



Satu Helynen, Martti Flyktman, Tuula Mäkinen,
Kai Sipilä & Pirkko Vesterinen

Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä



Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä

Satu Helynen, Martti Flyktman, Tuula Mäkinen,
Kai Sipilä & Pirkko Vesterinen

VTT Prosessit

ISBN 951-38-6054-X (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6055-8 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © VTT 2002

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosesstit, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
puh. vaihde (014) 672 611, faksi (014) 672 597

VTT Prosesser, Koivurannantie 1, PB 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
tel. växel (014) 672 611, fax (014) 672 597

VTT Processes, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ, Finland
phone internat. + 358 14 672 611, fax + 358 14 672 597

Toimitus Maini Manninen

Kannen kuva: Alholmens Kraft Ab

Edita Prima Oy, Helsinki 2002

Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Vesterinen, Pirkko. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. [The possibilities of bioenergy in reducing greenhouse gases]. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2145. 110 s. + liitt. 2 s.

Avainsanat renewable energy sources, bioenergy, biofuels, energy production, power plants, CHP technology, emissions, carbon dioxide, reduction, Europe

Tiivistelmä

Bioenergian käyttöä voidaan lisätä nykyisissä ja suunnitteilla olevissa yhdyskuntien ja teollisuuden laitoksissa sekä kiinteistöjen lämmityksessä Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa ja kansallisessa ilmastostrategiassa esitettyyn tavoitteeseen 7,8 Mtoe vuoteen 2010 mennessä. Vuoden 1999 käyttöön verrattuna lisäys on 1,2 Mtoe, josta 50 % olisi teollisuudessa, 40 % kiinteistöissä ja loppuosa kaukolämmön tuotannossa. Sähkön tuotanto lisääntyisi vuoteen 1999 verrattuna 3 TWh. Hiilidioksidipäästöjen vähennysmahdollisuus vuoteen 1999 verrattuna olisi 2,8–3,7 milj. CO₂ tonnia korvattaessa fossiilisia polttoaineita. Edullisimmin voidaan lisätä uudistushakkuiden hakkuutähteiden käyttöä ja jätteiden energiakäyttöä nykyisissä laitoksissa. Myös puun ja sen jalosteiden käytön lisääminen kiinteistöjen lämmityksessä on taloudellisesti kilpailukykyistä.

Pienillä lisäinvestoinneilla nykyisiin laitoksiin ja käyttämällä tuotantokustannuksiltaan kalliimpia biopolttoaineita voitaisiin käyttöä lisätä jopa 9,5 Mtoe:iin vuoteen 2010 mennessä. Käytön lisäys olisi tällöin erityisesti kaukolämmön tuotannossa. Sähkön tuotanto biopolttoaineilla lisääntyisi vuoteen 1999 verrattuna lähes 6 TWh, mutta sähkön tuotantokapasiteetti ei kasvaisi merkittävästi. Hiilidioksidipäästöjen vähennysmahdollisuus vuoteen 1999 verrattuna olisi 7,4–10,9 milj. CO₂ tonnia. Arvioissa ei ole otettu huomioon jätteiden energiakäytön aiheuttamaa kaatopaikkojen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä.

Vuoteen 2025 mennessä paljon sähköä ja lämpöä tuottavia laitoksia on korvattava uusilla, mikä mahdollistaisi uuden tekniikan laajamittaisen käyttöönoton. Merkittävin mahdollisuus sisältyy uuden korkearakennusasteisen CHP-tekniikan käyttöönottoon kaikissa kokoluokissa, jolloin sähkön tuotantokapasiteettia saadaan nykytilanteeseen verrattuna kaksinkertaisesti olemassa olevaa lämpökuormaa kohti. Lisäsähkön tuotantomahdollisuus biopolttoaineilla olisi noin 10 TWh vuoden 2010 tasoon verrattuna.

Kehitteillä olevista polttoaineiden ja energian tuotannon tekniikoista on arvioitu tarvittava panostus, kaupallistumisaikataulu sekä markkinoiden laajuus Euroopassa. Suomalaisella teollisuudella on uusien tekniikoiden kehittäjänä hyvä asema, koska biopolttoaineiden energiakäytöstä suomalaisella tekniikalla on vuosikymmenien perinteet ja Suomi tarjoaa hyvät puitteet uusien tekniikoiden demonstrointiin. Uusien tuotteiden vienti voi jo lähivuosina kohota miljardiin euroon vuodessa.

Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Vesterinen, Pirkko. Bioenergian mahdollisuudet kasviuonekaasupäästöjen vähentämisessä. [The possibilities of bioenergy in reducing greenhouse gases]. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2145. 110 p. + app. 2 p.

Keywords renewable energy sources, bioenergy, biofuels, energy production, power plants, CHP technology, emissions, carbon dioxide, reduction, Europe

Abstract

The use of bioenergy can be increased in existing and planned plants in industry, district heating and residential buildings according to the National Action Plan for Renewable Energy Sources and Climate Strategy, the target of which is 7.8 Mtoe in 2010. Compared to 1999, the growth is 1.2 Mtoe, 50 % of which will be in industry, 40 % in residential heating and the rest in district heating. Power production would increase 3 TWh compared to 1999. The potential reduction of carbon dioxide emissions would be 2.8 - 3.7 million ton CO₂ compared to 1999 when replacing fossil fuels. Forest residues from regeneration fellings and waste used in existing plants have the lowest costs of energy production. Additionally, the increased use of wood fuels, pellets or bio-oils for residential heating is economically competitive.

With small additional investments to existing plants and using biofuels with higher costs, the use of bioenergy could reach 9.5 Mtoe in 2010. The increase would be especially in the district heating sector. Power production with biomass would increase 6 TWh compared to 1999, but the increase of the power production capacity would not be significant. The potential reduction of carbon dioxide emissions would be 7.4 - 10.9 million ton CO₂ compared to 1999. The estimate does not include greenhouse gas emission reduction based on the reduction of landfill gases when using waste.

Before 2025 most CHP plants shall be replaced with new plants, which would enable to install plants with new technologies. The most promising opportunity is CHP technology with high power-to-heat ratios in all capacity classes which would double the power production capacity per existing heat lead compared to the present situation. The potential for additional power production from biomass in 2025 would be 10 TWh compared to the level of the year 2010.

Investments needed for R&D, timetables for commercialisation and market volumes in Europe are estimated for each of the new technologies in the fields of fuel and energy production. The Finnish industry has a good position in the development of new technologies because the traditions in the use of bioenergy are very long and Finland has good circumstances for demonstration projects. The exports of new products can reach during the following years the annual level of one billion euros.

Alkusanat

Tämän selvityksen tavoitteena on arvioida bioenergian mahdollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä Suomessa vuoteen 2025 ulottuvalla tarkastelujaksolla. Selvityksessä on rajauduttu biopolttoaineiden käyttöön sähkön ja lämmön tuotannossa kaikissa kokoluokissa, ja biopolttoaineiden käyttöä liikenteessä on käsitelty vain lyhyesti. Tärkeä osa työtä on ollut arvioida uuden kehitteillä olevan tekniikan mahdollisuuksia ja kaupallistumisaikatauluja sekä suomalaisen teollisuuden liiketoimintamahdollisuuksia.

Selvitys kuuluu Tekesin Teknologia ja ilmastonmuutos -ohjelmaan (Climtech-ohjelma), jonka tavoitteena on edistää ilmastomuutoksen hallintaa sekä kansallisen ja kansainvälisten ilmastotavoitteiden saavuttamista tukemalla ilmastomuutosta rajoittavan teknologian valintoja, tutkimusta, kehitystä, kaupallistamista ja käyttöönottoa.

Selvityksen teko aloitettiin VTT Energiassa 1.6.2000. Tekemiseen osallistui lukuisia asiantuntijoita Energian tuotanto -tutkimusalueelta Jyväskylältä ja Uudet energiatekniikat -tutkimusalueelta Jyväskylältä. Työssä käytettiin hyväksi meneillään olevissa Tekesin bioenergia-alan teknologiaohjelmissa ja VTT:n omissa tutkimusohjelmissa koottua tietoa. Tutkija Martti Flyktman kokosi biopolttoaineiden pienkäyttöä ja polttotekniikoita koskevat osat ja Tuula Mäkinen muiden tekniikoiden kuvaukset. Tutkija Pirkko Vestorinen teki biopolttoaineiden saatavuutta ja käyttöä koskevat laskennat. Tutkimuspäällikkö Satu Helynen toimi projektipäällikkönä ja kokosi yhdessä professori Kai Sipilän kanssa arviot suomalaisen tekniikan mahdollisuuksista kasvihuonepäästöjen vähentämisessä.

Tekijät kiittävät Climtech-ohjelman ohjausryhmää, joka on antanut hyödyllisiä ja arvokkaita neuvoja ja kommentteja työn aikana.

Jyväskylässä ja Otaniemessä, huhtikuussa 2002

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto.....	9
2. Biopolttoaineiden saatavuus.....	11
2.1 Metsäteollisuuden sivutuotteet.....	12
2.2 Metsähakkeet.....	13
2.3 Muut biopolttoaineet ja turve.....	15
2.4 Metsäpolttoaineiden tuotantoketjut.....	15
2.4.1 Hakkuutähteet.....	16
2.4.2 Ensiharvennukset ja taimikonhoito.....	20
2.5 Yhteenveto käytettävissä olevista biopolttoainemääristä.....	23
2.5.1 Perusvaihtoehto.....	24
2.5.2 Maksimivaihtoehto.....	26
2.6 Kehitystarpeet.....	29
3. Biopolttoaineiden käyttöarvot nykytekniikalla.....	31
3.1 Lähtökohdat.....	31
3.2 Arvioidut käyttömäärät.....	32
3.3 Sähkön tuotanto nykytekniikalla.....	37
4. Energian tuotantotekniikat.....	39
4.1 Polttotekniikat.....	39
4.1.1 Arinapoltto.....	39
4.1.2 Leijukerrosoltto.....	41
4.1.2.1 Kerrosleijupoltto.....	42
4.1.2.2 Kiertopetileijupoltto.....	42
4.1.3 Kaasutusoltto.....	43
4.1.4 Polttotapojen vertailua ja kehityskohteita.....	44
4.1.5 Biopolttoaineiden ja hiilen yhteisoltto.....	47
4.2 Yhdistetty sähkön ja lämmön (CHP) tuotanto.....	49
4.2.1 Pienen kokoluokan CHP-tuotanto.....	49
4.2.1.1 Höyryturbiini ja -kone.....	50
4.2.1.2 Kaasutukseen perustuvat prosessit.....	52
4.2.1.3 Pyrolyysiöljyn käyttöön perustuvat prosessit.....	53
4.2.1.4 ORC- ja Stirling –prosessit.....	54

4.2.2	Fossiilisten polttoaineiden korvaus biomassan/REF:n kaasutuksella ..	57
4.2.3	Rakennusasteen nosto kaasutustekniikan avulla	60
4.2.4	Uudet tekniikat metsäteollisuuden CHP-tuotannossa	62
4.2.4.1	Konventionaalisen kemikaalikierron modernisointi	62
4.2.4.2	Mustalipeän kaasutus	63
4.3	Polttoaineen vaihdon mahdollisuus	66
5.	Biopolttoaineiden pienkäyttö	69
5.1	Kiinteistöissä käytetty polttotekniikka	69
5.2	Biopolttoaineiden kilpailukyky	69
5.3	Biopolttoaineiden lisäkäyttömahdollisuudet	75
6.	Jalosteet	77
6.1	Pelletit	77
6.2	Pyrolyysi	78
6.3	Poltonesteet metsäteollisuuden sivutuotteista	79
6.4	Liikenteen biopolttonesteet	80
6.4.1	Biodiesel	81
6.4.2	Etanoli	81
6.4.3	Metanoli	82
6.4.4	Muita kehityskohteita	83
6.4.5	Kilpailukykyvertailut	84
7.	Bioenergian ja muiden uusiutuvien energialähteiden integrointi	86
7.1	Nykytilanne ja kehitystarpeet	86
7.2	Energiantuotannon vaihtelut	86
7.3	Rakennusten energian tuotanto	87
8.	Biopolttoaineiden kansainvälinen kauppa	88
8.1	Biopolttoaineiden tuonti ja vienti	91
9.	Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet	94
9.1	Biopolttoaineiden vaihtoehtoiset käyttökohteet	94
9.2	Kiinteistöjen lämmitys	95
9.3	Kaukolämmitys ja teollisuus	96
9.4	Vertailu biopolttoainevaroihin	97

10. Tekniikan kehitystarpeet	99
11. Yhteenveto	104
Lähteet	106
Liitteet	
Liite A: Markkina-arvioita	

1. Johdanto

Kauppa- ja teollisuusministeriön Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa marraskuulta 1999 on asetettu tavoitteeksi lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä 50 % vuodesta 1995 vuoteen 2010 mennessä (KTM 1999). Lisäys vastaa 3 Mtoe:a (125 PJ), ja siitä on arvioitu 90 % katettavan bioenergialla. Vuoteen 2025 mennessä on tavoitteena kaksinkertaistaa uusiutuvien energialähteiden käyttö. Kokonaisenergian kulutuksessa uusiutuvien energialähteiden osuus nousisi 21 %:sta 27 %:iin vuodesta 1995 vuoteen 2010 ja vastaavasti sähkön kokonaiskulutuksessa nousu olisi 27 %:sta 31 %:iin.

Edistämishjelman mukainen uusiutuvien energialähteiden lisäys on 1 Mtoe suurempi kuin vuoden 1997 energiastrategian mukainen uusiutuvien energialähteiden käyttö. Tämä 1 Mtoe:n lisäys vähentäisi edistämishjelman mukaan ainakin 2 milj. tonnia hiili-dioksidipäästöjä sekä jätteiden energiakäyttö toisi yli 1 milj. tonnin lisävähennyksen (KTM 1999). Keväällä 2001 valtioneuvoston antaman selonteon Kansalliseen ilmastostrategian kaikkiin vaihtoehtoihin sisältyy edistämishjelman mukainen uusiutuvien energialähteiden käytön lisäys (VN 2001).

Euroopan yhteisö asetti Uusiutuvien energialähteiden valkoisessa kirjassa vuodelta 1997 tavoitteeksi uusiutuvien energialähteiden käytön kaksinkertaistamisen vuoden 1995 tasosta 6 % vuoteen 2010 mennessä (EY 1997). Vuoden 2000 lopussa Komissio julkaisi vihreän kirjan EU:n energiahuoltovarmuuden strategiasta, jossa todettiin, että uusiutuville energialähteille asetetun tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan paljon taloudellisia ja hallinnollisia toimenpiteitä (EC 2001). EU:ssa on hyväksytty direktiivi 2001/77/EY (RES-E) uusiutuvien energialähteiden käytön edistämisestä sähkön tuotannossa, jossa on maakohtaiset tavoitteet uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuuden nostamiseksi vuoden 1997 tasosta 14 % vuoteen 2010 mennessä 22 %:iin. Valmisteilla on direktiivejä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön sertifiointeille, yhdistetylle sähkön ja lämmön tuotannolle ja liikennepolttoaineiden sisältämille biokomponenteille. Sekä EU:n että kansallisilla lainsäädännöillä pyritään parantamaan uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyä, ja alan tuotteiden ja palveluiden markkinat kasvavat nopeasti. Yksistään RES-E-direktiivin tavoitteet merkitsisivät noin 300 TWh:n lisäystä uusiutuvilla energialähteillä tuotetulla sähköllä. Tämä vastaisi 60 000 MW:n tuotantokapasiteetin lisäystä, jos keskimääräinen huipun käyttöikä on 5 000 tuntia.

