vaihtoehtona. Edellistä kannatti 16 % ja jälkimmäistä 18 % vastaajista. On myös huomattava, että eri metsänomistajaryhmät olivat hyvin yksimielisiä siitä, miten energiapuun myynti kannattaisi organisoida.

**Taulukko 8.** Toivottu energiapuun osto-/välitysorganisaatio.

	N	Keskiarvo (1-6)	Keskihajonta
<b>Miten energiapuun myynti kannattaisi organisoida?</b>			
Kaikkia edellä mainittuja myyntitapoja tarvitaan	289	4,82	1,400
Myynti kilpailuttamalla metsänhoitoyhdistyksen valtakirjakaupalla	194	4,42	1,634
Myynti polttoainetta toimittavalle yritykselle	189	4,33	1,512
Myynti metsäyhtiölle	176	3,96	1,483
Myynti metsänhoitoyhdistykselle	164	3,77	1,565

### 2.3.3 Energiapuun kauppa ja tietotarpeet

#### **Energiapuun arvioitu hintakehitys ja energiapuun myyntihalukkuus nousevilla ainespuuhinnoilla**

Noin puolet metsänomistajista uskoi energiapuuhintojen nousevan seuraavan kolmen vuoden aikana. Neljäkymmentä prosenttia arveli hintojen pysyttelevän nykyisellä tasolla, ja vain kahdeksan prosenttia ennakoivat niiden laskevan.

Kysyttäessä miten metsänomistajat myisivät puuta, jos ainespuun hinta olisi 10 prosenttia aiempaa tasoa korkeampi vuonna 2010, kuitupuun ensiharvennuskohteet saivat eniten kannatusta.

Isoissa kaupungeissa asuvilla ja yli 100 hehtaaria metsää omistavilla näiden kohteiden kannatus oli muita suurempaa. Samoin energiapuun nuoren metsän kunnostuskohteet olivat suosittuimpia yli 100 hehtaaria kuin alle 20 hehtaaria omistavien joukossa. Sen sijaan selvästi pienempi osa metsänomistajista myisi tukkipuuvaltaisia päätehakkukohteita. Suurimpana syyinä sille, ettei puunmyynnille nähty tarvetta, mainittiin sopivien kohteiden puuttuminen. Myös puusta saatavaa hintaa pidettiin useissa kommentteissa liian alhaisena.

## Energiapuun hinnoittelutapa

Kyselyn metsänomistajista 60 prosenttia piti kuutiomäärän mukaista hinnoittelua (€/m<sup>3</sup>) parhaana hinnoittelutapana. Vain 17 prosenttia arvioi puun sisältämän energiamäärän mukaisen hinnoittelutavan (€/MWh) parhaaksi. (Taulukko 9) Hinnoittelutavan arvioinnissa voidaan havaita pieni ero vuonna 2005 suoritetun koko maata koskevan kyselyn tuloksiin: tuolloin noin puolet metsänomistajista piti kuutioperusteista hinnoittelua parhaana ja joka viides kannatti puun sisältämän energiamäärän mukaista hinnoittelua (Järvinen ym. 2006).

**Taulukko 9.** Paras tapa hinnoitella energiapuu.

Paras tapa hinnoitella energiapuu	Lukumäärä	%
Kuutiomäärän mukaan (€/m <sup>3</sup> )	230	60
Puun sisältämän energiamäärän mukaan (€/MWh)	66	17
En osaa sanoa	54	14
Maksuperusteella ei ole väliä	15	4
Pinta-alan mukaan (€/ha)	6	2
Yhteensä	371	97
Puuttuvia	11	3
Yhteensä	382	100

Sekä mies- että naismetsänomistajista huomattava osa (65 % / 50 %) kannatti kuutiomäärän mukaista hinnoittelua, kuitenkin naisissa oli enemmän niitä, jotka eivät osanneet sanoa kantansa.

## Energiapuulajien luovutusvaihtoehdot

Taulukko 10 kuvaa metsänomistajien kiinnostusta eri energiapuulajien luovutusvaihtoehtoihin. Tutkimuksessa käy ilmi, että keskimäärin viidennes metsänomistajista ei halua luopua lainkaan energiapuustaan. Luovutushaluttomien määrissä ei ole juurikaan eroja eri energiapuulajien välillä lukuun ottamatta kantoja, joita yli 40 prosenttia metsänomistajista on haluttomia luovuttamaan myyntiin. Tutkimuksesta kävi ilmi, että valtaosa metsänomistajista haluaa maksun luovuttamastaan energiapuusta, mutta suurin osa maksun haluavista ei kuitenkaan osannut ilmaista sen suuruutta. Myyntihalukkuus oli myönteisintä energiapienpuulla (karsimaton kokopuu 81 % ja karsittu ranta 76 %), sillä keskimäärin 79 % metsänomistajista vastasi olevansa valmis luovuttamaan sitä maksua vastaan. Lähes yhtä hyvä myyntihalukkuus oli oksa- ja latvusmassalla 76 %. Heikoin myyntihalukkuus oli kannoilla, 51 %.

**Taulukko 10.** Energiapuulajien luovutusvaihtoehdot.

	Karsimaton kokopuu		Karsittu ranka		Oksa- ja latvusmassa		Kannot	
	Lkm	%	Lkm	%	Lkm	%	Lkm	%
En halua luovuttaa	68	18	79	21	80	21	164	43
Luovuttaisin maksusta, mutta en osaa sanoa sen suuruutta	215	56	182	48	213	56	149	39
Jos saisin vähintään...	75	20	72	19	44	12	25	7
Yhteensä	358	94	333	88	337	89	338	89
Puuttuvia	24	6	49	12	45	11	44	12
Yhteensä	382	100	382	100	382	100	382	100
<b>Myyntihalukkuus</b>		<b>81%</b>		<b>76%</b>		<b>76%</b>		<b>51%</b>

Korvaustoiqeissa oli havaittavissa vaihtelua energiapuulajeittain. Kalleinta hintaa haluttiin karsitusta rangasta ja halvinta kannoista. Vain 20 % vastaajista määritteli karsimattomalle kokopuulle hinnan, jonka he vähintään haluaisivat saada. Tyypillisin hintatoive on 10 €/m<sup>3</sup>. Metsänomistajien suhtautuminen sekä karsitun rangan että oksa- ja latvusmassan luovuttamiseen oli hyvin samantapainen. Noin 70 prosenttia metsänomistajista halusi saada niistä maksun. Maksutoiveen esitti karsitulle rangalle 19 prosenttia metsänomistajista, mutta vain 12 prosenttia hakkuutähteille. Ensiksi mainitulle tyypillisin hintatoive oli 15 €/m<sup>3</sup> ja jälkimmäiselle 5 tai 10 €/m<sup>3</sup>. Kannoista toivoi maksua alle puolet metsänomistajista ja vain 7 prosenttia esitti maksutoiveen, tyypillisesti 5 €/m<sup>3</sup>. (Taulukko 11)

**Taulukko 11.** Energiapuusta halutun maksun suuruus.

Energiapuutavaralaji	Vähintään €/m <sup>3</sup> (moodi)	Vastauksia kpl
Karsimaton kokopuu (n=75)	10	19
Karsittu ranka (n=72)	15	13
Oksa- ja latvusmassa (n=44)	5/10	11/11
Kannot (n=25)	5	6

Metsänomistajaryhmittäin tarkasteltuna suhtautumisessa energiapuutavaralajien luovutukseen löytyi varsin runsaasti eroja. Yhteenvedona voidaan todeta, että eroja metsänomistajaryhmien välille löytyi lähinnä iän, ammatin ja metsäalan suhteen. Iäkkäimmät metsänomistajat eivät tyypillisesti määritelleet eri energiapuulajeille vähimmäishintaa. Sen sijaan maa- ja metsätalousyrittäjillä samoin kuin yli 100 ha metsää omistavilla oli suurin halu ja valmius määritellä eri energiapuulajeille toivomansa vähimmäishinta.

### Karsimattoman kokopuun luovutusvaihtoehdot metsänomistajaryhmittäin

Karsimattoman kokopuun luovutuksessa metsänomistajaryhmittäin löytyi muutamia eroja. Pienten metsälöiden omistajat olivat kaikkein haluttomimpia luovuttamaan karsimatonta kokopuuta. Joka neljäs alle 20 hehtaaria metsää omistavista metsänomistajista oli tällä kannalla. Halukkaita vähimmäishinnan määrittelijöitä oli eniten (42 %) yli 100 hehtaaria metsää omistavien keskuudessa. Eri ammattikunnan edustajista maa- ja metsätalousyrittäjät olivat halut-

tomimpia luovuttamaan karsimatonta kokopuuta. Yrittäjät sen sijaan olivat kaikkein valmiimpia tämän energiapuulajin luovuttamiseen maksua vastaan. Kuitenkin heistä vain 14 prosenttia määritteli vähimmäishinnan karsimattomalle kokopuulle kun maa- ja metsätalousyrittäjissä hinnanmäärittelijöitä oli 36 prosenttia. Iän puolesta haluttomimpia myymään karsimatonta kokopuuta olivat 40–59-vuotiaat metsänomistajat. Toisaalta nuorten alle 40-vuotiaiden ryhmässä hinnanmäärittelijöitä oli suhteellisesti eniten.

### **Karsitun rangan luovutusvaihtoehdot metsänomistajaryhmittäin**

Pienten metsälöiden omistajat eivät olleet yhtä halukkaita luovuttamaan karsittua rankaa kuin suurempien. Noin 90 % yli 100 hehtaaria metsää omistavista halusi luovuttamastaan karsitusta rangasta maksun, kun taas 68 prosenttia alle 20 hehtaarin omistajista ilmoitti luovuttavansa korvausta vastaan. Korvauksen suuruuden määritteli lähes puolet yli 100 hehtaaria metsää omistavista. Vastaavasti vain 11 prosenttia pienten metsälöiden omistajista ilmoitti haluamansa vähimmäishinnan. Tilalla asuvista metsänomistajista 30 prosenttia ilmoitti haluamansa vähimmäishinnan karsitulle rangalle, kun vain 15 prosenttia tilan sijaintikunnan ulkopuolella asuvista määritteli hinnan.

Eläkeläisistä lähes 30 prosenttia ei ollut halukas luovuttamaan karsittua rankaa, kun taas yrittäjistä vain 12 prosentti ilmoitti haluttomuutensa myyntiin. Maa- ja metsätalousyrittäjistä puolet ilmoitti haluamansa vähimmäishinnan, mutta eläkeläisistä ainoastaan 10 prosenttia. Ero näkyi myös siten, että yli 60 vuotiaista hinnan määritteli vain 12 prosenttia ja alle 40 vuotiaista metsänomistajista 36 prosenttia.

### **Oksa- ja latvusmassan luovutusvaihtoehdot metsänomistajaryhmittäin**

Yli 100 hehtaaria metsää omistavista vajaa kolmannes ei halunnut luovuttaa lainkaan oksa- ja latvusmassaa. Toisaalta lähes kolme neljästä alle 20 hehtaaria omistavista metsänomistajista oli valmis luovuttamaan oksa- ja latvusmassan korvausta vastaan. Yli 100 hehtaaria metsää omistavista 69 prosenttia halusi luovuttamastaan hakkuutähteistä maksun.

Yrittäjistä 39 prosenttia ei halunnut luovuttaa lainkaan oksa- ja latvusmassaa. Eläkeläisistä reilut neljä viidestä ja maa- ja metsätalousyrittäjistä lähes saman verran oli valmiita luovuttamaan oksa- ja latvusmassan maksua vastaan. Jälkimmäisistä maksun suuruuden määritteli reilu kolmannes kun taas eläkeläisistä vain neljä prosenttia. Nuorista alle 40 vuotiaista metsänomistajista 39 prosenttia ei halunnut luovuttaa oksa- ja latvusmassaa, kun taas yli 60 vuotiaista vain 17 prosenttia oli haluttomia luovuttamaan tätä energiapuulajia. Sen sijaan yli 60 vuotiaista neljä viidestä ilmoitti luovuttavansa korvausta vastaan, mutta alle 40 vuotiaista ainoastaan kolme viidestä.

### **Kantojen luovutusvaihtoehdot metsänomistajaryhmittäin**

Kannoissa löytyi metsänomistajaryhmien välillä eroja ainoastaan metsäpinta-alan ja ammatin suhteen. Mitä suurempi metsäala sitä haluttomampi metsänomistaja oli luovuttamaan kantoja. Yli 100 hehtaaria omistavista lähes kolme viidesosaa ei halunnut luovuttaa kantoja, kun pienempien metsälöiden osalta haluttomia oli selvästi alle puolet. Ammattiryhmistä yrittäjät oli-

vat haluttomimpia luovuttamaan kantoja ja hinnan määrittelyssä aktiivisimpia olivat maa- ja metsätalousyrittäjät.

### **Energiapuun yhteismyynti**

Reilu kolmannes metsänomistajista (35 %) ilmoitti olevansa kiinnostunut energiapuun yhteismyynnistä. Viidennes ilmoitti haluttomuutensa yhteismyynteihin. Suuri osa metsänomistajista (42 %) ei osannut ottaa asiaan lainkaan kantaa. Verrattuna vuoden 2005 kyselyn tuloksiin, yhteismyynneistä kiinnostuneiden osuus on tässä kyselyssä suurempi. Miehistä suurempi osa kuin naismetsänomistajista (39 % / 23 %) oli kiinnostunut yhteismyynneistä. Kuitenkin naisissa oli huomattavan paljon niitä, jotka eivät osanneet sanoa kantaansa (52 %).

Yhteismyyntiä puoltavina tekijöinä nähtiin isommat myyntierät, joista ostajat ovat kiinnostuneempia. Yhteismyyntinä pienemmänkin energiapuuerän myyntiä pidettiin helpompana ja suuremmissa erissä korjuukustannukset olisivat pienemmät ja näin omalle energiapuulle olisi mahdollista saada parempi hinta. Yhteismyynnistä kieltäytymisen perusteet olivat selvästi moninaisemmat. Merkittäviksi syiksi mainittiin: tilan pieni koko, myytävän energiapuun vähäisyys, energiapuun tarve omaan käyttöön, epäilykset yhteistoiminnan sujuvuudesta, ei tunneta naapurimetsänomistajaa ja yleisesti energiapuutoiminnan kehittymättömyys. Näistä useimmin mainittuja syitä olivat tarve omaan käyttöön ja vähäiset myyntimäärät.

### **Kiinnostus tarjota energiapuuta kilpailutettavaksi internet-palvelun kautta**

Kysyttäessä metsänomistajan kiinnostusta tarjota joko itse tai valtuuttamansa organisaation välityksellä energiapuuta kilpailutettavaksi internet-palvelun kautta vajaa kolmannes (28 %) ilmoitti olevansa kiinnostunut. Kielteisellä kannalla oli reilu viidennes (23 %) ja epävarmoja oli suuri joukko (44 %).

Ymmärrettävästi nuorimmat metsänomistajat (60 %) olivat kiinnostuneimpia kilpailuttamaan energiapuuta internet-palvelun kautta. Hieman yli puolet yli 60 vuotiaista oli epävarmoja kannastaan. Ammattiryhmistä kiinnostusta löytyi suhteellisesti eniten yrittäjissä (42 %) ja vähiten maa- ja metsätalousyrittäjissä (13 %). Toisaalta viimeksi mainituista yli puolet ei osannut sanoa kantaansa.

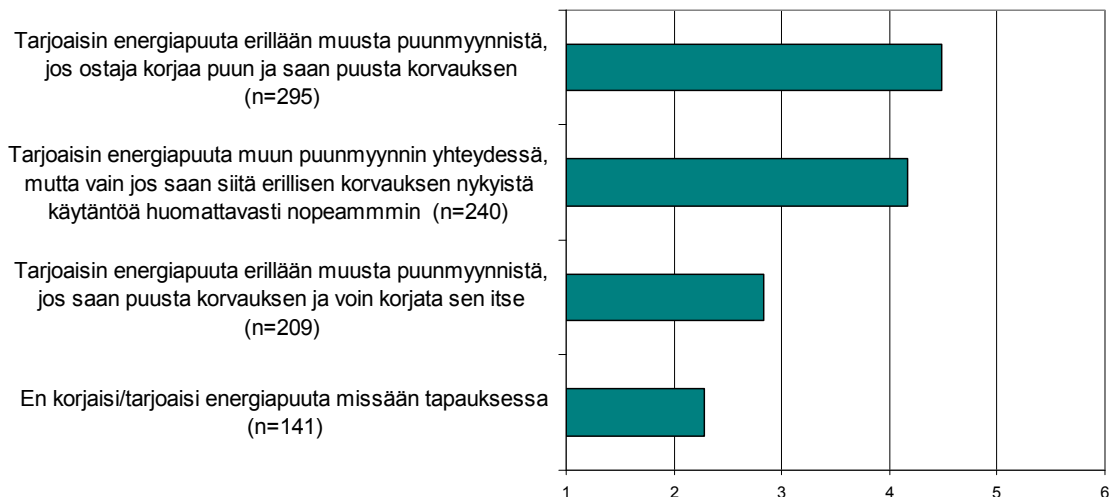
Tilan sijaintikunnan ulkopuolella asuvissa metsänomistajissa (37 %) oli eniten niitä, jotka olivat kiinnostuneet energiapuun kilpailutuksesta internet-palvelun kautta, kun taas tilalla ja tilan sijaintikunnassa asuvat metsänomistajat olivat epävarmoja kannastaan. Suurten metsäalojen omistajista kaksi viidestä ilmoitti olevansa kiinnostunut, kun taas pienten alojen omistajista lähes kolmannes oli kielteisellä kannalla. Eniten epävarmoja oli 20–49 hehtaaria omistavien joukossa. Nuorten metsänomistajien ohella suurinta kiinnostus vaikutti olevan 5–9 vuotta metsää omistaneilla.

Energiapuun kilpailutusta internet-palvelun kautta pidettiin käteväenä, nykyaikaisena tapana myydä energiapuuta. Katsottiin, että sen avulla olisi mahdollista tavoittaa nopeasti ja helposti suurempi määrä energiapuun ostajia/korjaajia, myös uusia toimijoita. Menettelyn arveltiin johtavan ajan myötä myös parempiin hintoihin. Vähäisen kiinnostuksen luonnollinen ja kes-

keisin syy oli tietokoneen tai internet-yhteyksien puuttuminen. Lisäksi katsottiin, että kauppojen hoitaminen kasvotusten on tärkeää, jotta voidaan sopia toimintatavoista paikan päällä. Sen katsottiin edistävän myös luottamusta osapuolten välillä.

### Energiapuun tarjonta markkinoille

Kuva 1 osoittaa energiapuun tarjontahalukkuuden erilaisilla luovutusvaihtoehdoilla. Kaikkein mieluiten energiapuuta tarjottaisiin erillään muusta puunmyynnistä, jos ostaja korjaa puut ja metsänomistaja saa korvauksen. Myös energiapuukauppa muun puunmyynnin yhteydessä sopii metsänomistajille. Sen sijaan suuri osa metsänomistajista ei näyttäisi olevan valmis omatoimiseen energiapuun korjuuseen. Tuloksia tarkastellessa kannattaa huomata, että melko moni metsänomistaja jätti kysymykseen vastaamatta (vastaamattomien osuus 23–63 %). Yleistä oli myös se, että vastattiin vain yhteen tai kahteen kohtaan ja jätettiin muut kohdat täyttämättä. Korkein vastausaktiivisuus kohdistui hyväksytyimpiin tarjontamuotoihin.



**Kuva 1.** Energiapuun tarjontahalukkuus erilaisilla luovutusvaihtoehdoilla (1= Ehdottomasti ei, 6= Ehdottomasti kyllä)

Metsänomistajaryhmittäin tarkasteltuna energiapuun tarjontamuodoissa löytyi melko paljon eroja. Taulukko 12 kuvaa yhteenvetona luovutusvaihtoehdoittain eroja metsänomistajaryhmien välillä.

Miehet olivat valmiimpia kuin naiset myymään energiapuuta erillään muusta puunmyynnistä, jos ostaja korjaa ja he saisivat korvauksen. Yli 60-vuotiaat myisivät mieluummin kuin alle 40-vuotiaat muun puunmyynnin yhteydessä. Tilalla asuvat ja maa- ja metsätalousyrittäjät olivat halukkaimpia tarjoamaan energiapuuta erillään muusta puun myynnistä, jos voisivat itse korjata puun ja saisivat siitä korvauksen.



**Taulukko 12.** Metsänomistajien taustaan liittyvät erot energiapuun luovutustavoissa. Mainittujen ryhmien välillä ero on tilastollisesti merkittävä.

Energiapuun luovutusvaihtoehto	Keskiarvo		Tilastollinen merkitsevyys
	<i>Pienempi</i>	<i>Suurempi</i>	
Tarjoaisin energiapuuta erillään muusta puun myynnistä, jos ostaja korjaa puun ja saan puusta korvauksen	Nainen	Mies	***
Tarjoaisin energiapuuta erillään muusta puunmyynnistä, jos saan energiapuusta korvauksen ja voin korjata sen itse	Eläkeläinen Asun tilan sijaintikunnan ulkopuolella	Maa- ja metsätalousyrittäjä Asun tilalla	** **
Tarjoaisin energiapuuta muun puunmyynnin yhteydessä, mutta vain jos saan siitä erillisen korvauksen nykyistä käytäntöä huomattavasti nopeammin	Ikä < 40 v	Ikä > 60 v	**
En korjaisi/tarjoaisi energiapuuta missään tapauksessa	Ikä < 40 v Ikä 40-59 v	Ikä > 60 v Ikä > 60 v	*** ***

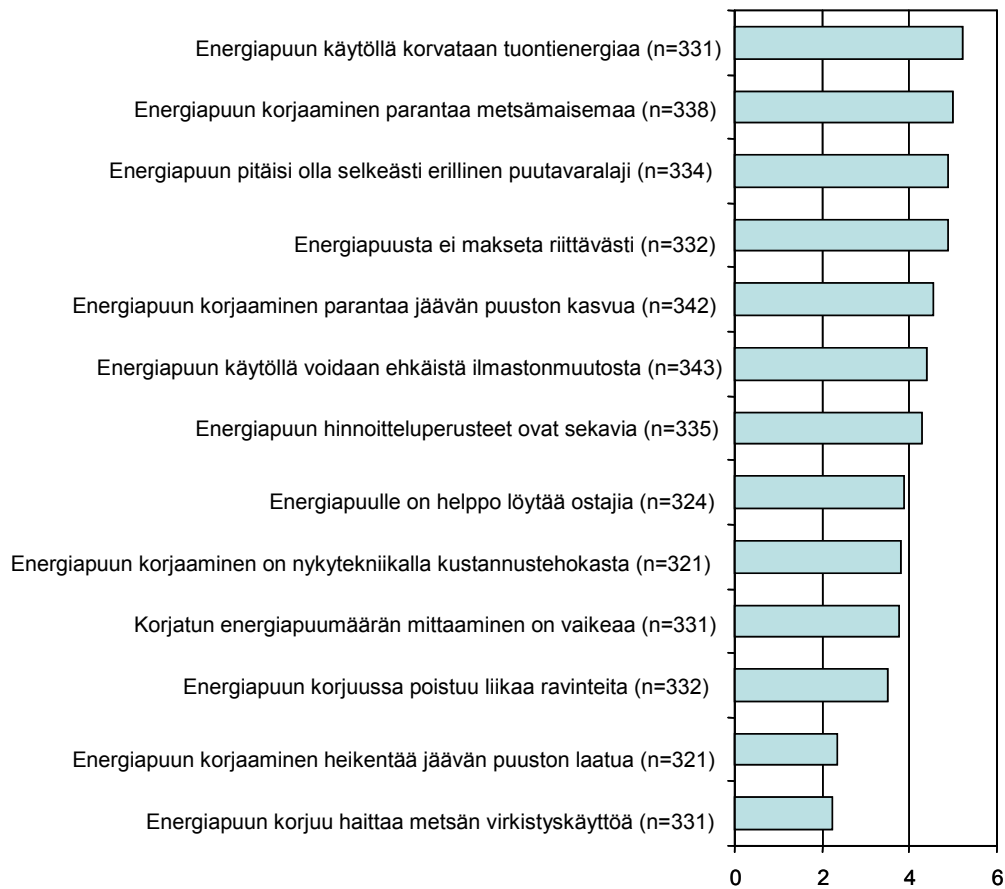
Tilastollinen merkitsevyys: \*\*\*(p<0,001), \*\* (p<0.01), \*(p<0,05)

### Mielipiteet energiapuuväittämistä

Kuva 2 esittää energiapuuhun liittyviä väittämiä. Tulokset osoittavat, että metsänomistajien mielestä energiapuuta pitäisi käsitellä erillisenä puutavaralajina. Energiapuukaupassa on metsänomistajien mielestä vielä myös paljon parannettavaa. Ensinnäkin nykyistä hinnoittelua pidettiin sekavana ja puusta maksettavaa hintaa riittämättömänä. Lisäksi ostajien löytäminen oli vaikeaa. Myöskään nykyisen toiminnan kustannustehokkuudesta ei oltu kovin vakuuttuneita.

Energiapuun korjuun nähtiin vaikuttavan etupäässä positiivisesti puuntuotantoon lisäämällä kasvua ja parantamalla jäävän puuston laatua. Tiettyä huolta metsänomistajille aiheuttaa epävarmuus siitä, häviääkö energiapuun mukana metsästä liikaa ravinteita. Energiapuun korjuun nähtiin selkeästi hyödyttävän metsän virkistyskäyttöä ja parantavan maiseman laatua. Lisäksi sen käytön katsottiin korvaavan tuontienergiaa ja ehkäisevän ilmastonmuutosta. Väittämistä oltiin hyvin samaa mieltä vuoden 2005 koko maata koskevassa kyselyssä.

Metsänomistajaryhmien välillä havaittiin eroja mielipiteissä energiapuuväittämiin siten, että yli 60-vuotiaat pitivät hinnoitteluperusteita sekavampina, heidän oli vaikeampi löytää ostajia ja heidän mielestään energiapuun korjuu häiritsee nuorempia metsänomistajia enemmän metsän virkistyskäyttöä. Ostajien löytämisen kokivat hankalaksi myös tilan sijaintikunnan ulkopuolella asuvat ja alle 20 hehtaaria metsää omistavat. Isoissa kaupungeissa asuvat metsänomistajat pitivät energiapuun korjuuta nykytekniikalla vähemmän kustannustehokkaana kuin maaseudulla asuvat. Sen sijaan tilalla asuvat olivat tilan sijaintikunnassa asuvia metsänomistajia enemmän huolissaan jäävän puuston laadun heikkenemisestä ja yli 100 hehtaaria metsää omistavat puuston kasvun parantumisesta energiapuukorjuun seurauksena.



**Kuva 2.** Energiapuuhun liittyviä väittämiä (0= Täysin eri mieltä, 6=Täysin samaa mieltä)

### Energiapuuharvennus

Metsänomistajille esiteltiin uusi metsänkasvatusohjelma ja puukauppamarkkinoille tuotava metsänkäsittelevä vaihtoehto ”energiapuuharvennus”:

*”Energiapuuharvennuksella tarkoitetaan metsänkasvatusvaihtoehtoa, jossa taimikot jätetään tarkoituksella nykyohjeita tiheämmiksi ja harvennuksessa puut korjataan suurimmaksi osaksi energiakäyttöön. Kyse ei ole taimikonhoidon laiminlyönnistä, vaan suunnitelmalliseen ener-*

*giapuuharvennukseen tähtäämisestä. Energiapuuharvennus toteutettaisiin aikaisemmin kuin nykyinen ainespuun tuotantoon tähtäävä ensiharvennus.”*

Taulukko 13 osoittaa, että energiapuuharvennukseen suhtauduttiin pääsääntöisesti myönteisesti, 64 prosenttia ilmoitti olevansa valmiita toteuttamaan omalla metsätilalla joillakin kohteilla energiapuuharvennusta. Vastaava osuus metsänomistajista oli kiinnostunut tietämään energiapuuharvennuksen sisältävän metsänkasvatusvaihtoehdon mahdollisuuksista metsätilallaan. Valmiudessa toteuttaa energiapuuharvennuksia omalla tilalla ei ollut eroa mies- ja naismetsänomistajien välillä. Sen sijaan naismetsänomistajista suurempi osuus (28 %) ei osannut sanoa kantaansa. Lisäksi pienten metsälöiden omistajat olivat haluttomampi energiapuuharvennuksiin kuin 50–99 hehtaaria omistavat.

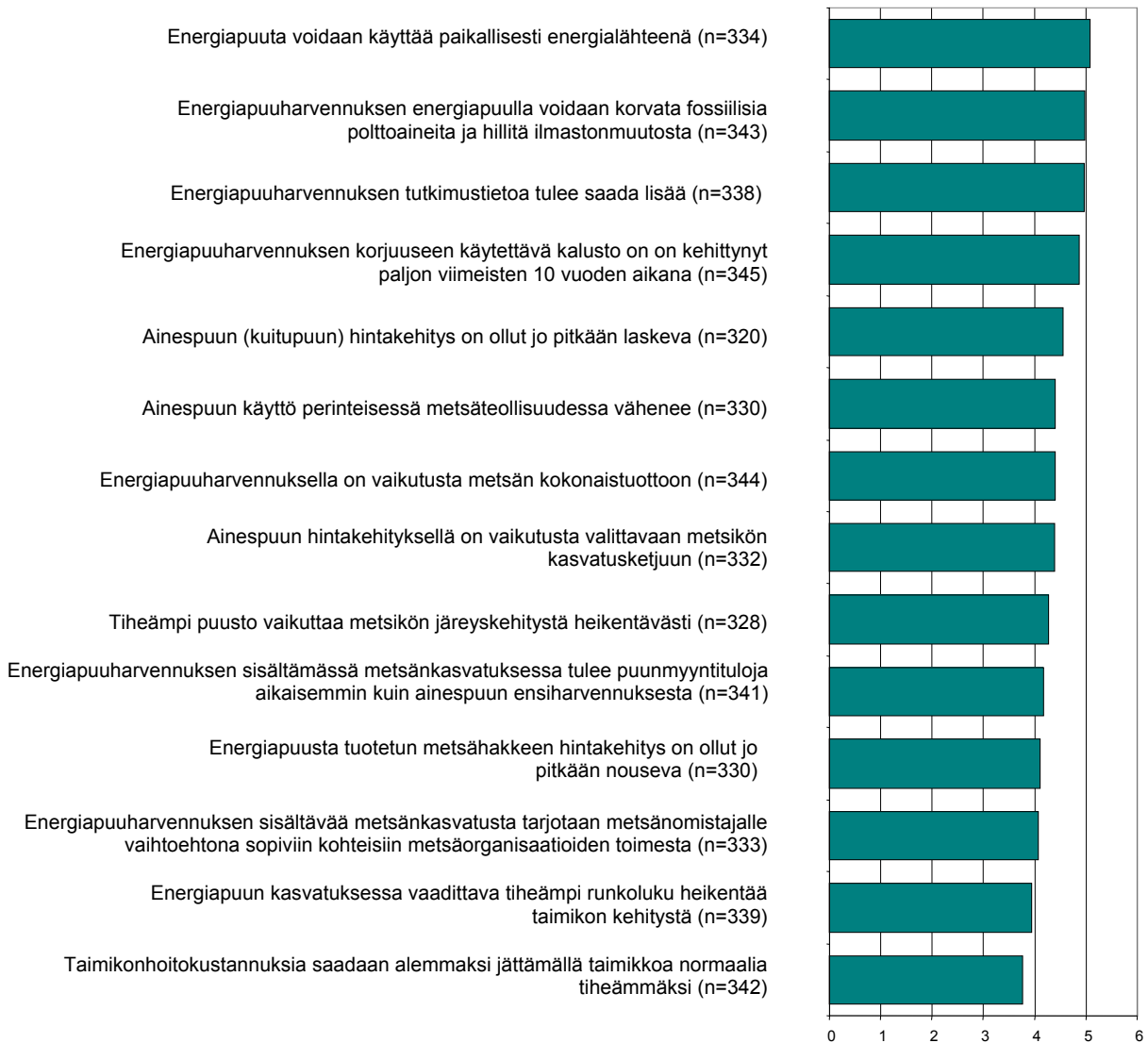
**Taulukko 13.** Kiinnostus energiapuuharvennuksiin sekä niiden mahdollisuuksiin omalla tilalla.

	Valmius energiapuuharvennuksiin		Kiinnostus energiapuuharvennuksen mahdollisuuksista omalla tilalla	
	Lukumäärä	%	Lukumäärä	%
Kyllä	248	65	246	64
En	58	15	57	15
En osaa sanoa	70	18	71	19
Yhteensä	376	98	374	98
Puuttuvia	6	2	8	2
Yhteensä	382	100	382	100

Kuva 3 kuvaa erilaisten seikkojen merkitystä kiinnostukseen energiapuuharvennusta kohtaan. Kiinnostusta näytti lisäävän ennen kaikkea energiapuun käyttö paikallisesti energialähteenä sekä mahdollisuus korvata fossiilisia polttoaineita ja hillitä ilmastonmuutosta. Kiinnostukseen katsottiin vaikuttavan myös se, että tutkimustietoa energiapuuharvennuksesta saataisiin lisää. Edelleen kiinnostusta lisäsi se, että energiapuuharvennukseen käytettävä kalusto on kehittynyt paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana. Sen sijaan taimikonhoitokustannusten pienentyminen tai taimikon kehityksen heikentyminen sen seurauksena, että taimikko jätetään normaalia tiheämmäksi, ei näyttäisi olevan kovin suuri kiinnostukseen vaikuttava tekijä. Sen sijaan jonkin verran merkitystä kiinnostukseen energiapuuharvennusta kohtaan katsottiin olevan sillä, että tiheämpi puusto vaikuttaa metsikön järeyskehitystä heikentävästi ja että energiapuuharvennuksella on vaikutusta metsän kokonaistuottoon.

Naismetsänomistajilla kiinnostukseen energiapuuharvennusta kohtaan vaikutti miehiä enemmän mahdollisuus hillitä ilmastonmuutosta, kun taas miehillä suurempi merkitys oli viimeisen kymmenen vuoden aikana kehittynyt korjuukalusto. Se, että taimikonhoitokustannuksia saataisiin alemmaksi jättämällä taimikko normaalia tiheämmäksi, vaikutti kiinnostukseen enemmän yli 40-vuotiailla. Sen sijaan ainespuun pitkään laskenut hintakehitys ja korjuukaluston kehittyminen olivat tärkeämpiä kiinnostukseen vaikuttavia tekijöitä tilalla kuin tilan sijaintikunnan ulkopuolella asuville. Aikaisemmin saatavilla myyntituloilla puolestaan

oli suurempi merkitys kiinnostukseen alle 50 hehtaaria metsää omistavien keskuudessa. Toisaalta ainespuun pitkään laskeneella hintakehityksellä on enemmän vaikutusta kiinnostukseen energiapuuharvennusta kohtaan yli 100 hehtaaria kuin alle 20 hehtaaria metsää omistavien kohdalla.



**Kuva 3.** Eri vaihtoehtojen merkitys energiapuuharvennuksen sisältävää metsänkasvatusta kohtaan (0= Ei mitään merkitystä. 6= Erittäin paljon merkitystä)

Vapaassa kommentissa kiinnostukseen energiapuuharvennusta kohtaan arveltiin lisäksi olevan merkitystä metsänomistajan omatoimisuudella. Energiapuusta maksettavan hinnan ohella palvelun luotettavuutta ja korjuutyön laatua pidettiin tärkeinä. Lisäksi kiinnostukseen mainittiin vaikuttavan korjuutekniikan kehittyminen siten, että jäävä puusto säilyisi vaurioitumattomana. Energiapuuharvennuksiin kaivattiinkin enemmän metsurityötä. Metsänomistajat toivoivat myös tietoa toimenpiteistä sekä tilalla käyntiä energiapuuharvennusta suunniteltaessa.

Kuitupuuta energiapuuksi oli valmis korjaamaan 63 prosenttia metsänomistajista. Muita metsänomistajaryhmiä enemmän hyväksyjä löytyi miesten, alle 40-vuotiaiden ja palkansaajien joukosta.

### **Energiapuukaupan kehittäminen**

Kysymykseen, miten energiapuukauppaa tulisi yleensä kehittää, annettiin hyvin samantapaisia vastauksia kuin yllä. Energiapuun hinnoittelun ja mittaamisen selkiyttäminen nousivat kuitenkin entistä vahvemmin esille. Myös energiapuun mittaukseen ja maksuun toivottiin nopeutta lisää. Sen sijaan Kemera-tuet mainittiin vain parissa kommentissa.

”hinnoitteluperusteet kuntoon”

”olis saatava yhtenäinen mittaustapa ja hinnoittelu”

”hinnat pitäisi olla kustannuksiin nähden kattavat, ehkä lämpöarvon mukaan”

”jos kuitupuuta myy energiapuuksi, niin sen hinnan pitää olla yhtä hyvä”

”mittausmenetelmät luotettaviksi ja yhdenmukaisiksi”

”kilpailuttamalla parempaa hintaa”

”ei liian pitkiä varastomisaikoja”

”rahastus heti, kun puut on tien varressa”

”hintatiedot pitäisi olla julkisia kuten muilla puutavaralajeilla”

Lisäksi toivottiin korjuukaluston kehittämistä entistä paremmin energiapuukohteisiin sopivaksi:

”pienempiä koneita korjuuseen, isot koneet sotkevat koko metsän”

”koneketjut varsinkin ajokoneet kevyemmiksi ja kapeammiksi”

”kehittämällä korjuumenetelmiä ja niiden vastuullisuutta”

”pienempiä koneita tarjottavaksi kyseisiin kohteisiin”

”kehittämällä korjuumenetelmiä jotta saadaan parempi työn jälki ja vähemmän vaurioita jäävään puustoon”

Vastauksissa korostui erityisesti tiedotuksen merkitys energiapuuasioista, sitä haluttiin lisää. Nähtiin tärkeänä, että

”metsänomistajia valaistaisiin eri mahdollisuuksista”,

”tiedotettaisiin ostajista enemmän”, ”

”metsänomistajille mainostettaisiin mahdollisia työkohteita”,

” tarkka ohjaus myyjälle, mistä kannattaa myydä energiapuuta, ettei tapahdu vahinkoa tulevalle kasvulle”

”saataisiin metsätaloussuunnitelmaan laskelmat energiapuun kasvatuksen lisäämiseksi”,

”ammatti-ihmiset kävisivät tiloilla neuvomassa”,

”ostajat tiedottaisivat enemmän”,

”metsänhoitoyhdistykset kartoittaisivat ostajat ja myyjät”,

”lisättäisiin tietoisuutta mahdollisuuksista”,

”painomittauksen ja kosteuden mittauksen kehittäminen”

”ostajat ottaisivat enemmän yhteyttä metsänomistajiin”,

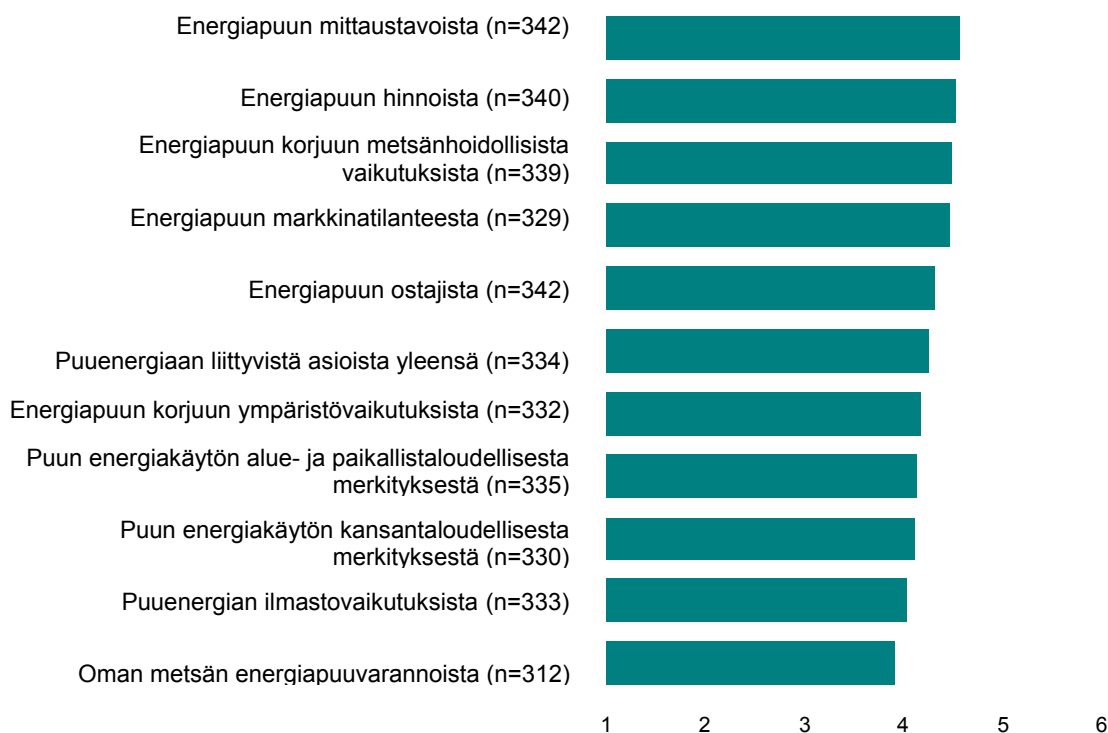
”ostajat kertoisivat aktiivisesti toimintatavoista, korjuumenetelmistä ja tekisivät hintatarjouksia”,

”tarjottaisiin koulutusta mittausmenetelmistä”,

”asiaa pidettäisiin enemmän esillä tiedotusvälineissä”,  
 ”otettaisiin yhteyttä”,  
 ”ostettaisiin varmasti ja tasaisesti energiapuuta”  
 ”valistus paikallaan!”.

### Energiapuuasioihin liittyvät tietotarpeet

Kuva 4 esittää metsänomistajien energiapuumarkkinoihin liittyviä tietotarpeita. Lähes kaikkiin esillä olleisiin tietotarvekohtiin kohdistui metsänomistajien taholta kohtalainen lisätiedon tarve. Hieman muita suurempi tiedonnälkä kohdistui energiapuumarkkinoihin: hintaan (55 % vastaajista), mittaustapoihin (55 %) sekä tämänhetkiseen markkinatilanteeseen (48 %) ja ostajiin (47 %). Myös energiapuun korjuun metsänhoidollisista vaikutuksista oltiin kiinnostuneita saamaan enemmän tietoa (51 %). Vähiten tietoa tarvittiin oman metsän energiapuuvarannoista (34 %). Verrattuna vuoden 2005 kyselyyn järjestys metsänomistajien tietotarpeissa on pysynyt kuuden suurimman osalta lähes samana lukuun ottamatta energiapuun mittaustapoja, joka ei ollut tuolloin mukana kyselyssä. Tietotarvetta oman metsän energiapuuvaroista pidettiin myös vuonna 2005 vähäisimpänä.



**Kuva 4.** Energiapuuhun liittyvät tietotarpeet (1= Ei lainkaan, 6=Erittäin paljon)

Energiapuuasioihin liittyviä tietotarve-eroja metsänomistajaryhmittäin löytyi runsaasti. Tietotarvekohtittain eniten tietoa tarvitsevat metsänomistajaryhmät esitellään taulukossa 14. Kaiken kaikkiaan ikä, kaupungissa asuminen, metsätilan koko ja hallinta-aika näyttävät vaikuttavan energiapuuasioihin liittyviin tietotarpeisiin. Vaikka naismetsänomistajat vastasivat

miehiä useammin moniin kysymyksiin ”en osaa sanoa”, heillä ei kuitenkaan näytä olevan miehiä enemmän tietotarpeita.

**Taulukko 14.** Tietotarve energiapuuasioissa metsänomistajaryhmittäin. Mainittujen ryhmien välillä ero on tilastollisesti merkittävä.

Tietotarve	Keskiarvo		Tilastollinen merkitsevyys
	<i>Pienempi</i>	<i>Suurempi</i>	
Energiapuun mit-taustavoista	Hallinta-aika 20-29 v	Hallinta-aika > 30 v	*
Energiapuun hin-noista	Metsäala < 20 ha	Metsäala 50-99 ha	*
Energiapuun korjuun metsänhoidollisista vaikutuksista	Maaseutu	Kaupunki (yli 100 000 asukas-ta)	*
Energiapuun ostajis-ta	Ikä 40-59 v Hallinta-aika < 5 v Hallinta-aika 20-29 v	Ikä > 60 v Hallinta-aika > 30 v Hallinta-aika > 30 v	* * **
Puuenergiaan liitty-vistä asioista yleensä	Hallinta-aika 5-9 v	Hallinta-aika > 30	*
Puun energiakäytön kansantaloudellisesta merkityksestä	Ikä < 40 v Ikä 40-59 v	Ikä > 60 v Ikä > 60 v	* *
Puuenergian ilmas-tovaikutuksista	Ikä < 40 v Hallinta-aika 5-9 v Hallinta-aika 10-19	Ikä > 60 v Hallinta-aika > 30 v Hallinta-aika > 30 v	** * **

Tilastollinen merkitsevyys: \*\*\*(p<0,001), \*\* (p<0.01), \*(p<0,05)

Eniten tietotarpeita näyttäisi olevan yli 60-vuotiailla metsänomistajilla ja niillä, jotka ovat omistaneet metsää yli 30 vuotta: energiapuun mittaustavat, ostajat, kansantaloudellinen merkitys, ilmastovaikutukset sekä puuenergiaan liittyvä yleistieto. 50–99 hehtaaria metsää omistavat kaipasivat enemmän tietoa energiapuun hinnoista kuin alle 20 hehtaaria metsää omistavat. Lisäksi suurissa kaupungeissa asuvat metsänomistajat katsoivat tarvitsevansa enemmän tietoa energiapuun korjuun metsänhoidollisista vaikutuksista kuin maaseudulla asuvat. Muiden metsänomistajaryhmien välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja tässä tietotarvekohdassa.

## 2.4 Yhteenveto ja päätelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa metsänomistajien energiapuun tarjontahalukkuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimusaineisto kerättiin postikyselynä marraskuussa 2009 ja tammikuussa 2010. Perusjoukon muodosti yli viisi hehtaaria metsää omistavat eteläsavolaiset metsänomistajat, joita on noin 29 000. Otos käsitti 1500 metsänomistajaa ja tutkimuksen tulokset perustuvat 382 vastaukseen (vastausprosentti 25 %). Taustapiirteiltään kyselyyn vastanneet metsänomistajat vastaavat melko hyvin koko metsänomistajakunnan ra-

kennetta Etelä-Savossa. Tässä mielessä tutkimuksen tuloksia voidaan yleistää alueen koko metsänomistajakuntaan kohtalaisen turvallisesti. Lomakkeen testauksesta huolimatta kyselytutkimuksiin liittyy aina virhemahdollisuuksia. Vertailu aiempaan vuonna 2005 tehtyyn koko maata koskevaan tutkimukseen ei kuitenkaan antanut aihetta epäillä tutkimuksen reliabiliteettiä, sillä erot ovat loogisia ja kuvaavat metsänomistajakunnan rakennemuutosta.

Tämän tutkimuksen mukaan noin 29 prosenttia metsänomistajista oli tarjonnut vuonna 2009 haketettavaa puuta markkinoille. Energiapuuta tarjoavat todennäköisimmin maaseudulla asuvat sekä yli 100 hehtaaria metsää omistavat. Vähiten energiapuuta olivat tarjonneet suurissa kaupungeissa asuvat metsänomistajat. Vuonna 2010 haketettavan puun tarjonta myyntiin tulee metsänomistajien vastausten perusteella jonkin verran lisääntymään. Lisäksi on huomattava, että jopa 42 prosenttia metsänomistajista arvioi korjaavansa energiapuuta omaan käyttöön vuonna 2010.

Yli puolet Etelä-Savossa energiapuuta myyneistä metsänomistajista oli käyttänyt metsänhoitoyhdistystä välittäjänä. Neljännes oli myynyt metsäteollisuusyritykselle ja 15 prosenttia polttoaineen toimittajalle. Kun metsänomistajilta tiedusteltiin, miten energiapuun myynti kannattaisi organisoida, nousi valinnanvapaus tärkeäksi, sillä kaikkia mainittuja myyntitapoja katsottiin tarvittavan. Yksittäisistä vaihtoehdoista parhaimpana pidettiin kilpailuttamista metsänhoitoyhdistyksen valtakirjakaupalla (30 % vastaajista), mutta lähes yhtä paljon kannatusta sai myynti polttoainetta toimittavalle yritykselle (27 % vastaajista). Sen sijaan myyntiä suoraan metsänhoitoyhdistykselle tai metsäyhtiölle ei pidetty yhtä hyvänä vaihtoehtona. Edellistä kannatti 16 % ja jälkimmäistä 18 % vastaajista. On myös huomattava, että eri metsänomistajaryhmät olivat hyvin yksimielisiä siitä, miten energiapuun myynti kannattaisi organisoida. Vastaukset energiapuun myynnin organisoinnista antavat selvästi aihetta kehittää kilpailuttamiseen perustuvia myyntitapoja energiapuukaupankäyntiin.

Huolimatta energiapuun myynnin merkittävästä lisääntymisestä vuodesta 2007, suuri osa (48 %) metsänomistajista ei ole myynyt energiapuuta. Osa tästä ryhmästä, noin 20 prosenttia metsänomistajista ei ollut halukas luovuttamaan energiapuuta, kantojen kohdalla osuus oli kaksinkertainen. Myyntihalukkuus oli myönteisintä energiapienpuulla (karsimaton kokopuu 81 % ja karsittu ranta 76 %), sillä keskimäärin 79 % metsänomistajista vastasi olevansa valmis luovuttamaan sitä maksua vastaan. Lähes yhtä hyvä myyntihalukkuus oli oksa- ja latvusmassalla 76 %. Heikoin myyntihalukkuus oli kannoilla, 51 %.

Energiapuukorjuuta puoltavina seikkoina metsänomistajat pitivät ennen kaikkea paikallista käyttöä energialähteenä, tuontienergian korvaamista kotimaisella, metsämaiseman ja metsän virkistyskäytön edistämistä sekä metsän kasvuun ja jäävän puuston laatuun liittyviä seikkoja. Yli puolet metsänomistajista (60 %) piti kuutioperusteista energiapuun hinnoittelua (€/m<sup>3</sup>) parhaana hinnoittelutapana. Tyypillisin vähimmäishinta energiapuukuutiolle oli 10 euroa. Vajaa viidesnes kannatti puun sisältämän energiamäärän mukaista hinnoittelua (€/MWh). Noin puolet metsänomistajista ei osannut määritellä hintaa karsimattomalle kokopuulle, karsitulle rangalle tai oksa- ja latvusmassalle.

Verrattuna vuonna 2005 toteutettuun koko maan metsänomistajia koskevaan tutkimukseen tässä tutkimuksessa markkinoille tarjottu haketettavan puun määrä on huomattavasti suurem-



pi (45%/15%). Lisäksi tässä tutkimuksessa yli 60 prosenttia metsänomistajista ilmoitti tietävänsä tilan lähellä toimivia energiapuun ostajia, kun osuus vuoden 2005 valtakunnallisessa tutkimuksessa oli 27 prosenttia. Lisäksi tässä kyselyssä yhteismyyneistä kiinnostuneiden osuus on suurempi (35 % / 21 %). Sen sijaan energiapuuväittämistä oltiin hyvin samaa mieltä kuin vuoden 2005 kyselyssä. Samoin jopa järjestys metsänomistajien kuuden suurimman tietotarpeen osalta on pysynyt lähes samana lukuun ottamatta energiapuun mittaustapoja, jotka eivät olleet tuolloin mukana kyselyssä.

Energiapuun tarjonnan lisääminen nykyisestä edellyttää markkinoiden kehittymistä. Toistaiseksi markkinoiden toimivuudessa on metsänomistajien mielestä vielä paljon parannettavaa. Ensinnäkin nykyistä hinnoittelua pidettiin sekavana ja puusta maksettavaa hintaa riittämättömänä. Tämän lisäksi puumäärien mittaamiseen ja ostajien löytämiseen liittyi hankaluuksia. Myöskään nykyisen toiminnan kustannustehokkuudesta ei oltu vakuuttuneita.

Markkinoiden toimintaa voitaisiin parantaa lisäämällä metsänomistajille suunnattavaa, energiapuuasioihin liittyvää neuvontaa ja tiedottamista. Lähes kaikkiin kysytyihin tietotarvekohtiin kohdistui metsänomistajien taholta ainakin kohtalainen lisätiedon tarve. Hieman muita suurempi tiedonnälkä kohdistui energiapuumarkkinoihin: hintaan, ostajiin ja tämänhetkiseen markkinatilanteeseen. Vähiten tietoa tarvittiin oman metsän energiapuuvarannoista. Yli 60-vuotiailla ja yli 30 vuotta metsää omistaneilla näyttää olevan eniten energiapuuhun liittyviä tietotarpeita. Toisaalta kaupungissa asuvien metsänomistajien saaminen mukaan energiapuun kasvavaan tarjontaan on ratkaisevaa ja heille suunnattu energiapuuasioihin liittyvä tiedottaminen erittäin tärkeää.

Vaikka viidennes metsänomistajista ei ollut kiinnostunut kilpailuttamaan energiapuueriä internet-palvelun kautta, menettely tarjoaa mahdollisuuksia erityisesti nuorten ja tilan sijaintikunnan ulkopuolella asuvien metsänomistajien energiapuutarjonnan lisäämiseksi. Myös yhteismyyntien suhteen metsänomistajat ovat vielä jonkin verran odottavalla kannalla. Energiapuun yhteismyyntien avulla voitaisiin ostajille tarjota isompia ja samalla kiinnostavampia myyntieriä. Uusi metsänkasvatusohjelma ja -käsittelyvaihtoehto ”energiapuuharvennus” on otettu varsin positiivisesti vastaan: kaksi kolmasosaa metsänomistajista oli kiinnostunut toteuttamaan sitä omalla metsätilallaan vain 15 prosentin kieltäytyessä siitä. Tämä tarjoaakin varteenotettavan mahdollisuuden lisätä energiapuun tarjontaa. Lisäksi lähes kaksi kolmasosaa metsänomistajista hyväksyisi myös kuitupuun korjuun energiapuuksi.

## **Lähteet**

Järvinen, E., Rämö, A-K. & Silvennoinen, H. 2006. *Energiapuun tuotanto ja markkinat: Metsänomistajakysely*. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen raportteja Nro 199.

Maidell, M., Pyykkönen, P. & Toivonen, R. 2008. *Metsäenergiapotentialit Suomen maaseudussa*. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen työpapereita Nro 106.

Ylitalo, E. 2010. Metsätilastotiedote, Puun energiakäyttö 2009. 16/2010.

## 3 Energiapienpuun saatavuus

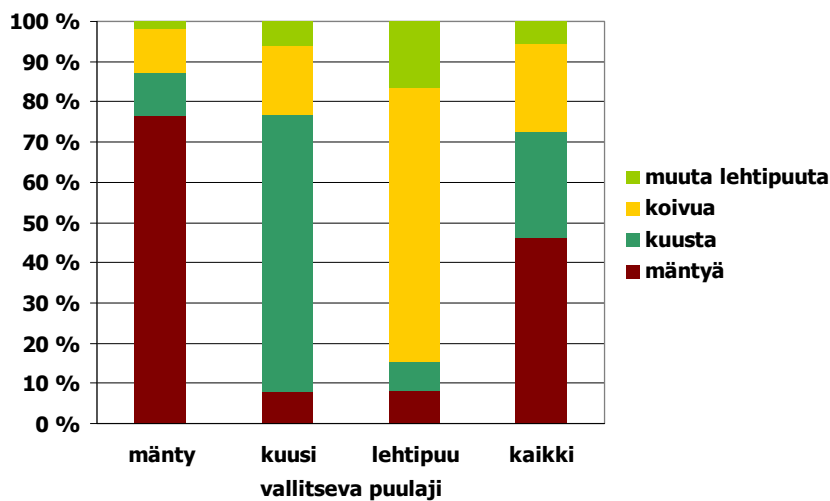
*Olli-Jussi Korpinen & Tapio Ranta*

### 3.1 Johdanto

Etelä-Savon metsävarat muodostavat noin 8 prosenttia valtakunnan metsävaroista (Metla/MetINFO). Osuus on verraten suuri, kun ottaa huomioon maakunnan 5 % osuuden Suomen maapinta-alasta. Metsähakkeen raaka-ainevarojen arviointi on ainespuuhun nähden vaikeampaa monen asian vaikuttaessa siihen miten metsässä kasvava puubiomassa lopulta luokitellaan puunjalostukseen kelpaamattomaksi energiapuuksi, jonka korjaaminen on teknisesti mahdollista. Esimerkiksi ainespuun jalostuksen laatu- ja mittavaatimusten muutoksilla on suora vaikutus ainespuuhakkuista jäljelle jäävä puuston hyödyntämismahdollisuuksiin.

