

Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimus- tarpeet

Risto Lauhanen & Jussi Laurila



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

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

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

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

Toimitus

Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Lauhanen, Risto & Laurila, Jussi			
Nimeke Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet			
Vuosi 2007	Sivumäärä 58	ISBN ISBN 978-951-40-2028-5 (PDF)	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Kannuksen toimintayksikkö / Tutkimuksen strateginen tuki / 1039			
Hyväksynyt Jussi Saramäki, toimintayksikön johtaja, 26.1.2007			
Tiivistelmä <p>Käsillä olevassa bioenergiakatsauksessa on koottu ajankohtaista tutkimustietoa metsä-, pelto- ja turveenergiasta sekä maatalouden biokaasuasioista. Katsauksen tavoitteena on etsiä alan ongelmia ja tutkimustarpeita tulevien hankkeiden pohjaksi. Katsaus ei ole käytännön bioenergiaopas, vaan sen tavoitteena on välittää viimeisintä ajantasaista tutkimustietoa. Katsauksen tietoja on mahdollista käyttää mm. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen bioenergiapotentiaalnin laskennassa sekä bioenergian hankintalogistiikkaa selvittävissä laskelmissa.</p> <p>Katsauksen ja bioenergiahankkeen tilaisuuksien pohjalta on löytynyt mm. seuraavia alan ongelmia, pullonkauloja ja tietotarpeita tulevien tutkimushankkeiden pohjaksi.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioenergian käytön lisäämisen rajoitteina ovat teknis-taloudelliset ja ekologiset tekijät. Vaihtoehtoisten polttoaineiden hintakehitys, tuet, verotus ja päästökauppa ohjaavat eri energialähteiden käyttöä. - Metsähakkeen, erityisesti pienpuuhakkeen korjuuteknologia, mittaus ja logistiikka kaipaavat kehittämistä toiminnan kustannustehokkuuden parantamiseksi. Erityisesti energiapuun kuormainvaakamittaus-ta on tarpeen tutkia. Kantojen hyödyntämisen ongelmaksi ovat tulleet lämpölaitoksille kulkeutuvat epäpuhtaudet. Kantojen puhdistamismenetelmien kehittäminen on tarpeen. Metsäenergian tuotannon uusia menetelmiä ja teknologioita on otettu nopeasti käyttöön tutkimatta niiden ympäristövaikutuksia. - Turve-energian käytön turvaamisessa korostuvat toisaalta soiden suojelupaineet sekä turpeen poliittinen asema hitaasti uusiutuvana luonnonvarana päästökaupassa. Ympäristöystävällisiä turvetuotannon menetelmiä on tarpeen edelleen tutkia ja kehittää. - Peltoenergiakasvien tuotanto on viime aikoina ollut korostetusti esillä. Erityisesti EU:n maataloustaista sekä peltoenergian tuotannon kasvihuonekaasuvaikutuksista on keskusteltu. Maamme peltoalaa tarvitaan edelleen karjanrehun ja leipäviljan tuotantoon. Energiapajun mahdollisuuksista ja kannattavuudesta peltoenergiantuotannossa tarvitaan ajantasaista tietoa. Sekä metsä- että peltoenergian lähteiden samanai-kainen käyttö lämmöntuotannossa ja toisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannossa on tullut ajankoh-taiseksi. Tuotantoprosessien lisäksi on tutkittava raaka-aineen hallinta-asiat. Metsän ja pellon tuotteista valmistettävien nestemäisten biopolttoaineiden liikennekäyttö talvisissa olosuhteissa on haaste. - Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen lämpöyrittäjyyttä ja sen kannattavuutta on tarpeen tutkia. Erityi-sesti polttopuun vientikauppa voisi tuoda lisäarvoa alueelle. Tietoa tarvitaan myös lämpöyrittäjyyden kannattavuudesta ja aluetalousvaikutuksista. 			
Asiasanat Bioenergia, logistiikka, metsäenergia, peltoenergiakasvit, energiaturve, maatalan biokaasu, lämpöyrittäjyys, päästökauppa, verot, tukipolitiikka, Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue.			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Risto Lauhanen, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa ja metsätalouden yksikkö, Tuomarniementie 55, 63700 Ahtari. Sähköposti: risto.lauhanen@seamk.fi			
Muita tietoja Julkaistu yhteistyössä Seinäjoen ammattikorkeakoulun kanssa.			

Sisällys

Alkusanat	5
1 Johdanto	6
1.1 Bioenergia mahdollisuutena EU:ssa ja Suomessa	6
1.2 Bioenergian lähteiden ja fossiilisten polttoaineiden vertailu	8
1.3 Etelä-Pohjanmaan ja sen tavoite 2 -alueen esittely	9
1.4 Aiemmat Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –aluetta sivuavat bioenergiatutkimukset.....	12
1.5 Katsauksen tavoitteet	13
2 Metsäenergia	14
2.1 Metsäenergian hankintalogistiikka	14
2.2 Metsähakkeen korjuuvaihtoehdot	14
2.2.1 Pienpuuhakkeen korjuun tuottavuus ja kustannukset	15
2.2.2 Hakkutähdehakkeen korjuun tuottavuus ja kustannukset.....	19
2.2.3 Hakkureiden tuottavuus ja kustannukset	20
2.2.4 Kannot ja juurakot metsäenergian lähteenä.....	20
2.2.5 Lahopuu ja yli-ikäinen ainespuu	21
2.3 Metsäenergian varastointi	22
2.4 Metsäenergian kaukokuljetus	23
2.5 Energiapuun mittaus	24
2.6 Metsäenergian käytön vaikutukset metsänkasvatukseen ja sen kannattavuuteen.....	25
2.7 Metsäenergian käytön ravinne-, maisema- ja ilmastovaikutukset	26
2.7.1 Ravinnevaikutukset	26
2.7.2 Maisemavaikutukset.....	28
2.7.3 Ilmastovaikutukset.....	28
2.8 Metsäenergian käyttöön vaikuttavat keskeiset säädökset ja ohjeet	29
2.9 Metsähakkeen työllisyysvaikutukset	31
2.10 Metsäteollisuuden puuperäiset sivutuotteet ja jalosteet energiantuotannossa	31
2.10.1 Metsäteollisuuden sivutuotteet - kuori, puru, selluhake ja purilaat	31
2.10.2 Pilkkeet, pelletit ja puuetanoli metsäenergian jalosteina.....	32
3 Energiaturve	35
3.1 Etelä-Pohjanmaan ja sen tavoite 2 –alueen turvevarat	35
3.2 Energiaturpeen tuotantologistiikka.....	36
4 Peltoenergia	37
4.1 Ruokohelpi ja olki.....	37
4.2 Viljan poltto	39
4.3 Biodiesel	40
4.4 Energiapaju	42
4.5 Maatilan biokaasuenergia	43
5 Energiasektorin verot, maksut, tuet ja päästökauppa	45
6 Lämpöyrittäjyys ja sen ongelmat	46
7 Tarkastelu: yhteenveto, ongelmat ja tutkimustarpeet	47
Kirjallisuus	53

Alkusanat

Etelä-Pohjanmaan Korkeakoulu yhdistyksen Epanet-verkoston kuuluva ”Bioenergian tuotannon ja käytön kehittäminen” -tutkimushanke käynnistyi osana laajempaa logistiikan verkostohanketta marraskuussa 2005. Hanketta rahoittavat EU/EAKR, Etelä-Pohjanmaan TE-keskus sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksikkö. Lisäksi Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen yksityiset toimijat tukevat hanketta yksityisten luontoissuoritusten muodossa. Vuoden 2007 lopussa päättyvä hanke keskittyy metsä-, pelto- ja turve-energiaan. Lisäksi sivutaan maatalouden biokaasuenergiaa. Aurinko- ja tuulienergiaa ei tarkastella hankkeen yhteydessä.

Hankkeen tavoitteiden mukainen bioenergiaa ja erityisesti metsäenergiaa koskeva tavoite 2 – aluetta palveleva katsaus etsii ajankohtaista tutkimustietoa metsä-, pelto- ja turve-energiasta sekä maatalouden biokaasuasioista. Katsaus etsii myös alan ongelmia ja tietotarpeita tulevien tutkimushankkeiden pohjaksi. Katsaus ei ole käytännön bioenergiaopas, vaan sen tavoitteena on välittää viimeisintä ajantasaista tutkimustietoa erityisesti tavoite 2 –alueen bioenergia-alan eri toimijoiden hyväksi.

Uutta bioenergia-alan tietoa on ilmestynyt koko ajan katsauksen laatimisen aikana, mikä on ollut suuri haaste tiedon koostamiselle ja kirjoittamiselle. Lähtökohtaisesti lähdeaineistona on käytetty tutkimusjulkaisuja, mutta tiedotusvälineissä olleita artikkeleita on myös hyödynnetty. Käsillä olevan hankkeen järjestämisen aivoriihen sekä asiantuntijaryhmän kokoukset ovat lisäksi antaneet hyödyllisiä ajan tasalla olevia näkökohtia sekä bioenergian problematiikkaan että sen tietotarpeisiin.

Katsauksen pääkirjoittajana on toiminut erikoistutkija, MMT Risto Lauhanen Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksiköstä. Lauhanen toimii myös Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen toimintayksikön ulkopuolisena tutkijana. Tutkija, MMM Jussi Laurila on kirjoittanut tekstiä sekä valmistanut katsauksen kuvamateriaalin. Laurila on vastannut myös katsauksen taitosta.

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen, Joensuun ja Parkanon toimintayksiköiden tutkijat ovat antaneet arvokasta apua ja tietolähteitä katsausta varten. Johtaja, MMT Jussi Saramäki, erikoistutkija, MMT Jyrki Hytönen sekä tutkimusmestari, VTM, mtt Esa Heino Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen toimintayksiköstä tekivät käsikirjoitukseen huomionarvoisia ja rakentavia parannusehdotuksia. Lisäksi rehtori, MMT Tapani Tasanen sekä MH, vs. yliopettaja Ossi Vuori Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksiköstä antoivat arvokkaita neuvoja katsauksen tekijöille. FM Helena Sarvikas Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksiköstä tarkasti katsauksen kieliasun. Kaikille edellä mainituille parhaimmat kiitokset. Metsäntutkimuslaitokselle erityiskiitokset siitä, että katsaus on voitu julkaista Metlan työpaperina sähköisessä muodossa.

Ähtärin Tuomarniemellä tammikuussa 2007

Tekijät.

1 Johdanto

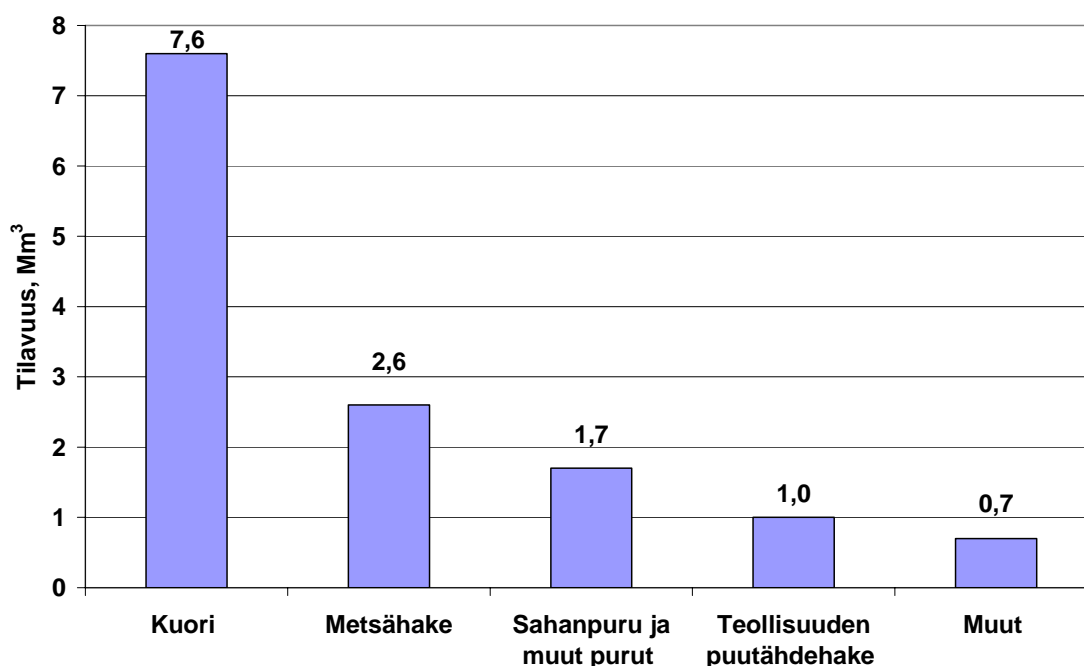
1.1 Bioenergia mahdollisuutena EU:ssa ja Suomessa

Fossiilisten polttoaineiden voimakas hintojen nousu sekä niiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat merkittäväällä tavalla lisänneet kiinnostusta bioenergiaa kohtaan. Kioton ilmastosopimus ja kestävä kehityksen periaatteet ovat nostaneet esille uusiutuvien luonnonvarojen ja bioenergian käytön. Biopolttoaineiden käytön lisäämisestä on keskusteltu julkisuudessa viime aikoina runsaasti (mm. Bioenergia... 2006), sillä bioenergian käytön lisäämisellä pyritään estämään ilmakehälle haitallisia kasvihuonekaasupäästöjä (mm. Lampinen & Jokinen 2006).

Kasvihuonekaasujen vähentämiseen tähtäävä YK:n jäsenmaiden peruskokouksen pöytäkirja allekirjoitettiin Rio de Janeirossa 1992. Vuosille 2008 - 2012 määritettiin päästörajat Kioton sopimuksen yhteydessä vuonna 1997. Teollisuusmaiden kasvihuonekaasujen vähentämistavoite on tuona aikana 5,2 % vuoden 1990 lähtötilanteeseen verrattuna. Sen jälkeen EU:n valkoisessa kirjassa määritettiin, että 12 % energiasta saadaan uusiutuviin energianlähteistä vuoteen 2010 mennessä. Puu ja muutkin eloperäiset biomassat toimivat hiilinieluinä. Niiden poltosta ilmaan joutunut hiilidioksidi sitoutuu uudestaan puiden ja kasvien käyttöön. (Röser ym. 2003, Hakkila 2004).

Ilmaston lämpenemisen ja kasvihuoneilmion estämisen lisäksi bioenergialla on suotuisia sosio-ekonomisia aluetaloudellisia vaikutuksia (Röser ym. 2003, Hakkila 2004). EU-direktiivillä on haluttu tukea myös pienimuotoista ja uusiutuviin energialähteisiin perustuvaa sähkön ja lämmön yhteistuotantoa (ks. Hakkila 2004). Asikainen (2004) on laskenut pelkästään metsäenergian hankinnan työllistävän noin 1600 henkilöä vuonna 2010, kun vuonna 2004 metsäenergia työllisti noin 600 henkeä.

Metsäntutkimuslaitoksen (2006a) mukaan lämpö- ja voimalaitokset käyttivät vuonna 2005 energiantuotantoon kiinteitä polttoaineita noin 14 M m³. Niiden energiasisältö oli 26 TWh. Puupolttoaineiden käyttö aleni metsäteollisuuden työselkkauksen takia vuoteen 2004 verrattuna noin 5 prosenttia, sillä erityisesti kuoren ja purun käyttö väheni. Vuonna 2005 metsähaketta käytettiin 2,6 milj. m³ eli 13 % edellisvuotta enemmän. Puun kuorta käytettiin 8 milj. m³, puupuruja 1,7 milj. m³ ja jätepuuta 1 milj. m³ (Kuva 1). Kantojen ja juurakoiden käyttö kolminkertaistui edellisestä vuodesta. (Metsäntutkimuslaitos... 2006a). Kotitalouksien polttopuun ja jätteen puun käyttö on ollut noin 6 milj. m³ viime vuosina (Metsätilastollinen vuosikirja 2005).



Kuva 1. Metsäenergian käyttö Suomessa vuonna 2005 Metsäntutkimuslaitoksen mukaan. Selitykset: Mm³ = milj. kiintokuutiometriä. (Metsäntutkimuslaitos 2006a).

Puuenergia tuotiin esille yhtenä tulevaisuuden puunhankinnan vaihtoehtona (Rummukainen ym. 2003). Polttopuuliiketoiminnan pienkäytön (< 1 MW:n laitokset) arvon on arvioitu olevan maassamme vuonna 2010 noin 260 M€ mikä vastaa 7,7 miljoonaa kuutiometriä energiapuuta. Vuonna 2020 vastaavat luvut ovat 370 M€ ja 8,7 miljoonaa kuutiometriä. Kun pienkäyttöön (pilkkeet, maatilojen hake, lähilämpö, pelletti ja briketti) lisätään yli 1 MW:n laitosten metsähakkeen käyttö, energiapuun käyttö on vuonna 2020 arviolta 18 miljoonaa kuutiometriä, liiketoiminnan arvo 560 M€ ja toiminnan energiasisältö 36 TWh. Vuosina 2001 - 2010 alalle tulee maahamme arviolta 1355 uutta työpaikkaa ja vuosina 2010 - 2020 vastaavasti 690 työpaikkaa (Rummukainen ym. 2003).

Pari vuotta sitten päättyneen Puuenergian teknologiaohjelman mukaan kansantalouden kannalta mahdollisimman suuren osan hakkuupoistumasta kuuluu päätyä metsäteollisuuden ainespuuksi. Puuraaka-aineen hyvä ja kustannustehokas saatavuus on kotimaisen metsäteollisuuden menestymisen edellytys (Harstela 2005, Kärkkäinen 2005). Yhdestä kiintokuutiometrillä kuorellista havupuuta saadaan sahatavaraksi ja puumassaksi jalostettuna noin 100 € ja paperista ja sen jatkojalosteista vieläkin enemmän. Metsäalan tulevaisuusfoorumi toteaa, että on yhteiskunnan edun mukaista kehittää puun energiakäyttöä puun muiden käyttömuotojen kanssa. Niukasta puuraaka-aineesta ei ole syytä kilpailla (Niskanen ym. 2005). Toisaalta yksi kuutiometri kotimaista puuta energiakäytössä vastasi pari vuotta sitten noin 0,2 tonnia öljyä, mikä teki rahassa noin 30 € (Hakkila 2004). Vapon laskelmissa kotimaisella energialla saataisiin säästää 200 miljoonaa euroa vuodessa, mikäli sen käyttö kasvaisi vuositasolla 12 TWh ja samanaikaisesti kotitalouksien öljyn sekä suurten tuotantolaitosten kivihiilen ja maakaasun käyttö vastaavasti vähensi (Kyytsönen 2006a).

Poutanen 2000 (ks. Rummukainen ym. 2003) on esittänyt puutuotteiden likimääräiset nettohinnat. Kemiallisen sellunvalmistuksen sivutuotteena saatavan, polttoon menevän mustalipeän (ligniini) nettohinta on 0,03 €/kg. Mustalipeällä on merkittävä asema bioenergian lähteenä sellutehtaan omassa energiantuotannossa. Polttihakkeen nettohinta on 0,04 €/kg, kun se pelletille ja halolle on 0,10 €/kg. Sahatavaralle ja lastulevyille nettohinta 0,42 €/kg, sellulle 0,50 €/kg sekä paperijalosteille 2,0 €/kg. Lentokonevaneri on kaikkein arvokkainta 50 €/kg. (ks. Rummukainen ym. 2003). Myös nämä tulokset (vrt. edellä) tarkoittavat bioenergian olevan tärkeä asia, mutta teollisuuden ainespuulla sekä sellu- ja paperiteollisuuden tuotteilla saadaan kansantaloudelle enemmän tuloja. Toisaalta jalostettu puuainees päättyy elinkaarensa lopussa energiaksi.

Viime aikoina on nostettu esille peltoenergian tuottamisen vaihtoehdot. Maa- ja metsätalousministeriön pellonkäytön työryhmä esitti, että 500 000 peltohehtaaria voitaisiin käyttää energiakasvituotantoon ilman ravintokasvituotannolle aiheutuvia haittoja (Korkeaaja 2006). Samoilla linjoilla on Pellervon taloudellinen tutkimuskeskus raportissaan (Järvinen ym. 2006). Maatilojen biokaasun käyttö on tuotu esille eri hankkeissa (mm. Lauri & Vuorenmaa 2006, Lehtomäki & Rintala 2006). Lehtomäen ja Rintalan (2006) mukaan maatalouden biokaasupotentiaali vastaa vähintään neljännessä Suomen henkilöautokannan polttoainetarpeesta.

Energiaturpeen tuotanto on ollut merkittävä työllistäjä erityisesti Etelä-Pohjanmaalla 1970-luvun alun öljykriisin jälkeen. Turpeen epäedullinen ja poliittinen asema päästökaupassa on kuitenkin koko ajan esillä. (Turveteollisuusliitto 2006, Vapo 2006). Koska turvetta ei lasketa hiilineutraaliksi polttoaineeksi, turve-energia saa osakseen julkista kritiikkiä.

1.2 Bioenergian lähteiden ja fossiilisten polttoaineiden vertailu

Puu ja muut energianlähteet ovat kilpailevia ja toisiaan korvaavia (Taulukot 1 ja 2). Siinä missä puu kilpailee rakennusmateriaalina teräksen ja betonin kanssa, toisiaan korvaavat puu, öljy, turve ja muut energiamuodot kilpailevat keskenään samalla tavalla.

Taulukko 1. Eri polttoaineiden vertailtavuus Vapon (2005) mukaan.

Puupelletti	Puupelletti	Kevyt polttoöljy	Pilke/klapi	Hake
1 tonni	1,5-1,7 irtto-m ³	n. 500 litraa	n. 3 pino-m ³	n. 6 irtto-m ³
0,6-0,7 tonnia	1 irtto-m ³	n. 300 litraa	n. 2 pino-m ³	n. 4 irtto-m ³

Pinokuutiometri sekahalkoja vastaa 1,6 irtokuutiometriä polttihaketta tai 266 kg puupellettejä. Nämä määrät vastaavat edelleen 106 kg kevyttä polttoöljyä, 179 kg kivihiiltä tai 500 - 1000 kWh sähköä. (Koistinen & Äijälä 2006). Toisaalta öljytonni (1 toe) sisältää 11,63 MWh energiaa.

Puupelletin verollinen hinta energiantuotannon pienkäytössä oli noin 3 snt/kWh, kaukolämmön 4,5 snt/kWh, kevyen polttoöljyn 5 snt/kWh ja sähkölämmityksen 6 - 8 snt/kWh (Vapo 2005).

Eri energiavaihtoehtojen perusinvestointien kustannukset, vuotuiset perusmaksut, korjaus- ja huoltoinvestoinnit, muuttuva öljyn hinta sekä erilaiset tuet pitkällä aikajaksolla tarkasteltuna hankaloittavat kuitenkin eri energiamuotojen vertailtavuutta. Motivan tekemässä vertailussa (ks. Kyytsönen 2006b) öljylämmitys oli kallein lämmitysratkaisu pientalolle (59 000 €) 30 vuoden aikana. Vastaavana aikana pellettilämmitys maksoi 47 000 €, kaukolämpö 45 000 €, sähkölämmitys 41 000 – 45 000 € ja maalämpö 39 000 € (Kyytsönen 2006b). Kun kalleimman ja edullisimman vaihtoehdon kustannusero on 20 000 €, merkitsee se 667 €/vuotta kohti laskettuna.

Taulukko 2. Eri polttoaineiden hintavertailuja (Kirkkari 2006).

Polttoaine	Yksikkö	Hinta €/yksikkö	Energiasisältö MWh/yksikkö	Hinta €/MWh
Hake	m ³	9,36	0,8	11,7
Palaturve	m ³	19,5	1,5	13
Kaura	tonni	81,53	4,2	19,4
Turvepelletti	tonni	105	5	21
Ohra	tonni	94,33	4	23,6
Puupelletti	tonni	150	4,75	31,6
Raskas polttoöljy	tonni	376	11,28	33,3
Kevyt polttoöljy	m ³	650	10	65

Hintoja ja kustannuksia arvioitaessa on otettava huomioon myös se, onko kyseessä lämpöenergian tai sähkön suurkäyttäjä, vai pieni kotitalous (Taulukko 3). Paljon sähköä käyttävä suurteollisuus saa sähkönsä alhaisemmalla yksikköhinnalla kuin kotitalous. Markkinoiden vapautuminen on mahdollistanut myös sähköenergian kilpailuttamisen.

Taulukko 3. Eri energialähteiden käyttäjähinnat (€/MWh) lämmöntuotannossa ilman arvonlisäveroa vuoden 2005 lopulla. (Suluissa eri käyttäjätyyppien energiankulutukset MWh/a tai GWh/a) (Energiakat-saus... 2006).

Kivihiili	14	
Polttohake	11	
Palaturve	10	
Jyrsinturve	8	
Sähkö	100	pientalolle (20 MWh/a)
Sähkö	94	maatilalle
Sähkö	70	keskisuurelle teollisuudelle (10 GWh/a)
Kaukolämpö	41-49	€/MWh (suuri kerrostalo 1000, rivitalo 100 ja pientalo 20 MWh/a)

1.3 Etelä-Pohjanmaan ja sen tavoite 2 -alueen esittely

Etelä-Pohjanmaalla on metsiä vajaat miljoona hehtaaria, mistä noin puolet on suometsää. Maatalouden harjoittajat omistavat enää noin kolmanneksen metsätiloista (Sivula 2005). Metsänomistajarakenteen muutos merkitsee sitä, että metsillä on myös muita kuin pelkkiä puuntuotan-

nollisia arvoja. Metsien virkistys- ja suojelukäyttö korostuvat entisestään moniarvoistuneessa yhteiskunnassa. Etelä-Pohjanmaan maakunnan alueen kokonaispuusto on noin 75 M m³ eli keskimäärin noin 90 m³/ha. Metsät ovat mäntykuitupuuvaltaisia ja ikärakenteeltaan nuoria. (Tomppo ym. 1998).

Etelä-Pohjanmaan vuotuiset markkinahakkuut ovat olleet noin 3 milj. m³ eli alle suurimman kestävän hakkuumäärän ja puuston vuosikasvun. Järvisseudun hakkuut ovat olleet noin 410 000 m³/a, Kuusiokuntien 660 000 m³/a ja Suupohjan 610 000 m³/a (ks. Kuva 2). Seinäjoen seudulla on hakattu yli kestävän hakkuumäärän eli 770 000 m³ vuodessa Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsäkeskuksen tilastojen perusteella (Sivula 2005).