Tämän julkaisun tavoitteena on ajanmukaistaa ja tarkentaa uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman taustaraportin biopolttoaineita koskeva osuus (Helynen et al. 1999). Julkaisussa kuvataan nykytekniikan mahdollisuudet biopolttoaineiden käytön lisäämisessä vuoteen 2010 ja arvioidaan kehitteillä olevien tekniikoiden mahdollisuudet käytön lisäämiseksi vuoteen 2025 asti. Kehitystyöhön tarvittava panostus arvioidaan, samoin kuin suomalaisen teollisuuden liiketoimintamahdollisuudet Suomessa ja vientimarkki-

noilla. Samoin tavoitteena on tarkentaa arvioita bioenergian mahdollisuuksista kasvi-huonekaasupäästöjen vähentämisessä ja vähentämisen kustannuksista.

Julkaisussa arvioidaan ensiksi eri biopolttoaineiden saatavuus ja kustannustaso vuoteen 2025 sekä esitellään niihin vaikuttavia tekijöitä. Seuraavaksi verrataan käytössä ja suunnitteilla olevien laitosten biopolttoaineiden käyttömahdollisuuksia biopolttoaineiden saatavuuteen eri osissa Suomea. Kehitteillä olevista tekniikoista on valittu Suomea ja suomalaista teollisuutta eniten kiinnostavat, ja arvioitu niiden käyttö- ja vientimahdollisuudet sekä tarvittava kehityspanos. Tiedot kehitteillä olevista tekniikoista perustuvat pääosin VTT Energian koordinoimiin Tekesin teknologiaohjelmiin, joista bioenergian alueella tärkeimpiä ovat Puuenergia ja Jätteiden energiakäyttö. VTT Energiassa on lisäksi ollut meneillään useita omia tutkimusohjelmia, joista merkittävimmät ovat kaasutus- ja pyrolyysitekniikan ohjelma PROGAS ja Uusiutuvien energialähteiden tutkimusohjelma.

Tässä julkaisuissa bioenergiaan ja biopolttoaineisiin ei ole sisällytetty energiaturvetta, koska kansainvälisissä ilmastopöytäkirjoissa turpeen energiakäytön kasvihuonekaasujen laskentasäännöt eroavat muista biopolttoaineista. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentäjänä on arvioitu sen pohjalta, kuinka paljon bioenergia voi korvata fossiilisia polttoaineita. Julkaisussa on biopolttoaineiden lisäksi tarkasteltu turvetta siksi, että suurimmassa osassa suurkäyttökohteita biopolttoaineiden ja turpeen seospoltto on välttämätöntä polttoaineen saatavuuden tai laitoksen häiriöttömän käytön turvaamiseksi.

Bioenergian käytön lisäämisen arviointia monimutkaistaa se, että monissa taloudeltaan parhaissa bioenergiaa tuottavissa prosessikonsepteissa, kuten kemiallisessa ja mekaanisessa metsäteollisuudessa, energia ei ole päätuote, vaan prosessin sivutuotteista ja jätteistä tehty jaloste, joka toki parantaa teollisuuden alan kannattavuutta. Kehitteillä on lisäksi monia uusia prosessikonsepteja, joissa biomassan hyödyntämiseen elintarvikkeena, kuituna ja kemikaalien raaka-aineena voidaan kytkeä kannattavasti energian tuotanto, joka on usein yhdistettyä prosessilämmön ja sähkön tuotantoa.

2. Biopolttoaineiden saatavuus

Biomassoiksi kutsutaan eloperäisiä, fotosynteesin kautta syntyneitä kasvimassoja. Näistä tuotettuja polttoaineita kutsutaan biopolttoaineiksi ja niillä tuotettua energiaa bioenergiaksi.

Biopolttoaineiden ikä vaihtelee suuresti. Lyhytikäisimpiä ovat pelloilla tuotettavat energiakasvit, joiden ikä on muutamasta kuukaudesta muutamaan vuoteen. Puubiomassan ikä on Suomessa muutamasta vuodesta yli sataan vuoteen.

Energiaturpeen ikä on tyypillisesti tuhansia vuosia. Suomen energian tuotantoon käytettävistä biomassoissa turve on pitkäikäisin ja hitaimmin uusiutuva. Turvetta ei luokitella uusiutuviin energialähteisiin kansainvälisessä tilastoinnissa eikä se kuulu uusiutuviin energialähteisiin Kioton pöytäkirjan mukaisessa hiilidioksidipäästöjen laskennassa. Hitaasti uusiutuvuutensa takia se ei kuulu myöskään fossiilisiin polttoaineisiin. Tässä julkaisussa turve käsitellään erikseen eikä sitä ole sisällytetty biopolttoaineisiin eikä bioenergiaan.

Biopolttoaineisiin luetaan kuuluvaksi myös yhdyskuntien ja teollisuuden energian tuotantoon soveltuvat jätevirrat, jotka ovat suurimmalta osaltaan orgaanista alkuperää. Näitä käsitellään tarkemmin erillisessä CLIMTECH-ohjelman raportissa.

Biopolttoaineita voidaan jalostaa helppokäyttöiseen muotoon tai korvaamaan fossiilisia nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita. Kiinteitä jalosteita ovat esimerkiksi pelletit, briketit ja puuhiili ja nestemäisiä pyrolyysiöljy, etanoli, metanoli, rypsidiesel ja bensiniin lisäaineet. Biopolttoaineiden käyttöä liikenteen polttoaineena käsitellään tässä julkaisussa vain lyhyesti.

Puupolttaineiden saatavuutta on tarkasteltu erikseen seuraavalla jaottelulla: metsäteollisuuden sivutuotteet, metsähake erikseen kuusikoiden ja männiköiden uudistushakkuista ja neljäntenä metsähake ensiharvennuksista, nuorista metsistä ja taimikonhoidosta. Metsäteollisuuden jäteliemet on käsitelty erikseen, koska jäteliemien energiankäyttö edellyttää omaa teknologiaansa eikä jäteliemiä voida käyttää kiinteiden puupolttaineiden sijasta tai rinnalla. Jäteperäisiä polttoaineita on käsitelty erillisessä CLIMTECH-selvityksessä yksityiskohtaisesti, joten tässä selvityksessä on käytetty vain yhtä kierrätyspolttoaineeksi nimettyä polttoainelaatua. Lisäksi tarkastelussa on mukana peltobiomassat.

2.1 Metsäteollisuuden sivutuotteet

Metsäteollisuudessa sivutuotteina syntyvien puuperäisten polttoaineiden määrä on riippuvainen metsäteollisuuden tuotannosta ja tuoterakenteesta. Tuotantoprosesseissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat syntyvien sivutuotteiden määrään ja niiden energiasältöön. Kansallisen metsäohjelman tavoitteena on kestävän metsähoidon puitteissa nostaa metsäteollisuuden kotimaisen puuraaka-aineen käyttöä vuoden 1999 tasolta 55 milj. m³ vielä 5–10 milj. m³ vuoteen 2010 mennessä. Pelkästään tuotannon lisäys voisi merkitä siis jätelipeiden ja sivutuotteiden energiakäytön lisäystä 10–20 % nykytasosta, jos tuotantorakenne säilyy keskimäärin entisenä. Koska metsäteollisuuden sivutuotteina syntyviä polttoaineita käytetään merkittävästi metsäteollisuuden ulkopuolella sellaisenaan tai jalostettuna, tulee metsäteollisuuden ulkopuolisten sivutuotteiden käyttäjien varautua myös tuotannon suhdannevaihteluista aiheutuviin energiapuun saatavuuden suuriin vaihteluihin.

Mustalipeän osuus metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäytöstä on Suomessa hallitseva, noin kaksi kolmannesta. Mustalipeän polttaminen soodakattiloissa on osa kemiallisen selluloosan tuotannon kemikaalikiertoa, joten mustalipeän käytön määrä ei riipu lyhyellä aikavälillä energiatuotannon lähtökohdista. Energian tuotannon hyötysuhteeseen sekä tuotetun sähkön ja lämmön määrän väliseen suhteeseen voidaan vaikuttaa tekniikkavalinnoilla, jotka tehdään lähinnä vain korvaus- ja uusinvestointien yhteydessä.

Metsäteollisuuden kiinteät sivutuotteet ovat edullisin puupolttoainevaihtoehto, joten polttoainevaroja arvioitaessa ne on oletettu ensimmäiseksi käyttöön otettaviksi puupolttoainelähteeksi. Sivutuotteena syntyvä puhdas hake on oletettu käytettäväksi selluteollisuuden raaka-aineena, samoin suurin osa sahoilla syntyvästä purusta, josta noin 32 % on arvioitu olevan käytettävissä suoraan tai jalostettuina polttoaineina energiantuotannossa.

Muita metsäteollisuuden puuperäisiä sivutuotteita ovat mäntyöljy, tärpähti sekä lietteet, joita voidaan käyttää sellaisenaan tai jalostettuina polttoaineeksi. Niiden energiakäyttö on sisällytetty sivutuotteisiin.

Metsäteollisuuden sivutuotteita, lähinnä kuorta, tuodaan pieniä määriä Suomeen pääosin Venäjältä. Korkeiden kuljetuskustannusten takia jalostamattomien sivutuotteiden tuonti jäänee melko pieneksi, jolla on merkitystä lähinnä paikallisesti. Vastaavasti jalosteiden vienti Suomesta suuntautunee maihin, joissa polttoaineiden hintataso on huomattavasti korkeampi kuin Suomessa. Biopolttoaineiden kauppaa on esitelty tarkemmin luvussa 9.

2.2 Metsähakkeet

Metsäteollisuuden raaka-ainekäyttö tulee olla puun ensisijainen käyttökohde. Tästä huolimatta on energiantuotantoon tarjolla suuri määrä hukkarunkopuuta, latvusmassaa ja pieniläpimittaista kokopuuta, joilla ei ole näköpiirissä kysyntää metsäteollisuuden tuotannon kasvunkaan kautta. Puupolttoaineiden tuotannon kannalta suurimman potentiaalın muodostavat uudistushakkuualueiden hakkuutähteet, ensiharvennuksista korjattavissa oleva energiapuu sekä taimikonhoidosta ja vajaatuottoisista metsistä saatava kokopuuhake. Metsähakkeiden tuotantomäärät ovat melko pieniä, vuonna 2000 yhteensä 1,4 TWh (Alakangas & Flyktman 2001), mutta kilpailukyky on parantunut ja tuotantomäärät ovat kasvaneet viime vuosina merkittävästi.

Uudistushakkuiden määrä voi pysyä metsävarojen puolesta vähintään nykyisellä tasolla vuoteen 2025, ja harvennusten määrää tulisi merkittävästi lisätä. Metsäverojärjestelmän siirtymävaihe, jolloin loputkin lähes 40 % metsäpinta-alasta siirtyy myyntivoittoverotukseen 2006, voi siirtymäkauden loppuosalla lisätä uudistushakkuita, mutta siirtymäkauden jälkeen alkuvuosina vähentää uudistushakkuita.

Metsähakkeiden saatavuuteen sisältyy oleellisesti niiden paikallisuus, sillä jalostamattomina niiden maksimikuljetusmatkat maanteitse ovat alle 150 km. Käyttökohteiden ja metsähakkeiden saatavuuden vertailu on siksi tehty metsäkeskuksittain, joita on yhteensä 15.

Metsäpolttoaineita tuodaan pieniä määriä Venäjältä, jossa teollisuudelle kelpaamaton puu on hakkuiden yhteydessä korjattava ja vietävä pois metsästä. Kohtuullisten kuljetusetäisyyksien päässä on arvioitu olevan hakkuita, joista saatava metsähakemäärä olisi luokkaa 1 TWh. Metsähakkeen tuotanto Baltian maista mennee ensisijaisesti Ruotsin ja Keski-Euroopan markkinoille, joissa on korkeampi hintataso. On mahdollista, että myös Suomesta ryhdyttäisiin toimittamaan metsähaketta Ruotsiin, koska Suomen hintataso (50 mk/MWh) on Ruotsia (75 mk/MWh) selvästi edullisempi.

Hakkuutähdemäärien arviot perustuvat yksityismetsien hakkuusuunnitetietoihin vuodelta 1993. Kuntakohtaisissa arvioissa on käytetty hyväksi tietoja yksityismetsien osuudesta kunkin kunnan alueella, joiden avulla hakkuusuunnitteita on laajennettu käsittämään myös yritysten ja valtion metsäalat. Hakkuutähdemäärät on arvioitu erikseen kuusi- ja mäntyvaltaisille leimikoille, koska hakkuutähteen määrä eroaa näissä merkittävästi. Laskennassa on hakkuutähteen korjuukelpoisuudeksi arvioitu 80 % ja korjuun talteensaannoksi 70 %. Hakkuutähdemäärät koskevat tuoretta ns. viherhaketta, jolloin lämpöarvojen laskennassa on hakkuutähteille oletettu 50 %:n kosteus. Hakkuutähdepotentiaaleja on pidetty vakiona koko tarkasteluajanjakson vuoteen 2025 asti, vaikka metsien kasvu mahdollistaa hakkuiden maltillisen lisäämisen.

Maksimivaihtoehdossa päätehakkuiden hakkuutähteiden kokonaispotentiaaliksi on arvioitu 10,5 TWh/a. Noin 70 % leimikoista on kuusivaltaisia. Lisäksi hakkuutähteiden saanto kuusivaltaisista päätehakkuiden saannosta on suurempi, joten 85 % kokonaispotentiaaliksi kasvusta perusvaihtoehtoon (7,7 TWh/a) verrattuna on oletettu kuusivaltaisille päätehakkuiden saannolle ja vain 15 % mäntyvaltaisille.

Kolmanneksi metsähakelähteeksi kuusikkojen ja männikköjen päätehakkuiden lisäksi on otettu mäntyvaltaisten leimikkojen ensiharvennukset, joista vielä tähän mennessä puupolttoaineiden tuotanto on ollut melko vähäistä korjuun epätaloudellisuuden takia. Harvennuksista saatavien metsähakemäärien laskelmat perustuvat ketjukarsintapienrumpumenetelmän käyttöön. Korjuukelpoisuusoletus on 80 % myös ensiharvennuskohdeille, mutta korjuun talteensaanto-oletus on puulajikohtainen. Ketjukarsintapienrumpumenetelmää on oletettu käytettävän 50 %:ssa ensiharvennuksista. Myös ensiharvennuksista saatavan hakkeen kosteudeksi on lämpöarvojen laskennassa oletettu 50 %. Maksimivaihtoehdossa harvennuksista saatavan metsähakkeen määräksi on arvioitu 9,5 TWh/a. Tämä määrä on jaettu alueittain samassa suhteessa kuin perusvaihtoehdon (1,4 TWh/a) harvennushakemäärät.

Arviot käytettävissä olevista hakkuutähdemääristä ovat suhteellisen varovaisia maksimivaihtoehdossakin verrattuna potentiaalisiin määriin (esim. Hakkila et al. 1998) taloudellisten ja ekologisten rajoitusten takia. Myös ensiharvennuksista saatavan energiapuun määrä on perusvaihtoehdossa arvioitu muita selvityksiä alhaisemmaksi, mutta maksimivaihtoehdossa on oletettu valtion tukevan voimakkaasti metsänkunnostusta ja energiapuun korjuuta ensiharvennuksista, joten saatavat puupolttoainemäärät on arvioitu varsin korkeiksi. Taulukossa 1 on verrattu tämän selvityksen arvioita metsähakemääristä lähteessä Hakkila et al. 1998 esitettyihin.