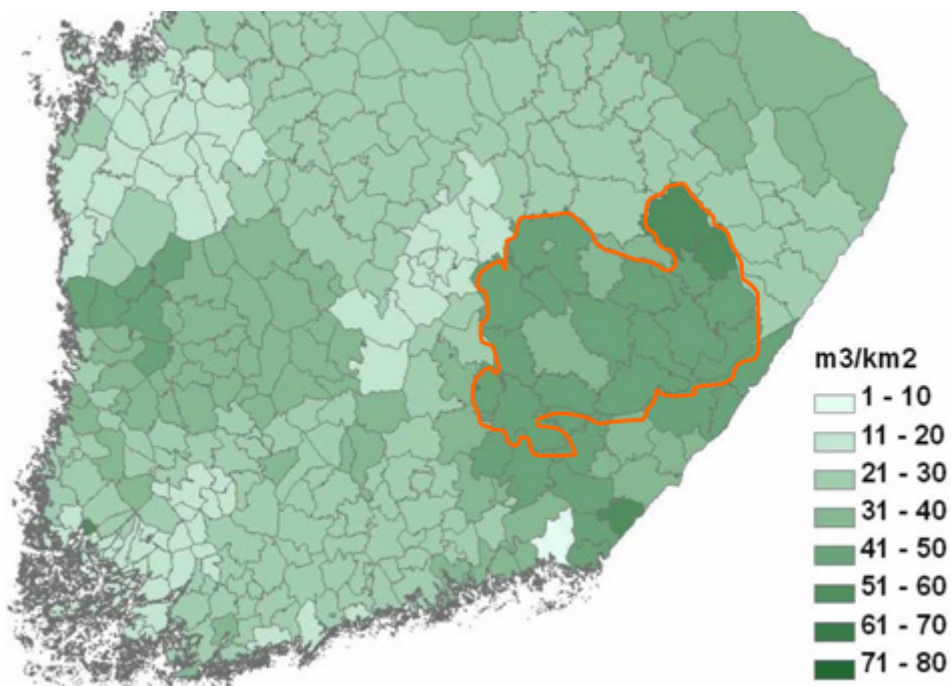
Metsäntutkimuslaitos on arvioinut päätehakkuiden latvus- ja kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun yhteenlasketun korjuupotentiaalin olevan Etelä-Savon alueella noin 1,6 milj. m<sup>3</sup> (Laitila ym. 2008). Tästä nuorten metsien energiapuutarat muodostaisivat noin 600 000 m<sup>3</sup>. Muihin Etelä-Suomen maakuntiin nähden arvio korjuukelpoisesta pienpuun määrästä on korkein. Korkeaa arviota puoltaa metsämaan hyvä puuntuotoskyky. Lähes puolet Etelä-Savon metsämaasta luokitellaan viljavampiin mustikkatyypin kankaisiin tai vastaaviin turvemaihin (Metla/MetINFO).

Etelä-Savon nuorista kasvatusmetsissä merkittävin puulaji sekä ainespuun että energiapuun korjuun kannalta on mänty. Energiapuun korjuussa mänty on avainasemassa, sillä mänty soveltuu korjattavaksi sekä kokopuuna tuoreilta kankailta että rankana kuivahkoilta kankailta. Lisäksi mäntyrankaa korjataan usein ainespuuhakkuun yhteydessä. Etelä-Savon nuorista metsistä 56 % on mäntyvaltaisia metsiköitä, joissa valtapuun suhteellinen osuus kaikista puulajeista on keskimäärin 75 %. Kuvassa 1 on esitetty nuorten kasvatusmetsien puulajisuhteet metsiköiden valtapuulajien mukaan.



**Kuva 1.** Puulajien suhteelliset osuudet kokonaistilavuudesta Etelä-Savon nuorissa männiköissä, kuusikoissa ja lehtipuuvaltaisissa metsiköissä sekä kaikissa nuorissa kasvatusmetsissä. (Metla/MetINFO)

Nuorten metsien energiapuupotentiaali jakautuu Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella melko tasaisesti. Eniten pienpuuta on tarjolla Mikkelissä ja Pieksämäellä, mutta metsäpinta-alaan suhteutettuna tarjontaa on eniten alueen koillisosassa (kuva 2).



**Kuva 2.** Eteläisen Suomen tekninen metsäpinta-alaan suhteutettu energiapienpuupotentiaali kunnittain esitettynä. Etelä-Savo on rajattu punaisella. Kartan kuntajako on vuodelta 2007. Lähde: Metla.

## 3.2 Aineisto ja menetelmät

### 3.2.1 Laskentamallin kuvaus

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on kehitetty bioenergian saatavuutta ennalta valittuihin kysyntäpisteisiin mallintava hankintalogistiikan laskentamalli, jota hyödynnettiin myös Etelä-Savon energiapienpuuvarojen ja –logistiikan laskennassa. Paikkatietoaineisto sisältää kuljetusverkon sekä maankäyttöluokituksen koko maasta. Maankäyttöluokitus on kohdennettu pisteverkkoon, jossa pisteiden väliset etäisyydet ovat 2 kilometriä. Pisteverkkoa on muokattu edelleen niin, että mukana ovat vain pisteet, jotka osuvat metsämaaksi luokitelluille alueille. Pienalueita edustavat pisteet toimivat laskentamallissa kuljetusvirtojen lähteinä, ja niistä voidaan edelleen laskea kuljetusetäisyyksiä kiinnostaviin logistiikan kysyntäpisteisiin, koskivatpa nämä sitten kuljetettavan tuotteen loppukäyttöä, jalostusta tai ainoastaan välivaraustointia. Kuljetusverkossa ovat mukana maantiet, rautatiet ja Saimaan vesistöalueen syväväylät.

### 3.2.2 Etelä-Savon energiapuuvarat

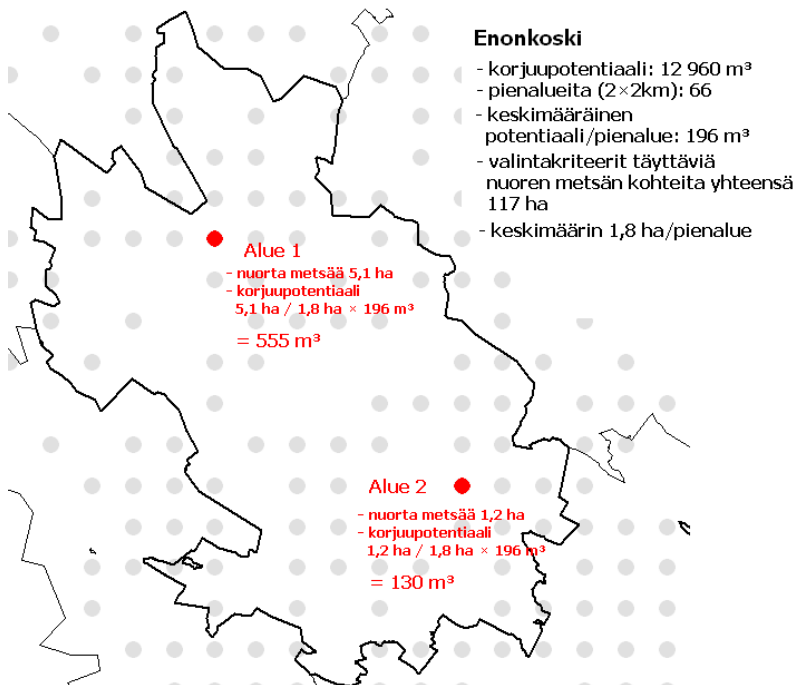
Valtakunnan metsien inventointeihin perustuvia energiapuutietoja käytettiin lähtötietoina ”Energiapuuta Etelä-Savossa” –hankkeessa. Tieto kuntien energiapuupotentiaaleista muutettiin kuntatasoa tarkemmaksi paikkatiedoksi jakamalla kuntakohtaiset energiapuuvarat kunkin kunnan alueella oleviin metsämaan pisteisiin. Tieto yhdistettiin Metsäkeskus Etelä-Savon toimittamaan aineistoon, minkä tarkoituksena oli painottaa laskentamallissa kuntien eri osien merkitystä raaka-aineen tarjonnan osalta. Aineiston maantieteellinen tarkkuus vastasi laskentamallin pisteverkkoa. Aineisto oli muutettu summa- ja keskiarvotiedoksi niin, että tiedon tarkempaa metsätalakohtaista alkuperää ei pystytä selvittämään. Laskentamalliin syötettynä kunkin pisteen ominaisuustieto kuvasi pienalueen pinta-alaa, jota vastaava määrä pienalueella olisi nuorta metsää. Pinta-ala oli laskettu yhteen metsikkökuvioista, jotka oli valittu taulukossa 1 esitettyjen kriteerien perusteella. Kriteereissä tiheä runkoluku ja keskipituus viittaavat siihen, että kohde olisi mahdollisesti energiapuuharvennuskelpoinen.

**Taulukko 1.** Metsikkötunnukset, joiden mukaan aineistosta irrotettiin nuorta metsää edustavien kohteiden pinta-alat.

Tunnus	Arvo
Kuvion pinta-ala	> 1 ha
Pääpuulaji	Mänty tai koivu
Runkoluku	> 2000 kpl/ha
Keskiläpimitta	> 9 cm
Keskipituus	9 - 12 m
Kuvion inventointivuosi	1998-2010

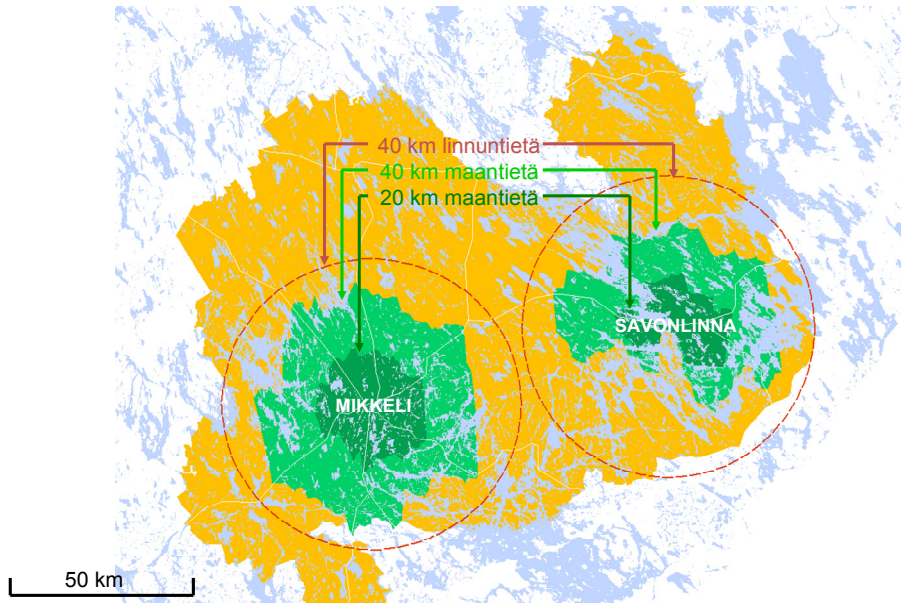
Kriteerien mukaisen nuoren metsän pinta-alatietoihin perustuen pienalueille laskettiin edelleen suhdeluvut, joilla energiapuun korjuupotentiaali hajautettiin kriteerien mukaisen nuoren metsän osuudella painotettuna. Kuvassa 3 on esimerkki siitä, kuinka kahden Enonkosken

alueella sijaitsevan pienalueen pienpuun korjuupotentiaali laskettiin. Samaa laskentaperiaatetta käytettiin kaikille Etelä-Savossa sijainneille pienalueille.



**Kuva 3.** Esimerkki laskennasta, jolla kunnan alueelle arvioitu energiapienpuun korjuupotentiaali jaetaan kunnan sisällä oleviin pienalueisiin. Harmaat pisteet ovat pienalueiden keskipisteitä.

Energiapuun saatavuuden käyttöpaikkakohtaisessa analyysissä tapaustarkasteluun otettiin alueen kaksi merkittävintä metsähaketta käyttävää voimalaitosta: Etelä-Savon Energian Purisialan voimalaitos Mikkelissä ja Järvi-Suomen Voiman voimalaitos Savonlinnassa. Tarkastelu ulotettiin näissä tapauksissa vain 40 km säteellä oleville hankinta-alueille, koska laskentamallissa oli mukana vain Etelä-Savon potentiaaliset korjuukohteet kattava aineisto. Pidemmällä kuljetusmatkoilla hankinta-alueiden rajat olisivat siirtyneet maakunnan ulkopuolelle, mikä olisi vääristänyt tuloksia (kuva 4).

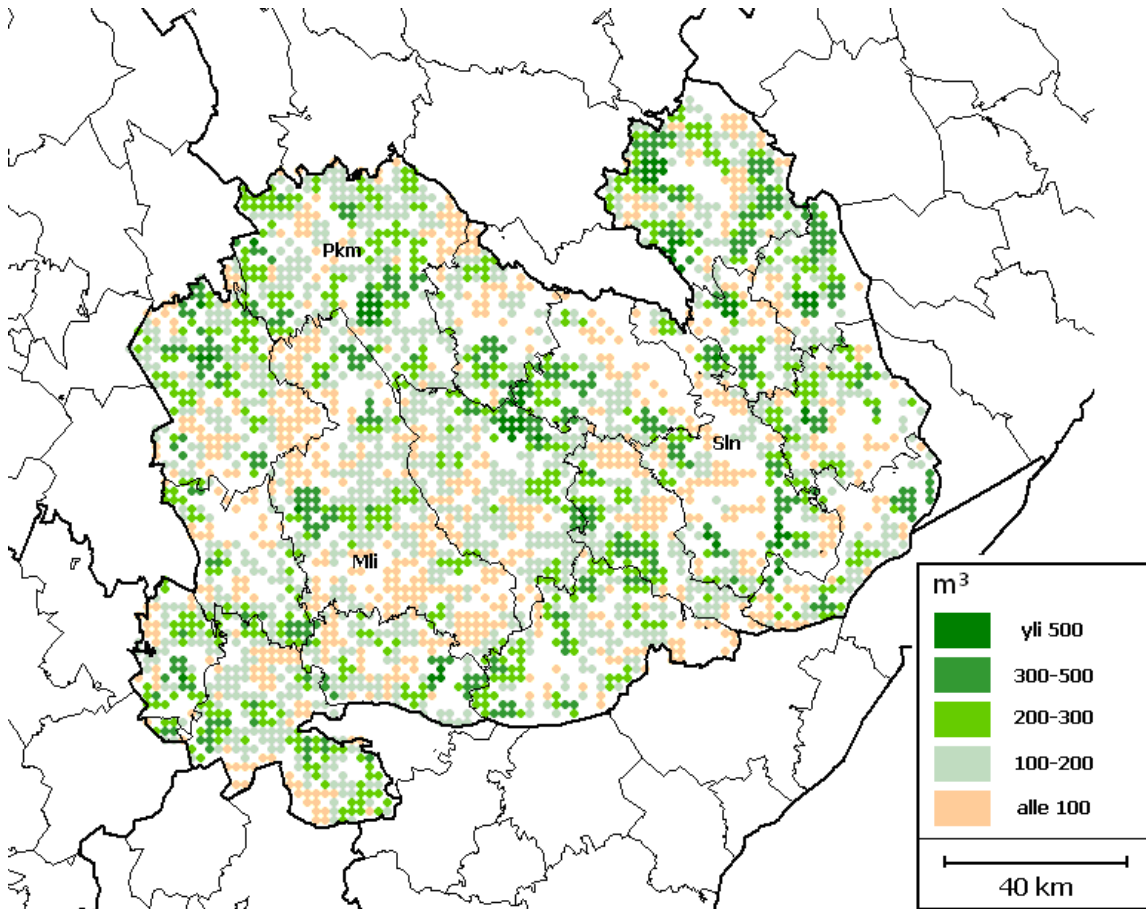


**Kuva 4.** Tapaustarkasteluun valitut Etelä-Savon voimalaitospaikkakunnat sekä niitä ympäröivät hankinta-alueet.

### 3.3 Tulokset

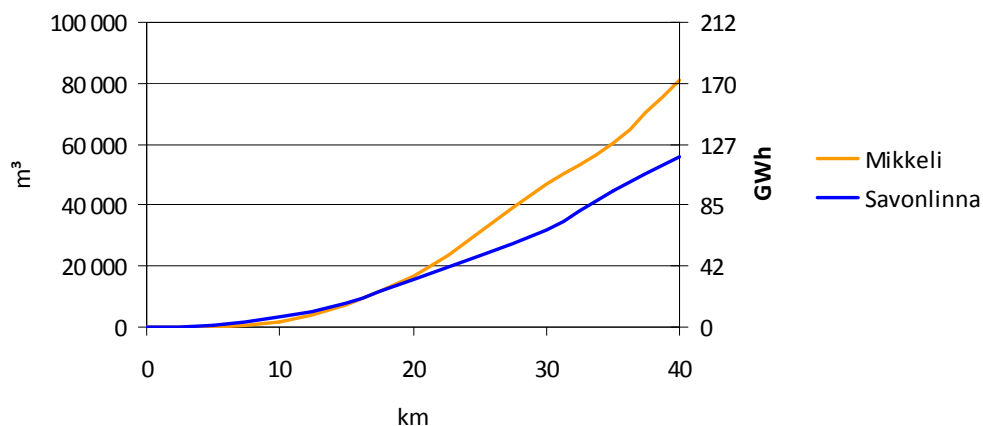
Laskennan tuloksena saatiin arviot energiapuun teknisistä korjuumahdollisuuksista ennalta määritetyille pienalueille. Kaikki pienalueet yhteenlaskettuna tekninen korjuupotentiaali oli 549 600 m<sup>3</sup>. Potentiaali kuntaa kohden oli keskimäärin 30 500 m<sup>3</sup>. Mediaani kuntien kesken oli 23 000 m<sup>3</sup>, jota lähimpänä olivat Kerimäen ja Sulkavan kuntien korjuupotentiaalit.

Kuvassa 5 näkyy korjuupotentiaalin jakautuminen Etelä-Savon kuntien sisällä. Suhteellisesti eniten korjuumahdollisuuksia on edelleenkin Itä-Savon pohjoisosissa (vrt. kuva 2), mutta myös Juvan itäistä rajaa myötäilevällä nauhamaisella vyöhykkeellä on keskimääräistä paremmat korjuumahdollisuudet. Erityisesti Kyyveden ja Luonterin sekä Savonlinnaa ympäröivien vesistöjen rantametsissä korjattavissa olevaa pienpuuta on keskimääräistä vähemmän.



**Kuva 5.** Energiapienpuun tekninen korjuupotentiaali Etelä-Savossa pienalueittain. Mli = Mikkeli, Pkm = Pieksämäki, Sln = Savonlinna.

Mikkelin ja Savonlinnan käyttöpaikkakohtaisessa analyysissä arvioitu tekninen korjuupotentiaali oli jotakuinkin yhtä suuri aina 20 kilometrin hankintasäteeseen asti (kuva 6). Tätä pidemmällä kuljetusmatkoilla energiapienpuun laskennallinen saatavuus oli kuitenkin selvästi parempi Mikkeliin kuin Savonlinnaan. Syy näinkin merkittävään eroon on todettavissa kuvasta 4. Varsinkin laajemmalla hankintasäteellä olevaa hankinta-aluetta Savonlinnaa ympäröivät vesistöt pienentävät reilusti. Veden valtaaman alan lisäksi teiden mutkaisuus vaikuttaa saavutettavien tarjontapisteiden vähäisyyteen. Esimerkiksi Mikkeliä ympäröivä alue 40 km säteellä sisältää laskentamallin pienalueita (=tarjontapisteitä) 564 kpl ja Savonlinnan vastaava alue vain 327 kpl.



**Kuva 6.** Energiapienpuun tekninen korjuupotentiaali suhteessa kuljetusmatkaan Etelä-Savon suurimmille metsähakkeen käyttöpaikoille.

### 3.4 Johtopäätökset

Energiapuun korjuumahdollisuudet ylittävät toistaiseksi reilusti metsähakkeen käytön Etelä-Savon alueella. Eri asia on, kuinka kannattavaa on lisätä paikallisen energiapuun korjuuta, kun kuljetusmatkat pitenevät ja hyödyntämättömien kohteiden korjuuolosuhteet heikkenevät. ”Energiapuuta Etelä-Savosta” –hankkeen yhteydessä energiapienpuun saatavuuden arvioitiin pyrittiin luomaan ”pintaa syvemältä” luotaava laskentamalli. Kysyntää tarkemmalle mallille on, kun halutaan selvittää raaka-ainetarjontaa yhä pienemmiltä alueilta. Tällaiset alueet tulevat kysymykseen varsinkin silloin, kun metsäpolttoaineen hankintalogistiikassa lisätään terminaalivarastoinnin ja –käsittelyn painoarvoa. Malli on tekniseltä toteutukseltaan yksinkertainen, ja se pystyy yhdistelemään eri aineistoja niiden saatavuuden ja toisaalta myös tiedontarpeen mukaan.

Tässä selvityksessä keskeisimpänä tuloksena saatiin kuvassa 5 esitetty energiapienpuun tarjonnan alueellinen vaihtelu. Tulosta arvioitaessa on syytä palauttaa mieleen muutamia seikkoja, joiden merkitystä tuloksen luotettavuutta heikentävinä asioina ei voi vähätellä. Ensinnäkin, Metlan tuottamat arviot kuntakohtaisista teknisistä korjuumahdollisuuksista ovat suurpiirteisiä, jolloin näiden tietojen jakaminen pienempiin yksiköihin on kyseenalaista. Toiseksi, Metsäkeskuksen tuottamassa inventointiaineistossa on maantieteellisiä aukkoja eli metsäalueita, joita ei ole inventoitu viimeisen 13 vuoden aikana. Kolmanneksi, inventointitiedon iän vaikutusta lopullisiin tuloksiin ei ole erikseen analysoitu. Vähintäänkin näiden asioiden kehittäminen on tarpeen, mikäli aineistoja yhdistävästä laskentamallista halutaan saada täsmällisempi ja luotettavampi.

#### Lähteet:

Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. s. 6-12. Internet-



julkaisu:

[http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun\\_korjuun\\_ymparistovaikutukset.pdf](http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf).

Metla/MetINFO. Metsätietopalvelut. Metsäntutkimuslaitos. Internet-osoite:  
<http://www.metla.fi/metinfo>.

## 4 Metsähakkeen kysyntä

*Antti Karhunen & Tapio Ranta*

### 4.1 Johdanto

Metsäenergian kysyntää aluetasolla sekä käyttökohteittain on mahdollista arvioida energiataseen avulla. Energiataseella voidaan hahmottaa primäärienergiälähteiden käyttöä suhteessa energian loppukäyttöön rajatulla alueella ja arvioimaan mm. metsäenergian käytön kasvupotentiaalia alueella sekä fossiilisten polttoaineiden käytön vähentymistä. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus muodostaa Etelä-Savon maakunnan energiatase ja tarkastella alueen energiahuollon tilan, ja erityisesti metsäenergian, kehittymistä verrattuna vuoteen 2006.

Etelä-Savon maakunta on metsävaroiltaan eräs maamme merkittävimmistä alueista. Suuret metsävarat ovatkin avanneet mahdollisuuksia hyödyntää metsäenergiaa niin yhdyskuntien kuin teollisuuden energian tuotannossa. Metsäenergian käyttö Etelä-Savossa on ollut koko maan mittakaavassa merkittävää jo pidemmän aikaa ja Etelä-Savon maakuntaa voidaan pitää metsäenergian käytössä edelläkävijänä. Maakunnan suuret voimalaitokset sekä pienet lämpölaitokset ovat jo pitkään panostaneet uusiutuvan energian käyttöön vähentäen samalla riippuvuutta öljystä. Erityisesti riippuvuutta raskaasta polttoöljystä on pyritty vähentämään lämpölaitoksissa (1–15 MW).

Energian käyttöä ja kulutusta Etelä-Savossa on kartoitettu energiataseiden avulla tasaisin väliin. Energiataseiden toteutuksesta ovat vastanneet mm. Etelä-Savon energiatoimisto (ent. Itä-Suomen Energiatoimisto) sekä Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT). Tämä tutkimus on toteutettu vastaavalla tavalla kuin LUT:n vuonna 2006 tekemä energiatase ja on näin vertailukelpoinen sen antamien tulosten kanssa. Energiataseita Etelä-Savon maakunnasta on tehty seuraavien vuosien osalta: 1999, 2003, 2006 ja tässä tutkimuksessa tarkasteltu 2008. Vuoden 2006 tutkimus oli alueen energiataseista laajin, sillä siinä käsiteltiin alueen energiahuollon tilaa kuntakohtaisesti. Kuntakohtaisen tarkastelun etuna ovat mahdollisten toimenpiteiden tarkempi kohdentaminen sekä kuntien energiahuollon erityispiirteiden korostaminen.

Etelä-Savon maakunnan primäärienergian kulutusta ja erityisesti metsäenergian kysyntää hahmotettaessa voidaan apuna käyttää vuonna 2006 tehtyä energiatasetta ja sen antamia tuloksia primäärienergian kulutuksen sekä käyttökohteiden osalta. Tutkimuksessa tullaan painottamaan metsäenergiaa, joten päivittämällä sen kulutus nykyiselle tasolle saadaan luotettavia tuloksia tämän hetkisestä metsäenergian kysynnästä alueella ja lisäksi voidaan arvioida käyttökohteiden avulla tulevaisuuden näkymiä metsäenergian käytön kasvattamismahdollisuuksista.

### 4.2 Menetelmät

Alueellisella energiataseella tarkoitetaan tietyille rajatulle alueelle (tässä tapauksessa Etelä-Savon maakunta) tulevan primäärienergian suhdetta energian loppukäyttöön sähkö- ja läm-

pöenergia. Energiatasea voidaan käyttää hahmotettaessa eri alueiden energihuollon tilaa, seurattaessa energihuollon tilan kehittymistä sekä tehtäessä suunnitelmia tulevaisuuden energiaratkaisujen tueksi. Tässä tutkimuksessa päivitettiin vuonna 2006 tehty Etelä-Savon energiataase vastaamaan vuoden 2008 primäärienergian kulutusta. Energian loppukäyttö (energiataseen oikea puoli) jätettiin tutkimuksessa hieman vähemmälle rajallisten tutkimusresurssien johdosta. Pääpaino tutkimuksessa oli metsäenergia ja sen käytön kehittymisen seuraaminen.

Energiatase koottiin aiemmin Lappeenrannan teknillisen yliopiston tekemän energiataaseen pohjalta sekä päivittämällä osa primäärienergian käytöstä eri julkisista lähteistä. Tutkimuksessa käytettyjä lähteitä olivat mm. seuraavat:

- Energiateollisuus ry
- METLA
- Kuntaliitto
- maakunnassa toimivat energiayhtiöt
- suorat yhteydenotot kuntiin ja alueen energiantuotantolaitoksille

Energiataseessa koottujen käyttöpaikkatietojen avulla voitiin arvioida metsäenergian käytön tulevaisuutta ja kokonaiskysynnän suuruutta, kun tiedettiin eri laitosten käyttämien polttoainemäärien määrät sekä keskimääräinen vuotuinen polttoaineen tarve. Laitostietojen avulla voitiin arvioida suoraan korvattavissa olevien polttoainemäärien (esim. turve ja joissain tapauksissa raskas polttoöljy) korvaamista metsäenergialla sekä mahdollisen teknistaloudellisen potentiaalinn käyttöönottoa uusilla kattilainvestoinneilla. Lämpö- ja voimalaitosten primäärienergian kulutuksesta saatavat potentiaalit kuvaavat maakunnan metsäenergian maksimikysyntää. Yhdistettynä kysyntä puun saatavuuteen voidaan taas arvioida omien alueellisten metsävarojen riittävyyttä.

Tutkimuksessa tehtiin joitakin yksinkertaistuksia vuoden 2006 energiataaseessa saatujen tulosten pohjalta. Syynä tähän oli melko muuttumattomana säilynyt energihuollon tila suurten energiantuotantolaitosten osalta, sillä maakunnassa ei ole tapahtunut energiataaseen kannalta merkittäviä lämpö- ja voimalaitosinvestointeja. Samoin erillislämmityksessä kahdessa vuodessa tapahtuneet muutokset voitiin olettaa melko maltillisiksi. Kevyen polttoöljyn käytön osalta vuoden 2008 tilanteen voitiinkin siis olettaa säilyneen melko muuttumattomana vuoteen 2006 verrattuna. Turpeen, metsäenergian ja kiinteiden fossiilisten käyttö tuli kuitenkin selvittää tapauskohtaisesti erikseen suurilta käyttäjiltä energiataaseen päivitystä varten. Metsäenergian lämpö- ja voimalaitoskäytössä käytettiin vertailuna myös METLAN julkaisemia tietoja puun energiakäytöstä 2006 ja 2008.

Tutkimuksessa uusiutuvien osuus on laskettu puupolttoainemäärien, vesivoiman, biokaasun sekä tuontisähkössä olevien uusiutuvien energialähteiden osuuksista. Tuontisähkön uusiutuvien energialähteiden osuus on laskettu maakunnassa toimivien energiayhtiöiden ilmoittamien sähkön alkuperätietojen avulla. Energiayhtiöiden luvut ovat painotettu niiden myymän sähköenergian osuudella koko maakunnan sähköenergian hankinnasta ja näin on saatu laskettua koko maakuntaan tuotavan tuontisähkön uusiutuvien osuus. Tutkimuksessa liikennepolttoai-

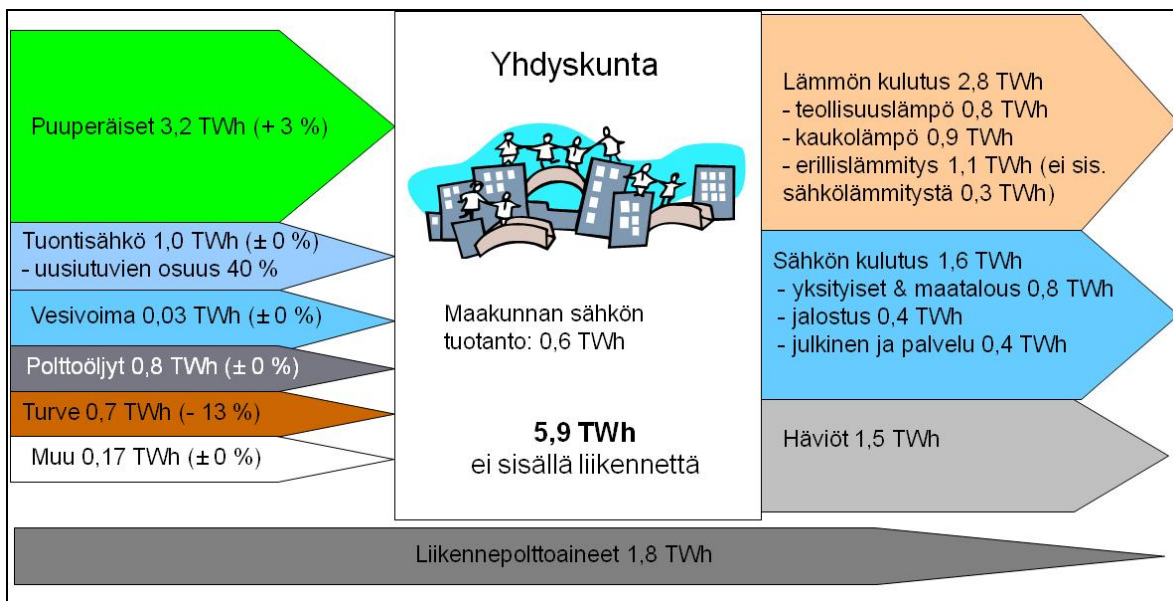
neet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, mutta niistä käytetään rinnalla laskennallista vertailuarvoa energiahuollon kokonaistilan hahmottamiseksi. Turve käsitellään tutkimuksessa erillään uusiutuvista ja fossiilista polttoaineista, mutta päästöiltään se käsitellään fossiilisena.

### 4.3 Tulokset

Seuraavassa käsitellään vuoden 2008 Etelä-Savon energiataseen tulokset ja suoritetaan vertailua vuona 2006 saatuihin tuloksiin. Pääpainona tuloksissa on uusiutuvan energian käyttö ja erityisesti metsäenergia. Metsäenergian osalta arvioidaan myös sen kysynnän kehittymistä Etelä-Savon maakunnassa.

#### 4.3.1 Etelä-Savon energiatase 2008

Etelä-Savossa primäärienergian kokonaiskulutus vuonna 2008 oli yhteensä 5,9 TWh, mistä uusiutuvien osuus oli 63 %, kun huomioidaan tuontisähkössä oleva uusiutuvien osuus. Tähän lukuun eivät sisälly liikennepolttoaineet, joiden käyttö Etelä-Savossa vuonna 2008 oli 1,8 TWh (VTT 2007). Mikäli liikenteen polttoaineet otetaan huomioon, muuttuu uusiutuvien osuus 48 %:n, mikä on valtakunnallisella tasolla erittäin korkea osuus. Koko Suomessa uusiutuvien osuus vuonna 2008 oli 28 % (Tilastokeskus 2009) ja Suomen tavoite vuodelle 2020 on 38 %. Kuvassa 1 on esitetty Etelä-Savon energiatase vuodelta 2008, primäärienergiälähteiden jälkeen suluissa muutos vuoteen 2006 verrattuna.

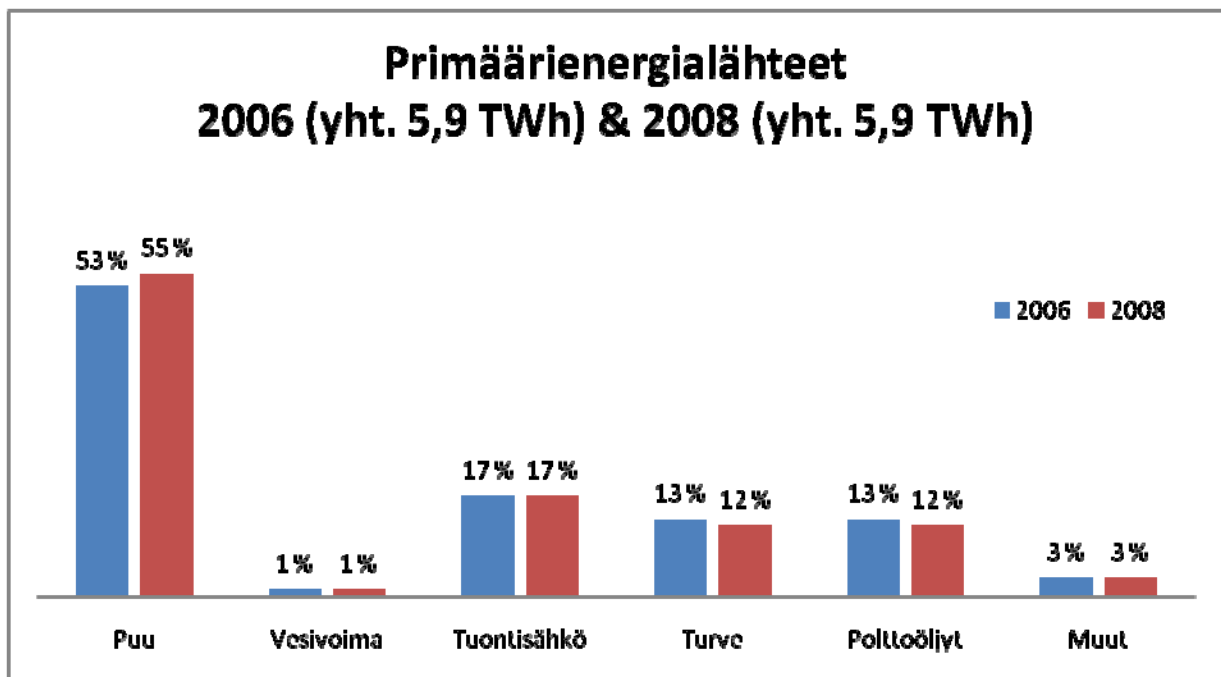


**Kuva 1.** Etelä-Savon energiatase 2008 (suluissa muutos vuoteen 2006 verrattuna)

Etelä-Savon energiataseessa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia vuoteen 2006 verrattuna (kuva 1); jopa energian kokonaiskulutus on säilynyt lähes samana ollen 5,9 TWh vertailuvuosina. Suurin muutos on tapahtunut turpeen käytössä (-13 % vuoteen 2006 verrattuna) sekä puupolttoaineiden käytössä (+3 %). Fossiilisista polttoaineista kivihiltä jouduttiin maakun-

nassa käyttämään peräkkäisten heikkojen turvevuosien johdosta. Kivihiilen osuus koko maakunnan energian kulutuksesta oli kuitenkin alle prosentin. Energiataseessa esitetyt muut polttoaineet pitävät sisällään maakunnassa käytettävän biokaasun, nestekaasun ja kivihiilen.

Kuvassa 2 on esitelty primäärienergiälähteiden osuudet Etelä-Savossa vuonna 2008 ja vertailu vuoteen 2006. Uusiutuvien osuus vuonna 2008 oli 63 %, kun se kahta vuotta aiemmin oli 60 %. Muutos on melko pieni ja se syntyy lähinnä polttoaineiden käytön vuosittaisesta vaihtelusta, sillä merkittäviä investointeja uusiutuvalle energialle ei ole tuona aikana tehty. (Karhunen 2007)

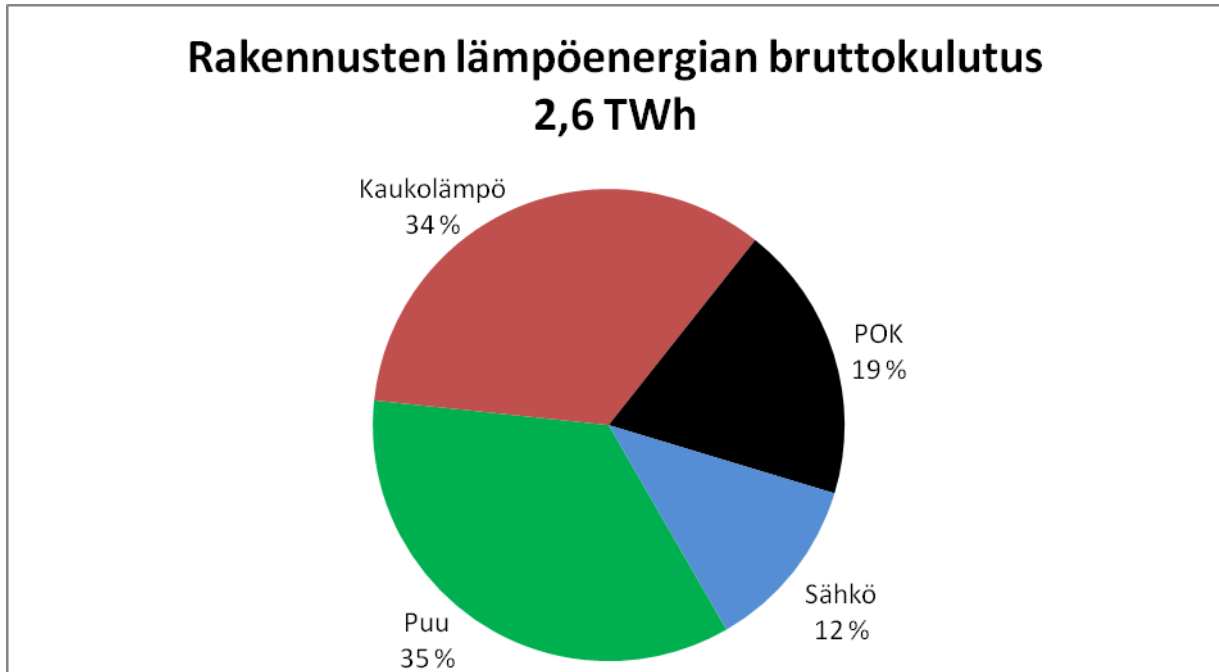


**Kuva 2.** Primäärienergiälähteiden osuudet Etelä-Savon maakunnassa vuosina 2006 ja 2008

Energian kulutuksen osalta (kuva 1) huomataan, että suurin energian kulutuskohteet vuonna 2008 olivat yksityiset kotitaloudet niin kauko- ja erillislämmityksen kuin sähköenergian kulutuksen osalta. Lämpöenergian kulutuksen osalta vuoteen 2006 verrattuna on tapahtunut lähinnä vain vuosittaista vaihtelua samoin kuin sähköenergian kulutuksen osalta. Energian loppukäytön osalta tulevaisuudessa merkityksellistä on kuinka kilpailukykyisenä teollisuuden asema säilyy Etelä-Savossa, eli kuinka suurena jalostuksen käyttämän energian osuus maakunnan energiataasessa pysyy. On oletettavaa, ettei energiaintensiivistä teollisuutta tule maakuntaan juuri lisää, joten jalostuksen käyttämän energian osuuden voidaan olettaa säilyvän samansuuruisena kuin nykyisin. Häviöiden suhteellinen osuus pysyy vuosittain lähes vakiona, sillä niihin vaikuttaminen on käytännössä melko hankalaa ja energiatehokkuuden eteen on panostettu jo nykyisin huomattavasti.

Rakennusten lämpöenergian bruttokulutus Etelä-Savossa on esitetty kuvassa 3. Kuvassa sähkölämmitys pitää sisällään niin suoran sähkölämmityksen kuin lämpöpumput ja puupolttoaineet sisältävät puun pienkäytön, pelletit sekä hakkeen. Kuvasta huomataan, että puu on kau-

kolämmön ohella maakunnan merkittävin lämmitysmuoto. Yhteensä rakennukset käyttivät energiaa n. 2,6 TWh, mikä vastaa noin 40 %:a koko maakunnan energian kulutuksesta.



**Kuva 3.** Rakennusten lämpöenergian bruttokulutus Etelä-Savon maakunnassa vuonna 2008

Primäärienergian kulutuksen osalta energiataseen voi olettaa säilyvän lähivuosina melko muuttumattomana. Syynä on, että Etelä-Savon maakunnassa suuri osa kuntien ja kaupunkien keskitetystä energiantuotannosta toteutetaan jo nykyisin uusiutuvilla energialähteillä (pääosin metsäenergia) ja näin ollen energiahuollon muutokset tulevat tapahtumaan pitkän aikavälin kuluessa pääasiassa erillislämmiteisissä rakennuksissa ja mahdollisesti joissakin kuntien aluelämpölaitoksissa. Erillislämmityksessä muutokset maakunnan energiahuollon tasolla näkyvät yleensä melko hitaasti, mutta voidaan arvioida, että polttoöljyjen sekä suoran sähkölämmityksen osuudet tulevat tasaisesti putoamaan ja niiden käyttöä korvattaneen niin puulla (metsäenergia, pelletit, jne.), lämpöpumpuilla kuin kaukolämmöllä. (Karhunen 2007)

Primäärienergiasta tuontisähkön osuus tulee jatkossa säilymään nykyisellä tasollaan, mikäli sähköenergian kulutus maakunnassa ei radikaalisti muutu. Lisäksi Etelä-Savoon ei ole suunnitteilla tällä hetkellä suuria voimalaitosinvestointeja, jotka nostaisivat maakunnan sähköntuotannon omavaraisuutta. Tulevaisuudessa hajautettu sähköenergian tuotanto voi kuntatasolla nostaa sähköntuotannon omavaraisuutta ja lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Mahdollisia vaihtoehtoja hajautettuun sähköenergian tuotantoon ovat mm. biokaasu, tuuli-voima, aurinkosähkö ja aluelämpölaitoksilla puuperäiset polttoaineet. Nämä tuotantomuodot tarvitsevat kuitenkin jonkinlaisen tukijärjestelmän toteutuakseen laajemmassa mittakaavassa.

### 4.3.2 Uusiutuvan energian käyttö Etelä-Savossa

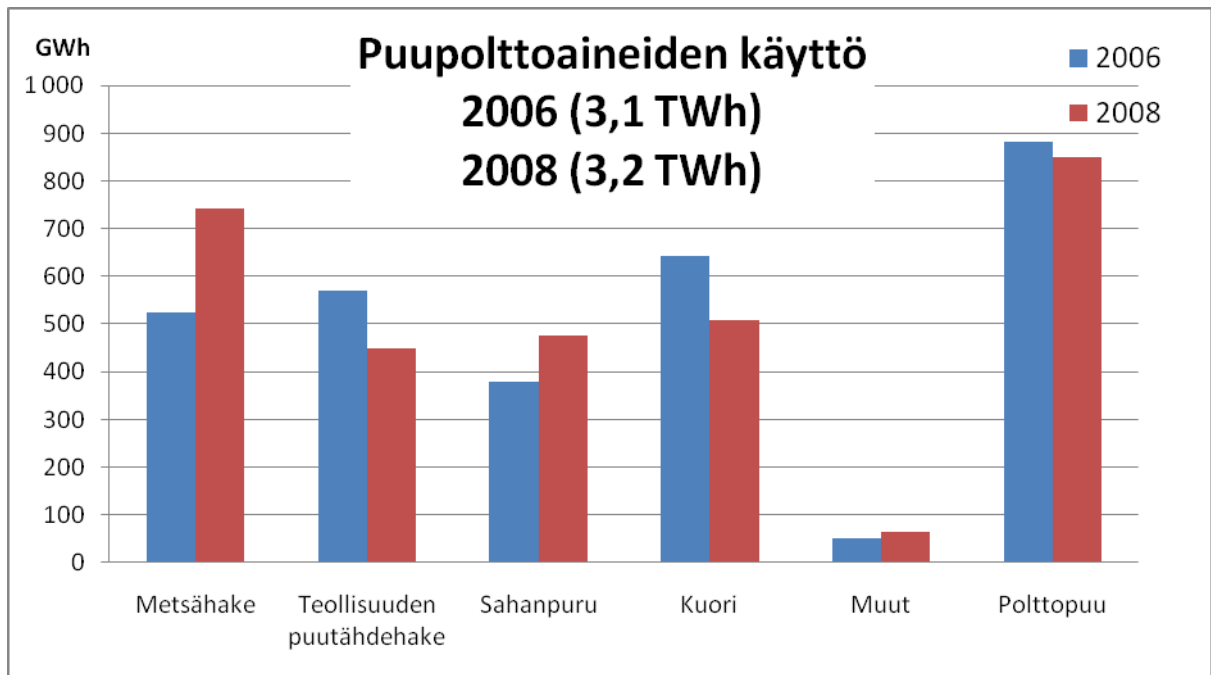
Etelä-Savossa uusiutuvan energian osuus vuonna 2008 oli 63 %, kun liikenteen polttoaineita ei huomioitu. Vuonna 2006 vastaava luku oli 60 %. Uusiutuvaa energiaa käytettiin vuonna 2008 noin 3,7 TWh, mistä puun osuus oli 86 % ja loput olivat vesivoimaa, biokaasua sekä tuontisähkössä olevaa uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä. Vesivoiman ja biokaasun osuudet eivät juuri olleet muuttuneet vuodesta 2006 vuoteen 2008 tultaessa. Tuontisähköstä taas oli uusiutuvilla energialähteillä tuotettu 40 %, kun kahta vuotta aiemmin osuus oli 33 %. Alueella toimivat energiayhtiöt ovatkin hieman nostaneet sähkönhankintansa uusiutuvien osuutta.

Puupolttoaineita käytettiin Etelä-Savossa vuonna 2008 yhteensä 3,2 TWh ja vuonna 2006 yhteensä 3,1 TWh. Puupolttoaineiden osuus Etelä-Savon primäärienergian kokonaiskulutuksesta oli vuonna 2008 54 %, kun vuonna 2006 se oli 52 %. Puupolttoaineiden kokonaiskäytössä ei Etelä-Savossa juuri muutosta ole tapahtunut. Merkittävin muutos vuodesta 2006 vuoteen 2008 tultaessa oli metsäenergian käytön kasvu ja toisaalta metsäteollisuuden sivutuotteiden käytön hienoinen vähentyminen. Metsäenergian käytön kasvua vauhdittivat kahden edellisen sateisen kesän aiheuttama polttoturpeen heikko saatavuus sekä metsäteollisuuden tuotannon supistamisesta johtunut sivutuotepuun tuotannon väheneminen (Ylitalo 2009).

Metsähaketta käytettiin Etelä-Savossa vuonna 2008 yhteensä n. 750 GWh, kun kahta vuotta aiemmin kulutus oli n. 550 GWh (Karhunen 2007). Metsäenergiaa käytettiin eniten maakunnan kaupunkien suurissa voimalaitoksissa (Mikkeli, Savonlinna ja Pieksämäki) sekä lähes jokaisen kunnan kauko- ja aluelämpölaitoksessa. Erityispiirteenä Etelä-Savon maakunnasta voidaankin todeta, että kuntien ja kaupunkien kaukolämmön tuotannossa käytetään ainakin osittain metsäenergiaa kaikissa maakunnan 17 kunnassa. Viimeisin uusiutuvan ja paikallisen energian käyttöön investoinut kunta Etelä-Savossa oli Joroinen, jossa vuonna 2010 valmistui lämpölaitos, mikä korvaa entistä raskaan polttoöljyn käyttöä kotimaiselle hakkeelle ja turpeelle.

Puunjalostusteollisuuden sivutuotteita käytettiin Etelä-Savossa vuonna 2008 yhteensä n. 1 400 GWh, missä pudotusta vuoteen 2006 verrattuna oli noin 150 GWh (-10 %). Eniten käytetty sivutuote oli kuori, jota käytettiin energiantuotannossa 500 GWh (-150 GWh vuoteen 2006 verrattuna) sekä teollisuuden puutähdehake 450 GWh (-100 GWh) ja sahanpurut 450 GWh (+100 GWh). (Karhunen 2007)

Sivutuotteet ovat kuitenkin tällä hetkellä maakunnassa hyödynnetty jo lähes kokonaan, joten niiden vuosittainen käyttö riippuu lähinnä puunjalostusteollisuuden käyntiasteesta. Muiden puupolttoaineiden kuten kierrätyspuun ja puunjalosteiden käyttö maakunnassa ei ollut kovinkaan suurta (2008: 65 GWh) ja merkittävää muutosta vuosien 2006 ja 2008 välillä ei ollut tapahtunut. Polttopuun käyttö maakunnassa oli suurinta asuinkiinteistöissä ja maataloilla, sen käyttö on säilynyt vuosittain melko tasaisena (n. 850 GWh) (Sevola ym. 2000) Kuvaan 4 on koottu yhteenvetona puupolttoaineiden käyttö Etelä-Savon maakunnassa vuosina 2006 ja 2008.



**Kuva 4.** Puupolttoaineiden käyttö Etelä-Savon maakunnassa vuosina 2006 ja 2008

Tulevaisuutta silmällä pitäen, metsäenergian ja muiden puupolttoaineiden käytön kehittyminen on Etelä-Savossa riippuvainen pääasiassa puunjalostusteollisuuden käyntiasteesta sekä metsäenergian kilpailukyvyistä vaihtoehtoihin polttoaineisiin kuten turpeeseen nähden. Metsäenergian asemaa maakunnassa vahvistavat suuret metsävarat, fossiilisten energialähteiden hinnan kohoaminen sekä maakunnan sijainti, mikä rajoittaa esim. maakaasun ja kivihiiilen käyttöä. Lisäksi maakunnassa pyritään vahvasti edistämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä.

Tulevaisuudessa metsäenergian käytön voidaan olettaa edelleen hieman kasvavan, riippuen voimalaitoksissa turpeen hinnan ja sen verokohtelun muuttumisesta. Maakunnassa onkin useita päästökauppasektoriin kuuluvia lämpö- ja voimalaitoksia joiden pääpolttoaineena käytetään paikallisesti tuotettua turvetta. Mikäli turpeen kilpailukyky lähivuosina merkittävästi heikentyy, tulee kiinnostus metsäenergiaa kohtaan voimalaitoksilla edelleen kasvamaan. Lisäksi metsäenergialla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita kuten raskasta polttoöljyä, jota onkin jo vuosia korvattu Etelä-Savossa uusiutuvilla energialähteillä ja näin ollen sen käytön vähentäminen kohdistunee lähitulevaisuudessa enää muutamaankin kohteeseen. Kevyttä polttoöljyä taas on mahdollista korvata puuperäisillä polttoaineilla (jalosteet, metsähake) mm. erillislämmityksissä pientaloissa ja maatiloilla.