Vuonna 2003 metsätalouden arvonlisäys oli Etelä-Pohjanmaalla 121 M€ Vastaavasti puutavaran ja puutuotteiden valmistuksen arvonlisäys oli 72 M€ sekä huonekalualan 53 M€ Metsätalonus työllisti tuolloin 1600 henkeä, puu- ja turve-energia 1300, puutuoteteollisuus 1800 ja huonekaluteollisuus 1600 henkeä (Sivula 2005).

Sivulan (2005) mukaan Etelä-Pohjanmaalla valmistettavista puutuotteista ja huonekaluista menee 35 % vientiin, lähinnä Eurooppaan ja Japaniin. Etelä-Pohjanmaan hirsitaloteollisuus on keskittynyt Järvisseudulle, sekä rakennepuusepänteollisuus Kuusiokuntiin ja Järvisseudulle. Suupohjassa on merkittävää huonekaluteollisuutta (Sivula 2005; Kuva 2).

Vuonna 2003 Etelä-Pohjanmaan metsänomistajien kantorahatulot olivat 80 M€, metsänomistajien metsätyötulot 10 M€, metsäalan yrittäjätulot (puunkorjuu, metsänhoitotyöt, puutavaran kaukokuljetus) 40 M€ Metsätalouden palvelutoiminnan arvo oli 10 M€ ja metsätalouden tukien 6 M€ (Sivula 2005).

Vuonna 2003 Etelä-Pohjanmaalla tuotetun turve-energian volyyymi oli 2890 GWh ja puupolttoaineen 330 GWh. Öljyn osuus oli 210 GWh ja muun energian 30 GWh. Vesivoiman osuus oli 60 GWh. Sekä lämmön että sähköntuotannossa paikallisten polttoaineiden osuus oli kummassakin yli 90 %. Pääosassa Etelä-Pohjanmaan kunnista on puuta ja/tai turvetta käyttävä lämpökeskus. Etelä-Pohjanmaan asukkaista peräti 95 % osti lämpönsä kaukolämpöverkosta vuonna 2003, mikäli sattui asumaan kaukolämpöverkon piirissä. Maakunnan energialaitosten sähköteho oli 140 MW ja lämpöteho 470 MW. Laitokset tuottivat lämpöä 1050 GWh ja sähköä 900 GWh. Sähkön käyttö 1830 GWh ylitti maakunnan sähkön tuotannon. (Elo 2006).

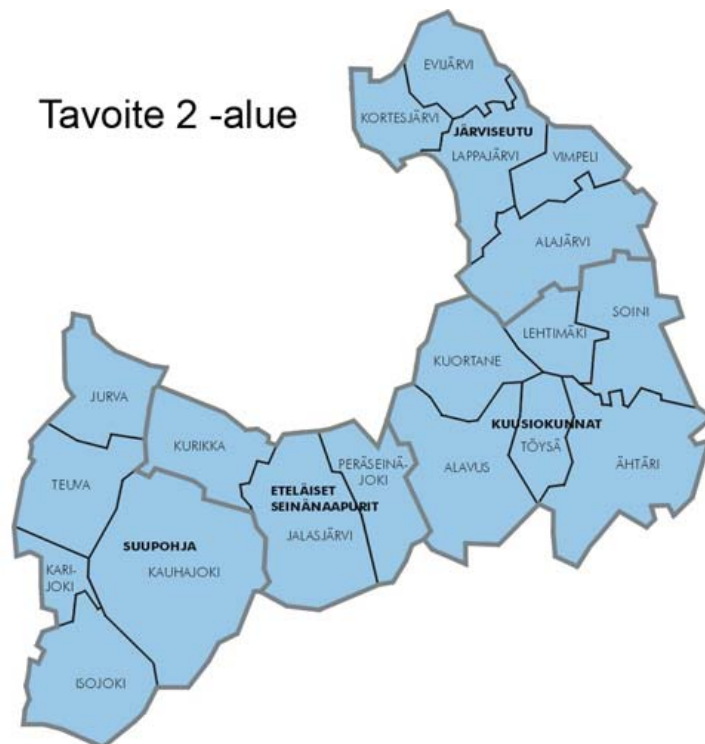
Puuraaka-aineen ja turve-energian tuotanto on jakautunut tasaisesti koko Etelä-Pohjanmaalle. Vapo oyj sekä Vaskiluodon Voima oy ovat merkittäviä turpeen tuottajia PK-yritysten lisäksi (Sivula 2005). Lämpöyrittäjäyys on kasvanut merkittävästi uutena liiketoimintana (Sivula 2005) erityisesti Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen koordinoimien kehittämis- ja neuvontahankkeiden kautta (Vierula & Orava 2006). Kun vuonna 1997 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella oli alle 10 lämpöyrittäystä, vuonna 2004 yrityksiä oli 60 kappaletta. Samanaikaisesti laitosten kokonaisteho on kymmenkertaistunut noin 5 megawattista 50 megawattiin. (Sivula 2005).

Vuonna 2004 metsäenergian tuotannon arvo käyttöpaikalla oli 20 M € ja turve-energian 45 M € Etelä-Pohjanmaalla. Vastaavasti maakunnan lämpöyrittäjäyden liikevaihto oli 4 M € sekä puulla ja turpeella tuotetun kunnallisen energiamyynnin arvo 75 M € (Sivula 2005).

Vuonna 2004 kunnallisten laitosten puu- ja turve-energian kokonaiskäyttömäärä oli Seinäjoen seudulla 2,75 TWh/v, Järviseudulla noin 50 000 MWh/v sekä Kuusiokunnissa noin 100 000 MWh/v, kuten Suupohjassakin (Sivula 2005). Vuoden 2004 lopussa maakunnan turvetuotantoala oli noin 15 000 hehtaaria. Tästä noin puolet oli Seinäjoen seudulla ja Kuusiokunnissa (Sivula 2005). Edelleen maakunnan energiaturpeen tuotantoala on noin 10000 hehtaaria (Flyktman 2005). Puu- ja turve-energian tärkeyttä sekä alan alueellisia tuotantopanoksia ja yritystoimintaa on korostettu myös Etelä-Pohjanmaan maakuntaohjelmassa (Etelä-Pohjanmaan... 2006) sekä alueellisessa metsäohjelmassa (Mäki-Hakola 2006).

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueeseen kuuluvat seuraavat seutukunnat: Suupohja, Eteläiset Seinänaapurit, Kuusiokunnat sekä Pohjanmaan Järviseutu (Kuva 2). Maa- ja metsätalousvaltaisella alueella on merkittäviä PK-sahoja, puun jatkojalostusta, turvetuotantoa sekä lämpöyrittäjyyttä. Luopajärven saha Jalasjärvellä, Akonkosken saha Töysässä sekä Myllyahon saha Alajärvellä ovat tärkeitä alueen PK-sahoja. Soinissa sijaitseva Kohiwood on Suomen harvoja liimalevyn valmistajia. Metsäliiton Kaskisten saha Teuvalla on alueen merkittävä toimija.

Sellu- ja paperitehtaita alueella ei ole, mutta Tavoite 2 -alue on merkittävä raakapuun lähde suurten toimijoiden sellu- ja paperitehtaille. Uusimmat tehdasinvestoinnit on tehty Pietarsaaren ja Kaskisiin (Sivula 2005). UPM:n Pietarsaaren tehtaille toimitetaan mänty- ja koivukuitupuuta, sekä Alholman sahalle mäntytukkia. Saman konsernin Jämsänkosken tehtaille toimitetaan kuusikuitupuuta. Botnian ja Mrealin Kaskisten sekä Äänekosken sellu- ja paperitehtaille toimitetaan mänty- kuusi- ja koivukuitupuuta. Euroopan suurin saha eli Metsäliiton Vilppulan saha käyttää erityisesti Kuusiokuntien alueen kuusitukkia, jota toimitetaan myös Metsäliiton Kyröskosken sahalle Suupohjan ja Eteläisten seinänaapureitten suunnasta.



Kuva 2. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue. Lähde: Etelä-Pohjanmaan TE-Keskus

1.4 Aiemmat Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –aluetta sivuavat bioenergiatutkimukset

Käsillä oleva Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –aluetta palveleva bioenergiahanke on tietävästi ensimmäinen kokonaisvaltainen alan tutkimushanke Etelä-Pohjanmaalla. Maakunnassa on aiemmin tehty paljon tuloksellista bioenergia-alaa ja lämpöyrittäjyyttä palvelevaa käytännön hanke-työtä varsinkin metsäenergian osalta (Sivula 2005, Mäki-Hakola 2006, Vierula & Orava 2006; ks. Kuva 3). Seuraavassa viitattuihin, erillisiin tutkimuksiin palataan yksityiskohtaisesti varsinaisessa katsauksessa.

Metsäenergiapotentiaalin laskennassa tarvittavat, julkiset alueen metsävaratiedot ovat vuodelta 1997 (Tomppo ym. 1998), ja ne löytyvät kuntatasolla myöskin Internetistä (Metsäntutkimuslaitos 2006b). Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen energiapuumääriä ei ole kuitenkaan esitetty julkisesti kuntatasolla (Tomppo ym. 1998). Elo (2006) on julkaissut Etelä-Pohjanmaan maakunnan metsäenergiapotentiaalit, ja viimeisimmät laskelmat on laatinut konsulttiyhtiö Jaakko Pöyry Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta (Maa- ja metsätalousministeriö... 2006).

Geologian tutkimuskeskus on selvittänyt Etelä-Pohjanmaan turvevarat kuntatasolla vuoden 2000 tilanteessa (Virtanen ym. 2003). Peura (2003) puolestaan on tilastoinut mm. tavoite 2 –alueen turvetuotantoalueiden lukumäärät ja pinta-alat kunnittain. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) on laskenut energiaturpeen tuotanto- ja käyttömäärät maakunnittain, muttei kunnittain (Flyktman 2005). Etelä-Pohjanmaan turve-energiapotentiaali on noin 4,0 TWh/a, mistä merkittävä osa painottuu tavoite 2 –alueelle Peräseinäjoelle, Jalasjärvelle ja Alavudelle. Lisäksi Peura (2003) on laskenut kuntatason karjanlantamääräksi noin 70 000 tonnia vuonna. Näitä tutkimuksia voidaan käyttää apuna alueen kuntatason bioenergiapotentiaalien laskennassa.

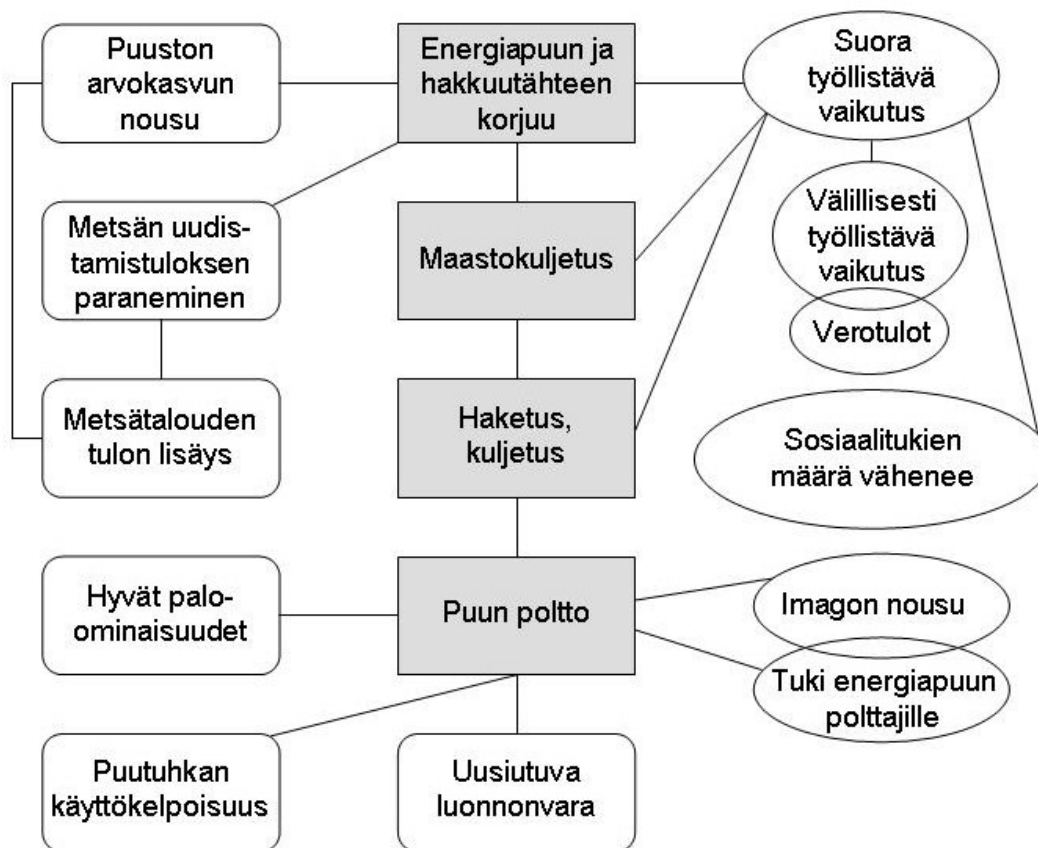
Ruokohelven ja oljen energiatuotannon kannattavuutta tutkittiin Alavudella 1990-luvun lopulla (Palonen 1997). Kiinnostusta peltoenergian tuottamiseen alueella ilmeni jo tuolloin. Sittemmin ruokohelpitutkimuksia on jatkettu tavoite 2 –alueen lähistöllä Ylistarossa Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen koeasemalla.

Väliaho (2001) puolestaan on tutkinut puukaasuvoimalan mahdollisuuksia Lehtimäen kunnassa. Kunnallinen lämpölaitosinvestointi on ollut Lehtimäellä onnistunut ratkaisu, mutta puukaasuvoimala ei ole edennyt käytännön tasolle.

Monto ja Ranttila (2005) sekä Aho (2006) ovat selvittäneet klapiyrittämisen mahdollisuuksia tarkastelualueella. Muun muassa klapituotannon logistisen ketjun kustannusrakenne on selvitetty (Monto & Ranttila 2005).

Hyttinen (2005) on Vaasan yliopiston tutkimuksissa tuonut esille hajautetun energiatuotannon mahdollisuudet maaseudulla. Hajautetussa energiatuotannossa voidaan omavaraisesti paikallistasolla mm. karjanlantaa hyödyntämällä järjestää esimerkiksi kylätason lämmöntuotanto. Maaseutupaikkakunnalla (kuten Ylihärmässä lähellä Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -aluetta), missä ei ole merkittävää paperi- tai muuta suurteollisuutta, teoreettiset bioenergiapotentiaalit olivat suuremmat kuin alueen sähkön ja lämmön kulutukset. Olki-, ruokohelpi- tai biokaasuenergia ovat

maaseudun ja sen kehittämisen mahdollisuuksia (Hyttinen 2005). Maaseudun bioenergiaomavaraisuutta ovat korostaneet myös Lampinen ja Jokinen (2006), vaikkakaan heidän Jyväskylän yliopistossa tekemästään tutkimuksesta ei löydy käsillä olevan tavoitealueen bioenergiapotentiaaleja kuntatasolla.



Kuva 3. Metsähakkeen energiakäytön aluetaloudelliset vaikutukset (Saksa & Teittinen 1996) luovat myöskin hyvän metsäenergiahankkeen viitekehysten. Uudelleen piirtänyt Jussi Laurila.

1.5 Katsauksen tavoitteet

Epanet-verkoston ”Bioenergian tuotannon ja käytön kehittäminen” -tutkimushanke keskittyy metsä-, pelto- ja turve-energiaan. Lisäksi hankkeessa sivutaan maatalouden biokaasuasioita. Aurinko-, tuuli- ja vesivoima-asioita ei tarkastella hankkeen yhteydessä.

Hankkeen yhtenä tavoitteena on laatia bioenergiaa ja erityisesti metsäenergiaa koskeva tavoite 2 –aluetta toimijoita palveleva katsaus, joka koostaa ajankohtaista tietoa metsä-, pelto- ja turve-energiasta sekä maatalouden biokaasuasioista. Lisäksi kerätään tietoa erityisesti tavoite 2 – alueen bioenergiapotentiaalilaskentaa sekä hankkeen logistisia laskelmia varten. Katsaus etsii myös alan ongelmia ja pullonkauloja tulevien tutkimushankkeiden pohjaksi.

Katsaus ei ole käytännön bioenergiaopas, vaan sen tavoitteena on välittää tutkimustietoa erityisesti tavoite 2 –alueen bioenergia-alan eri toimijoiden hyväksi. Poikkitieteellinen katsaus noudattaa metsäntutkimuksen viittauskäytäntöjä. Katsauksen tarkasteluosassa on keskeisten aihealueiden osalta esitetty yhteenveto tutkimustarpeineen.

2 Metsäenergia

2.1 Metsäenergian hankintalogistiikka

Vuonna 2005 Etelä-Pohjanmaan maakunnassa metsäenergian teknis-taloudellinen korjuupotentiaali oli 0,6 TWh, kun teoreettinen korjuupotentiaali vuosille 2005 - 2010 oli 2,1 TWh (Elo 2006). Viimeisin Etelä-Pohjanmaan metsäenergiapotentiaali on laskettu Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta (Maa- ja metsätalousministeriö... 2006). Vuoden 2010 teknis-taloudellisen korjuupotentiaalin arvio koko Etelä-Pohjanmaan maakunnan alueelle oli 0,730 TWh hakkuutähde, kannot ja pienpuu mukaan lukien (Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Potentiaalia ei kuitenkaan eritelty kunta- eikä seutukuntatasoille.

Metsäenergia on hankittava yksittäisiltä metsänomistajilta ympäri maakuntaa, kuten teollisuuden ainespuukin (Hakkila 2004). Siten logistisen ketjun hallinta on olennainen osa metsäenergian hankinnassa. Logistinen ketju käsittää raaka-aineen hankintaketjun metsästä raaka-aineen käyttöpaikalle. Energiapuu eri muotoineen (mm. pienpuuhake, hakkuutähdehake, kantomurske tai risutukit), korjuukoneet ja -laitteet, kaukokuljetuskalusto, hakkurit, ihmiset, tietojärjestelmät ja pääomavirrat muodostavat logistisen ketjun. (ks. Hakkila 2004).

Wästerlund (2004) on laskenut, että hankittavaksi suunnitelluista hakkuutähteistä saadaan metsästä koottua 80 - 90 %. Varastoinnissa hakkuutähteiden hävikki on ollut 15 - 25 %. Tästä käsitelytappioiden osuus on 5 %, ja mikrobien aiheuttama hävikki 5 %. Näin ollen puolet hakatusta energiapuusta saadaan energiaksi. Hakkuualan polttoaineesta 100 - 210 MWh/ha jää siis käytettäväksi 50 - 130 MWh. Tulokset pätevät kuitenkin ruotsalaisissa olosuhteissa (Wästerlund 2004).

2.2 Metsähakkeen korjuuvaihtoehdot

Metsähaketta saadaan nuorten metsien ja varttuneiden taimikoiden kunnostuskohteilta sekä uudistushakkuualoilta (Saksa 1996, Saksa & Teittinen 1996, Vesterlin 1996, Hakkila 2004). Ensimmäisessä tapauksessa puhutaan myös pienpuuhakkeesta. Uudistusalojen hakkuutähteestä käytetään termiä latvusmassa sekä käytännön ammatt kielessä irtorisu.

Harvennushakkuualoilta ei vähäisen kertymän takia kannata hankkia hakkuutähteitä eikä haketa niitä suuressa mittakaavassa (Hakkila 2004). Pienessä mittakaavassa toki metsänomistajan voi kannattaa kerätä omasta metsästään hakkuutähteitä polttopuiksi varsinkin, jos asuu harvennushakkuun lähellä.

Asikainen (2004) on esittänyt metsähakkeen hankinnassa käytettävien koneiden ja ajoneuvojen vuosisuoritteet sekä uushankintahinnat (taulukko 4). Asikainen (2004) on arvioinut myös vuosi- na 2010 ja 2025 käytössä olevan metsähakkeen hankintakaluston määrän. Vuonna 2010 metsähakkeen korjuu- ja kuljetuskaluston uusinventointihintojen summa on runsaat 250 miljoonaa euroa ja vuonna 2025 vajaa 600 miljoonaa euroa Asikaisen (2004) mukaan.

2.2.1 Pienpuuhakkeen korjuun tuottavuus ja kustannukset

Sekä metsäteollisuuden ainespuun että energiakäyttöön hankittavan pienpuun korjuun tuottavuuteen ja kustannuksiin vaikuttavat korjattavien (poistettavien) runkojen keskikoko, puuston tiheys, puuston kertymä sekä metsäkuljetusmatka (mm. Asikainen ym. 2001, Hakkila 2004, Laitila ym. 2004). Mitä pienempi on korjattavien runkojen keskikoko (dm^3/runko), sitä alhaisempi on työn tuottavuus ja sitä suuremmat ovat hakkuun ja metsäkuljetuksen yksikkökustannukset. Lisäksi, mitä alhaisempi on puuston tiheys (m^3/ha), sitä alhaisempi on työn tuottavuus ja sitä suuremmat ovat yksikkökustannukset. Samoin, mitä alhaisempi on leimikon kokonaiskertymä (m^3), sitä suuremmat ovat korjuun yksikkökustannukset. Edelleen, pitempi on metsäkuljetusmatka (m), sitä suuremmat ovat metsäkuljetuksen yksikkökustannukset. Lisäksi koneyksikkö, työmenetelmä, kuljettaja, säätökijät sekä muut olosuhdetekijät vaikuttavat pienpuun korjuun tuottavuuteen ja kustannuksiin. Kokonaisuus kytkeytyy näihin kaikkiin tekijöihin yhdessä ja erikseen, kuten seuraavat yksityiskohtaiset tutkimustulokset osoittavat.

Taulukko 4. Metsähakkeen hankinnassa käytettävien työkoneiden ja ajoneuvojen vuosisuoritteet, uushankintahinnat sekä arvioidut määrät vuonna 2010 (Asikainen 2004). Selitykset: --- = puuttuva tieto, v. = vuosi.

	Vuosisuorite, m^3	Uushankintahinta, €	Lukumäärät v. 2010	v. 2025
Metsätraktori	30 000	270 000	167	333
Paalain	25 000	350 000	50	100
Hakkuri	30 000	660 000	67	150
Käyttöpaikkamurskain	120 000	1 500 000	25	46
Siirrettävä kantomurskain	---	---		
Kaatokasauskone	10 000	360 000	90	250
Kaivinkone	17 000	240 000	114	189
Kanto- ja risuauto	25 000	270 000	70	120
Hakeauto	25 000	220 000	80	180
Puutavara-auto	25 000	220 000	50	100
Lavettiauto	---	150 000	141	304

Puiden joukkokäsittelyllä voidaan lisätä pienpuun hakkuun tuottavuutta (Kuva 6). Joukkokäsittely kompensoi runkojen pientä keskikokoa. Valmet 945 saksiläisellä hakkuulaitteella päästiin energiapuun hakkuussa 11 m^3 :n tehotuntituottavuuteen (rungon koko 50 dm^3 ja 230 runkoa per tehotunti). Samanaikaisessa ainespuun ja energiapuun hakkuussa työn tuottavuus jäi 8 - 10 m^3 :iin tehotuntia kohti (170 - 200 runkoa tunnissa), mikä selittyy lisääntyneillä puutavaralajeilla ja niiden kasauksella. Kun poistuman keskijäreys oli 35 dm^3 (rungon koko), energiapuun hakkuu

maksoi Valmet 945 saksin -hakkuulaitteella 10 €/m³. Keto Forst Energy -hakkuulaitteella päästiin vastaavaan kustannustasoon, kun rungon koko oli 55 - 65 dm³ (Kärhä 2004a).



Kuva 6. Koneellinen hakkuutyö ja puiden joukkokäsittely edustavat nykyaikaista energiapuun hankintaa. Kuva Jussi Laurila.

Laitilan ym. (2004) mukaan Timberjack 720 -energiapuukouralla hakkuutyön tuottavuus oli runsas 2 - 10 m³ tehotunnissa, kun kouraan kerättiin 2 - 5 runkoa kerrallaan puulajista riippuen ja puut katkottiin 5 - 6 metrin pituisiksi. Rungon koko vaikutti hakkuutyön tuottavuuteen. Puut kannatti kerätä kokorunkoina, sillä latvakappaleen jätö metsään alensi työn tuottavuutta keskimäärin 2 m³ tehotunnissa.

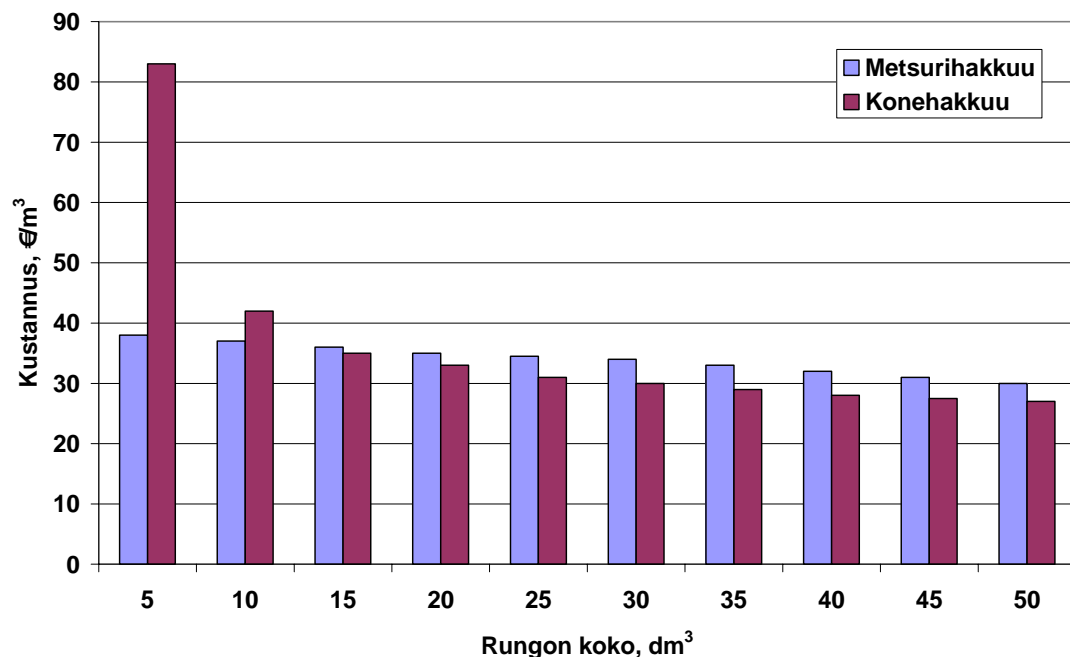
Rungon koko ja metsäkuljetusmatka vaikuttavat metsäkuljetuksen tuottavuuteen ja kustannuksiin. Ainespuun metsäkuljetuksen tuottavuus oli 14 m³/h (tehotunti), energiapuun metsäkuljetuksen tuottavuuden ollessa 13 m³/h keskimääräisellä 250 metsäkuljetusmatkalla. Ainespuun kuljetus maksoi 5 €/m³ ja energiapuun 5,5 - 6,0 m³/h Valmet 840 -metsätraktorilla (Kärhä 2004a). Parhaimmillaan metsäkuljetuksen tuottavuus (kuormakoko 4 - 9 m³) oli 15 - 18 m³ tehotunnissa 50 - 100 metrin metsäkuljetusmatkalla. Metsäkuljetusmatkan ollessa noin 450 metriä, työn tuottavuus oli 8 - 11 m³ tehotunnissa (Laitila ym. 2004). (Kuva 5).