Taulukko 1. Perus- ja maksimivaihtoehdojen arvioitu, tarkasteluajanjakson vakiona pidetty metsähakepotentiaali verrattuna kokonaispotentiaaliin (TWh/a).

	Perusvaihtoehto	Maksimivaihtoehto	Hakkila et al.
Päätehakuut	7,7	10,5	12,3 (neulasitta) - 18,1 (neulasineen)
Ensiharvennukset	1,4	9,5	5,6 (kuitu 5 cm) - 9,6 (kuitu 7 cm)
YHTEENSÄ	9,2	20,0	17,9–27,7

2.3 Muut biopolttoaineet ja turve

Kierrätyspolttoaineiden (REF) kokonaismääräksi on arvioitu perusvaihtoehdossa 5 TWh/a ja maksimivaihtoehdossa 10 TWh/a. Kokonaismäärät on jaettu alueellisesti käyttämällä suhdelukuna kuntakohtaisten asukasmäärien ja taajama-asteiden perusteella laskettuja arvioita polttokelpoisen jätteen kertymistä. Kierrätyspolttoaineita on käsitelty erillisessä CLIMTECH-ohjelman raportissa.

Agro- eli peltobiomassoja (esim. ruokohelmi, olki) ei oleteta olevan käytettävissä energiantuotantoon perusvaihtoehdossa kilpailukykyiseen hintaan. Vuotuinen oljen kertymä on noin 2,4 milj. tonnia ja sen energiasisältö noin 10 TWh/a, kun viljaa on viljelty 1,2 milj. hehtaarilla. Pelloilla viljeltävät energiakasvit, kuten ruokohelmi, soveltuisivat kasvatettavaksi kesantoaloilla ja turvetuotannosta vapautuvilla suopohjilla. Kesantoala on viime vuosina supistunut noin 170 000 hehtaariin, jolla ruokohelven tuotanto vastaisi noin 5 TWh/a. Agrobiomassojen kilpailukykyyn vaikuttavat oleellisesti kansalliset ja EU:n hintatuet kesantoaloille. Maksimivaihtoehdossa agrobiomassojen saatavuuden on arvioitu olevan 1,5 TWh/a. Tämä kokonaismäärä on jaettu alueellisesti eri kuntien peltopinta-alojen mukaisessa suhteessa.

Käytettävissä olevien turvemäärien arvioinnissa on käytetty tietoja kuntakohtaisista turvemääristä (Helynen & Nousiainen 1996), jotka perustuvat turpeen riittävyteen 60 vuoden ajanjaksoksi ottaen huomioon soiden suojelualueet. Käytettävissä oleva tuotantoon valmis suoala mahdollistaa esitettyjä suuremman pitkän aikavälin keskimääräisen vuosituotannon. Turvemäärät on oletettu samoiksi perus- ja maksimivaihtoehdoissa.

2.4 Metsäpolttoaineiden tuotantoketjut

Metsäpolttoaineiden laajamittaisen käyttöönoton esteenä on ollut huono kilpailukyky. Kustannusten alentamisessa on tärkeä osuus ollut tutkimus- ja kehitystyöllä, minkä avulla myös metsähakkeiden tuotannossa on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä tuotantoketjujen tuottavuutta nostamalla. Turvetuotannon kustannuksia on pystytty alentamaan merkittävästi, vuodesta 1985 vuoteen 1998 30 %, vaikka samaan aikaan lisäkustannuksia ovat aiheuttaneet mm. tiukentuneet ympäristömääräykset. Metsähakkeiden tuotantokustannukset pysyivät korkeampina kuin turpeen tuotantokustannukset, mm. pienemmän saannon (maksimissaan uudistushakkuissa 200 MWh/ha kerran 80 vuoden kiertoajan kuluessa ja turvetta 1 000 MWh/ha vuosittain).

Metsähakkeen tuotanto miellettiin aluksi raakapuun tuotannosta erillään toteutettavaksi toiminnaksi metsätaloudessa. Tuotantomäärien kasvaessa on oivallettu, että tehokkuus edellyttää energiapuun tuotannon kytkemistä kiinteästi metsätalouden muuhun toimin-

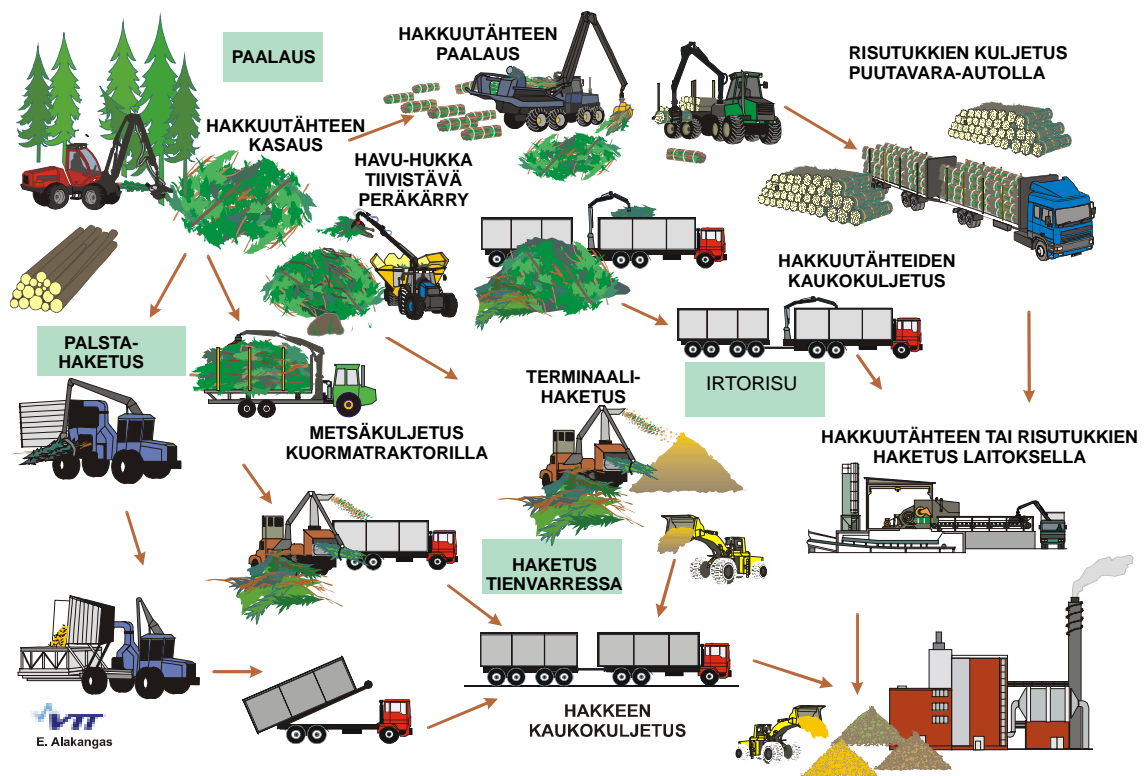
taan. Samalla energiapuu on alettu nähdä pikemminkin metsätalouden sivutuotteena kuin vain teollisuuspuun korjuun yhteydessä syntyneenä tähteenä. Kun tuotannot integroidaan, voidaan hyödyntää olemassa olevia puunkorjuuorganisaatioita sekä metsä- ja kuljetusalan yrittäjien käytössä olevaa peruskalustoa. Hankinnan suunnittelu helpottuu, yleiskulut alenevat, kaluston työllisyys paranee ja työmaitten väliset konesiirrot järkevöityvät. Integroidun hankinnan tärkeä etu on, että koneinvestointien tarve supistuu merkittävästi (PUUENERGIA 2001).

2.4.1 Hakkuutähteet

Hakkuutähteitä on kannattavinta korjata kohteilta, joissa kuusen osuus on mahdollisimman suuri. Tällaisilla kohteilla hakkuutähteen kertymä on suuri (70–110 kiintom³/ha) ja hakkuutähteen korjuun tuottavuus hyvä. Kuusivaltaiset kohteet ovat myös luontaisesti rehevillä maapohjilla, jolloin hakkuutähteen korjuun vaikutus ravinnevaroihin jää pieneksi.

Tavanomaisessa ainespuun päätehakuussa hakkuukoneen kuljettaja kaataa puita hakkuu-uran yhdeltä tai molemmilta puolilta. Tämän jälkeen hän siirtää rungon tyven koneen eteen, jossa tapahtuu rungon karsinta ja katkonta. Siirrettäessä hakkuukonetta eteenpäin seuraavaan työpisteeseen hakkuutähteet polkeutuvat pyörien alle. Kuorma-traktori käyttää samoja ajouria puutavaran metsäkuljetuksessa ja hakkuutähteet polkeutuvat toistamiseen. Tällaisen perinteisen hakkuutavan jälkeen hakkuutähteen korjuu on vaikeaa ja niiden mukana kuormaan tulee helposti haitallisia kiviä ja maa-ainesta.

Hakkuutähteen korjuu on mahdollista, mikäli hakkuutähteet ovat isohkoissa, selvissä kasamuodostelmissa, eikä niiden yli ole ajettu. Tämä edellyttää työskentelytapojen muuttamista siten, että hakkuutähteet kasautuvat koneen sivulle. Hakkuutähteen korjaamiseksi on kehitetty useita eri korjuuketjuja, jotka poikkeavat toisistaan erityisesti haketuksen osalta. Haketus voidaan tehdä palstalla, tien varressa, polttoaineterminalilla tai laitoksella. Kuvassa 1 on esitetty tärkeimmät Suomessa käytössä olevat hakkuutähteen korjuuketjut.



Kuva 1. Hakkuutähteen korjuuketjut (VTT Energia).

Hakkuutähteen kuljetus kuormatraktorilla varastokasoihin tienvarsille, josta hakkuutähte haketetaan traktori- tai kuorma-autoihin asennetuilla hakkureilla tai murskaimilla, on eniten yleistynyt korjuuketju. Hake kuljetetaan tienvarresta käyttöpaikalle erillisissä konteissa tai kuorma-autojen kuormatiloissa.

Hakkuutähteen palstahaketus vaatii samat edeltävät toimenpiteet kuin kuormatraktorilla tehtävä hakkuutähteen metsäkuljetus. Hakkuutähteet on karsittava hakkuu-uran varteen kasoihin, joista ne on helppo kuormata palstahakkurin syöttöpöydälle. Maastolle ja leimikon koolle sen sijaan asetetaan toisenlaisia vaatimuksia. Hakekuormia kantavat palstahakkurit ovat erityisen herkkiä pehmeiköille tai kivisille maastoille ja sivukaltevuudelle.

Palstahaketuksessa yhdellä koneyksiköllä tehdään useita työvaiheita. 10–20 i-m³:n hakesäiliöllä varustettu maastokelpoinen hakkuri kerää palstalta hakkuutähteet, hakettaa ne palstalla ja kuljettaa hakkeen tienvarseen hakesäiliön täytyttyä. Hakesäiliö tyhjenetään kippaamalla joko sivulle tai taakse. Siirrot työmaalta toiselle voidaan tehdä joko lavetilla tai lyhyillä siirtomatoilla myös palstahakkurilla tietä pitkin ajaen.

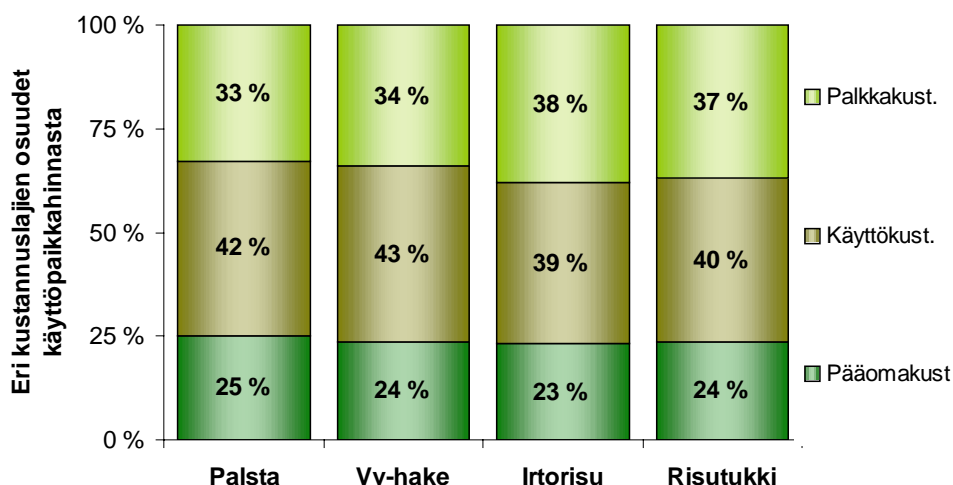
Palstahaketuksen etuna tienvarsihaketukseen verrattuna on, että korjuussa tarvitaan vähemmän koneita, mikä helpottaa työn organisointia huomattavasti. Niin ikään palstaha-

ketuksessa tarvitaan vähemmän tienvarsitilaa. Haketus ja autokuljetus eivät muodosta kuumaa ketjua kuten tienvarsihaketuksessa. Koska hake tiputetaan suoraan vaihtolaavaan, varjeltuu hake myös tienvarsihaketuksista paremmin epäpuhtauksista.

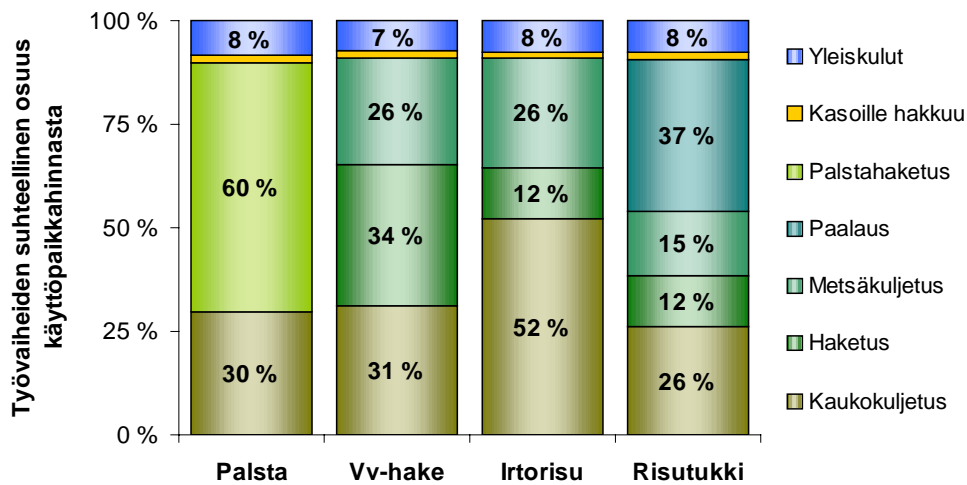
Hakkuutähteiden haketus polttoaineterminaalissa tai käyttöpaikalla tarjoaa selkeitä etuja muihin tuotantomenetelmiin verrattuna. Tällöin päästään eroon kuumen ketjun ongelmista ja käyttöpaikalla haketus tai murskaus voidaan toteuttaa edullisemmin kuin maastossa tai tienvarressa. Ongelmana käyttöpaikalla käsittelyssä on kuitenkin hakkuutähteen autokuljetus, sillä kuorma jää hyvin pieneksi ilman hakkuutähteen tiivistystä, niputusta tai paalausta.

Hakkuutähteen paalaus palstalla mahdollistaa hakkuutähteiden tiivistämisen risutukeiksi, joiden metsä- ja autokuljetus voidaan yhdistää ainespuun kuljetukseen. Risutukkeina hakkuutähteiden varastoitavuus paranee merkittävästi tilantarpeen vähentyessä ja hakkuutähteiden laadun pysyessä parempana kuin irtorisun.