Vuonna 2009 Suomessa koettiin ensimmäisen kerran tilanne, jossa metsähake nousi koko maan eniten käytetyksi kiinteäksi puupolttoaineeksi, ohhi kuoren. Metsäenergiaa myös käytettiin enemmän kuin koskaan aiemmin yhteensä 5,4 milj. m<sup>3</sup> lämpö- ja voimalaitoksissa sekä 0,7 milj. m<sup>3</sup> pientaloissa, eli kokonaisuudessaan 6,1 milj. m<sup>3</sup>. Etelä-Savossa metsäenergian kokonaiskäyttö säilyi kuitenkin edellisvuoden tasolla, ollen n. 380 000 m<sup>3</sup>. Merkittävää Suomen tilanteesta oli myös, että runkopuun (2,7 milj. m<sup>3</sup>) käyttö metsähakkeena ylitti ensimmäisen kerran



mäistä kertaa hakkuutähteiden (1,9 milj. m<sup>3</sup>) käytön. Runkopuusta suurin osa oli karsimaton-  
ta pienpuuta, jota käytettiin koko maassa 1,4 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2009, missä lisäystä edellisvuoteen oli noin 0,6 milj. m<sup>3</sup>. Runkopuun kokonaiskäyttö metsähakkeena nousi Etelä-Savossa (karsittu ranka, karsimaton pienpuu ja järeä runkopuu 189 000 m<sup>3</sup>) ohi päätehakkuiden hakkuutähteiden ja kantojen käytön (hakkuutähde 168 000 m<sup>3</sup> ja kannot 11 000 m<sup>3</sup>). Etelä-Savon metsähakkeen käytöstä lämpö- ja voimalaitoskäytön osuus oli yli 95 %. (Ylitalo 2010)

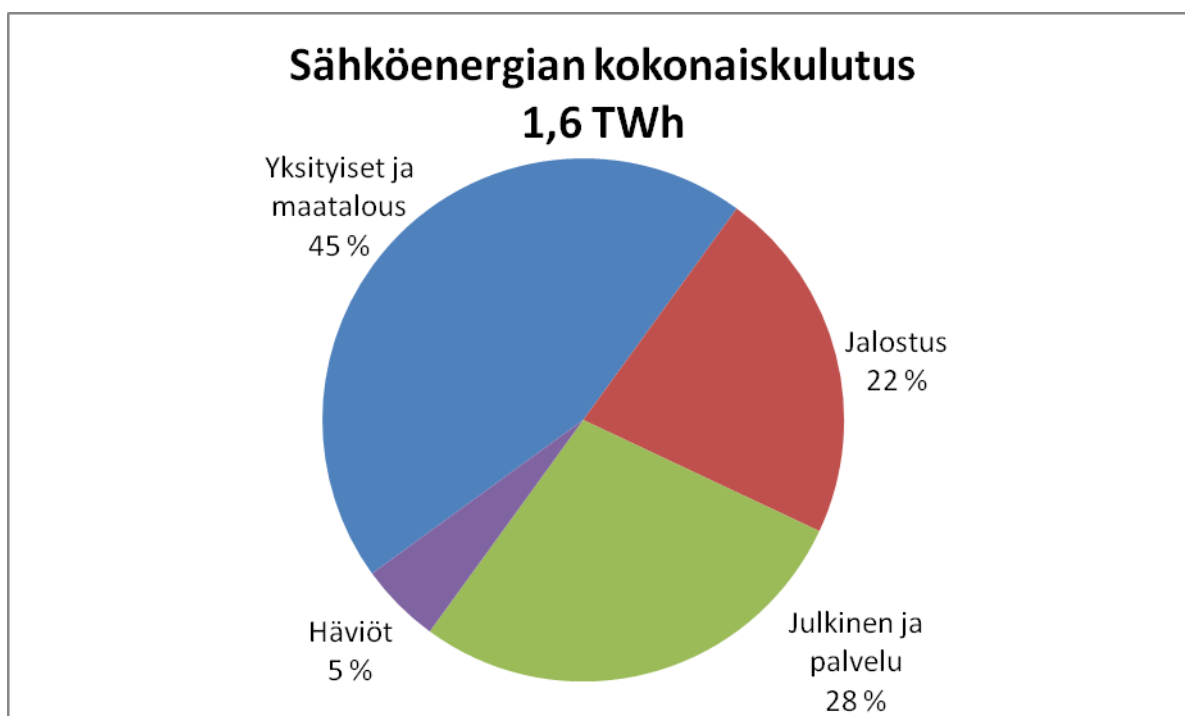
### **4.3.3 Fossiilisten energialähteiden käyttö Etelä-Savossa**

Fossiilisten polttoaineiden osuus Etelä-Savon primäärienergiälähteiden kulutuksesta vuonna 2008 oli 22 % (1,3 TWh), kun se vuonna 2006 oli 24 % (1,4 TWh). Pudotusta on fossiilisten käytössä jonkin verran tapahtunut, mutta on todennäköistä, että muutos on syntynyt pääasiassa polttoaineiden käytön vuosittaisesta vaihtelusta, johon vaikuttavat mm. ilmasto sekä teollisuuden käyntiaste. Merkittävin fossiilinen polttoaine maakunnassa on kevyt polttoöljy, jonka osuus fossiilisista energialähteistä oli 50 %. Kevyttä polttoöljyä kulutetaan pääasiassa erillislämmitteisissä asuinrakennuksissa ja sen käytön voidaan olettaa laskevan tasaisessa tahdissa vanhojen lämmityskattiloiden tullessa vaihtoikään. Vaihtoehtoisia lämpöenergian tuotantomuotoja kevyelle polttoöljyille ovat mm. maalämpö sekä puujalosteet. Muita maakunnassa käytettyjä fossiilisia polttoaineita olivat tuontisähkössä fossiilisilla energialähteillä tuotettu sähköenergia (35 % fossiilisista), raskas polttoöljy (12 %), nestekaasu (2 %), kivihiili (1 %). Keskiwertovuonna, mikäli turvetta on normaalisti saatavilla, kivihiiltä ei maakunnassa energiantuotantoon käytetä.

Tulevaisuudessa fossiilisten energialähteiden käyttö tulee laskemaan ainakin erillislämmitteisissä rakennuksissa sekä käyttö pääpolttoaineena lämmöntuotannossa tulee asteittain loppumaan. Toisaalta fossiilisten käyttö erikoiskohteissa sekä tukipolttoaineena esim. öljyillä ja nestekaasulla tulee säilymään edelleen.

### **4.3.4 Sähköenergian kokonaiskulutus Etelä-Savossa 2008**

Sähköenergian kulutus Etelä-Savossa oli 1,6 TWh vuonna 2008. Kulutus oli lähes yhtä suurta kuin kaksi vuotta aiemmin. Eniten sähköä maakunnassa kuluttivat yksityiset kotitaloudet ja maatalous (45 %). Jalostuksen osuus voi vuosittain vaihdella jonkin verran riippuen teollisuuden käyntiasteesta maakunnassa. Sähköenergian kulutus on esitetty alla kuvassa 5. (Energiateollisuus 2009)



**Kuva 5.** Sähköenergian kokonaiskulutus Etelä-Savossa vuonna 2008

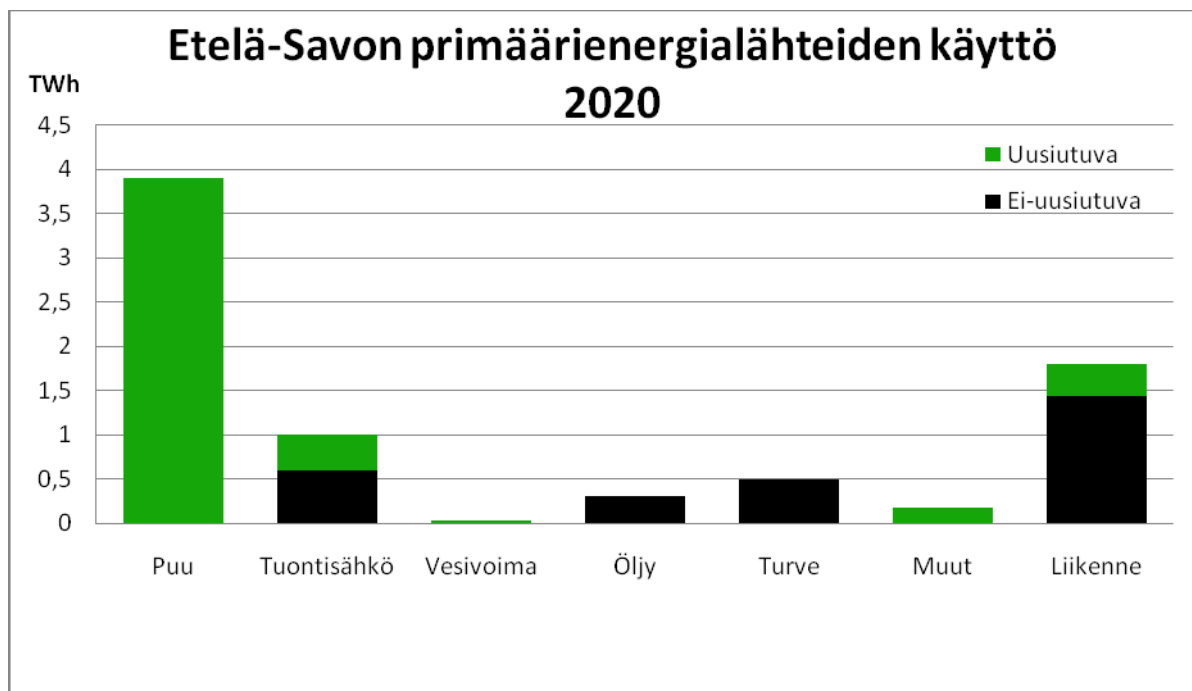
#### 4.3.5 Etelä-Savon energiatase 2020

Seuraavassa on arvioitu Etelä-Savon maakunnan energiataseen kehittymistä vuoteen 2020 mennessä. Pohjana arviolle on käytetty Lappeenrannan teknillisen yliopiston tekemiä energiataseita vuosilta 2006 ja 2008, Etelä-Savon lämpö- ja voimalaitosten käyttämiä polttoainetietoja sekä seuraavia oletuksia:

- Ilmasto säilyy samana.
- Väestömäärä säilyy samana.
- Energian kokonaiskulutus säilyy samana ollen 5,9 TWh.
- Teollisuuden kilpailukyky alueella säilyy nykyisen kaltaisena ja vuosituotannot keskimääräisellä tasolla.
- Liikenteen määrä säilyy samana, mutta 20 % velvoite polttoaineiden uusiutuvien osuudesta täytetään, toisaalta energiatehokkaammat moottorit kattavat mahdollista liikenteen kasvua.
- Asumisessa öljyn ja sähkön osuus pienenee, kun taas puun, kaukolämmön ja lämpöpumppujen osuus kasvaa.
- Turpeen käyttö putoaa 0,7 TWh → 0,5 TWh, muutos tapahtuu lähinnä päästökauppaan kuuluvien suurten voimalaitosten käyttämän turpeen määrässä.
- Polttoöljyjen määrä laskee nykyisestä 0,8 TWh → 0,3 TWh ja samalla puupolttoainesten käyttö kasvaa, kuin myös sähköenergian kulutus kasvaa hieman (lämpöpumput).
- Maakuntaan ei tehdä suuria voimalaitosinvestointeja, mutta pienen mittakaavan sähköenergian tuotantoon odotettavissa joitakin tuotantolaitoksia. Kasvavalla tuotannolla

katetaan arvioitu maltillinen sähköenergian kulutuksen kasvu → tuontisähkön määrä säilyy nykyisellä tasolla, samoin kuin uusiutuvien osuus tuontisähkössä.

Edellä mainittujen oletusten perusteella on laskettu arvio Etelä-Savon energiataaseen kehitymisestä vuoteen 2020, tulokset ovat esitetty kuvassa 6.



**Kuva 6.** Arvio Etelä-Savon primäärienergiälähteiden kokonaiskäytöstä vuonna 2020

Kuvasta 6 käy ilmi, että puupolttoaineiden käyttö nykyisestä 3,2 TWh voitaisiin nostaa vajaaseen neljään terawattituntiin, lähinnä korvaamalla turvetta suurissa voimalaitoksissa ja lämpölaitoksissa sekä panostamalla öljyn sijasta puuhun ja mahdollisesti lämpöpumppeihin erillislämmityksessä. Puupolttoaineiden käytön lisääminen tapahtuisi lähinnä nostamalla metsäenergian käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa, sillä puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ovat jo lähes kokonaan hyödynnetty maakunnassa ja toisaalta puun pienkäytön ei oleteta merkittävästi kasvavan nykyisestä (Karhunen 2007). Metsäenergian käyttö voitaisiinkin lähes kaksinkertaistaa nykyisestä noin 750 GWh:sta noin 1 400 GWh:n vuodessa. Turpeen osalta on kuitenkin hyvä pitää mielessä, että se on kotimainen ja Etelä-Savossa paikallinen polttoaine, joten sen käytön vähentämisellä olisi taloudellisia vaikutuksia maakunnan turpeen tuotantoon ja hankintaan. Uusiutuvien energialähteiden osuus vuonna 2020 tässä skenaariossa olisi 63 %, kun liikennepolttoaineet otetaan huomioon. Vuonna 2008 vastaava osuus oli 48 %. Suomen tavoite uusiutuvan energian osuudelle vuonna 2020 on 38 %, joten Etelä-Savo maakuntana on jo nykyisellään ylittänyt tämän tavoitteen ja mahdollisuudet uusiutuvan energian osuuden nostamiselle ovat edelleen hyvät.

## 4.4 Johtopäätökset

Etelä-Savon energiatase vuodelta 2008 kertoo, että aiempiin vuosiin (1999, 2003 ja 2006) verrattuna maakunnassa on edelleen saatu nostettua uusiutuvan energian osuutta ja näin vähennettyä etenkin aiemmin runsaasti käytetyn raskaan polttoöljyn käyttöä. Yleiskuvaltaan maakunnan energiatase on selkeästi puupolttoainepainotteinen, sillä puun osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta oli 54 % vuonna 2008, kun liikennepolttoaineita ei huomioitu. Maakunnan runsaat metsävarat sekä pitkäjänteinen työ puupolttoaineiden käytön edistämiseksi ovat nostaneet viime vuosikymmenien aikana Etelä-Savon maakunnan uusiutuvien osuudeltaan kansalliseen huipputasoon. Eniten käytetty puupolttoaine vuonna 2008 oli metsähake, jota käytettiin n. 750 GWh (lisäystä n. 200 GWh vuoteen 2006 verrattuna). Metsähakkeen käytön voidaan olettaa maakunnassa edelleen kasvavan mikäli vaihtoehtoisten polttoaineiden kuten turpeen ja raskaan polttoöljyn hinnat kohoavat tai niiden verotusta tullaan kiristämään. Toisaalta Etelä-Savo toimii puuraaka-aineen osalta hankinta-alueena ympäröiville maakunnille sekä metsäenergian hankinta-alueena suurille biovoimalaitoksille (Jyväskylä, Lappeenranta ja Kuusankoski), mikä osaltaan luo kilpailua metsäpolttoaineen käytölle itse maakunnassa.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö tulee jatkossa todennäköisesti tasaisesti putoamaan ja sen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa tulee rajoittumaan yhä enemmän käynnistys- ja tukipolttoaineeksi. Erillislämmitteisissä rakennuksissa kevyen polttoöljyn käyttö tulee väheneään pitkällä aikavälillä tasaisesti, kun vanhoja öljykattiloita tulee vaihtokään ja mahdollisen korvaavan energiantuotantomuodon mietintä tulee ajankohtaiseksi.

Yleisesti ottaen Etelä-Savon maakunnan energiahuollon tila on varsin hyvä, sillä suuri osa lämpö- ja voimalaitosten käyttämistä polttoaineista on paikallista puuta ja turvetta. Tuontipolttoaineiden (esim. öljy ja tuontisähkö) osuus maakunnan primäärienergiasta olikin vuonna 2008 vain noin kolmannes. Huomionarvoista on, että kaikissa maakunnan 17 kunnassa käytetään nykyisin metsähaketta kauko- ja aluelämmön tuotannossa, joten kunnissa on olemassa tekniset käyttömahdollisuudet lisätä metsäenergian käyttöä ja tätä kautta nostaa edelleen maakunnan uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Toisaalta Etelä-Savon uusiutuvien energialähteiden kannalta on oleellista kuinka kilpailukykyisenä maakunnan metsäteollisuus säilyy, sillä nykyisin se kuluttaa vajaan puolet maakunnan puuperäisistä polttoaineista. Metsäenergian kannalta merkityksellistä on, kuinka esimerkiksi turvetta tullaan kohtelemaan energiakäytössä tulevina vuosina. Tähän saadaankin jo suuntaa vuoden 2010 loppupuolella, kun risupaketin lopullisista suuntaviivoista tehdään päätöksiä.

Puupolttoaineiden käyttöä voitaisiin lisätä Etelä-Savossa lähinnä nostamalla metsäenergian käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa, sillä puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ovat jo lähes kokonaan hyödynnetty maakunnassa ja toisaalta puun pienkäytön ei oleteta merkittävästi kasvavan nykyisestä. Metsäenergian käyttö olisi mahdollista lähes kaksinkertaistaa nykyisestä noin 750 GWh:sta noin 1 400 GWh:n vuodessa. Käytön kasvattaminen asettaisi haasteita metsähakkeen saatavuuden ja toimitusvarmuuden parantamiseen kilpailun muutenkin kiristyessä.

## **5 Energiapuuharvennuksen kannattavuus**

*Kalle Karttunen*

### **5.1 Johdanto**

Energiapuun kilpailukyvyyn parantuessa ja kysynnän kasvaessa on mielekästä tarkastella vaihtoehtoisista metsänkasvatusmenetelmää, jossa otetaan huomioon puun tuotannon ohella myös energiapuun tuotantoa. Käytännössä energiapuuharvennuksen ottaminen osaksi metsänkasvatusta mahdollistaa nuoren metsän tiheämmän kasvatuksen, jolloin pystytään kasvattamaan biomassan määrää. Energiapuuharvennuksen sisältämää kasvatusketjua on tutkittu melko vähän. Valtakunnallisilla aineistoilla on toteutettu metsänkasvatusvaihtoehtojen vertailuja (Heikkilä ym. 2009), mutta paikallisia tarkasteluja ei ole tehty. Energiapienpuu on korjuukustannuksiltaan ja kantohintatasoltaan korkeampi kuin päätehakkuiden oksa- ja latvusbiomassa, ollen täten hyvinkin paikallinen polttoaine, joka soveltuu hyvien laatuominaisuuksien puolesta niin suuri- kuin pienimuotoiseen energiakäyttöön.

Koneellisessa energiapuuharvennuksessa energiapuukertymä voidaan ottaa talteen karsimattomana kokopuuna tai karsittuna rankapuuna. Rankapuun hakkuu on kalliimpaa kuin kokopuun hakkuu, mutta kilpailukykyinen tuotantoketju johtuen usein matalammista metsäkuljetus-, kaukokuljetus- ja haketuskustannuksista verrattuna kokopuuhun (Kärhä ym. 2010). Koneellisen energiapuukorjuun kannattavuuden ratkaisevat riittävän suuri kokopuun keskikoko ja kertymä, jotka toisaalta kasvattavat myös ainespuun osuutta koko energiapuukertymästä. Energiapuuharvennuksessa on suositeltavaa jättää riittävästi hakkuutähdettä metsään ravintehävöihin ehkäisemiseksi. Energiapuuharvennuksen koneellisen korjuun kehittyminen on kannattavuuden keskeinen edellytys. Pienpuuhakkeen ero hakkuutähdihakkeen kustannuksiin syntyy kaato-kasausvaiheessa (Laitila ym. 2004). Siksi toiminnan tehostaminen tulisi kohdistua juuri tähän vaiheeseen. Muiden kustannusten osalta pienpuuhake on kilpailukykyistä hakkuutähteeseen verrattuna.

Tutkimuksessa vertailtiin energiapuuharvennuksen sisältävän metsänkasvatuksen kannattavuutta ainespuun ensiharvennukseen tähtäävään perinteiseen metsänkasvatukseen eteläsavolaisten metsänomistajien talouden näkökulmasta.

### **5.2 Tutkimuksen aineisto ja menetelmät**

#### **5.2.1 Aineisto**

Tutkimuskohteina oli kuusi männikkövaltaista metsikkökoealaa, joissa oli mahdollista toteuttaa vielä metsänhoitosuosituksen mukainen taimikonhoito. Päijät-Hämeen alueella sijaitsevien koealojen oletettiin soveltuvan lähitulevaisuudessa Etelä-Savon tilanteen tarkasteluun ilmasto-olojen lämmetessä. Metsikkökoealojen lähtötilanteen runkoluku oli keskimäärin 3031 kpl/ha (vaihteluväli 2603 – 4333 kpl/ha), jota voidaan pitää energiapuuharvennuksen sisältämään metsänkasvatukseen sopivana nuoren metsän tiheytenä (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Metsikkökoealojen lähtötiedot (MT=tuore, VT=kuivahko, N=runkoluku/ha, Ba=Puuston pohjapinta-ala, D<sub>g</sub>=Keskiläpimitta, H<sub>g</sub>=Keskipituus, H<sub>dom</sub>= Valtapituus, 200 kpl pisimmän puun pituus, V= tilavuus m<sup>3</sup>/ha.)

Koeala	Kasvupaikka	Pääpuulaji	Ikä	N	Ba	Dg	Hg	Hdom	V
1	MT	Mänty	12	4333	16,1	8,7	6,4	7,4	57,3
2	MT	Mänty	11	2740	2,4	4,9	4,8	5,6	7,6
3	MT	Mänty	11	2603	2,1	4,4	4,0	5,0	6,1
4	VT	Mänty	11	2790	6,4	7,1	5,3	6,8	20,6
5	VT	Mänty	11	2732	3,5	5,4	4,1	5,0	10,4
6	VT	Mänty	11	2990	6,2	6,8	5,1	7,1	19,9
<b>Keskiarvo</b>			<b>11</b>	<b>3031</b>	<b>6,1</b>	<b>6,2</b>	<b>4,9</b>	<b>6,1</b>	<b>20,3</b>

### 5.2.2 Simulointi

Tutkimuksessa käytettiin Metlan kehittämää MOTTI-simulaattoria, jolla voidaan kasvattaa metsikkökoealojen puustoja valittujen asetusten ja rajoitusten mukaisesti. Tutkimuksessa käytettiin aikaisemmin toteutettujen simulointien aineistoja, joihin tehtiin päivityksiä (Karttunen 2006).

Perinteisessä ainespuun ensiharvennukseen tähtäävässä metsänkasvatuksessa taimikonhoito toteutettiin simuloinneissa Tapion metsänhoitosuosituksen mukaisesti 6–7 metrin valtapituusvaiheessa ja mikäli lähtötilanteen valtapituus oli yli 7 m, taimikonhoito toteutettiin heti (Hyvän metsänhoidon... 2001, 2006). Runkoluku asetettiin taimikonhoidon jälkeen 1800 kpl/ha. Harvennukset ja päätehakkuu simuloitiin harvennusohjeiden mukaisesti alaharvennuksina, jotka toteutuvat harvennusrajojen puoleen väliin. Lisäksi rajoitettiin harvennusten maksimi-poistumaa, joka saa olla enintään 35 % puuston koko tilavuudesta. Päätehakkuu kriteerinä käytettiin metsälain mukaista keskiläpimittaa, joka vaihtelee kasvupaikan mukaisesti.

Energiapuuharvennukseen tähtäävässä metsänkasvatuksessa mukailtiin Tapion metsänhoitosuosituksien energiapuuharvennuksen sisältämää laatukasvatusta (Hyvän metsänhoidon... 2006). Simuloinneissa ei toteutettu perinteistä taimikonhoitoa, mutta herkkyytarkasteluissa tarkasteltiin vaihtoehtoisten metsänhoitokustannuksien vaikutusta kannattavuuteen. Energiapuuharvennukset tehtiin simuloinneissa valtapituuden ylittäessä tai ollessa 12 metriä. Simulointeihin asetettiin runkolukutavoitteeksi 1100 kpl/ha nuoren metsän harvennuksen jälkeen. Energiapuuharvennus tehtiin runkolukumääritelmän mukaan, jolloin puustotilavuuden pudotus saattoi olla melko rajukin. Kertymään laskettiin vain runkotilavuus eli oletettiin tehtävän rankapuun hakkuu ja korjuusaannoksi oletettiin 85 % kokonaiskertymästä. Muut harvennukset ja päätehakkuu toteutettiin samoin periaattein kuin perinteisessä metsänkasvatusketjussa.

Tutkimuksessa jouduttiin tekemään useita oletuksia ja yksinkertaistuksia. Oletettiin, että metsänomistaja valitsee metsänkasvatusmenetelmän, joka tuottaa yhdellä kierroajalla parhaan taloudellisen tuloksen. Aines- ja energiapuun integroitua korjuuta energiapuuharvennuksen yhteydessä ei tutkittu, vaan aines- ja energiapuun oletettiin menevän kokonaisuudessaan

energiakäyttöön. Puutavaralajien hinnat ja metsänhoitotöiden kustannukset oletettiin reaalisesti vakioiksi. Metsänhoitotöiden kustannuksissa otettiin huomioon vain sellaiset, jotka saattavat vaikuttaa vaihtoehtojen väliseen kannattavuuteen. Metsän kasvatusmallit oletettiin harhattomiksi ja muuttumattomiksi. Kemera-tukia ei otettu huomioon ja metsälain rajoitukset oletettiin muuttumattomiksi.

### 5.2.3 Kannattavuus

Lähtökohtana oli selvittää Etelä-Savon alueen metsänomistajien metsänkasvatuksen ja energiapuun tuotannon kannattavuutta. Energiapuuharvennuksen sisältävään metsänkasvatukseen siirtymiseksi metsänomistajan pitäisi saada vähintään yhtä hyvä taloudellinen tuotto kuin perinteisestä metsänkasvatusmallista koko metsän kiertoajalta. Kannattavuutta tarkasteltiin vertailemalla eri metsänkasvatusvaihtoehtojen yhden kiertoajan tulojen ja menojen diskontattua nettonykyarvoa kiertoajan alussa, joka mahdollistaa kasvatusmallien taloudellisen vertailukelpoisuuden. Laskelmissa käytettiin keskipitkän aikavälin (1995-2009) kuluttajaindeksillä korjattuja reaalisia kantohintoja (Metinfo 2010), joista johdettiin vuodelle 2010 trendihinnat (taulukko 2). Perinteisen ensiharvennuksen kantohintaa korjattiin alaspäin -20% johtuen kalliimmista korjuukustannuksista. Energiapuun vaihtoehtoisina kantohintoina käytettiin 4, 8 ja 12 €/m<sup>3</sup>.

**Taulukko 2.** Simuloinneissa käytetyt puutavaralajien minimiläpimitat ja kantohinnat

Puutavaralaji	Minimiläpimita, cm	Kantohinta, €/m <sup>3</sup>	
		Ensiharvennus	Muut hakkuut
Mäntytukki	14,5	43,8	54,8
Kuusitukki	15,5	46,6	58,3
Koivutukki	16,5	36,7	45,9
Mäntykuitu	7	10,3	12,9
Kuusikuitu	8	17,2	21,5
Koivukuitu	6	9,5	11,9
Energiapuu	4	4, 8 ja 12	

Metsätalouden kannattavuutta tarkasteltiin vaihtoehtoisten metsänhoitokustannusten herkkyytarkasteluin. Herkkyytarkastelut nimettiin tapauksiksi; hyvä, normaali, huono ja huonoin, sen mukaan kuinka paljon metsänhoidollisia kustannuksia kohteisiin oli käytetty (taulukko 3). Metsänhoidollisina kiinteinä kustannuksina käytettiin energiapuuharvennuksen kasvatusmallissa vaihtelevasti taimikon perkausta (290 €/ha), taimikonhoitoa (290 €/ha) ja nuoren metsän raivausta (254 €/ha). Perinteisen metsänkasvatuksen vaihtoehdossa kiinteinä kustannuksina käytettiin perkausta (290 €/ha, 5 v.) ja taimikonhoitoa (369 €/ha, 12 v.) (Metsätalastotiedote 2009). Muina kustannuksina käytettiin Etelä-Savon alueen keskimääräisiä metsänhoitokustannuksina maanmuokkaukselle (äestys, 181 €/ha) ja konekylvölle (194 €/ha). Metsikkökoalojen perustamisen todellisista metsänhoitotöistä eikä kustannuksista ollut riittävästi tietoa saatavilla ja kustannusten haluttiin todentavan Etelä-Savon tilannetta. Keskimääräisissä kannattavuuden yhteenvedoissa käytettiin 3 % korkokantaa.

**Taulukko 3.** Metsänhoitokustannusten herkkyytarkastelun vaihtoehdot

	<b>Perkaus</b>	<b>Taimikonhoito</b>	<b>Nuoren metsän raivaus</b>
Baseline	x	x	-
Hyvä	-	-	-
Normaali	x	-	-
Huono	x	-	x
Huonoin	x	x	x

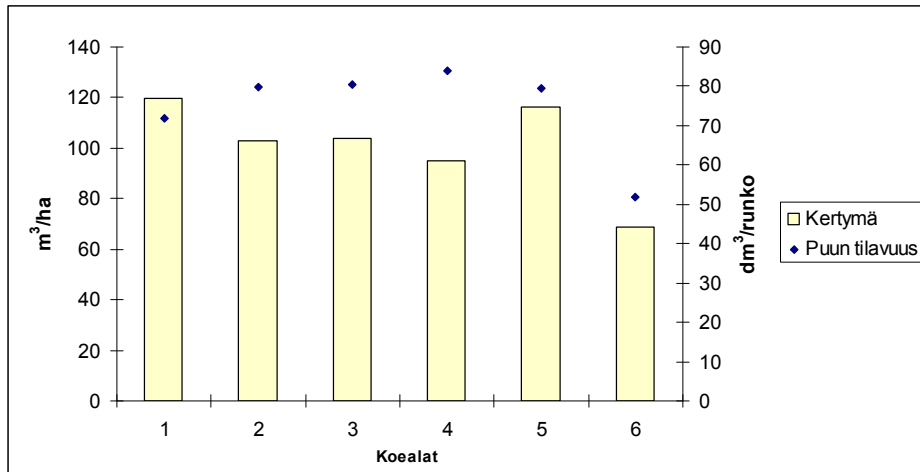
## 5.3 Tulokset

### 5.3.1 Kertymät

Energiapuuharvennuksen kokonaiskertymien (keskimäärin 102 m<sup>3</sup>) ja rankapuun tilavuuksien (keskimäärin 74 dm<sup>3</sup>) vaihtelut olivat suuria ja riippuivat paljon etenkin metsikkökoalojen kasvupaikasta, tiheydestä ja energiapuuharvennuksen ajankohdasta.

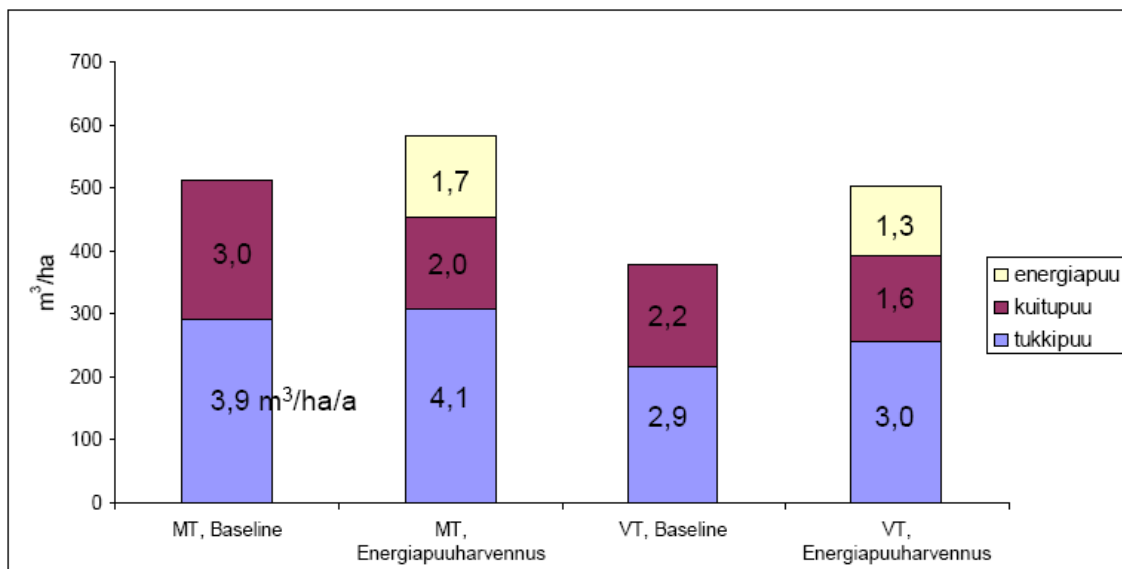
Perinteisen ensiharvennuksen ainespuukertymät olivat keskimäärin 56 m<sup>3</sup> tuoreella ja 36 m<sup>3</sup> kuivahkolla kasvupaikalla. Energiapuuharvennuksessa kertymät olivat ainespuun osaltakin suurempia. Ainespuumitat täyttävää rankapuuta kertyi harvennukselta keskimäärin 87 m<sup>3</sup> tuoreelta ja 78 m<sup>3</sup> kuivahkolta kasvupaikalta. Lisäksi ainespuun läpimitat ja laatuominaisuudet täyttämätöntä rankapuuta kertyi yhteensä keskimäärin 41 m<sup>3</sup> tuoreelta ja 32 m<sup>3</sup> kuivahkolta kasvupaikalta. Energiapuukertymän oletettiin olevan 85 % rankapuun kokonaiskertymästä, näin ollen energiapuukertymiksi määritettiin 109 m<sup>3</sup> tuoreelle ja 94 m<sup>3</sup> kuivahkon kasvupaikan koalojen keskiarvoille (kuva 1). Puun tilavuudet olivat energiapuuharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen ensiharvennuksessa keskimäärin 77 dm<sup>3</sup>/runko tuoreella ja 72 dm<sup>3</sup>/runko kuivahkolla kasvupaikalla, joita voidaan pitää kookkaina energiapuiksi. Perinteisen metsänkasvatuksen ensiharvennuksessa vastaavasti puun tilavuudet olivat 79 dm<sup>3</sup>/runko tuoreella ja 47 dm<sup>3</sup>/runko kuivahkolla kasvupaikalla.





**Kuva 1.** Energiapuuharvennuksen koealojen kertymät (m<sup>3</sup>/ha) ja puun tilavuudet (dm<sup>3</sup>/runko)

Energiapuuharvennuksen sisältämässä metsänkasvatuksessa energiapuun kertymien lisäksi merkille pantavaa ovat suuremmat kokonaiskertymät, tukkipuuosuudet sekä kuitupuun merkittävä väheneminen metsikön koko kiertokaudella (kuva 2). Kuitupuun vähenemistä selittää energiapuuharvennuksessa ainespuun osuuden korjaaminen kokonaisuudessaan energiapuuksi ja voimakas harvennus. Tukkipuun osuuden kasvamista energiapuuharvennuksen sisältämässä metsänkasvatuksessa selittää harvennusten voimakkuudet ja ajankohtien eroavaisuudet. Suuremmat kokonaiskertymät johtuvat siis energiapuuharvennuksen suuremmasta kertymästä ja tukkipuuosuuksien lievästä kasvusta.

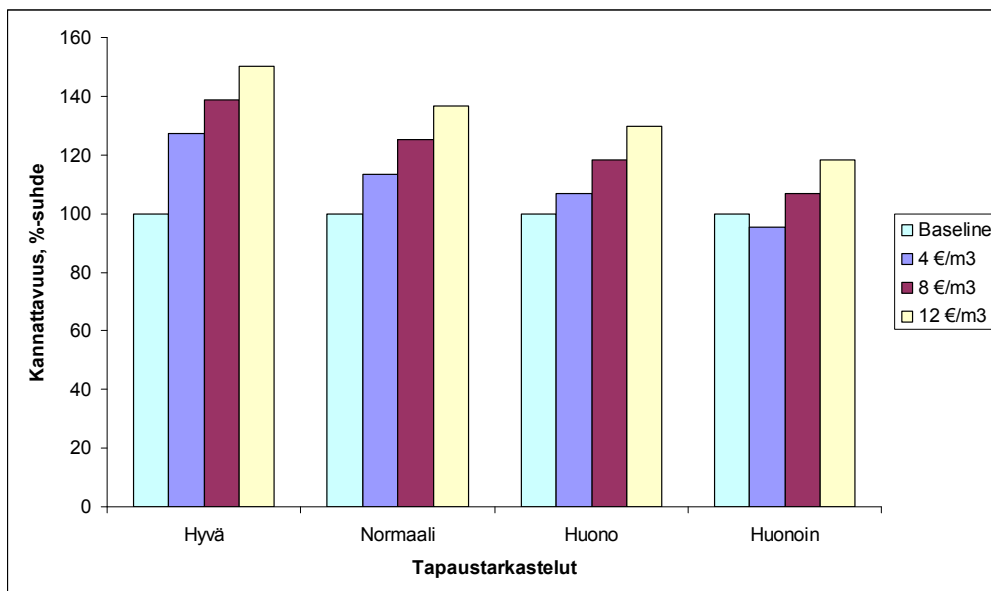


**Kuva 2.** Puutavaralajien osuudet (m<sup>3</sup>/ha asteikossa ja m<sup>3</sup>/ha/a numeroin) perinteiselle (Baseline) ja energiapuuharvennuksen sisältämälle metsänkasvatukselle (Energiapuuharvennus) koko metsikön kiertokaudella, energiapuun sisältäen kertymän kokonaisuudessaan.

### 5.3.2 Kannattavuus

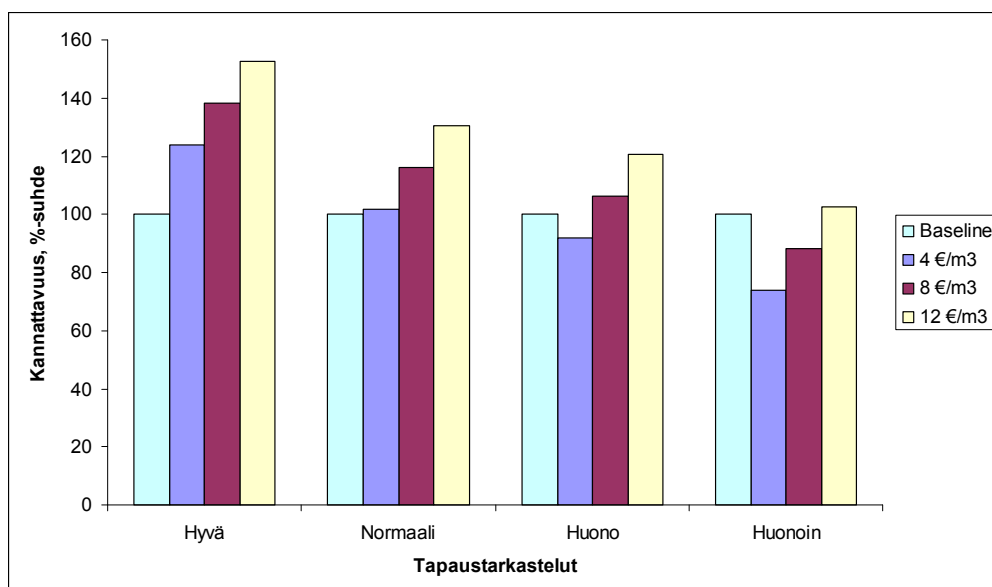
Energiapuuharvennuksen sisältämän tiheämmän metsänkasvatuksen kannattavuus oli parempi kuin perinteinen metsänkasvatus, mikäli energiapuun kantohinta oli keskimäärin suurempi kuin 4 €/m<sup>3</sup>. Lisäksi metsänhoitokustannuksissa pitäisi pystyä säästämään vähintään siten, ettei perkauksen lisäksi tarvitsisi toteuttaa joko taimikonhoitoa tai nuoren metsän raivausta ennen energiapuuharvennuksen toteuttamista.

Tuoreen kasvupaikan koelajien simuloinnit ja herkkyystarkastelut osoittivat energiapuuharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen kannattavuuden paremmaksi kuin perinteinen metsänkasvatus, vaikka metsänhoidon kustannukset lisääntyivät. Suhteellinen kannattavuus vaihteli herkkyystarkasteluissa -5 % ja +50 % välillä riippuen tapauksesta ja kantohintatasosta. Normaalisissa tapauksissa 4 €/m<sup>3</sup> kantohintatasolla kannattavuus oli 14 % parempi kuin vertailun perinteinen metsänkasvatusvaihtoehto. (kuva 3)



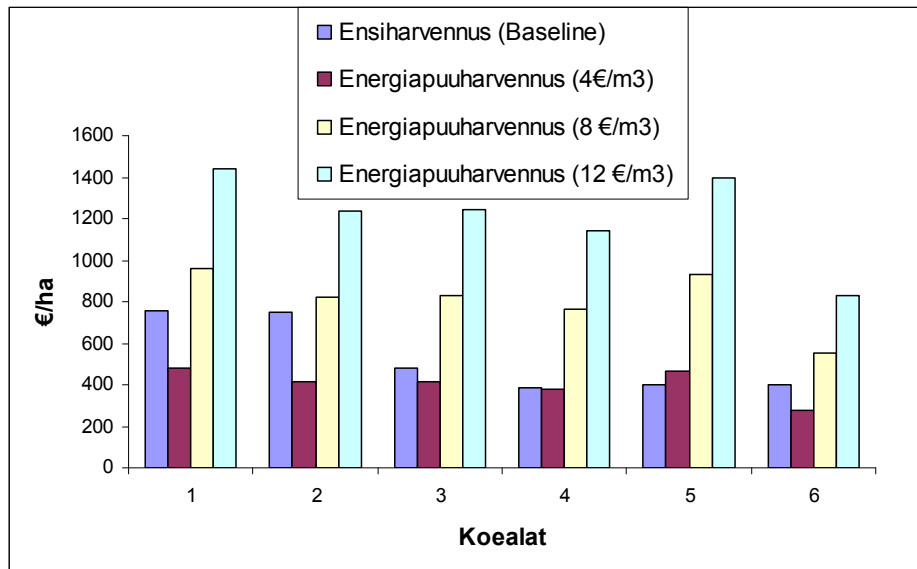
**Kuva 3.** Metsänhoitokustannusten tapausten herkkyystarkastelu metsätalouden suhteelliseen kannattavuuteen tuoreen kasvupaikan koelajoilla energiapuun vaihtelevilla kantohinnoilla, kun vertailtiin perinteiseen metsänkasvatukseen (Baseline 100 = 1809 €/ha nettonykyarvo, 3 % korkokanta)

Kuivahkon kasvupaikan koelajien simuloinnit ja herkkyystarkastelut kestivät hieman heikommin lisääntyneitä metsänhoitokustannuksia, mutta säilyivät silti kilpailukykyisellä tasolla verrattuna perinteiseen metsänkasvatukseen. Suhteellinen kannattavuus vaihteli herkkyystarkasteluissa -26 % ja +53 % välillä riippuen tapauksesta ja kantohintatasosta. Normaalisissa tapauksissa 4 €/m<sup>3</sup> kantohintatasolla kannattavuus oli 2 % parempi kuin vertailun perinteinen metsänkasvatusvaihtoehto. (kuva 4)



**Kuva 4.** Metsänhoitokustannusten tapausten herkkyytarkastelu metsätalouden suhteelliseen kannattavuuteen kuivahkon kasvupaikan koaloille energiapuun vaihtelevilla kantohinnoilla, kun vertailtiin perinteiseen metsänkasvatusmalliin, (Baseline 100 = 1119 €/ha nettonykyarvo, 3 % korkokanta)

Perinteisen ainespuu ensiharvennuksen ja vaihtoehtoisen metsänkasvatuksen energiapuuharvennuksen välinen nettotulosvertailu osoittaa, että energiapuuharvennuksesta saatava rahamäärä oli suurempi, mikäli energiapuun kantohinta oli keskimäärin suurempi kuin 6 €/m<sup>3</sup> tuoreen kasvupaikan koaloilla ja 4 €/m<sup>3</sup> kuivahkon kankaan kasvupaikan koaloilla (kuva 5). Nettotulosvertailussa pitää ottaa huomioon, että simuloinneissa ainespuuharvennuksset (30 v.) toteutettiin keskimäärin 5 vuotta myöhemmin kuin energiapuuharvennuksset (25 v.) tuoreen kankaan koaloilla, ja vastaavasti vuoden myöhemmin (29 v. / 28 v.) kuivahkolla kankaalla.



**Kuva 5.** Perinteisen ensiharvennuksen ja energiapuuharvennuksen nettotulosvertailu energiapuun vaihtoehtoisilla kantohintatasoilla (4, 8 ja 12 €/m<sup>3</sup>)

## 5.4 Johtopäätökset

Energiapuuharvennuksen sisältämä tiheämpi metsänkasvatus on kilpailukykyinen vaihtoehto jo hyvin alhaisilla energiapuun kantohinnoilla. Energiapuun kantohinnan pitäisi Etelä-Savon tapaustarkasteluiden ja nykyhintasuhteiden mukaisesti olla keskimäärin vähintään 4 €/m<sup>3</sup> saavuttaen paremman kannattavuuden kuin perinteinen ainespuun tuotantoon tähtäävä metsänkasvatus. Myös metsänhoidon alkuvaiheen kustannuksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota kehittämällä malleja suunnitelmalliseen tiheämpään metsänkasvatukseen.

Tiheämmän metsänkasvatuksen kannattavuus perustuu suurempaan puubiomassaan, aikaisempaan toteutukseen ja energiapuusta saatavaan kantohintaan sekä alhaisempiin metsänhoitokustannuksiin. Riittävä runkopuun tilavuus ja kertymä ovat avaintekijöitä myös kustannustehokkaalle korjuulle mahdollistaen siten myös metsänomistajalle parhaan mahdollisen puun kantohinnan. Energiapuuharvennuksen sisältämän metsänkasvatuksen energiapuun kertymä rankana (102 m<sup>3</sup>) oli simulointien tuloksena keskimäärin 122 % (56 m<sup>3</sup>) suurempi kuin pelkän ainespuun ensiharvennuksen perinteisessä metsänkasvatuksessa (46 m<sup>3</sup>). Rankapuun kokonaiskertymään tehtiin vielä 15 % korjaus alaspäin, eikä oksa- ja latvusbiomassaa laskettu mukaan, joten maaperän ravinnetason voi olettaa pysyvän energiapuuharvennuksessa vähintään yhtä hyvänä kuin perinteisessä metsänkasvatuksessa.

Tuloksiin liittyy epävarmuutta, sillä metsikkökoealoja oli melko vähän ja herkkyystarkastelussa jouduttiin tekemään yksinkertaistuksia. Metsikkökoealat olivat Päijät-Hämeen alueelta, vaikka kustannusanalyysi toteutettiin Etelä-Savon hintatiedoilla. Luotettavamman tuloksen saamiseksi tarvittaisiin laajempi metsikkökoeala-aineisto. Biomassakertymät vaihtelivat riippuen kasvupaikan, metsikkökoealojen lähtötilanteen ja harvennuksen voimakkuuden mukaan. Energiapuuharvennuksen voidaan sanoa toteutuneen melko myöhään ja voimakkaana,

jolloin energiapuukertymä oli suuri. Energiapuuharvennuksessa poistettiin paljon myös ainespuuta, joka toisaalta vähentää korjuukustannuksia, mutta luo paineita energiapuun kantohinnan nostamiseksi vaihtoehtoisten korjuutapojen edellyttämälle tasolle.

Tiheämmällä metsänkasvatuksella ei suljeta pois mahdollisuutta joko ainespuun erilliskorjuuseen tai aines- ja energiapuun integroituihin korjuuseen. Aines- ja energiapuun välinen hinta sekä korjuuteknologiat ratkaisevat millaisena ensiharvennus olisi kannattavinta toteuttaa. Puunostajat määrittävät mahdollisen aines- ja energiapuun kantohintatason vallitsevan kysynnän mukaan. Yhtiöt, jotka ostavat ja hinnoittelevat sekä aines- että energiapuuta voi olettaa olevan paremmat mahdollisuudet kilpailuun tulevaisuuden ensiharvennuksilla. Tutkimuksessa ei laskettu energiapuuharvennuskohteiden ainespuun erilliskorjuun, eikä aines- ja energiapuun integroidun korjuun kannattavuutta, sillä korjuukustannusten vertailukelpoisuus olisi pitänyt ottaa huomioon määrittelemällä tienvarsihinnat.

Energiapuuharvennuksen sisältämä metsänkasvatus ei tarkoita taimikonhoidon laiminlyöntiä, vaan suunnitelmallisempaa tähtäämistä normaalia tiheämpään metsikön kasvatusasentoon. Perinteisessä metsänkasvatuksessa joudutaan useinkin toteuttamaan sekä taimikon perkaus että perinteinen taimikonhoito. Tiheämmässä metsänkasvatusmallissa perkauksen ja taimikonhoidon voisi parhaimmillaan korvata yksi käsittelykerta toteuttamalla perinteinen taimikonhoito aikaisemmin ja lievempänä kuin ainespuun tuotantoon tähtäävässä metsänkasvatuksessa. Tämä lienee mahdollista etenkin kuivahkojen kasvupaikkojen metsänkäsittelyssä.

Kysyntä ja tarjonta määräävät lopulta energiapuumarkkinoiden muodostumisen. Pieniläpimittainen energiapuu on korjuukustannuksiltaan joka tapauksessa kalliimpaa kuin oksa- ja latvusbiomassa päätehakkuilta. Nuoren metsän kunnostuskohteita on tuettu, jolloin metsänhoitorästejä on ollut mahdollista purkaa ja metsähaketta on saatu markkinoille. Mikäli markkinoille halutaan enemmän korjuukustannuksilta kohtuuhintaista nuorten metsien energia-biomassaa, niin energiapuuharvennuksiin tähtäävää metsänkasvatusta pitäisi ottaa palveluvalikoimiin. Kemera-tuet sotkevat metsänkasvatuksen vaihtoehtojen kannattavuutta, sillä toisaalta taimikonhoidon tuella tuetaan ainespuun kasvatusketjua ja toisaalta energiapuun tuilla tuetaan ryteikköjen muodostumista. Energiapuutukien uudistaminen on parhaillaan käynnissä.

Tämä tutkimus osoittaa, että kilpailukykyistä energiapienpuuta olisi metsänomistajan näkökulmasta kannattava tuottaa jo hyvin alhaisilla kantohinnoilla. Pieniläpimittaisella rankapuulla voinee olettaa olevan kysyntää paremmin tulevaisuudessa energiapuuna kuin pelkästään kuitupuuna, joten hintakehityksen voi olettaa kehittyvän myönteisesti energiapienpuulle. Pienpuun korjuuteknologian ja logistiikan voi myös olettaa kehittyvän edelleen mahdollistaen tarvittaessa aines- ja energiapuun integroidun korjuun. Toisaalta energiapienpuun mahdollisuutta suurimittakaavaisessa energiatuotannossa pitäisi tarkastella koko tuotanto- ja logistiikkaketjun näkökulmasta ja vertailla energiapuun käytölle vaihtoehtoihin raaka-aineisiin. Näihin vaikuttaa markkinahintojen lisäksi erilaisten ohjauskeinojen kautta tuleva hinnanmuodostuminen. Metsänhoidollisin keinoin voidaan luoda paremmat olosuhteet niin korjuun kustannustehokkuudelle kuin metsänkasvatuksen tulonmuodostuksen kannattavuudelle.

Taantumana aikana pieniläpimittaiselle energiapuulle syntyi valtava kysyntä, sillä päätehakkuit vähenevät dramaattisesti ja toisaalta kuitupuun kysyntä heikkeni. Polttolaitosten oli turvaututtava metsähakkeen osalta kalleimpaan raaka-aineeseen ja metsähakkeen hintataso nousi markkinalähtöisesti korkealle mahdollistaen energiapienpuun korjuun. Metsänomistajille pystyttiin maksamaan saatavuuden varmistamiseksi ennätyskorkeita kantohintoja energiapienpuusta. Täytyy ottaa huomioon, että nämä kohteet eivät kuitenkaan useinkaan olleet varsinaisia energiapuuharvennuskohdeita vaan monesti nuoren metsän kunnostusta vaativia ryteikköjä, joissa korjuukustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin suunnitelmallisesti tuotetuissa tiheimmissä nuorissa metsissä.

Talouden elpymässä päätehakkuit ovat lisääntyneet ja halpaa oksa- ja latvusbiomassaa on taas tullut normaaliin tapaan markkinoille, jolloin energiapienpuun korjuu on vähentynyt ainakin hetkellisesti. Lisäksi kuitupuun hinta on elpynyt ollen laskennallista trendihintaa korkeammalla, joten ainespuun ensiharvennukseen tähtäävä metsänkasvatus näyttää nykyhintasuhteilla edelleen kannattavalta vaihtoehdolta. Toisaalta kuitupuun pitkän aikavälin reaalin hintakehitys on laskeva ja jatkunee laskusuunnassa tulevaisuudessa. Jatkossa energiapienpuun kysynnästä ja hinnasta pitävät huolen metsähakkeen kasvava kysyntä uusien voimalaitosinvestointien myötä.

## **Lähteet**

Heikkilä, J., Sirén, M., Ahtikoski, A., Hynynen, J., Sauvula, T. & Lehtonen, M. 2009. Energy wood thinning as a part of the stand management of Scots pine and Norway spruce. *Silva Fennica* 43(1): 129-146.

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 59 s.

Laitila, J., Asikainen A., Sikanen, L., Korhonen, K. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3.

Karttunen, K. 2006. Energiapuuharvennus osana metsänkasvatusta ja ilmastonmuutoksen hillitsemistä. Helsingin yliopisto, Pro Gradu –työ. 85 s.

Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. 2010. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna? Metsätehon tulosalvosarja 2/2010. Metsäteho.

Metinfo. Puun hintatilastot. <http://www.metla.fi/metinfo/>

Metsätalostatiedote 2009. Metsänhoito- ja metsänparannustyöt 2008. Metsätutkimuslaitos, Metsätalostatollinen tietopalvelu, Metsätalostatiedote 24/2009.

## 6 Energiapienpuun kuivuminen

*Jarno Föhr, Kalle Karttunen & Tapio Ranta*

### 6.1 Johdanto

Energiapuuharvennuksien korjuumäärät ja pienpuun energiakäyttö lisääntyivät merkittävästi pienissä sekä suurissa lämpö- ja voimalaitoksissa Etelä-Savossa vuonna 2009. Esimerkiksi Etelä-Savon Energia Oy poltti Pursialassa energiaharvennuspuuksi luokiteltua kokopuuhaketta 157 GWh (osuus 16,9 %) ja hakkuutähdehaketta 154 GWh (osuus 16,5 %) vuonna 2009. Vastaavasti vuonna 2008 kokopuuhaketta käytettiin 95 GWh (osuus 6,7 %) ja päätehakkUILta saatavaa hakkuutähdehaketta 288 GWh (osuus 20,3 %). Näiden lisäksi on käytetty metsäpolttoaineina pienempiä määriä kantomursketta ja karsittua rankapuuta. (Leppänen2010)

Energiapuuharvennusmäärien kasvaessa on mielekästä tarkastella energiapuun tärkeintä laat ominaisuutta, kosteuspitoisuutta. Se määrää energiapuusta tehdyn hakkeen energiasisällön, joka on lopullisen maksatuksen peruste. Mitä kuivempaa energiapuu on, sitä paremman hinnan siitä saa energialaitoksella.

Energiapuuta Etelä-Savosta -hankkeen demonstraatioissa tehtiin yhteistyötä paikallisen polttoainetoimittaja Bio-Esme Oy:n kanssa. Hankkeen aikana seurattiin energiapuun kuivumisen kehitystä harvennushakkuista aina puun haketukseen ja sen toimitukseen energialaitokselle. Hakattujen puiden kosteuspitoisuuden kehityksen seuranta suoritettiin noin vuoden verran. Kosteuspitoisuutta mitattiin säännöllisesti digitaalisella piikkikosteusmittarilla, jolloin saatiin reaaliaikaista tietoa puun kuivumisesta.

Hillebrand ja Nurmi (2004) ovat tutkineet energiapienpuun kosteuden kehittymistä. Tutkimuksen mukaan pienpuu kuivuu hyvin välivarastossa kesäaikana. Jos varastokasa on tehty avoimelle paikalle, alenee kosteus yhden kesän aikana alle 40 %:iin. Talven aikana varastokasassa oleva pienpuu ei niin kastu kuten esim. hakkuutähteet. Lindbladin (2010) mukaan mäntykuitupuulla tuoretiheyden muutosnopeus on noin  $2 \text{ kg/m}^3/\text{vrk}$  (kosteuspitoisuudessa noin 0,1 %-yksikköä/vrk).

Korjuu- ja käyttömäärien kasvaessa tarvitaan lisää tietoa siitä, miten korjuumenetelmät vaikuttavat energiapienpuun kosteuden muutoksiin. Hillebrandin ja Nurmen (2004) tutkimuksen mukaan joukkokäsittelyt puut karsiutuivat hakkuussa ja tulosten mukaan karsimattomat kokopuut ja joukkokäsittelyt rangat kuivuivat yhtä hyvin. Alussa tutkimuksen oletus oli, että neulasmassa edesauttaisi kosteuden haihtumista kokopuussa verrattuna oksattomaan rankaan. Tutkimus osoitti kuitenkin, että rangat karsiutuivat riittävästi joukkokäsittelyn yhteydessä, mikä edesauttoi huomattavasti kuivumistahtumaa.

## 6.2 Aineisto ja menetelmät

### 6.2.1 Aineisto

Tutkimusleimikot sijaitsivat hajanaisesti Etelä-Savossa. Tutkittavat energiapuulajit olivat koivu ja mänty. Näiden kohdalla tutkittiin vielä riippuen hakkuutavasta karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Tutkimusleimikoissa karsimattoman kokopuun hakkuu suoritettiin giljotiinikouralla ja karsitun rankapuun joukkokäsittelyominaisuudella varustelulla sahakouralla (Ponsse H53e).