Rangan hakkuun tuottavuus (1 - 6 m³/tehotunti) oli puun karsinnan takia 10 - 40 % alempi kuin kokopuun hakkuun tuottavuus (1 - 7 m³/tehotunti). Rangan metsäkuljetuksen tuottavuus (14 - 20 m³/tehotunti) puolestaan oli 10 - 20 % suurempi kuin kokopuun kuljetuksen (12 - 17 m³/h), sillä kokopuusta ei saanut riittävän tiiviitä kuormia. (Heikkilä ym. 2005). Kun tarkastellaan kokonaisuutta, tutkimusleimikoissa rangan korjuukustannukset olivat 29 €/m³ ja kokopuun 24 €/m³ (Heikkilä ym. 2005). Ero selittyy edelleen rungon karsinnalla. Rangan korjuu on kuitenkin perusteltua ravinneherkillä alueilla, kuten karuilla kivennäismailla ja turvemilla. Rangan etuna oli raaka-aineen korkea laatu ja soveltuvuus pienkattiloissa poltettavan hakkeen ja pilkkeiden valmistukseen (Heikkilä ym. 2005).

Myös pienpuun paalausta tienvarsivarastolla on tutkittu. Paalauksen lasketaan laskevan kaukokuljetuksen kustannuksia, sillä paalit vievät vähemmän kuormatilaa kuin karsimattomat kokopuut. Pienpuun paalaus tienvarsivarastolla onnistui Timberjack 1270B –hakkuukoneen alustalle rakennetulla Fiberpac 370 B –paalaimella. Työn tuottavuus oli 27 paalia tehotunnissa eli tuottavuus oli samaa tasoa kuin hakkuutähteiden paalauksessakin. Tienvarsivarastolla ei ollut mainittavia koneisiirtoja ja paalattavat taakat olivat suurikokoisia (Laitila ym. 2004).

Pienpuuhakkuun tuotantokustannukset metsästä käyttöpaikalle olivat menetelmästä riippuen 28-34 €/m³. Koneellinen korjuu oli miestyötä edullisempaa, sillä konetyö (kaato-kasaus) johti parempaan metsäkuljetuksen tuottavuuteen (Kuva 4). Kustannusero aiheutuu nimenomaan pienpuun korjuusta, ja juuri pienpuun korjuuta tulee kehittää (Laitila ym. 2004). Laskelmissa kaato-kasauksen keskimääräiset käyttötuntikustannukset olivat 65 € kun metsurin keskituntikustannukset olivat 17 - 19 €/työpäivän keston (8 - 9) mukaan (Laitila ym. 2004).

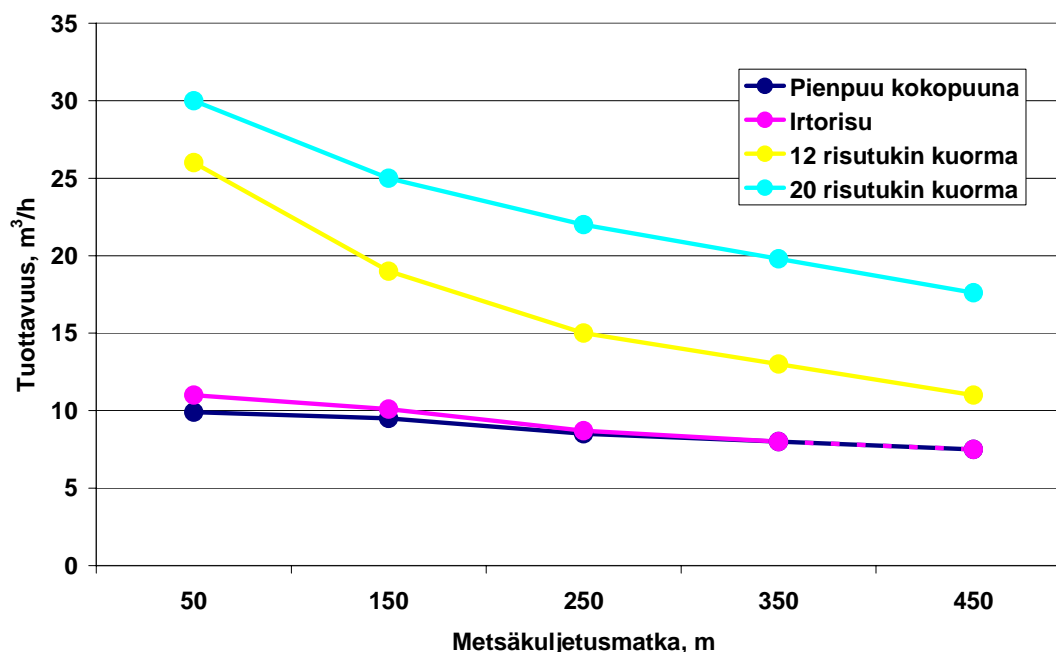
Energiapuun korjuuseen on mahdollista saada kestävän metsätalouden rahoituslain tukea 11 €/m³, mikä parantaa korjuun kannattavuutta. Käytännössä ilman Kemera-tukia pienpuun korjuu ja haketus eivät kannata hakkuutähdehakkeen hankintaan verrattuna. Lisäksi hankinta-alueen koko ja hankintaorganisaatiosta saatavat mittakaavaedut vaikuttavat pienpuuhakkeen hankinnan kannattavuuteen (Laitila ym. 2004). Hankinta-alueen säteen kasvaessa, kaukokuljetuskustannukset kasvavat.



Kuva 4. Kokopuuhakkeen kustannusrakenne (käyttöpaikkahinta) rungon koosta riippuen. Haketus on tehty välivarastolla. (Hakkila 2004; Asikaisen ja Laitilan mukaan 2004).

Metsässä tapahtuvaa ainespuun ja haketuksen integroitua korjuuta on myöskin tutkittu. Pohjois-Suomessa selvitettiin Valmet 801 Combi Bioenergy –korjuuketjua. Koneyksikössä oli sekä Valmet 330 Duo –hakkuulaite että Cut2-katkontakotelo. Lisäksi koneen etupäässä oli Junkkari HJ 500 -laikkahakkuri ja kuormatilana 28 irtokuutiometrin hakekontti. Koneyksikkö valmist

sekä ainespuuta että haketta, jossa oli neulaset mukana. (Karjalainen 2005). Yhden tutkimustyömaan perusteella ei kuitenkaan voida tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä koneen tuottavuudesta. Lisäksi hakkeen vihreän aineksen on kelvattava lämpölaitoksille.



Kuva 5. Kuljetettavan hakkuutähteen ja metsäkuljetusmatkan vaikutus metsäkuljetuksen käyttötuntia kohti laskettuun tuottavuuteen Asikaisen (2004) esittämän mukaan.

Kokonaisuutta tarkasteltaessa koneellisen hakkuutyön tuottavuus on ollut 2 - 10 m³/h. Poistettavan rungon keskikoko vaikuttaa eniten hakkuutyön tuottavuuteen. Kun rungon koko ylittää 15 dm³, koneellisen hakkuun tuottavuus paranee ja koko hankintaketjun kustannukset alenevat. Konetyö on metsurityötä edullisempaa rungon koon ollessa 35 dm³ tai enemmän. Korjuri on ollut kaikkein kallein ratkaisu hakkuutyöhön (Taulukko 5).

Koneellisen korjuun suuremmat kasat alentavat metsäkuljetuksen kustannuksia miestyöhön verrattuna. Metsäkuljetuksen tuottavuus on tutkimuksissa ollut 10 - 15 m³/h. Metsäkuljetusmatka ja kuormatilan rakenne vaikuttavat metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Kaikkiaan pienpuusta saatavan kokopuuhakkeen hankinta maksaa keskimäärin noin 30 €/m³ eli noin 15 €/MWh (Asikainen 2004, Hakkila 2004). Laitila (2005) on esittänyt jopa 36 €/m³:n hankintakustannusta.

Taulukko 5. Yhteenveto pienpuun korjuukustannuksista (Laitila 2005).

Koneellinen kaatokasaus ja koneellinen metsäkuljetus	18 €/m³
Miestyöhakkuu ja koneellinen metsäkuljetus	21 €/m³
Korjuri eli samalla koneella hakkuu ja metsäkuljetus	23 €/m³

2.2.2 Hakkuutähdehakkeen korjuun tuottavuus ja kustannukset

Metsäteho toteutti laajan risutukkitutkimuksen (hakkuutähdepaali) pari vuotta sitten (Kärhä 2004b). Hakkuutähdekasojen paalauksen tuottavuus oli keskimäärin 18,1 paalia käyttötuntia kohti eli 8 - 10 m³/h (6 - 13 m³/h). Näihin tuloksiin päästiin Timberjack 1490D ja Pika RS 2000 –paalaimilla. Timberjackin Fiberpack 370- ja Valmet WoodPac –paalaimia ei ollut tutkimuksessa mukana. Hakkuutähdekasat kannatti tehdä molemmin puolin ajouraa (hakkuukoneen ajoreittiä) hyvän työn tuottavuuden takaamiseksi. Myös kuljettaja vaikutti paalauksen tuottavuuteen. Paalauksen käyttötuntikustannukset olivat 10 € mutta laskelmien mukaan ne olisi mahdollista laskea alle 6,5 €/n (Kärhä 2004b).

Metsätraktorin laajennettuun kuormatilaan mahtui 19 risutukia eli 8,6 m³, kun tavalliseen metsätraktoriin mahtui paaleja 5,2 m³ sekä raskaan kuormatraktorin laajennettuun kuormatilaan 12,5 m³. Keskimääräisellä 250 metrin metsäkuljetusmatkalla metsäkuljetuksen tuottavuus oli 17 m³/h käyttötuntia kohti. Tavallisella metsätraktorilla risutukkien metsäkuljetus maksoi 3,4 €/m³ ja laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla metsätraktorilla 2,5 €/m³ (Kärhä 2004b; taulukko 6).

Taulukko 6. Risutukkien optimi-tuotantoketju Metsätehon laskeman mukaan (Kärhä 2004b).

Koneiden käyttötunnit	3000 h/v
Käyttötuntituottavuus	12 m ³ /h (20 paalia /h)
Paalin koko	0,6 m ³
Paalaumäärä	36180 m ³ / v (60300 paalia / v)
Paalausnaru	Muovinaru Plastic cord
Käyttötuntikustannukset	77 €/h paalaus koneelle
Paalauskustannukset	6,5 €/h

Esitetyillä kustannuksilla risutukeista tulee kilpailukykyisin metsähakkeen tuotantoketju yli 60 km:n kaukokuljetusmatkoilla. Sitä lyhyemmillä kuljetusmatkoilla latvusmassa kannattaa hakettaa välivarastolla. Ihanteellinen risutukkien raaka-ainelähde on päätehakkuukuusikko, joka on ennakkoraivattu ja josta kertyy yli 1000 m³ ainespuuta (Kärhä 2004b).

Risutukkimenetelmän soveltuvuutta nuorten metsien energiapuuharvennuksiin on nähty tärkeäksi tutkia. Nuoressa männikössä 19 000 kuiva-ainetta kg/ha vastasi 49 m³/ha:n kokonaispoistumaa (Jylhä 2004). Jylhän (2004) mukaan risutukin massa oli 527 kg ja kosteus 53 %. Kuormatraktorin (kapasiteetti 8500 kg) risutukkikuorman tilavuus oli 5,8 m³ (vrt. Kärhä 2004b). Kuorma-autoon risutukkeja mahtui 38 m³, kun raakapuuta autokuormaan sopii noin 50 m³.

Kokonaisuutta tarkasteltaessa risutukkimenetelmässä tukkien paalaus vaatii erikoiskalustoa, mutta muuten risutukkien metsäkuljetus ja kaukokuljetus on mahdollista toteuttaa tavanomaisella metsäkuljetus- ja kaukokuljetuskalustolla. Risutukkien kappalemittaus on yksinkertaista. Käytännössä yksi risutukki vastaa 1 MWh:n energiasisältöä ja 0,5 - 0,6 kiintokuutiometriä puuta (Hakkila 2004). Lisäksi hakkuutähdehakkeen teko on teknisesti helpompaa kuin nuorten metsien kunnostuskohteilta saatavan pienpuuhankkeen. Hakkuutähdehakkeen tavoitehinnaksi on asetettu 20 €/m³ eli 10 €/MWh (Hakkila 2004).

2.2.3 Hakkureiden tuottavuus ja kustannukset

Asikaisen ym. (2001) mukaan kokopuun haketus oli tehokkaampaa kuin hakkuutähteen haketus, sillä irtonaisen hakkuutähteen syöttö hakkurille oli hidasta. Edelleen tuoreen puun haketus oli tehokkaampaa kuin kuivan puun. Yleisesti tiedetään, että tuoreen puun työstäminen on helpompaa kuin kuivan puun. Esimerkiksi moottorisahalla tuoretta puuta on helpompi sahata kuin kuivaa puuta. Talvella haketus oli jonkin verran joutuisampaa kuin kesällä. Talvella kokopuun haketuksen tuottavuus oli 119 irto-m³ tehotunnissa ja alimmillaan se oli kuivalla mäntyhakkuutähteellä kesällä 55 irto-m³ tehotunnissa. (Asikainen 2001).

2.2.4 Kannot ja juurakot metsäenergian lähteenä

Kannot ja juurakot ovat oiva metsäenergian lähde (Kuva 7). Juurakko koostuu rungon kaatoleikkauksen alapuolelle jäävästä kannosta, sen maanalaisesta jatkeesta ja sivujuurista (Hakkila 2004). Aikanaan 1970- ja 1980-luvuilla tutkittiin juurakoiden käyttöä sellunvalmistuksen raaka-aineena, mutta epäpuhtauksien takia se ei onnistunut (Hakkila 1975, 2004).

Kivien, hiekan ja muiden epäpuhtauksien takia juurakoita ei voi hakettaa, vaan ne on murskattava kantomurskeeksi (Hakkila 2004). Hehtaarilta saadaan jopa 200 MWh kanto- ja juurakkoenergiaa (UPM 2006), mutta käytännössä juurakoiden energiasisältö on noin 120 - 140 MWh hehtaaria kohti (Hakkila 2004, Mietala 2004). Kantojen nosto on mahdollista kaivinkoneeseen kytketyillä erikoisrakenteisilla muokkaimilla (Mietala 2004, UPM 2006). Kannonnosto sujuu parhaiten 20 - 25 tonnin kaivinkoneella ja kuusikoissa. Kantojen puhtaus on tärkeä asia voimalaitoksille. Suuret yli 30 senttimetrin läpimittaiset kannot paloittellaan 2-4 osaan, ja siirretään kuivumaan kasoihin. Kannonnoston ajanmenekki kuusivaltaisessa metsässä on 8 - 12 tuntia hehtaaria kohti. Kantotiheys, maalaji, kone, kuljettaja sekä nostolaite tai kannonnostoruuvi vaikuttavat työn tuottavuuteen. Alle 15 cm läpimittaisten kantojen nostaminen ei ole ollut kannattavaa. Näin ollen kaikkia kantoja ei nosteta (Hakkila 2004, Halonen 2005), vaan kuusi-, mänty- ja lehtipuukantoja jätetään 15 - 20 kappaletta hehtaarille tasaisesti jakautuen (Halonen 2005, Riitahaka 2006).

Kannonnostolla on metsähygieenistä merkitystä kuusen maannousemasiemen (juurikäävän) (Hakkila 2004, Halonen 2005, Metsäteho 2006, Riitahaka 2006) ja tukkimiehentäin torjunnassa (ks. Metsäteho 2006, Riitahaka 2006, UPM 2006). Kantojen noston yhteydessä tapahtuva maanmuokkaus alentaa uudistamiskustannuksia UPM:n (2006) mukaan. UPM:n ennusteen mukaan kantoenergia on kasvava bioenergian muoto. Kantojen energiasisältö on likimain samaa tasoa turpeen kanssa eli 3 MWh/t. Metsäkuljetus onnistuu metsätraktorilla ja kaukokuljetus umpiautolla tai junalla (UPM 2006). Kantoenergian lisäämisen ongelmana on ollut käyttöpaikkamurskaimien puute (Hakkila & Aarniala 2004).



Kuva 7. Kantojen nostoa ja riistapellon tekoa Ähtärin Tuomarniemellä kesäkuussa 2006. Kuva Jussi Laurila.

Kantojen nostoon liittyen esille on tuotu myös uudistusalojen vesakoitumisriski (Metsäteho 2006), jolloin vaarana on havupuuistutusten epäonnistuminen tai kohonneet taimikonhoitokustannukset. Vesakoituminen on myös kasvupaikkatekijöistä kiinni. Joka tapauksessa tutkimustietoa asiasta on vähän olemassa ja asiantuntijankemeyksetkin kannonnoston vaikutuksesta uudistamisalan vesakoitumiseen ovat ristiriitaisia. (Metsäteho 2006).

2.2.5 Lahopuu ja yli-ikäinen ainespuu

Etelä-Suomessa ja rannikkoalueella kuusen maanousemasieni eli kuusen tyvilaho on vakava varttuneiden kuusikoiden lahottaja. Sieni viihtyy leudoissa ilmasto-oloissa. Jopa kolmannes puustosta voi olla tyvilahon vaivaama tuhosienen perinteisillä esiintymisalueilla. Käytännössä tyvitukki menee pilalle pehmeän lahon takia. (Tamminen 1985). Lahot tyvitukit kelpaavat polttopuuksi. Metsäenergiaksi sopivan lahopuun määrä saadaan selville hakkuukonemittauksella. Lahopuun kaukokuljetus tapahtuu kuten muunkin ainespuun kuljetus.

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella tyvilaho ei ole merkittävä puuhuollon ongelma toisin kuin Etelä-Suomessa. Ilmaston lämmitessä kuusen maanouseman leviäminen Etelä-Pohjanmaalle on kuitenkin merkittävä riskitekijä. Metsäsertifiointin vaatimusten mukaisesti sulan maan aikana tapahtuvassa puunkorjuussa tehdään maanousemasienen biologinen torjunta harmaaorvakaalla tai urealiuksella koneellisen hakkuun yhteydessä.

2.3 Metsäenergian varastointi

Nurmen (2004) mukaan polttohakkeen pitkäaikainen varastointi aiheuttaa merkittäviä kuiva-ainetappioita, energiasisällön alenemista ja jopa terveyshaittoja. Jos tuoretta metsäbiomassaa haketetaan ja murskataan varastoon, se luo suotuisat olosuhteet puusolukkoa hajottavalle mikrobitoiminnalle (Nurmi 2004). Näin ollen kokopuun, hakkuutähteen tai kantojen varastointi on järkevämpää kuin pitkäaikainen polttohakkeen varastointi. Hakkuutähteet kannattaa varastoida palstalla kesän yli, ja korjata ennen syysateita. Tällöin 75 % neulasista jää kasvupaikalla metsänravinnekierron osaksi. Neulasissa on myös kloridia ja alkalimetalleja, jotka aiheuttavat hakkuutähteen polttokattiloissa korroosio-ongelmia. (Nurmi 2004).

Nurmen (2004, 2006) mukaan energiapuu kannattaa varastoida korkeisiin kasoihin ja peitettynä aukealle paikalle kantavan tien varteen. Peitetyn energiapuukasan alkukosteus laskee yli 50 prosentista runsaaseen 35 prosenttiin, kun kasa oli peitetty. Peittämättömän varastokasan kosteus ylitti edelleen 40 %. Aukealle paikalle viedyn kasan kosteus oli noin 35 %, kun se metsään jäte-tyssä kasassa oli noin 40 %. Aisauksella (eli osittaisella kuoren poistamisella) ei ole ollut käytännön vaikutusta puun kosteuteen (Nurmi 2006).

Yli kesän kestävä varastointi riittää käytännössä energiapuulle. Toisen ja kolmannen kesän välillä kosteus ei enää käytännössä laskeutunut. (Nurmi 2006). Toisaalta yli kesän kestävä varastoinnin aikana ei tapahdu merkittävää mikrobien aiheuttamaa energiapuun kuivamassahävikkiä. (Nurmi 2004).

Varastossa puun kalorimetrinen lämpöarvo on noin 18-20 MJ/kg. Koivulle on mitattu jonkin verran mäntyä korkeampi kalorimetrinen lämpöarvo. Kokopuun ja karsitun rangan välillä ei ollut merkittäviä kosteuseroja, eikä toisaalta koivun ja männyn välillä. (Nurmi 2006).

Metsäenergian ja erityisesti kantoenergian varastoinnissa varastopaikat on syytä sijoittaa kantavan tienvarteen haketuskaluston, murskainten ja kaukokuljetusten toimivuuden varmistamiseksi. Varastojen siisteys ja turvallisuus ovat tärkeitä, seurattavia asioita. Tienvarren varastopaikan on jätävä siistiksi kaukokuljetuksen jälkeen. (ks. Riitahaka 2006).

Tapion ohjeissa hakkuutähteelle tarvitaan 6 - 7 metriä varastotilaa 100 hakattua ainespuukuu- tiometriä kohti. Silloin kasan korkeus on noin 5 metriä korkea ja noin 5 metriä leveä (Kuva 8). Vastaavasti kantovaraston pituus on noin 40 metriä nostohehtaaria kohti. (Koistinen & Äijälä 2006).



Kuva 8. Metsäenergiaa kokopuuna varastossa Lehtimäellä. Kuva Jussi Laurila.

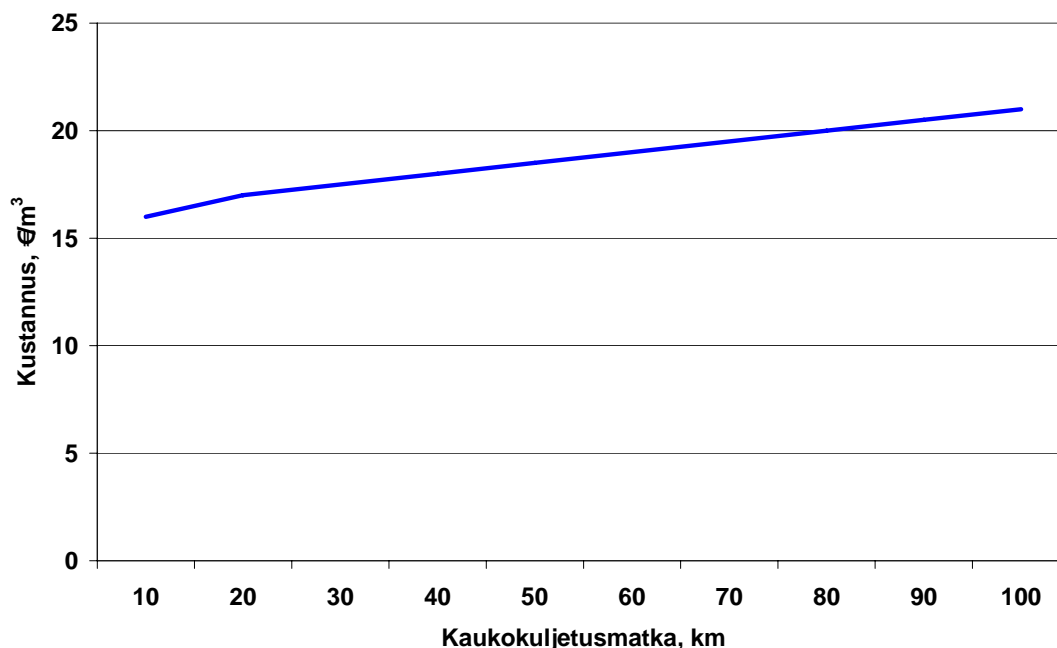
2.4 Metsäenergian kaukokuljetus

Suurin osa ainespuusta- ja energiapuusta kuljetetaan autokalustolla maanteitse. Autokuljetusta tarvitaan usein myös rautatie- ja vesikuljetuksen alku- ja/tai loppupäässä. Noin 20 tonnia painavaan puutavara-autoon sopii ainespuuta 45 - 55 m³, eikä auton paino saa ylittää 60 tonnia. Liikenneturvallisuustekijät ja roskaantumisen välttäminen edellyttävät umpinaisen ajokaluston käyttöä irtorisun, hakkeen ja kuivuneiden risutukkien kuljetuksessa. Energiapuukuljetusten ongelmana on se, että kuljetettava materiaali vaatii paljon tilaa massayksikköä kohti. Kärhä (2005) on laskenut hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksiksi tuotantoketjusta riippuen noin 20 €/m³ (10 €/MWh), kun kaukokuljetusmatka on 80 - 100 km (Kuva 9). Samalla kaukokuljetusmatkalla sahatukin tuotantokustannus on noin 15 €/m³ ilman kantohintaa (Metsäteho 2005). Kärhän (2005) mukaan hakekuljetukseen käytetään useimmiten kiinteäkuormatilaista täysperävaunuyhdistelmää, jonka kuormakoko on noin 40 irto-m³. Hakkilan (2004) metsäbiomassan kuljetukseen kehitetyn laidoilla varustetun yhdistelmän kuormatilavuus voi olla 100 - 150 irto-m³, ja pelkän vetoauton jopa 60 i-m³.