Korjuuketjujen väliset erot ovat melko pieniä palkka-, käyttö- ja pääomakustannusten osuuksissa (kuva 2). Yhteistä kaikille ketjuille on niiden edellyttämät suuret investoinnit koneisiin ja laitteisiin. Korjuun tehostuminen koneellistumisen avulla on pienentänyt työvoiman tarvetta merkittävästi. Kuljetusten ja haketuksen osuus kustannuksissa eroaa merkittävästi eri korjuuketjuissa (kuva 3), joten keskimääräisen kuljetusmatkan kasvaminen vaikuttaa ketjujen väliseen kilpailukykyyn.

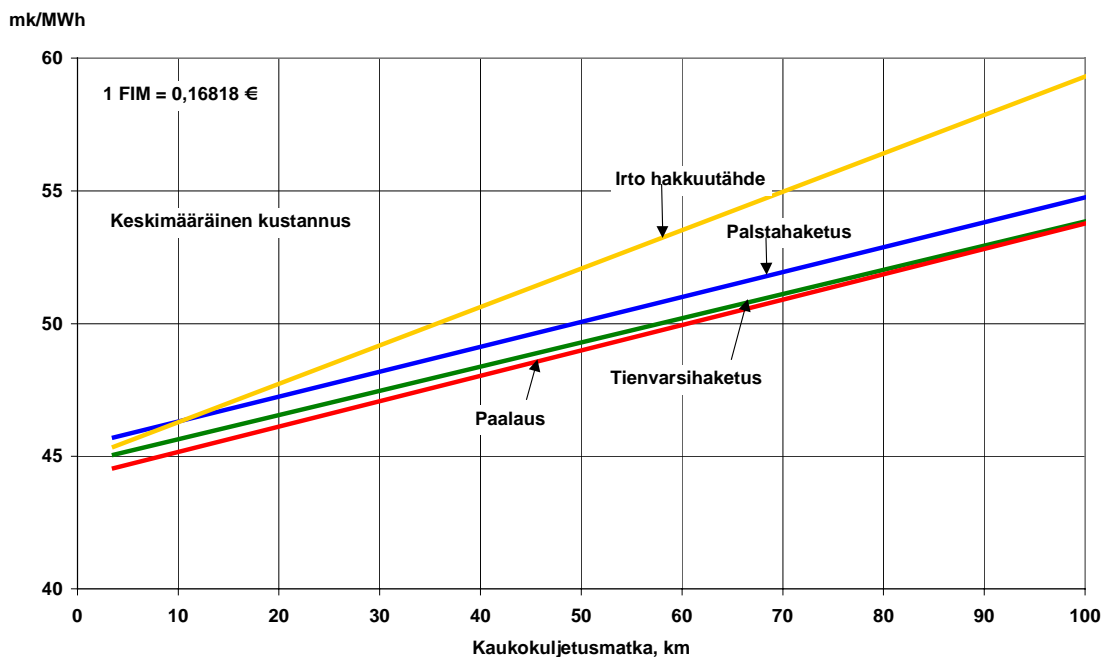


Kuva 2. Palkka-, käyttö- ja pääomakustannusten osuudet hakkuutähdehakkeen laitos-hinnassa (Asikainen et al. 2001).



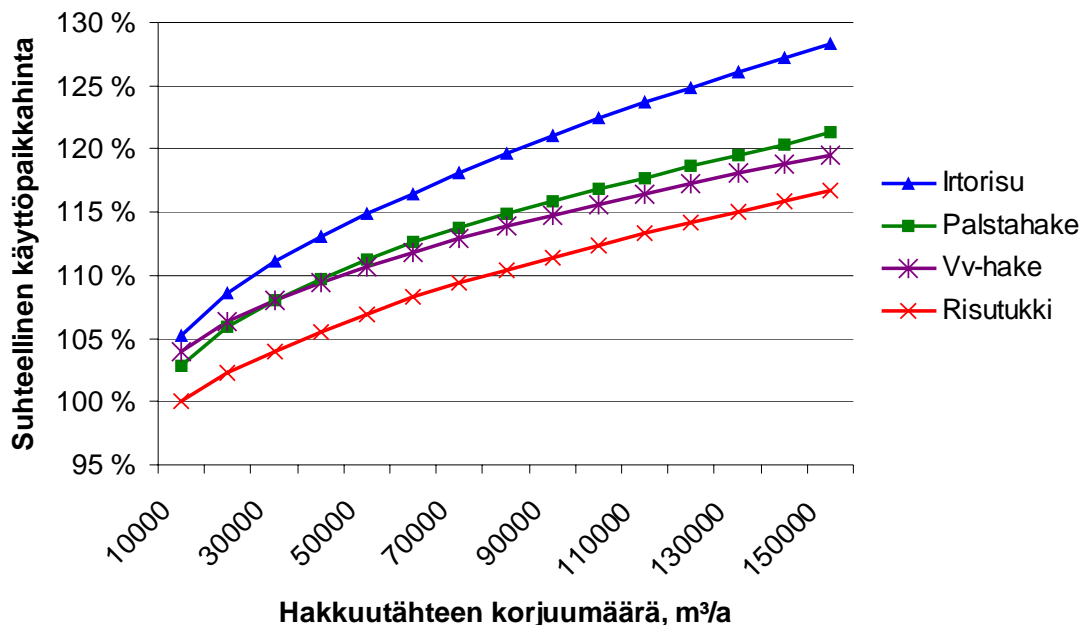
Kuva 3. Hakkuutähdehakkeen laitoshinnan kustannusrakenne, kun kaukokuljetusmatka on 50 km (Asikainen et al. 2001).

Hakkuutähdehakkeen kustannukset laitoksen portilla ovat lyhyillä kuljetusmatkoilla eri menetelmillä hyvin samalla tasolla (kuva 4), pitemmillä kuljetusmatkoilla irtorisun kuljetus nostaa kustannuksia. Korjuuketjun valintaan vaikuttavat merkittävästi myös polttoainetta käyttävien laitosten laatuvaatimukset sekä olemassa olevat polttoaineiden vastaanotto- ja käsittelylaitteet. Polttoaineiden käyttöpaikkahaketus ja -murskaus, jota irtorisu- ja paalausmenetelmät edellyttävät, on yleensä vain suurimmilla laitoksilla.



Kuva 4. Hakkeen kustannukset käyttöpaikalla kuljetusmatkan mukaan (VTT Energia).

Kuvassa 5 on laskettu eräälle Pohjanmaan rannikolla sijaitsevalle laitokselle, mikä hakkuutähteen käyttöpaikkahinta on eri käyttömäärillä. Laitoksella on käyttöpaikkamurskain. Puoliympyrän muotoinen hankinta-alue vähentää saatavilla olevaa hakkuutähtehädehettä.



Kuva 5. Hakkuutähteen vuotuisen hankintamäärän vaikutus käyttöpaikkahintaan Pohjanmaan rannikolla (Asikainen et al. 2001).

2.4.2 Ensiharvennukset ja taimikonhoito

Pienpuuraaka-aine on pääosin biomassaa, joka ei nykyisin kelpaa metsäteollisuuden raaka-aineeksi (Ryynänen 2001). Puuston koostumus ja läpimitta sekä korjuutekniset seikat jättävät nämä kohteet kaupallisen ainespuun korjuun ulkopuolelle. Tyypillisiä pienpuukohteita ovat eri kehitysvaiheessa olevat taimikot, nuoret kasvatusmetsät, ensiharvennukset, kaupallisten hakkuiden kuitupuuta pienempi puuaines ja vajaatuottoisten metsiköiden lehtipuu.

Vuosittain Suomessa uudistetaan metsiä noin 200 000 ha ja myös vastaava määrä taimikoita tulisi hoitaa joka vuosi. Taimikon perkauksessa poistetaan taimien kehitystä haittaavaa puustoa ja harvennuksessa valitaan kasvatettavaksi jätettävät puut. Perkausvaiheessa puusto on liian pientä kerättäväksi talteen. Varttuneen taimikon harvennusvaiheessa osa puustosta kelpaa energiapuuksi joko karsittuna tai oksineen. Nykytekniikoin taimikoiden energiapuun kaupallinen hyödyntäminen on kuitenkin kannattamatonta.

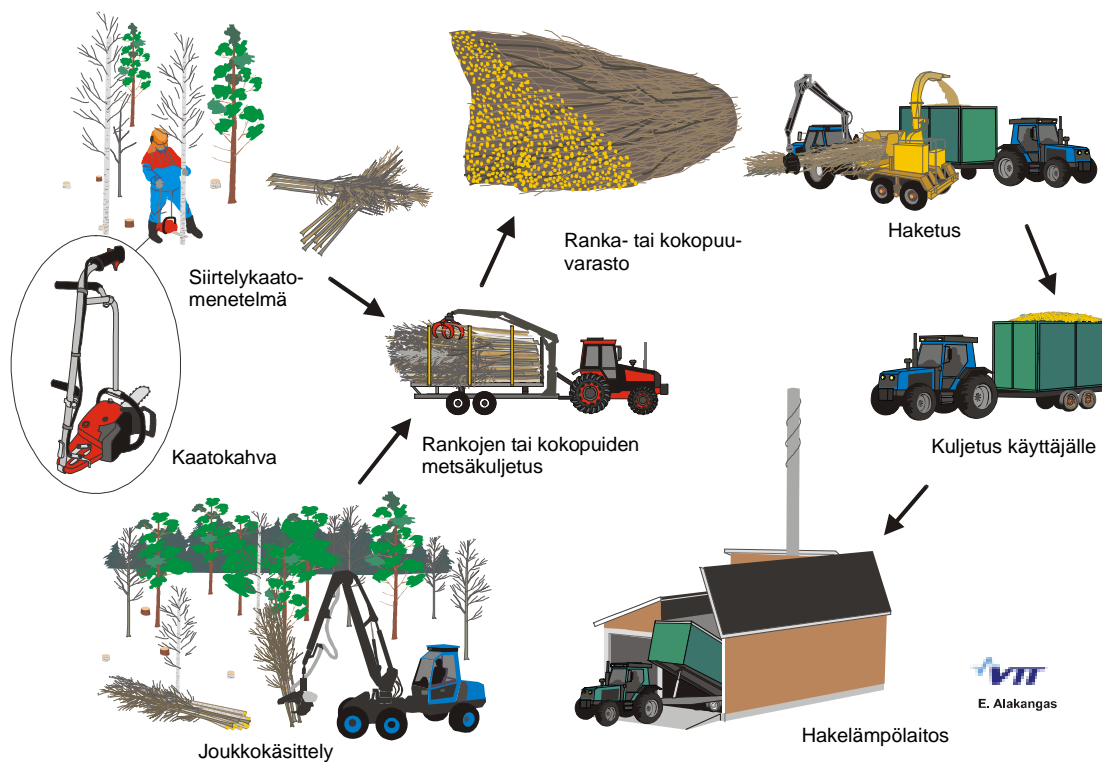
Metsänomistajan omaan käyttöön taimikkopuu soveltuu hyvin, ellei parempia kohteita ole käytettävissä.

Pilke- tai hakerankojen hyviä korjuukohteita ovat myös kuusitaimikot, joita on kasvatettu verhopuustoa käyttäen. Näin on erityisesti silloin, kun lehtikuitupuun kysyntätilanne on huono. Verhopuusto on usein varsin järeääkin hieskoivua tai leppää ja näin erinomaista polttorankojen raaka-ainetta. Polttopuiksi soveltuvat hyvin myös peltoheittojen ja hakamaiden metsätaloudellisesti vajaatuottoiset lehtipuumetsiköt.

Liian tiheänä kehittyneet riukuuntuneet kasvatusmetsät hoidetaan kuntoon ennen varsinaisen ensiharvennuksen suorittamista. Kunnostushakkuu on välttämätöntä koneellisen korjuu- ja markkinakelpoisuuden varmistamiseksi harvennushakkuussa. Hakkuukertymä vaihtelee suurissa rajoissa poistettavan puuston mukaan. Useimmissa tapauksissa kuitupuukertymä jää niin pieneksi, ettei leimikko täytä kaupallisen korjuun edellytyksiä. Omaan käyttöön korjattaessa ei kohteen koolla ole juurikaan merkitystä.

Metsikön ensimmäinen kaupallinen hakkuu ajoittuu 25–50 vuoden ikään. Ensiharvennuspuu on ensisijaisesti kuituraaka-ainetta teollisuuden käyttöön ja vasta toissijaisesti energiapuuta. Kuitupuusta maksettava hinta on paljon parempi kuin mitä energiapuusta maksetaan. Ensiharvennuskuitupuun kysyntä vaihtelee kuitenkin alueittain ja suhdanteittain varsin paljon. Tällöin metsänhoidolliset näkökohdat puoltavat ensiharvennuspuun energiakäyttöä. Kaupallisessa pilketuotannossa lehtipuurangoista saa kuitupuuta paremman hinnan pilkkeiksi jalostettuna.

Kuvassa 6 on esitetty pienpuun korjuuketjuja. Pilkottavat tai haketettavat pienpuurangat tehdään useimmiten moottorisahatyönä (Ryynänen 2001). Pieniä määriä hakataan vesureilla. Suurempien rankaerien tekoon voidaan käyttää muussa puunkorjuussa yleisiä harvestereita, mutta kustannukset tulevat moottorisahatyötä korkeammiksi. 1990-luvulla markkinoille tulivat ensimmäiset pienpuuharvesterit eli maataloustraktorin hydrauliseen puutavaranoosturiin kiinnitettävät hakkuulaitteet. Syke-, rulla- tai telavetoinen laite kaa-
taa, karsii ja katkoo. Ketjukarsijassa ketjut piiskaavat puiden oksat irti ja irrottavat osan kuoresta, mikä tehostaa polttopuun kuivumista. Laitteet soveltuvat ensiharvennuksiin ja muihin pienpuuleimikoihin sekä integroituun korjuumenetelmään, jossa otetaan talteen kuitupuun ohella polttorankoja. Polttopuu voidaan jättää myös karsimatta ja ottaa talteen oksineen hakkeen raaka-aineeksi.



Kuva 6. Pienpuun korjuuketjut (VTT Energia).

Kokopuuhake käy hyvin uusiin yli 300 kW:n lämpölaitoksiin. Hakkeen laatu on kuitenkin paljon riippuvainen hakkurista. Hyvällä hakkurilla tehty hake rasikuivista tai ylivuotisista kokopuista voi toimia hyvin myös pienemmissä käyttökohteissa. Kokopuiden hakkuu kunnostushakkuu- ja ensiharvennusestistä on edullisinta nykymenetelmin siirtelykaatona metsurityönä. Moottorisahaan tarvitaan irrotettavat kaatokahvat, jotka mahdollistavat turvallisen työskentelyn pystyasennossa. Kaatuvan puun liike-energia hyödynnetään kasauksessa siirtämällä puuta haluttuun suuntaan.

Koneellista kokopuukorjuuta kehitettiin Bioenergian tutkimusohjelmassa ja on jatkettu Puuenergian tutkimusohjelmassa (PUUENERGIA 2001). Hakkuuseen kehitettiin yksinpuin ja joukkokäsittelyyn soveltuvia kaato- ja kasaukskouria. Kaupallisessa tuotannossa on muutamia ratkaisuja. Tuottavuus koneellisessa kaato- ja kasaustyössä ei kuitenkaan ole merkittävästi suurempi kuin manuaalisessa siirtelykaadossa. Kehitystyö on jatkunut ja kohdistuu joukkokäsittelyihin kourin sekä hakkuun ja lähikuljetuksen integrointiin samaan korjuukoneeseen.