Tutkimuksen aloitusvaiheessa tutkimusleimikkokohteita oli yhteensä 16 kpl, joissa suoritettiin energiapuuharvennus. Leimikkokohteet jakautuivat puulajin ja hakkuutavan mukaisesti seuraavalla tavalla:

- karsimaton kokopuukoivu 7 kpl
- karsimaton kokopuumänty 5 kpl
- karsittu rankakoivu 2 kpl
- karsittu rankamänty 2 kpl

Tutkimuksen kannalta olisi ollut tärkeää aloittaa kaikkien tutkimusleimikkokohteiden energiapuuhakkuut samaan aikaan, mutta Bio-Esme Oy:n rajoitetulla hakkuukalustomäärällä se ei ollut mahdollista. Kaikki energiapuuhakkuut suoritettiin kuitenkin lähemmäs viikoilla 14 – 20 vuonna 2009. Karsimattomat kokopuuleimikot (12 kpl) hakattiin viikoilla 14 – 17 huhtikuun aikana ja karsitut rankaleimikot (4 kpl) hakattiin viikolla 20 toukokuussa. Tutkimuksen yksinkertaistamiseksi asetettiin kaikkien karsimattomien kokopuuleimikkokohteiden hakkuiden aloitusajankohdaksi viikko 17 tutkimuksen tarkastelua varten, jolloin myös suurin osa niiden hakkuista suoritettiin.

Energiapuuta kuivattiin pääsääntöisesti palstalla yhdeksän viikon ajan hakkuun jälkeen hakkuukouran jättämissä hakkuukasoissa, jonka jälkeen suoritettiin energiapuiden lähikuljetus tienvarteen pinoihin. Neljässä karsimattomassa kokopuun leimikkokohteessa ei suoritettu palstakuivausta, sillä energiapuut kuljetettiin heti hakkuun yhteydessä tienvarteen.

Energiapuut hakettiin hakkurilla (Jenz 581) suoraan hakerekan kyytiin tienvarressa. Tutkimuspinojen haketus toteutettiin kerralla keväällä 2010, mutta muutamia yksittäisiä tutkimuspinoja jouduttiin hakettamaan tuotannollisista syistä jo loppusyksynä 2009. Viimeisimmät tutkimukseen kuuluvat karsimattomat kokopuut hakettiin viikolla 15 huhtikuussa vuonna 2010. Tällöin karsimattomien kokopuiden kuivumisaika oli noin vuosi. Viimeiset karsitut rankapuut hakettiin viikolla 12 maaliskuussa vuonna 2010, jolloin niiden kuivausajaksi muodostui noin 10 kuukautta.

### 6.2.2 Menetelmät

#### Kosteusmittaukset palstalta

Energiapuiden kosteuspitoisuuksien kehityksiä seurattiin 12 tutkimusleimikkopalstalla (palstakuivaus), koska neljän karsimattoman kokopuun tutkimusleimikon puut ajettiin suoraan



tienvarsipinon. Kosteusmittaukset aloitettiin heti energiapuun hakkuun yhteydessä. Palstalla tehtäviä kosteusmittauksia varten jokaisesta tutkimusleimikosta valittiin neljä mittauspuita, jotka olivat samaa puulajia. Mittauspuut merkittiin maalilla, jotta mittaus tapahtuisi aina samoista mittauspuidista. Kosteusmittaukseen käytettiin Gann –merkkistä digitaalista piikkikosteusmittaria (Hydromette M 2050). Kuvassa 1 on esitetty kosteusmittausta kyseisellä mittarilla karsimattomasta kokopuukoivusta.



**Kuva 1.** Kosteuspitoisuuden mittaaminen piikkikosteusmittarilla hakkuukasasta palstalla.

Mittauskohta, johon kosteusmittarin piikit iskettiin, oli puun runko-osa (kuva 1). Kosteusmittarissa käytettiin teflonpäällysteisiä metallipiikkejä, jotka mittasivat kosteuspitoisuuden 35–40 mm syvyydeltä puun rungosta. Kosteusmittaus suoritettiin mittauspuidista niin, että mitattiin tyviosan kosteuspitoisuus n. 40–50 cm katkaisukohdasta ja latvaosan kosteuspitoisuus n. 1,5–2,0 m latvan kärjestä. Näin ollen tutkimusleimikkoa kohti saatiin kahdeksan mittausta samasta puulajista. Tutkimuksessa selvitettiin energiapuun latva- ja tyviosan kosteuspitoisuuden eroavaisuutta palstakuivauksen aikana. Kosteusmittauksia suoritettiin hakkuukasosta viikon välein.

### **Kosteusmittaukset tienvarsipinosta**

Yhdeksän viikon palstakuivauksen jälkeen energiapuun kosteusmittauksia jatkettiin ns. pinomittauksina, jolloin mittaukset suoritettiin tienvarsipinon tyvipuolen päädyssä. Tutkimusleimikkokohteiden puulajeista valittiin uudet mittauspuita, jotka merkittiin jälleen maalilla. Jokaisesta tutkimusleimikosta valittiin neljä mittauspuita eri puolilta energiapuupinoa, joista suoritettiin kosteusmittaus rungon tyviosasta. Mittauspuiden latvaosien kosteuspitoisuuksia ei enää mitattu. Kosteusmittaukset suoritettiin samoin myös niistä neljästä tutkimusleimikosta, joiden puut kuljetettiin heti hakkuun yhteydessä tienvarteen pinoihin.

Kosteusmittauksia suoritettiin tutkimuspinoista kuukauden välein palstakuivauksen jälkeen. Toisaalta tammikuusta 2010 eteenpäin kosteusmittauksia ei voitu suorittaa poikkeuksellisen

suuren lumitilanteen vuoksi. Viimeiset kosteusmittaukset suoritettiin pinoista lopullisten haketuksien yhteydessä maaliskuu- ja huhtikuussa 2010.

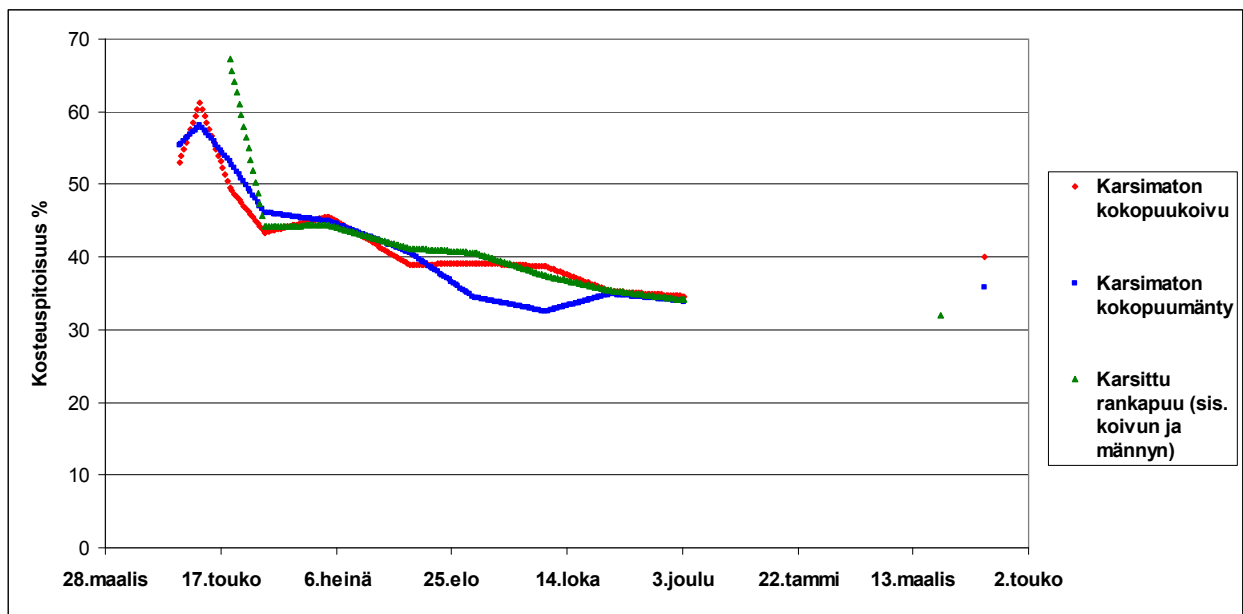
### Piikkikosteusmittarin kosteustuloksien vertailu uunikosteusnäytteisiin

Tutkimusleimikoiden tienvarsipinoista otettiin kosteusnäytteet haketuksien yhteydessä, jotka analysoitiin virallisen spesifikaation (CEN/TS 14774-2) mukaisesti uunikuivausmenetelmällä Mikkelin ammattikorkeakoulun Puupolin laboratoriossa. Jokaisesta tutkimusleimikon tienvarsipinosta otettiin vähintään kolme kosteusnäytettä. Ennen haketusta jokaisesta pinosta mitattiin kuitenkin 6–15 kpl piikkikosteusmittauksia sattumanvaraisista puista. Reaaliaikainen piikkikosteusmittaus suoritettiin vain puun tyviosasta. Tutkimuksessa verrattiin reaaliaikaisen piikkikosteusmittarin kosteustuloksia virallisen spesifikaation mukaan määritettyihin uunikosteusnäytteiden tuloksiin. Näin ollen pystyttiin tarkistamaan piikkikosteusmittarin luotettavuutta energiapuun kosteuspitoisuuden mittaamiseen.

## 6.3 Tulokset

### 6.3.1 Energiapienpuun kuivuminen

Kuvassa 6 on esitetty kosteuspitoisuuksien muutokset karsimattomista kokopuukoivusta ja -männystä sekä karsitusta rankapuusta ajan suhteen (2009–2010). Kuvassa 6 karsittu rankapuu sisältää puulajeista sekä koivun että männyn. Kuvan 6 aineisto käsitti kaikki 16 tutkimusleimikkoa.

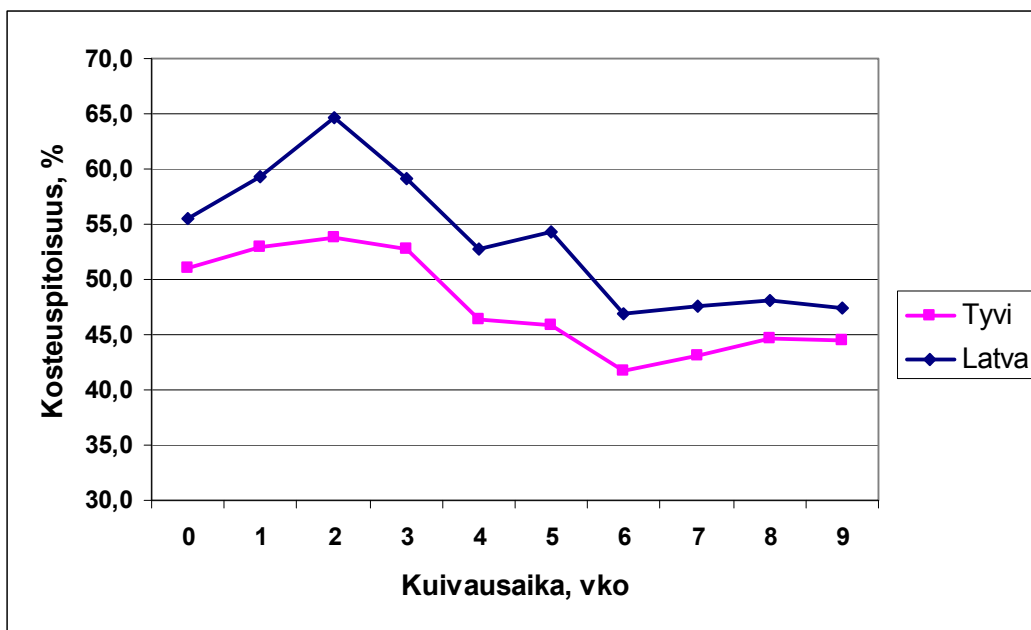


**Kuva 2.** Karsimattoman kokopuukoivun ja -männyn sekä karsitun rankapuun kosteuspitoisuuksien muutokset hakkuun ja haketuksen välisenä aikana 2009–2010.

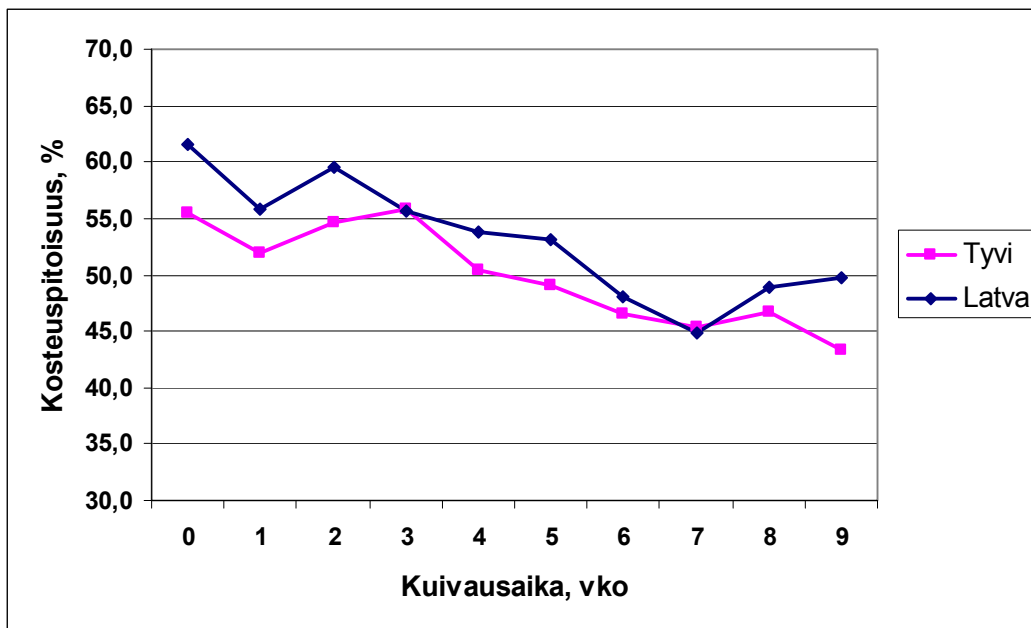
Kaikkien energiapuiden kosteuspitoisuus oli laskenut n. 35 %:iin joulukuuhun mennessä. Kevään haketusvaiheessa karsitun rankapuun kosteuspitoisuus oli vähentynyt edelleen ollen keskimäärin 32 %. Karsimattomien kokopuiden kosteuspitoisuudet olivat kasvaneet joulukuun lukuarvoista, sillä männyn kosteuspitoisuus oli lopulta keskimäärin 37 % ja koivun 40 %.

### 6.3.2 Palstakuivaus

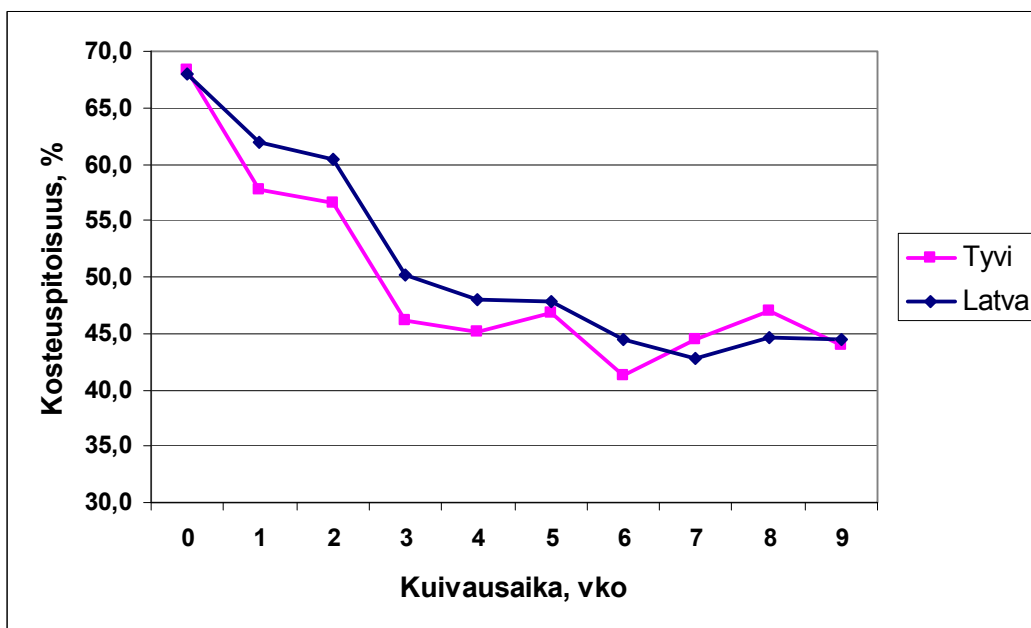
Palstakuivausta suoritettiin yhdeksän viikon ajan hakkuukasoissa hakkuun jälkeen. Kuvissa 3–6 on esitetty latva- ja tyviosien kosteuspitoisuuksien muutokset keskiarvoina karsimattomasta kokopuukoivusta ja -männystä sekä karsitusta rankakoivusta ja -männystä.



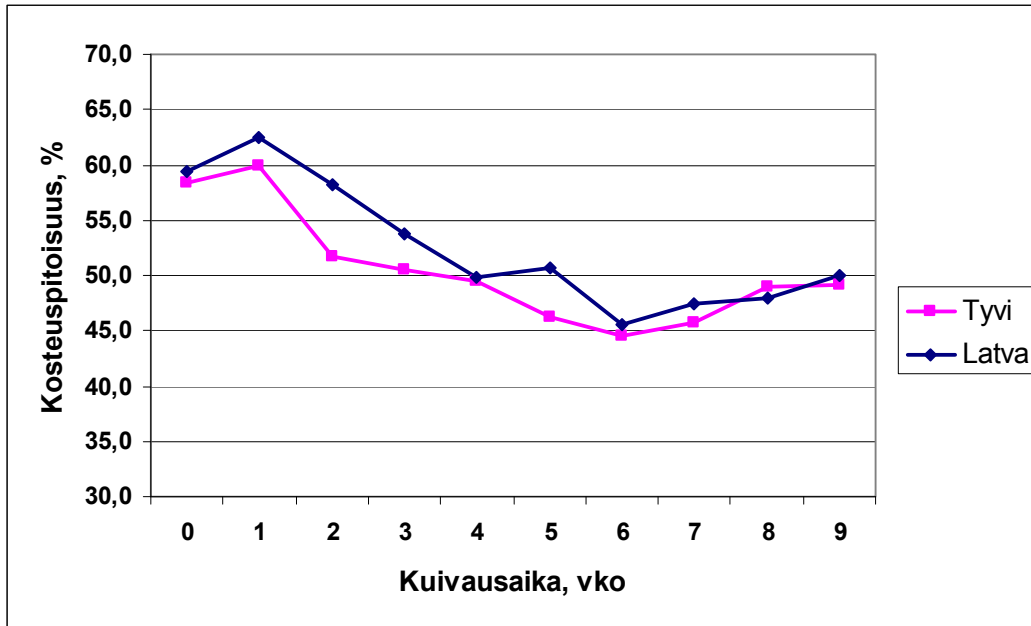
**Kuva 3.** Karsimattoman kokopuukoivun kosteuspitoisuuden muutos latva- ja tyviosissa palstakuivauksen aikana.



**Kuva 4.** Karsimattoman kokopuumännyn kosteuspitoisuuden muutos latva- ja tyviosissa palstakuivauksen aikana.



**Kuva 5.** Karsitun rankakoivun kosteuspitoisuuden muutos latva- ja tyviosissa palstakuivauksen aikana.



**Kuva 6.** Karsitun rankamännyn kosteuspitoisuuden muutos latva- ja tyviosissa palstakuivauksen aikana.

Edellä olevista kuvista nähdään, että tyviosan kosteuspitoisuus oli hieman alhaisempi, n. 2–5 %-yksikköä, kuin latvaosan kosteuspitoisuus palstakuivauksen aikana. Keskimäärin energiapuiden kosteuspitoisuus oli laskenut n. 45 %:iin kuivauksen aikana. Karsittu rankakoivu oli kuivunut nopeimmin, jo neljän viikon kuivauksella lähes 45 %:n kosteuspitoisuuteen.

Kummankin puulajin kohdalla karsittu ranka kuivui kokopuuta nopeammin alle 50 %:n kosteuspitoisuuteen. Parhaiten asian havainnollisti karsittu rankakoivu, joka kuivui kyseiseen kosteuteen kolmessa viikossa. Karsitulla rankamännnyllä 50 %:n kosteuspitoisuus saavutettiin neljän viikon kuivauksella. Karsitun rankapuun nopea kuivuminen johtunee rankapuun hakkuussa käytetystä erilaisesta hakkuupäästä. Rankapuiden hakkuussa käytettiin karsivaa sahakouraa giljotiinikouran sijasta. Tämä karsiva hakkuupää repii kuorta irti puun rungosta, jolloin kuivuminen näyttäisi tehostuvan. Rankapuiden nopeaan kuivumiseen saattoi vaikuttaa myös se, että rankapuut hakattiin kolme viikkoa myöhemmin toukokuussa kuin karsimattomat kokopuut, jolloin puun kuivuminen on muutenkin tehokasta.

Sää oli erinomainen yhdeksän viikon kuivausjakson aikana. Ainoastaan kahtena viimeisenä kuivausviikkona satoi, mikä vaikutti myös energiapuiden kosteustuloksiin. Sateisina mittauspäivinä puun pinnalla ollut vesi ei vaikuttanut mittauksiin, sillä teflonpäällysteiset mittauspiikit määrittivät ainoastaan kosteuspitoisuuden piikkien kärjestä eli puun rungon sisältä.

### 6.3.3 Piikkikosteusmittarin luotettavuus

Jokaisesta tutkimuspinosta mitattiin energiapuun kosteuspitoisuuksia piikkikosteusmittarilla juuri ennen haketusta ja haketuksen yhteydessä otettiin vertailtavat uunikosteusnäytteet. Tut-

kimuksessa verrattiin reaaliaikaisen piikkikosteusmittarin kosteustuloksia uunikosteusnäyt-  
teiden tuloksiin (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Tienvarsipinojen kosteuspitoisuudet piikkikosteusmittarilla ja uunikuivausme-  
netelmällä.

Varasto	Hydromette M 2050 (kosteus-%)	Uunikuivausmenetelmä (kosteus-%)	Kosteus-%- muutos	Peitetty pino
251-2 kokopuu	40,5	39,2	-1,3	Ei
277-1 kokopuu	46,9	47,3	0,4	Ei
320-1 kokopuu	43,8	36,3	-7,5	Ei
322-1 kokopuu	27,7	33,5	5,8	Kyllä
322-2 rankapuu	38,7	36,7	-2,0	Ei
322-3 kokopuu	35,2	33,3	-1,9	Ei
324-1 kokopuu	37,6	42,9	5,3	Kyllä
324-2 kokopuu	34,6	46,5	11,9	Kyllä
324-3 rankapuu	29,3	35,6	6,3	Kyllä
441-1 kokopuu	42,1	41,3	-0,8	Ei
<b>Keskiarvo</b>	<b>37,6</b>	<b>39,3</b>	<b>1,6</b>	

Taulukosta 1 nähdään, että yksittäisten varastojen kohdalla kosteusmittauksissa oli poik-  
keavuutta mittaustapojen välillä, mutta kokonaiskeskiarvojen kosteuspitoisuuden muutos oli  
vain 1,6 %-yksikköä. Varaston 324-2 kohdalla kosteuspitoisuuden muutos oli 11,9 %-  
yksikköä, sillä kyseinen tutkimuspino sisälsi runsaasti lunta haketusvaiheessa. Kosteusmitta-  
uksien tuloksista voidaan havaita, että piikkikosteusmittari antoi peitetyille pinoille alhai-  
sempia kosteuspitoisuuksia kuin uunikuivausmenetelmä.

## 6.4 Johtopäätökset

Tutkimuksessa seurattiin energiapienpuun tärkeimmän laatutekijän kosteuspitoisuuden kehi-  
tystä reaaliaikaisella piikkikosteusmittarilla lähes vuoden ajalta. Seurattavina energiapuula-  
jeina olivat karsimaton kokopuu ja karsittu rankapuu sekä koivun että männyn osalta. Tutki-  
muksen aloitusvaiheessa tutkimusleimikoita oli yhteensä 16 kpl, joissa suoritettiin energia-  
puuharvennus. Aluksi energiapuuta kuivattiin palstalla hakkuukasoissa yhdeksän viikon ajan,  
jonka aikana seurattiin energiapuun latva- ja tyviosien kosteuspitoisuuksien muutoksia. Pals-  
takuivauksen jälkeen puiden tyviosien kosteuspitoisuuksia mitattiin tienvarsipinoista lopulli-  
seen haketukseen asti. Tutkimuksessa vertailtiin myös reaaliaikaisen piikkikosteusmittarin  
kosteustuloksia uunikuivausmenetelmän tuloksiin puiden haketusvaiheessa.

Karsittu rankapuu kuivui nopeammin ja kuivemmaksi kuin karsimaton kokopuu seurantajak-  
sojen aikana. Karsittu rankapuu kuivui keskimäärin 32 %:n ja karsimaton kokopuu 37–40  
%:n kosteuspitoisuuteen. Karsitun rankapuun hakkuussa käytettiin karsivaa ainespuun jouk-  
kokäsittelykouraa. Tämä hakkuupää repii kuorta irti puun rungosta, jolloin kuivuminen näyt-  
täisi tehostuvan. Kuivaustutkimustuloksien perusteella voidaan suositella käytettävän ener-  
giapuuharvennuksien hakkuussa joukkokäsittelykouraa, jos puusto on riittävän järeää tehok-

kaalle työskentelylle. Tutkimus vahvistaa aikaisempaa tutkimusoletusta karsitun rankapuun hyvästä kuivumisesta verrattuna karsimattomaan kokopuuhun.

Karsitun rankapuun tehokas kuivuminen havaittiin jo palstakuivauksen aikana, jolloin se saavutti keskimäärin 45 %:n kosteuspitoisuuden 4 viikon kuivumisen jälkeen. Muiden energiapuiden kohdalla saman kosteuspitoisuuden saavuttamiseksi vaadittiin keskimäärin 6–9 viikon palstakuivausaika. Tutkimuksessa havaittiin energiapuun latvaosan kosteuspitoisuuden olevan keskimäärin 2–5 %-yksikköä korkeampi kuin tyviosan palstakuivauksen aikana.

Vertailtaessa reaaliaikaisen piikkikosteusmittarin ja uunikuivausmenetelmän kosteustuloksia keskenään havaittiin, että mittaustapojen välillä oli suuria eroja yksittäisten mittaustulosten kohdalla. Toisaalta molempien mittaustapojen kokonaiskeskiarvot olivat erittäin lähellä toisiinsa (poikkeavuus 1,6 %-yksikköä). Reaaliaikaisella piikkikosteusmittarilla saadaan suuntaa-antavia kosteustuloksia, joita voidaan hyödyntää varastopinon parhaan haketusajankohdan määrittämiseen.

## **Lähteet**

CEN/TS 14774-2:fi. 2005. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 11 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2004. Nuorista metsistä korjatun energiapuun kuivatus ja varastointi. Projektiraportti, VTT Prosessit.

Leppänen, T. 2010. Etelä Savon Energia Oy. Voimalaitosjohtajan haastattelu 18.10.2010.

Lindblad, J. 2010. Puun kosteus. Saatavilla:  
[http://www.skal.fi/files/7544/Puunkosteus\\_perustietoa.pdf](http://www.skal.fi/files/7544/Puunkosteus_perustietoa.pdf)

## **7 Energiapienpuun tienvarsihaketusketju**

*Jarno Föhr, Kalle Karttunen & Tapio Ranta*

### **7.1 Johdanto**

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää energiapuun harvennuksilta saatavan energiapienpuun kulkua metsästä polttolaitokselle osana tienvarsihaketusketjua. Tutkimuksessa energiapienpuuna vertailtiin karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä metsäpalveluyritys Bio-Esme Oy:n kanssa, joka on Etelä-Savossa toimiva metsäkone-, hake- ja lämpöalan yritysverkosto.

Tienvarsihaketusketjussa hakkuri tuottaa hakkeen suoraan hakerekkaan tienvarsivarastolla. Hakkurin ja hakeauton toiminnot kytkeytyvät kiinteästi toisiinsa, joten ”kuuma tuotantoketju” on haavoittuva ja altis keskeytyksille. Eri vaiheiden saumaton yhteensovittaminen ja keskeytysten välttäminen vaativat kokemusta ja kuljettajien yhteydenpitoa. Hakkurin ja hakeauton työmaa-ajasta saattaa kulua kymmeniä prosentteja odotteluun. (Hakkila 2004)

Tutkimuksessa keskityttiin seuraamaan tienvarressa ja voimalaitoksella tapahtuvia toimenpiteitä. Tutkimuksessa tarkasteltiin energiapienpuun haketusketjun tehokkuutta mittaamalla haketuksen tuottavuutta tienvarressa sekä ketjun eri välivaiheiden ajankäyttöä. Lisäksi selvitettiin tuotettujen hakkeiden tärkeimmät laatuominaisuudet.

### **7.2 Tutkimuksen suoritus**

#### **7.2.1 Aineisto**

Energiapienpuun tienvarsihaketusketjun tutkimus suoritettiin 24.3.–15.4.2010 välisenä aikana. Tutkimukseen kuuluneet energiapienpuut oli hakattu maaliskuu- ja toukokuun välisenä aikana vuonna 2009. Suurimmalle osalle hakatuista energiapienpuista oli suoritettu n. 6–8 viikon palstakuivaus hakkuukasoissa, jonka jälkeen puut oli kuljetettu tienvarteen varastopinoiksi.

Tutkimuksessa seurattiin haketuksia kuudella eri varastokohteella, jotka sijaitsivat Etelä-Savossa. Tutkimus käsitti 9 kpl kokopuuhakekuormia ja 5 kpl rankahakekuormia. Metsähakkeen kaukokuljetusmatka varastopaikalta voimalaitokselle vaihteli 15–50 kilometrin välillä.

#### **7.2.2 Työkoneet**

Haketus suoritettiin Koneyhtymä Esa Heikkilä Ky:n omistamalla Jenz HEM 581 DL –hakkurilla, joka oli rakennettu Mercedes-Benz –kuorma-auton alustan päälle (kuva 1). Kyseinen vaakasyöttöinen rumpuhakkuri oli varustettu Mercedes –moottorilla (490 hevosvoimaa). Hakkurin rummussa oli 12 kpl leikkaavia teriä ja hakkurissa käytettiin seulakokoa, joka täytti energialaitokselle toimitettavan jakeen palakoko vaatimuksen. Hakkuriin oli integ-



roitu puutavaranosturi (Jonsered 1080) varustettuna energiapuukouralla. Haketuksen suoritti aina sama työntekijä.



**Kuva 1.** Hakkuri ja hakerekkä tienvarsivarastolla.

Hakerekkana (Kuljetus E. Ylönen Ky) käytettiin hakerekkaa (110 m<sup>3</sup>), joka oli vaihtolavatyypin ratkaisu tienvarsihaketusketjun työskentelyyn (kuvat 2 ja 3). Kuljetusyhdistelmä käsitti kolme konttia, josta nuppi-kontin tilavuus oli 36 m<sup>3</sup> ja peräkärryn molempien konttien 37 m<sup>3</sup>. Hakkeet kuljetettiin tienvarresta suoraan Etelä-Savon Energia Oy:n (ESE) Pursialan voimalaitokselle. Tutkimuksessa käytettiin aina samaa kuljettajaa.



**Kuvat 2 ja 3.** Siirtokonttihakerekkä oli varustettu koukkulavalaiteistolla.

### 7.2.3 Menetelmät

#### Tuottavuus ja haketusketjun ajan käyttö

Haketuksen tehotuottavuus määritettiin koko- ja rankapuulle tienvarressa. Hakekonttien täyttämiseen käytetty tehoaika ( $E_0$ ) kelloitettiin minuutin tarkkuudella huomioiden keskeytykset ja tauot. Kuormassa olevan polttoaineen paino saatiin selville voimalaitoksella autovaa'alla kuorman purkamisen yhteydessä.

Haketustuottavuuden lisäksi mitattiin toimitusketjun eri välivaiheiden ajankäyttöä. Toimitusketju jaoteltiin kolmeen eri välivaiheeseen: haketukseen, kuljetukseen ja tyhjennykseen. Haketuksen osalta tarkasteltiin tehoaikaa sekä odotus- ja keskeytysaikoja. Kuljetuksen osalta tarkasteltiin tyhjänä ja täytenä ajoa sekä odotus-, keskeytys-, tauko- ja tankkausaikoja. Tyhjennyksen osalta tarkasteltiin tehoaikaa sekä odotus-, punnitus- ja näytteenottoaikoja.

Haketuksen tehoaika alkoi hakkurin moottorin käynnistymisellä ja loppui moottorin sammuttamiseen. Hakekuormat tyhjennettiin voimalaitoksen polttoaineumaan asfalttikentälle. Kuorman tyhjennyksen tehoaika alkoi ensimmäisen kontin kipin nostamisella pystyyn ja loppui viimeisen kontin sisällön tyhjentäessä. Kaikki keskeytykset ja tauot huomioitiin minuutin tarkkuudella.

#### Kosteuspitoisuuden mittaus

Tutkimuksessa otettiin kaikista toimitetuista polttoainekuormista kosteusnäyte kuorman purkamisen yhteydessä, joka toimitettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun Puupolin kosteusnäytelaboratorioon. Kosteusnäytteet analysoitiin teknisen spesifikaation (CEN/TS 14774-2) mukaisesti uunikuivausmenetelmällä.

Samalla tavalla kuljettaja otti toisen vastaavan kosteusnäytteen polttoainekuormastaan purkamisen yhteydessä, jonka kuljettaja toimitti voimalaitoksen laboratorion analysoitavaksi normaalin käytännön mukaisesti. Voimalaitos teetti kaikista päivän toimituskuormista kokoomanäytteen kosteuspitoisuuden mittaamiseksi, joka edusti kaikkia päivän toimituskuormia. Voimalaitoksen kokoomanäytteiden ja tutkimuksen yksittäisnäytteiden kosteustuloksia verrattiin toisiinsa.

#### Energiamäärä

Polttoaineiden energiamääriä vertailtiin sekä voimalaitoksen mittauskäytännön että tutkimuksen toimesta. Tutkimuksen laskennallisen energiamäärän laskennassa käytettiin hakekuormista otettuja näytteille tehtyjä lämpöarvon määrittämiä. Lämpöarvo selvitettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston laboratoriossa. Voimalaitoksen energiamäärän laskenta perustui yrityksen omiin polttoaineraportteihin sekä ulkopuoliseen lämpöarvomäärittämiseen (ENAS Oy Jyväskylä).

## Laatuluokitus

Tutkimuksessa selvitettiin kosteuspitoisuusmittausten ohella hakettavien polttoaineiden muut velvoittavat laatuluokitukset eli palakoko- ja tuhkaluokat. Lisäksi selvitettiin tärkeimmät opastavat laatuluokitukset, jotka olivat tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) ja energiatiheys (MWh/i-m<sup>3</sup>).

Polttoaineiden kosteusluokat määritettiin painoon suhteutetuista keskiarvokosteuksista tutkimuksen toimesta otetuista yksittäisnäytteistä. Haketuksien aikana kerättiin kummastakin tutkimuspolttoaineesta kokoomanäytteet lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuksien laboratorioanalysointia varten. Laboratorioanalysoinnit suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston voimalaitostekniikan laboratoriossa. Palakokoluokitusta varten kerättiin myös molemmista polttoaineista toiset kokoomanäytteet, jotka analysoitiin teknisen spesifikaation (CEN/TS 15149-1) mukaisesti.

## 7.3 Tulokset

### 7.3.1 Tuottavuus ja haketusketjun ajankäyttö

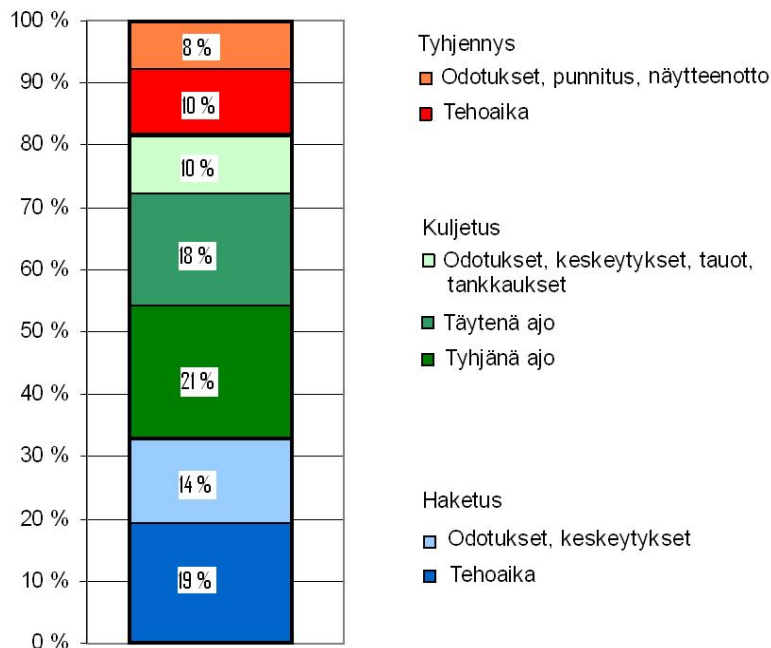
Tutkimuksessa mitattiin haketuksen tehotuottavuus kokopuu- ja rankahakkeelle (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Haketuksen tehotuottavuus kokopuu- ja rankahakkeelle.

Polttoaine	Tilavuus (i-m <sup>3</sup> )	Paino (tn)	Keskiarvo- kosteus (%)	Energia- määrä (MWh)	Tehoaika E <sub>0</sub> (h)	Tehotuottavuus		
						(MWh/h)	(i-m <sup>3</sup> /h)	(tn/h)
Kokopuuhake	948	258,25	39,6	781,48	5,85	134	162	44
Rankahake	550	145,65	36,0	468,43	2,98	157	184	49

Haketuksen tehotuottavuus oli rankapuulle parempi kuin kokopuulle. Haketuksessa energiamäärän mukainen tehotuottavuus oli kokopuuhakkeelle 134 MWh/h ja rankahakkeelle 157 MWh/h ollen n. 17 % tuottavampi rankahakkeelle kuin kokopuuhakkeelle. Tilavuuden mukaisessa tehotuottavuudessa rankahake (184 i-m<sup>3</sup>/h) oli n. 14 % tuottavampi kuin kokopuuhake (162 i-m<sup>3</sup>/h). Painon mukaisessa tehotuottavuudessa oli pienin eroavaisuus, sillä rankahake (49 tn/h) oli n. 11 % tuottavampi kuin kokopuuhake (44 tn/h).

Tutkimuksessa mitattiin tienvarsihaketusketjun eri välivaiheiden ajankäyttöä (kuva 4). Toimitusketjun yhden kuormakierron keskimääräinen kokonaisaika oli 3 h 16 min. Hakerekan keskimääräinen ajomatka tyhjänä oli n. 50 km ja täytenä n. 40 km. Tyhjänä ajo sisälsi kuljetajan siirtymiset varikon ja työmaan välillä.



**Kuva 4.** Tienvarsihaketusketjun eri välivaiheiden kuormakiertokohtainen keskimääräinen ajan käyttö (100% = 3 h 16 min).

Haketuksen keskimääräinen kokonaisaika oli 1 h 5 min ja tehoaika 37 min. Kuljetuksen keskimääräinen kokonaisaika oli 1 h 36 min, josta tyhjänä ajo oli 42 min ja täytenä ajo 35 min. Kuorman tyhjennyksen keskimääräinen kokonaisaika oli 35 min voimalaitoksella, josta tehoaika oli 20 min. Tyhjennyksen tehoutuottavuus oli eri yksiköittäin ilmaistuna 268 MWh/h, 320 i-m<sup>3</sup>/h ja 86 tn/h.

### 7.3.2 Kosteuspitoisuus

Liitteessä I on esitetty sekä voimalaitoksen että tutkimuksen määrittämät kosteuspitoisuudet kokopuu- (9 kpl) ja rankahakekuormista (5 kpl) toimitusvaiheessa. Tutkimuksen kosteuspitoisuusmääritys antoi kokopuuhakkeelle painoon suhteutetuksi keskiarvokosteudeksi 39,6 % ja voimalaitoksen määritys 37,8 %. Rankahakkeelle vastaavat keskiarvokosteudet olivat 36,0 % (tutkimus) ja 36,8 % (voimalaitos).

### 7.3.3 Energiamäärä

Polttoaineiden energiamäärät määritettiin myös kahdella tavalla tutkimuksen aikana (liite I). Tutkimuksen laskennallinen energiamäärä oli rankahakkeelle 468 MWh ja vastaavasti voimalaitoksen määrittämisen mukaan energiamäärä oli 451 MWh. Voimalaitoksen määrittämä pienempi energiamäärä rankahakkeelle johtui laskennassa käytetystä alhaisemmasta lämpöarvosta. Polttoaineen keskiarvokosteuden määrittämisessä ei ollut suurta eroa mittaustapojen välillä.

Tutkimuksen laskennallinen energiamäärä oli kokopuuhakkeelle 781 MWh ja voimalaitoksen määrittämä 786 MWh. Määritetyt luvut olivat hyvin lähellä toisiaan, koska voimalaitos oli käyttänyt laskennassa alhaisempaa keskiarvokosteutta kokopuuhakkeelle, mutta myös alhaisempaa lämpöarvoa.

### 7.3.4 Laatuoluokitus

Tutkimuksessa selvitettiin molempien tutkimuspolttoaineiden velvoittavat laatuoluokitukset, jotka olivat palakoko-, kosteus- ja tuhkaluokka. Lisäksi selvitettiin tärkeimmät opastavat laatuoluokitukset eli tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) ja energiatiheys (MWh/i-m<sup>3</sup>).

Polttoaineista kerättiin kokoomanäytteet palakokoluokkien analysointia varten. Taulukossa 2 on esitetty kokopuuhakkeen palakokoanalyysin tulokset ja taulukossa 3 rankahakkeen vastaavat tulokset.

**Taulukko 2.** Kokopuuhakkeen palakokoanalyysin tulokset.

Palakoko (mm)	Paino (g)	Osuus (paino-%)	Kumulatiivinen osuus (paino-%)
alle 3,15	40	3,6	3,6
3,15 - 16	230	20,8	24,4
16 - 45	530	47,8	72,2
45 - 63	120	10,8	83,0
63 - 100	124	11,2	94,2
100 - 200	64	5,8	100,0
yli 200	0	0,0	100,0
<b>Yhteensä</b>	<b>1108</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Taulukko 3.** Rankahakkeen palakokoanalyysin tulokset.

Palakoko (mm)	Paino (g)	Osuus (paino-%)	Kumulatiivinen osuus (paino-%)
alle 3,15	62	3,6	3,6
3,15 - 16	216	12,7	16,3
16 - 45	974	57,2	73,6
45 - 63	266	15,6	89,2
63 - 100	158	9,3	98,5
100 - 200	26	1,5	100,0
yli 200	0	0,0	100,0
<b>Yhteensä</b>	<b>1702</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Palakokoanalyysien perusteella kokopuuhake kuului palakokoluokkaan P100. Tässä luokassa pääfraktion pitää olla yli 80 painoprosenttisesti palakokoalueella (3,15 - 100) mm ja vain maksimissaan yksi paino-% saa ylittää 200 mm palakoon (karkea fraktio). Kokopuuhakkeen analyysissä pääfraktio kuului mitatulle palakokoalueelle 90,6 painoprosenttisesti ja yksikään

puupala ei ylittänyt 200 mm palapituutta. Toisaalta pääfraktio jäi vain 0,6 painoprosentin päähän luokasta P63, mutta karkea fraktio olisi ollut tuolloin 5,8 painoprosenttia.

Rankahakkeen palakokoanalyysin perusteella polttoaine kuului palakokoluokkaan P63. Tässä luokassa pääfraktion pitää olla yli 80 painoprosenttisesti palakokoalueella (3,15 - 63) mm ja vain maksimissaan yksi paino-% saa ylittää 100 mm palapituuden (karkea fraktio). Analyysissä pääfraktio kuului mitatulle palakokoalueelle 85,6 painoprosenttisesti, mutta 1,5 painoprosenttia ylitti 100 mm palakoon. Ylitys johtui vain parista puupalasta.

Kokopuu- ja rankahakkeen kosteusluokat määritettiin yksittäiskuormien painoon suhteutetuista keskiarvokosteuksista. Kokopuuhakkeen toimituksien keskiarvokosteus oli 39,6 %, joten se kuului kosteusluokkaan M40. Rankahakkeen toimituksien keskiarvokosteus oli 36,0 %, joten se kuului myös kosteusluokkaan M40.

Liitteessä II on esitetty tutkimuspolttoaineiden lämpöarvo- ja tuhkapitoisuudet. Molempien polttoaineiden tuhkapitoisuus oli 0,8 paino-%. Tällöin polttoaineet kuuluivat tuhkaluokkaan A1.5. Kokopuuhakkeen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 10,1 MJ/kg ja rankahakkeen 11,0 MJ/kg. Kokopuuhakkeelle energiatiheydeksi määritettiin 0,82 MWh/i-m<sup>3</sup> ja rankahakkeelle 0,85 MWh/i-m<sup>3</sup> (liite I).

Seuraavassa on vielä koostettu polttoaineiden velvoittavat ja opastavat laatuluokitukset:

#### Kokopuuhake

- Kauppanimike	Puuhake (tuotettu hakkurilla)
- Alkuperä	1.1.1 Kokopuu
- Palakoko	P100
- Kosteuspitoisuus	M40
- Tuhkapitoisuus	A1.5
- Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	10,07 MJ/kg
- Energiatiheys	0,82 MWh/i-m <sup>3</sup>

#### Rankahake

- Kauppanimike	Puuhake (tuotettu hakkurilla)
- Alkuperä	1.1.2 Runkopuu/ranka
- Palakoko	P63
- Kosteuspitoisuus	M40
- Tuhkapitoisuus	A1.5
- Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	11,02 MJ/kg
- Energiatiheys	0,85 MWh/i-m <sup>3</sup>

## 7.4 Johtopäätökset

Tutkimuksessa demonstroititiin tienvarsihaketusmallin mukaista energiapienpuun toimitusketjua. Energiapienpuuna vertailtiin karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Tutkimuksessa tarkasteltiin energiapienpuun haketuksen tehoutuottavuutta tienvarressa sekä hakekuor-

man purkamiseen kulunutta aikaa voimalaitoksella. Lisäksi selvitettiin tuotettujen hakkeiden laatuominaisuudet. Tutkimus käsitti 9 kpl karsimatonta kokopuuhakekuormaa ja 5 kpl karsitua rankahakekuormaa.

Haketuksen tehotuottavuus oli karsitulle rankapuulle parempi kuin karsimattomalle kokopuulle. Energiamäärän mukainen tehotuottavuus oli n. 17 % tuottavampi rankapuulle kuin kokopuulle. Tilavuuden mukainen tehotuottavuus oli n. 14 % ja painon mukainen n. 11 % suurempi rankapuulle kuin kokopuulle.

Tutkimuksessa mitattiin tienvarsihaketusketjun eri välivaiheiden ajankäyttöä. Haketusketjussa yhden kuormakierron keskimääräinen kokonaisaika oli 3 h 16 min. Tuosta ajasta haketuksen osuus oli 33 %, kuljetuksen 49 % ja tyhjennyksen 18 %. Hakerekan keskimääräinen ajomatka tyhjänä oli n. 50 km ja täytenä n. 40 km. Tyhjennyksen tehotuottavuus hakkeelle oli eri yksiköittäin ilmaistuna 268 MWh/h, 320 i-m<sup>3</sup>/h ja 86 tn/h.

Tutkimuksessa määritettiin hakkeiden kosteuspitoisuudet sekä energiamäärät ja vertailtiin niitä voimalaitoksen mittauskäytäntöihin. Kosteuspitoisuuksien määrittämisessä ei ollut suuria eroavaisuuksia kokopuu- ja rankahakkeen välillä, sillä keskiarvokosteuksien poikkeama oli vain n. 2 %-yksikköä. Energiamäärien määrittämisessä eroavaisuutta oli enemmän. Kokopuuhakkeelle polttolaitos määrittäi 5 MWh suuremman energiamäärän kuin tutkimus. Laskennassa polttolaitos oli käyttänyt kokopuuhakkeelle alhaisempaa keskiarvokosteutta, mutta myös alhaisempaa lämpöarvoa. Rankahakkeelle polttolaitos oli määrittänyt puolestaan 17 MWh pienemmän energiamäärän kuin tutkimus. Polttolaitoksen määrittämä pienempi energiamäärä rankahakkeelle johtui pelkästään laskennassa käytetystä alhaisemmasta lämpöarvosta.

Tutkimuksessa havaittiin, että polttolaitoksen ja tutkimuksen teettämässä lämpöarvoissa oli poikkeavuutta molempien polttoaineiden kohdalla. Polttolaitos käytti ulkopuolista laboratorioita (ENAS Oy) polttoaineiden lämpöarvomäärittämisessä. Molempien tutkimuspolttoaineiden kohdalla ulkopuolinen laboratorio oli saanut teholliseksi lämpöarvoksi kuiva-aineessa noin 0,50 MJ/kg alhaisemman arvon. Ero johtunee siitä, että polttolaitos oli kerännyt analysoitavat näytteensä koko toimituskuukauden ajalta, mutta tutkimuksen analyysinäytteet oli kerätty vain tutkimus seurannassa olevista toimituseristä. Tällainen lämpöarvopoikkeama vähentäisi n. 2,5 MWh hakerekkakohtaista energiamäärää tarkoittaen lähes 50 euron menetystä riippuen kuormakoosta ja polttoaineen hintatasosta.

Tutkimus osoitti rankahakkeen olevan parempilaatuista kuin kokopuuhake. Rankahakkeen etuna oli tasalaatuisempi palakoko. Rankahake kuului palakokoanalyysien perusteella selvästi palakokoluokkaan P63, mutta kokopuuhake (P100) ei aivan yltänyt kyseiseen palakokoluokkaan. Rankahake oli erityisen tasalaatuista, sillä hakkurin tuotoksesta jopa 57,3 paino-% kuului palakokoalueelle 16 – 45 mm. Kokopuuhakkeen kohdalla kyseinen palakokoalue oli n. 10 %-yksikköä pienempi ja hakkeen palakoko oli muutenkin hajanaisempaa.

Rankapuusta tuotettu hake osoittautui sekä haketustuottavuudeltaan että laadultaan paremmaksi kuin kokopuusta tuotettu hake. Rankahaketta on perinteisesti käytetty pienempien lämpölaitoksien raaka-aineena tasaisemman laadun vuoksi. Käyttömäärien kasvaessa ja tuo-

tantoteknologioiden kehittyessä rankahakkeesta on muodostumassa osa metsähakkeen suuri-  
mittakaavaista tuotantoa.

### **Lähteet**

CEN/TS 14774-2:fi. 2005. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 11 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

CEN/TS 15149-1. 2006. Solid biofuels. Methods for the determination of particle size distribution. Oscillating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and above. 16 s.

Hakkila, P (toim.). 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 – 2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. 135 s. ISBN 952-457-150-1.



**Tutkimuspolttoaineiden koostetut kuormatiedot. Vertailutietoina myös polttoaineissa käytetyt teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa.**

### Rankahake

Pvm	Klo	Varasto- nro	Rekiste- rinro	Tutkimus Tilavuus (i-m <sup>3</sup> )	ESE Paino (tn)	ESE Kosteus (%)	Tutkimus Kosteus (%)	ESE MWh	Tutkimus MWh	
14.4.2010	10:21	322-2	XOG-275	110	28,70	34,9	34,2	92,02	95,53	
14.4.2010	13:53	322-2	XOG-275	110	29,40	34,9	38,9	94,27	89,45	
14.4.2010	17:22	322-2	XOG-275	110	29,20	34,9	36,4	93,63	93,28	
15.4.2010	9:59	322-2	XOG-275	110	28,25	39,6	37,2	82,66	88,87	
15.4.2010	17:20	322-4	XOG-275	110	30,10	39,6	33,6	88,07	101,29	
			<b>Yhteensä</b>	<b>550</b>	<b>145,65</b>	<b>36,8</b>	<b>36,0</b>	<b>450,65</b>	<b>468,43</b>	
								↑	↑	
								Käytetty tehollinen lämpöarvo (MJ/kg):	19,04	19,48

### Kokopuuhake

Pvm	Klo	Varasto- nro	Rekiste- rinro	Tutkimus Tilavuus (i-m <sup>3</sup> )	ESE Paino (tn)	ESE Kosteus (%)	Tutkimus Kosteus (%)	ESE MWh	Tutkimus MWh	
24.3.2010	17:22	324-3	XOG-275	107	28,30	37,6	38,3	86,62	87,81	
		324-2,								
25.3.2010	9:48	324-3	XOG-275	107	30,30	37,0	37,3	93,84	95,88	
25.3.2010	13:42	324-3	XOG-275	107	27,55	37,0	32,1	85,32	95,95	
25.3.2010	16:48	324-3	XOG-275	107	27,35	37,0	39,2	84,70	83,36	
6.4.2010	8:44	277-1	XOG-275	107	34,05	47,7	53,1	83,17	74,77	
13.4.2010	7:38	277-1	XOG-275	87	26,60	33,8	44,4	87,04	72,60	
13.4.2010	10:54	322-1	XOG-275	107	26,45	33,8	37,8	86,55	82,88	
13.4.2010	15:15	322-1	XOG-275	109	28,05	33,8	33,5	91,78	95,29	
15.4.2010	13:47	322-1	XOG-275	110	29,60	39,6	37,7	86,61	92,94	
			<b>Yhteensä</b>	<b>948</b>	<b>258,25</b>	<b>37,8</b>	<b>39,6</b>	<b>785,62</b>	<b>781,48</b>	
								↑	↑	
								Käytetty tehollinen lämpöarvo (MJ/kg):	*	19,62

\* maaliskuulle 19,13 MJ/kg ja huhtikuulle 19,04 MJ/kg

**Tutkimuspolttoaineiden lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuden analyysitodistukset. Ensimmäinen todistus on kokopuuhakkeesta ja jälkimmäinen rankahakkeesta.**



**Polttoaineen lämpöarvon määrittäminen**

Tilaaaja: LUT Mikkelin yksikkö / Kalle Karttunen  
Näytteet: Tilaaaja toimitti tutkittavan näytteen 16.04.2010.  
Tutkimuslaitteisto: Parr 1261 - pommikalorimetri

**Tulokset:**

*Kokopuuhake 13.4.2010*

Kosteus saapumistilassa	43,3	p%
Kalorimetrinen lämpöarvo kuiva-aineessa	20,92	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	19,62	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	10,07	MJ/kg
Tuhkapitoisuus	0,8	p%

Lappeenrannassa 22.4.2010

Markku Autio  
Lab.teknikko LUT Energia  
Markku.Autio@lut.fi  
puh: 040 7653466



**Polttoaineen lämpöarvon määrittäminen**

Tilaaaja: LUT Mikkelin yksikkö / Kalle Karttunen  
Näytteet: Tilaaaja toimitti tutkittavan näytteen 16.04.2010.  
Tutkimuslaitteisto: Parr 1261 - pommikalorimetri

**Tulokset:**

*Mäntyrankahake 14.4.2010 Heli Pukka  
leimikko*

Kosteus saapumistilassa	38,6	p%
Kalorimetrinen lämpöarvo kuiva-aineessa	20,79	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	19,48	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	11,02	MJ/kg
Tuhkapitoisuus	0,8	p%

Lappeenrannassa 22.4.2010

Markku Autio  
Lab.teknikko LUT Energia  
Markku.Autio@lut.fi  
puh: 040 7653466

## **8 Energiapienpuun terminaalihaketusketju**

*Jarno Föhr, Kalle Karttunen, Olli-Jussi Korpinen & Tapio Ranta*

### **8.1 Johdanto**

Tutkimuksessa tarkasteltiin energiapienpuun soveltuvuutta terminaalihaketusketjuun. Energiapienpuun soveltuvuutta terminaalihaketusketjuun ei ole aikaisemmin liiemmin tutkittu, sillä markkinoilla on ollut tarjolla halvempaa metsäbiomassaa päätehakkuilta. Taloudellisen taantuman ja turvepulan myötä metsäteollisuuden sivutuotteiden sekä metsähakkeen saatavuus häiriintyi merkittävästi vuonna 2009. Metsähakkeen käyttöpaikkahinnat nousivat ja mahdollistivat energiapienpuun hankinnan terminaalien kautta pienemmille lämpölaitoksille ja suuremmille voimalaitoksille.