Valtakunnan tiestöstä huolehtiminen on tärkeä asia teollisuuden puuhuollon sekä energiapuun- ja hakekuljetusten toimivuuden ja kilpailukyvyn kannalta. Energiapuun hankinnan lisääntyvä erikoiskalusto asettaa omat haasteensa valtakunnan tieverkoston ylläpidolle. Rumpusen (2005) mukaan vakavana uhkana on, ettei tiestömme kykene tarjoamaan nykyisenlaisia edellytyksiä metsäsektorin kuljetuksille.

UPM (2006) on ottanut käyttöön kantojunat. Rautatiekuljetus kannattaa pitkillä matkoilla mahdollistaen myös energiapuun ja hakkeen tuonnin Venäjältä. Käytännöllisesti katsoen ainoastaan Saimaan vesistön alueella maatie-, rautatie- ja vesitiekuljetukset kilpailevat realistisesti keskenään (Rautala & Pulkanen 2006). Puutavaran uitto on ollut kilpailukykyistä pitkällä eli käytännössä yli 250 kilometrin matkoilla. Hakkeen, energiapuun, turpeen tai risutukkien vesitiekuljetus aluksilla edellyttää sellaisten alustyyppien käyttöä, jotka soveltuvat uittoväyläsyväyksille.

Lisäksi aluskaluston tulee olla ympärivuotiseen liikenteeseen soveltuvaa. Kaluston kapasiteetin tulee olla yli 5000 irtom³. Myös Keiteleen ja Saimaan kanavien mitat tulee ottaa huomioon metsäenergian ja turpeen kuljetukseen sopivan kaluston suunnittelussa. Yhteiskunnan tuet ovat tarpeen energiapuun vesikuljetusten ja lastausjärjestelmien kehittämiseksi, jotta kansalliset metsähakkeen käytön lisäämistavoitteet toteutuvat. (Rautala & Pulkkanen 2006).



Kuva 9. Kaukokuljetusmatkan vaikutus hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksiin (Kärhä 2005). Kaukokuljetusmatkan kasvu 10 kilometristä 100 kilometriin nostaa hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksia runsaan 5 €/m³ eli runsaan 2,5 €/MWh.

2.5 Energiapuun mittaus

Puuenergian teknologiaohjelman loppuraportissa Hakkila (2004) toi esille tarpeen energiapuun mittauksen kehittämisestä. Sittemmin Hakkila sain tehtäväkseen laatia energiapuun mittausta koskevan selvitystyön maa- ja metsätalousministeriöltä (Hakkila 2006). Energiapuun logistisessa ketjussa on mm. pienpuuta, hakkuutähdettä, kantoja ja haketta. Sääolot, peittäminen ja varastointiaika vaikuttavat energiapuun kosteuteen matkalla metsästä käyttöpaikalle. Lisäksi mittaus-toimintoja, toimivia tahoja ja käytäntöjä on alalla runsaasti.

Puutavaran mittauslaki (364/1991) ei koske puuveistoksia, jalosteita eikä energiapuuta. Energiapuun mittauksen tulee olla tarkkaa, uskottavaa, luotettavaa ja kustannustehokasta eri osapuolia palvelevaa ja yhdenmukaista toimintaa. Mittauksen tulee kannustaa laadukkaaseen tuotteen ja energiatehokkuuteen. Energiapuun mittauslaki turvaisi eri osapuolten edut sopimusneuvotteluihin verrattuna. (Hakkila 2006).

Hakkilan (2006) mukaan energiapuun mittauksen yhdenmukaisten standardien luominen on tarpeen. Latvusmassalle, kantu puulle ja pienpuulle tarvitaan muuntokertoimet. Esimerkiksi pienpuun määrää korjuun jälkeen metsävarastolla, haketettuna ja käyttöpaikan energiasisältönä

tulisi voida arvioida muuntokertoimien (riippuvuussuhteiden) ja kulloinkin käytettävissä olevien tietojen avulla. Edelleen kuivumisen huomioon ottava energiapuun painoluokitus tarvitaan logistisen ketjun historian ja sääolojen perusteella. Myös energiapuun kuormainvaakamittausta tulee kehittää. Puulajikohtaisen latvusmassakertymän ennustaminen ainespuun mittaustuloksesta hakkuukonemittauksen avulla on tärkeä tutkimuskohde, samoin kantopuun määrän ennustaminen ainespuun mittaustuloksesta. Hakkila (2006) toi selvitysmiehenä esille tarpeen myöskin Kemera-tukien maksatuksen yksinkertaistamisesta.

2.6 Metsäenergian käytön vaikutukset metsänkasvatukseen ja sen kannattavuuteen

Nuorten metsien kunnostukset ja energiapuun korjuu turvaavat tulevien puusukupolvien suotuisaa kehitystä (Hakkila 2004, Hynynen & Ahtikoski 2004). Erityisesti taimikonhoitojen laiminlyönti vaikuttaa epäedullisesti ainespuun tuotokseen Metsäntutkimuslaitoksen simulointilaskelmien mukaan. Samalla myös nuoren metsikön tuhoriski kasvaa. (Hynynen & Ahtikoski 2004). Puolukkatyyppin männikössä ja mustikkatyyppin kuusikossa energiapuun ja ainespuun samanaikaisessa tuotannolla ei ollut käytännön eroa metsänomistajan saamien nettotulojen kannalta metsikön kiertoaikana (Taulukko 7). Seuraavan puusukupolven kasvua ei voitu ottaa laskelmista huomioon. (Hynynen & Ahtikoski 2004).

Taulukko 7. Taimikon harvennuksessa ja uudistushakkuussa kertyvän energiapuun hehtaarikohtaiset biomassat, teholliset lämpöarvot ja energian arvot nykyhetkeen diskontattuna (Hynynen & Ahtikoski 2004).

	Männiköt	Kuusikot
Taimikon harvennus		
Pienpuun biomassa, tn	12	23
Tehollinen lämpöarvo, MWh/ha	60	115
Energian arvo, €/ha	542	1035
Uudistushakkuu		
Hakkuutähde, tn	15	41
Tehollinen lämpöarvo, MWh/ha	76	205
Energian arvo, €/ha	687	1840
Kannot		
Kannot, tn	20	41
Tehollinen lämpöarvo, MWh/ha	108	201
Energian arvo, €/ha	977	1816
Yhteensä		
Biomassa	35	82
Tehollinen lämpöarvo, MWh/ha	184	406
Energian arvo, €/ha	1664	3656
Koko kiertoaika yhteensä		
Biomassa, tn	47	105
Tehollinen lämpöarvo, MWh/ha	244	521
Energian arvo, €/ha	2206	4691

2.7 Metsäenergian käytön ravinne-, maisema- ja ilmastovaikutukset

Hyvä työnlaatu on tärkeä osa metsäenergian korjuun ja käytön hallintaa. Kestävän kehityksen periaatteet sekä korjuun ravinne-, maisema- ja ympäristövaikutusten huomioon ottaminen on olennainen osa erityisesti uudistushakkuukohteiden hakkuutähteiden ja kantojen keruussa (Hakkila 2004, Riitahaka 2006). Energiapuun korjuun laadun seurantaohjeet kannattaisi laatia yhteiseksi koko valtakunnan tasolla (Riitahaka 2006). Tällöin asioiden vertailu ja seuranta helpottuisi. Yhteiniset ohjeet palvelisivat kaikkia osapuolia ja myös metsäsertifiointia koskevia auditointoja.

2.7.1 Ravinnevaikutukset

Erityisesti metsänomistajat ovat kysyneet metsäenergian korjuun mahdollisista vaikutuksista metsän ravinnetaseeseen sekä sitä kautta jäljelle jäävän puuston tai tulevan puusukupolven kasvuun ja tuotokseen. Energiapuun korjuussa kokopuumenetelmä aiheuttaa harvennuskäytännössä suuremmat ravinnehävikit kuin osapuumenetelmä ja tavaralajimenetelmä (Jylhä 2004; Taulukko 8). Metsikön ominaisuudet, kehitysaste ja puulajijakauma, hakkuun voimakkuus sekä hakkuutähteiden jakauma vaikuttavat metsikön ravinnehävikkiin.

Taulukko 8. Korjuumenetelmän vaikutus puolukkatyyppin (VT) harvennuskäytännön ravinnehävikkiin (kg/ha). (Jylhä 2004).

Menetelmä	Typpi	Fosfori	Kalium	Kalsium
Tavaralaji-menetelmä	13,6	1,5	7,5	14,0
Osapuumenetelmä (risutukit)	25,5	2,7	12,2	20,7
Kokopuu	42,2	4,5	19,7	28,5

Hakkilan (2004) mukaan hakkuut vaikuttavat aina metsien kasvuun ja ravinnetilään. Hynynen ja Ahtikoski (2004) ovat laskeneet, että taimikon harvennuksen ja uudistushakkuun yhteydessä energiapuun korjuun aiheuttama ravinnemenetykset merkitsee metsikön kiertoaikana käynnissä noin 0,4 prosentin ja kuusikoissa 3,5-3,8 prosentin vähennystä diskontatusta nettotulojen nykyarvosta. Wall (2006) puolestaan on esittänyt, että hakkuutähte on erittäin huono typpilannoite sen vähäisen vapautuvan typpimäärän takia. Energiapuun eli kokopuun ja hakkuutähteiden vaikutukset puuston kasvuun ovat epäselvät ja tunnetaan puutteellisesti (Hakkila 2004, Hynynen & Ahtikoski 2004, Riitahaka 2006, Wall 2006). Suurimmat tappiot kuitenkin aiheutuvat, mikäli metsät jätetään hoitamatta (Hakkila 2004, Hynynen & Ahtikoski 2004).

Jatkossa tarvitaan eri korjuumenetelmiä koskevia pitkäaikaisia kenttäkokeita energiapuun käytön vaikutuksista metsäekosysteemin ravinnetilään sekä kasvuun ja kehitykseen. Koejärjestelyjen tulee ottaa huomioon käytännön energiapuun hankinnan näkökohdat. Esimerkiksi kaikkia hakkuutähteitä ei saisi koejärjestelyissä viedä hakkuualalta pois tulosten käytännön luotettavuuden kannalta. (Hakkila 2004).

Toisaalla kaliumin poistuma suometsien kokopuun korjuussa on tuotu esille (Kaunisto & Paavilainen 1988, Finér 1992). Siksi nuorten suometsien kunnostuksissa energiarankamenetelmä on suositeltavampi vaihtoehto kuin kokopuumenetelmä (Laitila ym. 2004). Viime aikoina suometsien mahdollisuudet tärkeänä energiapuun raaka-aineena on otettu esille. Epäonnistuneet, puun- tuotantoon soveltumattomat metsäojitusalueet voisi energiapuun korjuun jälkeen ennallistaa luonnontilaan (Nieminen 2006).

Metsäenergian kasvava käyttö lisää myös käytettävissä olevan puutuhkan määrää. Puutuhkan kierrätys lämpölaitokselta takaisin metsään on hyvä kestävä kehityksen vaihtoehto varsinkin suometsissä. Kivennäismaiden karuihin ja kulkukelpoisuudeltaan helppoihin mäntymetsiin puutuhkaa on helppo levittää. Pelkällä puutuhkalla ei kuitenkaan saada kivennäismaiden metsissä kasvuvaikutuksia, sillä puutuhkassa ei ole typpeä, joka on kivennäismaiden puunkasvun minimiravinnetekijä. Suometsissä sen sijaan puutuhkalannoitus kannattaa. Puutuhka lisää metsien kasvua keskimäärin 3 m³/ha/v lannoitusvaikutuksen kestäessä 40 vuotta (Silfverberg & Huikari 1985). Puutuhkalannoituksen on metsänomistajan näkökulmasta ollut yksityistaloudellisesti kannattavaa. Ilman metsäparannustukea investoinnin nettonykyarvo oli laskelmissa vähintään noin 420 €/ha, kun vastaavasti tuhkalannoituksen sisäinen reaalikorko oli 3,7 - 9,3 % (Lauhanen ym. 1997). Puutuhkan metsälevityksessä on kuitenkin edelleen teknis-taloudellisia ongelmia (Hakkila 2004). Puutuhkan metsälevitystä onkin tarpeen edelleen tutkia ja kehittää.

Hakkuutähteiden keruun vaikutuksia vesiekosysteemeihin tutkitaan parhaillaan. Sen sijaan kantojen noston eroosiovaikutuksista ja vesistövaikutuksista ei ole tutkittua tietoa olemassa (Finér 2006). Metsäenergian tuotannon uusia menetelmiä ja teknologioita on otettu käyttöön nopeasti vailla tietoa niiden ympäristövaikutuksista (Kuva 10). Käytännön työohjeissa on kuitenkin otettu huomioon lainsäädännön vaatimukset, sekä tiedostettu mm. kantojen noston riskit eroosioherkillä rinteillä (Koistinen & Äijälä 2006). On kuitenkin tarpeen perustaa kokonaisvaltaisia metsäenergian tuotannon ympäristövaikutuksia selvittäviä tutkimushankkeita.



Kuva 10. Kannonnoston vaikutuksista vesiekosysteemeihin ei ole tutkimustuloksia maassamme. Kuva Jussi Laurila.

2.7.2 Maisemavaikutukset

Metsäenergian hankinnan maisemavaikutuksista on olemassa vähän tutkittua tietoa. Kuluttajien näkemyksiä energiapuun hankintaan ja sen maisemavaikutuksiin on tutkittu kyselyn avulla (Tahvanainen 2004). Tulosten mukaan vaikutukset maisemaan ja metsien virkistyskäyttöön ovat olleet parantavia. ”Maisema ja ympäristö paranevat” -vastausten osuus oli kyselyssä suurempi kuin ”maisema ja ympäristö heikkenevät” -vastausten. Keskeinen osa tutkimuksen vastauksista kuitenkin painottui kohtaan ”ei vaikutusta”. (Hakkila 2004, Tahvanainen 2004). Hakuusuunnitelmissa voitaisiin kiirehtiä maisemallisesti merkittävien kohteiden energiapuuhakkuita Tahvanaisen (2004) mukaan.

2.7.3 Ilmastovaikutukset

Metsäenergian käytön ilmastovaikutuksista on arvioitu metsäkoneiden, puunpolton sekä puusta valmistettävien energianlähteiden vaikutuksia. Hakkilan (2004) mukaan korjuussa ja kaukokuljetuksessa käytettävistä polttoaineista syntyy päästöjä, mutta niiden osuus on vain noin 3 prosenttia tuotetun puupolttoaineen energiasisällöstä. Toisaalta ruotsalaisen Athanassiadiksen (2000) väitöskirjan mukaan metsäkoneissa rypsi pohjainen polttoaine ja rypsi pohjaiset hydrauliikka- ja teräketjuöljyt olivat hiili- ja typpipäästöjensä takia epäedullisempi vaihtoehto vastaaviin mineraaliöljyihin verrattuna. Tämä johtui öljyjen valmistusteknologiasta. Sen sijaan metsäkoneiden rakentamisen ympäristövaikutukset olivat vähäiset. Metsäkoneiden alkuperäisestä massasta kului keskimäärin 50 - 56 % vaihtuen uusiksi varaosiksi. (Athanassiadis 2000).

Hakkilan (2004) mukaan metsähake on polttoaineena lähes hiilineutraali Suomen oloissa. Näin ollen metsäenergialla on kaikkien kansalaispiirien hyväksyntä. (Hakkila 2004). EU:n päästökauppadirektiivin ennakoitaan lisäävän merkittävästi puupolttoaineiden kysyntää. Käytännössä metsäteollisuuden sivutuotteiden käyttöä ei voida lisätä jatkossa. Päästöoikeuden hinta 10 - 20 € hiilidioksiditonni tonnia kohti parantaa turvetta käyttävien energialaitosten puustamaksukykyä 3,8 - 7,6 €/MWh. Päästökaupan arvioidaan aiheuttavan pulaa puupolttoaineista päästökaupan piiriin kuulumattomilla (kattilakoko alle 20 MW) lämpölaitoksilla sekä kuntien energialaitoksilla, joilla ei ole omaa hankintaorganisaatiota. Metsäteollisuuden on mahdollista ohjata sivutuottevirrat omille laitoksilleen sekä kytkemällä energiapuunhankinta kiinteäksi osaksi ainespuun hankintaa. Energiapuun tuonnilla tilannetta voidaan kuitenkin kompensoida. (Ranta ym. 2005).

Suomen hiilidioksidipäästöt vähenisivät 2 miljoonaa tonnia vuodessa, jos pienkiinteistöt siirtyisivät puupellettilämmitykseen. Päästökaupassa se vastaisi rahallisesti 50 M€ nykyhetken päästöoikeuksien hinnoilla (Kyytsönen 2006a).

Suomen olosuhteissa ei ole vielä käytännön kokemuksia puupohjaisten biopolttoaineiden valmistuksesta nykyaikaisten sellu- ja paperitehtaiden yhteydessä (McKeough & Kurkela 2006). Yhdysvalloissa puuetanolin tuottamiseen tarvittiin 57 % enemmän fossiilista energiaa, kuin mitä puuetanolista saatiin energiaa, sillä etanolin valmistus vaati runsaasti fossiilisia polttoaineita (Pimentel & Patzek 2005).

2.8 Metsäenergian käyttöön vaikuttavat keskeiset säädökset ja ohjeet

Metsien käyttöä ohjaa metsälaki (1093/1996), jonka mukaan mm. metsän paikalle on perustettava uusi metsä uudistushakkuun jälkeen. Vajaatuottoisten kohteiden, esimerkiksi lumituhon vaivaaman koivikon, käytöstä energiapuun hankintaan on syytä keskustella ennalta metsäkeskuksen tai metsänhoitoyhdistyksen edustajan kanssa yhtenä vaihtoehtona. Samoin energiapuun metsän perustamisesta ja hoito-ohjelmasta on hyvä keskustella ennalta viranomaisten kanssa.

Metsälain (1093/1996) 10 §:ssä on mainittu metsäluonnon monimuotoisuuden kannalta erityisen arvokkaat elinympäristöt. Energiapuun korjuussa on noudatettava myös luonnonsuojelulain (1096/1996) säädöksiä. Sen 29 §:ssä mainitaan mm. suojelluista metsäisistä luontotyypeistä. Koistinen ja Äijälä (2006) ovat viitanneet näihin lainkohtiin myös Tapion energiapuun korjuuohjeissa. Useimmiten nämä lakikohteet ovat teknis-taloudellisesti energiapuun korjuuseen soveltumattomia.

Vapaaehtoisen metsäsertifioinnin piiriin kuuluvan metsänomistajan on otettava huomioon myös sertifiointikriteerit. Sertifioinnissa korostetaan erityisesti luonto- ja ympäristöasioiden huomioon ottamista sekä vastuullisia työnantajavelvoitteita ja jokamiehen oikeuksia (Kaivola 2004, Metsäsertifioinnin... 2005). Hakkuuoikeuden haltijat alihankkijoineen noudattavat omia sisäisiä ohjeitaan myös energiapuun hankinnassa.

Luontokohteet säästetään aina ainespuun ja energiapuun korjuun yhteydessä. Lisäksi on tiedostettava työmaalla mahdollisesti esiintyvät uhanalaiset lajit sekä varottava nisäkkäitä ja lintuja

(Koistinen & Äijälä 2006). Kaupallisen hakkuun ulkopuolelle rajattua, liito-oravien asuttamaa kuusikkoa ei siis saa hakata polttopuiksi edes omaan käyttöön.

Vesiensuojelu kuuluu ottaa huomioon myös energiapuun korjuussa. Ojien ja pienvesien varsille jäänyt hakkuutähde kerätään mahdollisimman tarkasti pois. Latvuksia ja hakkuutähteitä ei saa jättää ojiin (Koistinen & Äijälä 2006). Tämä turvaa ojien kunnan säilymisen sekä estää ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Kunnostusojitusalueiden ojalinjahakkuut ulottuvat kuitenkin ojiin asti (Lauhanen 1994). Kantojen nostossa ja maanmuokkauksessa jätetään vähintään 2 - 3 metrin käsittelemätön suojakaista ojien varsiin. Purojen, norojen ja lähteiden varsilla kaistan leveys on 3 - 5 metriä ja vesistöön reunalla 7 - 10 metriä. Eroosioherkillä rinteillä sekä hiekka- ja hietapohjaisilla mailla kannot jätetään kokonaan korjaamatta tai tehdään nostokatkoja pääkaltevuuden suuntaan (Koistinen & Äijälä 2006).

Muinaismuistolain (295/1963) vaatimukset sekä maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaiset kaavoitussäädökset on otettava huomioon ainespuun ja energiapuun hankinnassa. Jos energiapuunkorjaaja huomaa metsässä muinaismuistokohteen, on siitä ilmoitettava maanomistajalle, kunnan kulttuurisihteerille sekä museovirastolle. Kaava-alueella toimittaessa tarvitaan maisematyöluva. Tavoite 2 -alueella maisematyöluvan voi saada puhelimitse kunnan tai kaupungin ympäristösihteeriltä tai asioita käsittelevältä lautakunnalta.

Metsätuholaki koskee vain ainespuun mitat täyttävää puutavaraa. Jos hakkuupaikalla on enemmän kuin 10 kuutiometriä syyskuun alun ja toukokuun lopun välillä hakattuja männyn tai kuusen tyveyksiä tai vastaavia ainespuuksi kelpaamattomia ainespuun mitat täyttäviä rungonosia, tulee puutavaran omistajan hoitaa puut pois metsästä tai välivarastolta tai käsitellä puutavara. Jos taimikkovaiheen ohittaneessa metsässä on luonnontuhon aiheuttamia havupuita yli 10 % puuston runkoluvusta tai vähintään 20 vahingoittuneen havupuun ryhmä tai ryhmiä, on maanomistajan hoidettava puut pois tai käsitellä puut lain edellyttämällä tavalla. Näissä tapauksissa on kuitenkin mahdollista soveltaa kohtuullisuuspykälää. (Maa- ja metsätalousministeriön... 1991).

Kestävän metsätalouden rahoituslain kriteerit on hyvä ennalta selvittää, mikäli nuoren metsän kunnostukseen ja energiapuun korjuuseen haetaan valtion tukea. Omaan käyttöön omasta metsästä otettu polttopuu on verovapaata. Käytetyn polttopuun määrä pitää mainita maatalouden veroilmoituksessa. Oma polttopuuta saa kuljettaa verovapaasti omalla maataloustraktorilla verottomalla polttoaineella. Kuljetuksessa on otettava huomioon liikenneturvallisuus, eikä kuljetuksilla saa roskata teitä ja tienvarsia.

Ainespuuhakkuun jälkeisten tyvileikkojen ja metsään jääneiden puiden keruu tapahtuu metsänomistajan ja metsäyhtiön välisen sopimuksen mukaan. Tähän perustuu myös metsätuholain edellyttämä mahdollinen vastuu metsään jääneen puutavaran omistuksesta, korjuusta ja käsitelystä.

2.9 Metsähakkeen työllisyysvaikutukset

Metsähakkeen hankinta merkitsee maakunnille välittömiä, paikallisia työllisyysvaikutuksia. Risutukkien hankinnan työllistävyys on ollut laskelmissa vähäisin eli 0,3 työvuotta 1000 kuutiometriä kohti (Taulukko 9). Kokopuuhaketta hyödyntävällä lämpöyrittäjyydellä on laskettu olevan eniten työllisyysvaikutuksia eli 1,4 työvuotta 1000 kuutiometriä kohti. Konetyönä tehtävä kokopuuhake työllistäisi 0,2 työvuotta per 1000 m³ vähemmän kuin metsurityönä tehtävä kokopuuhakkeen tuotanto. Alan työt ovat kuitenkin yleensä kausiluonteisia.

Hakkuutähdehakkeen hankinnan nettotulo vaikutuksen on laskettu olevan 18 - 24 €/m³ ja kokopuuhakkeen 29 - 38 €/m³ haketyypistä ja käytettävästä tuotantoteknologiasta riippuen. Suurin osa tuloista kanavoitui laskelmissa hakkeen tuotantoalueelle. Poltto- ja voiteluaineet, koneet ja laitteet sekä kuorma-autot ja varaosat merkitsevät ulkomaille meneviä tuloja. Kokopuuhakkeen hankintaa koskevassa tarkastelussa on mukana valtion tuet (-11 €/m³). (Hakkila 2004).

Hakkila (2004) on arvioinut metsähakkeen tuotannon työllisyysvaikutuksia vuonna 2010. Metsäverojärjestelmän muutos sekä viimeaikaisten hakkuiden painottuminen uudistushakkuisiin korostaa pienpuuhakkeen työllistävyysmerkitystä tulevaisuudessa. Pienpuuhakkeen tuotanto merkitsee myös merkittävää hoitopanosta maakuntien nuorille metsille, mikä osaltaan turvaa teollisuuden ainespuuhoitoa tulevaisuudessa.

Taulukko 9. Arvio metsähakkeen tuotannon työllisyysvaikutuksista vuonna 2010 Hakkilan (2004) mukaan.

Metsähaketyyppi ja teknologia	Tuotanto 1000 m ³	Työpäivät / 1000 m ³	Työvuodet
Kokopuu konehakuuna	600	0,6	360
Kokopuu metsurihakuuna	200	1,2	240
Ranka omatoimisesti	200	2,0	400
Hakkuutähdehake	2500	0,3	750
Kantomurske	1500	0,35	525
Metsähake yhteensä	5000	0,45	2275

2.10 Metsäteollisuuden puuperäiset sivutuotteet ja jalosteet energiantuotannossa

2.10.1 Metsäteollisuuden sivutuotteet - kuori, puru, selluhake ja purilaat

Kuutiometrissä sahatukkaa saadaan 0,5 m³ sahatavaraa, 0,4 m³ haketta, 0,1 m³ kuorta ja 0,1 m³ purua. Enin osa sahatuksesta päätyy sellun ja paperin raaka-aineeksi. Backman ja Hourunranta (2005) ovat todenneet sivutuotteiden myynnin selittävän menestyneiden piensahojen (vuotuinen puunkäyttö alle 10 000 m³ raakapuuta) hyvää liiketulosta. Sahojen lämpöyrittöimintää kyseisessä Työtehoseuran tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkasteltu.