Yleisesti pienpuun korjuussa polttopuut kuljetetaan metsästä lähelle lopullista käyttöpaikkaa maataloustraktorein. Traktori varustetaan tällöin perävaunulla ja puutavarantorilla. Usein kuljetuskalusto on hankittu ainespuun metsäkuljetuksia varten. Polttoran-

gat ja samasta kohteesta tuleva karsimaton energiapuu voidaan ajaa eri kuormissa tai kokopuukuormaan rangoilla tiivistäen.

Pienpuun haketuksessa käytettävien hakkureiden voimanlähteenä on tavallisesti maataloustraktori. Myös omalla voimanlähteellä varustettuja malleja on käytössä erityisesti ympäristön hoidossa. Yleisimpiä pienhakkureita ovat laikkahakkurit, jotka soveltuvat hyvin rankahakkeen valmistukseen. Rangat syötetään pienhakkuriin käsityönä, mutta hakkureita on viime vuosina modifioitu myös traktorin nosturilla syötettäviksi. Hydrauliset vetorullat helpottavat syöttötyötä sekä tasaavat hakkeen laatua ja traktorin kuormittumista. Kartioruuvihakkurissa ei tarvita erillisiä syöttörullia, sillä vaakatasossa pyörivä teräruuvi vetää puun hakkuriin. Parhaiten kartioruuvihakkuri soveltuu rankojen ja sahapintojen hakettamiseen.

Haketuksessa varastopaikoilla metsäautoteiden varressa käytetään suurempien kiinteistöjen ja aluelaitosten hakehuollossa yleisesti maataloustraktorivetoisia ja omalla akselilla varustettuja laikka- ja rumpuhakkureita. Rangat tai kokopuut syötetään hakkuriin traktorin nosturilla. Rumpuhakkuri soveltuu laikkahakkuria paremmin kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen tekoon. Kuorma-autoalustaisia rumpuhakkureita käytetään haketuotannossa suurten lämpölaitosten ja voimaloiden tarpeisiin. Raaka-aine on autoteiden varsille koottuja hakkuutähde- tai kokopuubarastoja. Hake puhalletaan maataloustraktorin hakeperävaunuun tai kuorma-autokonttiin.

Palstahakkuria voi hyvin käyttää harvennusoloissa ajourien varteen kasatun pienkokuun hakettamiseen ja haketukseen varastopaikoilla. Tällä hetkellä palstahakkureita käytetään lähinnä hakkuutähteiden haketukseen suoraan palstalla.

2.5 Yhteenveto käytettävissä olevista biopolttoainemääristä

Vuonna 2000 puupolttoaineita käytettiin 76 TWh, joka oli 20 % Suomen energiankulutuksesta (taulukko 2). Puulla tuotettiin noin 11 % Suomen sähkönkulutuksesta. Muiden biomassojen käyttö puuhun verrattuna oli vielä vuonna 2000 energianäkökohdasta melko merkityksetön. Kierrätyspolttoaineiden käyttö oli 0,28 TWh ja biokaasun käyttö 0,2 TWh.

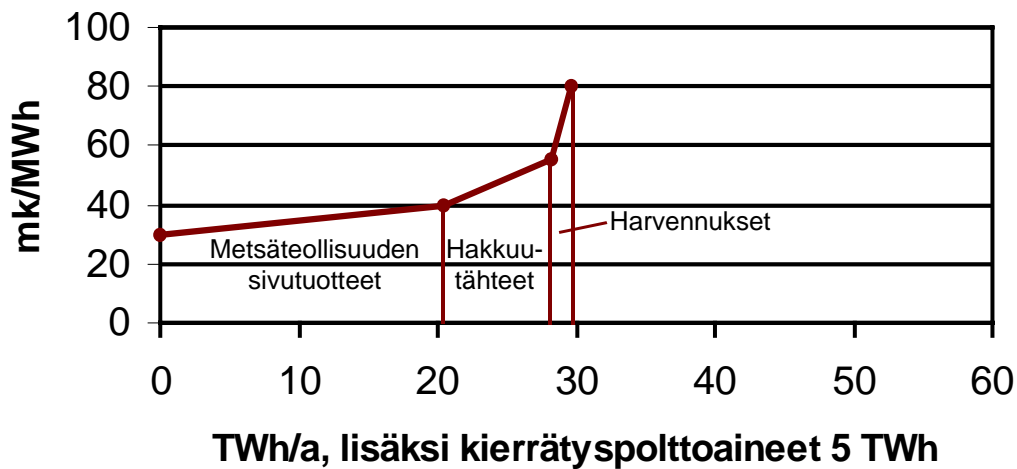
Taulukko 2. Kotimaisten polttoaineiden energiakäyttö vuonna 2000.

	Mtoe	TWh	Milj. k-m ³	Osuus Suomen energiankulutuksesta, %
Mustalipeä	3,4	40	20	11
Kiinteät, joista	2,0	23	11,5	6
- kuori	1,2	14		
- sahanpuru ym.	0,4	5		
- metsähake	0,1	1,5		
Puun pienkäyttö	1,1	13	6,5	3
PUU YHTEENSÄ	6,5	76	38	20
Kierrätyspolttoaineet	0,02	0,28		
Biokaasu	0,02	0,2		
Turve	1,4	16	17,4	4
KOTIMAISET YHTEENSÄ	8,0	92,5		24

Käytettävät biopolttoainemäärät vuosille 2005, 2010 ja 2025 on arvioitu kahdessa eri tapauksessa, perus- ja maksimivaihtoehdoissa, jotka eroavat toisistaan biopolttoaineiden kilpailukyvyn osalta.

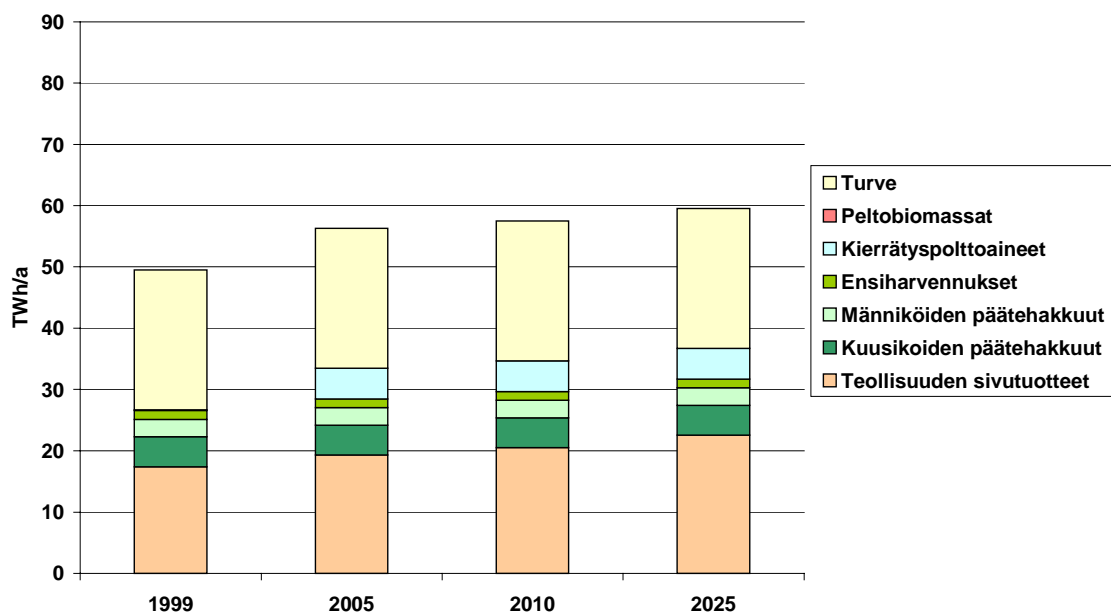
2.5.1 Perusvaihtoehto

Perustapauksessa biopolttoaineiden kilpailukykyiseksi keskimääräiseksi kustannustasoksi on arvioitu korkeintaan 55 mk/MWh, lukuun ottamatta ensiharvennuksia ja muita metsänhoidollisia kohteita. Niiden energiakäytön edellytyksenä on nykyisen tukitason ja -määrän pysyminen ennallaan (vrt. kuva 7). Hakkuutähteiden korjuuketjuja kehitetään edelleen, jolloin saadaan keskimääräinen kustannustaso pysymään nykyisellään kuljetusmatkojen kasvaessa ja korjuukohteiden tullessa epäsuotuisemmiksi tuotantomäärän kymmenkertaistuesssa nykytasosta.



Kuva 7. Kiinteiden biopolttoaineiden saatavuus suurkäyttöön eri kustannustasoilla perustapauksessa.

Vuonna 2010 kiinteiden kotimaisten polttoaineiden tuotantomahdollisuuksiksi on arvioitu perustapauksessa turve mukaan lukien 57 TWh (207 PJ), ilman turvetta 35 TWh (125 PJ). Arvioidut biopolttoaineiden tuotantomahdollisuudet perusvaihtoehdossa on esitetty kuvassa 8 sekä taulukossa 3.



Kuva 8. Arvioidut kotimaisten polttoaineiden tuotantomahdollisuudet perusvaihtoehdossa lukuun ottamatta mustalipeää ja puun pienkäyttöä.

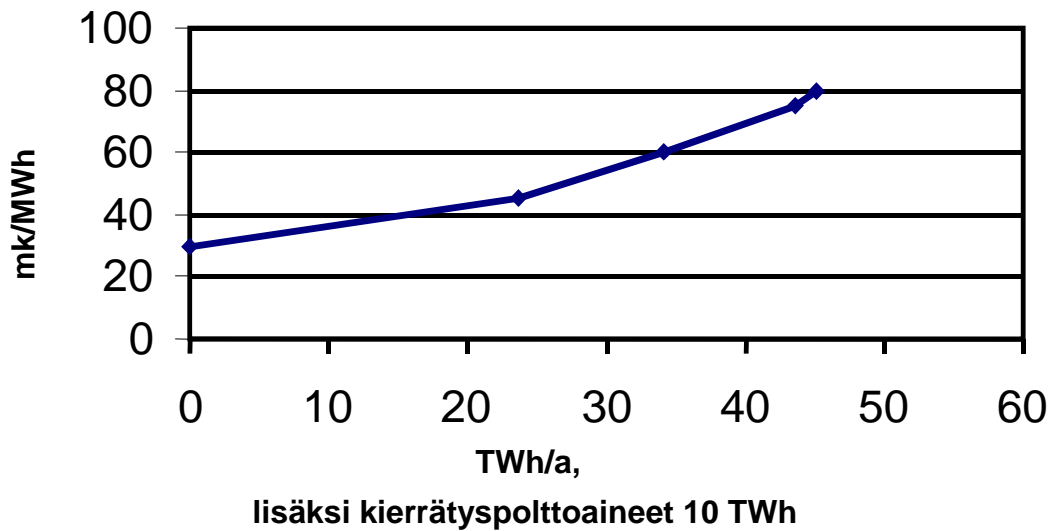
Taulukko 3. Arvioidut kiinteiden kotimaisten polttoaineiden tuotantomahdollisuudet perusvaihtoehdossa (TWh/a).

	1999	2005	2010	2025
Teollisuuden sivutuotteet	17,4	19,3	20,5	22,6
Kuusikoiden päätehakuut	4,9	4,9	4,9	4,9
Männiköiden päätehakuut	2,8	2,8	2,8	2,8
Ensiharvennukset	1,4	1,4	1,4	1,4
Puu yhteensä	26,6	28,5	29,7	31,7
Kierrätyspolttoaineet	0,1	5,0	5,0	5,0
Peltobiomassat	0	0	0	0
KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET YHTEENSÄ	26,7	33,5	34,7	36,7
Turve	22,8	22,8	22,8	22,8
KOTIMAISET YHTEENSÄ	49,5	56,3	57,5	59,5

2.5.2 Maksimivaihtoehto

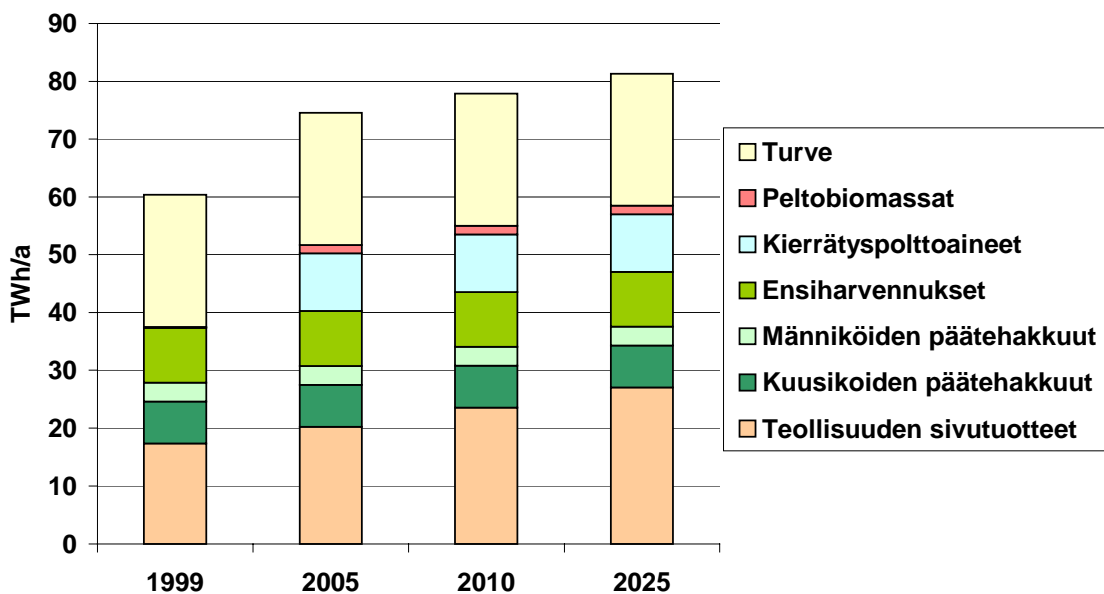
Maksimivaihtoehdossa biopolttoaineiden kilpailukykyiseksi keskimääräiseksi kustannustasoksi on arvioitu korkeintaan 60 mk/MWh, lukuun ottamatta ensiharvennuksia ja muita metsänhoidollisia kohteita sekä peltobiomassoja, joiden tuotantoa energiakäyttöön tuetaan merkittävästi (kuva 9). Hakuutähteiden korjuuketjuja kehitetään edelleen intensiivisesti, joka mahdollistaa tuotantomäärän viisintoistakertaistumisen nykytasosta lähes nykyisellä kustannustasolta.

Maksimivaihtoehdossa on metsäteollisuuden sivutuotteiden määrä 15 % korkeampi kuin perustapauksessa, koska sivutuotteiden energiasisältöä on oletettu nostettavan merkittävästi pienentämällä sivutuotteiden kosteuspitoisuutta energiantuotannossa. Kosteuspitoisuuden pienentämiseen on useita teknisiä mahdollisuuksia, josta tärkein on jätelämpövirtojen hyödyntäminen sivutuotteiden kuivauksessa.



Kuva 9. Biopolttoaineiden saatavuus eri kustannustasoilla maksimivaihtoehdossa.

Maksimivaihtoehdossa biopolttoaineiden potentiaaliksi vuonna 2010 (kuva 10 ja taulukko 4) on arvioitu noin 55 TWh (200 PJ), joka on 20 TWh suurempi kuin perustapauksessa.



Kuva 10. Arvioidut kotimaisten polttoaineiden tuotantomahdollisuudet maksimivaihtoehdossa lukuun ottamatta mustalipeää ja puun pienkäyttöä.