Terminaalihaketusketjussa työvaiheiden määrä on suurempi, jos verrataan perinteiseen tienvarsihaketusketjuun. Toisaalta Laitila ym. (2008) mainitsivat, että haketuksen keskitäminen käyttöpaikalle tai terminaaliin mahdollistaa suuret vuosituotokset, korkeat koneiden käyttöasteet ja alemmat haketuskustannukset.

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä suur-terminaaliyritys Hyötypaperi Oy:n kanssa, jolla on asfaltoitua terminaalikenttää yli 20 hehtaaria Valkealassa. Hyötypaperi Oy hankkii energiapienpuun pääasiassa paikallisten metsänhoitoyhdistysten välityksellä terminaalille, jossa suoritetaan puun murskaus. Terminaalista murske ohjautuu rekkakuljetuksina polttolaitosasiakkaille. Demonstraatiotutkimus toteutettiin ”Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa” –hankkeessa, jonka kohdealueen muodostavat Kaakkois-Suomen maakunnat Etelä-Karjala ja Kymenlaakso. Hanke kuului Kaakkois-Suomen maaseudun kehittämisohjelmaan, joka on osa maa- ja metsätalousministeriön hallinnoimaa Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmaa 2007–2013. Kaakkois-Suomen TE-keskuksen lisäksi rahoittavia hankepartnereita olivat Metsäteho Oy, Hyötypaperi Oy ja Koneyrittäjien liitto.

Tutkimuksessa selvitettiin nuoren metsän harvennuksista saatavan energiapienpuun logistiikkaa osana terminaalihaketusketjua. Energiapienpuuna vertailtiin karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Tutkimuksessa keskityttiin seuraamaan terminaalissa tapahtuvia toimintoja. Tutkimuksessa mitattiin energiapienpuun murskauksen ja lastauksen tuottavuutta sekä tuotettujen murskeiden laatuominaisuuksia. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin hakekosteusmittarin käyttökelpoisuutta ja luotettavuutta kosteuden mittaukseen.

### **8.2 Tutkimuksen suoritus**

#### **8.2.1 Aineisto**

Energiapienpuun terminaalihaketusketjun tutkimus murskauksien ja haketoimituksien osalta suoritettiin Hyötypaperi Oy:n suur-terminaalilla 26.10.–29.11.2009 välisenä aikana. Sääolosuhteet vaihtelivat murskaus- ja toimitusajankohdan välillä, ilman lämpötila

vaihteli (-3) – (+3) °C:een välillä. Molemmat tutkimusaumat saivat yllleen yhden lumisaateen 10.11.2009. Taulukossa 1 on esitetty karsimattoman kokopuun ja karsitun rankapuun terminaalihaketusketjun tutkimuksen aineisto ja vaiheet.

**Taulukko 1.** Energiapienpuun terminaalihaketusketjun aineisto ja tutkimusvaiheet.

	<b>Karsimaton kokopuu</b>	<b>Karsittu rankapuu</b>
<b>Pääpuulajit</b>	Kuusi (n. 50 %), loput lehtipuuta	Mänty (yli 60 %), loput kuusta ja lehtipuuta
<b>Hakkuu</b>	Maaliskuun alku 2009, pieni osa huhti- ja kesäkuun välisenä aikana	Maaliskuun alku 2009
<b>Kuljetus terminaaliin</b>	8.7. - 21.7.2009	30.3. - 9.4.2009
<b>Puupinon ladontasuunta</b>	Itä-/länsisuuntainen	Pohjois-/eteläsuuntainen
<b>Murskaus</b>	26.10.2009	9.11.2009
<b>Kuljetus polttolaitokselle</b>	28. - 29.11.2009 (11 kpl)	10. - 11.11.2009 (3 kpl)

### 8.2.2 Työkoneet

Biomurskaus Oy suoritti tutkimuksen murskaus- ja aumaustyöt omalla konekalustollaan. Energiapienpuu tuotettiin metsähakkeeksi siirreltävällä Peterson 4700 B mobiilimurskaimella (kuva 1). Kyseinen mobiilimurskain oli vaakasyöttöinen, nopeasti pyörivä ja kiinteävasarainen puutavaramurskain. Murskaimen voimanlähteenä oli Caterpillar C16 -moottori.

Murskaimen syöttökoneena toimi tela-alustainen kaivinkone (Daewoo Doosan 155 LC-V), joka oli varustettu Logliftin X55 –puukouralla (kuva 1). Murskeiden aumaus suoritettiin Doosan Daewoo DL300 –pyöräkuormajalla, jossa oli 7 m<sup>3</sup>:n kippikauha (kuva 2). Pyöräkuormaja oli varustettu integroidulla vaakalaitteistolla, jossa oli sähköinen tiedon siirto.



**Kuvat 1 ja 2.** Vasemmalla siirreltävä mobiilimurskain ja kaivinkone syöttämässä karsimattonta kokopuuta. Oikealla pyöräkuormaja rankamurskeen aumausta varten.

Valmis murske toimitettiin hakerekoilla Vamy Oy:lle (Vattenfall Oy:n tytäryhtiö). Hakerekkojen tilavuus vaihteli välillä 132–140 kehys-m<sup>3</sup>. Polttoaineen toimitussopimusten

mukaisesti hakerekkojen kuljettajat lastasivat kuormansa Hyötypaperi Oy:n pyöräkuormaajilla (kuva 3). Pyöräkuormaajan (Volvo L90) kippikauhan tilavuus oli 8 m<sup>3</sup>.



**Kuva 3.** Hakerekan lastaus terminaalilla.

### 8.2.3 Menetelmät

#### Työn tuottavuus

Kummallekin energiapienpuulle määritettiin murskauksen tehotuottavuus ( $E_0$ ). Tutkimusajon valmistumiseen käytetty aika kelloitettiin minuutin tarkkuudella huomioiden keskeytykset ja tauot. Murskaimessa käytettiin seulakokoja, jotka määräytyivät polttolaitokselle toimitettavan jakeen palakoon mukaisesti. Aumassa olevan polttoaineen paino selvitettiin pyöräkuormaajan vaakalaitteiston avulla. Lisäksi mursketta toimittaneiden hakerekkojen hyötykuormien massat punnittiin sekä Hyötypaperi Oy:n että polttolaitoksen omilla autovaaioilla. Toimitetuista hakerekkakuormista saatiin Hyötypaperi Oy:n ja polttolaitoksen polttoaineraportit.

Lisäksi määritettiin pyöräkuormaajan lastauksen tehotuottavuus. Hakerekkojen lastauksen polttoainejakeena käytettiin tutkimuksen karsittua rankamurskettä. Hakerekkakuljettajien lastausaikojen kelloituksissa käytettiin apuna Hyötypaperi Oy:n omaa kameravalvontajärjestelmää. Kaikki keskeytykset ja tauot huomioitiin 10 sekunnin tarkkuudella. Hakerekat pääsivät auman viereen lastauksen ajaksi, jolloin pyöräkuormaajan lastausmatka oli keskimäärin 20 metriä.

#### Kosteuspitoisuuden mittaus

Hakerekan kuljettajat ottivat kaikista polttoainekuormistaan kosteusnäytteen kuormauksen yhteydessä pussiin, jonka kuljettajat toimittivat Hyötypaperi Oy:n omaan kosteusnäytelaboratorioon. Kosteusnäytteet analysoitiin uunikuivausmenetelmällä teknisen spesifikaation (CEN/TS 14774-2:fi) mukaisesti kyseisessä laboratoriossa. Samalla tavalla kuljettaja otti toisen vastaavan kosteusnäytteen polttoainekuormastaan niiden purkamisen yhteydessä polttolaitoksella. Polttolaitoksen laboratoriossa analysoitiin kyseiset kosteus-

näytteet. Polttolaitos teetti kaikista päivän toimituskuormista kokoomakosteusnäytteen, joka edusti kaikkia päivän toimituskuormia. Polttolaitoksen kokoomanäytteitä verrattiin Hyötypaperi Oy:n yksittäisnäytteisiin kosteuspitoisuuden suhteen.

Polttoaineiden kosteuspitoisuuksia mitattiin lisäksi reaaliaikaisella hakekosteusmittarilla. Laitteena käytettiin Farmcomp Oy:n kehittämää Bio Moisture –hakekosteusmittaria (kuva 4).



**Kuva 4.** Bio Moisture -hakekosteusmittari.

Reaaliaikainen kosteuden mittaus suoritettiin suoraan aumasta, jolloin mittarin pistokärki painettiin auman sisään lautasta myöten. Ennen mittausta poistettiin n. 20 cm kerros pinnassa olevaa murskettä mittauskohdan päältä. Mittauksia suoritettiin kokopuumurskeumasta 16 kpl ja rankamurskeumasta 13 kpl. Laitteen määrittämiä kosteuspitoisuuksia verrattiin spesifikaation mukaisen uunikuivausmenetelmän tuloksiin. Uunikuivaukseen otettiin neljä kosteusnäytettä molemmista tutkimusaumoista murskauksien aikana.

Lisäksi kosteusmittarin tulostarkkuutta selvitettiin erillisessä tarkastelussa, jossa mitattiin kummastakin tutkimusaumasta neljästä eri kohdasta laitemittauksia (4 kpl) ja jokaiselle tarkastelukohdalle määritettiin laitemittausten perusteella keskiarvokosteus. Laitemittauksen keskiarvokosteuksia verrattiin samoista kohdista otettujen näytteiden uunikuivausmenetelmällä mitattuihin keskiarvokosteuksiin.

### **Energiamäärä**

Polttoaineiden energiamäärät määritettiin tutkimuksen, Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n toimesta. Määrityksiä verrattiin keskenään. Tutkimuksen laskennallinen energiamäärä saatiin tutkimusaumoista otettujen näytteiden lämpöarvomäärityksistä. Tutkimuksen lämpöarvomääritykset suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston voimalaitostekniikan laboratoriossa. Hyötypaperi Oy:n ja polttolaitoksen energiamäärän laskenta perustui yritysten omiin lämpöarvomäärityksiin ja polttoaineraportteihin.

## Laatuluokitus

Tutkimuksessa selvitettiin kosteuspitoisuusmittausten ohella murskattavien polttoaineiden muut velvoittavat laatuluokitukset eli palakoko- ja tuhkaluokat. Lisäksi selvitettiin tärkeimmät opastavat laatuluokitukset, jotka olivat tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) ja energiatiheys (MWh/i-m<sup>3</sup>). Murskauksien aikana kerättiin kummastakin tutkimuspolttoaineesta kokoomanäytteet lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuksien laboratorioanalysointia varten. Laboratorioanalysoinnit suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston voimalaitostekniikan laboratoriossa.

Palakokoluokitusta varten kerättiin myös molemmista polttoainemurskeista kokoomanäytteet, jotka analysoitiin teknisen spesifikaation (CEN/TS 15149-1) mukaisesti. Polttoaineiden kosteusluokat määritettiin hakerekkakohtaisista keskiarvokosteuksista.

## 8.3 Tulokset

### 8.3.1 Työn tuottavuus

Taulukossa 2 on esitetty murskauksen tehotuottavuus tutkimuksen koko- ja rankapuulle.

**Taulukko 2.** Murskauksen tehotuottavuus koko- ja rankapuulle.

Polttoaine	Tilavuus (i-m <sup>3</sup> )	Paino (tn)	Energiamäärä (MWh)	Teho aika E <sub>o</sub> (h)	Keskiarvokosteus (%)	Tehotuottavuus		
						(MWh/h)	(i-m <sup>3</sup> /h)	(tn/h)
<b>Kokopuumurske</b>	1444	334,95	1085	6,75	35,0	161	214	50
<b>Rankamurske</b>	436	87,78	307	1,93	29,4	159	226	45

Taulukossa 2 kokopuumurskeelle painotietona oli käytetty Biomurskaus Oy:n määrittämää painoa ja rankamurskeelle Hyötypaperi Oy:n painotietoa. Rankamurskeen kohdalla huomioitiin, että kaikkien hakerekkatoimituksien jälkeen jäljelle jäi murskettua aumaan. Jäänyt rankamurske mitattiin painoltaan (6,20 tn) ja tilavuudeltaan (24 i-m<sup>3</sup>). Tilavuuden määrittämisessä oli käytetty Hyötypaperi Oy:n vaakaraaportin hakerekkakohtaisia tietoja. Molempien polttoaineiden keskiarvokosteudet määritettiin neljän kosteusnäytteen keskiarvona, jotka kerättiin murskauksien aikana.

Energiamäärän mukainen tehotuottavuus oli kokopuulle 161 MWh/h ja rankapuulle 159 MWh/h. Tilavuuden mukaiset tehotuottavuudet olivat kokopuulle 214 i-m<sup>3</sup>/h ja rankapuulle 226 i-m<sup>3</sup>/h. Painon mukaiset tehotuottavuudet olivat: kokopuulle 50 tn/h ja rankapuulle 45 tn/h.

Pyöräkuormaajien lastaustehokkuus määritettiin vain rankamurskeen osalta. Tutkimuksessa käytettyjen hakerekkojen lastaus kesti keskimäärin 15 min. Lastausaikaan vaikuttivat hakerekan tilavuus sekä kuljettajan lastauskokemus. Lastauksessa pyöräkuormaajan tilavuuden mukainen tehotuottavuus oli 533 i-m<sup>3</sup>/h ja painon mukainen 105 tn/h.



### 8.3.2 Kosteuspitoisuus

Liitteessä I on esitetty Hyötypaperi Oy:n ja polttolaitoksen määrittämät kosteuspitoisuudet kokopuu- ja rankamurskekuormista toimitusvaiheessa. Kokopuumurskekuormia oli 11 kpl ja rankamurskekuormia 3 kpl. Kosteuspitoisuuksissa löytyi mittauskohtaisia eroja. Rankamurskeelle Hyötypaperi Oy määrittä keskiarvokosteudeksi 29,4 % ja polttolaitos 29,8 %. Kokopuumurskeelle vastaavat keskiarvokosteudet olivat 44,4 % (Hyötypaperi Oy) ja 49,8 % (polttolaitos).

Rankamurskeen kosteuspitoisuus oli pysynyt samana sekä murskausvaiheessa että toimitusvaiheessa, mutta kokopuumurskeen kosteuspitoisuudessa oli eroavaisuutta (liite 1 ja taulukko 2). Kokopuumurskeen kosteuspitoisuus oli n. 10 %-yksikköä korkeampi ja paino kasvanut n. 17 % toimitusvaiheessa. Kosteuspitoisuuden kasvu tarkoitti kokopuumurskeen energiamäärän pienenemistä 41 MWh:lla (1085 -> 1044 MWh). Kokopuumurske oli varastoituna tutkimusaumassa yli kuukauden ennen toimituksien alkamista polttolaitokselle. Rankamurskeen toimitukset alkoivat heti seuraavana päivänä murskauksesta.

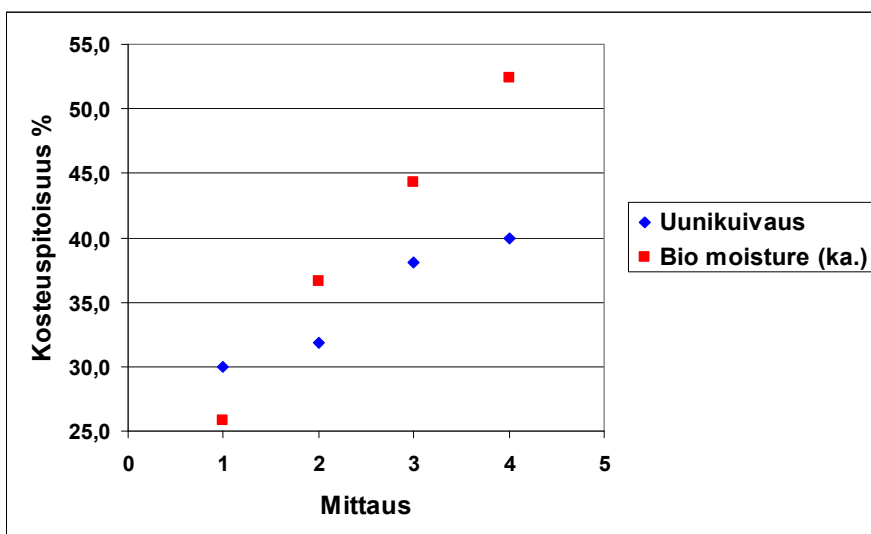
Tutkimuspolttoaineiden kosteuspitoisuuksia mitattiin uunikuivausmenetelmän lisäksi reaaliaikaisella hakekosteusmittarilla (Bio Moisture) suoraan aumasta murskausvaiheessa. Taulukossa 3 on esitetty mittauslaitteen ja uunikuivausmenetelmän keskiarvokosteudet kokopuu- ja rankamurskeesta.

**Taulukko 3.** Tutkimuspolttoaineiden keskiarvokosteudet uunikuivausmenetelmällä ja hakekosteusmittarilla.

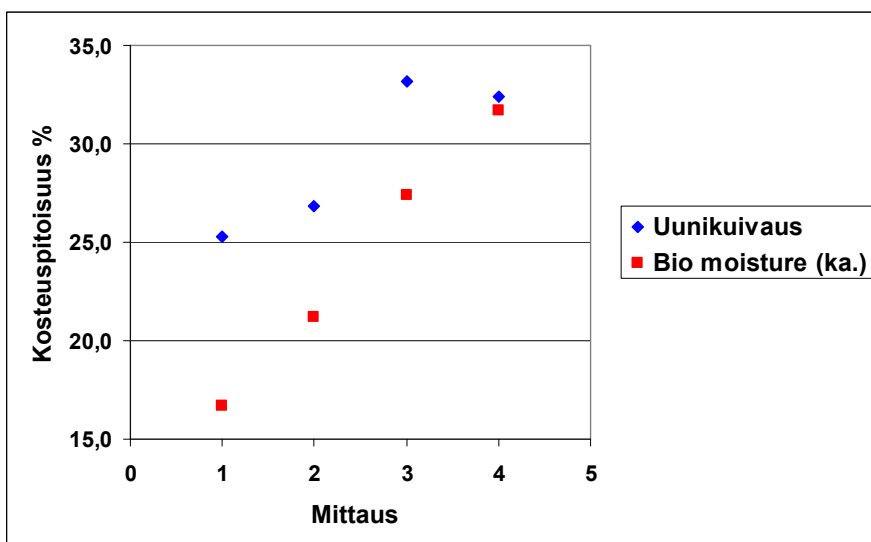
<b>Polttoaine</b>	<b>Uunikuivausmenetelmä (%)</b>	<b>Bio Moisture (%)</b>
Kokopuumurske	35,0	46,3
Rankamurske	29,4	24,9

Kokopuumurskeelle hakekosteusmittari antoi n. 11 %-yksikköä korkeamman keskiarvokosteuden kuin uunikuivausmenetelmä. Rankamurskeelle hakekosteusmittari antoi puolestaan n. 5 %-yksikköä alhaisemman keskiarvokosteuden.

Tutkimuksessa tarkasteltiin vielä hakekosteusmittarin tulostarkkuutta erillisessä tarkastelussa. Kummastakin tutkimusaumasta mitattiin samasta kohtaa kosteuspitoisuuksia uunikuivausmenetelmällä ja Bio Moisture -laitemittauksella. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty uunikuivausmenetelmän ja laitemittauksen kosteuspitoisuudet.



**Kuva 5.** Reaaliaikaisen kosteusmittauksen tulokset verrattuna uunikuivausmenetelmään kokopuumurskeen osalta.



**Kuva 6.** Reaaliaikaisen kosteusmittauksen tulokset verrattuna uunikuivausmenetelmään rankamurskeen osalta.

Kuvien 5 ja 6 perusteella voidaan todeta, että reaaliaikainen hakekosteusmittaus toimi kohtuullisen hyvin murskeiden kosteusalueella 30 – 35 %. Muuten hakekosteusmittarin tulostarkkuus oli epäluotettava.

### 8.3.3 Energiamäärä

Polttoaineiden toimitettu energiamäärä määritettiin kolmella tavalla (liite I). Rankamurskeelle tutkimuksen laskennallinen energiamäärä oli 285,2 MWh. Vastaavasti Hyötypaperi Oy:n määrittämä energiamäärä oli 286,0 MWh ja polttolaitoksen 283,6 MWh. Rankamurskeelle määritetyt energiamäärät olivat hyvin lähellä toisiaan, koska laskennassa käytetyissä paino-, kosteus- ja lämpöarvotiedoissa ei ollut suuria eroja.

Kokopuumurskeen kohdalla määritetyt energiamäärät poikkesivat toisistaan, sillä tutkimuksen määritetty energiamäärä oli 1044,4 MWh, Hyötypaperi Oy:n 1023,3 MWh ja polttolaitoksen 897,6 MWh. Energiamäärien poikkeamat johtuivat kosteus- ja lämpöarvoanalyysien eroavista tuloksista.

Hyötypaperi Oy käytti laskennassa kokopuumurskeelle tehollisena lämpöarvona kuiva-aineessa 18,9 MJ/kg. Tutkimuksen määrittämä lämpöarvotulos kokopuumurskeelle oli suurempi (19,25 MJ/kg).

Polttolaitos määritti kokopuumurskeelle 146,8 MWh alhaisemman energiamäärän verrattaessa tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään. Polttolaitoksen määrittämä pieni energiamäärä kokopuumurskeelle johtui sekä alhaisesta lämpöarvosta (18,87 MJ/kg) että korkeasta keskiarvokosteudesta. Polttolaitos oli määrittänyt kokopuumurskeelle 49,8 %:n keskiarvokosteuden kokoomanäytteistä, kun hakerekko-kohtaiseksi keskiarvokosteudeksi saatiin 44,4 %. Polttolaitoksen määrittämä energiamäärä on polttoaineen maksatuksen peruste polttoaineen toimittajalle.

### 8.3.4 Laatuluokitus

Tutkimuksessa selvitettiin molempien tutkimuspolttoaineiden velvoittavat laatuluokitukset, jotka olivat palakoko-, kosteus- ja tuhkaluokka. Lisäksi selvitettiin tärkeimmät opastavat laatuluokitukset eli tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) ja energiatiheys (MWh/i-m<sup>3</sup>).

Polttoaineista kerättiin kokoomanäytteet murskeiden palakokoluokkien määrittämiseen. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty murskeiden palakokoanalyysien tulokset.

**Taulukko 4.** Kokopuumurskeen palakokoanalyysin tulokset.

Palakoko (mm)	Paino (g)	Osuus (paino-%)	Kumulatiivinen osuus (paino-%)
alle 3,15	59	4,2	4,2
3,15 - 45	629	45,1	49,3
45 - 63	233	16,7	66,0
63 - 100	270	19,3	85,3
100 - 200	181	13,0	98,3
yli 200	24	1,7	100,0
<b>Yhteensä</b>	<b>1396</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Taulukko 5.** Rankamurskeen palakokoanalyysin tulokset.

Palakoko (mm)	Paino (g)	Osuus (paino-%)	Kumulatiivinen osuus (paino-%)
alle 3,15	31	1,7	1,7
3,15 - 45	867	47,4	49,1
45 - 63	345	18,9	68,0
63 - 100	399	21,8	89,8
100 - 200	165	9,0	98,9
yli 200	21	1,1	100,0
<b>Yhteensä</b>	<b>1828</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Palakokoanalyysien perusteella molemmat polttoaineet kuuluivat palakokoluokkaan P100. Tässä luokassa pääfraktion pitää olla yli 80 painoprosenttisesti palakokoalueella (3,15 – 100) mm ja vain maksimissaan yksi paino-% saa ylittää 200 mm palakoon. Kokopuumurskeen analyysissä pääfraktio kuului mitatulle palakokoalueelle 81,1 painoprosenttisesti, mutta 1,7 paino-% ylitti 200 mm palapituuden. Vastaavasti rankamurskeen analyysissä pääfraktio kuului mitatulle palakokoalueelle 88,1 painoprosenttisesti, mutta 1,1 painoprosenttia ylitti 200 mm palapituuden. Noin olemattomat prosentiosuuksien ylitykset sallittiin, sillä kummassakin analyysissä ylityksen aiheutti vain yksi puupala.

Kokopuu- ja rankamurskeen kosteusluokat määritettiin yksittäiskuormien keskiarvokosteuksista. Kokopuumurskeen toimituksien keskiarvokosteus oli 44,4 %, joten se kuului kosteusluokkaan M55, jossa yksittäinen toimitettu polttoainekuorma ei saanut ylittää 55 %:n kosteuspitoisuutta. Rankamurskeen toimituksien keskiarvokosteus oli 29,4 %, joten se kuului kosteusluokkaan M30.

Liitteessä II on esitetty tutkimuspolttoaineiden lämpöarvo- ja tuhkapitoisuudet. Kokopuumurskeen tuhkapitoisuus oli 2,3 paino-% ja rankamurskeen 0,5 paino-%. Tällöin kokopuumurske kuului tuhkaluokkaan A3.0 ja rankamurske luokkaan A0.7. Kokopuumurskeen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 11,8 MJ/kg ja rankamurskeen 12,8 MJ/kg. Kokopuumurskeen energiatiheudeksi määritettiin 0,72 MWh/i-m<sup>3</sup> ja rankamurskeelle 0,69 MWh/i-m<sup>3</sup> (liite I).

Seuraavassa on koostettu tutkimuksessa olleiden polttoaineiden velvoittavat ja opastavat laatuluokitukset:

#### Kokopuumurske

- Kauppanimike	Puumurske (tuotettu murskaimella)
- Alkuperä	1.1.1 Kokopuu
- Palakoko	P100
- Kosteuspitoisuus	M55
- Tuhkapitoisuus	A3.0
- Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	11,8 MJ/kg
- Energiatiheys	0,72 MWh/i-m <sup>3</sup>

## Rankamurske

- Kauppanimike	Puumurske (tuotettu murskaimella)
- Alkuperä	1.1.2 Runkopuu/ranka
- Palakoko	P100
- Kosteuspitoisuus	M30
- Tuhkapitoisuus	A0.7
- Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	12,8 MJ/kg
- Energiatiheys	0,69 MWh/i-m <sup>3</sup>

## 8.4 Johtopäätökset

Tutkimuksessa selvitettiin terminaalihaketusmallia osana energiapienpuun toimitusketjua. Energiapienpuuna vertailtiin karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Tutkimuksessa tarkasteltiin energiapienpuun terminaalimurskauksen ja hakerekkujen lastauksen tuottavuutta sekä tuotetun polttoaineen laatuominaisuuksia. Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin reaaliaikaisen hakekosteusmittarin kosteustuloksia standardin mukaisen uuni-kuivausmenetelmän tuloksiin.

Terminaalimurskauksen tehotuottavuudessa oli pientä eroa koko- ja rankapuun välillä. Murskauksessa tilavuuden ja energiamäärän mukaiset tehotuottavuudet olivat lähes yhtäläiset kokopuulle (214 i-m<sup>3</sup>/h, 161 MWh/h) ja rankapuulle (226 i-m<sup>3</sup>/h, 159 MWh/h). Suurin ero oli painon mukaisessa tehotuottavuudessa, joka oli n. 10 % alhaisempi rankapuulle (45 tn/h) kuin kokopuulle (50 tn/h). Yhtenä tekijänä oli rankapuun (29,4 %) alhaisempi kosteus verrattuna kokopuuhun (35,0 %). Murskausyrittäjälle maksu suoritetaan yleensä murskauksesta syntyneen polttoaineen painon perusteella, joten terminaaliryttäjän olisi edullisinta murskauttaa kuivia polttoainemateriaaleja alhaisemman painon vuoksi. Rankamurske ei tiivistynyt niin hyvin kuin kokopuumurske, sillä se ei sisältänyt hienoaainesta kuten lehtiä ja neulasia.

Pyöräkuormaajalla suoritettu hakerekan lastauksen tehotuottavuus oli tilavuuden mukaan 533 i-m<sup>3</sup>/h ja painon mukaan 105 tn/h. Lastauksen tehotuottavuus määritettiin ainoastaan tutkimuksen rankamurskeelle. Rankamurskeelle tuottavuus oli 2,4 kertaa nopeampi pyöräkuormaajan lastauksen osalta kuin murskaus.

Tutkimuspolttoaineiden kosteuspitoisuuksia mitattiin reaaliaikaisella hakekosteusmittarilla (Bio Moisture). Tutkimuksen perusteella hakekosteusmittari ei ollut luotettava murskeen kosteuspitoisuuden mittaamiseen. Hakekosteusmittari soveltui kohtuullisesti murskeille vain 30–35 % kosteuspitoisuusalueella. Muilla kosteuspitoisuusalueilla hakekosteusmittari oli epäluotettava.

Rankamurskeen energiamäärän laskennassa Hyötypaperi Oy:n ja polttolaitoksen määrittämät energiamäärät olivat yhtäläiset verrattaessa tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään. Sen sijaan kokopuumurskeen energiamäärien laskennassa oli huomattavia eroja. Tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään verrattuna Hyötypaperi Oy määrittäi 21,1 MWh alhaisemman energiamäärän kokopuumurskeelle. Hyötypaperi Oy:n energiamää-

rän poikkeama johtui alhaisemmasta lämpöarvosta. Polttolaitoksen määrittäminen oli vastavasti 146,8 MWh alhaisempi verrattuna tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään. Polttolaitoksen energiamäärän poikkeama johtui sekä alhaisesta lämpöarvosta että korkeammasta kosteuspitoisuudesta.

Molemmista murskeista suoritettiin myös laatuluokitusarvioinnit. Kummatkin murskeet kuuluivat palakokoluokkaan P100, joten ne eivät aivan soveltuisi polttoon pienemmille polttolaitoksille, jotka vaativat palakokoluokan P63. Kosteuspitoisuuden puolesta rankapuu soveltuisi paremmin pienemmille polttolaitoksille, joissa vaaditaan alle 40 % kosteuspitoisuuksia. Rankamurskeen etuna oli pienempi tuhkapitoisuus (0,5 p-%) verrattuna kokopuumurskeeseen (2,3 p-%). Toimitusvaiheessa kokopuumurskeella (0,72 MWh/i-m<sup>3</sup>) oli suurempi energiatiheys kuin rankamurskeella (0,69 MWh/i-m<sup>3</sup>). Ero johtui rankamurskeen huonommasta tiiviyydestä sekä alhaisemmasta irtokuutiopainosta. Tutkimuksen perusteella rankamursketta voitaisiin kuljettaa terminaalista polttolaitoksille paljon suuremmilla hakerekoilla, sillä esim. täysi 140 i-m<sup>3</sup> hakerekka jäi noin 7 tn sallitusta 60 tn yhdistelmän painorajasta. Tiivistämismenetelmien kehittämisellä tai jalostusasteen nostamisella voitaisiin pyrkiä lisäämään kuljetuksen energiatiheyttä.

## Lähteet

CEN/TS 14774-2:fi. 2005. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittämismenetelmät. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 11 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

CEN/TS 15149-1. 2006. Solid biofuels. Methods for the determination of particle size distribution. Oscillating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and above. 16 s.

Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. 1. Energiapuutarat. S. 6-12 julkaisussa: Kuusinen, M., Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti](http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti)

**Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n polttoaineraporttien koostetut tiedot tutkimusaumojen polttoainekuormista. Vertailutietona myös eri tahojen polttoaineista käyttämät teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa.**

### Rankamurske

Pvm	Klo	Rekisterinro	Tilavuus (i-m <sup>3</sup> )	Hyötypaperi		Hyötypaperi		Hyötypaperi		Tutkimus
				Paino (tn)	Paino (tn)	Kosteus (%)	Kosteus (%)	MWh	MWh	
10.11.2009	10:17	GHK-490	140	27,98	28,10	30,09	29,80	96,98	97,30	96,70
10.11.2009	12:35	GHK-490	140	27,82	28,00	29,69	29,80	97,09	97,00	96,81
11.11.2009	9:12	CZS-30	132	25,78	25,80	28,39	29,80	91,95	89,30	91,69
		<b>Yhteensä</b>	<b>412</b>	<b>81,58</b>	<b>81,90</b>	<b>29,42*</b>	<b>29,80*</b>	<b>286,02</b>	<b>283,60</b>	<b>285,20</b>

Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg):      ↑      ↑      ↑  
18,90      18,79      18,85

**Biomurskaus Oy:n määrittämä auman kokonaispaino: 75,00 tn**

### Kokopuumurske

Pvm	Klo	Rekisterinro	Tilavuus (i-m <sup>3</sup> )	Hyötypaperi		Hyötypaperi		Hyötypaperi		Tutkimus
				Paino (tn)	Paino (tn)	Kosteus (%)	Kosteus (%)	MWh	MWh	
28.11.2009	6:18	RGN-112	130	33,28		45,75	49,50	84,46		86,21
28.11.2009	6:52	CZS-30	132	33,88		50,37	49,50	76,70		78,33
28.11.2009	7:54	RGN-112	130	33,26		40,81	49,50	94,15		96,05
28.11.2009	8:29	CZS-30	132	36,90		47,90	49,50	88,94		90,80
28.11.2009	10:10	RGN-112	130	31,98		34,67	49,50	102,16		104,19
28.11.2009	10:52	CZS-30	132	33,38		41,85	49,50	92,43		94,31
28.11.2009	12:48	CZS-30	132	37,02		45,17	49,50	95,22		97,19
28.11.2009	14:44	CZS-30	132	39,46	39,50	47,21	49,50	96,73	91,20	98,74
29.11.2009	7:06	CZS-30	132	37,68		41,10	50,40	106,01		108,16
29.11.2009	8:04	GHK-490	130	34,46		50,19	50,40	78,38		80,04
29.11.2009	9:29	CZS-30	132	39,72	39,70	42,63	50,40	108,15	89,60	110,35
		<b>Yhteensä</b>	<b>1444</b>	<b>391,02</b>	<b>391,10</b>	<b>44,41*</b>	<b>49,76*</b>	<b>1023,33</b>	<b>897,60</b>	<b>1044,37</b>

Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg):      ↑      ↑      ↑  
18,90      18,87      19,25

**Biomurskaus Oy:n määrittämä auman kokonaispaino: 334,95 tn**

\* Hyötypaperi Oy:n kuormapainojen mukaan painotettu keskiarvo

**Tutkimuspolttoaineiden lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuden analyysitodistukset. Ensimmäinen todistus on kokopuumurskeesta ja jälkimmäinen rankamurskeesta. Murskeet oli nimetty todistuksiin Hyötypaperi Oy:n tuotenimikkeiden mukaisesti.**



**Polttoaineen lämpöarvon määrittäminen**

Tilaaaja: LUT Energia/Mikkeli, Projekti U3102Y  
Näytteet: Tilaaaja toimitti tutkittavat näytteet 28.10.2009.  
Tutkimuslaitteisto: Parr 1261 - pommikalorimetri

**Tulokset:**

*Karsimaton rankahake 1783, auma 9*

Kosteus saapumistilassa	34,4	p%
Kalorimetrinen lämpöarvo kuiva-aineessa	20,6	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	19,3	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	11,8	MJ/kg
Tuhkapitoisuus	2,3	p%

Lappeenrannassa 8.11.2009

A handwritten signature in blue ink, reading 'Kaisa Pellinen', is positioned above the printed name.

Kaisa Pellinen  
Tutkimusinsinööri LTY/ENTE  
[kaisa.pellinen@lut.fi](mailto:kaisa.pellinen@lut.fi)  
puh: 040 4839 320





LAPPEENRANNAN  
TEKNILLINEN YLIOPISTO

**Polttoaineen lämpöarvon määrittäminen**

Tilaaaja: LUT Energia/Mikkeli, Projekti U3102Y  
Näytteet: Tilaaaja toimitti tutkittavat näytteet 10.11.2009.  
Tutkimuslaitteisto: Parr 1261 - pommikalorimetri

**Tulokset:**

*Kokopuurankahake 1782, auma 9*

Kosteus saapumistilassa	28,6	p%
Kalorimetrinen lämpöarvo kuiva-aineessa	20,2	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	18,9	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	12,8	MJ/kg
Tuhkapitoisuus	0,5	p%

Lappeenrannassa 24.11.2009

Kaisa Pellinen  
Tutkimusinsinööri LTY/ENTE  
[kaisa.pellinen@lut.fi](mailto:kaisa.pellinen@lut.fi)  
puh: 040 4839 320

## 9 Energiapienpuun hankintalogistiikka

*Kalle Karttunen, Jarno Föhr & Tapio Ranta*

### 9.1 Johdanto

Pienpuun hankinta on mahdollista toteuttaa usealla tavalla riippuen siitä, onko tarkoitus tuottaa ainespuuta vai energiapuuta, erikseen vai integroituna. Energiapuuhaketta voidaan tuottaa karsimattomasta kokopuusta tai karsitusta rangasta. Logistiikan ja liiketoiminnan vertailemiseksi olisi otettava huomioon kaikki mahdolliset toteutustavat ja tarkasteltava niiden kokonaiskustannusten muodostumista metsästä käyttöpaikalle, jotta voitaisiin sanoa kokonaisuuden kannalta edullisin vaihtoehto. Edullisin vaihtoehto ei kuitenkaan ole aina käytäntöön soveltuvin. Myös muut asiakkaan lisäarvot, kuten toimitusvarmuus, ja toimitusketjun ansaintalogiikka pitäisi pystyä arvioimaan eri hankintaketjujen osalta luottaessa kokonaisuuden kannalta toimivaa liiketoimintakonseptia energiapienpuun korjuun ja käytön maksimoimiseksi.

Metsäpolttoaine hankitaan useimmiten usealta polttoaineen toimittajalta suurvoimalaitokselle. Lisäksi voimalaitoksella voi olla omaa metsäpolttoaineen hankintaa tai terminaalien ylläpitoa. Polttoaineen toimittajat arvioivat ja optimoivat itsenäisesti, miten heidän organisaation ja verkoston avulla on kustannustehokkainta toimittaa haketta tilaajalle toimitussopimusten täyttämiseksi. Tämän tähden käytännön kokonaistoteutuksen liiketoimintakonsepti on useiden toimintamallien ja järjestelmien yhdistelmä.

Energiapienpuun käyttö Etelä-Savossa oli vuonna 2009 yhteensä 171 000 m<sup>3</sup>, josta valtaosa (95 %) oli karsimatonta kokopuuta (163 000 m<sup>3</sup>) ja loput rankapuuta (8000 m<sup>3</sup>). Järeää rankapuuta (kuitupuu) käytettiin 18 000 m<sup>3</sup>. Metsähakkeen kokonaiskäyttö oli 381 000 m<sup>3</sup>. Merkille pantavaa on erityisesti energiapienpuun (kokopuu, rankapuu ja kuitupuu) osuus metsähakkeesta (50 %), joka ohitti ensimmäistä kertaa päätehakkuiden hakkuutähteen käytön (168 000 m<sup>3</sup>). Kantojen osuus oli 11 000 m<sup>3</sup>. (Ylitalo 2010)

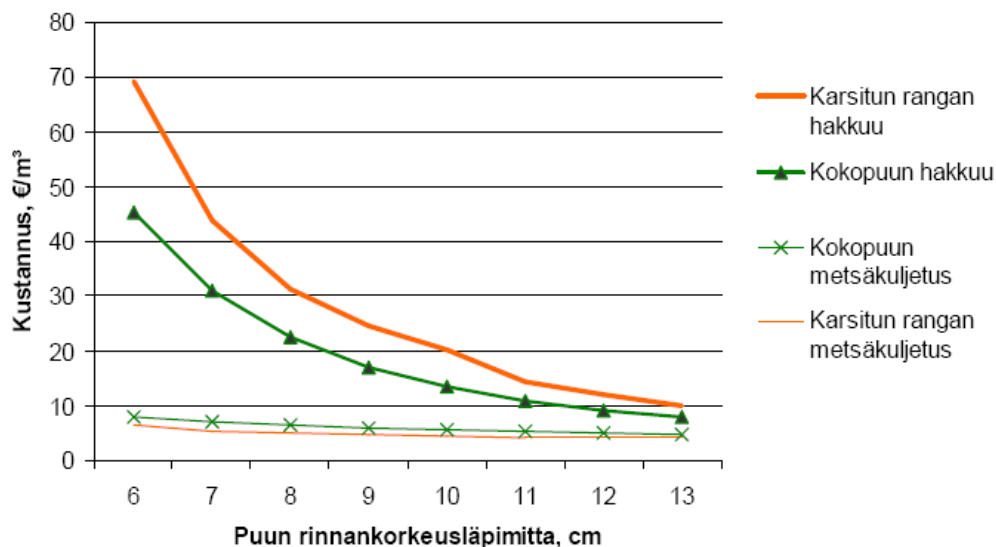
Aines- ja energiapuun integroitu korjuu on kehittynyt viime vuosina vauhdilla. Energia- ja ainespuunpuun integroituun korjuuseen on kehitetty kokopuun paalauksen korjuuteknologiaa. Tutkimusten mukaan kilpailukyky vaihtoehtoisiin menetelmiin vaatisi tuottavuuden parantamista entisestään (Kärhä ym. 2009). Kokopuupaalausta ei otettu tämän tutkimuksen vertailuun mukaan, sillä siihen liittyen on meneillään VTT:n ja Keski-Suomen Metsäkeskuksen ”Metsäenergian uudet mahdollisuudet ja niiden kehittäminen 2008–2010” –hanke.

Rangan ja kokopuun korjuun tuottavuutta ja kustannuksia on tutkittu energiapuun hakkuun erilliskorjuussa ja aines- ja energiapuun integroidussa korjuussa joukkokäsittelyä hyödyntävillä hakkuulaitteilla. Energiapuun hakkuun erilliskorjuu rankana on tuottavuudeltaan 10–40 % matalampi, mutta metsäkuljetuksen osalta 10–20 % korkeampi kuin kokopuulla. Energiapuun hakkuun erilliskorjuu rankana nostaa korjuukustannuksia 17–25 % ja pienentää kertymää kokopuuna korjuuseen verrattuna 42–46 %. Toisaalta rangan etuja ovat raaka-aineen korkea laatu ja soveltuvuus pienkattiloissa poltettavan

hakkeen ja pilkkeen valmistukseen. Rankana korjuu voidaan toteuttaa karummilta kivennäismailta, sillä oksia ja latvuksia jää estämään mahdollista ravinnetappiota. Rankapuun karsinta soveltuu runkokooltaan paremmille kohteille, joissa puiden läpimitta on 9–13 cm ja rungon koko 30–70 dm<sup>3</sup>. (Heikkilä 2005)

Rangan ja kokopuun korjuun vertailukelpoisiin kustannuksiin vaikuttaa suuresti korjattavien puiden rinnankorkeusläpimitta. Rangan korjuu on selvästi kalliimpaa pienillä puilla, mutta järeillä puilla ero kaventuu verrattuna kokopuuhun. Puiden läpimitan ollessa 5 cm, rangan korjuu on 34 % kokopuun korjuuta kalliimpaa, mutta 12 cm:n puilla ero on vain 11% (Heikkilä ym. 2005). Voidaankin todeta, että rankapuun korjuu soveltuu paremmin suurempien puiden korjuuseen joko aines- ja/tai energiapuiksi.

Laitila ym. (2010) ovat tutkineet ja vertailleet energiapienpuun (kokopuu ja ranka) hankinnan kustannusrakennetta Keski-Suomen alueella. Hakkuun kustannukset vaihtelivat erittäin paljon puun rinnankorkeuden keskiläpimitan (6-13 cm) mukaan, kokopuulla 7,8–45,3 €/m<sup>3</sup> ja rangalla 9,8–69,3 €/m<sup>3</sup>, ollen rangalla keskimäärin 26 % korkeammat kuin kokopuulla (kuva 1). Vastaavasti metsäkuljetuksen kustannukset vaihtelivat vähemmän, ollen kokopuulla 4,6–7,9 €/m<sup>3</sup> ja rangalla 4–6,3 €/m<sup>3</sup>. Tutkimuksen muut kustannukset olivat vertailussa asetettu samoiksi kummallekin energiapuujakeelle; organisaatiokustannus (3,1 €/m<sup>3</sup>), haketus (4,5 €/m<sup>3</sup>) ja kuljetus, 50 km (5,4 €/m<sup>3</sup>). (Laitila ym. 2010)



**Kuva 1.** Kokopuun ja rangan hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannukset puun rinnankorkeusläpimitan suhteen (Laitila 2010 viit. Heikkilä ym. 2005)

Aines- ja energiapuun hakkuuseen on kehitetty joukkokäsittelykouria. Joukkokäsittelykourat ovat osoittautuneet lupaaviksi, mutta hakkuun työntuottavuudessa on vielä parannettavaa, rankapuun hakkuun ollessa kalliimpaa kuin kokopuun hakkuu. Toisaalta rankapuuhake on osoittautunut kilpailukykyiseksi verrattuna kokopuuhakkeeseen, kun tarkastellaan kokonaisketjua metsästä voimalaitokselle. Tämä johtuu rankapuun alemmista kus-

tannuksista ketjun muissa osissa verrattuna kokopuuhun. Alempia kustannuksia saavutetaan rankapuulla metsäkuljetuksessa, kaukokuljetuksessa ja haketuksessa. (Kärhä ym. 2010)

Haketuksen ja murskauksen kustannuksia on tutkittu verrattain vähän. Rinteen (2010) mukaan keskimääräiset kustannukset pienpuun tienvarsihaketuksen osalta olivat noin 3,4 €/MWh ja terminaalilla tai voimalaitoksella noin 2 €/MWh. Energiapuun hankinnan kokonaiskustannuksista tämä edustaa noin 10–30 % osuutta puutavaralajista ja käytetystä työmenetelmästä riippuen.

Aikaisempien tutkimustulosten perusteella on selvää, että energiapienpuun hankinnassa ja erityisesti harvennuksissa pitää tähdätä kertymän ja puiden keskikoon kasvattamiseen korjuukustannuksien alentamiseksi. Tämä korostuu rankapuun hakkuun osalta. Korjuukustannuksia olisi mahdollista alentaa suunnitelmallisella energiapuuharvennukseen tähtäävällä metsänkasvatuksella (Karttunen 2010). Toisaalta tämä kasvattaa myös ainespuun osuutta kertymästä ja lisää paineita kantohinnan nostamiseen. Voidaankin todeta, että kannattavien energiapuuharvennuksien toteuttaminen vaatii erityistä ammattitaitoa niin ostajalta kuin myyjältä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tulevaisuuden energiapuuharvennuskohteita, joissa leimikko-olosuhteet koneelliselle korjuulle oletetaan nykyisiä kohteita paremmiksi.

## 9.1 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa hyödynnettiin aikaisemmin toteutettua ja julkistettua excel-pohjaista laskuria (Föhr 2009). Laskuria on päivitetty vastaamaan tutkimuksen tarpeita vertailemaan paremmin haketusketjujen välistä kustannustehokkuutta karsimattoman kokopuun ja karsitun rankapuun välillä. Lähtötietoina käytettiin demonstraatioista toteutettuja tuottavuusvertailuja ja aineistoja, toimijoilta kerättyjä kustannusarvioita sekä aikaisempiin tutkimuksiin perustuvia lähtötietoja.

Energiapienpuun toimitusketjujen laskuriin voi syöttää toimitusketjun osavaiheiden kustannuksia ja käytettäviä kalustoja. Laskuri tekee yhteenvedon tienvarsi- ja terminaalihaketusketjujen kokonaiskustannuksille ja -tuotoille energiapienpuun kosteuden vaihtelun huomioon ottaen. Asian havainnollistamiseksi kokonaiskannattavuutta tarkastellaan laskurissa voimalaitokselle toimitetun rekkakuljetuksen tulo- ja kustannusosuuden kannalta. (Föhr 2009)

Tutkimuksessa käytettiin kokopuun kantohintana 5 €/m<sup>3</sup> ja rankapuun kantohintana 8 €/m<sup>3</sup> (Leskinen 2010). Keskimääräiset hankintahinnat tienvarteen ovat olleet kokopuulle 18 €/m<sup>3</sup> ja rangalle 23 €/m<sup>3</sup> (Leskinen 2010). Karsitun rankapuun ja karsimattoman kokopuun vertailuissa hakkuun osalta käytettiin aikaisempaa vertailutietoa 12cm:n rinnan korkeuden keskiläpimitan omaavalle pienpuuharvennuskohteelle, jolloin rankapuun hakkuun kustannukset ovat 11 % suuremmat kokopuuhun verrattuna (Heikkilä 2005). Kokopuuhakkuun hinnaksi asetettiin 10,0 €/m<sup>3</sup> ja rankapuun hakkuulle 11,1 €/m<sup>3</sup>. Samaan tutkimukseen viitaten metsäkuljetuksen osalta karsitun rangan korjuukustannukset olivat

keskimäärin 13 % pienemmät rangalla kuin kokopuulla. Metsäkuljetuksen hinnaksi asetettiin kokopuulle 5,0 €/m<sup>3</sup> ja rangalle 4,4 €/m<sup>3</sup>. Tällöin tienvarsihinnoiksi tutkimuksessa muodostui kokopuulle 20 €/m<sup>3</sup> ja rangalle 23,5 €/m<sup>3</sup>.

Rekkakuljetusten osalta tehtiin arvioita kuutiokohtaisen määrän mukaan. Tukkirekkaan arvioitiin mahtuvan rankaa 45 kiinto-m<sup>3</sup> ja laidoin varusteltuun rekkaan (145 kehys-m<sup>3</sup>) kokopuuta 37 kiinto-m<sup>3</sup>. Kuutiomäärät muutettiin painoiksi käyttäen rangalle männyn kuivatuoretiheyttä 385 kg/m<sup>3</sup> ja kokopuulle harvennusenergiapuun kuivatuoretiheyksien keskiarvoa 403 kg/m<sup>3</sup> (Lindblad ym. 2008). Tuoretiheydeksi nämä muutettiin kaavalla kosteuspitoisuuden suhteen. Maksimi hyötykuorma rajattiin rangan ja kokopuun osalta 40 tonnia/kuorma ja hakkeen osalta 35 tonnia/kuorma, hakerekan suuremmasta tyhjäpainosta johtuen. Ranka- ja kokopuuhakkeen kuljetusvertailuissa oletettiin käytettävän hakerekkaa, jonka tilavuus oli 120 kehys-m<sup>3</sup>. Ranka- ja kokopuumurskeen osalta oletettiin käytettävän hakerekkaa, jonka tilavuus oli 140 kehys-m<sup>3</sup>. Rekkakuljetukset oletettiin ajettavan aina täysillä kuormilla edellä mainitut rajoitteet huomioon ottaen.

Demonstraatioissa todettuja lähtötietoja käytettiin hyödyksi kokopuun ja rangan vertailuissa (Föhr ym. 2010a, Föhr ym. 2010b). Tienvarsihaketuksen kokopuuhakkeen tiiviyyttä pidettiin vertailuarvona ja lähtöhintatasona hakkeen kaukokuljetuksena käytettiin 6,4 €/m<sup>3</sup> (50 km). Demonstraatioiden lähtötiedoista saatiin myös energiapienpuun haketusta koskevia eroja, joiden mukaan rankapuun haketus oli 14 % tuottavampaa kokopuuhun verrattuna. Kokopuun tienvarsihaketuksen hintatasoksi määritettiin 6 €/m<sup>3</sup> ja rankapuun 5,2 €/m<sup>3</sup> (Rinne 2010). Terminaalimurskauksen demonstraatio puolestaan osoitti rankapuun murskauksen olevan 6 % tuottavampaa kuin kokopuun. Kokopuun terminaalimurskauksen hintatasoksi määritettiin 4 €/m<sup>3</sup> ja rankapuun 3,7 €/m<sup>3</sup> ja vastaavasti käyttöpaikkamurskauksen kustannuksiksi asetettiin kokopuulle 3,5 €/m<sup>3</sup> ja rankapuulle 3,2 €/m<sup>3</sup> (Rinne 2010). (Föhr ym. 2010a, Föhr ym. 2010b)

Kuljetusetäisyytenä kaikissa vaihtoehdoissa käytettiin 50 km. Hakettamattoman energiapienpuun kuljetusetäisyytenä terminaaliin käytettiin 30 km ja terminaalilta voimalaitokselle 20 km. Käyttöpaikka- ja terminaalikustannukseksi asetettiin 0,5 €/m<sup>3</sup>. Organisaatiokustannukseksi asetettiin 4 €/m<sup>3</sup>. Tukkirekan kuljetuksen kustannuksina käytettiin rangan osalta kuitupuun vuoden 2008 keskiarvotietoja (Metsäteho 2009). (Taulukko 1)

**Taulukko 1.** Tutkimuksessa käytettyjä lähtötietoja

	Tienvarsiaketju €/m <sup>3</sup> Kokopuu/Ranka	Terminaaliketju €/m <sup>3</sup> Kokopuu/Ranka	Käyttöpaikkaketju €/m <sup>3</sup> Kokopuu/Ranka
Kantohinta	5/8	5/8	5/8
Hakkuu	10,0/11,1	10,0/11,1	10,0/11,1
Metsäkuljetus	5,0/4,4	5,0/4,4	5,0/4,4
Alkukuljetus (30/50km)	-	5,7/4 (30km)	7,2/4,5 (50km)
Haketuskustannus	6,0/5,2	4,0/3,7	3,5/3,2
Kaukokuljetus (50/20km)	6,4/6,2 (50km)	5,1/5,3 (20km)	-
Terminaalikustannus	-	0,5	0,5
Organisaatiokustannus	4,0	4,0	4,0
<b>Yhteensä</b>	<b>36,4/38,9</b>	<b>39,3/41,0</b>	<b>35,2/35,7</b>

Pelkästään kuutioperusteisella tarkastelulla edullisin vaihtoehto olisi kokopuun käyttöpaikkahaketusetju (35,2 €/m<sup>3</sup>) ja kallein vaihtoehto puolestaan rankapuun terminaalihaketusetju (41,0 €/m<sup>3</sup>). Kemera-tukia ei otettu huomioon lainkaan. Kemera-tukien osuus on noin 11–14 €/m<sup>3</sup> energiapienpuun tuotannosta ja korjuusta riippuen kohteen pinta-alasta ja korjuumäärästä, mutta tukimenetelmiä ollaan parhaillaan uudistamassa.

Tutkimuksen tavoitteena oli nimenomaan selvittää kosteuden vaihtelun vaikutuksia toimitusketjujen valintaan. Kosteuden vaihteluvälinä tarkasteltiin 30–60 % kosteusaluetta ja tulokset ilmoitettiin käyttäen keskiarvokosteutena 45 %. Puun lämpöarvona käytettiin kaikissa tapauksissa 20,1 MJ/kg. Kuutiokohtaiset rekkatoimitukset muutettiin energiasältöiseksi kosteuden ja kuormapainon suhteen. Lopulliset ketjujen yksikkökustannukset (€/MWh) saatiin jakamalla toimitusmäärän kokonaiskustannukset sen energiasisällöllä.

Vaihtoehtoisia liiketoimintakonsepteja kuvaamaan luotiin tapaustarkasteluja haketusetjärjestelmien osuuksien suhteen (taulukko 2). Energiapienpuun käyttäjiä on ollut aikaisemmin lähinnä pienemmät lämpölaitokset. Taantuman aikana havahduttiin suurvoimaloissakin energiapienpuun toimitusvarmuuden tärkeyteen, kun päätehakkuiden hakkuutähtien ja sahojen sivutuotteiden saatavuus romahti. Energiapienpuun käyttö on kasvamassa ja energiapienpuuhaketta toimitetaan kaikkien mahdollisten toimitusketjujen kautta suurimittakaavaiseen käyttöön. Toisaalta terminaalijä käyttöpaikkahaketusetuksen osuus on ollut vielä pieni tienvarsihaketusetmääriin verrattuna.