PK-saha joutuu ostamaan tukkien lisäksi metsänomistajalta myös kuitupuut, jotka se sahaakkeen lisäksi myy integraatin sellu- ja paperitehtaalle. Muut sivutuotteet ja varsinkin kuori käytetään sahatavaran kuivauskamareitten lämmitykseen. PK-sahan ylijäämäenergia voidaan myydä läheisen taajaman kaukolämpöverkkoon.

Kuoren osuus kaikesta raakapuusta on noin 12 %. Puunkorjuussa tapahtuva kuorihävikki sekä hävikki sahan varastokentillä pilaavat yhteensä noin 15 % sinänsä polttoon kelpaavasta kuoresta. Lisäksi puun kuoriutuminen prosessissa on vajavaista, mikä merkitsee vajaan prosentin lisähävikkiä. Kaikesta kuoresta päätyy sahojen ja tehtaiden oman käytön ja energialiiketoiminnan jälkeen 42 % kaupalliseen käyttöön (Hakkila 2004). Kuoren keinokuivatus ei ole kuitenkaan ollut viimeaikaisilla hinnoilla toimiva vaihtoehto. Kuoren varastoinnin yhteydessä ilmenneet kosteusvaihtelut, homehavainnot ja kuiva-ainehävikki ovat ongelmallisia asioita (Hakkila 2004).

Alkukesän 2005 metsäteollisuuden työselkkauksen aikana PK-saha saattoi myydä pilaantuvan selluhakkeen lämpölaitoksille polttohakkeeksi. Sahanpurua voidaan jalostaa myös briketeiksi polttokäyttöön tai puupelleteiksi, mikä lisää liikevaihtoa. Samalla saha-alueet siistiytyvät.

Vanerin sorvauksessa jäljelle jäävät pölkyn keskiosat eli purilaat voidaan käyttää polttoon tai trukkilavojen tekoon. Jos tyyppillisen vaneritehtaan vuosituotanto on noin 30 000 m³, silloin vaneritukkeja tarvitaan 90 000 m³. Hakkilan (2004) mukaan vaneriteollisuuden purilaita ja muita sivutuotteita on maassamme käytettävissä noin kaksi 2 miljoonaa kuutiometriä vuositasona.

2.10.2 Pilkkeet, pelletit ja puuetanoli metsäenergian jalosteina

Pilkkeet eli klapit. Suomessa oli 2000-luvun alkupuolella noin 2000 pilkekauppiasta kaupan volyymin ollessa 300 000 m³ vuositasona. Vain 3 % kauppiasta eli pelkästään pilkekaupalla. Pilkekaupan päämarkkina-alueena oli useimmiten kauppiaan oma kotikunta. Suurin osa raaka-aineesta oli kauppiaan omasta metsästä peräisin. (Seppänen ym. 2004).

Suurimmat ongelmat pilketuotannossa ja -kaupassa olivat alhainen kysyntä ja hinta, useat käsittelykerrat paljon työtä vaativassa logistisessa ketjussa sekä satunnaiset harmaan talouden pilkekauppiat. Pilkkeen keinokuivaus, markkinointi ja varastointi sekä käsittelykertojen vähentäminen kaipasivat kyselyn mukaan kehittämistä (Kuva 11). (Seppänen ym. 2004) Samoja ongelmia on tullut esille Ahon (2006) kyselyssä.

Seinäjoen ammattikorkeakoulu toteutti Kuusiokuntien kehittämissyhdistyksen kanssa polttopuun käyttöä ja mökkitalonmiespalveluita koskevan kyselyn Soinissa ja Lehtimäellä sijaitsevien kesämökkikiinteistöjen omistajille. Kaikkiaan kyselyn lähetettiin 700 mökkiläiselle, ja sen vastausosuus oli 33 %. Vastaajat halusivat ensisijaisesti ostaa rankaa. Edulliselle sekapilkkeelle oli vähemmän kysyntää kuin koivupilkkeille. Mökkiteiden lumenaurauksille ja polttopuun kuljetuspalveluille oli kysyntää. Pilkkeiden pinoamiselle ei ollut kysyntää, sillä moni haluaa mennä mökille nimenomaan tekemään töitä. (Monto & Ranttila 2005). Tutkimuksessa todettiin koivupilketuotannon olevan kannattavaa käytetyillä laskentatiedoilla (Taulukko 10).

Taulukko 10. Koivupilkkeen tuotantokustannukset 10 kiintokuutiometrin erälle ilman arvonlisäveroa (Monto & Ranttila 2005). Laskelmassa 10 kiintokuutiometriä on 25 irtokuutiometriä. Yrittäjä toimittaa pilkkeet metsästä mökkiläisen puuliiteriin.

Koivukuitupuu 10 m ³ a 12,50 €/m ³	yhteensä 125 €
Koivukuitupuun hakkuu metsurityönä 15,50 €/m ³	
Koivukuitupuun metsäkuljetus 4,00 €/m ³	
Koivukuitupuun korjuu	yhteensä 195 €
Koivukuitupuun kaukokuljetus traktorilla 7,00 €/m ³	yhteensä 70 €
Hallintokulut 4,0 €/m ³	yhteensä 40 €
Pilkekoneen tuottavuus oli 13 irtto-m ³ /h. Työajan menekki 25 irtto-m ³ :lle oli 2 tuntia Traktori-, pilkekone- ja ihmistyö maksoi 25 €/h Kahden tunnin työ maksoi siten	yhteensä 50 €
Pilkkeiden kuljetus 8 m ³ :n peräkärillä toimitettuna (3 kuormaa) maksoi 1,00 €/km Kuljetusmatka yhteensä oli 45 km. Pilkkeiden kuljetus	yhteensä 45 €
Pilkkeiden ladonta kesti 12 h a 10 €/h	yhteensä 120 €
Kustannukset yhteensä	645 €
Kustannukset per irtokuutiometri	25,8 €
Koivupilkkeen laskutushinta	40 €

Muun muassa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella toimiville Halkoliiteri.com 59-polttopuuyrittäjälle suunnatussa kyselyssä selvitettiin alan tuotanto ja sen lisäämismahdollisuudet (Aho 2006). Kyselyyn vastasi 28 yrittäjää. Etelä-Pohjanmaalla polttopuuta käytetään vuositasolla keskimäärin 0,6 miljoonaa m³, ja se painottuu erityisesti maataloilille. (Aho 2006).

Polttopuun tuottajista oli suurin osa maa- ja metsätalouden harjoittajia. Tuottajien keski-ikä oli noin 45 vuotta, ja suurin osa vastanneista oli yli 50-vuotiaita. Tuotetuina polttopuuna oli 33 cm:n koivupilke, ja toiseksi tuotetuina sekapilke. Pilkettä tuotettiin 5000 irtto-m³ vuonna 2005. Kolmanneksi eniten tuotettiin 1200 irtto-m³ metrin koivuhalkoa. Koivupilkkeen tuotanto voitaisiin lisätä 8800 irtto-m³:iin vuositasolla. Nykyajan takat sopivat hyvin pilkkeen polttoon, mutta vain harvoissa taloissa on enää halkojen polttoon sopivia leivinuuneja. Sahapinnan tuottamismahdollisuudet olivat heikoimmat. Polttopuun tuotanto painottui kevääseen, mikä selittyi yrittäjien vuotuisella ajankäytön hallinnalla ja paikallistiestön hyvällä kantavuudella. (Aho 2006).

Esimerkiksi pilketuotannon laajentaminen edellyttää markkinoinnin kehittämistä, kuivaamojen rakentamista ja pääomia Ahon (2006) tekemän kyselyn mukaan. Myös klapien vienti kiinnosti kyselyyn vastanneita. Yhteiskuljetuksen järjestäminen polttopuun vientiin koettiin tärkeäksi.

Polttopuu meni irtotavarana parhaiten kaupaksi. Trukkilavalla pakatut verkkosäkit toimivat pakkasmateriaalina, muttei tilaa vievät trukkilavoille pakatut häkit. Internet-avusteisen markkinointiin toivottiin esittelyjä tuotteista ja pakkausvaihtoehdoista. (Aho 2006).



Kuva 11. Tuomarniemen halkovarasto keväällä 2006. (Kuva Risto Lauhanen).

Pelletit. Puupelletti on energiatihein kiinteä, uusiutuva ja kotimainen polttoaine. Sen energiasäältö on 4,75 kWh/kg. Puupellettien varastotarve on pieni eli 5 tonnia pellettejä (24 000 kWh) sopii 7,5 m³:n tilaan. Tästä määrästä tulee vain 20 kg tuhkaa. Vapo (2005). Pienkiinteistöjen lämmitykseen Vapo (2005) suosittelee puupohjaisia pellettejä sekä suurkäyttäjille puunkuoresta, metsähakkeesta, oljesta, ruokohelvestä ja turpeesta valmistettuja pellettejä. Laskelmien mukaan 260 000 tonnia pellettiä riittää yli 60 000 omakotitalon lämmitykseen vuodessa (4 300 tonnia/talo). Tämä määrä korvaisi 120 miljoonaa litraa öljyä.

Puupelletit sopivat hyvin maatilan lämmitykseen (Vuorio 2006). Esimerkkinä olleen peruskorjatun maatilan päärakennuksen pinta-ala oli 280 m² ja tilavuus 600 m³ (7 h + k + khh). Sen lämmittäminen (säiliö 10 m³, 5700 kg) vei vuodessa noin 10 000 kg puupellettejä, jotka tilattiin suoraan tehtaalta. Pellettien laatu on parantunut 2000-luvun alkupuolella.

Vuorion (2006) tutkimuksen pellettejä koskevat tekniset lukuarvot vastasivat suurin piirtein VTT:n laajemman aineiston tuloksia (Kallio & Kallio 2004). Kyseisessä tutkimuksessa sahanpurun, havupuun kuoren sekä hakkuutähteen pelletöinti onnistui, vaikkakin hakkuutähteen pelletöinti oli hidasta raaka-aineen alhaisen irtotiheyden takia. Tutkitun rengasmatriisikoneen kapasiteetti oli 1000 kg/h ja tasomatriisikoneen 40 kg/h. Toisaalla Takalo (1997) on ilmoittanut tuhkapellettien tuotantokapasiteetiksi vastaavanlaisia matriisin koosta riippuvia lukuja. Puupellettien teko vaati eniten tehoa (noin 130 kWh/t), kun muiden raaka-aineiden osalta tehon tarve

oli luokkaa 80 kWh/t. Pelletöinnin sidosaineista ja eri materiaaleista tarvitaan lisätutkimuksia, samoin niiden käytöstä, palamiskäyttötymisestä, palokaasuista ja kannattavuudelta (Kallio & Kallio 2004). Takalo (1997) oli todennut heinän ja kauran pelletöityneen hyvin 8 prosentin kosteudessa.

Puuetanolin valmistusprosessi on ollut tiedossa jo kauan (ks. Lampinen & Jokinen 2006). Sulfiittiselluloosan valmistuksen sivutuotteena saatavaa spriitä tuotettiin aikanaan Suomessakin. Nykyisin Suomessa ei valmisteta sulfiittiselluloosaa. Sen sijaan Yhdysvalloissa on viime aikoina tutkittu puuetanolin tuotantovaihtoehtoja, mutta sikäläistä puunhankintalogistiikkaa ei voi sellaisenaan soveltaa Suomessa.

Puupohjaisten biopolttoaineiden valmistus on aivan hiljattain tuotu esille bioenergian tuotantovaihtoehtona. Taustalla on metsäteollisuuden kilpailukyvyn parantaminen. (Maailman... 2006, McKeough & Kurkela 2006). Suomalainen metsäteollisuus ja VTT alkavat lähiaikoina tutkia puun kaasutusta ja sen jalostamista biopolttoaineeksi Fischer-Tropsch –synteesin (FT-synteesi) avulla sellun ja paperin valmistuksen yhteydessä (McKeough & Kurkela 2006). Laskelemien mukaan 600 000 paperitonnia vuodessa tuottavan tehtaan yhteydessä voidaan tuottaa 105 000 puudieseliä vuositasolla (McKeough & Kurkela 2006).

Puupohjaisen biopolttoainetuotannon kasvihuonekaasuvaikutuksista on myös keskusteltu. Puuetanolin käyttö vähentää hiilipitoisia kasvihuonekaasuja, mutta lisää ilman rikkipäästöjä. (Petrolia 2006). Toisaalta kasvihuonekaasupäästöistä on esitetty päinvastaisiakin tutkimustuloksia (Pimentel & Patzek 2005).

3 Energiaturve

3.1 Etelä-Pohjanmaan ja sen tavoite 2 –alueen turvevarat

Suomen pinta-alasta kolmannes eli noin 10 miljoonaa hehtaaria on turvemaita, joista turveteollisuus hyödyntää vajaan prosentin energia-, kasvualusta- sekä ympäristönhoitokäyttöön. Hyvin maatonut, tumma rahkaturve soveltuu parhaiten energiaturpeeksi. Energiaturpeen käyttö (16-25 TWh/a) maassamme on alle turvevarojen vuosikasvun (40 TWh/a). Turve on kotimainen, uusiutuva luonnonvara ja merkittävä suovaltaisten seutukuntien työllistäjä. Turve varmistaa puun ohella Suomen energiaomavaraisuutta ja energian huoltovarmuutta. (Turveteollisuusliitto 2006). Turpeen energiakäyttö lisääntyi voimakkaasti 1970-luvun alun öljykriisiin jälkeen. Energiaturpeen asema on kuitenkin muutostilassa vuonna 2005 alkaneen päästökaupan myötä.

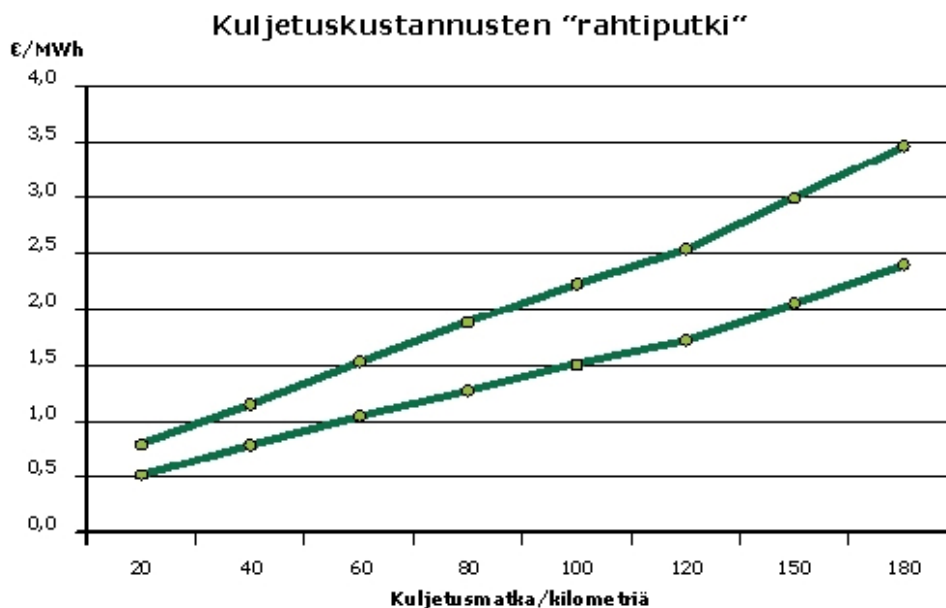
Etelä-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden kokonaispinta-ala oli 17254 hehtaaria vuonna 2002 (Peura 2003). Tästä tavoite 2 –alueen osuus oli 15 600 hehtaaria kaikkiaan eri 172 tuotantoalueella. Tavoite 2 –alueella Vapon turvesoiden (80 kappaletta) osuus oli 77 %, ja loput (92 kappaletta) olivat yksityisten turvetuottajien omistuksessa. Vaikka Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella on merkittävää energiaturvetuotantoa, ei Karijoella ole turvetuotantoalueita ollenkaan. Vaasan yliopiston tilastoima kokonaispinta-ala sisälsi energia-, kasvualusta- ja ympäristönhoitoturpeen tuotantoalueet. Eniten turvetuotantoa (5400 ha) oli Eteläisten Seinänaapureitten alueella (Peura 2003).

VTT-prosessit on vuonna 2005 laskenut Etelä-Pohjanmaan vuotuiseksi energiaturpeen tuotantoalaksi noin 10 000 hehtaaria, mistä maakunnan omaan tarpeeseen riittää 3000 hehtaaria. Lopulta runsaalta 6000 hehtaarilta energiaturvetta toimitetaan maakunnan ulkopuolelle. Etelä-Pohjanmaan teknisesti käyttökelpoinen turvetuotantoala on noin 77 000 hehtaaria. Tuotantoalan tarve tulee säilymään nykyisellään vuoteen 2020 saakka. Maakunnan turpeen keskisato (energiasäلتö) on keskimäärin 425 MWh/ha. (Flyktman 2005). Edellä mainitusta kokonaispinta-alasta saadaan laskemalla tavoite 2 –alueen turvetuotanto-alueen osuudeksi runsaat 9000 hehtaaria ja energiasäلتöksi vajaat 4 GWh per vuosi.

3.2 Energiaturpeen tuotantologiikka

Perinteisesti suurten lämpölaitosten käyttämä jyrshinturpe irrotetaan noin 20 millimetrin kerroksena kuivatusta varten suon pinnasta. Kuivatuksen edistämiseksi jyrshös käännetään 1-3 kertaa kahden vuorokauden aikana. Sen jälkeen kuivunut turve karhetaan noin 9 metriä leveällä viivotinkarheajalla. Karhe kuormataan turveperävaunuihin traktorin vetämällä hihnakuormaimella ja varastoidaan aumoihin. Vapon tuottaman jyrshinturpeen kosteus on keskimäärin 46 - 47 prosenttia. Se sisältää energiaa keskimäärin 2,8 MWh/t eli noin 9,9 MJ/kg. (Vapo 2006).

Pienempien lämpölaitosten käyttämä palaturpe jyrshitään kentästä palannostokoneella, jossa on 30 - 50 senttimetrin leikkuuterillä varustetut nostokiekot ja nostoruuvit. Nostetut palat ovat halkaisijaltaan 40 - 70 millimetrin nauhaa. Paloja kuivatetaan 1 - 2 viikkoa ja sinä aikana niitä käännetään 1 - 2 kertaa 19 metrin työlevyisellä kääntäjällä. Palojen tavoitekosteus on 35 %. Sitten palat karhetaan, ja niistä seulotaan pyörivien muovikiekkojen avulla hienoaines pois. Lopuksi palat kuormataan seulalla varustetulla ja traktorin vetämällä hihnakuormaajalla ja kuljetetaan aumoihin. Aumaus tehdään kaivinkoneella, koska palojen päällä ei voi ajaa. Aumoista turve kuljetetaan lämpölaitoksille (Kuva 12). Vapon palaturpeen kosteus on keskimäärin 37 - 39 % ja se sisältää energiaa keskimäärin 3,4 MWh/t eli noin 12,2 MJ/kg. (Vapo 2006).



Kuva 12. Kuljetusmatkan vaikutus energiaturpeen hintaan. (Kuva: www.vapo.fi 2006).

Vapo on tuonut turvetuotantoon uuden menetelmän, jossa sovelletaan aurinkoenergiaa hyödyntävää biomassakuivuria (Mutka ym. 2006, Vapo 2006). Turpeennostoalue valmistellaan perinteisin keinoin turvetuotantoa varten. Uudessa menetelmässä turve nostetaan 21 tonnin kaivinkoneella paksuturpeiselta suolta. Noston jälkeen turve johdetaan betonipumpulla 80 %:n kosteudessa asvaltoidulle lämpökentän äärelle. Betonipumppu siirtää turvetta 600 metrin päähän nostopaikasta Kihniön Aitonevalla, mutta tavoitteena on kyetä jopa 2 000 metrin pumppausmatkaan. Kentälle turve levitetään erityisellä levitinvaunulla sopiviksi palasiksi. Lämpökentällä turpeen kosteus alenee 20 - 30 %:n tasolle 1 - 2 vuorokaudessa vuodenajasta ja säästä riippuen kentän alla olevien lämpöputkien sekä osin aurinko- ja tuulienergian avulla. Kuivumisen jälkeen turve karhetaan traktorin ja etukarhen avulla sekä kerätään mekaanisella kokoojavaunulla. (Mutka ym. 2006, Vapo 2006).

Uusi tuotantoteknologia mahdollistaa tuotantotehon noston 20-kertaiseksi nykyiseen verrattuna, kun tuotantokausi pitenee yli kuuteen kuukauteen. Turpeen laatu paranee tuotannon sääherkkyyden vähentyessä. Lisäksi tuotannon ympäristövaikutukset (melu, pöly, hiukkaset, vesistökuormitus, hiilipäästöt) vähenevät. Uuden teknologian mallissa hehtaari suota vastaa 10 - 20 hehtaarin jysinturvekenttää. Jatkossa kasvihuonekaasuja runsaasti päästävät vanhat turvepellot ovat hyviä energiaturpeen tuotantokohteita. (Mutka ym. 2006, Vapo 2006). Tulevaisuuden tavoitteena on nostaa kolmannes turpeesta biomassakuivurimenetelmällä. Uusi teknologia heikentää kuitenkin perinteisen nostokaluston käyttötarvetta sekä alan yrittäjien työllisyyttä.

4 Peltoenergia

EU-maiden maatalouden ylituotanto sekä tukipolitiikka ovat lisänneet kiinnostusta non-food tuotantoon sekä peltojen käyttöön energiakasvien tuotannossa (ks. Toivonen & Tahvanainen 1998). Esimerkiksi Ruotsissa peltoenergian tuotannon osuus oli vuonna 2005 yksi TWh, kun vuonna 2020 tuotantotavoite on 22 TWh (Parikka 2005, ks. Forss & Telkkä 2005).

Toisaalla Virossa viljelymaasta on 40 % jäänyt pois käytöstä, ja uusiutuvien energianlähteiden tuotanto on kolminkertaistunut (Koppel 2005, ks. Forss & Telkkä 2005). Puolassa sen sijaan halpa ruskohiili (6 €/t) on uusiutuvien energialähteiden ja peltoenergian käytön esteenä. Vuonna 2001 ruskohiilen osuus polttoaineista oli 76 %, ja uusiutuvien energialähteiden osuus vain 4,3 %. Vuoteen 2020 mennessä Puolakin haluaa nelinkertaistaa uusiutuvien energialähteiden tuotannon (Plotkowski 2005, ks. Forss & Telkkä 2005).

4.1 Ruokohelpi ja olki

Suomessa kiinnostus nykyisenlaiseen ruokohelven ja oljen energiakäyttöön alkoi jo 1990-luvulla (Palonen 1997). Niitä voidaan polttaa sellaisenaan tai seospolttoaineina, eikä siis teknisiä esteitä niiden käyttöön ole ollut. Kauran oljen sato on noin 2 t/ha ja energiasaanto 6 MWh/ha (Hyttinen 2005).

Ruokohelven energiasaanto on 25 - 35 MWh/ha ja biologinen kuiva-ainesato 5 - 10 t/ha (mm. Hyttinen 2005, Laurila 2006, Laurila & Lauhanen 2006). Ruokohelven tehollinen lämpöarvo

kuiva-aineesta on noin 4,5 MWh/t. Hehtaarin helpisato vastaa suunnilleen 1,5 omakotitalon (140 m²) vuotuista lämmöntarvetta (sisältäen käyttöveden lämmityksen 5 henkilölle). Vastaavan energiamäärän tuottamiseen tarvittaisiin yli 3 500 litraa kevyttä polttoöljyä. Fossiilisten poltto-aineiden korvaaminen ruokohelvellä vähentää hiilidioksidipäästöjä, työllistää ihmisiä maaseudulla ja lisää maamme energiaomavaraisuusastetta. (Laurila & Lauhanen 2006).

Ruokohelpi on monivuotinen heinäkasvi, joka kuuluu Suomen luonnonvaraisiin kasveihin. Ruokohelpi muodostaa noin 1,5 - 2,0 metriä korkean kasvuston ja se leviää tehokkaasti juurakoidensa avulla. Luontaisesti ruokohelpi kasvaa rannoilla ja kosteikoilla. Maalajin suhteen ruokohelpi ei ole vaateliias ja viljeltyinä se menestyy kaikilla maalajeilla. Multa- ja hietamailla kasvi antaa kuitenkin parhaimman sadon, mutta myös turvemailta saadaan hyviä satoja. Maalaji vaikuttaa myös biomassan koostumukseen. Orasvaiheessa ruokohelpi on poudanarka eikä se siedä varjostusta. Ruokohelpeä ei saa niittää kylvövuonna. Ensimmäinen sato ruokohelvestä voidaan korjata vasta kahden vuoden kuluttua kylvöstä, ja se on 20 - 40 % pienempi kuin seuraavien vuosien sato. Normaalin satonsa ruokohelpi saavuttaa yleensä vasta kolmen vuoden kuluttua kylvöstä. (Pahkala ym. 2002, Laurila & Lauhanen 2006).

Ruokohelven korjuu voidaan suorittaa joko syyskesällä tai keväällä. Ennen kasvukauden alkua kevätkorjatun ruokohelven polttoaineominaisuudet ovat parempia kuin syksyllä korjatun. Kevätkorjuu on syytä aloittaa aikaisin keväällä heti lumien sulettua, kun pelto vielä kantaa koneita (Kuva 13). Ruokohelven on oltava kuitenkin riittävän kuivaa. Tällöin saadaan eniten satoa, jonka kuiva-ainepitoisuus on jopa 90 %. Kasvukauden päätteeksi ruokohelpi siirtää maanpäällisestä osasta ravinteita juurakkoonsa. Tähän liittyen myös kasvin tuhkapitoisuus on keväällä pienempi kuin syksyllä. Koska kevätkorjuussa maanpäällistä kasvustoa ei poisteta kasvukauden aikana, niin syntyy toimiva ravinnekiertosysteemi, joka mahdollistaa pitkäikäisen kasvuston olemassaolon. Mikäli ruokohelpisato korjataan keväisin niin kylvöjen väli voi olla yli 10 vuotta. (Pahkala ym. 2002, Laurila & Lauhanen 2006).