Taulukko 4. Arvioidut kiinteiden kotimaisten polttoaineiden tuotantomahdollisuudet maksimivaihtoehdossa (TWh/a).

	1999	2005	2010	2025
Teollisuuden sivutuotteet	17,4	20,3	23,6	27,1
Kuusikoiden päätehakuut	7,2	7,2	7,2	7,2
Männiköiden päätehakuut	3,3	3,3	3,3	3,3
Ensiharvennukset	9,5	9,5	9,5	9,5
Puu yhteensä	37,4	40,3	43,6	47,1
Kierrätyspolttoaineet	0,1	10,0	10,0	10,0
Peltobiomassat	0,0	1,5	1,5	1,5
KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET YHTEENSÄ	37,5	51,7	55,0	58,5
Turve	22,8	22,8	22,8	22,8
KOTIMAISET YHTEENSÄ	60,3	74,6	77,9	81,4

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman taustaraportissa (Helynen et al. 1999) arvioitiin kotimaisten polttoaineiden saatavuutta kahdella eri kustannustasolla. Tämän selvityksen perus- ja maksimivaihtoehdoissa käytettyjä määriä on verrattu edistämishjelmaan seuraavassa taulukossa 5. Esitetyt määrät pysyvät pääosin aiemmin esitettyjen arvioiden rajoissa, mutta arvioiden uskotaan tarkentuneen.

Taulukko 5. Perus- ja maksimivaihtoehtojen arvioitu kotimaisten polttoaineiden saatavuus vuonna 2010 verrattuna Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman saatavuusarvioihin (TWh).

	Polttoaineiden saatavuus		Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman	
	Perus	Maksimi	Perus-kustannustaso	Korkeampi kustannustaso
Teollisuuden sivutuotteet	20,5	23,6	15,1–19,8	15,1–19,8
Metsähake	9,2	20,0	5,8	19,8
Kierrätyspolttoaineet	5,0	10,0	10,5	12,8
Peltobiomassat	0	1,5	2,5	5,8
KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET YHTEENSÄ	34,7	55,1	33,9–38,6	53,5–58,2
Turve	22,8	22,8	23	23
KOTIMAISET YHTEENSÄ	57,5	77,9	57–62	77–81

2.6 Kehitystarpeet

Vuonna 1999 käynnistyneen Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on nostaa metsähakkeen tuotanto viisinkertaiseksi viidessä vuodessa eli 2,5 milj. m³:iin (5 TWh) vuonna 2003, jolloin ohjelma päättyy. Tavoitteeseen pyritään tutkimuksella, kehitystyöllä, käytännön demonstraatiolla ja tiedonvälityksellä. Pääpaino on ollut ohjelman alkuvaiheessa laajamittaisessa metsähakkeen tuotannossa uudistushakkuista. Metsähakkeen tuotanto nuorista metsistä ja markkinakelvottomasta pienpuusta on myös tärkeä tutkimuksellinen painopiste lähivuosina. Lisäksi metsäteollisuuden sivutuotteiden laadun parantaminen kuuluu ohjelmaan. Tärkeä osa ohjelmaa ovat olleet metsähakkeen käytön ympäristövaikutukset, mm. metsien ravinteiden riittävyys vietäessä hakkuutähteet pois. Hakkuutähteiden korjuulle on olemassa suositus (Fredrikson 2000), jonka mukaan kolmannes hakkuutähteistä jätetään palstalle ja hakkuutähteitä ei korjata ravineköyhiltä mailta. Ohjelmaa ollaan laajentamassa vuonna 2002 laajamittaisesta tuotannosta ja käytöstä puun pienkäytön alueelle.

Peltobiomassojen tuotantoa on tutkittu muutamissa erillisissä tutkimus- ja demonstraatiohankkeissa, muun muassa ruokohelven viljelyä suopohjilla ja sekä ruokohelven käyttöä valutuskenttänä turvetuotantoalueiden vesille. Suomessa edullisimpia peltobiomassoja ovat olki ja ruokohelvi. Monivuotisella ruokohelvellä on edulliset viljely- ja korjuukustannukset sekä Suomen olosuhteissakin korkeat hehtaarisääntö, mutta polttoaineen hinta laitoksella nousee vielä metsähakkeita 10–20 mk/MWh korkeammaksi.

Seuraavaan taulukkoon 6 on koottu polttoaineittain tuotannon kehitystarpeet vuoteen 2010 mennessä, jotta aiemmin esitetyt kustannustasot ja tuotantomäärät saavutettaisiin.

Taulukko 6. Kotimaisten polttoaineiden tuotannon tutkimus- ja kehitystarpeet tuotantokustannusten alentamiseksi.

POLTTOAINE	KEHITYSTARPEET
Metsähake päätehakuilta	Tuotantoketjujen optimointi Laadun hallinta ja varastointi
Metsähake ensiharvennuksista ja taimikonhoidosta	Kevyiden korjuukoneiden kehittäminen Tuotantoketjun optimointi
Polttoaineet pienkäyttöön	Hyvälaatuisen polttoaineen tuotanto ja jakelu
Teollisuuden sivutuotteet	Laadun parantaminen kuivauksella Polttoainejalosteiden valmistus: pelletit, bioöljyt
Peltobiomassat	Korjuuketjujen kehittäminen Integrointi kuidun tai muiden raaka-aineiden tuottamiseen sekä vesien käsittelyyn
Kierrätyspolttoaineet	Esitetty erillisessä CLIMTECH-ohjelman raportissa
Turve	Ympäristövaikutusten pienentäminen Tuotanto matalilta reuna-alueilta Turvetuotanto suopelloilta

3. Biopolttoaineiden käyttöarviot nykytekniikalla

Biopolttoaineiden käyttömahdollisuuksia arvioitiin aluksi nykytekniikkaa käyttäen kahdessa eri vaihtoehdossa. Uuden tekniikan mahdollistama lisäkäyttö on esitetty jäljempänä tässä julkaisussa.

Perusvaihtoehdossa biopolttoaineita käytetään laitoksissa pitäen kussakin laitoksessa biopolttoaineen osuus nykyisellään ja suunnitelluissa laitoksissa suunnitteluarvojen mukaisina. Maksimivaihtoehdossa biopolttoaineiden käyttö nostetaan niin suureksi kuin se pienillä lisäinvestoinneilla on käytännössä mahdollista. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin mustalipeä, koska sen energiakäyttö on sidoksissa selluloosan tuotantomääriin. Lisäksi tässä kappaleessa tarkastellaan vain suurkäyttökohteita, ja arvio kiinteistökohtaisesta energian tuotannosta on esitetty luvussa 5.

3.1 Lähtökohdat

Selvityksessä on ollut mukana yli 1 MW:n puuta tai turvetta käyttävät laitokset, jotka sijaitsevat yli 700 eri laitospaikalla. Vuoden 1999 polttoaineiden käyttömäärät on poimittu tilastoista niiltä osin kuin tiedot ovat olleet saatavilla. Suurin osa laitoksista oli mukana Puuenergian teknologiaohjelman metsähakkeen käyttöselvityksen kyselyssä (Hakkila et al. 2001), ja näiden laitosten osalta on käytetty kyselyyn saatuja vastauksia. Mikäli vuoden 1999 tietoja ei ole ollut käytettävissä, on käytetty vuoden 1998 tai 1995 tietoja. Muutamille laitoksille, joille ei löytynyt lainkaan tietoja polttoaineiden käytöstä, määrät arvioitiin kattilatehon ja huipunkäyttöajan perusteella. Yhdyskuntien lämpö- ja CHP-laitoksille oletettiin huipunkäyttöajaksi 4 500 h, teollisuudelle (lähinnä sahoille) 6 000 h.

Polttoaineen käytön kasvuksi oletettiin prosentoin vuotuinen kasvu vuoteen 2010 asti, sen jälkeen vuotuiseksi kasvuksi on oletettu 0,5 %. Julkisuudessa esiintyneet investointisuunnitelmat on oletettu toteutuviksi, ja niiden vaikutukset polttoaineiden tarpeeseen on arvioitu. Eri polttoaineiden käyttöosuuksien on oletettu pysyvän ennallaan, elleivät esimerkiksi investointisuunnitelmat ennakoivat muutoksia.

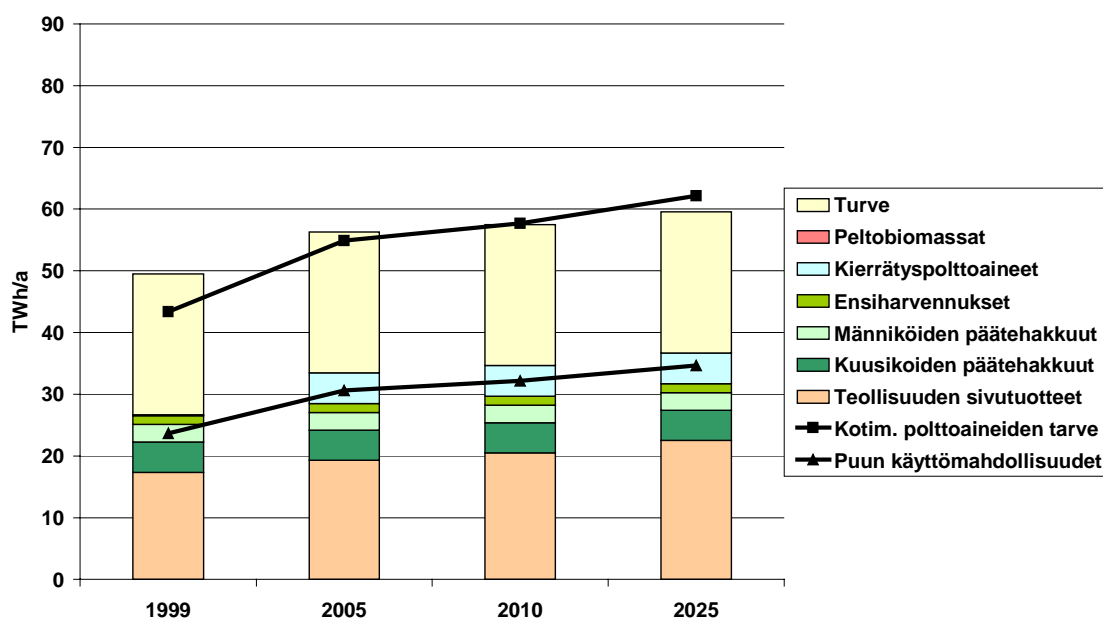
Maksimivaihtoehdossa on tarkasteltu samoja laitoksia kuin perusvaihtoehdossakin. Puupolttoaineiden osuutta kunkin laitoksen polttoainekäytössä on kasvatettu niin suureksi kuin on katsottu nykytekniikalla pienin lisäinvestoinnein olevan mahdollista. Suuremmat biopolttoaineiden käyttäjät on arvioitu laitoksittain, pienemmissä on käytetty oletuksena puun osuuden kasvattamista 50, 80 tai 100 prosenttiin riippuen siitä, mikä on kunkin laitoksen polttotekniikka ja nykyinen puupolttoaineiden osuus. Useimmissa tapauksissa puu korvaa turvetta, koska hiilen käyttö muissa kuin hiilipölypolttokattiloissa

on pienentynyt voimakkaasti viime vuosina. Hiilipölylaitoksia on tarkasteltu laitoksittain, ja seitsemällä niistä on arvioitu voitavan korvata 2–3 % hiilestä puun käytöllä pienillä lisäinvestoinneilla.

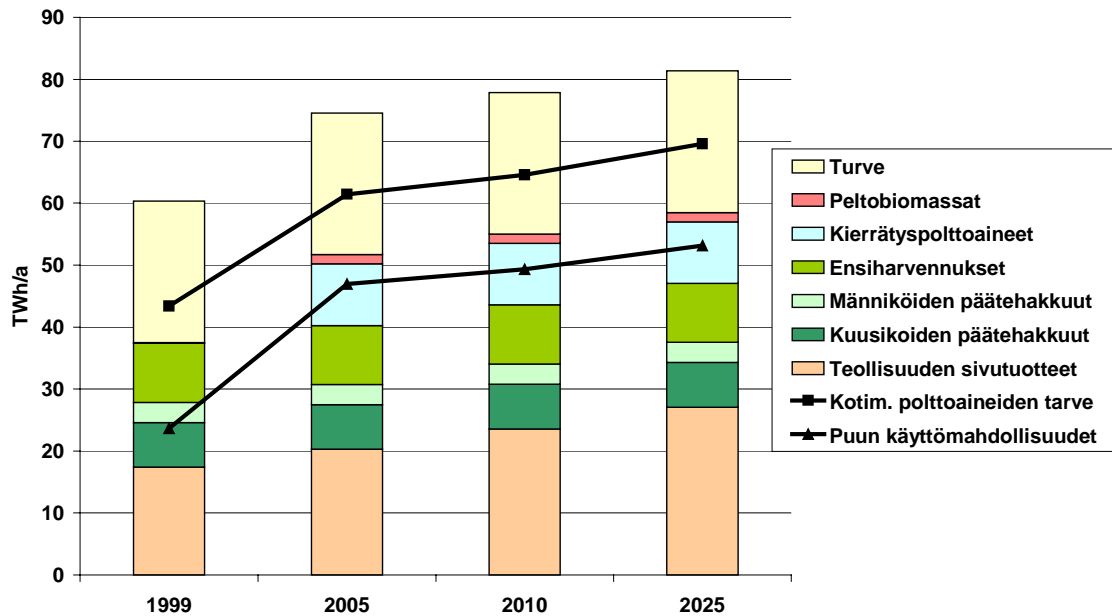
3.2 Arvioidut käyttömäärät

Kotimaisten polttoaineiden käyttö nykytekniikalla arvioitiin vuosina 2005, 2010 ja 2025. Laskennan lähtökohtana käytetty vuoden 1999 polttoaineiden käyttömäärä ei vastaa aivan energiatilastojen lukua, vaan tässä selvityksessä on käytetty sääolosuhteiltaan keskimääräisen vuoden polttoaineen käyttöä.

Perusvaihtoehdossa polttoaineiden tarjonta ja kysyntä ovat jokseenkin tasapainossa koko Suomen tasolla (kuva 11). Sekä biopolttoaineiden että turpeen käyttö kasvaa merkittävästi vuoteen 2005 mennessä parhaillaan rakenteilla ja suunnitteilla olevien laitosten valmistuttua. Vuonna 2010 turpeen käyttö on kasvanut yli 25 TWh:iin (90 PJ).



Kuva 11. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden arvioitu käyttö nykytekniikalla suuri käyttökohteissa ja polttoaineiden tarjonta perusvaihtoehdossa.



Kuva 12. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden arvioitu käyttö nykytekniikalla suurkäyttökohteissa ja polttoaineiden tarjonta maksimivaihtoehdossa.

Maksimitapauksessa puun ja muiden biopolttoaineiden käyttö kasvaa noin 20 TWh (70 PJ) perustapaukseen verrattuna, ja hieman yli puolet käytön lisäyksestä korvaa turvetta (kuva 12).