**Taulukko 2.** Vaihtoehtoisten liiketoimintakonseptien tapaustarkastelut haketusetketjujen osuuksien suhteen

	1. Tapaus	2. Tapaus	3. Tapaus
Tienvarsihaketusetketju	100 %	80 %	60 %
Terminaalihaketusetketju	-	10 %	20 %
Käyttöpaikkahaketusetketju	-	10 %	20 %

Käyttöpaikkahaketusetketju on hieman harhaanjohtava tapaus, sillä esimerkiksi Etelä-Savossa ei ole käytössä käyttöpaikkamurskaimia. Suurkäyttöpaikoilla on käytössään varastokentät, joihin energiapienpuuta voidaan ajaa ja varastoida, mutta käytännön haketuset

tapahtuu edelleen mobiilihakkureilla. Myös erillisissä terminaaleissa hienonnus on toteutettu mobiilihakkureilla eikä -murskilla. Edellä mainittujen tekijöiden suhteen kustannustarkastelu on hypoteettinen. Hintatason arvioinnissa on käytetty aikaisempia julkaisuja ja käytännön toimijoiden arvioita, joten niihin liittyy epävarmuutta ja vaihtelua käytännön toiminnassa. Vaihtelevuutta on erityisesti kokopuun ja rangan hakkuun kustannuksissa, jotka riippuvat suuresti leimikkotekijöistä ja käytettävästä kalustosta. Oleellista tutkimuksen kannalta oli kuitenkin kuvata kokopuun ja rankapuun välisiä kustannuseroja ketjujen eri vaiheissa tavoitellen luotettavampaa vertailukelpoista tulosta.

## 9.3 Tulokset

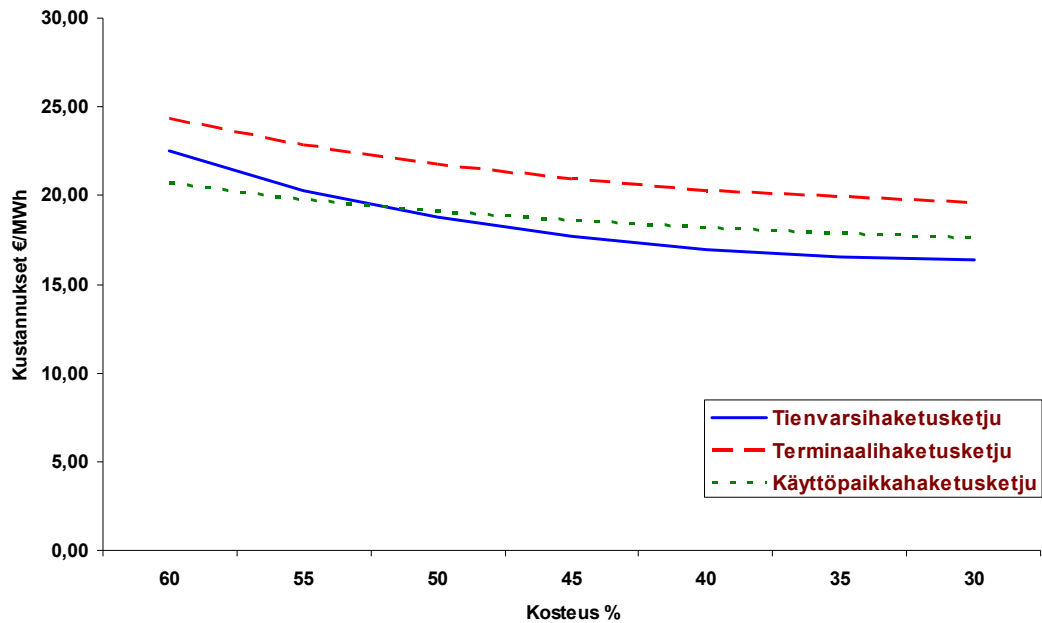
### 9.3.1 Kokopuu

Tienvarsihaketusketju oli edullisin toteutustapa kokopuun hankinnassa (17,7 €/MWh). Käyttöpaikkahaketusketju oli kilpailukykyinen vaihtoehto verrattuna tienvarsihaketusketjuun (+5 %). Terminaalihaketusketju oli selkeästi kallein hankintatapa kokopuulla (+18 %). (taulukko 3)

**Taulukko 3.** Kokopuun hankintaketjun suhteelliset kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten haketusketjujen suhteen (tienvarsihaketusketju, 100 = 17,7 €/MWh)

	<b>Kosteus (%)</b>	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>
Tienvarsihaketusketju		128	115	106	<b>100</b>	96	94	93
Terminaalihaketusketju		138	129	123	118	115	113	111
Käyttöpaikkahaketusketju		117	112	108	105	103	101	100

Tienvarsihaketusketjun kilpailukyky parantuu huomattavasti puun kosteuspitoisuuden laskiessa 60 %:sta 45 %:iin (28 % kustannushyöty), mutta tasaantuu, kun kosteutta saadaan alennettua 45 %:sta 30 %:iin (7 % kustannushyöty). Kosteuden alentaminen vaikeutuu käytännössäkin, mitä kuivempaa polttoainetta tavoitellaan, mutta toisaalta sen suhteellinen hyötykin kustannuksissa vähenee. Käyttöpaikkahaketusketjun kilpailukyky ei ole niin herkkä kosteuden suhteen verrattuna tienvarsihaketusketjuun. (kuva 2)



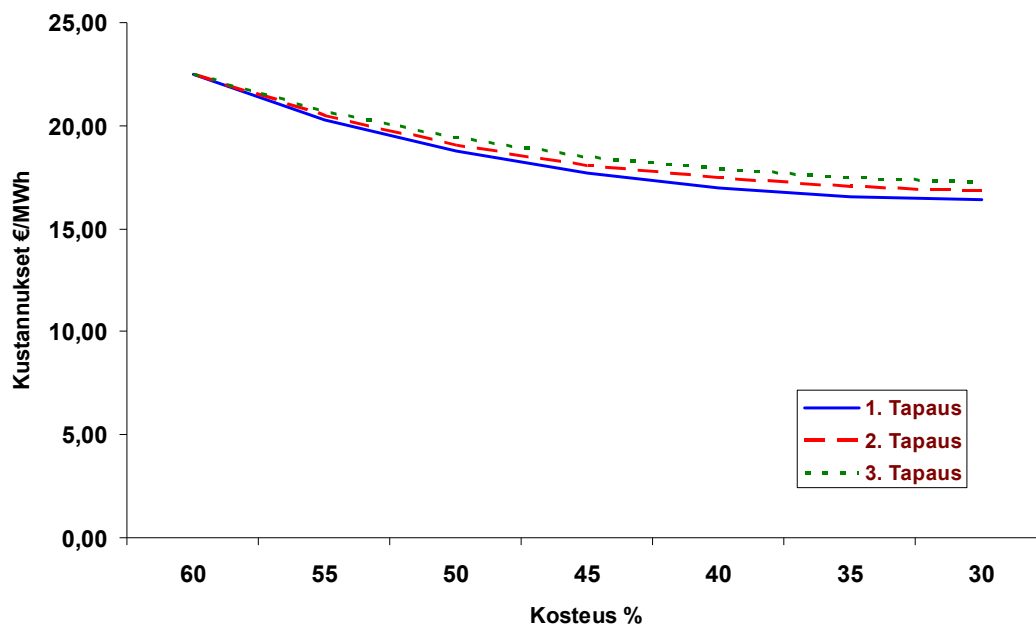
**Kuva 2.** Kokopuun hankintaketjun kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten haketusketjujen suhteen

Vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen välillä ei ollut suuria kustannusvaihteluita. Käyttöpaikka- ja terminaalihaketusketjujen (2.Tapaus ja 3.Tapaus) osuuden nostaminen nosti kustannuksia (2–5 %) vain hieman verrattuna tienvarsihaketusketjuun (1.Tapaus). Keski-kosteuden alentumisella saavutettaisiin suurempia kustannussäästöjä. (Taulukko 4 ja kuva 3)

**Taulukko 4.** Kokopuun hankintaketjun suhteelliset kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen suhteen (1.Tapaus = tienvarsihaketusketju, 100 = 17,7 €/MWh)

Kosteus (%)	60	55	50	45	40	35	30
1. Tapaus = Tienvarsihaketusketju	128	115	106	<b>100</b>	96	94	93
2. Tapaus	128	116	108	102	99	96	95
3. Tapaus	128	117	110	105	101	99	98





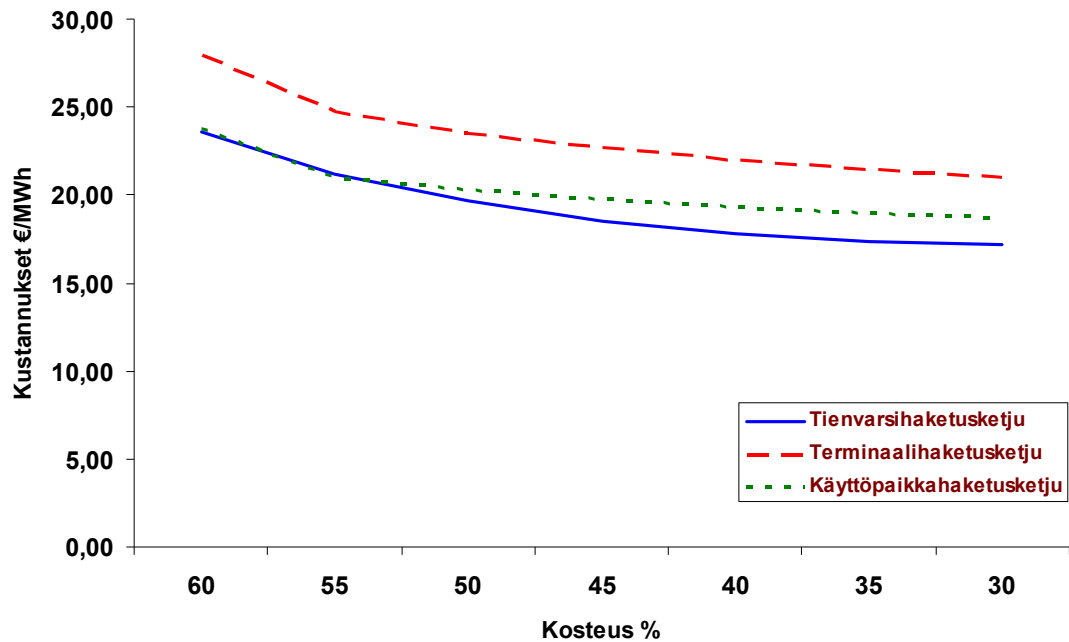
**Kuva 3.** Kokopuun hankintaketjun kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen suhteen

### 9.3.2 Rankapuu

Tienvarsihaketusetju oli edullisin toteutustapa rankapuun hankinnassa (18,5 €/MWh). Käyttöpaikkahaketusetju oli kilpailukykyinen (+7 %) verrattuna tienvarsihaketusetjuun. Terminaalihaketusetjun kustannukset olivat huomattavasti korkeammat (+22 %). Karsitun rangan hankinnassa käyttöpaikkahaketusetjun suhteellinen kilpailukyky paranee kosteuden noustessa verrattuna tienvarsihaketusetjuun. (taulukko 5 ja kuva 4)

**Taulukko 5.** Rankapuun hankintaketjun suhteelliset kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten haketusetjujen suhteen (tienvarsihaketusetju, 100 = 18,5 €/MWh)

Kosteus (%)	60	55	50	45	40	35	30
Tienvarsihaketusetju	128	115	106	100	96	94	93
Terminaalihaketusetju	151	134	127	122	119	116	114
Käyttöpaikkahaketusetju	128	113	110	107	105	103	101



**Kuva 4.** Rankapuun hankintaketjun kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten haketusetjujen suhteen

Rankapuun hankinnan vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen välillä ei ollut merkittävää kustannusvaihtelua. Vaihtoehtoisten hankintaketjujen osuuden lisääminen nosti keskimääräisiä hankintakustannuksia, mutta kosteuden alenemisella oli suurempi vaikutus kustannuksiin (taulukko 6).

**Taulukko 6.** Rankapuun hankintaketjun suhteelliset kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen suhteen (tienvarsihaketusetju, 100 = 18,5 €/MWh)

	Kosteus (%)	60	55	50	45	40	35	30
1. Tapaus = Tienvarsihaketusetju		128	115	106	100	96	94	93
2. Tapaus		130	116	109	103	99	97	96
3. Tapaus		132	118	111	106	102	100	99

### 9.3.3 Kokopuu vs. rankapuu

Kokopuun ja rankapuun väliset suhteellisen kannattavuuden vertailut osoittavat kokopuun tienvarsihaketusetjun olevan edullisin hankintatapa. Rankapuun tienvarsihaketusetju oli kilpailukykyinen (+5 %) verrattuna kokopuun tienvarsihaketusetjuun. Vaihtoehtoisten toteutustapojen kustannukset ovat keskimäärin 5–28 % kalliimpia verrattuna edullisimpaan kokopuun tienvarsihaketusetjuun. Kosteuden alentamisella on vaikutusta edullisimman toteutustavan valintaan. (taulukko 7)

**Taulukko 7.** Kokopuun vs. rankapuun hankintaketjun suhteelliset kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten haketusketjujen suhteen (kokopuun tienvarsihaketusketju 100 = 17,7 €/MWh)

<b>Kokopuu</b>	<b>Kosteus (%)</b>	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>
Tienvarsihaketusketju		128	115	106	<b>100</b>	96	94	93
Terminaalihaketusketju		138	129	123	118	115	113	111
Käyttöpaikkahaketusketju		117	112	108	105	103	101	100

<b>Rankapuu</b>	<b>Kosteus (%)</b>	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>
Tienvarsihaketusketju		134	120	111	105	101	98	97
Terminaalihaketusketju		158	140	133	128	124	121	119
Käyttöpaikkahaketusketju		134	119	115	112	110	108	106

Energiapienpuun hankinnan vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen välillä oli kustannusvaihtelua. Rankapuun kustannukset olivat keskimäärin 5–11 % kalliimpia verrattuna kokopuun tienvarsihaketusketjuun. Toisaalta, mikäli oletetaan vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen liiketoimintakonsepteilla saavutettavan kosteuden alenemaa, voidaan päästä kilpailukykyisiin ja jopa alhaisempiin hankinnan kokonaiskustannuksiin. (taulukko 8)

**Taulukko 8.** Kokopuun vs. rankapuun hankintaketjun suhteelliset kustannukset kosteuden ja vaihtoehtoisten tapaustarkastelujen mukaan (tienvarsihaketusketju, 100 = 17,7 €/MWh)

<b>Kokopuu</b>	<b>Kosteus (%)</b>	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>
1. Tapaus = Tienvarsihaketusketju		128	115	106	<b>100</b>	96	94	93
2. Tapaus		128	116	108	102	99	96	95
3. Tapaus		128	117	110	105	101	99	98

<b>Rankapuu</b>	<b>Kosteus (%)</b>	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>30</b>
1. Tapaus = Tienvarsihaketusketju		134	120	111	105	101	98	97
2. Tapaus		136	122	114	108	104	101	100
3. Tapaus		139	124	116	111	107	105	103

## 9.4 Johtopäätökset

Energiapuun energiasisältöä voidaan kasvattaa pyrkimällä edistämään sen kuivumista. Energiapuun kuivumisen edistämisen lisäksi tärkeää on oikeiden logististen valintojen tekeminen. Energiapienpuulla on osittain mahdollisuus ohjautua tienvarsihaketusketjun lisäksi vaihtoehtoisesti terminaal- ja käyttöpaikkahaketusketjujen kautta suurimittakaavaiseen voimalaitoskäyttöön. Energiapienpuun logistiikka ja liiketoiminta voi perustua karsimattomaan kokopuuhun tai karsittuun rankaan.

Kokopuun tienvarsihaketusketju osoittautui edullisimmaksi hankintamalliksi (17,7 €/MWh). Kokopuun käyttöpaikkahaketusketjun kustannukset olivat kilpailukykyisiä (18,6 €/MWh). Kokopuun kalleimmaksi hankintamalliksi osoittautui terminaalihaketusketju (20,9 €/MWh). Rankapuuhun perustuvat hankintamallit olivat 5-8 prosenttia kalliimpia kuin kokopuun vastaavat, johtuen pääasiassa korkeammasta kantohinnasta. Ran-

kapuun hankinnassa tienvarsihaketus perustuva hankintamalli oli edullisin (18,5 €/MWh) ja käyttöpaikkahaketus oli myös kilpailukykyinen (19,8 €/MWh). Terminaalihaketusketju osoittautui kalleimmaksi hankintamalliksi rankapuulle (22,7 €/MWh). Terminaalihaketusketjujen korkeita kustannuksia selittää toisaalta useampi työvaihe, mutta myös erityisesti heikompi alkukuljetuksen tiiviys kokopuulle ja murskeiden osalta heikompi tiiviys kaukokuljetuksessa. Näihin pitäisi tutkimus- ja kehitystyössä löytää ratkaisuja.

Tutkimuksessa ei otettu huomioon Kemera-tukia (n. 4–7 €/MWh), jotka huomioituna mahdollistaisivat edellä mainittujen toimintamallien hankinnan nykyiseen käyttöpaikkahintaan (18 €/MWh). Kemera-tukia ollaan korvaamassa erillisellä pienpuun energiatuen järjestelmällä. Tutkimuksen korjuukustannukset edustivat parempia tulevaisuuden energiapuuharvennuskohdeita, eikä nykyisiä nuoren metsän kunnostuksia. Voidaankin todeta, että energiapienpuun hankinta vaatii tukimekanismeja nykyisin ja jatkossa, ellei käyttöpaikkahinta nouse, eikä polttoaineen toimituksen tuottavuudessa ja tehokkuudessa tapahdu merkittäviä muutoksia. Energiapienpuun kantohinnan voi olettaa nousevan kysynnän kasvaessa. Etenkin rankapuun kantohinnan pitää olla kilpailukykyinen kuitupuun kantohintaa ja hankintakustannuksia vastaan.

Vaikka tienvarsihaketusketju on edullisin ja suurin metsähakkeen toimitustapa nykyisin, kaikilta tienvarsivarastoilta ei pystytä toimittamaan suoria hakerekkakuljetuksia voimalaitoksille. Täysperävaunullisia rekkakuormia ei ole mahdollista toimittaa kaikista varastopaikoista, sillä varastot saattavat olla hankalassa paikassa tai metsätie olla kantavuudeltaan heikko. Rekkakuormat saattavat jäädä osittain vajaiksi, sillä märällä hakkeella tulevat painorajat vastaan ja toisaalta kuivalle hakkeelle taas ei saada rekan painorajoitteista lastikapasiteettia täysimääräisesti hyödynnettyä. Pienistä varastoeristä viimeinen kuorma saattaa jäädä vajaaksi, jolloin joudutaan ajamaan nuppikuormalla tai ajamaan uudelle varastopaikalle. Myös puun kuivaamiselle on rajatummalla mahdollisuudet tienvarsivarastoilla.

Metsäpolttoaine hankitaan useimmiten usealta polttoaineen toimittajalta suurvoimalaitokselle. Lisäksi voimalaitoksella voi olla omaa metsäpolttoaineen hankintaa tai terminaalien ylläpitoa. Polttoaineen toimittajat arvioivat ja optimoivat itsenäisesti, miten heidän organisaation ja verkoston avulla on kustannustehokkainta toimittaa haketta tilaajalle toimitussopimusten täyttämiseksi. Tämän tähden käytännön kokonaistoteutuksen liiketoimintakonsepti on useiden toimintamallien ja järjestelmien yhdistelmä.

Kokonaistoteutuksen liiketoimintakonsepteja arvioitaessa vertailtiin tienvarsihaketusketjuja tapauksiin, joissa vähennettiin tienvarsihaketusketjun suhteellista osuutta ja nostettiin vaihtoehtoisten terminaalijäsen- ja käyttöpaikkahaketusketjujen osuutta. Tulosten mukaan vaihtoehtoisten haketusketjujen osuuden nostaminen lisäsi kustannuksia kokopuun osalta keskimäärin 2–5 % ja rankapuun osalta 3–6 %. Rankapuun hankinnan kustannukset olivat kalliimmat verrattaessa kokopuun vastaaviin liiketoimintakonsepteihin (+5–6 %). Mikäli vaihtoehtoisten haketusketjujen osuuden kasvattamisella oletetaan saavutettavan alhaisempi keskikosteus, voidaan päästä kilpailukykyisiin ja jopa alhaisempiin hankinnan kokonaiskustannuksiin.

Alueellisesti suurimittakaavaista tienvarsi-, terminaali- ja käyttöpaikkahaketusketjujen yhdistävällä energiapienpuun liiketoimintakonseptilla voidaan parhaimmillaan alentaa hankinnan kokonaiskustannuksia ja parantaa toimitusvarmuutta. Kaikkia hankintaketjuja olisi tarkoituksenmukaista ylläpitää ja kehittää.

#### **Lähteet:**

Föhr, J. 2009. ”Energiapienpuun toimitusketjujen kannattavuus” -laskuri. Saatavilla: <http://www.lut.fi/fi/mikkeli/bioenergy/projects/alive/energywoodfromsouth-savo/Sivut/Project%20results.aspx>

Föhr, J., Karttunen, K. & Ranta, T. 2010a. Energiapienpuun tienvarsihaketusketju. Julkaisussa: Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Tutkimusraportti 7. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Föhr, J., Karttunen, K. & Ranta, T. 2010b. Energiapienpuun terminaalihaketusketju. Julkaisussa: Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Tutkimusraportti 7. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10.

Karttunen, K. 2010. Energiapuuharvennuksen kannattavuus. Julkaisussa: Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Tutkimusraportti 7. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., Nuutinen, Y. & Keskinen, S. 2009. Kokopuun paalaus – tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 211.

Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna? Metsätehon tuloskalvosarja 2/2010.

Laitila, J. 2010. Puun korjuu nuorista kasvatusmetsistä. Metsäenergiafoorumi 14.4.2010 Joensuu. Powerpoint-esitys.

Laitila, J., Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3): 465-480.

Leskinen, T. 2010. Energiapuukatsaus. Metsäsektori muutosten kourissa – metsäilta. 8.11.2010. Metsänomistajien liitto Järvi-Suomi. Saatavilla: [http://www.mhy.fi/jarvisuomi/tietoharppaus/fi\\_FI/08112010\\_metsailta/](http://www.mhy.fi/jarvisuomi/tietoharppaus/fi_FI/08112010_metsailta/)

Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen A. 2008. Energiapuun mittaustapa. 7.8.2008. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. Saatavilla:  
<http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun-mittausopas-2008.pdf>

Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto, Energiatekniikan osasto.

Ylitalo, E. 2010. Metsätilastotiedote, Puun energiakäyttö 2009. 16/2010.

Metsäteho. 2009. Metsätehon katsaus 39. Puunkorjuu ja puutavaran kaukokuljetus vuonna 2008.

## 10 Terminaaliverkostomalli

*Sinikka Mynttinen, Kalle Karttunen & Jari Handelberg*

### 10.1 Johdanto

#### 10.1.1 Tausta

Tutkimuksessa käsiteltiin energiapuun suurimittakaavaisen terminaaliverkostomallin mukaisen liiketoiminnan mahdollisuuksia Etelä-Savossa. Suurterminaalirytyksen toimintamallilla tarkoitetaan energiapuun hankinnan yritystoiminnan perustana olevaa suurikoista terminaalia. Tärkeimpiä tekijöitä terminaalimallien ja verkostojen kehittämisessä on aikaansaada lisäarvoa asiakkaiden polttoaineen hankintaan toimitusvarmuuden parantumisena sekä lisätä toimitusketjussa toimivien yritysten tehokkuutta, kilpailukykyä ja arvoa. Kilpailukyvyn haasteena on biomassan hankinta terminaalien lähialueelta. Kuljetetäisyydet saattavat kasvavaa ja irtotavaran kuljettamisen tiiviys on heikompaa. Tällöin tärkeään rooliin saattaa nousta hankinnan joustavuus tienvarsi- ja terminaalihaketusketjun välillä. Myös muiden kuin metsäpolttoainejakeiden käsittely toisi säännöllisyyttä terminaalille.

Verkostomaisella terminaalimallilla (ts. terminaaliverkostomalli) tarkoitetaan laajennettua suurterminaalirytyksen toimintamallin käsitettä. Laajennus voi tarkoittaa joko/sekä laveampaa omistus pohjaa, operatiivista ohjausta tai/että terminaaliverkostoa. Etelä-Savoon Ristiinan suunniteltua logistiikkakeskusta voitaisiin pitää monella tapaa esimerkiksi terminaaliverkostomallin mukaisesta liiketoiminnasta. Terminaaliin kaavaillaan metsäpolttoaineiden jalostuksen lisäksi raakapuun käsittelyterminaalia, josta ohjattaisiin raaka-ainetta sitä käyttäviin tehtaisiin eri kaukokuljetusmuodoin (maantie, vesi- ja rautatie).

Verkostomaisen terminaalimallin kuvaus sisältyi ”Energiapuuta Etelä-Savosta” -hankkeelle toteutettuun selvitykseen ”Terminaaliverkostomalli” (Karttunen ym. 2009). Terminaaliverkostomallin mukaista liiketoimintaa varten voitaisiin perustaa oma terminaaliyrytyks. Ristiinan logistiikkakeskuksen alustavassa *omistus pohjassa* voisi olla Ristiinan kunnan lisäksi UPM-Kymmene Oyj. (UPM) sekä paikalliset energiayhtiöt Etelä-Savon Energia Oy (ESE) ja Suur-Savon Sähkö Oy (SSS).

Uutta toimintamallissa olisi kansainvälisen metsäteollisuusyrytyksen ja kunnallisen energiäteollisuuden osittainen liittoutuminen saman yhtiön taakse. Yrytyksen laveampi omistus pohja saattaisi mahdollistaa biomassan hankinnassa paremman saatavuuden terminaalille. UPM:n kytkös on luontevaa, sillä UPM omistaa Ristiinan syväsataman maa-alueen ja heillä on kasvavaa metsähakkeen käyttöä terminaalilta ohjautuvalle raaka-aineelle Lappeenrannassa (Kaukaan Voima Oy) ja Kuusankoskelle (Kymin Voima Oy). Lisäksi terminaali tukisi UPM:n Pelloksen vaneritehtaan puunhankintaa ja tuotteiden jatkokuljetuksia. Pelkkä omistus pohja ei kuitenkaan takaisi terminaalien biomassan saatavuuden laajentumista, mutta antaisi selvän pysyvän motiivin sille.

ESE ja SSS suunnittelevat yritysfuusiota. Avointa on, toimisiko hankintaorganisaatio osittain itsenäisesti vai tavalliseen tapaan alihankinta- ja toimitussopimuksin. Paikallisten energiayhtiöiden omistajuus olisi joka tapauksessa luontevaa Ristiinan terminaaliverkostomallissa, sillä näin mahdollistettaisiin terminaalitoiminnan liiketoiminnallinen aloitus ja saataisiin suuriasiakas pohjaa toimituksille. Ristiinan kunta omistajana antaisi toiminnalle vakautta ja kehitysmahdollisuuksia laajentaa liiketoimintaa alueen ”yrityspuistossa”.

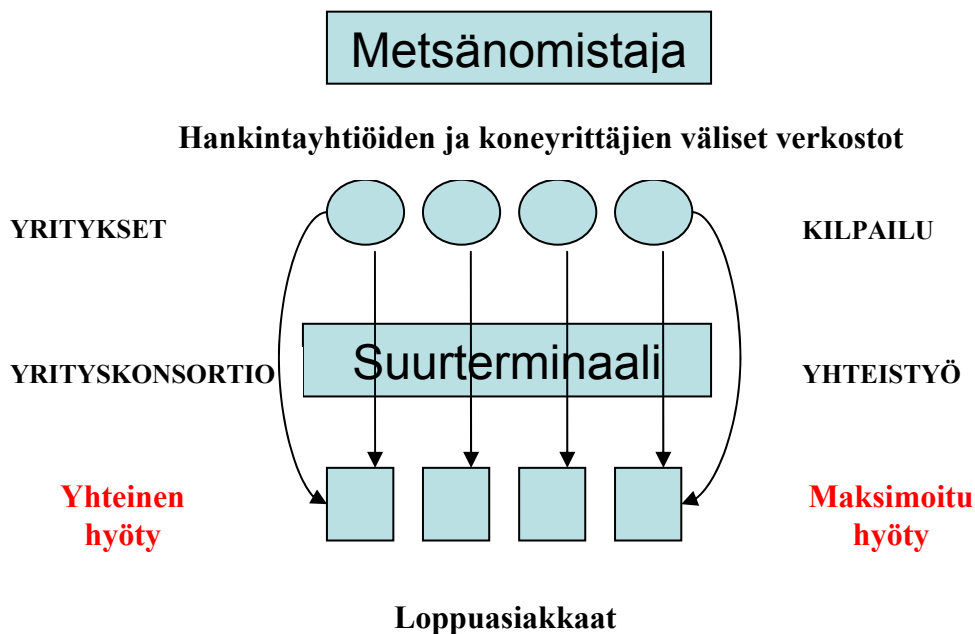
Terminaaliverkostomallin laajempi *operatiivinen ohjaus* tarkoittaisi yhteistyön laajentamista energiapuun hankinnassa sekä metsäteollisuusyhtiöiden että polttoaineen toimittajien, että koneyritysten kanssa. Operatiivinen ohjaus keskitettäisiin terminaalirytykselle, joka toteuttaisi laaja-alaisesti hankintaa omalla organisaatiollaan sekä alihankinta-, sopimus- ja avainyritysten kautta. Terminaaliverkostomallin mukaista hankintaorganisaatiota on hankala rakentaa kilpailluilla markkinoilla tyhjästä, joten yritysostolla tai olemassa olevan hankintayksikön liittämällä olisi mahdollista käynnistää toimintaa.

*Laajemmalla terminaaliverkostolla* tarkoitetaan kahden tai useamman terminaaliryksikön muodostamaa verkostoa. Ristiinan terminaalien tapauksessa suunnitelmissa olisi hankinnan laajentaminen Venäjälle. Kaukaisempien alueiden hankinnan solmukohtiin voisi muodostua satelliittiterminaleja, joista ohjattaisiin raaka-ainetta pääterminaalille Ristiinaan. Kaukokuljetusmahdollisuudet (maan-, rauta- ja vesitie) ovat oleellinen osa satelliittiterminaalien ja pääterminaalien välistä yhteyttä.

Terminaaliverkoston käsitettä voidaan laajentaa myös koskemaan muita terminaaliryksiköitä. Etenkin voimalaitosomisteiset terminaalit voitaisiin liittää osaksi varastohallinnan kokonaishallintaa operatiivisilla toiminnanohjausjärjestelmillä. Myös polttoaineen toimittajien omilta terminaleilta voitaisiin vaatia sopimus pohjaisesti tietoja varastotilanteesta, mikäli pääosa terminaalilta tulevasta materiaalista kohdistuu sopimusasiakkaalle.

Kuvassa 1 on kuvattu terminaaliverkostomallin mukaista toimintaa, joka voisi mahdollistaa hankintayhteistyötä energiapuun toimituksissa suurterminaalien kautta loppuasiakkaille. Verkostomalli tarjoaisi hankintaorganisaatioille, koneyrityksille ja niiden verkostoille mahdollisuuden optimoida toimintonsa sekä kilpailun että yhteistyön kautta.





**Kuva 1.** Terminaaliverkostomallin kuvaus (Karttunen ym. 2009)

### 10.1.2 Yritykset ja verkostot

Verkostot voidaan määrittellä vähintään kahden organisaation väliseksi vaihdantajärjestelmäksi (Håkansson & Johanson, 1992). Håkanssonin (1987) mukaan syy verkostoitua ja hakeutua yhteistyöhön on etsiä yritysten kokonaisvaltaisiin prosesseihin erilaista osaamista ja uusia teknologioita. Siten verkostoituminen ja yhteistyö on tapa saada käyttöön yrityksen ulkopuolisia resursseja. Kautosen (1993) mukaan verkostot perustuvat organisaatioiden ja toimijoiden strategisille päätöksille sekä niiden ympäristöön, kulttuuriin ja identiteettiin liittyvään historiaan. Larson (1992) esittääkin, ettei ole mahdollista eristää taloudellista toimintaa siitä sosiaalisesta ympäristöstä, missä se tapahtuu.

Monet verkostoliiketoiminnan teoreettiset lähestymistavat (industrial district, cluster, network) ovat perinteisesti korostaneet tarvetta ymmärtää sellaisia rakenteellisia seikkoja kuten verkoston koko, tiheys, tavoitettavuus tai toimijoiden asema verkostossa. Myös O'Donnell, Gilmore, Gummins ja Carson (2001) sekä Hoang ja Antoncic (2003) pitävät verkoston rakenteellista ulottuvuutta välttämättömänä, mutta riittämättömänä verkoston pitkäjänteisen toiminnan kannalta. On nimittäin huomattu, että yhteistyösuhteet eivät sisällä ainoastaan taloudellisia tai teknisiä, vaan myös sosiaalisia seikkoja kuten luottamus, luotettavuus, normit, säännöt, ymmärrys jne. (Håkansson 1987). Eryityisesti epävarmassa toimintaympäristössä sosiaalinen pääoma on tärkeässä asemassa.

Nahapiet ja Ghoshal (1998) määrittelevät sosiaalisen pääoman tekijäksi, joka on yritysten todellisten ja potentiaalisten resurssien summa. Se sisältyy verkostoon ja on käytettävissä sen kautta. Siten sosiaalinen pääoma voidaan ymmärtää moniulotteiseksi käsitteeksi, joka tekee mahdolliseksi resurssien ja tiedon laajemman hankkimisen. Nahapiet'n ja

Ghoshal'n mukaan sosiaalinen pääoma käsittää kolme ulottuvuutta: 1) rakenteellinen ulottuvuus, 2) suhdeulottuvuus ja 3) tiedollinen ulottuvuus. Verkostositeet ja verkoston kokoonpano muodostavat rakenteellisen ulottuvuuden. Suhdeulottuvuus viittaa etuihin, jotka ovat saavutettavissa luottamuksen, luotettavuuden, normien, velvoitteiden ja samastumisen kautta. Tiedollinen ulottuvuus tarkoittaa voimavaroja, jotka palvelevat toimijoiden yhteistä ymmärrystä ja tulkintaa liittyen esimerkiksi kieleen ja yhteisiin kertomuksiin. Ne edesauttavat yhteisten tavoitteiden ja sääntöjen hyväksymistä. (Nahapiet & Ghoshal 1998). Voidaan olettaa, että sosiaalisen pääoman ja sen eri ulottuvuuksien vaihtelu riippuu merkittävästi siitä yhteydestä, missä ne esiintyvät. Onkin mahdollista, että sosiaalisessa pääomassa esiintyy erilaista vaihtelua esimerkiksi kaupunki- ja maaseutualueilla.

### **10.1.3 Luottamus verkostossa**

Luottamus on osoittautunut yhteistyösuhteissa tekijäksi, joka takaa onnistuneen vuorovaikutuksen. Kuitenkin yleisesti hyväksyttyä määritelmää luottamukselle tai luotettavuudelle ei ole luottamus-tutkimuksessa löydetty. Rousseau, Sitkin, Burt & Camerer (1998) liittävät luottamukseen aikomuksen hyväksyä haavoittuvuus, mikä perustuu positiivisille odotuksille toisen aikomusten tai käyttäytymisen suhteen. Luottamus esitellään nykyään moniulotteisena käsitteenä. Odotus luotettavuudesta perustuu luotettavana pidetyn toimijan asiantuntemukseen, rehellisyyteen tai tarkoituksellisuuteen. Luottamukseen perustuva käyttäytyminen sen sijaan määritellään toimijan aikomuksiin luottaa yhteistyökumppaniinsa hyväksyen haavoittuvuuden. (Singh & Sirdeshmukh 2000, Moorman et al.1992). Yhdistäen nämä käsitteet luottamuksen voidaan sanoa perustuvan aiemmille kokemuksille ja tiedolle sekä samanaikaisille tulevaisuuden odotuksille.

Toiminnan riskin arviointi perustuu mahdollisuuksien ja odotusten harkintaan. Tässä prosessissa ennustettavuus on tärkeässä asemassa. Ellingsenin (2006) mukaan erilaiset tavat luoda ennustettavuutta ovat yhteydessä erityyppiseen luottamukseen. Hän tunnisti kolme keskenään yhteydessä olevaa luottamuksen muotoa, jotka eri tavoin muodostavat luottamuksen sosiaalisen perustan: esisopimuksellinen luottamus, rakenteellinen luottamus ja suhdeluottamus.

**Taulukko 1.** Luottamuksen muodot. (Ellingsen & Lotherington 2008)

LUOTTAMUKSEN MUODOT	Esisopimuksellinen luottamus	Rakenteellinen luottamus	Suhdeluottamus
Kehitys:	Itsestään selvyys	Vakiintuneet organisaatiot ja järjestelmät	Yhteistyö, tuttuus
Perusta:	Yleiset esim. kulttuuriin perustuvat toimintatavat, rutiinit	Muodolliset rakenteet, lait, tekniset rakenteet, säännöt	Kokemukset, jonkin välittämä tuttuus, läheisyys

Esisopimuksellinen luottamus on itsestään selvää, luontaista luottamusta, joka toimii sosiaalisena linkkinä yksilön ja yhteiskunnan välillä. Se on yleinen lähtökohta yhteistyölle. Esisopimuksellinen luottamus edellyttää tietyn asteista homogeenisyyttä mukaan lukien yhteinen kulttuuri-, merkitys- ja tietopohja. (Ellingsen & Lotherington 2008). Rakenteellinen luottamus perustuu muodollisille rakenteille ja asemalle. Se on välttämätön yleistämiseksi, jotta tunnetun perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä tuntemattomasta ja edetä pitkäaikaisiin suhteisiin luottaen tuntemattomaan. Rakenteellinen luottamus perustuu muodollisiin organisaatioihin, lakeihin, sopimuksiin ja ammatteihin. Sen avulla luottamus rakentuu myös yksilötason ulkopuolella. Suhdeluottamus viittaa läheisyyteen, tuttuuteen ja yhteistyöhön. Se perustuu kokemukselle ja tiedolle (Zucker 1983). Suhdeluottamus ei kehity vain yhteistyön kautta, vaan voi perustua myös erilaiselle tuttuudelle: perhesiteet, samanlaisuus, etnisuus, uskonto, alakulttuuri. Siten luotettava maine muotoutuu sekä omien että muiden kokemusten mukaan. (Ellingsen & Lotherington 2008). Nämä kolme luottamuksen muotoa muodostuvat siis erilaisten prosessien kautta: esisopimuksellinen luottamus rakentuu ajan mittaan sosialisoinnin kautta, rakenteellinen luottamus vähitellen laillistetun aseman kautta ja suhdeluottamus kehittyy yhteistyön ja neuvottelujen avulla.

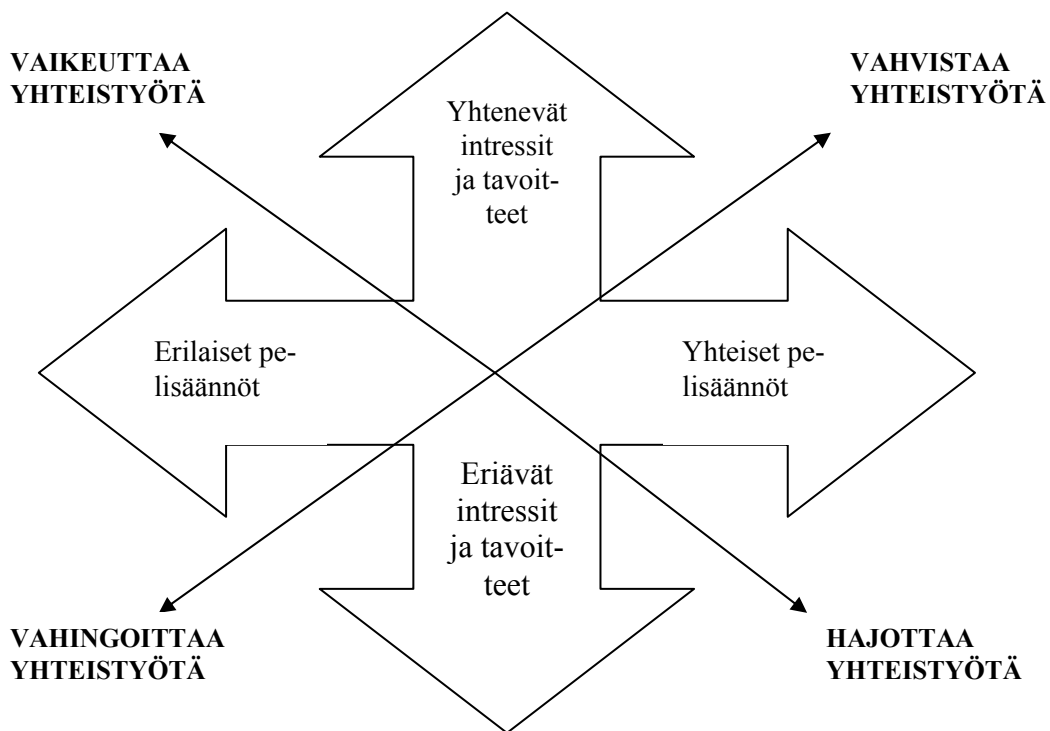
Currall & Inkpen (2006) korostavat luottamuksen dynaamista rakennetta ja sen kykyä siirtyä yhdeltä tasolta toisella. Dynaamisuus perustuu kokemuksiin henkilön, ryhmän tai organisaation luotettavuudesta. McEvily, Weber, Bicchieri & Ho (2003) puolestaan esittävät, että taloudelliset toimijat muodostavat käsityksiään yhteisöjen luotettavuudesta vuorovaikutuksessa yhteisöön kuuluvien yksilöiden kanssa.

#### 10.1.4 Yhteistyö verkostossa

Mukanaolon yhteistyöverkostossa tulisi tuoda osapuolille lisäarvoa. Mitä tärkeämpiä olemassa olevan yhteistyön edut ovat ja mitä vähemmän kiinnostavia saavutettavissa olevat vaihtoehdot, sitä merkittävämpää yhteistyössä on riippuvuus ja sen vaikutus yksilön päätöksentekoon. Semlingerin mukaan (2008) epäsymmetrisen riippuvuuden tapauksessa yhteistyön luonne helposti muuttuu yhä enemmän yksipuoliseksi johtaja – seuraaja suhteeksi. Ne, jotka ovat vähemmän riippuvaisia suhteen olemassaolosta voivat alentaa omaa suoritusasoaan ja jopa esittää epärealistisia vaatimuksia toiselle osapuolelle. Itse asiassa pitkällä tähtäimellä, yhteistyötä voi verkostoissa olla olemassa vain silloin kun yhteistyösuhde muodostaa kaikkien osapuolten näkökulmasta win-win tilanteen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että haitat ja edut on jaettu tasan. Yhteistyö liiketoiminnassa on itsenäisyyden ja riippuvuuden jakautumista koskevaa strategiapeliä. Mikäli symmetrisyys puut-

tuu, yhteistyöverkostot saattavat päätyä itsepintaiseen ja yksipuoliseen hyväksikäyttöön. Tästä syystä jokaisen osapuolen tulisi varmistaa vaihtoehtoiset vaihdanta- ja vuorovaikutusmahdollisuutensa, sekä tuntea yhteistyökumppaneiden tavoitteet, tarpeet ja vaihtoehtoiset mahdollisuudet. Siten yhteistyöverkostot lopulta hyötyvät yhteisistä tavoitteista, tiimihengestä ja luottamuksesta. Yhteistyön tulee perustua oikein ymmärretylle itsekkyydelle sekä sille, että osapuolet tuntevat toisensa hyvin. (Semlinger 2008)

Virtanen ja Heimonen (2006) analysoivat yhteistyösuhteen menestystä Kuvan 2 esittämän viitekehysten avulla. Siinä lähtökohtana on oletus, että taloudellista ja sosiaalista kontekstia ei voida erottaa toisistaan.



**Kuva 2.** Yhteistyöverkostojen menestymismahdollisuudet (Virtanen & Heimonen 2006)

Virtasen (2007) mukaan verkostosuhteet ja vuorovaikutus niissä on välttämätön, muttei riittävä edellytys menestyvälle verkostolle. Menestys yhteistyöverkostoissa edellyttää sosiaaliseen pääomaan liittyvien positiivisten tekijöiden, suhteellisuuden ja tiedollisen ulottuvuuden, olemassaoloa. Nämä positiiviset tekijät vahvistuvat eri osapuolten oman aktiivisuuden kautta, esimerkiksi, pitämällä lupaukset edistetään uskottavuutta ja luotettavuutta.

Kuva 2 kuvaa yhteistyön tuloksia esittäen toimijoiden intressit ja tavoitteet pystysuoralla akselilla ja toiminnan pelisäännöt vaakasuoralla akselilla. Yhteistyö lujittuu, mikäli molemmat osapuolet pitäytyvät yhteisissä pelisäännöissä ja heillä on yhtenevät intressit ja tavoitteet. Jos he eivät kykene sopimaan pelisäännöistä, menettelytavoista, yhteistyö saattaa osoittautua hankalaksi huolimatta yhteisistä intresseistä ja tavoitteista. Yhteistyö on hajottavaa siinä tapauksessa, että osapuolet hyväksyvät yhteiset toimintatavat, mutta eivät

pysty sopimaan tavoitteista tai heidän intressinsä eroavat toisistaan. Mikäli intressit ja tavoitteet ovat erilaiset ja toimitaan toisistaan poikkeavilla menettelytavoilla, yhteistyö muodostuu vahingolliseksi.

Tavallisesti verkostoituminen kuvataan suhteiden luomisena verkostorakenteessa. Menestyvät yhteistyöverkostot edellyttävät kuitenkin yhteistä ymmärrystä tavoitteista ja sopimista säännöistä ja velvoitteista. Yhteinen ymmärrys edustaa prosessin tiedollista ulottuvuutta ja on äärimmäisen tärkeä rakennettaessa luottamusta ja siihen perustuvia yhteistyösuhteita osapuolten välille. Kuvan 2 avulla voidaan tutkia suunnitteilla olevan verkostoyhteistyön menestymismahdollisuuksia kysymällä, missä määrin verkoston eri toimijoilla on yhtenevät intressit ja tavoitteet ja toimivatko he yhteisten pelisääntöjen mukaisesti luoden luottamusta ja menestyvää, lujittuvaa yhteistyötä.

## 10.2 Tutkimuksen tavoite ja toteuttaminen

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ja selittää energiapuun hankinnan toimintaympäristössä tapahtuvia muutoksia Etelä-Savossa ja peilata niitä toimijoiden näkemyksiin alueellisesta suurterminaaliverkostomallista. Tutkimuksessa kartoitettiin, mitä yritysten ja koko toimintaympäristön sisäisiä hyötyjä ja haittoja sekä ulkoisia uhkia ja mahdollisuuksia voidaan saavuttaa lisäämällä yritysten välistä yhteistyötä terminaaliverkostomallin mukaisessa metsäpolttoaineen hankinnassa. Terminaaliverkostomallilla viitataan tässä yhteydessä laajemmin suunnitteilla olevan Ristiinan logistiikkaterminaalien ja muiden terminaalien rinnakkaistoimintaan sekä polttoaineen hankinnan joustavaan organisointumiseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös sitä, miten yritysten organisaatorakenteita ja yhteistyötä pitäisi kehittää, että energiapuun saatavuutta pystyttäisiin maksimoimaan tiettyyn alueelliseen terminaaliin tai käyttöpaikkaan kilpailulainsäädännön puitteissa.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin teemahaastattelua. Tutkimuksessa haastateltiin kaikkiaan neljää Etelä-Savossa metsä- ja energiateollisuuden raaka-aineen hankinnassa toimivaa tahoa: voimalaitos Etelä-Savon Energia (Timo Leppänen), metsäteollisuusyhtiö UPM (Esa Korhonen), metsänhoitoyhdistys Metsä-Savo (Petri Pajunen) ja energiapuun korjuuyritys Bio-Esme (Hannu Honkanen). Haastatteluteemat perustuivat edellä esitetylle terminaaliverkostomallin kuvaukselle, ”Energiapuuta Etelä-Savosta” – hankkeessa toteutetulle selvitykselle (Karttunen ym. 2009) sekä verkostoliiketoiminnan teorioille. Haastatteluprosessia ohjasivat seuraavat teemat:

1. Energiapuutoimijoiden nykyiset yhteistyökumppanit Etelä-Savossa
2. Energiapuumarkkinoiden keskeiset muutostekijät
3. Terminaaliverkostomallin tuomat hyödyt ja haitat toimijoiden omalle liiketoiminnalle
4. Terminaaliverkostomalliin liittyvät ulkoiset uhat ja mahdollisuudet
5. Luottamusta edistävät seikat terminaaliverkostomallissa

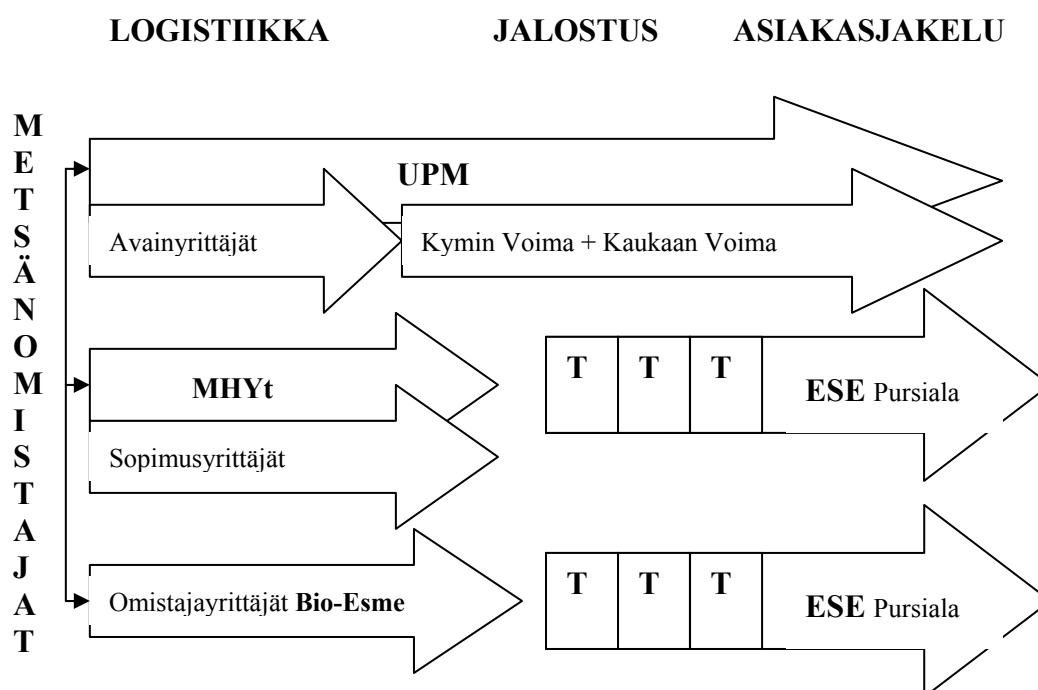
Lopuksi laadittiin yhteenveto niistä tekijöistä, joihin tulisi kiinnittää huomiota yhteistyön rakentamiseksi ja energiapuun saatavuuden maksimoimiseksi potentiaalisen Ristiinan

suurterminaaliin. Haastattelut toteutettiin kesä- ja syyskuussa 2010. Niiden kesto vaihteli 52–80 minuuttiin. Litteroidut haastattelut analysoitiin lokakuussa 2010.

## 10.3 Tulokset

### 10.3.1 Nykyiset yhteistyökumppanit

Kuva 3 esittelee haastateltujen yritysten tärkeimmät yhteistyökumppanit nykyisin energiapuhankinnassa.



**Kuva 3.** Haastateltujen tärkeimmät alueelliset yhteistyökumppanit (T = terminaali).

Kaikki haastatellut toimijat Etelä-Savon Energiaa lukuun ottamatta mainitsivat yhteistyökumppaneita kysyttäessä ensimmäisenä metsänomistajat. ESE:n ensisijaisia yhteistyökumppaneita olivat alueen metsänhoitoyhdistykset. Sopimus pohjaista toimintaa on ollut metsänhoitoyhdistys Järvi-Savon ja Metsä-Savon kanssa. Toimijoilla oli myös keskinäistä yhteistyötä lukuun ottamatta UPM:ää ja Etelä-Savon Energiaa. Bio-Esme toi selvimmän esiin tarpeen yhteistyön lisäämiseksi. He toivoivat yhteistyötä metsänhoitoyhdistysten kanssa metsänomistajien tarjoamien energiapuuleimikoiden kilpailutuksen muodossa.

### 10.3.2 Energiapuumarkkinoiden keskeiset muutostekijät

Energiapuumarkkinoiden muutostekijöitä mainittiin runsaasti. Kunkin vastaajan tärkeimmiksi nimeämät muutostekijät vaihtelivat heijastaen heidän omaa näkökulmaansa energiapuumarkkinoihin. Keskeiset muutostekijät voidaan jaotella seuraavasti:

Energiapuumarkkinoiden voimakas kasvu  
Energiapuun saatavuus  
Rakenteelliset muutokset

Energiapuun katsottiin jo olevan yksi puutavaralaji muiden joukossa, mikä muodostaa hyvän lähtökohdan energiapuumarkkinoiden kasvulle. Kasvun syinä mainittiin valtiovaltan energiatukipaketti sekä sahauskapasiteetin todennäköinen pieneneminen. Tällöin sahauskassa syntyvien sivutuotteiden vähetessä metsähakkeen merkitys ja määrä energiatuotannossa kasvaa. Energiapuumarkkinoiden kasvuun arveltiin vaikuttavan myös metsähakkeen mahdollinen vienti Etelä-Suomeen suunnitelluille puuta käyttäville voimalaitoksille sekä moniin Euroopan maihin, missä valtioiden odotetaan voimakkaasti tukevan puuta uusiutuvana energianlähteenä. Kysynnän kasvun seurauksena energiapuun hinnan uskottiin nousevan voimakkaasti. Vastakkainen vaikutus olisi hakkeen merkittäväällä ja jatkuvalla tuonnilla Venäjältä.

Metsiä ja energiapuuta on runsaasti, mutta kysynnän noustessa energiapuun saatavuuden arvioitiin heikkenevän. Tähän vaikuttaisi myös metsätilojen pieneneminen ja metsänomistajien määrän kasvaminen, mikä saattaisi tuoda haasteita myös energiapuun korjuutoiminnan kilpailukyvyille.

Merkittävänä tekijänä energiapuumarkkinoilla nähtiin monet rakenteelliset muutokset, mm. päästöoikeuksien hinnoittelu. Toimijoita on tullut ja tulossa runsaasti lisää. Toisaalta perinteisten metsätalouden toimijoiden kuten metsänhoitoyhdistysten, metsäkeskusten ja Tapion roolien nähtiin olevan murroksessa. Uusien energiapuun käyttöpaikkojen lisääntymistä Etelä-Savon lähiympäristössä pidettiin tärkeänä kysyntään vaikuttavana tekijänä. Erityisesti Kaukaan Voiman, Jyväskylän Energian ja mahdollisen biodieseljalostamon katsottiin lisäävän energiapuutoimituksia alueelta. Myös energiapuun korjuuteknologian ja mittauksen nähtiin kehittyneen nopeasti ja kehittyvän edelleen. Lisäksi tuotiin esiin kehitys metsävaratietojen saatavuuden laajentamiseksi eri energiapuutoimijoiden käyttöön.

### 10.3.3 Terminaaliverkostomallin hyödyt ja haitat omalle liiketoiminnalle

Terminaaliverkostomallin mukaisen yhteistyön lisäämisen mukanaan tuomia hyötyjä ja haittoja toimijoiden omalle liiketoiminnalle sekä ulkoisia uhkia ja mahdollisuuksia saatiin listattua haastatteluista (Liite 1, SWOT-analyysi). Terminaaliverkostomallin mukaisessa yhteistyössä nähtiin omalle liiketoiminnalle monia hyötyjä. Ne liittyivät ennen kaikkea energiapuun ympärivuotiseen, käyttötarpeen mukaiseen toimitusmahdollisuuteen voimalaitoksille riippumatta kelirikkoajasta, jolloin myös metsätiet säilyvät ehjinä ja kuljetuskalustolle on tarjota tasaisempaa käyttöä. Tästä nähtiin syntyvän myös kustannussäästöjä.