Ruokohelven kevätkorjuussa peltojen sijainnilla ja kantavuudella on suuri merkitys sadonkorjuun onnistumisen kannalta. Ruokohelpiviljelmät tulisi perustaa ainoastaan kohteisiin, mihin kulkeminen kelirikon aikana raskailla koneilla ja täysperävaunuyhdistelmillä on mahdollista. Perustamisvaiheessa on kiinnitettävä erityistä huomiota pellon tasaisuuteen, sillä epätasainen pelto vaikeuttaa sadonkorjuuta ja aiheuttaa korjuutappioita. (Laurila & Lauhanen 2006).

Vielä 1990-luvulla ruokohelven tuottaminen energiantuotantoon oli liian kallista (417 €/ha ja 69 €/t). Sen sijaan olki oli hinnaltaan kilpailukykyinen materiaali bioenergiaksi jo tuolloin (61 €/ha ja 30 €/t). Laskelmissa olivat mukana myös kuljetuskustannukset lämpölaitokselle, muttei tukia. Tuolloin C1-alueen maataloustuet olivat 344 €/ha. (Palonen 1997).



Kuva 13. Ruokohelven korjuutyömaa Kuortaneella. Kuva Jussi Laurila.

Kymmenisen vuotta sitten Alavuden alueella yli 60 % kyselyyn vastanneista viljelijöistä oli kiinnostunut ruokohelven viljelystä energiatuotantoa varten, mikäli hinta oli tyydyttävä. Jos ruokohelven hinta olisi ollut noin 3,4 snt/kg, kiinnostus olisi laskenut 30 %:n tasolle. Oljella vastaavat luvut olivat Alavuden alueella noin 80 % ja noin 50 %. (Palonen 1997). Keskimäärin ruokohelven ja oljen tuotantopotentiaali riitti kattamaan 10 %:n raaka-aineosuuden usean alle 10 MW:n lämpölaitoksilla. Laskelmissa kesantoalasta oletettiin 30 % ruokohelven tuotantoon ja 30 % oljesta korjuuseen. Laskelmissa hankinta-alueen säde eli kannattava kaukokuljetusmatka oli 30 km. Yli 100 MW:n laitoksille ruokohelven ja oljen yhteenlaskettu potentiaali ei riittänyt kattamaan 10 %:n samanaikaista energiaosuutta edellä mainituilla laskentaoletuksilla. (Palonen 1997).

Vuoden 2006 tilanteessa ruokohelven tuotanto ei onnistu ilman EU-tukia. Kuortaneen energiaosuuskunta on saanut myönteisiä kokemuksia ruokohelven briketöinnistä. Laskettaessa ruokohelven viljely-, korjuu-, lähikuljetus-, kaukokuljetus-, murskaus- ja briketöintikustannukset yhteen saatiin valmiin briketin tuotantokustannuksiksi Kuortaneella 172 €/t. Vähentämällä kustannuksista EU-tuet saatiin briketin verottomaksi ja katteettomaksi hinnaksi 59 €/t. (Laurila & Lauhanen 2006).

4.2 Viljan poltto

Kiinnostus viljan käyttämiseen lämpöenergiaksi on kasvanut viljan hinnan tasaisen laskun ja samanaikaisen energian hinnan kasvun myötä (Kirkkari 2006). Viljantuotanto hallitaan perinteisesti muiden energiakasvien tuottamiseen verrattuna. Työtehoseuran mukaan viljanpolton teknologian kehittyminen yhdessä viljan edullisuuden kanssa edistää viljan käyttöä lämpöenergiak-

si. Viljanpoltto on niin uusi asia, ettei varsinaisia toimintamalleja sen energiakäyttöön ja tuotantoon vielä ole. Esimerkkilaskelmissa rehukauran tulot hehtaaria kohti olivat 957 € satotason ollessa 4 t/ha vuoden 2006 myyntihinnat ja tuet huomioon ottaen. Vastaavasti lämpölaitoksen energiakaurasta tarjoama hinta ja viljelytuet olivat arviolta 778 €/ha. Vuonna 2006 energiakasvituki on 45 €/ha. Vuonna 2005 viljan tuotantokustannukset olivat keskimäärin 1125 €/ha. Viljanpolton kannattavuuteen omalla tilalla vaikuttavat muiden energialähteiden hinnat. (Kirkkari 2006).

Alle 25 prosentin kosteudessa viljanpoltossa ei ole ilmennyt poltto-ongelmia. Esille on kuitenkin tuotu viljan homeongelmat terveystörinä ja liian määrän viljan käyminen. Kun vilja käy, sen lämpöarvo alenee. Tältä osin viljan kuivaus ja säilyvyys kaipaavatkin tutkimista. (Kirkkari 2006). Viljanpolton ongelmana ovat kuitenkin olleet korkeat rikki- ja klooripitoisuudet, jotka voivat syövyttää polttokattiloita. Lisäksi viljan tuhkapitoisuus, noin 2 - 3 % kuiva-aineesta, on ollut puupellettien tuhkapitoisuutta korkeampi. (Kouki 2006). Globaalisti tarkastellen maissin ja viljan käyttö etanolin valmistukseen tai bioenergiaksi on eettisesti ja moraalisesti kyseenalaista maailman väestönkasvun ja nälänhädän keskellä (Pimentel & Patzek 2005).

4.3 Biodiesel

Biodiesel on yleisnimi eloperäisistä kasvi- ja eläinöljyistä sekä rasvoista tuotetulle polttoaineelle. Rypsi-biodieselin valmistuksessa rypsiä puristetaan rypsimetyyliesterin valmistukseen käytettävä rypsiöljy ja rehuksi käytettävä rypsiuriste erikseen (Kuva 14). Maatilatason laitteistolla 5000 kg rypsiä saadaan puristettua 3750 kg (75 %) ja rypsiöljyä 1250 kg (25 %). Kun rypsiöljy esteröidään 250 kg:lla metanolia ja seokseen lisätään 5 kg lipeää, saadaan 1000 kg RME:tä eli biodieseliä sekä 250 kg glyserolia. (Vihma ym. 2006).

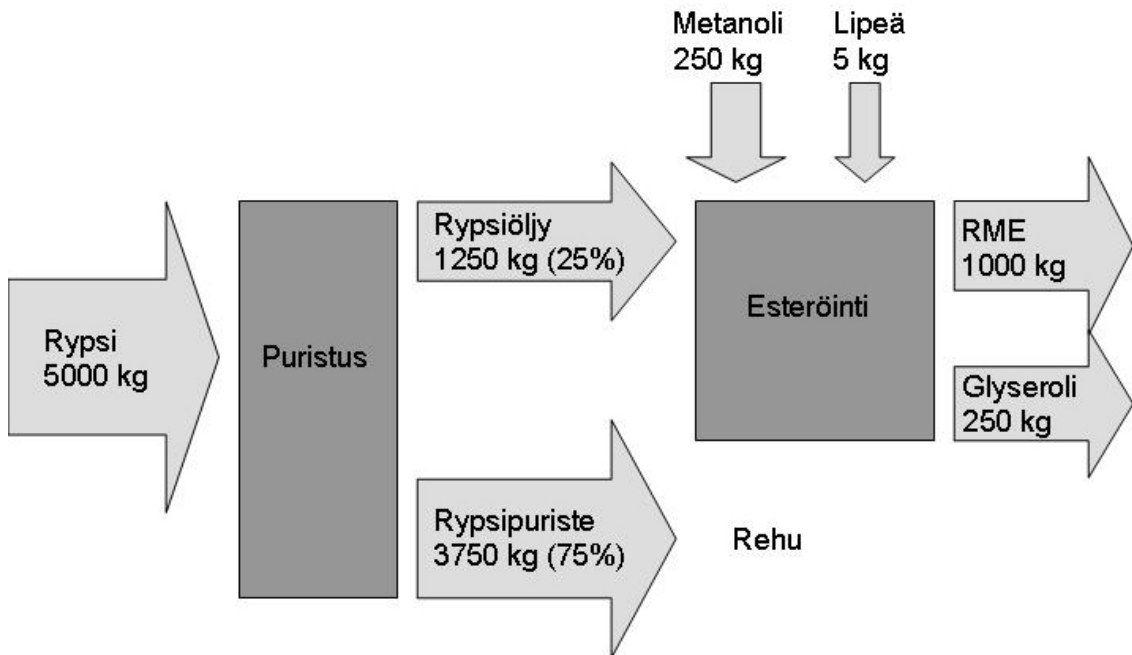
Vuoden 2006 hinnoilla ja teknologialla rypsi-biodieselin tuotanto oli kilpailukykyistä suuressa mittakaavassa. Kun rypsiöljyä puristettiin 110 litraa vuorokaudessa, tuotantokustannukset olivat 32 snt/l. Tuotantomäärää 1900 l/vrk vastaava tuotantokustannus oli 25 snt/l. Varsinaisen RME:n eli rypsimetyyliesterin tuotantokustannukset olivat vastaavasti 86 snt/l ja 41 snt/l, kun tuotantjärjestelmän käyttöaste oli 70 %. Ajoneuvokäytössä RME:n polttoaine- ja arvonlisäverolliset hinnat olivat tuotantomäärästä riippuen yli 140 snt/l ja yli 90 snt/l. Dieselin hintahan on ollut päälle 100 snt/l. (Vihma ym. 2006).

Viljelijän saama rypsin tuottajahinta on viime vuosina ollut noin 200 - 250 €/t. Sivutuotteen eli rypsiuristeiden hinta oli vuoden 2006 tilanteessa 200 €/t. Fossiilisten polttoaineiden hintakehitys, rypsin hinta sekä esteröinnin vaatiman työn määrä vaikuttivat biodiesel-tuotannon kilpailukykyyn. (Vihma ym. 2006)

Suomessa RME:n käytön on laskettu vähentävän kasvihuonekaasupäästöjä 50 - 80 %, jos RME:tä käytetään fossiilisen dieselöljyn sijasta. Ympäristön osalta vain RME:n typpioksidipäästöt on tuotu negatiivisena asiana esille. (Vihma ym. 2006). Toisaalla kuitenkin maissista valmistetun bioetanolin on todettu Michiganissa lisäävän ilman rikkidioksidipäästöjä (Petrolia 2006). Pimentelin ja Patzekin (2005) mukaan etanolin ja peltoenergian tuottamiseen kuluu keskimäärin enempi fossiilisia polttoaineita, kuin mitä peltokasveista saadaan bioenergiana. Esi-

merkiksi auringonkukasta valmistettavan biodieselin tuottaminen vaati 118 % enemmän fossiilista energiaa kuin mitä se tuotti biodieselinä (Pimentel & Patzek 2005). Tutkimustulokset peltoenergian kasvihuonekaasuvaikutuksista eivät siis ole keskenään yhdenmukaisia (Lampinen & Jokinen 2006, Mäkinen ym. 2006, Vihma ym. 2006). Peltokasveista valmistettavia nestemäisiä polttoaineita koskevat elinkaarianalyysilaskelmat ovat Suomessa kesken (Klemola 2006), eikä niiden laatiminen ole yksinkertaista (Nylynd 2006). Asioiden tarkasteluun vaikuttaa se, mitä kulloinkin elinkaaritarkasteluissa määritellään ja halutaan ottaa huomioon.

Viljasta valmistettavan bioetanolin tuotanto on nostettu viime aikoina korostetusti esille bioenergiakeskusteluissa (mm. Bioenergia... 2006). Kun raaka-aineen kysyntä kasvaa, niin raaka-aineen hinta nousee. Esimerkiksi myllärit pelkäävät parhaimman viljan päätyvän bioenergiaksi (Bioenergia... 2006). Samaan aikaan esimerkiksi ruokohelven energiatuotanto ei ole kannattavaa ilman maataloustukia (Laurila 2006, Laurila & Lauhanen 2006), kun taas kantoenergian tuottamiseen ei saa yhteiskunnan tukia. Keskusteluista jää myös sellainen vaikutelma, että maankuntiin suunnitellaan bioetanolitahdashankkeita poliittisin perustein ilman selkeitä investointien kustannushyötyanalyysitarkasteluja (Takalampi 2006). Toisaalta karjatilat eivät voi laittaa kaikkia peltojaan bioenergiakasvien tuotantoon (Rita 2006).



Kuva 14. Esimerkki rypsi biodieselin tuotantoprosessista maatilatason laitteistolla (Vihma ym. 2006; kuvan on uudelleen piirtänyt Jussi Laurila).

Nylund (2006) kysyykin, voisiko hidas kiirohtaminen olla viisautta liikenteen biopolttoaineiden kehittämisessä ja käyttöön otossa mm. seuraavin perustein: Ohrasta (hehtaarisato noin 4 t/v) tuotettava viljaetanoli joutuu kilpailemaan brasilialaisen sokeriruokoetanolin (hehtaarisato 80 - 90 t/v) kanssa. Biopolttoaineiden käytön vaarana on tällä hetkellä ajoneuvojen kylmäkäyttöominaisuuksien huononeminen ja typenoksidipäästöjen kasvu (Nylund 2006). Sitä paitsi maatilata-

son bioetanolin tuotanto tuskin saa lupaa vallitsevan alkoholipolitiikan takia (Lampinen & Jokinen 2006).

Jatkossa biodieselin tuotanto vaikuttaa järkevältä ääripäissä eli suuressa mittakaavassa ja yksittäisen maatilan tasolla. Kustannustehokas valtakunnan tason biodieselin tuotanto edellyttää suuria tuotantomääriä, alhaisia yksikkökustannuksia ja valtakunnallisen jakeluverkoston kehittämistä. Suuret toimijat turvaavat biodieselmarkkinat ja tasaisen polttoaineen laadun. Valtion täytyy kerätä biodieselistäkin verotuloja. Maatila voisi tuottaa biodieseliä omiin tarpeisiinsa eli lämmitykseen ja omissa töissä käytettäviin työkoneisiin. Tilatason omaa biodieseliä ei saisi käyttää tilan ulkopuolisessa yritystoiminnassa, jottei kilpailu vääristy. Kylä- ja kuntatasolla verottoman biodieselin tuottaminen merkitsisi alhaista tuotantovolyymia, korkeaa biodieselin markkinahintaa, alhaista lopputuotteen kysyntää, mahdollisia polttoaineen laadunvaihteluita sekä suppeaa jakeluverkostoa.

4.4 Energiapaju

Kiinnostus energiapajuun kasvoi aikanaan 1970-luvun alkupuolen energiakriisin jälkeen (ks. Heino & Hytönen 2005). Sitten 1970-luvun EU-maiden maatalouden ylituotanto-ongelmista syntynyt vaihtoehtoinen non-food -ajattelu on lisännyt kiinnostusta myös energiapajua kohtaan. Nopeakasvuiset pajut käyttävät tehokkaasti aurinkoenergiaa ja sitovat ilmakehän hiilidioksidia. (Tahvanainen 1995, Toivonen & Tahvanainen 1998). Kahden vuoden takaisessa tilanteessa pajua ei viljelty Suomessa energiakäyttöön (Itä-Suomen... 2004).

Energiapajun keskimääräinen, todennäköinen hehtaarisato on voinut olla 6 - 9 t kuiva-ainetta hehtaaria ja vuotta kohti (Tahvanainen 1995, Hytönen 1996, Toivonen & Tahvanainen 1998, Forss & Kaipainen 2005), joskin pajulajista, lannoituksista, kasvupaikasta ja kasvuoloista aiheutuu tuotoksissa vaihtelua. Kuiva-ainetonnista (kosteus 50 %) energiapajua on saatu 4,5 MWh energiaa. Energiapajun kustannustehokas tuotanto tapahtuu 10 000 – 20 000 pistokkaalla. Energiapajuviljelmä tarvitsee säännöllistä lannoitusta ja se tuottaa raaka-ainetta 20 - 25 vuoden ajan, kun yhden sadon kiertoaika on 3 - 5 vuotta. (Toivonen & Tahvanainen 1998, Forss & Kaipainen 2005). Sadonkorjuu tapahtuu tehokkaimmin menetelmällä, jossa pajut kaadetaan ja haketetaan samalla kertaa. Miestyövaltainen kaato ja erillinen haketus ei ole kustannustehokasta (Tahvanainen 1995).

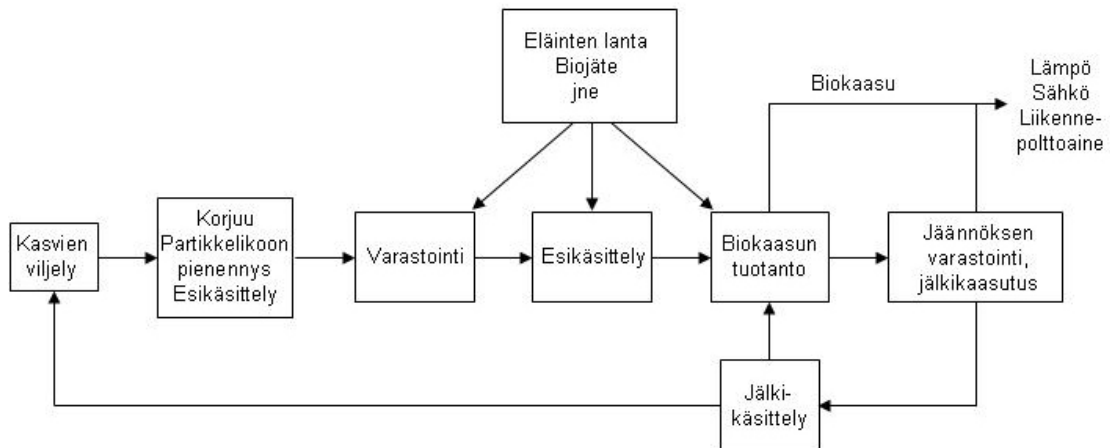
Pajun pistokasviljelmien puute, korjuuteknologia kustannuksineen, tukipolitiikka sekä biomassatuotannon lyhyen aikavälin häiriöherkkyys on tuotu esille energiapajun käytön rajoitteina (Tahvanainen 1995, Forss & Kaipainen 2005). Ympäristötuen puuttuminen heikentää energiapajun kannattavuutta ruokohelpeen verrattuna (Itä-Suomen... 2004).

Vuoden 1998 tilanteessa satotasolla 8 t/ha energiapajusta olisi pitänyt saada noin 22 €/MWh ilman tukia Suomessa (Toivonen & Tahvanainen 1998). Tuolloin puuenergian käyttöpaikkahinta oli noin 10 €/MWh. Tilanne oli tuolloin 1998 samankaltainen myös muissa pohjoismaissa, eli energiapajun tuotanto ei ollut kannattavaa yksittäisillä maatiloilla ilman tukia. Itä-Suomen peltoenergiaselvityksen (2004) laskelmien mukaan pajasadon myyntihinnan ollessa 22,5 €/t (5 €/MWh), energiapajun tuotannon kannattavuus oli noin 350-360 €/ha vuoden 2006 tukitasolla

viljelyvyöhykkeestä riippuen. Maatalousmaiden siirtäminen puubiomassatuotantoon sekä uusi-muotoisen puuntuotannon vaikutukset maankäyttöön ja hiilensidontaan on tuotu esille yhtenä metsäsektorin tutkimuskohteena (Maailman... 2006).

4.5 Maatilan biokaasuenergia

Biokaasun tuottaminen perustuu mikrobitoimintaan. Hapettomissa oloissa mikrobit hajottavat orgaanista ainetta (esimerkiksi karjanlantaa, biojätettä ja kasveja) siten, että lopputuotteena muodostuu merkittävästi metaania sisältävää biokaasua (Kuva 15). Biokaasussa on noin 60 % metaania, noin 40 % hiilidioksidia, sekä rikkivetyä, ammoniakkaa, vettä ja hääkää. Biokaasun metaania voidaan käyttää sekä sähkön- että lämmöntuotannossa. Biokaasumetaani soveltuu autojen ja työkoneiden polttoaineeksi, ja sitä pidetään puhtaimpana liikennepolttoaineena. Kasviuonekaasuneutraali biokaasu vähentää maatalouden ympäristövaikutuksia. Biokaasutuotannossa muodostuva kiintoaines soveltuu lannoitteeksi, jossa on runsaasti peltokasveille käyttökelpoista ammoniumtyyppiä. (Lehtomäki ym. 2003, Lampinen 2004, Lehtomäki & Rintala 2006).



Kuva 15. Biokaasun tuotantoketju peltobiomassoista ja muista materiaaleista (Lehtomäki & Rintala 2006; kuvan on uudelleen piirtänyt Jussi Laurila).

Useimmat kasvit voivat tuottaa metaania 250 - 500 litraa kuiva-ainekiloa kohti (Taulukko 11). Viljelty pellohehtaari tuottaisi jopa 3000 m³ metaania vuodessa, mikä riittäisi 1-2 auton vuotuisiin polttoainetarpeisiin. Biokaasun tuotanto peltomassoista on kannattavinta toteuttaa hajautettuna energiantuotantona, koska silloin kuljetuskustannukset ovat alimmillaan. Lannasta puolestaan saadaan 7 - 20 kuutiometriä metaania märkätonnia kohti. Kuutiometri metaania vastaa noin yhtä litraa öljyä ja 10 kWh energiaa. (Lehtomäki ym. 2003, Lehtomäki & Rintala 2006).

Laukaassa on saatu hyviä kokemuksia biokaasun käytöstä maatilalla. Erkki Kalmarin tilan lämmitys, päiväsiähkön tuotanto ja viljan kuivaus perustuvat biokaasuun. Satapäisen karjan tuotaman lannan ja biokaasureaktorin avulla on mahdollista kuljettaa myös autoa. Yksi tankkaus riittää noin 300 kilometrin automatkaan, kun autossa on 80-litrainen biokaasutankki. Kalmari on

laskenut, että yhden lehmän vuotuisella lannantuotannolla ajaa 4000 kilometriä. Vuoden 2003 tilanteessa Kalmarin Volvo V70 Bi-fuel oli Suomen ensimmäinen, nykyaikainen biokaasulla kulkeva auto, jolla oli ajettu noin 30 000 kilometriä ilman ongelmia. (Heikura 2003). Elokuun 2006 Farmari-näyttelyyn mennessä auto oli edelleen kulkenut biokaasulla moitteettomasti (Kalmari 2006). Tutkimuskäyttöön liittyen verottomalla polttoaineella, kuten mäntyöljyllä, kulkevaan autoon voi saada vapautuksen dieselverosta (Takalo 1995). Bioenergialla kulkevien autojen dieselverokysymys herättää keskustelua. Joka tapauksessa on selvää, että valtio kerää polttoaineiden hinnassa veroja.

Taulukko 11. Eri biomassojen sadot ja energiasisällöt (ks. Lehtomäki & Rintala 2006).

	kuiva-aine t/ha	metaania m ³ CH ₄ /ha	bruttoenergia MWh/ha	henkilöauto-km 1000 km/ha
Timoteinurmi	8-11	2900-4000	28-38	36-50
Ruokohelpi	9-10	3800-4200	37-41	47-53
Sokerijuurikas + naatit	13-17	5200-6800	50-66	65-85
Sokerijuurikas – naatit	3-5	900-1500	8-14	11-18
Kauran olki	2	600	6	7

Biopolttoaineella kulkevien autojen käyttö on muissa maissa yleisempää kuin Suomessa, ja niistä saadut kokemukset ovat olleet myönteisiä (Lampinen & Jokinen 2006). Esimerkiksi Ruotsissa kunnallisesta, yhdyskuntajätettä hyödyntävästä liikennebiokaasun tuotannosta ja ajoneuvoista on jo yli 10 vuoden kokemukset (Lampinen 2006).

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen naapurikunnassa, Ilmajoella, selvitettiin keskitetyn lantoja käsittelevän biokaasulaitoksen toimintaedellytyksiä vuosina 2005 - 2006 (Lauri & Vuorenmaa 2006). Ilmajoki on monen tavoite 2 –alueen kunnan tavoin merkittävä kotieläintuotannon keskittymä. Keskitetty biokaasulaitos olisi käyttänyt maatalouden lietettä noin 80 000 t/a. Sen käsittelemänsä oli ollut 5 €/t. Laitoksen vuotuinen metaanituotanto olisi ollut 600 000 – 700 000 kuutiometriä, ja se olisi käytetty lämmitykseen ja mahdollisesti osittain sähköntuotantoon. Biokaasun lämpöarvo oli laskelmissa 6,5 kWh/m³.

Ilmajoen laitokselle olisivat toimintaedellytykset olleet olemassa, mutta suureen 6 - 7 miljoonan euron investointiin liittyi arveluttavan suuri taloudellinen riski. Laitos olisi tarvinnut myös ympäristövaikutusten arviointiprosessin sekä ympäristöluvan. Biokaasuasioiden valmistelua oli kuitenkin tarpeen jatkaa Ilmajoella työryhmätasolla. (Lauri & Vuorenmaa 2006).

Alan T&K –toiminnan laajentaminen tavoite 2 –alueelle on jatkossa tarpeen. Maatilan biokaasupotentiaalia riittää, sillä Peuran (2003) esittämistä vuoden 2002 tilastoista voidaan laskea tavoite 2 –alueen kokonaislantamääräksi noin 69 000 m³. Eniten karjanlantaa kertyy Ähtärissä. Turkiseläinten lantaa oli eniten Järviseudulla.

5 Energiasektorin verot, maksut, tuet ja päästökauppa

Välttämättömiin hyödykkeisiin kuten polttonesteisiin ja sähköön liittyy erilaisia veroja ja maksuja, joilla on merkitystä julkisen sektorin rahoituksessa ja yhteiskunnan eri palvelujen ylläpidossa. Energiapuulla ei ole valmiste- tai muita veroja ja maksuja, mutta kevyellä polttoöljyllä niiden osuus oli kaikkein suurin (6,0 €/MWh) vuoden 2004 alussa (Hakkila 2004). Esimerkiksi kivihiilen valmistevero oli 43,5 €/t (6,1 €/MWh) heinäkuun 2005 alussa. Moottoribensiinillä se oli noin 58 c/l (48,4 €/MWh), dieselöljyllä noin 32 c/l (27 €/MWh) sekä kevyellä ja raskaalla polttoöljyllä noin 6 - 7 c/l (5,2 - 6,0 €/MWh). Turpeen valmistevero oli vielä vuoden 2003 alussa 1,6 €/MWh, mutta heinäkuun 2005 alkuun mennessä turpeen valmistevero oli jo poistettu. Turpeella ei ole myöskään huoltovarmuusmaksua toisin kuin muilla polttoaineilla. Vuoden 2005 alussa tuontiöljystä ja öljytuotteista perittävä öljysuojamaksu oli 0,50 €/tonnia (43 €/MWh) kohti (Energiakatsaus... 2006).