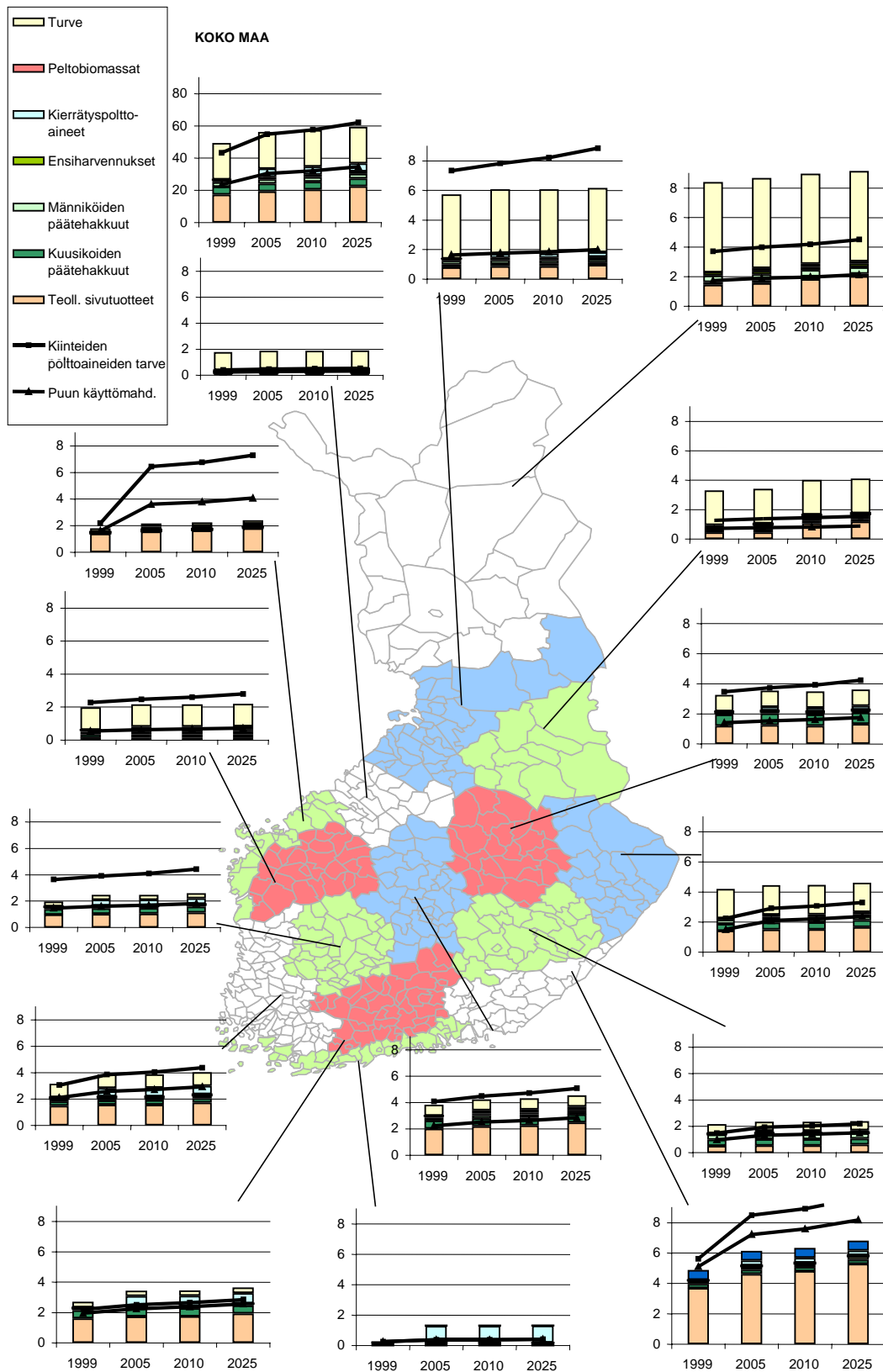
Vuonna 2010 maksimitapauksessa on noin 12 TWh käytettävissä kotimaisia polttoaineita muilla käyttösektoreilla, kuten pienkäytössä sekä uuden teknologian mahdollistamissa käyttökohteissa.

Kauppa- ja teollisuusministeriön Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa ja sen taustaraportissa (Helynen et al. 1999) on esitetty tavoitteita biopolttoaineiden käytölle. Taulukossa 7 perus- ja maksimivaihtohtojen arvioita biopolttoaineiden tarpeesta vuonna 2010 on verrattu edistämishjelmassa esitettyihin lukuihin. Perusvaihtohto vastaa siis edistämishjelmassa esitettyä tavoitetta. Jos metsäteollisuus kasvaa arvioidun mukaisesti, tavoitteena oleva biopolttoaineiden käyttö voidaan saavuttaa nykyisissä ja suunnitteilla olevissa laitoksissa vuoteen 2010 mennessä. Biopolttoainevarat mahdollistaisivat suuremmankin käytön kasvun, mutta kasvu riippuu luonnollisesti kilpailukyvystä, koska tarjolla olevat polttoaineet ovat huomattavasti kalliimpia kuin perustapauksessa.

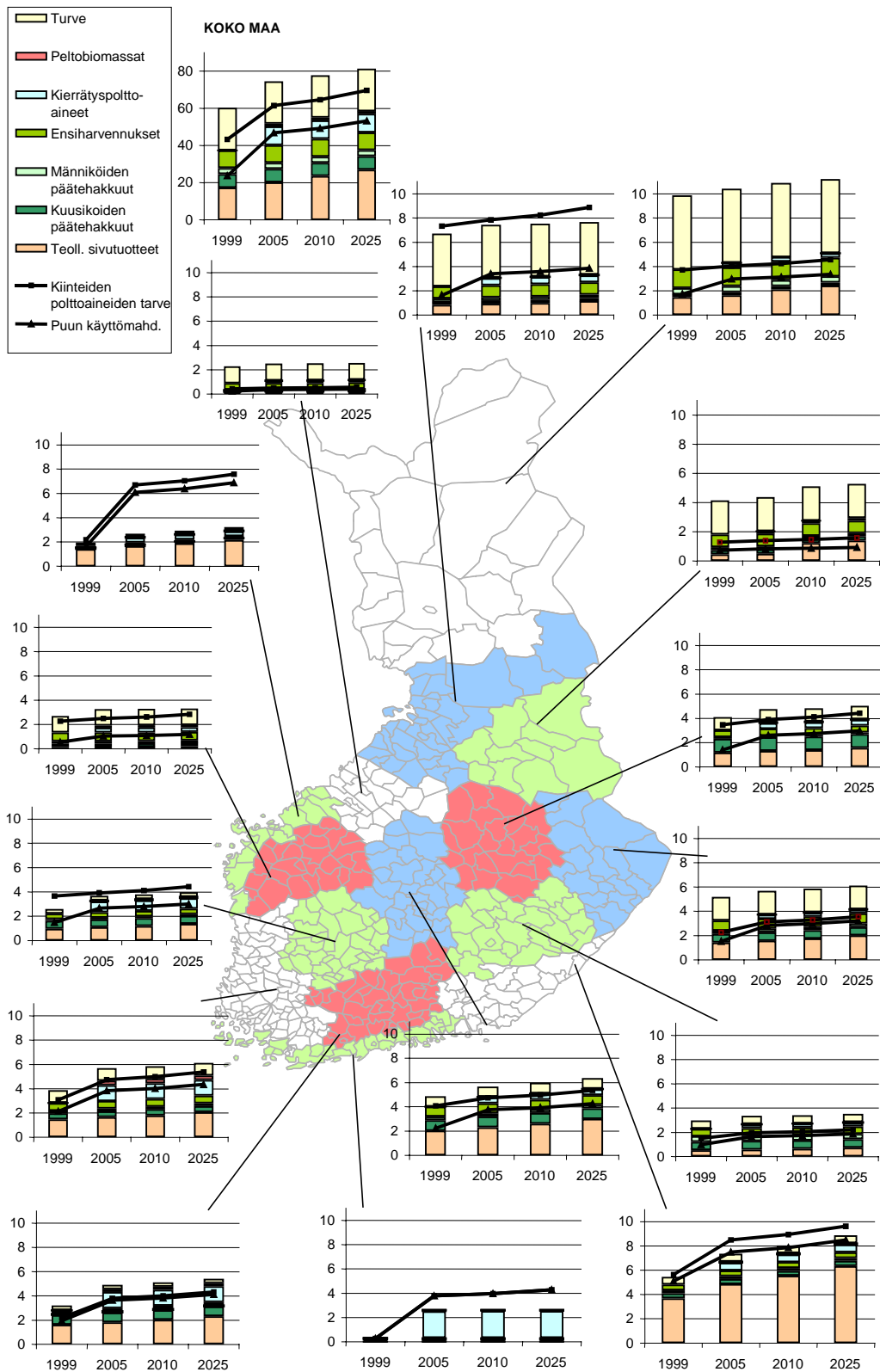
Taulukko 7. Perus- ja maksimivaihtoehtojen arvioitu biopolttoaineiden ja turpeen käyttö nykytekniikalla vuonna 2010 verrattuna Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman arvioihin (TWh).

	Polttoaineiden käyttö		Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma
	Perus	Maksimi	
Teollisuuden sivutuotteet, metsähake, kierrätyspolttoaineet ja peltobiomassat	32	50	31 tavoitteesta vähennetty puun pienkäyttö ja mustalipeä
Turve	26	14	
YHTEENSÄ	58	64	

Kuvissa 13 ja 14 biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit perus- ja maksimivaihtoehtoissa on esitetty alueellisesti metsäkeskuksittain. Polttoaineiden saatavuudessa ja käyttömahdollisuuksissa on alueellisia eroja, vaikka koko maan tilanne on tasapainossa. Tämä lisää luonnollisesti kuljetusmatkoja. Polttoainetta on kuljetettava suuria määriä mm. Pohjanmaan rannikolle ja Kymenlaaksoon. Puun käyttö saatavuuteen verrattuna on perustapauksessa pienintä Savossa.



Kuva 13. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuuksien alueellinen jakautuminen perusvaihtoehdossa nykytekniikalla, TWh/a.



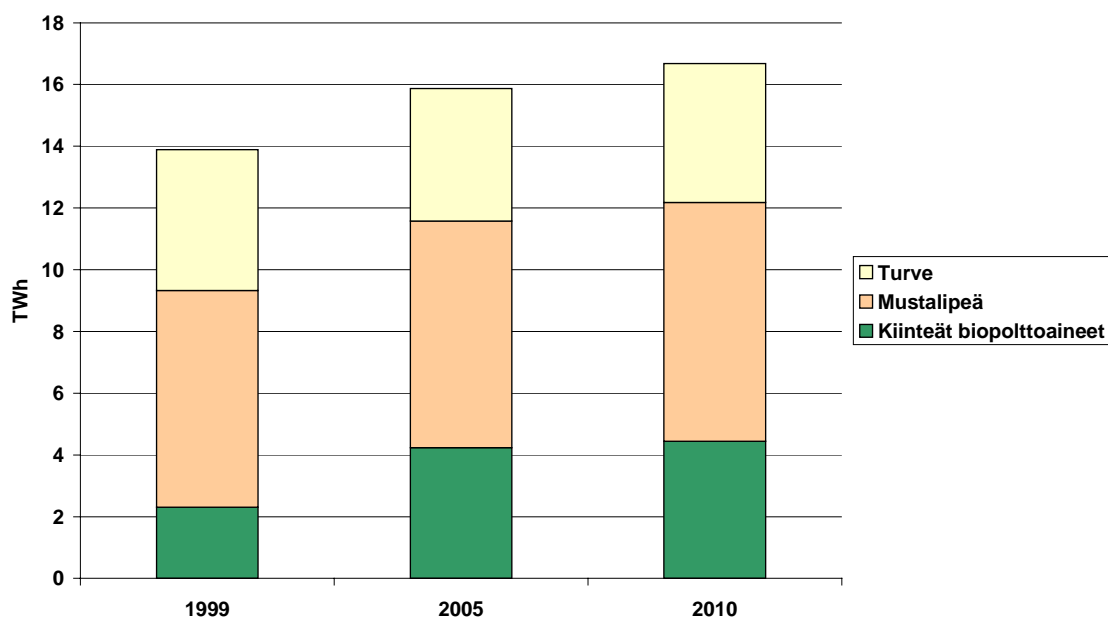
Kuva 14. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuuksien alueellinen jakautuminen maksimivaihtoehdossa nykytekniikalla, TWh/a.

3.3 Sähkön tuotanto nykytekniikalla

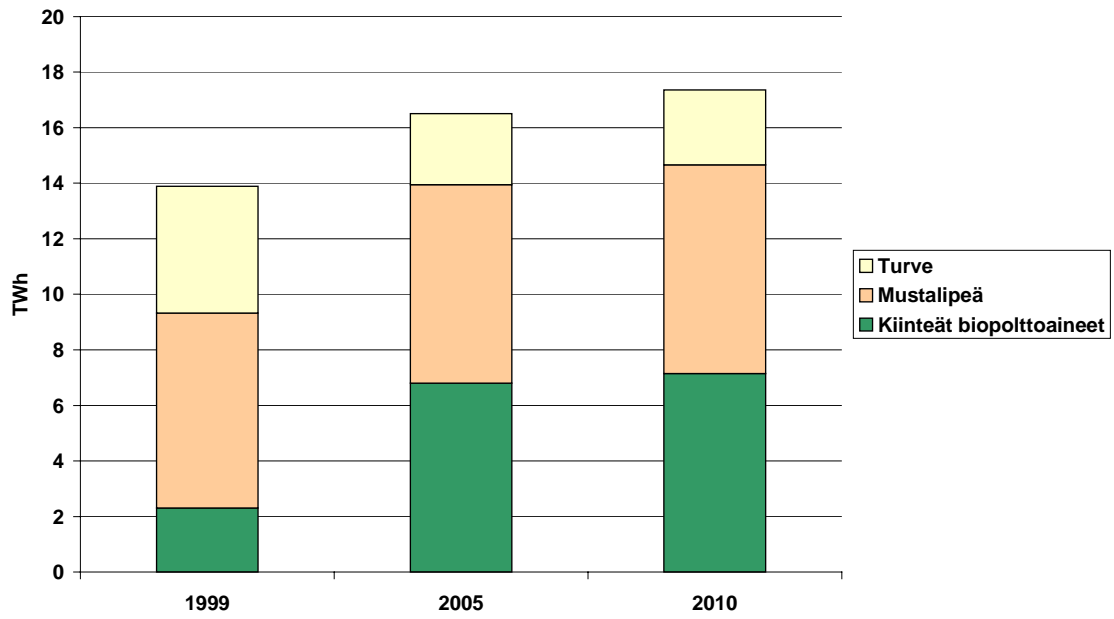
Julkisia tilastoja laitoskohtaisista sähkön tuotantomääristä on saatavilla vain vuoteen 1995 asti. Tämän vuoksi arvioitaessa biopolttoaineilla tuotetun sähkön määriä vuosille 2005 ja 2010 on käytetty lähtötietoina vuoden 1995 sähköntuotanto- ja polttoainekäyttölukuista laskettuja hyötysuhteita ja polttoaineen käyttömääriä.

Perustapauksessa arvioidaan sähkön tuotannon biopolttoaineilla kohoavan yli 12 TWh:iin vuoteen 2010 mennessä (kuva 15). Arvio vastaa uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman tavoitetta (KTM 1999). Maksimitapauksessa sähkön tuotanto biopolttoaineilla on lähes 15 TWh vuonna 2010 (kuva 16). Kasvu on kiinteiden puupolttoaineiden käytön lisäystä, sillä metsäteollisuuden jäteliemillä tuotettavan sähkön määrän ei voida paljon vaikuttaa kyseisellä aikavälillä. Lisääntynyt kiinteiden biopolttoaineiden käyttö korvaa maksimitapauksessa suurelta osin turpeen käyttöä, koska kotimaisilla polttoaineilla tuotettu sähkö kasvaa kaikkiaan vain alle 1 TWh perustapaukseen verrattuna.