Mahdollisuutta kantojen murskaukseen keskitetysti pidettiin yhtenä terminaaliverkostomallin hyötynä. Ainoastaan UPM:llä murskauspaikan tuomaa hyötyä ei nähty yksiselitteisenä, sillä voimalaitokset, joille he toimittavat energiapuuta käyttävät jo tällä hetkellä omia murskaimia. Toisaalta katsottiin, että suurterminaali tarjoaa tienvartta selkeämmän luovutuspuuenergiapuulle. Lisäksi terminaaliratkaisu edistäisi energiapuun laadunhallintaa kosteudenhallinnan parantuessa. Voimalaitoksen näkökulmasta puuraaka-aineen varastoinnin ohella suurterminaali nimenomaan Ristiinan syväväylän yhteydessä toisi merkittäviä logistisia hyötyjä sekä vesitie- että mahdollisten rautatiekuljetusten muodossa. Sieltä löytyisi myös urakoitsijoita ja kalustoa laivan purkuun.

Vaikka suurterminaalimallin arvioitiin toisaalta tuovan kustannussäästöjä, kaikki haastatellut toimijat pitivät mallin logistista kilpailukykyä epävarmana oman liiketoimintansa näkökulmasta. Arvioissa suurterminaalimalliin liittyviä kuljetuskustannuksia erityisesti reuna-alueilta verrattiin energiapuukuljetuksiin jo käytössä oleviin etäterminaaleihin. Kustannustehokkuuteen katsottiin kuitenkin liittyvän myös suurterminaalimallin toimiminen puskurivarastona eli mahdollisuutena ottaa aina vastaan puuta. Myös energiapuun kosteudenhallinta ja kantojen sivuaineiden poisto onnistuisivat paremmin suurterminaalimallissa. Kaiken kaikkiaan mallin arvioinnin oman liiketoiminnan näkökulmasta katsottiin vaativan ”jonkun verran tarkempaa laskemista”.

#### **10.3.4 Terminaaliverkostomalliin liittyvät ulkoiset mahdollisuudet ja uhat**

Vesitiekuljetusten ja mahdollisten rautatiekuljetusten ohella terminaaliverkostomallin ja lisääntyvän yhteistyön katsottiin mahdollistavan muun pienteollisen toiminnan integroinnin suurterminaalialueelle. Suurimpana uhkana pidettiin raaka-aineen riittävää saatavuutta, mutta myös paikallisten toimijoiden sitoutumista Ristiinan suurterminaalimalliin. Sataman kehittämismahdollisuuksia epäiltiin UPM:n omistaessa maa-alueet. Kaiken kaikkiaan suurissa metsäyhtiöissä paikallisten toimijoiden päätöksentekomahdollisuuden arveltiin olevan heikko. Vesitien käyttömahdollisuuteen liitettiin myös uhka ulkomaille suuntautuvista hakelaivauksista, minkä uskottiin nostavan energiapuun hintaa ja vaikeuttavan entisestään sen saatavuutta kotimaan voimalaitoksille. Joka tapauksessa suurterminaalimallin arvioitiin aktivoivan paikallista energiapuutoimintaa.

#### **10.3.5 Luottamusta edistävät seikat terminaaliverkostomallissa**

Haastattelujen perusteella näyttäisi siltä, että energiapuutoimijoiden verkostossa luottamuksen rakennusaineina on sekä luottamuksen rakenteellisia että suhdetekijöitä. Rakenteelliset tekijät perustuvat toimijoiden välisille sopimuksille ja ammattimaiselle toiminnalle niiden täyttämiseksi. Henkilösuhteet ja vuorovaikutus eri toimijoiden kesken, myös potentiaalisten verkostotoimijoiden maine, korostuvat alueellisten toimijoiden verkostossa ja niillä on tärkeä merkitys mm. rekrytoinnissa.

Metsänomistajien luottamusta energiapuutoimijoihin pidettiin erittäin tärkeänä energiapuun saatavuuden kannalta. Sen katsottiin perustuvan ennen kaikkea korjuun ja työn laatuun metsässä. Siten sitoutuminen hyvään korjuujälkeen käyttämällä ammattitaitoisia korjuuyrittäjiä ja tekemällä tarvittaessa ennakkoraivaus kohteella nähtiin ensiarvoisen



tärkeiksi samoin kuin puiden oikea-aikainen haku tienvarsilta, haketuspaikan siistiksi jättäminen ja teiden ehjinä säilyminen. Tieto korjuuyrittäjistä, joiden työn laatuun luotetaan, kiiriikin puskaradion kautta ja he ovat haluttuja juuri energiapuuleimikoihin. Henkilösuhteilla ja ”sisäpiiritiedolla” onkin energiapuun korjuussa oma merkityksensä. Toisaalta epäluottamusta metsänomistajien keskuudessa tiedetään aiheuttavan tiedon puute energiapuukorjuun metsänhoidollisista vaikutuksista. Tapion uusien energiapuun korjuusuositusten arveltiin tuovan lisää tarpeellista informaatiota. Lisäksi mainittiin useita energiapuukauppaan liittyviä yksityiskohtia, joissa on vielä kehitettävää ja joiden parantamisen uskottiin lisäävän metsänomistajien luottamusta energiapuukauppaan: sähköiset markkinapaikat, joissa tarjoukset olisivat metsänomistajille vertailukelpoisia, energiapuun mittauksen kehittyminen, nopea ja luotettava energiapuun kosteuden määrittely maastossa ja Kemera-tukien ohjaaminen metsänomistajille sekä selkeät pelisäännöt ajankohdaksi, jolloin myyjä saa maksun energiapuusta joko siinä vaiheessa, kun raaka-aine on toimitettu tienvarteen tai viimeistään, kun se on ajettu terminaaliin. Lisäksi energiapuun jatkuvan saatavuuden varmistamiseksi kaivataan myös tasaisuutta sekä energiapuun hinnanmuodostukseen että vastaanottoon voimalaitoksilla.

Luottamusta kaivattiin lisää energiapuun korjuusta vastaavien tahojen välille. Luottamusta arveltiin edistettävän luomalla mahdollisimman tasapuoliset lähtökohdat eri toimijoille, mm. yhtäläinen pääsy metsävaratietoihin ja tarjolla olevien energiapuukohteiden läpinäkyvä kilpailutus. Myös metsänhoitoyhdistysten energiapuutoiminnan yhtiöittämisen mahdollisuuteen viitattiin. Jatkuvan vuorovaikutuksen paikallisten toimijoiden kesken uskottiin myös lisäävän luottamusta. Vuorovaikutus ja tasapuolisuus nähtiin keskeisiksi luottamuksen rakentajiksi myös yrittäjävetoisessa korjuuorganisaatiossa.

Voimalaitokseen päin luotettavuuden arvioitiin näyttäytyvän ennen kaikkea korkealaatuisen raaka-aineen toimitusvarmuutena, sopimusten täyttämisenä. Sopimusta katsottiin tarvittavan toimitusketjussa jokaisen kanssa ja sopimuksin tulisi huolehtia myös siitä, että suurterminaali palvelisi ensisijaisesti paikallista polttoaineensaantia. Suurterminaalimallin toteutumisen lähtökohtana pidettiin siis ennen kaikkea asioista, pelisäännöistä sopimista eri toimijoiden kesken. Yhtiömuodossa laadittaisiin osakassopimus, mutta määrittelmällä jokaisen toimijan vastuut tarkkaan, mm. laatuehdot, maksuehdot, aikatauluehdot, kalustoehdot, luotaisiin pohja keskinäisen luottamuksen rakentumiselle. Pällekkäisiä toimintoja ei saisi olla. Sen jälkeen luottamusta katsottiin edesauttavan taitava johtaminen, missä vaaditaan niin teknistä osaamista, talousosaamista kuin toimijoitten tuntemistakin. Luottamuksen uskottiin vahvistuvan huolehtimalla vuorovaikutuksesta, ihmisten välisestä kanssakäymisestä.

## **10.4 Tulosten tarkastelu**

Virtasen (2007) mukaan menestyvät yhteistyöverkostot edellyttävät yhteistä ymmärrystä tavoitteista ja sopimista säännöistä ja velvoitteista. Haastattelujen perusteella alueellisen suurterminaaliverkostomallin potentiaalisten toimijoiden intressit ja tavoitteet ovat osittain yhteneviä, osittain eriäviä. Yhteinen pyrkimys kotimaisen energiapuun kasvavaan käyttöön, energiapuun saatavuuden varmistamiseen ja tasaisiin energiapuutoimituksiin

voimalaitoksille tulivat kaikissa haastatteluissa esille. Oman haasteensa tasaisille toimituksille katsottiin aiheutuvan metsänomistajien myyntikäyttäytymisestä. Eriäviä tavoitteita katsottiin syntyvän siitä, että metsänhoitoyhdistykset ja korjuuyritykset toimivat erilaisen lainsäädännön alaisina: yhdistyslaki ja osakeyhtiölaki. Myös tavoite energiapuun hintatasolle vaihteli toimijoittain.

Yhteisinä pelisääntöinä mainittiin hyvä energiapuuleimikon korjuujälki ja energiapuuerien kuljettaminen ajallaan pois tienvarsilta. Tärkeänä pelisääntönä pidettiin yleisesti myös energiapuun ostajien tarjousten saattamista myyjille vertailukelpoisiksi. Haastatteluissa tuli kuitenkin esiin myös erilaisia pelisääntöjä tai pyrkimyksiä sellaisiin, ne koskivat läpinäkyvyyttä energiapuuleimikoiden tarjouskilpailussa, eri toimijoiden pääsyä metsävaratietoihin, energiapuun maksuajankohdan määräytymistä, Kemera-tukien ohjautumista, energiapuun mittayksikköä. (taulukko 2)

**Taulukko 2.** Energiapuutoimijoiden eriävät intressit ja tavoitteet sekä erilaiset pelisäännöt

Eriävät intressit ja tavoitteet	Erilaiset pelisäännöt
yhdistyslaki – osakeyhtiölaki	läpinäkyvyys energiapuuleimikoiden tarjouskilpailussa
energiapuun hintataso	pääsy metsävaratietoihin
	energiapuun maksuajankohdan määräytyminen
	Kemera-tukien ohjaus
	energiapuun mittayksikkö

Jotta menestyvän yhteistyöverkoston edellytykset olisivat olemassa, tulisi suurterminaaliverkostomallia kehitettäessä edellä kuvattuihin eroihin intresseissä ja tavoitteissa sekä pelisäännöissä kiinnittää erityistä huomiota. Muussa tapauksessa erilaiset pelisäännöt ja intressit joko vaikeuttavat tai hajottavat yhteistyön kehittämistä. Pahimmassa tapauksessa ne voivat myös vahingoittaa sitä.

Katsottiin, että suurterminaalin taustalla, hallinnoijana, pitäisi olla joku suuri toimija tai joukko toimijoita, joilla riittäisi energiapuuta terminaalin kautta toimitettavaksi ja näin toiminnan laajuus saisi yksikkökulut alhaisemmaksi. Toisen näkemyksen mukaan pidettiin tärkeänä, että toiminnasta vastaisi operaattori, aktiivinen yrittäjä, joka olisi neutraali palvelun tuottaja ja palvelisi kaikkia asiakkaita samalla tavalla. Laajemman, konsortioon perustuvan johtamisen pelättiin osoittautuvan liian kankeaksi. Epäiltiin, että kaikkia kolmea suurta metsäyhtiötä olisi mahdoton saada mukaan yhteistyöhön kilpailulainsäädännön asettamien rajoitteiden vuoksi. Lisäksi energiapuukaupan osuus on niiden kaupallista volyymista marginaalinen. Huolta aiheutti myös Ristiinan syväsataman käyttöoikeus erityisesti siinä tapauksessa, että UPM ei lähtisi suurterminaalihankkeeseen mukaan, alue kun on UPM:n omistuksessa. Todettiin, että suurterminaalitoimijoiden kesken täytyy olla osakassopimus, jossa mm. sitoudutaan siihen, että toiminta palvelee ensisijaisesti paikallista polttoaineen saantia eikä esimerkiksi energiapuun vientiä Eurooppaan. Energiapuun jatkojalostus nähtiin keskeisenä osana suurterminaalimallia, samoin mahdollisuus vesi- ja rautatiekuljetuksiin. Myös pienteollisen toiminnan integroimista alueelle esi-

tettiin. Nykyisiä alueella sijaitsevia pienempiä terminaaleja pidettiin tärkeinä myös suurterminaalimallissa.

## 10.5 Johtopäätökset

Kaikki terminaaliverkostomallin potentiaaliset toimijat näkivät Ristiinan suurterminaalimallissa useita hyötyjä oman toimintansa kannalta. Kuitenkin kaikki esittivät myös epäilynsä siihen perustuvien energiapuutoimitusten kannattavuudesta. Toisaalta, vaikka kuljetuskustannusten uskottiin nousevan, mallin nähtiin tuovan myös lisäarvoa omalle liiketoiminnalle. Suurterminaalimallin kokonaisuhyötyä oli haastateltavien mielestä kuitenkin vaikea arvioida. Se riippuisi monista käynnissä olevista muutostekijöistä energiapuumarkkinoilla. Niinpä haastateltavat olivat varovaisia arvioissaan siitä, lähtisivätkö ja millä aikataululla mukaan terminaaliverkoston toimintaan suurterminaalimallin toteutuessa.

### Lähteet:

- Curral, S.C. & Inkpen, A.C. 2006. On the complexity of organizational trust: a multi-level co-evolutionary perspective and guidelines for future research. In R. Bachmann, & A. Zaheer *Handbook of trust research*. UK: Edward Elgar Publishing Limited. 235-246.
- O'Donnell, A., Gilmore, R., Gummins, D. & Carson, D. 2001. The network construct in entrepreneurship research: a review and critique. *Management Decision* 39: 749-760.
- Ellingsen, M. 2006. *Searching the invisible – An exploration of trust and change in late modernity*. Doctoral dissertation in progress. University of Tromsø.
- Ellingsen, M. & Lotheringron A.T. 2008. Network credit: The magic of trust. In: Aaltio, I., Kyrö, P. and E. Sundin (eds.). *Women entrepreneurship and social capital. A dialogue and construction*. Copenhagen Business School Press, p. 121-146.
- Hoang, H. & Antoncic, B. 2003. Network-based research in entrepreneurship: a critical review. *Journal of Business Venturing* 18: 165-187.
- Håkansson, H. 1987. *Industrial technological development: a network approach*. Croom Helm Ltd., New Hampshire.
- Håkansson, H. & Johanson, J. 1992. A model of industrial networks. In: Axelssons, B. & Easton, G. (eds.). *Industrial networks. A new view of reality*. Routledge: London.
- Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. 2009. Terminaaliverkostomalli. Julkaisematon esiselvitys Energiapuuta Etelä-Savosta"-hankkeen osatehtävälle "Liiketoiminnan arvo- ketjun mallintaminen".
- McEvily B., Weber, R.A., Bicchieri, C. & Ho, V.T. 2006. Can groups be trusted? An experimental study of trust in collective entities. In Bachmann, R. & Zaheer, A. (eds.). *Handbook of trust research*. UK: Edward Elgar Publishing Limited. 52-67.
- Nahapiet, J. & Ghoshal, S. 1998. Social capital, intellectual capital and the organizational advantage. *Academy of Management Review* 23: 242-266.
- Rousseau, D.M., Sitkin, S.B., Burt, R.S. & Camerer, C. 1998. Not so different after all: A cross-discipline view of trust. *Academy of Management Review* 23: 393-404.

- Semlinger, K. 2008. Cooperation and competition in network governance: regional networks in a globalised economy. *Entrepreneurship and regional development* 20: 547-560.
- Singh, J. & Sirdeshmukh, D. (2000). Agency and trust mechanisms in consumer satisfaction and loyalty judgements. *Journal of Academy of Marketing Science* 28: 50-68.
- Virtanen, M. 2007. Building social capital in an international network project. Paper presented in Small Enterprise Conference, 23.-26.9.2007, Auckland, New Zealand.
- Virtanen, M. & Heimonen, T. 2006. Social capital and creation of network of business know-how in Eastern Finland. Paper presented in the 14<sup>th</sup> Nordic Conference of Small Business Research, 11.-13.5.2006, Stockholm, Sweden.
- Zucker, L.G. 1986. Production of trust: Institutional sources of economic structure 1840-1920. *Research in Organizational Behaviour* 8: 53-111.

## Liite 1.

**SWOT-analyysi.** Terminaaliverkostomallin mukaisen yhteistyön lisäämisen mukanaan tuomat hyödyt ja haitat toimijoiden omalle liiketoiminnalle sekä ulkoiset uhat ja mahdollisuudet.

HYÖDYT	HAITAT
<p>Ympärivuotinen toimitusmahdollisuus voimalaitoksille</p> <p>Tiet säästyvät ehjinä</p> <p>Kustannusten säästö: tienhoitokunnat, voimalaitokset</p> <p>Kantojen murskaaminen</p> <p>Raaka-ainehuollon tasaaminen kelirikkoaikaan</p> <p>Kantojen murskaaminen</p> <p>Ammattimaisempi toiminta</p> <p>Selkeä luovutus piste verrattuna tienvarteen</p> <p>Puuraaka-aineen varastointi</p> <p>Logistiset hyödyt: rautatie, vesitie</p> <p>Urakoitsijoita ja kalustoa laivan purkuun</p> <p>Kantojen murskaaminen</p> <p>Kuljetuskaluston tasaisempi käyttö</p> <p>Energiapuun kosteudenhallinta</p> <p>Ympärivuotinen toimitusmahdollisuus käyttötarpeen mukaan</p>	<p>Lisää kuljetuskustannuksia satelliittiterminaaleihin verrattuna</p> <p>Kuljetusmatkat reuna-alueilta pitenee</p> <p>Mahdolliset katkokset tiedonkulussa</p> <p>Heikko kustannuskilpailukyky verrattuna nykyiseen omaan toimintaan</p> <p>Toimintakonseptin kilpailukyky epävarma</p>
MAHDOLLISUUDET	UHAT
<p>Muun pienteollisen toiminnan integrointi suurterminaalialueelle</p> <p>Vesitiekuljetukset Etelä-Suomeen, jos oman alueen käyttömahdollisuudet heikot</p> <p>Rautatiekuljetus</p> <p>Vesitiekuljetus</p> <p>Terminaalit aktivoi paikallista energiapuutoimintaa</p>	<p>Isojen toimijoiden sitoutumattomuus</p> <p>Hake laivattaisiin terminaalista ulkomaille</p> <p>Raaka-aineen saanti</p> <p>Hakkeen laivaus terminaalista Englantiin</p> <p>Suunnittelijoilla pää pilvissä ja jalat irti maasta</p>

**Bio-Esme**

**MHY Metsä-Savo**

**Etelä-Savon Energia**

**UPM**

## 11 Terminaali liiketoimintana

*Samuli Rinne, Kalle Karttunen, Olli-Jussi Korpinen, Tapio Ranta & Jari Handelberg*

### 11.1 Johdanto

Metsähakkeen kysynnän kasvaessa sen logistiikka vaatii kehittämistä. Metsähakkeen kysyntä kohdistunee jatkossa entistä suurempiin käyttökohteisiin, jolloin raaka-aineen varastoinnille ja kuljettamiselle pitää etsiä uusia logistisia ratkaisuja. Terminaaliratkaisuilla on mahdollista laajentaa varastointikapasiteettia toimitusvarmuuden takaamiseksi. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää löytyykö metsäpolttoaineiden terminaalitoiminnoille liiketaloudellisia perusteita. Terminaalina tapaustarkastelussa oli Ristiinan Pelloksen syväsatamaan suunniteltu suurterminaali, jota vertailtiin pienemmän kokoluokan etäterminaaliratkaisuihin sekä vaihtoehtoihin tienvarsi- ja käyttöpaikkahaketusketjuihin. Artikkelissa keskityttiin käsittelemään terminaalien perustamisen kustannuksia ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Saatavuuden ja hankintakustannusten laskentaan sovellettiin paikkatietoaineistoihin perustuvaa menetelmää (Ranta ym. 2010).

Terminaalille kerätään joko hakettamatonta biomassaa tai terminaali voi toimia valmiiksi haketetun hakkeen puskurivarastona. Terminaalilla päästään irti tienvarsihaketausta rasittavasta hakkurin ja hakerekan sidonnaisuudesta toisiinsa ja toisaalta voidaan puskuroida haketta. Järjestelmä mahdollistaa erilaisten raaka-ainejakeiden hyödyntämisen pientenkin energialaitoksien tarpeeseen, jolloin näiden ei itse tarvitse investoida laitteisiin. Terminaalitoimitukset tasaavat lisääntyvää kysyntää talvipakkasilla, jolloin laitojen tehontarve on suurimmillaan. Teiden kelirikko-aikaan, voidaan terminaalilta toimitukset hoitaa varmasti perille. Tienvarsihaketausketjun haavoittuvuuden vuoksi terminaali luo varmuuden polttoainetoimituksiin, sillä mahdolliset työselkkaukset, sairastapaukset ja konerikot saattavat aiheuttaa äkillisiä katkoja haketoimituksiin. (Hakkila 2004)

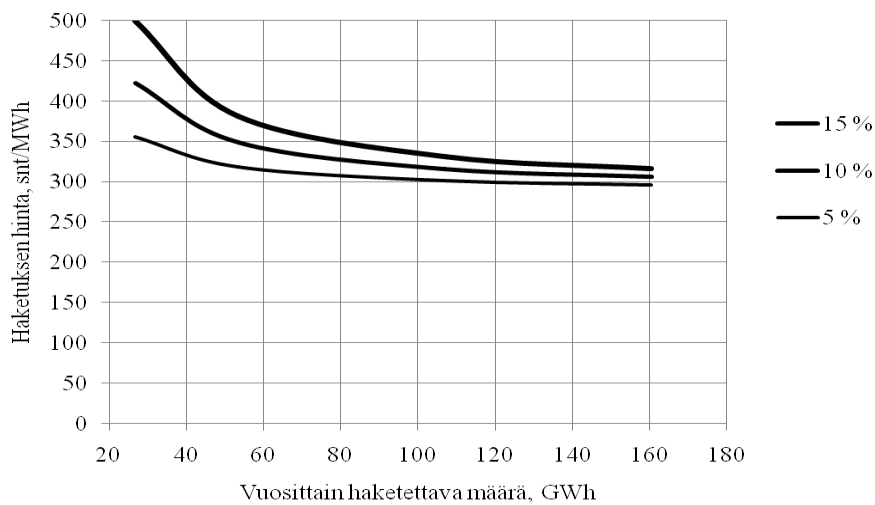
Terminaalitoiminta kuitenkin pidentää kaukokuljetusmatkoja käyttöpaikoille sekä lisää ylimääräisiä työvaiheita, kuten kuorman lastauksia ja purkamisia, jolloin kustannukset kasvavat. Toisaalta terminaalitoiminta soveltuu hyvin tuotantoketjuun silloin, kun joudutaan yhdistelemään kaukokuljetusmuotoja. Rekkakuljetuksen ja juna- tai aluskuljetuksen yhdistäminen saattaa tuoda kustannussäästöjä pitkillä kuljetusmatkoilla. Terminaalikenttä voidaan päällystää ja mahdollisesti viemäroidä, jolloin se helpottaa koneiden liikkumista sekä mahdollistaa polttoaineen paremman laadun. Terminaali sitoo kuitenkin pääomaa, varsinkin jos lisäksi investoidaan katettuun hallitilaan, vakituiseen henkilöstöön sekä laite- ja konekantaan.

#### 11.1.1 Terminaalitoiminnot

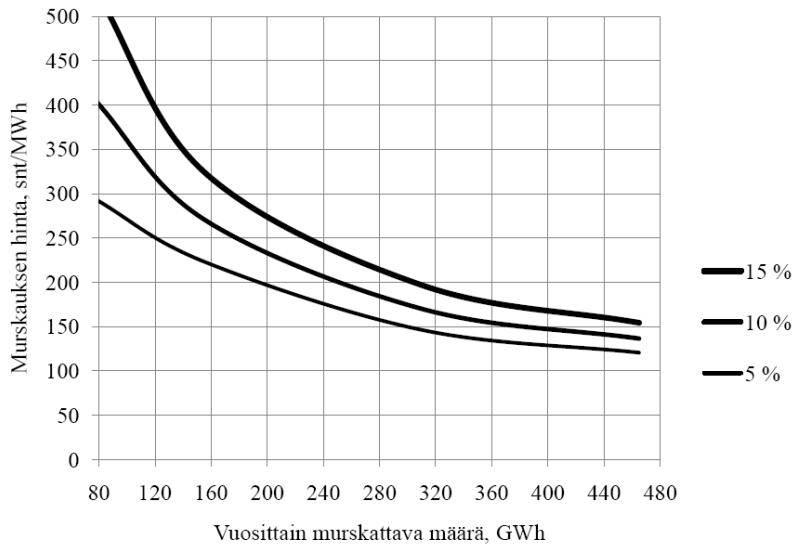
Terminaalissa toteutetaan metsäpolttoaineiden varastointia, jalostusta ja käsittelyä. Jalostuksella tarkoitetaan terminaalissa tehtäviä toimenpiteitä, joilla pyritään lisäämään raaka-aineen arvoa. Tärkein toimenpide on polttoaineen hienonnus sopivaan palakokoon joko murskaamalla tai hakettamalla. Murskaus voidaan toteuttaa joko siirrettävällä tai kiinteällä kalustolla. Jalostusta olisi mahdollista laajentaa esimerkiksi metsähakkeen pelletointiin

tai torrefiointiin, mutta tässä tutkimuksessa rajoituttiin tarkastelemaan pelkästään metsähakkeen tuotantoa terminaalissa.

Siirrettävien murskaimien etuja ovat joustavuus ja jatkuva valvonta murskauksen aikana. Kiinteä murskain voitaisiin toteuttaa voimalaitosten tapaan siten, että autonkuljettaja purkaa kuorman murskan suurelle syöttöpöydälle ja murskain toimii tämän jälkeen automaattisesti. Terminaaleille tällaisia hidaskäyntisiä, automaattisia murskaimia ei kuitenkaan ole Suomessa tietävästi rakennettu. Kiinteän, hidaskäyntisen, jaloilla seisovan murskaimen hinta ilman sähkön tuontia paikalle on noin 1,2 milj.€, kun nopeakäyntinen, suuri hakkuri tai murskain maksaa noin 0,7 milj.€. Kuvissa 1 ja 2 on tarkemmin kuvailtu mobiilihaketuksen ja kiinteän käyttöpaikkamurskauksen kustannuksia eri vuosimäärillä ja vaadituilla pääoman tuottoasteilla. (Rinne 2010)



**Kuva 1.** Haketuksen kokonaiskustannukset vuosimäärän mukaan keskikokoisella, autoalustaisella hakkurilla välivarastolla. Tuotos kahdessa vuorossa 110 GWh/a. Selitteessä pääoman tuottovaatimus. (Rinne 2010)



**Kuva 2.** Murskauksen kokonaiskustannukset vuosimäärän mukaan suurikokoisella murskaimella voimalaitoksella. Tuotos kahdessa vuorossa 310 GWh/a. Selitteessä pääoman tuottovaatimus. (Rinne 2010)

Valmis hake voidaan kuormata joko suoraan autoon hakkurista puhaltamalla, pyöräkuormaajalla maasta tai auton omalla kuormaimella. Suositeltavin tapa terminaalissa lie-nee lastaus pyöräkuormaajalla. Lastauksen voi suorittaa tavaraa hakeva autonkuljettaja. Vastaavalla järjestelyllä kuormataan esimerkiksi turvetta, sahapintahaketta ja purua. Auton omalla kuormaimella kuormaus tulee kyseeseen lähinnä hyvin pienillä terminaaleilla, joista ei haeta tavaraa kuin muutaman kerran vuodessa. Suurterminaalissa pyöräkuormaajalla voi olla erillinenkin kuljettaja, sillä terminaalissa on pyöräkuormaajalle muitakin tehtäviä. Pyöräkuormaukseen tarvitaan lähinnä hakkeen siirtämiseksi korkeampiin kasoihin hakkurin jäljiltä ja hakettamattoman tavarankasojen pohjien siivoukseen.

Terminaaleissa voidaan valvoa ja edistää polttoaineiden laatua. Terminaalissa voidaan kasojen peittämisen lisäksi edistää puun kuivumista suuntaamalla ja kääntelemällä kasoja. Kostea haketta on myös mahdollista levittää aurinkoisina päivinä ohuina kerroksina terminaalin kentälle, jolloin kuivuminen on tehokasta (Föhr 2008). Kostea ja kuivaa murskettä voidaan sekoittaa keskenään laadun tasaamiseksi.

Tutkimuksen lähtöoletuksena oli, että suurimittakaavainen terminaalitoiminta pienentäisi tuotettujen tuotteiden yksikkökustannuksia. Tämä ei ole kuitenkaan itsestäänselvyys, sillä suurimittakaavaisen terminaalin perustamis- ja ylläpitokustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin pienemmillä polttoaineen toimittajien omilla puskurivarastoilla. Kysymys on kuitenkin terminaalien läpivirtaavan biomassan ja sen jalostamiseen käytettyjen resurssien suhteesta. Laaja ja tehokas tuotanto pitäisi näkyä pienempinä yksikkökustannuksina ja toisaalta asiakaslähtöisen toimitusvarmuutta parantavan palvelun tuottama lisäarvo pitäisi näkyä myös tuotteen toimitushinnassa.



### 11.1.2 Puustamaksukyky voimalaitoksella

Laitosten puustamaksukyky riippuu kilpailevien polttoaineiden, lähinnä kivihiilen ja turpeen, hinnoista, hiilidioksidin päästöoikeuden hinnasta, veroista ja tuista. Hiilen ja turpeen hinta ilman päästöoikeusmaksuja on noin 10 €/MWh, joskin hiilen hinta vaihtelee melko paljon maailmanmarkkinoiden tilanteesta riippuen.

Sähköteholtaan 0,1–8 MVA:n uusille, puuta polttaville sähköä ja lämpöä tuottaville laitoksille hallitus on esittänyt uutena tukena vuoden 2011 alusta syöttötariffia. Syöttötariffina maksetaan 83,5 €/sähkö-MWh vähennettynä sähkön pörssihinnalla. Tuottaja saa siis aina sähköstä 83,5 €/MWh. Kyseisenkokoisia laitoksia on toistaiseksi Suomessa varsin vähän, mutta tariffin toivotaan lisäävän niiden määrää runsaasti ja tuovan energiataloudellisen sähkön ja lämmön yhteistuotannon piiriin ennen kannattamattomia pieniä verkkoja. (Hallituksen esitys 2010 b)

Metsähakkeella tuotetun sähkön tukea maksetaan suuremmille laitoksille. Jos päästöoikeuden hinta markkinoilla on 10 €/t, tuotettua sähkö-MWh:a kohden tukea maksetaan 18 euroa. Tuki pienenee asteittain ja on nolla, kun päästöoikeuden hinta on vähintään 23 €/t. Polttoaine-MWh:a kohden tämä on, käyttäen vastapainevoimalaitoksen sähköntuotantohyötysuhteena 30 %, korkeintaan 5,4 €/MWh. (Hallituksen esitys 2010 b). Tuen käytännön merkitys voi tosin olla vähäinen, sillä päästöoikeuden on muutenkin ennustettu nousevan 30 euroon tonnilta vuoteen 2020 mennessä (Brown 2009). Päästövähennysten oletetuista kustannuksista on tietoa esimerkiksi kansainvälisen energiajärjestön IEA:n esityksissä (IEA 2008).

Sähköntuotantotukea on myös mahdollista vaihtoehtona edelliselle saada 6,9 €/sähkö-MWh, kun päästöoikeuden hinta on korkeintaan 18 €/t ja 0 €/MWh, kun päästöoikeuden hinta on yli 18 €/t. Tämä tukimuoto tulee kyseeseen lähinnä pienillä laitoksilla, jotka eivät halua tarkemmasta todentamisesta ym. aiheutuvia kustannuksia. Mainittu tukitaso 6,9 €/sähkö-MWh tarkoittaa 2–2,5 €/MWh polttoaineelle. (Hallituksen esitys 2010 b).

Tämän lisäksi lämmitykseen kivihiilellä on hallitus esittänyt veroa, joka on suuruudeltaan noin 18 €/MWh ja turpeelle 1,9 €/MWh vuosina 2011 ja 2012, 2,9 €/MWh vuosina 2013 ja 2014 ja 3,9 €/MWh vuoden 2015 alusta alkaen. Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa kivihiilen verotaso on esitetty likimain tasolle 13 €/MWh, koska esitetty kokonaisverotaso voisi johtaa yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon aseman vähenemiseen ja erillistuotannon lisääntymiseen, mikä vastoin tavoitteita lisääisi päästöjä. Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa vero maksetaan lämmitykseen käytettävästä osasta, joka laskennallisesti saadaan kertomalla lämmitykseen toimitettu energiamäärä luvulla 0,9. (Hallituksen esitys 2010 a). Päästöoikeusmaksujen, tukien ja verojen vaikutuksia kivihiilen ja turpeen vertailuhintaan on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Päästöoikeusmaksujen, tukien ja verojen vaikutuksia turpeen (2011 ja 2012) ja kivihiilen hintaan voimalaitoksella. Esimerkkilaitoksena polttoaineteholtaan 100 MW:n laitos, joka tuottaa sähköä 30 MW ja lämpöä 60 MW. Yksikkönä €/MWh. Puun perushinnan ilman tukia on oletettu vertailuhintaa laskettaessa olevan 18 €/MWh.

	Päästöoikeuden hinta		
	15 €/t <b>Turve / kivihiili</b>	20 €/t <b>Turve / kivihiili</b>	25 €/t <b>Turve / kivihiili</b>
Perushinta, ilman veroja ym.	10	10	10
Päästöoikeuden hinta	5,1	6,8	8,5
Lämmityspolttoaineiden vero	1,0 / 7,0	1,0 / 7,0	1,0 / 7,0
<b>Yhteensä, €/MWh</b>	<b>16,1 / 22,1</b>	<b>17,8 / 23,8</b>	<b>19,5 / 25,5</b>
Metsähakkeen syöttötariffi	3,3	1,2	0
Metsähakkeen vertailuhinta	14,7	16,8	18
<b>Metsähakkeen hintaetu</b>	<b>1,4 / 7,4</b>	<b>1,0 / 7,0</b>	<b>1,5 / 7,5</b>

Lisäksi tulee ottaa huomioon puun polton aiheuttamat lisääntyneet kattilan käyttökustannukset, jotka ovat noin 50 snt/MWh nykyhinnoin laskettuna (Suomalainen 2001). Tämäkin huomioiden, puun käyttö lähitulevaisuudessa lienee siis laitokselle, jolla on sopiva tekniikka, edullisempaa kuin turpeen tai ainakin kivihiilen käyttö. Hintasuhteet saattavat kuitenkin puun ja turpeen suhteen vaihtua, mikäli puulle rakennetaan liian kalliita kausivarastoinnin ratkaisuja terminaaleihin.

## 11.2 Aineisto ja menetelmät

### 11.2.1 Terminaalikustannukset

Puupolttoaineterminaaleissa voidaan toisaalta käsitellä tavaraa kaukokuljetuksen kannalta edullisempaan muotoon, käytännössä hakettaa tai murskata, toisaalta varastoida tavaraa suurempia määriä ja pidempiä aikoja. Tutkimuksessa terminaalin toiminta on jaettu kahteen osaan, siirtokuormaukseen (joka sisältää purkamisen irtotavara-autosta varastokasaan, haketuksen tai murskauksen ja kuormauksen jatkokuljetusta varten hakeautoon tai junaan) ja puskurivarastointiin, jonka tarkoitus on tasata polttoaineen tuotannon ja käytön ajoittumisen eroja.

Tutkimuksessa on käytetty In-infra-kustannuslaskentaohjelmalla laskettuja tietoja terminaalin perustamiskustannuksista (RIL 2006), (taulukko 2). Maapohjaan on oletettu tehtävän kahden metrin massanvaihto riittävän kantavuuden saavuttamiseksi. Kustannukset eivät sisällä suunnittelua, työmaakuluja eivätkä yleiskuluja ja ne on ilmoitettu arvonnäköverottomina. Yleiskulujen voi arvioida olevan yhteensä noin 30 % taulukossa 2 esitetyistä työkustannuksista (Uusi-Marttila 1998). Lisäksi on käytetty arvioita rautatieterminaalien perustamisen kustannuksista (Ratahallintokeskus 2009), (taulukko 3).

**Taulukko 2.** Laskennallisia kustannuksia terminaalin rakentamiselle (RIL 2006).

Yhdystie, 7 m leveä	320	€/m
Metsätie	35	€/m
Pysäköintialue	84	€/m <sup>2</sup>
Asfalttiaukio	62	€/m <sup>2</sup>
Sorapelialue	47	€/m <sup>2</sup>
Lisäraide liikennepaikalle	1100	€/m
Rautatievaihde	79 000	€/kpl
Meluvalli, 4 m korkea	200	€/m
Pohjaveden suojaus	21	€/m <sup>2</sup>

**Taulukko 3.** Ratahallintokeskuksen (nyk. osa Liikennevirastoa) suunnitelmissa ”keskimääräisen” rautatien varteen mahdollisesti rakennettavien uusien puunkuormaustapaikkojen tai vanhojen paikkojen laajennusten kustannusarvio (Ratahallintokeskus 2009).

Uutta raidetta	925	metriä
Varastointikenttää	15	ha
Vaihteita	2	kpl
Kustannusarvio	2,8	milj. euroa
Edellisistä arvioiden, kustannus/raide-m	1200	€/m
Edellisistä arvioiden, maanrakennuskustannus/maa-ala	100	€/m <sup>2</sup>

Maanrakennuskustannus, 100 €/m<sup>2</sup>, vaikuttaa suurehkolta, joten sitä tulisi verrata toteutuneiden puupolttoterminaalien todellisiin rakentamiskustannuksiin. Toisaalta maasto vaikuttaa paljon yksittäistapausten kustannuksiin. Toteutetuista terminaaleista esimerkiksi Etelä-Savon Energia Oy:n käytössä olevan Kivikankaan terminaali-alueen rakennuskustannukset ovat olleet 171 000 € (Leppänen 2010). Asfaltoitua alaa on noin 2500 m<sup>2</sup> ja muuta varastointialaa (uusi tieliittymä mukaan lukien) noin 5500 m<sup>2</sup>. Kustannuksia ja pinta-aloja mukaillen keskimääräiseksi rakennuskustannukseksi tulisi vain 21 €/m<sup>2</sup>. Kustannus koko alueelle asfaltoinnin jälkeenkin olisi arviolta alle 40 €/m<sup>2</sup>.

Kenttä voi olla vain siirtokuormaustapaikka, jossa raaka-aine haketetaan ja kuormataan laitokselle vietäväksi. Tällaisen kentän voi ajatella koostuvan kahdesta hakettamattoman kasan pinosta, joiden välissä on ajoväylä, jolle myös valmis hake pudotetaan. Murskauksen kannalta sopiva määrä on esimerkiksi 2000 MWh kerrallaan, joka on suurellekin mobiilimurskalle riittävä kertaerä ja myös junakuljetusta ajatellen sopiva minimierä (16 nykyvaunua, Fat). Esimerkin mukainen hakettamaton tavara vaatii keskimäärin pinta-alaltaan 1700 m<sup>2</sup>:n terminaali-alueen. Tutkimuksessa vakioitiinkin pinta-ala siirtokuormaustapaikalle (1700 m<sup>2</sup>).

Edellä mainitun kokoisen alueen kautta voisi teoriassa kulkea jopa 200 GWh vuodessa, jos toiminta olisi tehokkaasti organisoitu. 200 GWh (4000 kuormaa) jaettuna 11 kuukaudelle, 6 päivälle viikossa ja 16 tunnille vuorokaudessa tarkoittaisi noin yhtä kuormaa tunnissa. Kuorman purkaminen puolestaan vie hyvissä olosuhteissa puolisen tuntia, murskaus samoin. Käytännössä suurterminaali vaatisi huomattavasti suuremman alueen, etenkin jos haluttaisiin ylläpitää puskurivarastoa. Tutkimuksessa varastointialueelle oletettiin mahtuvan hakettamatonta tavaraa 2 MWh/m<sup>2</sup> ilman ajoväyliä.

### 11.2.2 Saatavuus ja hankintakustannukset

Metsäbiomassan potentiaalista saatavuutta laskettiin yksittäiseen mahdolliseen suurtermiinalikohteeseen Ristiinan syväsatamaan. Ristiina sijaitsee noin 20 km Mikkelistä etelään. Ristiinassa sijaitsee UPM:n Pelloksen vaneritehtaan yhteydessä syväsatama ja rautatien pistoraide.

Paikkatietojärjestelmään on luotu säännöllinen pisteverkko ([X,Y]-hila), jossa pisteet 2 km välein, ja pistettä ympäröivä alue 4 km<sup>2</sup>. Pisteestä on mahdollista laskea kuljetusetäisyys tiettyyn kysyntäkohteeseen. Laskentamalliin voidaan syöttää aineistoja ja levittää ne alueellisesti tasaiseen pisteverkkoon. Suuren mittakaavan hankintaa varten kullekin pisteelle voidaan osoittaa lähin laitos tai terminaali. Metsäbiomassan saatavuuspotentiaali perustui vuosien 2004-2008 kaupalliseen kunnittaiseen hakkuuaineistoon (Metinfo 2009). Laskentamenetelmänä käytettiin teknistaloudellista kertymää hakkuutähteiden ja kantojen osalta perustuen toteutuneisiin päätehakkuisiin (Laitila ym. 2008). Laskentamenetelmänä kuitupuumitat täyttämättömälle pienpuulle käytettiin VMI-aineistoa teknis-taloudellisesta saatavuudesta (Anttila ym. 2009).

Laskentamalliin syötetään laskennan lähtötiedoiksi hankintaketjujen yksikkökustannustietoa (€/m<sup>3</sup>), jotka muutetaan energiayksiköksi keskimääräisillä kertoimilla (2,1–2,3 MWh/m<sup>3</sup>). Tuloksena saadaan tarjontakäyrä, josta ilmenee hankinnan keskimääräinen kustannus suhteessa raaka-ainetarpeeseen. Tulokset voidaan esittää myös raaka-ainejakeittain.

Raaka-ainetarjontaa voidaan rajata asettamalla koko laskentamallin aineistolle tarjontarajoituksia. Metsänomistajien metsäbiomassan myyntihalukkuus vaikuttaa tarjontapotentiaaliin. Tutkimuksessa käytettiin metsänomistajien myyntihalukkuutena hakkuutähteille 75 %, pienpuulle 80 % ja kannoille 50 %. Kemera-tukea saavia kohteita oletettiin olevan 25 % pienpuupotentiaalista. Laskentaan otettiin huomioon mäntykantopotentiaali, jota ei nykyisin ole vielä merkittävästi hyödynnetty.

Raaka-ainekysyntää voidaan myös rajata. Kilpailu metsäbiomassasta rajoittaa merkittävästi käytännön saatavuutta yksittäisiin käyttökohteisiin, sillä samoilla alueilla toimii useita hankintaorganisaatioita. Terminaalin markkinaosuuden oletettiin olevan 33 %.

Kustannuslaskennan lähtötiedot perustuvat aikaisempaan tutkimustietoon ja arvioihin eri metsäpolttoainejakeiden kustannuksista (taulukko 4). Hakkuutähteet olivat edullisin raaka-aine ennen kantoja ja pienpuuta. Pienpuu on kallein raaka-aine, mutta harvennukseen ja haketukseen saatavat Kemera-tuet ovat parantaneet sen kilpailukykyä. Kuljetuskustannukset perustuivat aikaisempaan tutkimustietoon päivittämällä kustannusparametreja (Ranta & Rinne 2006, Ryymin ym. 2008).

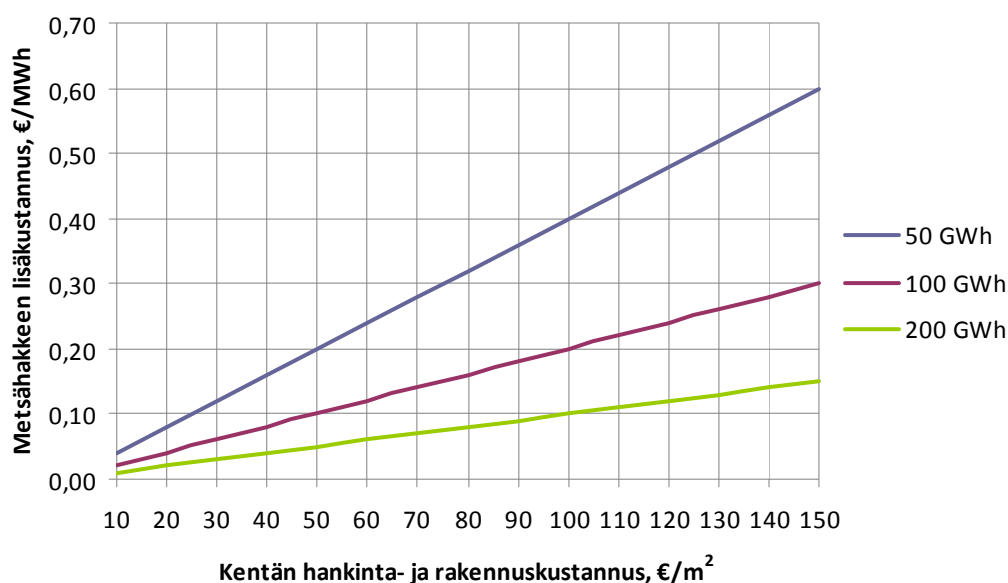
**Taulukko 4.** Tutkimuksessa käytettyjä lähtötietoja tienvarsihinnan muodostumiselle (Laitila ym. 2004, Ryymin ym. 2008)

Kustannukset, €/m <sup>3</sup>	Hakkuutähde	Pienpuu	Kanto
Organisaatio + muut	3,50	4,00	3,50
Metsänomistaja (kantohinta)	1,70	5,00	1,50
Hakkuu	1,20	13,50	5,50
Metsäkuljetus	6,50	6,00	8,00
Kemera-tuet		-11,25	
<b>Tienvarsihinta</b>	<b>12,90</b>	<b>17,25</b>	<b>18,50</b>

## 11.3 Tulokset

### 11.3.1 Terminaalikustannukset

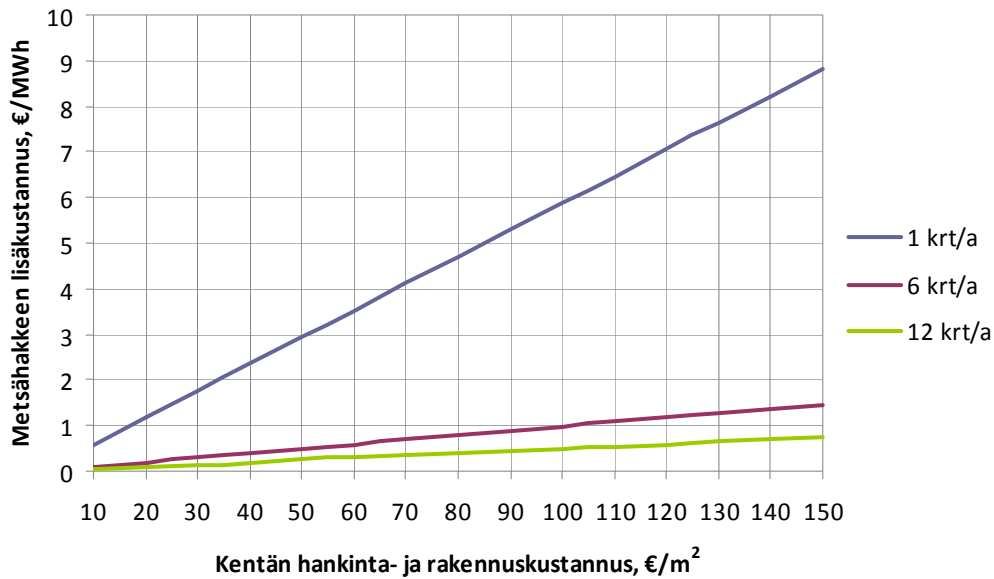
Terminaalikustannukset on esitetty kentän hankinta- ja rakentamiskustannuksen mukaan metsähakkeelle aiheutuvaksi lisäkustannukseksi, kun muuttuvina tekijöinä on joko terminaalin vuosituotanto (GWh), biomassan kierto nopeus (krt/a) tai pääoman tuotto vaatimus (%). Kuvassa 3 on esitetty metsähakkeelle aiheutuvia lisäkustannuksia siirtokuormaus-terminaalin vuosituotannon mukaan.



**Kuva 3.** Siirtokuormauterminaalien kustannukset tuotetun metsähakkeen hintaan (€/MWh) siirrettynä kentän hankinta- ja rakennuskustannuksen neliöhinnan (€/m<sup>2</sup>) sekä vuosittaisen käsiteltävän määrän (GWh) mukaan. Pitoaika 20 vuotta, pääoman tuotto vaatimus 10 %.

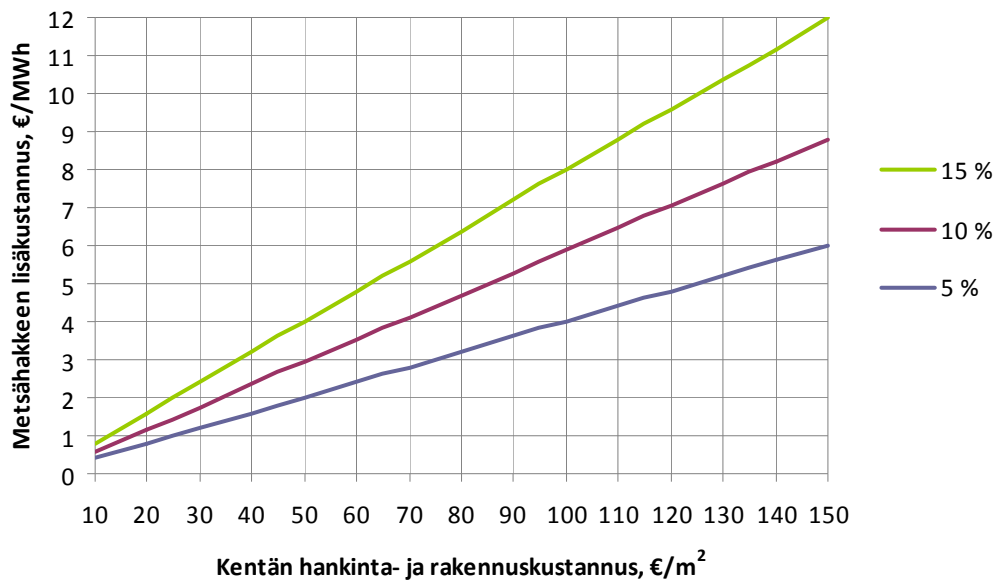
Pelkän siirtokuormauterminaalien aiheuttamat lisäkustannukset metsähakkeelle eivät ole kovin merkittäviä, jos summaa verrataan esimerkiksi nykyiseen hintatasoon (noin 18 €/MWh). Varsinaisen varastoinnin terminaalikustannus riippuu etenkin varaston kierto-

nopeudesta. Kuvassa 4 on tarkasteltu terminaalini läpi virtaavan biomassan kiertonopeuden merkitystä metsähakkeen lisäkustannukselle.



**Kuva 4.** Varastointialueen kustannukset tuotetun metsähakkeen hintaan (€/MWh) siirrettynä kentän hankinta- ja rakennuskustannuksen neliöhinnan (€/m<sup>2</sup>) sekä kiertonopeuden (kertaan vuodessa, krt/a) mukaan. Pitoaika 20 vuotta, pääoman tuottovaatimus 10 % (ei sisällä varastoidun polttoaineen korkokustannusta).

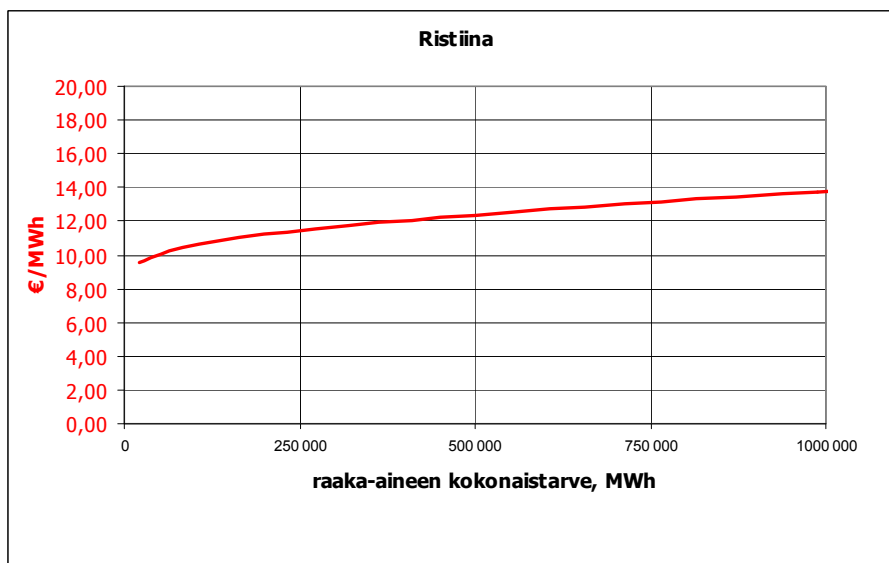
Terminaalitoiminnan kustannuksiin vaikuttaa myös terminaalirytyksen pääoman tuottovaade investoinnille. Kuvassa 5 on esitetty pääoman tuottovaatimuksen vaikutus kausivarastointialueen (kiertonopeus, 1 krt/a) kustannuksiin tuotetun metsähakkeen hinnan (€/MWh) ja kentän hankinta- ja rakennuskustannuksen neliöhinnan (€/m<sup>2</sup>) suhteen.



**Kuva 5.** Kausivarastointialueen (kiertonopeus 1 krt/a) kustannukset tuotetun metsähakkeen hintaan (€/MWh) siirrettynä kentän hankinta- ja rakennuskustannuksen neliöhinnan (€/m<sup>2</sup>) sekä pääoman tuottovaatimuksen (%) mukaan. Pitoaika 20 vuotta (ei sisällä varastoidun polttoaineen korkokustannusta).

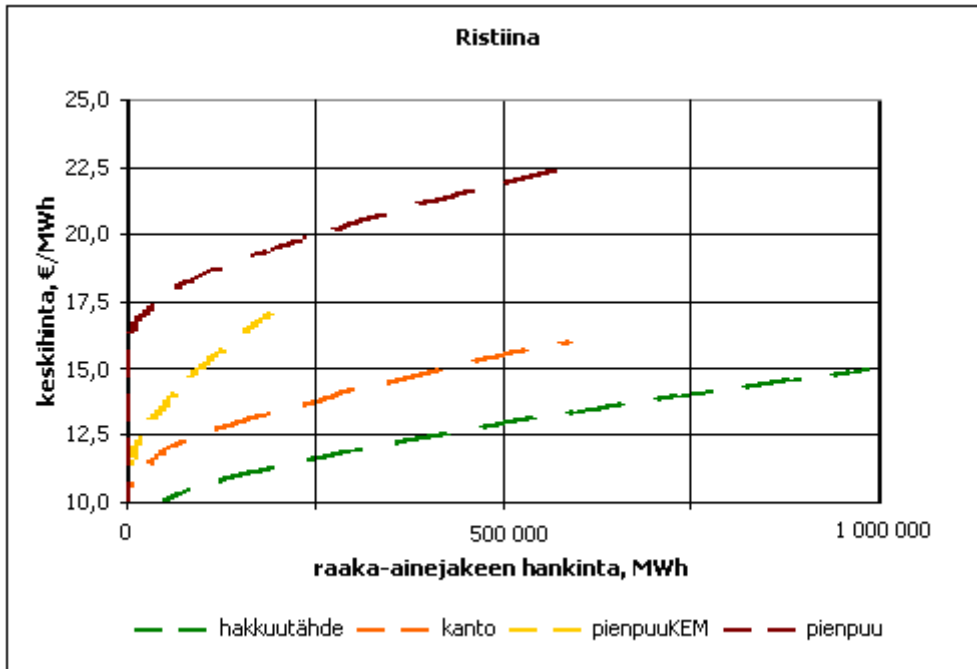
### 11.3.2 Saatavuus ja hankintakustannukset

Hakettamattoman metsäbiomassan saatavuuden ja hankintakustannusten tuloksena esitetään vuosittainen teknistaloudellinen tarjontakäyrä Ristiinan mahdolliseen terminaaliin toimitettuna. Tarjontakäyrän mukaiset hakettamattoman metsäbiomassan keskimääräiset kustannukset vaihtelivat 10–14 €/MWh välillä riippuen hankintamäärästä (kuva 6).