Sähkön kuluttajilta peritään energiaveroja sähkön tuotantotavasta riippumatta. Sähkön tuotannossa puun kilpailuasemaa on helpotettu, kun metsähakkeen tai yhtä lailla tuulivoiman osalta kuluttajilta perittyjä veroja on palautettu sähkön tuottajalle noin 7 €/MWh (Hakkila 2004).

Nuoren metsän kunnostuskohteilta metsänomistajille on maksettu pinta-alaperusteista tukea, jos työ on teetetty ulkopuolisella työvoimalla tai se on tehty itse. Vuonna 2004 tuki oli 126 - 211 €/ha tilanteesta riippuen. Lisäksi korjuutukea on maksettu runsaat 3 €/MWh ja haketustukea vastaavasti yli 2 €/MWh. Juurakoitten korjuuseen tukea maksettiin 0,44 €/m³ eli noin 0,9 €/MWh. Hakkureille, murskaimille, paalaimille ja pienpuuston kaato-kasauslaitteille on voinut saada tyypillisesti 25 prosentin investointituen laitteen uushankintahinnasta. Yhteiskunta on myös rahoittanut merkittävällä tavalla bioenergiasektorin T&K -hankkeita. (Hakkila 2004).

EU:n päästökauppa käynnistyi vuoden 2005 alussa. Tässä vaiheessa kauppaa käydään hiilidioksidista. Muut kasvihuonekaasut otetaan mukaan vuoden 2007 jälkeen (Hakkila 2004). Suomessa päästökauppa kattaa noin puolet maamme kasvihuonekaasupäästöistä. Päästökaupan piiriin kuuluvat öljynjalostamot, koksamot, rauta- ja terästehtaat, lasi- ja villatehtaat, kemiallinen metsäteollisuus, kalkkitehtaat sekä keraaminen teollisuus. Samoin lämpölaitoksista polttoaineteholtan yli 20 MW:n energialaitokset kuuluvat päästökaupan pariin. Kaikkien päästökaupan piiriin kuuluvien toimijoiden on haettava viranomaislupa. (Hakkila 2004).

Suomessa noin 300 toimijaa tarvitsi päästöluvat toiminnan alkuvaiheessa. EU:n komissio jakoi päästöoikeudet kansallisten suunnitelmien perusteella. Jos luvan haltija ylittää päästöoikeuden, se joutuu ostamaan puuttuvat oikeudet markkinoilta. Käyttämättömät oikeudet voi joko myydä niitä tarvitseville tai säilyttää tulevaisuutta varten. Päästöoikeuksien hinnan arvioitiin asettuvan tasolle 5 - 20 €/hiilidioksiditonnia kohti. (Hakkila 2004).

Vuoden 2006 aikana päästöoikeuden hinta on ollut 15 - 30 €/t. Kun sähkön hinta kohosi päästöoikeuksien hinnan kasvun myötä, järjestelmä todettiin toimivaksi. Mutta kun päästöoikeuksien hinta puolittui laskien markkinasähkön hintaa, osa sähkön tuottajista kritisoi järjestelmän toimivuutta.

Itä-Suomen peltoenergiaohjelman laatimisen yhteydessä Ekono-Watt sekä Joensuun yliopiston metsätieteellinen tiedekunta ovat laskeneet verojen, maksujen ja päästöoikeuksien hinnan vaikutuksia eri polttoaineiden hintoihin (Taulukko 12). Päästökaupan piirissä olevien laitosten kyky maksaa polttoaineesta lisääntyä lineaarisesti päästöoikeuden hinnan mukaisesti, edellyttäen, että laitos kykenee korvaamaan turpeen käyttöä. Jos päästöoikeuden hinta olisi 10 €/t CO₂, maksukyky paranisi 3 - 4 €/MWh eli 13 - 18 €/t. Energiapajun tapauksessa päästökauppahyöty oli 3 €/MWh. (Itä-Suomen... 2004).

Taulukko 12. Itä-Suomen peltoenergiaohjelman laatimisen yhteydessä on tarkasteltu verojen, maksujen ja päästöoikeuksien hintojen vaikutusta polttoaineiden väliseen kilpailukykyyn vuoden 2003 tilanteessa. Turpeen valmistevero 1,6 €/MWh oli tuolloin vielä tarkastelussa mukana. (Itä-Suomen... 2004). Selitykset: CHP = yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto, CO₂ = hiilidioksidi, POR = raskas polttoöljy, POK = kevyt polttoöljy.

Polttoaine	Polttoaineen hinta €/MWh	Valmistevero + huoltovarmuus- maksu, €/MWh		Päästöoikeuden hintavaikutus €/MWh	
		Lämpö	CHP-sähkö	5 €/t (CO ₂)	20 €/t (CO ₂)
Metsähake	10,0	0	-2,0*	0	0
Sivutuote	7,5	0	-1,2*	0	0
Peltoenergia		0	-1,2**	0	0
Turve	7,9	1,6	0,8	1,9	7,6
Kaasu	14,0	1,9	0,8	1,0	4,1
Hiili	5,4	6,3	3,3	1,7	6,8
POR	16,1	5,3		1,4	5,6
POK	24,4	7,1		1,3	5,3

* = metsähakkeella tuotetulle sähkölle maksettu tuotantotuki 0,69 snt/KWh ja muiden puupolttoaineiden osalta 0,42 snt/KWh

** = peltoenergiaista vain pajulla tuotetulle sähkölle on maksettu tuotantotukea 0,42 snt/KWh

6 Lämpörittäjäys ja sen ongelmat

Työteho-seura on pitkäjänteisesti tutkinut lämpörittäjäyttä valtakunnan tasolla. Vuoden 2003 lopussa lämpörittäjät vastasivat lämpölaitosten polttoainehuollosta ja lämmön tuotannosta ainakin runsaalla 200 lämpölaitoksella. Vuoteen 2002 verrattuna laitosten lukumäärä kasvoi 46 laitoksella. Laitosten keskimääräinen kattilateho oli 0,5 MW. Yleisintä lämpörittäminen oli Länsi-Suomessa. Metsähaketta käytettiin 290 000 irto-m³, sahauspintahaketta 20 000 irto-m³ sekä purua ja kuorta 11 000 irto-m³ yrittäjävetoisissa laitoksissa. Pala- ja jyrshinturvetta käytettiin 20 000 irto-m³. Pellettien ja brikettien osuus oli 4 000 irto-m³, samoin halkoja ja muita polttoaineita. Kunnat olivat lämpörittäjien tärkein asiakasryhmä. Kuntien aluelämpölaitokset sekä koulujen ja vanhainkotien laitoksen ovat tärkeitä metsähakkeen toimituskohteita. (Nikkola & Solmio 2004, Solmio 2006). Tällä hetkellä maassamme on jo noin kolmesataa 1,0 - 2,5 MW:n lämpölaitosta, jotka käyttävät noin 0,5 miljoonaa irtokuutiometriä puupolttoainetta vuosisatasolla. Yksi laitos käyttää keskimäärin 1 500 irtokuutiometriä metsähaketta vuodessa. (Solmio 2006).

Työteho-seuran mukaan 60 prosenttia lämpörittäjistä piti toimintaansa kannattavana tai hyvin kannattavana vuoden 2005 tilanteessa. Edelleen 38 prosenttia piti toiminnan kannattavuutta

tydyttävänä. Alan kustannusrakenteessa oli yritys kohtaista vaihtelua. Esimerkiksi yhdellä tutkimuksen yrittäjällä lämmön myyntihinnasta (noin 30 €/MWh) katteen osuus oli 0,9 € kun taas toisessa esimerkissä katteen osuus oli 29,7 € noin 50 €/MWh:n myyntihinnasta. Polttoainekulujen osuus oli 10 - 18 €/MWh. Pääomakulujen osuus laitos- ja verkostoinvestoinneista oli 19-39 prosenttia tuotantokustannuksista kattilateholtaan 1,0 - 2,5 MW:n laitoksilla helmikuun 2005 tilanteessa. Investointien rahoittamiseksi yrittäjien kannattaa periä lämmöstä sekä perusmaksua että kulutusmaksua. Laitoksen ylivoimaisuudesta on syytä välttää. Yhden megawatin laitoksen hakevaraston suositeltava koko on vähintään 200 m³, mikä vastaa noin viiden vuorokauden kiinteän polttoaineen tarvetta. Lämpöyrittämisen ohkeen on hyvä kytkeä muuta yrittäjyyttä, esimerkiksi maatalojen hakeurakointia. Silloin riskit minimoituvat ja korjuukaluston käyttöaste kasvaa. (Solmio 2006).

Lämpöyrittämiseen liittyviä teknisiä ongelmia ovat mm. hakkeen kosteusvaihtelut ja holvaantumisen. Myös poltossa on edelleen esiintynyt ongelmia, ja heikkolaatuisten polttoaineiden käyttöä on syytä välttää (Solmio 2006). Alan sopimuksissa on myös kehitettävää, ja mallisopimusten luominen on tarpeen. Laitosten korkeat investointikustannukset sekä julkisia tukia koskeva tiedon puute on ollut lämpöyrittäjien ongelmana. Polttotekniikoita ja niiden ympäristövaikutuksia on tarpeen arvioida, samoin kannattavuuslaskelmien laatimiseen ja päätöksentekoon tarvittaisiin apua. (Helynen & Oravainen 2002). Paikallistason lämpöyrittäjien ongelmana on myös ollut se, että kaikki aika menee varsinaisen työn tekemiseen. Esimerkiksi omaan T&K-toimintaan ei ole aikaa. (Lauhanen & Humalamäki 2006).

Lämpöyrittäjät toivoivat myös yhtenäisiä hintoja polttopuulle. (Aho 2006). Tämä ei olisi kuitenkaan vapaan markkinatalouden hinnoitteluedellytysten mukaista. Yhtenäinen hinnoittelu kun ei ota huomioon puunhankinnan logistisen ketjun kokonaiskustannuksia. Tämä merkitsisi sitä, että osa yrittäjistä tuottaisi polttopuuta voitolla ja osa tappiolla.

Motiva on esittänyt elokuussa 2006 myös biopolttoainepörssin käyttöönottoa (STT...2006). Yksittäisessä puukaupassa hankintalogistiikan kustannukset selittävät keskeisen osan ostajan puusta maksukyvystä. Sama ajatusmalli pätee myös bioenergian hankinnassa. Käytännössä merkittävä volyyymi energiapuun hankinnassa kytkeytyy ainespuun hankintalogistiikkaan. Bioenergian tuotannon toimitusvarmuutta on myös korostettu hintavaihteluihin verrattuna (STT... 2006).

7 Tarkastelu: yhteenveto, ongelmat ja tutkimustarpeet

Katsauksessa on koostettu ajankohtaista tietoa metsä-, pelto- ja turve-energiasta sekä maatalouden biokaasuenergiasta. Samalla on kerätty materiaalia käynnissä olevan Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen bioenergiainvestoinnin energiapotentiaali- ja logistiikkalaskelmien tueksi. Katsauksessa esitetyjä asioita on mahdollista käyttää apuna bioenergia-alan yritysten suunnittelussa ja toiminnassa, tukien ohjauksessa, alan neuvonnan kehittämisessä ja ohjaamisessa, logistisen päätöksenteon tukena. Tutkijoiden tehtävänä on tuottaa tietoa. Käytännön toimijat puolestaan päättävät, käyttävätkö tutkimustietoa vai eivät. Lisäksi jokainen päätöksentekijä vastaa aina itse omista laskelmistaan ja päätöksistään.

Katsauksessa esitettyjen tutkimusten ja selvitysten perusteella on mahdollista laatia seuraava yhteenveto bioenergiasektorin keskeisistä aihealueista sekä alan ongelmista, pullonkauloista ja tutkimustarpeista. Lisäksi käsillä olevan hankkeen keväällä pitämä aivoriihi sekä asiantuntijaryhmän kokoukset ovat myös esittäneet tutkimustarpeita.

Bioenergian käytön yleiset rajoitteet. Vaihtoehtoisten polttoaineiden hintakehitys, tuet, verotus ja päästökauppa ohjaavat eri energialähteiden käyttöä (Hakkila 2004). Esimerkiksi raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan epätodennäköinen romahtaminen vähentäisi polttopuun kysyntää. Puulämmitys on pois öljylämmitykseltä ja päinvastoin. Taustalla on koko ajan eri energiamuotojen välinen kilpailu. Metsäkone- ja autoyrittäjien motivoituminen metsähakkeen tuotantoon tarvitaan. Toiminnan tulee olla yrittäjille kannattavaa (Hakkila 2004). Koulutustarvekyselyitä tarvitaan samaan aikaan, kun alan houkuttelevuutta on voitava lisätä.

Myös biopolttoaineiden verotuksesta on viime aikoina keskusteltu runsaasti. Polttoaineveroja koskevat poliittiset päätökset vaikuttavat koko ajan biodieselin kilpailukyvyyn taustalla. (Vihma ym. 2006). Kansallinen ja kansainvälinen energia- ja ilmastopolitiikka ratkaisevat elinkeinoelämän kiinnostuksen bioenergiaan.

Pienpuun korjuussa koneellisen hakkuutyön tuottavuus on ollut 2 - 10 m³/h. Poistettavan rungon keskikoko vaikuttaa eniten hakkuutyön tuottavuuteen. Kun rungon koko ylittää 15 dm³, koneellisen hakkuun tuottavuus paranee ja koko hankintaketjun kustannukset alenevat. Konetyö on metsurityötä edullisempaa rungon koon ollessa 35 dm³ tai enemmän. Korjuri on ollut kaikkein kallein ratkaisu hakkuutyöhön. Koneellisen korjuun suuremmat kourakasat alentavat metsäkuljetuksen kustannuksia miestyöhön verrattuna. Metsäkuljetuksen tuottavuus on tutkimuksissa ollut 10 - 15 m³/h. Metsäkuljetusmatka ja kuormatilan rakenne vaikuttavat metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Kaikkiaan pienpuusta saatavan kokopuuhakkeen hankinta maksaa keskimäärin noin 30 €/m³ eli noin 15 €/MWh.

Pienpuun korjuun uusia innovaatioita koskevia metsätyöntutkimuksia tarvitaan toiminnan kustannustehokkuuden lisäämiseksi. Tulevina vuosina taimikonhoito korostuu osana pienpuun hankintaa, ja kustannustehokkaiden taimikonhoitokoneiden kehittäminen on tärkeää samaan aikaan, kun metsäalaa uhkaa suorittavan tason työvoimapula. Lisäksi on tarpeen laatia ajan tasalla olevia logistisia laskelmia käytännön päätöksenteon tueksi. Siinä missä teollisuuden ainespuun osalta tarkastellaan tehdashintaa, energiapuun tapauksessa voidaan tarkastella käyttöpaikkahintaa. Tarvitaan myös jatkuvia paikallistason inventointeja taimikoiden ja nuorten metsien korjuun työnlaadusta. Julkisten ja puolueettomien inventointitutkimusten avulla on mahdollista päästä selville myös tarkastelualueen kulloisenkin inventointiajankohtaan kytketystä leimikkorakenteesta.

Uudistusalojen latvusmassan eli irtorisun hankinnassa risutukkien paalaus vaatii erikoiskalustoa, mutta muuten risutukkien metsäkuljetus ja kaukokuljetus on mahdollista toteuttaa tavanomaisella metsäkuljetus- ja kaukokuljetuskalustolla. Risutukkimenetelmä on kilpailukykyinen pitkällä kaukokuljetusmatkoilla. Alle 60 kilometrin kaukokuljetusmatkoilla latvusmassa kannattaa hakettaa välivarastolla. Hakkutähdehakkeen teko on teknisesti helpompaa kuin nuorten metsien kunnostuskohteilta saatavan pienpuuhankkeen. Sen tavoitehinnaksi on asetettu 20 €/m³ eli 10 €/MWh.

Kantojen ja juurakoiden hyödyntämistä perustellaan metsänuudistamisen helpottumisella sekä metsähygienian paranemisella. Kantojen ja juurakoiden nostoa koskevaa julkista tutkimustietoa tarvitaan hankintalogistiikasta ja hankintakustannuksista. Erityisesti kantojen ja juurakoiden kosteuskäyttötymisestä varastoinnin aikana tarvitaan tietoa. Kantojen ja juurakoiden energiakäytön pitkäaikaisista vaikutuksista metsäekosysteemiin tarvitaan tutkimustietoa erityisesti uudistamisalojen vesakoitumisesta ja ravinnehävikistä.

Kantojen ja juurakoiden hyödyntämisen ongelmaksi on tullut lämpölaitoskattiloihin mukaan kulkeutuva maa-aines sekä muut epäpuhtaudet. Kantojen ja juurakoiden puhdistamisesta on tarpeen tutkia hankintaketjun eri vaiheissa sekä tuotantolaitoksilla.

Sekä metsästä että pelloilta saatavien bioenergianlähteiden kaukokuljetuksen ongelmana on kuljetettavan materiaalin suuri tilantarve kuljetettavaa massayksikköä kohti. Esimerkiksi kaukokuljetusmatkan kasvu 10 kilometristä 100 kilometriin nostaa hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksia runsaan 5 €/m³ eli runsaan 2,5 €/MWh. Paikallistie- ja metsäautotieverkoston kunnosapidosta huolehtiminen on yhteiskunnallisesti tärkeä tehtävä myös valtakunnallisten bioenergiatavoitteiden turvaamiseksi.

Kaukokuljetusten kustannustehokkuuden lisäämiseksi on tarpeen tutkia autokaluston käyttökel-
poisuutta metsä- ja peltobiomassojen samanaikaisessa kuljetuksessa varsinkin, kun niiden yhteiskäyttö lämpölaitoksilla alkaa yleistyä. Tarvitaan mallilaskelmia siitä, voiko saman metsäautotien varresta samalla umpiautolla kuljettaa sekä kannot että ruokohelpipaalit samalle käyttöpaikalle.

Toisaalta metsäteollisuuden sivutuotteena saatavien toisen sukupolven nestemäisten biopolttoaineiden valmistuksessa suunnitellaan energiapuun ja peltoenergiakasvien yhteiskäyttöä. Toisen sukupolven biopolttoaineiden tuotantoprosessit edellyttävät kokonaisvaltaista raaka-aineketjun mitta- ja laatuvaatimusten sekä kuljetusten ohjauksen hallintaa aivan kuten asiakaslähtöisessä raakapuunhankinnassakin. Ei riitä, että tutkimus keskittyy jatkossa vain uusien biopolttoaineiden tuotantoprosesseihin, vaan myös perusraaka-aineen hallintaprosessit on tutkittava perusteellisesti.

Energiapuun mittausta ei ole helppoa lukuisten energiapuulajien, niiden olomuodon ja kosteusvaihtelujen takia. Energiapuun mittauksen tulee olla tarkkaa, uskottavaa, luotettavaa ja kustannustehokasta eri osapuolia palvelevaa ja yhdenmukaista toimintaa. Mittauksen tulee kannustaa laadukkaaseen tuotteeseen ja energiatehokkuuteen. Energiapuun mittauslaki turvaisi eri osapuolten edut sopimusneuvotteluihin verrattuna. Energiapuun mittauksen yhdenmukaisten standardien luominen on tarpeen (Hakkila 2006).

Kuormainvaakamittauksen soveltuvuutta latvusmassan ja kantojen mittaukseen on tarpeen tutkia. Pitkäaikaisia tutkimuksia energiapuun eri olomuodoista ja mittasuureista tarvitaan sekä luovutus- että työmittauksen tueksi valtakunnan eri osissa. Esimerkiksi nuoren metsän kunnostuskohteelta poistettu energiapuumäärä tonneina, haketetun energiapuun tilavuus irtokuutiometreinä, hakeauton massa tonneina, lämpölaitokselle tuodun hakkeen energiasisältö megawattituntia per irtokuutiometri muodostavat logistisen ketjun metsästä käyttöpaikalle. Mainittujen mit-

tasuureiden välille on tarpeen määrittää muuntokertoimet. Kannot ja juurakot tarvitsevat vastaavat kertoimet sekä kytkennän uudistushakkuussa poistetun ainespuun määrään.

Metsälain, luonnonsuojelulain, metsätuholain, työsuojelusäädösten sekä metsäsertifioinnin ja puunhankinnan ympäristönäkökohdat on tiedostettava myös energiapuun hankinnassa. Energiapuun korjuuta korostavan metsänhoidon ja perinteisen metsänhoidon välillä ei ole merkittävää eroa tarkasteltaessa metsänomistajan metsästä saamia diskontattuja nettotuloja koko kiertoajan puitteissa.

Käytännön metsätalous ottaa huomioon ympäristöasiat energiapuun hankinnassa. Muun muassa kantoja ei nosteta eroosioherkiltä rinteiltä. Metsäenergian tuotannon uusia menetelmiä ja teknologioita on kuitenkin otettu nopeasti käyttöön selvittämättä esimerkiksi kantojen noston ympäristövaikutuksia pohjavesiin, maaperän eroosioon tai läheisiin pienvesiin. Pienpuun, latvusmassan sekä kantojen ja juurakoiden korjuussa käytettävien vaihtoehtojen ympäristövaikutukset on syytä tutkia (ks. Finér 2006). Myös yksityismetsätalouden ja metsänomistajien asennetta metsäenergiaa kohtaan on tarpeen tutkia kattavasti nykyhetken tilanteessa. Energiapuun hinta ja ravinnehävikikisyykset ovat esillä julkisessa keskustelussa.

Metsähakkeen työllisyysvaikutuksista suurin osa kanavoituu maakuntiin. Tuhannen metsähakekuutiometrin tuottaminen vaatii vajaat 0,5 työpäivää. Kansallisen metsäohjelman mukainen tavoite metsähakkeen käytön lisäämisestä vuoteen 2010 mennessä merkitsee noin 2300 työvuotta. Alan työt ovat kuitenkin kausiluonteisia. Pienpuuhakkeen tuotanto merkitsee samalla myös merkittävää hoitopanosta maakuntien nuorille metsille.

Kehitetyillä aluetalouden laskentamalleilla on tarpeen arvioida metsä-, pelto- ja turve-energian hankinnan työllisyysvaikutuksista. Samoin toisen sukupolven nestemäisten biopolttoaineiden työllisyysvaikutuksia on tarpeen tutkia. Esimerkiksi Helsingin yliopiston Ruralia-insituutissa käytössä olevan REGFIN-mallin (Törmä 2006) avulla on mahdollista tehdä ajantasaisia laskelmia bioenergian aluetalousvaikutuksista.

Metsäteollisuuden sivutuotteita ei PK-sahoja lukuun ottamatta hyödynnetä Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella. Alueella ei ole omaa kemiallista metsäteollisuutta eikä perinteistä levyteollisuutta (vaneri, kuitu- ja lastulevyt). Sahojen lähellä osa energiasta voidaan toimittaa taajamien kaukolämpöverkkoon.

PK-sahojen ja yhtälaila puun jatkojalostajien kannattavuuden kohentamista voitaisiin yrittää parantaa tutkimalla sivutuotevirtojen jalostamista kiinteiksi (brikitit, pelletit) sekä nestemäisiksi biopolttoaineiksi.

Turvetuotanto on merkittävä työllistäjä Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella, joka on energiaturpeen suhteen omavarainen alue. Energiaturpeen tuotantoon alueella on erinomaiset, luontaiset edellytykset. Turve turvaa myös kotimaisten polttoaineiden huoltovarmuuden. Uudet tuotantoteknologiat ovat entistä ympäristöystävällisempiä. Kotimaisessa ja kansainvälisessä politiikassa on tarpeen turvata turve-energian tuotannon toimintaedellytykset tavoite 2 –alueella.

Turvetuottajien sekä tutkimusorganisaatioiden tehtävänä on selvittää uusien turvetuotantomenetelmien pitkäaikaisia ympäristövaikutuksista. Käytöstä poistuvien turvetuotantoalueiden jälki-käyttöä on tarpeen kehittää ja arvioida mm. ympäristönsuojelun ja alueiden kehittämisen lähtökohdista.

Peltoenergiakasvit ovat yksi vaihtoehto pitää pellot tuotannossa. Peltoenergian tuotanto ei kuitenkaan onnistu nykyisin ilman EU:n maataloustukia. Vuonna 2006 energiakasvituki oli noin 45 €/ha. Sen lisäksi päälle tulevat vielä CAP-tuki, luonnonhaittakorvaus sekä ympäristötuki. Ruokohelven tuotanto voi kuitenkin olla jopa rehuohran tuotantoa kannattavampaa C2-alueella vuoden 2006 tilanteessa. Peltoenergiasta valmistettavia biopolttoaineita koskevat elinkaaritarkastelut ovat kesken, eivätkä kasvihuonekaasupäästöjä koskevat tutkimustulokset ole keskenään yhteneviä.

Suomen peltoalaa tarvitaan myös kuitenkin karjanrehun ja leipäviljan tuotantoon sekä laitumiksi. Viljanpolton etiikasta on keskusteltu, kun maailmalla on ruokapula. Viljanpolto ja olki vaativat myös oikeat polttoteknologiat niiden sisältämien kloori- ja rikkiyhdisteiden takia. Peltoenergiakasvien käyttö seospolttoaineena puuperäisten polttoaineiden ja turpeen kanssa on myös mahdollista.

Peltobiomassojen korjuun logistiikkaa ja polttotekniikoita on tarpeen tutkia. Erityisesti ruokohelven korjuutappioiden vähentämisselvitykset ovat tarpeen. Ruokohelpibrikettien kaukokuljetusta sekä brikettien polttoa kotitalouksien tulisijoissa on tarpeen tutkia. Tarvitaan puolueettomia tutkimuksia peltoenergian tuotannon kasvihuonekaasuvaikutuksista. Samoin biopolttoaineiden soveltuvuudesta kylmiin olosuhteisiin tarvitaan tietoa.

Energiapajujen pistokastuotantoa ja korjuuteknologiaa on kehitettävä, mikäli toimintaa aiotaan laajentaa. Lisäksi kylmät talvet ovat haitanneet joidenkin pajulajien kasvatusta. Energiapajun tuotanto ei Suomessa ainakaan suuressa mittakaavassa toistaiseksi kannata, koska sen tuotannosta ei makseta maatalouden ympäristötukea. Energiapajun kasvua ja tuotosta sekä tuotannon kannattavuutta ja logistiikkaa on tarpeen tutkia muuttuneissa ilmasto-olosuhteissa kasvihuoneilmiön torjunnassa.

Maatilojen biokaasuenergiasta sekä biokaasuautoista on Suomessa saatu myönteisiä kokemuksia, jotka koskevat kuitenkin joitakin paikallistason pilottihankkeita. Karjatilavaltaisella tavoite 2 -alueella riittää biokaasupotentiaalia ja tilatason investointeja edellyttävä hajautettu energiantuotanto on mahdollista. Laajan mittakaavan biokaasutuotanto vaatii kuitenkin toimivan ja turvallisen infrastruktuurin sekä kilpailukykyiset ja toimivat markkinat.

Vaasan yliopiston visioimia hajautetun energiantuotannon malleja on saatettava käytännön tasolle, minkä perusteella on tarpeen toteuttaa kokonaisvaltaisia tuotannon ja käytön logistiikkatutkimuksia. Lisäksi on tarpeen laatia biokaasun käyttöä koskevia markkina-analyysseja.

Energian käytöstä perittävät verot ja maksut ovat olennainen osa yhteiskunnan toimintojen rahoitusta. Energiatuet ovat mahdollistaneet osaltaan alan T&K-toiminnan sekä uusien teknologioiden ja investointien käyttöön ottamisen. Ilman yhteiskunnan tukia peltoenergian tuottaminen ja nuorten metsien kunnostukset eivät onnistu kannattavasti. **EU:n päästäkauppa** tukee

puuperäisen energian käyttöä, koska se vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja on fossiilisille polttoaineille rasite. Tulevaisuuden päästökauppaskenaarioiden vaikutusta on tarpeen tutkia.

Lämpörittäjä on ollut kasvava toimiala, jonka kannattavuus vaihtelee. Polttoaineen laadunhallinnassa ja polttotekniikoiden kehittämisessä on edelleen haasteita. Muiden palvelujen, kuten mökkitalonmies-, tienhoito- tai metsärittäjäpalvelujen, kytkemisestä lämpörittäjyyden yhteyteen on saatu myönteisiä kokemuksia.

Lämpörittäjyyttä ja sen kannattavuutta on tarpeen tutkia. Polttopuun vientikauppa on tuotu esille yhtenä lämpörittäjyyden vaihtoehtona. Sitä koskevia markkinakyselytutkimuksia on tarpeen toteuttaa. Samoin on tarpeen kartoittaa alueelliset vientirengas- ja tuottajaverkostot. Tietoa tarvitaan myös lämpörittäjyyden aluetalousvaikutuksista. Lisäksi julkisten neuvontahankkeiden tuloksellisuutta on tarpeen arvioida.

Kirjallisuus

- Aho, V. 2006. Etelä-Pohjanmaan polttopuu-yrittäjien tuotannon laajentamismahdollisuudet ja markkinoinnin kehittämistarpeet. Kyselytutkimus Halkoliiteri.com-yrittäjille. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö. 33 s.
- Asikainen, A. 2004. Puun korjuu ja kuljetus. Teoksessa: Harstela, P. (toim.) Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 26-36.
- Asikainen, A. , Ranta, T. , Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131. 107 s.
- Athanassiadis, D. 2000. Resource consumption and emissions induced by logging machinery in a life cycle perspective. Doctor's dissertation. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Umeå. Silvestria 143. 1-25.
- Backman, R. & Hourunranta, P. 2005. Piensahojen taloudelliset menestystekijät. The economical success factors of small sawmills. Työtehoseuran metsätiedote 4 (686). 4 s.
- Bioenergia jakaa mielipiteitä. 2006. Maaseudun Tulevaisuus. Pääkirjoitus 11.9.2006. s. 2.
- Elo, J. 2006. Energia Etelä-Pohjanmaalla. Electrowatt-Ekono Oy:n taustaselvitys Etelä-Pohjanmaan maakuntaohjelmaan. Etelä-pohjanmaan talous 1/2006. ss. 9-11.
- Energiakatsaus. 2006. Energy Review. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Katsaus 1/2006. 51 s.
- Etelä-Pohjanmaan liitto. 2006. Etelä-Pohjanmaan maakuntaohjelma 2007-2010. Luonnos 31.5.2006. 62 s.
- Finér, L. 1992. Biomass and nutrient dynamics of Scots pine on a drained ombrotrophic bog. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 420. 43 s. + 4 osajulkaisua.
- Finér, L. 2006. Metsäntutkimuslaitos. Sähköposti viesti 9.9.2006 liittyen kantojen noston ympäristövaikutuksiin.
- Flyktman, M. 2005. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. VTT Prosessit. Tutkimusselostus PRO2/2085/05. 28.12.2005. 46 s.
- Forss, E. & Telkkä, J. 2005. Peltoenergiasta tulevaisuus. Kansainvälinen seminaari Joensuussa 15.3.2005. Esitelmien tiivistelmämoniste 4 s. <http://www.puuvoima.fi/pdf/Peltoenergiasta%20tulevaisuus%20seminaariraportti.pdf>
- Forss, E. & Kaipainen, E. 2005. Productivity of willow in eastern Finland. Esitelmämoniste 15.3.2005. 7 s.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniutteitten määrä. Summary: Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root wood. Folia Forestalia 224. 14 s.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähankkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraaportti 5. 135 s.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Dnro:n 4191/67/2005/MMM mukainen selvitystehtävä. 25.2.2006. Moniste. 30 s.
- Hakkila, P. & Aarniala, M. 2004. Kannot hyödyntämätön voimavara. Puuenergian teknologiaohjelman tuloksia 2. 2 s.
- Halonen, M. 2005. Kannonnostokausi alkaa. Koneyrittäjä 3: 40-41.
- Harstela, P. 2005. Puun saatavuus turvaa metsäsektorin menestystä. Teoksessa: Niskanen, A. (toim.) Menestyvä metsäala ja tulevaisuuden haasteet. Metsäalan tulevaisuusfoorumi. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. ss. 25-37.
- Heikkilä, J. , Laitila, J. , Tantt, V. , Lindblad, J. , Siren, M. , Asikainen, A. , Pasanen, K. & Korhonen, K. T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Puuenergia. Metlan työraportteja 10. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.htm>. 56 s.
- Heikura, P. 2003. Erkki Kalmarin auto kulkee oman tilan lehmänlannalla. Kemia-Kemi Vol. 30(2003) 8: 36.
- Helynen, S. & Oravainen, H. 2002. Polttopuun pientuotannon ja -käytön kehitystarpeet. TEKES. Teknologiakatsaus 124. 27 s.
- Heino, E. & Hytönen, J. 2005. Suomalainen pajubibliografia. Finnish bibliography on willow. Metlan työraportteja 17. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp017.htm>

- Hynynen, J. & Ahtikoski, A. 2004. Puuntuotanto ja tuotto. Teoksessa: Harstela, P. (toim.) Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 7-15.
- Hyttinen, T. 2005. Valoa pimeässä. Kohti energiaomavaraisuutta maaseudulla. Vaasan yliopisto, Levon-instituutti. Julkaisu 116. 187 s.
- Hytönen, J. 1996. Biomass production and nutrition of short-rotation plantations. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 586. 61 s. + 9 osajulkaisua.
- Itä-Suomen peltoenergiaohjelma vuoteen 2010. 2004. Itäsuomen energiatoimisto 1/05. 69 s.
- Jylhä, P. 2004. Feasibility of an adapted tree section method for integrated harvesting of pulpwood and energy wood in early thinning of Scots pine. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 35-42.
- Järvinen, E., Latvala, T. & Rämö, A.-K. 2006. Maa- ja metsätalousyrittäjien mahdollisuudet ja halukkuus bioenergian tuotantoon Suomessa. *PTT-katsaus* 2/2006: 22-28.
- Kaivola, A. 2004. Metsäsertifioinnin tarkistetut vaatimukset valmistuneet. Revised requirements for forest certification completed. *Työtehosteuran metsätiedote* 2 (672): 1-4.
- Kallio, M. & Kallio, E. 2004. Puumateriaalin pelletöinti. VTT Prosessit. Projektiraportti PRO2/P6012/04. 65 s.
- Kalmari, E. 2006. Suullinen tieto biokaasuautosta Farmari 2006 –näyttelyn bioenergiaosastolla Seinäjoella 3.8.2006.
- Karjalainen, K. 2005. Valmet 801 Combi Bioenergy –korjuuketju. Korjuumenetelmän ideana kertakouraisu. *Koneyrittäjä* 2: 46-48.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes instituti forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- Kirkkari, A.-M. 2006. Viljan polton kannattavuus. Profitability of grain burning. *Teho* 2: 19-21.
- Klemola, K. 2006. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähköpostiviesti 28.3.2006 liittyen bioenergian tuotannon ja käytön kasvihuonekaasuvaikutuksiin.
- Koistinen, A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 40 s.
- Koppel, A. 2005. Uudistuvaa energiaa biomassasta Virossa: nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät Virossa. Teoksessa: Forss, E. & Telkkä, J. (toim.). Kansainvälinen seminaari ”Peltoenergiasta tulevaisuus” Joensuu 15.3.2005. Esielmien tiivistelmämoniste. 4 s.
- Korkeaoja, J. 2006. Bioenergian tulevaisuuden näkymät Suomessa. *PTT:n katsaus* 2: 6-10.
- Kouki, J. 2006. Viljalämmitykseen tarjolla lisää polttolaitteita. *Teho* 2: 22-23.
- Kyytönen, J. 2006a. Vapo: Kotimaisella säästöä 200 miljoonaa euroa vuodessa. *Maaseudun Tulevaisuus* 3.4.2006. s. 3.
- Kyytönen, J. 2006b. Vuotuinen energiakustannus ratkaiseva lämmityksen valinnassa. *Maaseudun Tulevaisuus* 12.4.2006. s. 11.
- Kärhä, K. 2004a. Keto Forst Energy ja Valmet 945 saksin –hakkuulaitteet energiapuun hakkuussa. Summary: Keto Forst Energy and Valmet 945 shear-head harvester heads in energy wood harvesting. *Metsätehon katsaus* 1: 1-4.
- Kärhä, K. 2004b. Hakkuutähteiden paalaus ja paalien metsäkuljetus. Summary: Slash bundling and bundle forwarding. *Metsätehon katsaus* 6: 1-4.
- Kärhä, K. 2005. Hakkuutähteiden korjuu päteihakkuualoilta. Kehittyvä puuhuolto 2005 –seminaari metsäammattilaisille 16.17.2.2005 Paviljonki, Jyväskylä. *Metsätehon seminaarijulkaisu*: 68-75.
- Kärkkäinen, M. 2005. Metsäteollisuuden kilpailukyky Suomessa. Teoksessa: Niskanen, A. (toim.) Menestyvä metsäala ja tulevaisuuden haasteet. *Metsäalan tulevaisuusfoorumi*. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. ss. 38-47.
- Laitila, J. 2005. Pienpuun korjuu harvennuskasvustosta. Kehittyvä puuhuolto 2005 –seminaari metsäammattilaisille 16.17.2.2005 Paviljonki, Jyväskylä. *Metsätehon seminaarijulkaisu*: 76-81.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T., Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhankkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. *Puuenergia*. Metlan työraportteja 3. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.htm>. 58 s.
- Lampinen, A. 2004. Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. *Dimensio* 3: 4-8.
- Lampinen, A. 2006. Ruotsin liikennebiokaasun 10-vuotisjuhlat. Biokaasuyhdistyksen jäsentiedote kesäkuu 2006. Moniste. 7 s.

- Lampinen, A. & Jokinen, E. 2006. Suomen maatalojen energiantuotantopotentiaalit. Ekologinen perspektiivi. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84. 160 s.
- Lauhanen, R. 1994. Kaivukaluston aiheuttamat puustovauriot kunnostusajituksessa. Abstract: Tree damage caused by excavating machines in ditch network maintenance. *Suo* 45(2): 33-46.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalueenniköissä. The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands. *Suo* 48(3): 71-82.
- Lauhanen, R. & Humalamäki, H. 2006. Bioenergia-alan nykytila Etelä-Pohjanmaalla – asiantuntijaseminaarin SWOT-analyysi. The current situation in the bioenergy sector in South Ostrobothnia. *Työtehoseuran metsätiedote* 8 (702):1-4.
- Lauri, T. & Vuorenmaa, T. 2006. Lanta hajuttomaksi energiaksi Ilmajoella. Euroopan maatalouden ohjaus- ja tukirahaston rahoittaman hankkeen loppuraportti 7.3.2006. 3 s.
- Laurila, J. 2006. Ruokohelven (*Phalaris arundinacea*) korjuun kustannukset ja energiakäytön kannattavuus briketöitynä Kuortaneella. pdf-tiedostomuotoinen Internet-julkaisu. www.seamk.fi/ruokohelpi. 31 s.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2006. Ruokohelven (*Phalaris arundinacea*) korjuun kustannukset ja energiakäytön kannattavuus briketöitynä Kuortaneella. Harvest costs of reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) and profitability for energy generation of briquettes in Kuortane. *Työtehoseuran maataloustiedote* 7 (592): 1-6.
- Lehtomäki, A. & Rintala, J. 2006. Biokaasun mahdollisuudet ja tuotannon potentiaali Suomen maataloudessa. *PTT-katsaus* 2/2006: 29-35.
- Lehtomäki, A., Lampinen, A. & Rintala, J. 2003. Peltobiomassoista puhdasta kotimaista kaasua. *Kemia-Kemi* Vol. 30 (2003) 8: 34-35.
- Luonnonsuojelulaki 1096/1996. www.finlex.fi
- Maa- ja metsätalousministeriön päätös metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta. 1991. (28.11.1991/1397).
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. Pöyry Forest Industry Consulting. 52A07161-Ejpc-1. 9.8.2006. Loppuraportti. 47 s.
- Maailman johtavana metsäklusterina vuoteen 2030. 2006. Suomen metsäklusterin tutkimusstrategia. Suomen metsäklusteri ja sen asiakastoimialat, lokakuu 2006. Moniste. 40s.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. <http://www.finlex.fi>
- McKeough, P. & Kurkela, E. 2006. Co-production of biofuels – current Finnish Focus. Forest-Based Sector Technology Platform. VTT. Esitelmäkavot 23.11.2006. <http://www.forestplatform.org/index.php?mid=163>.
- Metsäntutkimuslaitos. 2006a. Metsäenergian käyttö Suomessa vuonna 2005. <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2006/puupolttoaine2005.htm>
- Metsäntutkimuslaitos. 2006b. VMI8:n mukaiset kunnittaiset metsävaratiedot. <http://www.metla.fi/metinfo>
- Metsälaki 1093/1996. <http://www.finlex.fi>.
- Metsäsertifiointin uudistetut vaatimukset. 2005. PEFC/02-1-01. Suomen Metsäsertifiointi ry. Esite. 8 s.
- Metsäteho 2006. Kantojen nosto ja luontaisen lehtipuun määrä uudistusaloilla. Projektin nro 318. Metsäteho Oy. www.metsateho.fi. Tulosalvosarja 13.3.2006. 14 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2005. (toim. Peltola, A.). Finnish Statistical Yearbook of Forestry. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2005: 45. 424 s.
- Mietala, A. 2004. Kunnon tukkapöly tekee kannolle hyvää. *Koneyrittäjä* 6: 14-15.
- Monto, T. & Ranttila, S. 2005. Soinin ja Lehtimäen kuntien vapaa-ajan asukkaiden polttopuun ja talonmiespalveluiden ostohalukkuus vuonna 2004. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö. 58 s + 6 liitettä.
- Muinaismuistolaki 295/1963. <http://www.finlex.fi>
- Mutka, K., Nyrönen, T. & Korpi, J. 2006. Uudet teknologiat turvetuotannossa. Esitelmä 6.6.2006 Kihniön Aitonevalla.
- Mäki-Hakola, P. 2006. Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan alueellinen metsäohjelma 2006-2010. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus. I-print. Seinäjoki. 75 s.

- Mäkinen, T. , Soimakallio, S. , Paappanen, T. , Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvuhuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. (Greenhouse gas balances and new business opportunities for biomass-based transportation fuels and agrobiomass in Finland). VTT tiedotteita. VTT Research Notes 2357. 134 s. + liitteet 19 s.
- Nieminen, M. 2006. Energiapuun on suometsissä mahdollisuus – ei uhka. Vierasyliö. Maaseudun Tulevaisuus 3.4.2006. s. 2.
- Nikkola, A. & Solmio, H. 2004. Lämpöryittäjätoiminta vuonna 2003. Heating entrepreneur activity in 2003. Työtehoseuran metsätiedote 9 (679): 1-4.
- Niskanen, A. , Pelkonen, P. & Vartiainen, P. 2005. Tulevaisuuden muutostekijät. Teoksessa: Niskanen, A. (toim.) Menestyvä metsäala ja tulevaisuuden haasteet. Metsäalan tulevaisuusfoorumi. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. ss. 11-21.
- Nurmi, J. 2004. Hakkuutähteen kuivatus palstalla. Teoksessa: Larsson, S. (toim.). Metsäpolttoaineen poistuma raivauksessa, harvennuksessa ja päätehakuussa. Bioenergiaa metsästä 2003-2004 projekti. SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet. BTK-raportti 10: 29.
- Nurmi, J. 2006. Raivauksista ja harvennuksista saatavan puupolttoaineen laadunhallinta --kokemuksia Keski-Pohjanmaalta. Metsäntutkimuslaitoksen Metsäenergiapäivä Kannuksessa, Metla Kannus 24.4.2006. Esitelmämoniste 25 s.
- Nylund, N-O. 2006. Liikenteen biopolttoaineet –mistä oikein on kyse ? Jäitä hattuun. Suomen autolehti 2: 18-25.
- Pahkala, K. , Partala, A. , Suokannas, A. , Klemola, E. , Kalliomäki, T. , Kirkkari, A.-M. , Sahrmaa, M. , Isolampi, M. , Lindh, T. & Flyktman, M. 2002. Ruokohelven viljely ja korjuu energiantuotantoa varten. MTT, kasvintuotanto, Maa- ja elintarviketutkimus 1. 20 s. + 4 liitettä.
- Palonen, J. 1997. Ruokohelpeä ja olkea energiantuotantoon. Reed canary-grass and straw for energy production. Työtehoseuran maataloustiedote, TTS-Institute Agricultural Bulletin 5 (483): 1-6.
- Parikka, M. 2005. Peltoenergia Ruotsissa –nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät. Teoksessa: Forss, E. & Telkkä, J. (toim.). 2005. Kansainvälinen seminaari ”Peltoenergiasta tulevaisuus” Joensuu 15.3.2005. Esitelmien tiivistelmämoniste. 4 s.
- Petrolia, D. R. 2006. Ethanol from Biomass: Economic and Environmental Potential of Converting Corn Stover and Hardwood Forest Residue in Minnesota. Selected Paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Long Beach, California, July 23-26, 2006. 28 s.
- Peura, P. 2003. Tarttooko joku –tarjooko kuka. Etelä-Pohjanmaan ympäristöteknologiaklusterin esiselvitys. Vaasan yliopisto, Levon instituutti. Julkaisuja 103. 78 s.
- Pimentel, D. & Patzek, T. W. 2005. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood: biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resources Research 14(1): 65-76.
- Plotkowski, L. 2005. Peltoenergia Puolassa ja tulevaisuuden näkymät. Teoksessa: Forss, E. & Telkkä, J. (toim.). Kansainvälinen seminaari ”Peltoenergiasta tulevaisuus” Joensuu 15.3.2005. Esitelmien tiivistelmämoniste. 4 s.
- Puutavaran mittauslaki 364/1991. <http://www.finlex.fi>
- Ranta, T. , Lahtinen, P. & Laitila, J. 2005. Puupolttoaineiden kysyntä ja tarjonta päästökaupassa. Demand and supply of wood fuels in the emission trade. Työtehoseuran metsätiedote. 5 (687): 1-6.
- Rautala, A. & Pulkkanen, A. 2006. Metsähakkeen kuljetuslogistiikan kehittäminen sisävesillä osana EU:n pohjoista ulottuvuutta. EU/Interreg. www.kouvolaregion.fi/yhteistyö/vesitieselvitykset. 38 s.
- Riitahaka, K. 2006. Energiapuun korjuun laatu päätehakuuallilla UPM Metsän Seinäjoen piirissä vuonna 2005. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö. 48 s + 5 liitettä.
- Rita, N. 2006. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen pelto- ja metsäenergiakysely. Bioenergiaseminaari 6.11.2006. Esitelmäkalvot. <http://www.seamk.fi/bioenergiahanke>.
- Rummukainen, A. , Heikkilä, J. , Sikanen, L. , Aarnio, J., Mäkinen, P. & Tahvanainen, T. 2003. Puunhankinnan tienviitat. Tutkimustarpeet muuttuvassa toimintaympäristössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 896. 80 s.
- Rumpunen, H. 2005. Teiden kunto puuhuollon uhkatekijänä. Kehittyvä puuhuolto 2005 –seminaari metsämattailaisille 16.17.2.2005 Paviljonki, Jyväskylä. Metsätehon seminaarijulkaisu: 26-32.

- Röser, D. , Asikainen, A. , Gjølso, S. , Jaskelevicius, B. , Johansson, D., Jylhä, P. , Kairiukstis, L. , Konstantinova, I. , Lileng, J. , Lunnan, A. , Mandre, M., Nurmi, J. , Pärn, H., Saksa, T. , Sikanen, L. , Suadicani, K. , Toropainen, M. & Vilkriste, L. 2003. Wood fuel resources and bottlenecks of utilization in Baltic and Nordic countries. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 901. 68 s.
- Saksa, T. 1996. Energiapuun hankinta suuressa mittakaavassa. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Julkaisuja 48. 53 s.
- Saksa, T. & Teittinen, A. 1996. Metsähakkeen hankintakustannukset ja aluetaloudelliset vaikutukset. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Julkaisuja 47. 29 s.
- Seppänen, A. , Kärhä, K. & Jouhiaho, A. 2004. Kaupallisen pilkkeen tuotanto ja pilkekauppa Suomessa. Teoksessa: Jouhiaho, A. (toim.). Pilkkeen kapallinen tuotanto. Commercial production of chopped firewood. Työtehoseuran julkaisuja 392: 17-44.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidilla. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. Folia Forestalia 633:1-25.
- Sivula, T. 2005. Etelä-Pohjanmaan maaseutuohjelma 2007-2013. Nykytilan kuvaus ja analyysi. Puuklusteri. 31 s.
- Solmio, H. 2006. Lämpöyrittämisen kannattavuus. Teho 4: 41-42.
- STT. 2006. Motiva puuhaa biopolttoainepörssiä. Maaseudun Tulevaisuus 14.8.2006. s. 6.
- Tahvanainen, L. 1995. Pajun viljelyn perusteet. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Silva Carelica 30. 86 s.
- Tahvanainen, L. 2004. Metsien monikäyttö ja maisemanhoito. Teoksessa: Harstela, P. (toim.) Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 68-74.
- Takalo, S. 1995. Mäntyöljyn mahdollisuudet poltto- ja voiteluaineena. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 545. 20 s.
- Takalo, S. 1997. Tuhka- ja jätteet pelleteiksi lieriöpuristimella. Teoksessa: Nurmi, J. , Hytönen, J. & Polet, K. (toim.) Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 660: 59-62.
- Tamminen, P. 1985. Butt-rot in Norway spruce in southern Finland. Communicationes instituti forestalis Fenniae 127. 52 s.
- Toivonen, R. M. & Tahvanainen, L. J. 1998. Profitability of willow cultivation for energy production in Finland. Biomass and bioenergy. Vol 15 (1): 27-37.
- Tomppo, E. , Henttonen, H. , Korhonen, K.T. , Aarnio, A. , Ahola, A. , Heikkinen, J. , Ihalainen, A. , Mikkeli, H. , Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Metsätieteen aikakauskirja 2B: 293-374.
- Turveteollisuusliitto. 2006. <http://www.turveteollisuusliitto.fi>.
- Törmä, H. 2006. Suullinen tieto Helsingin yliopiston Ruralia-Instituutin REGFIN-mallista Ähtärin Tuomarniemellä 20.11.2006.
- UPM. 2006. Metsäenergian hankinta. Kantopolttoaineen plussia. Moniste 14.2.2006. 21 s.
- Vapo. 2005. Pelletit – kotimaista energiaa. Moniste 2.11.2005. 23 s.
- Vapo. 2006. <http://www.vapo.fi>.
- Vesterlin, V. 1996. Metsäenergian tuotantomahdollisuudet yksityismetsissä. Possibilities for producing forest energy in private, non-industrial forestry. Työtehoseuran metsätiedote 9 (562): 1-4.
- Vierula, J. & Orava, T. 2006. Kotimainen energia – 2006. Loppuraportti 01.01.2004-28.02.2006. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus. 21 s.
- Vihma, A. , Aro-Heinilä, E. & Sinkkonen, M. 2006. Rypsi biodieselin (RME) maatilatuotannon kannattavuus. Economic viability of farm size biodiesel production. MTT, talous, MTT:n selvityksiä 115. 38 s. + 4 liitettä.
- Virtanen, K. , Hänninen, P. , Kallinen, R.-L. , Vartiainen, S. , Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Summary: The peat reserves of Finland in 2000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Tutkimusraportti 156. 101 s. + 7 liitettä.
- Vuorio, K. 2006. Puupelletit sopivat maatilan lämmitykseen. Wood pellets are suitable for farm heating. Työtehoseuran metsätiedote 4 (698): 1-4.
- Väliäho, A. 2001. Lehtimäen puukaasuvoimalan kehittämishanke. Loppuraportti 25.6.2001. 10 s. + liitteet.

- Wall, A. 2006. Hakkuutähteen ja energiapuun talteenoton vaikutukset metsämaan ravinteisuuteen ja puuston kasvuun kivennäismailla. Metsäenergiapäivän esitelmä Kannuksessa 24.4.2006. Metsäntutkimuslaitos, moniste. 11 s.
- Wästerlund, I. 2004. Puupolttoaineen logistiikka. Teoksessa: Larsson, S. (toim.). Metsäpolttoaineen poistuma raivauksessa, harvennuksessa ja päätehakuussa. Bioenergiaa metsästä 2003-2004 projekti. SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet. BTK-raportti 10: 13.