**Kuva 6.** Hakettamattoman metsäbiomassan tarjontakäyrä Ristiinaan

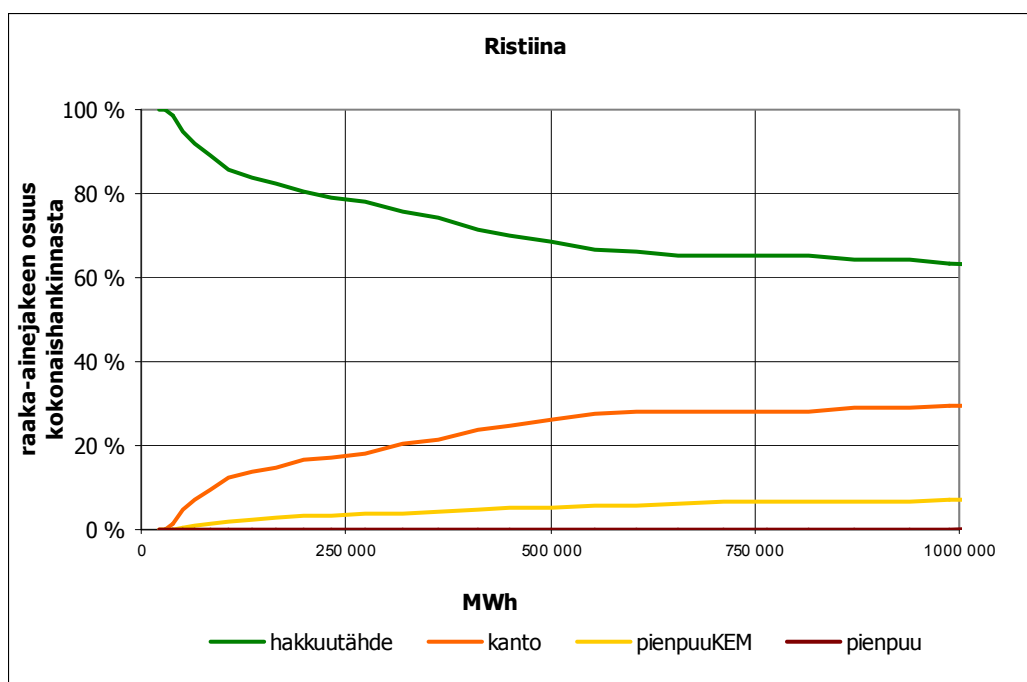
Keskimääräistä hankintakustannusta avaamalla nähdään kustannusten muodostuminen metsäpolttoaine-erittäin (kuva 7). Edullisin metsäpolttoaine suurterminaaliin hankittuna olisi hakkuutähde ja seuraavaksi edullisin olisi kantobiomassa. Kalleinta olisi pienpuu, vaikka tuet onkin otettu huomioon.



**Kuva 7.** Hakettamattoman metsäbiomassan tarjontakäyrä raaka-aineittain Ristiinaan

Saatavuuden ja hankintakustannusten perusteella hakkuutähteet olisivat suurin hankinta-erä terminaaliin (kuva 8). Hakkuutähteiden osuus olisi esimerkiksi 80 % suurterminaalin hankintamäärällä 200 GWh. Kantojen osuus olisi toiseksi korkein ja pienpuun osuus alhaisin.





**Kuva 8.** Metsäbiomassan raaka-aineiden prosentuaalinen osuus kokonaishankinnasta

### 11.3.3 Kannattavuus

Terminaalihaketusketjun kannattavuutta eri kokoluokittain ja eri haketusmenetelmillä on vertailtu tienvarsihaketusketjuun. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty toimitusketjun kokonaiskustannukset Etelä-Savon olosuhteissa. Taulukoiden neljä ylintä riviä kuvaavat etäterminaalihin perustuvia toimitusketjuja (jolloin toimitusmäärä ilmaisee yhden terminaalin kautta kulkevaa määrää), toiseksi alin rivi tarkoittaa laitoksen lähellä olevaa keskitettyä terminaalihaketusketjuja (”käyttöpaikkahaketusketju”) ja alin rivi tienvarsihaketusketjuja. Oletuksena oli, että laitokselle toimitettava metsähakkeen kokonaismäärä on 500 GWh/a. Tässä tarkoitettujen etäterminaalien edustivat siirtokuormauspaikkoja. Kentän hankinta- ja rakennuskustannuksiksi oletettiin 100 €/m<sup>2</sup>. Kausivarastointi maksaisi lähes saman verran terminaalien koosta riippumatta, joten se ei muuttaisi ketjujen keskinäistä edullisuusjärjestystä.

**Taulukko 5.** Dieselkäyttöiseen mobiilihakkuriin/-murskaan perustuvien toimitusketjujen kustannuksia, €/MWh. (Km, etäisimmät)

Vuosimäärä, GWh	Terminaalinkiinteät	Pyöräkuormaaja	Puun hinta terminaaliin tuotuna	Kaukokuljetus	Haketus	Yhteensä	Km
Terminaalihaketus							
20	1,0	0,5	9,6	2,2	2,2	15,5	26
<b>50</b>	0,4	0,3	10,1	2,1	2,2	<b>15,1</b>	40
100	0,2	0,2	10,6	2,1	2,2	15,3	54
200	0,1	0,2	11,3	2	2,2	15,8	74
”Käyttöpaikkahaketus”							
500	0,1	0,1	12,1	1,1	2,2	15,6	106
Tienvarsihaketus							
<b>500</b>			6,8	3,1	3,9	<b>13,8</b>	

Tienvarsihaketus osoittautui kustannustehokkaimmaksi hankintavaihtoehdoksi (13,8 €/MWh). Keskikokoinen etäterminaali (50 GWh -> 15,1 €/MWh) osoittautui kustannustehokkaimmaksi terminaaliratkaisuksi, kun puun hienonnuksessa käytetään mobiilihakkureita/-murskia. Suurikokoiset terminaalit lisäävät suhteellista kannattavuuttaan, mikäli oletetaan käytettävän kiinteää sähkökäyttöistä murskainta (taulukko 6). Käytettäessä kiinteää murskainta kustannustehokkaimmaksi terminaaliksi osoittautui voimalaitoksen viereen sijoitettu suurterminaali (500 GWh -> 14,8 €/MWh).

**Taulukko 6.** Sähkökäyttöiseen murskaimeen perustuvien toimitusketjujen kustannuksia, €/MWh.

Vuosimäärä, GWh	Terminaalinkiinteät	Pyöräkuormaaja	Puun hinta terminaaliin tuotuna	Kaukokuljetus	Murskaimen käyttö	Yhteensä
Terminaalihaketus						
20	8,0	0,5	9,6	2,1	1,4	21,6
50	3,2	0,3	10,1	2,1	0,8	16,5
100	1,6	0,2	10,6	2,05	0,8	15,2
200	0,8	0,2	11,3	2	0,8	15,0
”Käyttöpaikkahaketus”						
<b>500</b>	0,5	0,1	12,1	1,1	0,9	<b>14,8</b>
Tienvarsihaketus						
<b>500</b>			6,8	3,1	3,9	<b>13,8</b>

## 11.4 Tulosten tarkastelu

### 11.4.1 Terminaalikustannukset

Terminaalikäsitteilyjen kannattavuustarkastelu voidaan jakaa kahteen osaan, terminaalinsiirtokuormaukseen ja kausivarastointiin. Siirtokuormauksen kannattavuus riippuu kulje-

tusmatkasta. Mitä pidempi matka, sitä kannattavampaa siirtokuorma on. Terminaaliketjuissa tavara tuodaan terminaaliin hakettamattomana, haketetaan siellä, varastoidaan lyhyen aikaa hakkeena ja kuormataan laitokselle vietäväksi. Mahdollista on myös valmistaa hake tienvarsivarastolla ja tuoda valmiina hakkeena terminaaliin. Tämä tapa voi tulla kyseeseen erityisesti silloin, kun laitos on hakkeen syntypaikalta pitkän matkan päässä ja jatkokuljetukseen käytetään junaa tai laivaa.

Suurimittakaavaisella terminaalitoiminnolla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä terminaalin läpivirtaavan metsähakkeen yksikkökustannuksissa. Tuplaamalla tuotantomäärä 50 GWh:sta 100 GWh:iin, yksikkökustannukset alenisivat samassa suhteessa 0,4 €/MWh:sta 0,2 €/MWh:iin ja edelleen tuotantomäärällä 200 GWh:a yksikkökustannukset alenisivat ollen 0,1 €/MWh (rakentamiskulujen ollessa 100 €/m<sup>2</sup>).

Varastoterminaalia voidaan tarvita pienten tuotantovaihteluiden tasoittamiseen, kausivarastointiin tai kelirikkoajan polttoaineiden varastointiin. Varastoinnin tarve riippuu siitä, kuinka suuren osan koko polttoainekäytöstä puu kattaa. Terminaalien ylläpitäminen kausivarastona, jossa esimerkiksi kesällä korjattua tavaraa tuodaan talvea varten varastoon, tulee tutkimuksen mukaan varsin kalliiksi, erityisesti, jos kentän rakennuskustannuksena käytetään tietyissä olosuhteissa arvioitua 100 euroa/m<sup>2</sup>. Toteutuneiden terminaalien perustamiskustannukset ovat kuitenkin olleet huomattavasti alhaisempia (20–40 €/m<sup>2</sup>). Kentän rakentamiskustannusten alentamiseksi voisi olla mahdollista käyttää esimerkiksi tuhkaa tai kannoista ym. jäänyttä kiviä pitoista ainesta pohjarakenteisiin. Koska kentänrakentamisen kustannuksilla voi olla ratkaiseva vaikutus etenkin kausivarastoinnin kannattavuuteen, tulisi näitä vaihtoehtoja selvittää lisää.

Biomassan kiertonopeutta lisäämällä voidaan alentaa merkittävästi terminaalien läpivirtaavan materiaalin yksikkökustannuksia. Nopeuttamalla perinteisen kausivarastoinnin vuosikierto (1 krt/a) kuukausikierroksi (12 krt/a), terminaalien yksikkökustannukset vähenisivät 5,9 €/MWh:sta 0,5 €/MWh:iin (rakentamiskulujen ollessa 100 €/m<sup>2</sup>).

Terminaaliyrityksen pääoman tuottovaatimus vaikuttaa oleellisesti terminaalikuluihin, kun toiminnan ajatellaan olevan markkinalähtöistä. Alentamalla pääoman tuottovaatimusta 10 %:sta 5 %:iin saavutettaisiin terminaalien läpi virtaavan materiaalin yksikkökustannuksissa 32%:n säästö. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi kausivarastoinnin kuukausikierrossa (12 krt/a) yksikkökustannusten laskua 0,5 €/MWh:sta 0,3 €/MWh:iin (rakentamiskulujen ollessa 100 €/m<sup>2</sup>).

Varastoinnin hintaan vaikuttaa luonnollisesti myös maan arvo. Terminaalien perustaminen voimalaitokselle olisi kannattavaa, mutta koska monet voimalaitokset ovat kaupunkialueen tuntumassa, maan arvo voi olla huomattavasti suurempi kuin harvemmin asutuilla seuduilla. Myös ruuhkaisuuden hillitseminen tai meluisuuden vähentäminen saattaa ohjata terminaalit sijoittumaan voimalaitoksen ulkopuolelle etäterminaaleihin.

#### 11.4.2 Saatavuus ja hankintakustannukset

Metsäbiomassan tarjontakäyrän mukaiset keskimääräiset kustannukset vaihtelivat 10–14 €/MWh välillä hankintamäärästä riippuen. Etelä-Savossa hankinta sijoittuu vesistöjen rikkomalle alueelle, jossa kilpailu kaikesta puuraaka-aineesta on jo ennestään kovaa. Optimaalisessa metsäbiomassan raaka-aineen hankinnasta suurin osa olisi hakkuutähdehaktetta, joka on korjuukustannuksiltaan edullisinta.

Hakkuutähteiden mahdollista alueellista saatavuutta saattaa jatkossa heikentää kysynnän ja kilpailun kiristyminen. Hakkuutähteen kantohinnan voi olettaa nousevan kysynnän mukaan, mikä lisäisi hankinnan kustannuksia. Kantojen käyttö energiana vaatii lähtökohtaisestikin terminaalikäsitteilyn, joten sen osuutta pitäisi pyrkiä lisäämään. Pienpuun kilpailukykyistä hankintaa rasittavat korkeat kustannukset ja riippuvuus tuista.

Terminaalipuiden rajaaminen koskemaan lähes pelkästään päätehakkuista riippuvaisia raaka-aineita on kuitenkin lähtökohtaisesti riski. Terminaalin liiketoiminnallinen ajatushan on turvata asiakkaiden biomassan saatavuutta ja toimitusvarmuutta kaikissa tilanteissa. Tämän tähden energiapienpuun osuuden kasvattaminen terminaaleissa olisi tärkeää. Tämä lisäisi kuitenkin hankinnan keskimääräisiä kustannuksia ja vaikeuttaisi kilpailukykyä verrattuna vaihtoehtoihin hankintatapoihin.

#### 11.4.3 Kannattavuus

Tienvarsihaketus osoittautui kustannustehokkaimmaksi hankintavaihtoehdoksi (13,8 €/MWh). Kustannustehokkaimmaksi terminaalimalliksi osoittautui voimalaitoksen viereen sijoitettu suurterminaali (käyttöpaikkahaketus), jossa käytetään kiinteää murskainta (500 GWh -> 14,8 €/MWh). Keskikokoinen etäterminaalimalli osoittautui puolestaan kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi, mikäli puun hienonnuksessa käytetään mobiilihakkureita/-murskaimia (50 GWh -> 15,1 €/MWh). Toisaalta suuremmat etäterminaalimallit olivat kaiken kaikkiaan melko kilpailukykyisiä, mikäli käytetään kiinteää murskainta (200 GWh -> 15,0 ja 100 GWh -> 15,2 €/MWh).

Tienvarsihaketuksessa menetetään mahdollisuus tehdä kausivarastoja hyvien tieyhteyksien varteen, joten se ei ole täysin vertailukelpoinen muiden hankintaketjujen kanssa. On myös huomattava, että kuljetusmatkat olivat tässä tutkimuksessa melko lyhyitä. Pidemmällä kuljetusmatkoilla terminaalihaketusketjujen kilpailukyky paranee.

Terminaalihaketusketjun kannattavuus kokonaisuutena parantuu, mikäli seuraavat ehdot täyttyvät:

- Terminaalin avulla puut saadaan heti metsäkuljetuksen jälkeen pois tienvarsivarastoilta ja metsänomistaja näkee tämän merkittävänä etuna
- Puu kuivuu terminaalissa, paikka on aurinkoinen ja tuulinen
- Yksi ”ylimääräinen” käsittelykerta tekee sen, että raaka-aineen mahdolliset epäpuhtaudet saadaan ravisteltua kokonaan pois
- Haketukseen käytetään kiinteätä laitetta, joka toimii sähköllä. Riittäväkapasiteetinen sähkölinja on lähellä.

- Puun vuosimäärä on niin suuri, että kiinteä hakkuri toimii maksimikapasiteetilla
- Kestävät hakkuumahdollisuudet lähiympäristössä ovat niin hyvät, että hakkurin kapasiteetin täyskäytön edellyttämä puumäärä saadaan lyhyeltä matkalta (< 30 km) terminaalin ympäristöstä.
- Myös kannot tuodaan terminaaliin. Ne esimurskataan, hienoaines ja sitä myötä suurin osa epäpuhtauksista seulotaan pois ja puhdas karkeamurske johdetaan pienpuun yms. hienontamiseen tarkoitettuun murskaimeen tai hakkuriin. Tämä osaltaan mahdollista hakkurin täyskäytön.
- Haketta kuljetetaan 150 m<sup>3</sup>:n hakerekoilla, johon saadaan maksimikuorma. Jos matka laitokselle on pitkä, voidaan käyttää junaa tai alusta.
- Terminaalin lähetyksillä ei ole asutusta, joka häiriintyisi melusta tai pölystä.
- Kentän perustamisolosuhteet ovat hyvät ja maa on valmiiksi riittävän kantavaa ja tasaista.
- Terminaali ei lisää hyönteistuhojen vaaraa ympäröivissä metsissä.
- Laskentakorko ja pääoman tuottovaatimus ovat pieniä.
- Puun menekki on varmaa ja tasaista, laitosten ostomäärissä ei tapahdu merkittäviä muutoksia.
- Mittaukset eri vaiheissa saadaan hoidettua luotettavasti ilman merkittäviä kustannuksia.
- Maksatuksessa ei tule maksujen kohdistumisen tai aikataulun aiheuttamia ongelmia.
- Laitokset käyttävät pääasiassa puuta (tai muita terminaalin kautta kulkevia polttoaineita) polttoaineenaan

Taulukossa 7 on listattu yleisiä toimintaympäristön mahdollisia riskejä ja mahdollisuuksia. Nämä osaltaan ratkaisevat, onko raaka-ainetta saatavissa ja käykö se kaupaksi. Metsähakkeen markkinahinta nykyisin on noin 18 €/MWh.

**Taulukko 7.** Kustannustekijöitä ja huomioonotettavia asioita terminaalitoimintaa suunniteltaessa.

<b>Asia</b>	<b>Vaikutus tuotantokustannuksiin (-) tai myyntihintaan (+), arvio</b>	<b>Keinoja riskin vähentämiseen</b>
Metsänomistajien myyntihalukkuus	+-, Riippuu suhdanteista, mielikuvista ym.	Metsänkäsittelyvaihtoehtojen vertailututkimukset, tiedotus, kantoraha, korjuumenetelmien pehmentäminen
Energiapuunkorjuun todellinen tai kuviteltu vaikutus metsän tulevaan kasvuun	-, Voi olla useita €/MWh	Tiedotus, kohdevalinta, lannoitus, kantoraha
Pienet leimikot	+-, <1 €/MWh	Leimikoiden yhdistäminen, vaatii tiedotusta
Korjuutuet	+	Poliittinen vaikuttaminen

Korjuuteknologian kehittyminen	+, < 3 €/MWh	Tuotekehitys
Kuljetuskaluston suurentaminen (irtotavara, kuiva hake)	+, 10–20 % kuljetuskust., kuivalla enemmänkin	Tuotekehitys
Kuljetuskaluston keventäminen (hake)	+, 20% kuljetuskust.	Tuotekehitys
Rautatie- ja aluskuljetukset	+, Useita €/MWh pitkillä matkoilla	Uudet organisaatiomallit, uusi tai muunneltu vanha kalusto erityisesti tällaiselle tavaralle
Lisäkysyntä pelleteistä ym. kiinteistä jalosteista	+, 0–20 €/MWh (?)	Öljyn kallistuminen, päästöoikeuden hinta, tiedotus
Lisäkysyntä biodieselistä	+, voi olla suurikin	Öljyn kallistuminen, tuotekehitys, tuet
Päästöoikeuden hinta	+ 0–15 €/MWh, - noin 5 €/MWh (seuraavat 10 vuotta)	Poliittinen vaikuttaminen
Sähköveron palautus, syöttötariffi	+?, - max. n. 3 €/MWh nykytilanteeseen verrattuna	Poliittinen vaikuttaminen
Terminaalilisiä myyntihintana tai tukena	+	Poliittinen vaikuttaminen, markkinaohjaus
Puun energiakäytön, erityisesti kantojen, CO <sub>2</sub> -taseen määrittely	-, Kannoilla päästökertoimen määrittäminen lyhyen aikavälin CO <sub>2</sub> -taseen mukaan voi heikentää suhteellista kilpailukykyä useilla €/MWh	Muiden polttoaineiden saataavuus, energiahuollon kokonaisuus, tulokset mahdollisista lisätutkimuksista, politiikka
Meluntorjunta (haketus, purkaminen, liikenne)	-, esim. meluaidat häiriintyvään suuntaan 200–400 €/metri	Terminaalien sijainti, murskaimen tyyppi, aktiiviset torjuntakeinot
Pölyntorjunta (ks. ed.)	-, esim. pölynimettä ja -suodatus murskaimelta noin 20–50 snt/MWh	Terminaalien sijainti, murskaimen tyyppi, aktiiviset torjuntakeinot

Toimitusvarmuuden edistämiseen tähtäville terminaalitoiminnoille on vaikea löytää markkinalähtöistä liiketaloudellista ratkaisua. Tämän tähden nykyiset terminaalit toimivatkin polttoaineen hankkijan omistuksessa ja ohjauksessa. Markkinalähtöiseen terminaalitoimintaan tarvittaisiin parempaa markkinahintaa tai pidempiä markkinahintaan sidottuja toimitussopimuksia vähentämään aloittamisen riskejä. Myös teknologian kehittymisellä ja erityisesti taloudellisilla ohjauskeinoilla olisi ratkaiseva vaikutus liiketoiminnan käynnistymiseen mahdollistamaan suurimittakaavaista hankintaa.

## 11.5 Johtopäätökset

Tutkimuksessa tarkastelulle suurterminaalille on olemassa mahdollisuudet markkinalähtöisellekin liiketoiminnalle, mikäli toimintaympäristö muuten kehittyy terminaaleille myönteisellä tavalla kysyntämäärien ja hintatasojen osalta. Terminaalin läpivirtaavan materiaalin yksikkökustannuksia on mahdollista pienentää, mikäli toiminta on suurimittakaavaista ja tehokasta. Etäterminaalihaketusketjun kokonaiskannattavuuden pitäisi olla kilpailukykyinen suoran kuljetusketjun ratkaisuihin, mikä on erityisen haastavaa tarkastelemalla pelkästään ketjujen välisiä kustannuseroja. Tämän tähden toimitusvarmuuden parantumiselle pitäisi pystyä määrittämään arvo. Terminaalien puupolttoaineen toimitusketjulle tuoma lisäarvo voidaan jakaa siirtokuormaukseen, varastointiin ja jalostukseen.

Pelkkään siirtokuormaukseen riittää melko pieni alue, murskauksen kertaerän suuruinen, ellei varastointimahdollisuutta hyvän tien varressa haluta lisätä verrattuna nykyisiin yleisimpään ketjuun, jossa biomassaa haketetaan tienvarsivarastolla suoraan odottavaan autoon. Siirtokuormaus on tavallisesti kannattavaa, kun kuljetusmatka yhteen suuntaan ylittää 100–150 km. Hyöty on suurin kuivalla puulla ja silloin, kun kuljetuksessa laitokselle voidaan käyttää kuljetuskapasiteetiltaan suurikokoisia rekkoja, junia tai aluksia. Siirtokuormauksen etuna tienvarsihaketuksen nähden on myös potentiaalisesti edullisempi murskaus, jonka kustannushyöty vaihteli tässä tutkimuksessa välillä 1,7–3,1 €/MWh. Edullisemmän murskauksen kustannushyöty ei kuitenkaan aina riitä kattamaan lisätyövaiheiden, alkukuljetuksen (> 3 €/MWh) ja muiden terminaalitoimintojen, lisähintaa. Tästä kustannuserosta johtuen, tulee vaatimus pitkästä ja edullisesta kaukokuljetuksesta terminaalihaketusketjun kilpailukykyyn parantamiseksi verrattuna suoriin toimitusketjuihin. Siirtokuormauksen kannalta terminaaleja tarvitaan alueilla, joilla on paljon puuta, mutta vähän käyttäjiä lähellä. Tällaisia alueita voivat olla esimerkiksi pohjoinen Keski-Suomi, Pohjois-Karjala ja Kainuu. Myös Etelä-Savosta riittäisi periaatteessa puuta viettäväksi kauemmas.

Varastointitarve voi liittyä joko lyhytaikaiseen toimitusvarmuuden takaamiseen esimerkiksi vaihtelevien keliä ja kaluston saatavuuden mukaan tai vuosikierrolla toimivaan kausivarastointiin, jolla tasataan tuotannon ja käytön vuodenaikaisvaihtelua. Näiden tarpeellisuus riippuu hyvin paljon laitoksen käyttämän puupolttoaineen osuudesta. Helpommin varastoitava turve tai kivihiili ovat laitostalouden kannalta edullisia käytettäviksi aikana, jolloin puun saatavuus on epävarmaa. Jos puuta on tarpeen kausivarastoida, on pelkkien varastointikustannusten kannalta edullisinta tehdä se tienvarressa. Toisaalta toimitusvarmuus on paremman väylän yhteydessä olevalta terminaalivarastolta parempi. Miten suuri tämä ero on, eli paljonko terminaalivarastoinnista voitaisiin maksaa enemmän, on toistaiseksi tarkemmin selvittämättä. Tiedon saaminen vaatisi selvitystä suorien toimitusketjujen ongelmista suhteessa käyttömääriin.

Jalostus voi olla polttoaineen palakoon muuttamista ja hallintaa, kuivausta, kemiallista jalostamista tms. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin jalostusta vain haketuksen ja murskauksen osalta. Terminaali voi edesauttaa polttoaineen kuivumista, mikäli varastopaikka on avoin ja tuulinen. Vertailututkimuksia terminaalin ja pienemmän tienvarsivaraston kuivumisen välillä ei ole toteutettu. Keinokuivaus ja kemiallinen jalostaminen saattavat olla

hyvinkin merkittäviä tulevaisuuden toimintamuotoja. Niiden sopivuus terminaaleihin riippuu siitä, kuinka pienimuotoiseen tuotantoon kannattavat ratkaisut pystytään ulottamaan.

Tutkimuksen perusteella tienvarsihaketusketju osoittautui edullisimmaksi hankintavaihtoehtoksi Etelä-Savossa (13,8 €/MWh). Kustannustehokkaimmaksi terminaalimalliksi osoittautui voimalaitoksen viereen sijoitettu suurterminaali (käyttöpaikkahaketusketju), jossa käytetään kiinteää murskainta (500 GWh -> 14,8 €/MWh). Keskipitkoinen etäterminaalimalli osoittautui puolestaan kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi, mikäli puun hienonnuksessa käytetään mobiilihakureita/-murskaimia (50 GWh -> 15,1 €/MWh). Toisaalta suuremmat etäterminaalimallit olivat melko kilpailukykyisiä, mikäli käytetään kiinteää murskainta (200 GWh -> 15,0 ja 100 GWh -> 15,2 €/MWh).

Kokonaisuudessaan tilanne ei tällä hetkellä näytä kovin kannattavalta erillisen terminaali-toimintaa pyörittävän yrityksen toiminnalle, vaan pikemminkin terminaalien ylläpito on suurempien polttoaineen toimittajien ja käyttäjien intressi osana hankinnan kokonaisuutta. Toisaalta, tilanne voi muuttua, mikäli terminaalin asiakkaana on vähintään yksi voimalaitos, joka käyttää puupolttoaineita ympäri vuoden suurella osuudella, ja pystytään luomaan pitkäaikaisia toimitussopimuksia, ja voimalaitosasiakkaat sijaitsevat riittävän pitkällä etäisyydellä (> 100 km) aiotun terminaalin sijaintipaikasta. Toisaalta, keskimääräiset terminaaliketjun mukaiset kustannukset olivat tutkimuksen mukaan huomattavasti alhaisemmat kuin metsähakkeen nykyinen markkinahinta (noin 18 €/MWh). Täytyy kuitenkin huomioida, että hankintamäärästä suurinta osaa edusti kantohinnaltaan ja korjuukustannuksiltaan halpaa hakkuutähdettä, joka laskee hankinnan keskimääräisiä kustannuksia. Kilpailu ja mahdolliset markkinahäiriöt saattavat johtaa hintojen nousuun käyttömäärien kasvaessa ja hankinnan painottuminen päätehakkuista riippuvaiseen halvimpaan raaka-aineeseen hakkuutähteeseen saattaisi olla iso riski terminaalin perustamiselle.

Markkinalähtöisen terminaali-toiminnan liiketaloudelliset edellytykset paranevat, sitä mukaa kun metsähakkeen ja laajemmin uusiutuvan energian markkinat kehittyvät ja kauppaa aletaan käydä suuremmista tasalaatuisista eristä toimitusmäärien kasvaessa, jolloin edellytykset toimitusvarmuudellekin parantuisivat. Markkinat voisivat kehittyä kysynnän ja tarjonnan mukaisesti, mikäli metsähakkeelle syntyisi kansallinen markkinapaikka tai kilpailun kautta syntyisi lisää ostajasta ja myyjästä riippumattomia palveluntarjoajia polttoaineen toimittamiseen. Näin saattaisi syntyä markkinalähtöistä liiketoimintaa myös terminaaleille ainakin kaukokuljetukselle sopiviin paikkoihin. Mikäli metsäperäisten biomassojen energiatiheyttä pystyttäisiin parantamaan jalostuksella kustannustehokkaasti ja niiden markkinahinta nousisi, olisi kansainvälisten markkinoiden syntyminen hyvin todennäköistä samaan tapaan kuin pelleteillä nykyään.

Oleellisinta alueellisen markkinalähtöisen terminaali-toiminnan syntymisen kannalta olisi kuitenkin vakaa kysyntä useammasta suuremmasta käyttökohteesta. Metsänomistajien metsäbiomassan tarjontahalukkuudella on luonnollisesti vaikutusta markkinoiden kehitykseen ja toimivuuteen. Alueellisten terminaali-paikkojen syntymiseen vaikuttavat myös paikkakohtaiset ympäristö- ja asemakaavavaatimukset. Kaupungeissa sijaitsevien energialaitosten maa- ja lähialueille saattaa olla vaihtoehtoja tuottavampaa käyttöä.



Energialaitokset tulevat tekemään omia strategisia valintojaan siitä ovatko itse mukana polttoaineen hankinnassa vai ovatko siinä pelkästään asiakkaan roolissa. Markkinoiden tuleva suunta ja kehitys riippuvat kuitenkin viime kädessä energiamarkkinoiden kehitystä koskevista kansallisista ja kansainvälisistä poliittisista päätöksistä.

## Lähteet

Anttila, P., Korhonen, K.T. & Asikainen, A. 2009. Forest energy potential of small trees from young stands in Finland. In: Mia Savolainen (ed.). Bioenergy 2009. Sustainable Bioenergy Business. 4th International Bioenergy Conference from 31st of August to 4th of September 2009. Book of Proceedings Part I. FINBIO:n julkaisusarja - FINBIO Publications 1(44), pp. 221–226.

Brown, M. 2009. Lausunto Reutersin verkkosivulla, artikkelissa What Copenhagen Accord means for prices, markets. <http://www.reuters.com/article/idUSLDE5BK00C20091221>

Föhr, J. 2008. Metsähakkeen jalostusarvon nostaminen eri kuivausmenetelmillä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto. Diplomityö.

Hakkila, P. (toim.). 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. 135 s.

Hallituksen esitys 2010 a. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. 10.6.2010.

[http://www.tem.fi/files/27168/HEluonnos\\_100610\\_lyhennetty.pdf](http://www.tem.fi/files/27168/HEluonnos_100610_lyhennetty.pdf)

Hallituksen esitys 2010 b. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. HE 152/2010.

<http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2010/20100152>

IEA, International Energy Agency, 2008. Marginal emission reduction costs for the global energy system, 2050. Verkkosivu.

[http://www.iea.org/Textbase/nptable/2008/ETP2008\\_f2\\_14.pdf](http://www.iea.org/Textbase/nptable/2008/ETP2008_f2_14.pdf)

Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. In publication: M. Kuusinen & H. Ilvesniemi (eds). Energiapuun korjun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja.

Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3.

Leppänen, T. 2010. Etelä-Savon Energia Oy:n Kivikankaan terminaalikustannus ja pohjapiirros. Tiedonanto 6.10.2010.

Metinfo. Forest information services (2009). <http://www.metla.fi/metinfo/index-en.htm>.

Ranta, T., Korpinen, O.-J., Jäppinen, E. & Karttunen, K. 2010. Forest biomass supply logistics solution to feed a commercial scale biorefinery. Forest Bioenergy 2010 Conference. 1-2 September 2010. Tampere. Finland. Book of Proceedings. FINBIO Publications 47. p. 153-164. ISBN 978-952-5135-47-3

Ranta, T. & Rinne S. 2006. The profitability of transporting uncomminuted raw materials in Finland. Biomass and Bioenergy, vol. 30, no. 3, pp. 231–237.

Ratahallintokeskus. 2009. Raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 4/2009. Tekijät: Iikkanen, P., Mukula, M., Kosonen, T. & Kiuru, T.

RIL, Suomen rakennusinsinöörien liitto. 2006. [Infrarakentamisen kustannushallinta : hanke- ja rakennusosahinnasto](#). 90 s.

Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan osasto. Diplomityö.

Ryymin, R., Pohto, P., Laitila, J., Humala, I., Rajahonka, M., Kallio, J., Selosmaa, J., Anttila, P. & Lehtoranta, T. (2008). Metsäenergian hankinnan uudistaminen. Loppuraportti 12/2008.

Suomalainen, A. 2001. Puupolttoaineiden vaikutus voimalaitoksen käyttötalouteen. Tutkimusraportti ENE3/T0078/2001. VTT Energia, Jyväskylä. 21 + 4 s. [Viitattu 7.6.2010]. [http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ja\\_aktivointi/Julkaisut/JORY-raportit/PUUJ05.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/JORY-raportit/PUUJ05.pdf)

Uusi-Marttila, M. 1998. [Maanrakennusliikkeen kustannukset kunnallisteknisissä töissä](#) /. Diplomityö : Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto. 84 s.

## 12 Loppupäätelmä

Hankkeen tavoitteena oli tutkimuksen ja kehittämisen keinoin pyrkiä tukemaan energiapuuharvennuksien korjuun ja pienpuun energiakäytön lisäystä Etelä-Savossa. Keskeistä oli tarkastella energiapienpuun logistiikan kokonaisuutta metsänkasvatuksesta lopputuotteen käyttöön asti. Hankkeen tavoitteena oli luoda toimintamalli, jonka avulla saadaan maakunnan pienpuun energiahyötykäyttö moninkertaistettua.

Toimintamalli rakentuu energiapienpuun arvoketjun kokonaisuuden ympärille, jossa jokaisella toimijalla on rooli osana kokonaisketjua. Metsänomistajille olennaista olisi kytkeä suunnitelmallinen metsänhoito tähtäämään energiapuuharvennuksen sisältämään metsänkasvatukseen ja panostaa energiapuun tarjontaan metsänhoitotoimenpiteiden yhteydessä. Polttoaineen toimittajat pystyvät edelleen lisäämään toimintansa kannattavuutta ja kilpailukykyä tehokkuuden ja laadun parantamisella. Metsä- ja energiateollisuudella polttoaineen hankkijoina on mahdollisuudet luoda kokonaisuudelle toimivat markkinat edistämällä polttoaineen käyttöä ja kehittämällä suurimittakaavaisen toimintamallin mahdollistavia ratkaisuja hankintaan. Tutkimushankkeessa todetut tulokset osoittavat, että energiapienpuulla on mahdollisuuksia suurimittakaavaisessa hankinnassa, kunhan arvoketjussa pystytään tehokkuuden ja laadun jatkuvaan parantamiseen.

Myönteisinä energiapienpuun suurimittakaavaista hankintaa tukevinä tutkimustuloksina olivat metsänomistajien positiivinen suhtautuminen energiapienpuun suunnitelmalliseen tuotantoon ja myyntiin. Myyntihalukkuus oli myönteisintä energiapienpuulla, sillä keskimäärin 79 % metsänomistajista vastasi olevansa valmis luovuttamaan sitä maksua vastaan. Lähes yhtä hyvä myyntihalukkuus oli oksa- ja latvusmassalla 76 %. Heikoin myyntihalukkuus oli kannoilla, 51 %. Uusi metsänkasvatusohjelma ja -käsittelyvaihtoehto ”energiapuuharvennus” on otettu varsin positiivisesti vastaan, sillä kaksi kolmasosaa metsänomistajista oli kiinnostunut toteuttamaan sitä omalla metsätilallaan. Metsänkäsittelyvaihtoehtojen simulointien mukaan energiapuuharvennuksen sisältämä tiheämpi metsänkasvatus on kilpailukykyinen perinteiseen ainespuun kasvatusketjuun verrattuna jo hyvin alhaisilla energiapienpuun kantohinnoilla. Tämä tarjoaakin varteenotettavan mahdollisuuden lisätä energiapienpuun tarjontaa.

Tarjontaa olisi mahdollisuus lisätä Etelä-Savossa energiapienpuuvarantojen puolesta, sillä energiapienpuun vuosittainen tekninen korjuupotentiaali oli hankkeen tutkimusten perusteella n. 550 000 m<sup>3</sup>. Energiapienpuun käyttö on tilastoitu maakuntatasolla erikseen vasta vuodesta 2008 lähtien, jolloin sen käyttö oli Etelä-Savossa 144 000 m<sup>3</sup>. Aikaisempina vuosina käytön arvioidaan jääneen alle 100 000 m<sup>3</sup>. Energiapienpuun käyttö Etelä-Savossa oli kaikkien aikojen korkein vuonna 2009 ollen yhteensä 171 000 m<sup>3</sup>. Vuoden 2010 energiapienpuun käytön arvioidaan jäävän kuitenkin edellisvuotta pienemmäksi. Etelä-Savon nykyiseen käyttöön ja korjuupotentiaaliin peilaten, energiapienpuun vuosittaista korjuuta olisi mahdollista lisätä noin 400 000 m<sup>3</sup> eli lähes kolminkertaistaa nykyisestä.

Maakunnan runsaat metsävarat sekä pitkäjänteinen työ puupolttoaineiden käytön edistämiseksi ovat nostaneet viime vuosikymmenien aikana Etelä-Savon maakunnan uusiutuvi- en osuudeltaan kansalliseen huipputasoon. Hankkeessa toteutetun Etelä-Savon energiata- se selvityksen mukaan eniten käytetty puupolttoaine vuonna 2008 oli metsähake, jota käytettiin n. 750 GWh (lisäystä n. 200 GWh vuoteen 2006 verrattuna). Metsähakkeen käytön voidaan olettaa maakunnassa edelleen kasvavan mikäli vaihtoehtoisten polttoai- neiden kuten turpeen ja raskaan polttoöljyn hinnat kohoavat tai niiden verotusta tullaan kiristämään. Toisaalta Etelä-Savo toimii puuraaka-aineen osalta hankinta-alueena ympä- röiville maakunnille sekä metsäenergian hankinta-alueena suurille biovoimalaitoksille (Jyväskylä, Lappeenranta ja Kuusankoski), mikä osaltaan luo kilpailua metsäpolttoaineen käytölle itse maakunnassa.

Puupolttoaineiden käyttöä voitaisiin lisätä Etelä-Savossa lähinnä nostamalla metsäenergi- an käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa, sillä puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ovat jo lähes kokonaan hyödynnetty maakunnassa ja toisaalta puun pienkäytön ei oleteta merkit- tävästi kasvavan nykyisestä. Metsäenergian käyttö olisi mahdollista lähes kaksinkertais- taan nykyisestä noin 750 GWh:sta noin 1 400 GWh:n (lisäystä 650 GWh eli n. 325 000 m<sup>3</sup>) vuodessa. Käytön kasvattaminen asettaisi haasteita metsähakkeen saatavuuden ja toimitusvarmuuden parantamiseen kilpailun muutenkin kiristyessä. Etelä-Savosta riittäisi periaatteessa puuta vietäväksi kauemminkin, vaikka metsäenergian käyttö maksimoitai- siinkin maakunnassa. Suuret metsäenergiavarat antavat mahdollisuuden uusien liiketoi- mintojen kehittämiseksi maakuntaan.

Hankkeessa toteutettiin energiapienpuun demonstraatioina energiapienpuun kuivumisen seurantaa ja vaihtoehtoisten haketusketjujen tarkasteluja, joissa vertailukohteena olivat karsimaton kokopuu ja karsittu ranka. Karsittu rankapuu kuivui nopeammin ja kuivem- maksi kuin karsimaton kokopuu seurantajaksojen aikana. Karsitun rankapuuun hakkuussa käytettiin karsivaa ainespuun joukkokäsittelykouraa. Tämä hakkuupää repii kuorta irti puun rungosta, jolloin kuivuminen näyttäisi tehostuvan. Puun kuivaaminen onkin oleel- lista energiapuun hankinnan kannattavuuden parantamiseksi.

Energiapuun kosteuden vähentämisen lisäksi hankinnan logistiset valinnat ovat oleellisia kannattavuuden parantamiseksi. Hankkeessa toteutetut vertailut osoittivat energiapien- puun tienvarsihaketusketjun olevan edullisin hankintamalli. Kokopuun käyttöpaikkahake- tusketjun kustannukset olivat kilpailukykyisiä. Kokopuun kalleimmaksi hankintamalliksi osoittautui terminaalihaketusketju. Rankapuuhun perustuvat vastaavat hankintamallit oli- vat kalliimpia, johtuen pääasiassa korkeammasta kantohinnasta. Edullisin rankapuun hankintamalli oli myös tienvarsihaketusketju, jolle käyttöpaikkahaketusetju oli kilpailu- kykyinen. Terminaalihaketusketju osoittautui kalleimmaksi hankintamalliksi myös ran- kapuulle. Terminaalihaketusketjujen korkeita kustannuksia selittää toisaalta useampi työ- vaihe, mutta myös erityisesti heikompi tiiviys kokopuulle alkukuljetuksessa sekä murs- keille kaukokuljetuksessa. Näihin pitäisi tutkimus- ja kehitystyössä löytää ratkaisuja.

Vaikka tienvarsihaketusketju on edullisin ja suurin metsähakkeen toimitustapa nykyisin, kaikilta tienvarsiavarastoilta ei pystytä toimittamaan suoria hakerekkakuljetuksia voima- laitoksille. Täysperävaunullisia rekkakuormia ei ole mahdollista toimittaa kaikista varas-

topaikoista, sillä varastot saattavat olla hankalassa paikassa tai metsätie olla kantavuudeltaan heikko. Rekkakuormat saattavat jäädä osittain vajaiksi, sillä määrällä hakkeella tulevat painorajat vastaan ja toisaalta kuivalle hakkeelle taas ei saada rekan painorajoitteista lastikapasiteettia täysimääräisesti hyödynnettyä. Pienistä varastoeristä viimeinen kuorma saattaa jäädä vajaaksi, jolloin joudutaan ajamaan nuppikuormalla tai ajamaan uudelle varastopaikalle. Myös puun kuivaamiselle on rajatummalla mahdollisuudet tienvarsivarastoilla.

Metsäpolttoaine hankitaan useimmiten usealta polttoaineen toimittajalta suurvoimalaitokselle. Lisäksi voimalaitoksella voi olla omaa metsäpolttoaineen hankintaa tai terminaalien ylläpitoa. Polttoaineen toimittajat arvioivat ja optimoivat itsenäisesti, miten heidän organisaation ja verkoston avulla on kustannustehokkainta toimittaa haketta tilaajalle toimitussopimusten täyttämiseksi. Tämän tähden käytännön kokonaistoteutuksen liiketoimintakonsepti on useiden toimintamallien ja järjestelmien yhdistelmä. Hankkeessa toteutettujen vertailujen perusteella tienvarsihaketukselle vaihtoehtoisten haketusketjujen osuuden nostamisella voidaan päästä kilpailukykyisiin ja jopa alhaisempiin hankinnan kokonaiskustannuksiin, mikäli tällä tavoin voidaan alentaa myös keskimääräistä kosteuspitoisuutta.

Alueellisesti suurimittakaavaisella tienvarsi-, terminaali- ja käyttöpaikkahaketusketjujen yhdistävällä energiapienpuun liiketoimintakonseptilla voidaan parhaimmillaan alentaa hankinnan kokonaiskustannuksia ja parantaa toimitusvarmuutta. Kaikkia hankintaketjuja on tarkoituksenmukaista ylläpitää ja kehittää. Tienvarsi- ja terminaalihaketusketjujen logistiikan yhteensovittaminen sekä ranka- että kokopuulle tulee olemaan energiapienpuun tutkimuksen ja kehittämisen painopisteenä jatkossakin.

Hankkeessa demonstroitii tienvarsi- ja terminaalihaketusketjuja vertaillen työn tuottavuutta ja laatuominaisuuksia karsimattomalle kokopuulle ja karsitulle rangalle. Tienvarsihaketuksen demonstraatiossa tehottavuus oli karsitulle rankapuulle keskimäärin 11–17 % parempi kuin karsimattomalle kokopuulle, riippuen tarkasteltavasta mittayksiköstä. Tutkimus osoitti rankahakkeen olevan parempilaatuista kuin kokopuuhake kuivemman polttoaineen, tasalaatuisemman palakoon ja paremman kuljetuksen energiatiheyden johdosta.

Terminaalihaketusketjun demonstraatioiden perusteella kokopuun ja rangan tulokset eivät olleet aivan yksiselitteisiä. Terminaalimurskauksen tehottavuudessa oli vain pientä eroa koko- ja rankapuun välillä. Suurin ero oli painon mukaisessa tehottavuudessa, joka oli n. 10 % alhaisempi rankapuulle (45 tn/h) kuin kokopuulle (50 tn/h). Murskausyrittäjälle maksu suoritetaan yleensä murskauksesta syntyneen polttoaineen painon perusteella, joten terminaaliyrittäjän olisi edullisinta murskauttaa kuivia polttoainemateriaaleja alhaisemman painon vuoksi. Rankamurskeen toimituksien keskiarvokosteus (29 %) olikin selkeästi kuivempi kuin kokopuun (44 %). Rankamurskeen etuna oli myös pienempi tuhkapitoisuus verrattuna kokopuumurskeeseen. Toimitusvaiheessa kokopuumurskeella oli kuitenkin suurempi energiatiheys kuin rankamurskeella. Ero johtui rankamurskeen huonommasta tiivyydestä sekä alhaisemmasta irtokuutiopainosta. Palakooltaan murskeet eivät olisi soveltuneet polttoon pienemmille polttolaitoksille.

Hankkeessa toteutettiin asiantuntijahaastatteluja terminaaliverkostomallin mukaisesta liiketoiminnasta. Tulosten mukaan alueelliset toimijat näkivät Ristiinaan kaavaillussa suurterminaalimallissa useita hyötyjä oman toimintansa kannalta. He esittivät myös epäilynsä siihen perustuvien energiapuutoimitusten kannattavuudesta. Toisaalta, vaikka kuljetuskustannusten uskottiin nousevan, mallin nähtiin tuovan myös lisäarvoa omalle liiketoiminnalle. Suurterminaalimallin kokonaishyötyä oli haastateltavien mielestä kuitenkin vaikea arvioida. Se riippuisi monista käynnissä olevista muutostekijöistä energiapuumarkkinoilla. Niinpä haastateltavat olivat varovaisia arvioissaan siitä, lähtisivätkö ja millä aikataululla mukaan terminaaliverkoston toimintaan suurterminaalimallin toteutuessa.

Tutkimuksessa tarkastelulle suurterminaalille on olemassa mahdollisuudet markkinalähtöisellekin liiketoiminnalle, mikäli toimintaympäristö muuten kehittyy terminaaleille myönteisellä tavalla kysyntämäärien ja hintatasojen osalta. Terminaalien läpivirtaavan materiaalin yksikkökustannuksia on mahdollista pienentää, mikäli toiminta on suurimittakaavaista ja tehokasta. Etäterminaalihaketusketjun kokonaiskannattavuuden pitäisi olla kilpailukykyinen suoran kuljetusketjun ratkaisuihin, mikä on erityisen haastavaa tarkastelemalla pelkästään ketjujen välisiä kustannuseroja. Tämän tähden toimitusvarmuuden parantumiselle pitäisi pystyä määrittämään arvo. Terminaalien puupolttoaineen toimitusketjulle tuoma lisäarvo voidaan jakaa siirtokuormaukseen, varastointiin ja jalostukseen.

Kokonaisuudessaan tilanne ei tällä hetkellä näytä kovin kannattavalta erillisen terminaalitoimintaa pyörittävän yrityksen toiminnalle, vaan pikemminkin terminaalien ylläpito on suurempien polttoaineen toimittajien ja käyttäjien intressi osana hankinnan kokonaisuutta. Markkinalähtöisen terminaalitoiminnan liiketaloudelliset edellytykset paranevat, sitä mukaa kun metsähakkeen ja laajemmin uusiutuvan energian markkinat kehittyvät ja kauppaa aletaan käydä suuremmista tasalautuisista eristä toimitusmäärien kasvaessa, jolloin edellytykset toimitusvarmuudellekin parantuisivat. Energialaitokset tulevat tekemään omia strategisia valintojaan siitä ovatko itse mukana polttoaineen hankinnassa vai ovatko siinä pelkästään asiakkaan roolissa. Markkinoiden tuleva suunta ja kehitys riippuvat kuitenkin viime kädessä energiamarkkinoiden kehitystä koskevista kansallisista ja kansainvälisistä poliittisista päätöksistä.

# 13 Viestintäraportti



EAKR- JA ESR-OHJELMIEN RAHASTOKAUSI 2007 – 2013  
**VIESTINTÄRAPORTTI (ulkoinen viestintä)**

Minna Branders © Hill & Knowlton



Euroopan unioni  
 rakennerahastot

Ajanjakso:	Kesäkuu 2009 – Joulukuu 2010
Organisaation nimi:	LUT Energia, Bioenergiateknologia
Viestinnän koordinaattori tai vastuhenkilö:	Kalle Karttunen
Yhteystiedot:	Prikaatinkatu 3 E 50100 Mikkeli

PVM	KOHDERYHMA	KANAVAT	TAVOITE	TOIMENPITEET	LOPPUTULOS JA JATKOTOIMET
2009-2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suuri yleisö, Paikallinen media (Länsi-Savo, Itä-Savo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>tiedotustilaisuus</li> <li>tiedote</li> <li>internetsivusto</li> <li>mielipidekirjoitus</li> <li>Farmari-messut</li> <li>lehtikirjoitus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haluttiin tavoittaa viestinnällä laajaa paikallista yleisöä, jossa on paljon metsänomistajia ja energiankäyttäjiä</li> <li>Energiapuun käytön lisäämisen ja hyväksyttävyyden edistäminen</li> <li>Farmari-edustus: Edustaa Maakuntaliittoa, Yliopistokeskusta ja yliopistoa (LUT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osallistuttiin Etelä-Savon energiatoimiston järjestämään tiedotustilaisuuteen, tiedote (energiatase 2008)</li> <li>Annettiin erillinen hankehaastattelu</li> <li>Kirjoitettiin mielipidekirjoitus, 19.11.2009</li> <li>Farmari: Osallistuttiin 31.7.2010 messuosastolle</li> <li>Lehtiartikkeli, Etelä-Savon Metsäkeskuksen asiakaslehti Kassara (syksy/2010)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiedotustilaisuuden tuloksena sivun mittainen juttu ja erillinen haastattelupyyntö hankkeesta. 25.9.09</li> <li>Hankkeesta erillinen sivun mittainen juttu. 10.10.09</li> <li>Mielipidekirjoitus oli esillä sekä Länsi että Itä-Savossa ja myöhemmin nettisivuilla, positiivinen kommentti.</li> <li>Farmari-messut: Positiivista palautetta, yhteistyötä ja näkyvyyttä</li> <li>Metsänomistajakyselyn esittelyä</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>keskus- ja aluehallinnon viranomaiset (Etelä-Savon maakuntaliitto, Mikkelin kehitysyhtiöt, metsänhoitoyhdistykset, metsäkeskus)</li> </ul>	Sähköposti IdeaPalaverit Seminaariesitelmä	Haluttiin luoda positiivista viettä energiapuun markkinoille ja kehittämiseen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valittiin tietoja tutkimustuloksista</li> <li>Järjestettiin markkinointikonseptin workshop- (18.9.2009) ja ideapalaverit (8.3.2010)</li> <li>Pidettiin esitelmä Ristiinan logistiikkaterminaalin suunnittelukokouksessa (28.10.2009)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Workshop (9 hlö). Metsänomistajakysely saatiin toteutettua ja organisaatiot olivat mukana suunnittelussa</li> <li>Ideapalaveri (9 hlö). Metsänomistajakyselyn tulokset ovat ajankohtaisia ja niiden avulla pystytään rakentamaan markkinointia</li> </ul>
					metsänomistajien suuntaan. Mny edustajat lupasivat edistää kilpailuttamista myös energiapuukaupassa. <ul style="list-style-type: none"> <li>Seminaariesitelmä rohkaisi toimijoita jatkamaan Ristiinan logistiikkaterminaalin hankkeistamista ja suunnitelmassa käytettiin seminaariesitelmää</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>yrietykset (polttoaineen toimittajat ja hankkijat)</li> </ul>	Lehtikirjoitukset Bioenergia.fi sivusto Esitelmä	Haluttiin tavoittaa viestinnällä laajaa joukkoa polttoaineen toimittajia, joille on hyötyä hankkeesta kehittyvistä laskureista ja tutkimuksista	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kirjoitettiin Bioenergia.fi sivustolle lyhyt esittely laskurista ja laitetiin laskuri liitteeksi</li> <li>Kirjoitettiin Bioenergia-lehden artikkeli (2/2010)</li> <li>VAPOn sisäinen metsäseminaari, Jyväskylä (4.11.2010)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toimitusketjujen kannattavuus –laskuri on herättänyt mielenkiintoa</li> <li>Bioenergia-lehden artikkeli täydensi hyvin hanketiedotusta asiapitoisella sisällöllä</li> <li>Metsänomistajakyselyn tulosten esittelyä (VAPO-seminaari)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>tutkimus- ja kehittämisorganisaatiot (Metia, Tapio, Helsingin yliopisto)</li> <li>Muut yhteistyötahot: Mamk, Itä-Suomen yliopisto, Aalto yliopisto</li> </ul>	Konferenssi Tuloskalvosarja Nettisivusto Sähköposti	Haluttiin saada metsänkasvatukseen simuloititutkimukselle ulkopuolisia arvioita ja vaikuttavuutta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osallistuttiin kansainväliseen (Bioenergy 2009) konferenssiin artikkelilla ja posterilla</li> <li>Jatkettiin tutkimusta toteuttaen tuloskalvosarja, joka laitettiin nettisivuilla ja jaettiin sähköpostitse</li> <li>Kirjoitettiin aiheesta Bioenergia-lehden artikkeliin (2/2010)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konferenssi artikkelin tuloksille saatiin tarpeellista palautetta, joiden perusteella toteutettiin jatkotarkasteluja</li> <li>Tuloskalvosarja sai positiivisen vastaanoton ja siihen on viitattu</li> <li>Tulosten julkaiseminen oli oikein ajoitettu, sillä niistä oli hyötyä uusissa metsänhoitosuosituksissa uudistaessa</li> </ul>
	Kaikki edellä mainitut (polttoaineen hankinnasta ja toimituksista vastaavat)	PAATOS SEMINAARI	Tuoda esille hankkeesta käsitellyjä asioita ja vaikuttaa toiminnan kehittämiseen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Järjestetään päätöseminaari yliopistokeskuksen auditoriossa (26.1.2011)</li> <li>Lehdistötiedote hankkeesta</li> </ul>	Seminaariin tavoitellaan toiminnan kehittämiseen vaikuttavia asiantuntijavieraita

ISBN 978-952-265-003-0

ISBN 978-952-265-023-8 (PDF)

ISSN 1798-1328

Lappeenranta 2010

  
**Open your mind. LUT.**  
Lappeenranta University of Technology