Lasketuissa perus- ja maksimivaihtoehdossa sähkö tuotettiin nykytekniikalla. Uuden tekniikan merkitystä, joka näkyy selvästi vasta vuoden 2025 tilanteessa, on arvioitu luvussa 9.



Kuva 15. Kotimaisilla polttoaineilla tuotettu sähkö perusvaihtoehdossa nykytekniikalla.



Kuva 16. Kotimaisilla polttoaineilla tuotettu sähkö maksimivaihtoehdossa nykytekniikalla.

4. Energian tuotantotekniikat

Biopolttoaineita käyttävän energian tuotannon tekniikan kehittämismahdollisuuksia käsitellään tässä luvussa. Pääpaino on tekniikoissa, joiden demonstrointi on mahdollista lähivuosina. Biopolttoaineiden pienkäyttöä on käsitelty omassa kappaleessaan.

4.1 Polttotekniikat

4.1.1 Arinapoltto

Arinapoltto edustaa perinteisintä polttotekniikkaa. Arinapoltto on ollut pienten ja keski-suurten yksiköiden (alle 10 MW) yleisin kiinteiden polttoaineiden polttomenetelmä.

Kiinteiden polttoaineiden kosteus vaihtelee samallakin polttoaineella melkoisesti. Eri kiinteiden polttoaineiden kosteus vaihtelee tyypillisesti 10–60 % kokonaispainosta. Kosteus vaikuttaa merkittävästi arinan mitoitukseen. Tyypillisesti suurin osa arinapinnasta on varattava kosteuden poistamiseen polttoaineesta. Kosteuden poistamista voidaan nopeuttaa pienentämällä palakokoa eli kasvattamalla haihtumispintaa ja käyttämällä kuivaamiseen esilämmitettyä palamisilmaa. Myös tulipesägeometrialla voidaan kuivumisaikaa lyhentää.

Haihtuvien aineiden kaasuuntuminen eli pyrolyysi alkaa 150–200 °C:n lämpötilassa. Pyrolyysi on suurimmillaan 250–500 °C:n lämpötilassa, jolloin muodostuu runsaasti terva- ja kaasumaisia aineita. Pyrolyysi loppuu noin 800 °C:n lämpötilassa. Pyrolyysi tuottaa inerttien kaasujen lisäksi palamiskelpoisia ja nestefaasisissa olevia terva-aineita, jotka palavat hyvin liekissä, mikäli happea on tarpeeksi läsnä. Kaasumaisia pyrolyysituotteita ovat hiilimonoksidi, vety ja erilaiset hiilivedyt. Pyrolyysin jälkeen polttoaineesta on jäljellä kiinteä hiili, joka palaa pinnaltaan ilman liekkiä, kun lämpötila on riittävän korkea ja happea on riittävästi läsnä.

Jäännöshiili palaa tyypillisesti melko hitaasti ja vaatii suhteessa selvästi enemmän arinapintaa kuin pyrolyysivaihe. Jäännöshiilen palamisaikaan voidaan vaikuttaa jonkin verran polttoaineen palakokoa pienentämällä. Lämpötilatasoa nostamalla voidaan palamista kiihdyttää, esimerkiksi lämmittämällä palamisilmaa, saattaa käytännössä johtaa tuhkan sulamiseen ja aiheuttaa täten käytettävyyso ongelmia. Arinapoltolle on ominaista, että suurin osa polttoaineen sisältämästä tuhkasta poistuu ns. tulipesätuhkana (arinatuhka).

Eri polttoaineiden tuhkansulamislämpötilat vaihtelevat polttoaineen mukaan suurella alueella. Puulla tuhka sulaa korkeassa lämpötilassa (yli 1 400 °C). Tuhkan sulamisongelmia

voidaan vähentää käyttämällä mekaanisia vesijäähdytettyjä arinoita ja käyttämällä esilämmitämätöntä palamisilmaa loppuunpalamisvyöhykkeelle.

Arinapolttojärjestelmä muodostuu seuraavista järjestelmistä:

- polttoaineen syöttö
- arina
- palamisilman syöttö.

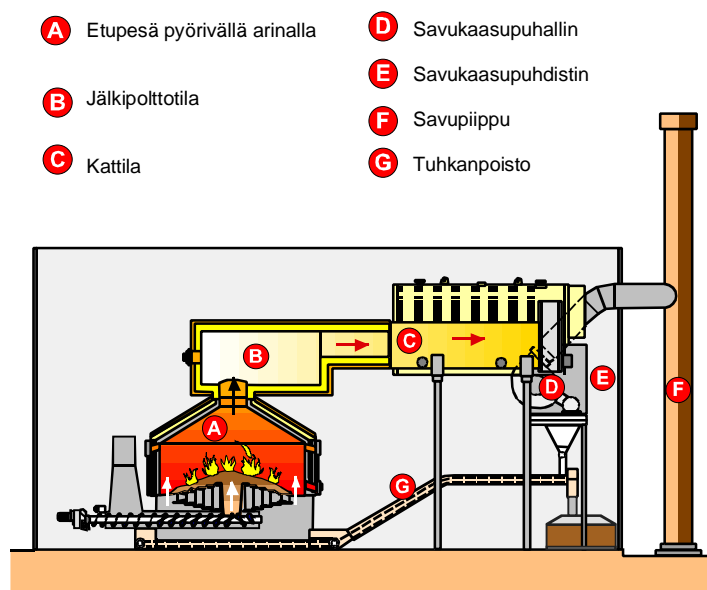
Polttoaineen syöttöjärjestelmän tehtävä on syöttää polttoaine koko arinan leveydeltä tasaisena kerroksena. Tämä on erittäin tärkeää, koska polttoaineen sekoittuvuus arinalla erityisesti leveyssuunnassa on huonoa, vaikka arina olisi mekaaninen eli arinaraudat liikkuvat. Mikäli polttoaine ei leviä tasaisesti, seuraa primääri-ilman hallitsematonta karkaamista sieltä, missä arinan ja polttoainekerroksen vastus on pieni. Suuremmissa arinoissa syöttö tapahtuu arinan koko leveydeltä painovoiman avulla. Alasyöttöarinassa polttoaine syötetään ruuvilla arinan keskelle kaukaloon, josta polttoaine leviää eri puolille arinaa. Syöttöjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava siten, että syöttöaukon kautta ei pääse hallitsematonta ilmaa tulipesään, eikä toisaalta epästabiileissa tilanteissa ns. takatulta tulipesästä polttoaineen käsittelyjärjestelmään. Palamisilma syötetään tyypillisesti kahdessa vaiheessa, mutta joissain tapauksissa myös kolmesti. Primääri-ilma syötetään arinan alta ja sekundääri- ja mahdollisella tertiääri-ilmalla poltetaan polttoainekerroksesta haihtuneet palamiskelpoiset kaasut.

Arinoiden rakenne valitaan polttoaineen ja kattilan koon mukaan. Arinat voidaan jakaa seuraavasti:

- kiinteä tasoarina
- kiinteä viistoarina
- mekaaninen viistoarina
- ketjuarinat
- erikoisarinat, kuten jätteenpolttoarinat.

Perinteinen kiinteä arina on halpa ratkaisu, joka soveltuu lähinnä hyvälaatuisen hakkeen polttoon. Edullisen hintansa ansiosta kiinteitä arinoita käytetään etenkin pienimmissä kattiloissa. Kiinteiden arinoiden käytössä esiintyy usein häiriöitä polttoaineen valumisen ja arinoiden kuonaantumisen takia. Kiinteät arinat eivät sovellu turpeen polttoon eikä niitä voida kunnolla automatisoida. Arinat ovat usein edellä mainittujen tyyppien yhdistelmiä, esimerkiksi kiinteän ja mekaanisen arinan yhdistelmät.

Mekaanisissa arinoissa osa arinaraudoista on hydraulisesti liikuteltavissa edestakaisin. Liikkeellä saadaan aikaan polttoaineen sekoittumista ja hallittua siirtymistä vaiheesta toiseen. Liikkeen pituutta ja taajuutta voidaan säätää. Arinakulma voi olla tällöin selvästi loivempi kuin kiinteällä viistoarinalla, jolla eteenpäin siirtyminen tapahtuu painovoiman avulla. Uusin mekaanisen arinapolton ratkaisu on pyörivä kekoarina, jossa arinat on jaettu vyöhykkeisiin, joista esimerkiksi joka toinen pyörii (vrt. kuva 17). Tavoite on sama kuin mekaanisen edestakaisen liikkeen. Ratkaisua on sovellettu erittäin määrän puujätteen polttoon.



Kuva 17. Pyörivä kekoarina märille biopolttoaineille (Sermet).

Arinat eroavat toisistaan lisäksi arinamateriaalin jäähdytystavan osalta. Pienet arinat ovat useimmiten ilmajäähdytteisiä eli jäähdytys tapahtuu primääri-ilmalla. Suuret arinat ovat pääsääntöisesti vesijäähdytteisiä ja jäähdytys on integroitu kattilan vesikiertoon. Arina voidaan sijoittaa joko suoraan kattilan yhteyteen tai etupesään, joka helpottaa kosteiden polttoaineiden palamista. Arinapinnalta saatava lämpöteho vaihtelee polttoaineen ja arinatyypin mukaan 300–1 000 kW/m².

4.1.2 Leijukerros poltto

Leijutekniikan polttosovellukset kehittyivät kaupalliselle asteelle 1970-luvulla. Suomi on ollut leijutekniikan polttosovellusten kehittäjänä maailman johtavia maita. Leijupolttto voidaan toteuttaa joko leijukerroksessa (kerrosleiju) tai kiertoleijukerroksessa (kiertoleiju). Kerrosleijussa petihiukkaset pysyvät leijukerroksessa kun taas kiertoleijussa kiintoainehiukkaset kulkevat leijutuskaasun mukana pois leijutustilasta ja ne on jat-

kuvuustilan aikaansaamiseksi palautettava takaisin leijutustilaan. Petimateriaalin tehtävänä on tehostaa sekoittumista ja lämmönsiirtoa.

4.1.2.1 Kerrosleijupolttol

Kerrosleijutekniikkaa nimitetään usein myös kuplivaksi leijukerrokseksi. Kuplivassa leijupoltossa käytetyn leijutusmateriaalin keskikoko on luokkaa 1 mm. Kuplivassa leijussa voidaan biopolttoaineilla saavuttaa polttoainetehoksi reaktorin poikkipinta-alaa kohti enintään noin 3 MW/m². Polttoilmasta tuodaan tyypillisesti vain noin puolet leijutusarinan kautta. Loppuosa ilmasta tuodaan kerroksen yläpuoliseen jälkipalotilaan, missä sopivalla ilmavaiheistuksella voidaan vähentää NO_x-päästöjä.

Polttoaine syötetään pedin päälle mekaanisesti. Polttoainesilon alapuolinen kuljetin syöttää polttoaineen sulkusyöttimen kautta pudotusputkeen, josta se putoaa pedin päälle. Jotta polttoaine saadaan jakaantumaan tasaisesti koko pedin alueelle, syöttöputkia on tavallisesti yksi tai useampia kattilan tehon mukaan.

Pohjatuhka poistetaan leijupedistä päästämällä hiekkaa arinan aukosta. Poistettu hiekka voidaan seuloa, jotta siitä erottuu karkea kuona. Seulottu hiekka palautetaan tulipesään. Hienojakoinen tuhka jauhautuu leijupedissä ja poistuu tulipesästä savukaasujen mukana. Mikäli poltetaan vähätuhkaista polttoainetta, kattilaan on lisättävä petimateriaalia jauhautuneen määrään korvaamiseksi.

Leijupedin lämpötila on pidettävä niin alhaisena, ettei polttoaineen tuhka sula eikä edes pehmene, jolloin petimateriaali tuhkan vaikutuksesta sintrautuu. Pedin lämpötila pyritään pitämään noin 100 °C tuhkan pehmenemispisteen alapuolella. Kotimaisten polttoaineiden poltossa tämä tarkoittaa noin 900 °C:n petilämpötilaa. Pedin lämpötila voidaan alentaa esimerkiksi kierrättämällä savukaasua.

4.1.2.2 Kiertopetileijupolttol

Kiertopetileijuissa käytetään suurempia leijutusnopeuksia ja hienojakoisempaa petimateriaalia kuin leijupetikattiloissa. Kiertopedistä ei voi erottaa selvää pintaa, vaan pedin tiheys pienenee korkeuden funktiona osan hiekasta tempautuessa tulipesästä. Kaasuvirtauksen mukana poistuvat hiukkaset erottuvat syklonissa ja ne palautetaan tulipesään.

Polttoaine syötetään kiertopetikattilaan joko etuseinän kautta tai sekoittamalla syklonista palaavan hiekan joukkoon. Yleensä käytetään pelkästään jälkimmäistä tapaa. Hienojakoi-

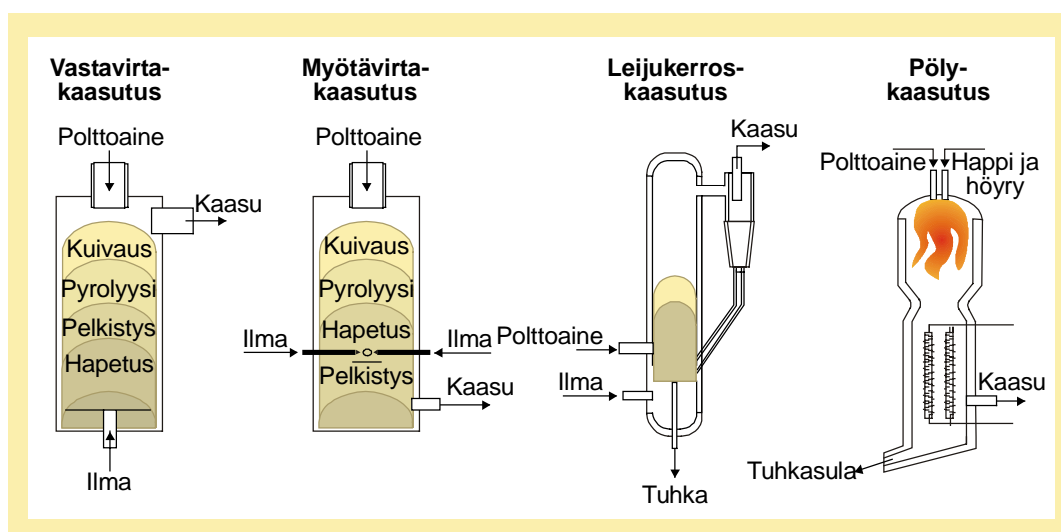
nen tuhka poistuu kattilasta savukaasujen mukana, kun se ei enää erotu palautusyklonissa savukaasuista. Savukaasujen mukana kulkeva tuhka erotetaan niistä normaaliin tapaan.

Palamisilma tuodaan kattilaan primääri- ja sekundääri-ilmana. Primääri-ilma eli leijutusilma tuodaan pohjasuuttimien kautta. Primääri-ilman osuus koko ilmamäärästä on polttoaineen mukaan 40–60 %, ja eräillä vähän haihtuvia aineita sisältävillä polttoaineilla primääri-ilman osuus voi olla jopa 75 %. Sekundääri-ilma johdetaan leijukerrokseen parille eri tasolle muutaman metrin leijutusarinan yläpuolelle.

4.1.3 Kaasutuspoltto

Pienessä kokoluokassa (kaasutin alle 15 MW_{th}) kilpailukykyisimmät kaasutusprosessit perustuvat kiinteäkerroskaasutukseen. Leijukerrostekniikkaan perustuvien kaasutusprosessien kilpailukyky on parhaimmillaan suuremmissa kokoluokissa: kuplapetikaasuttimen kokoluokassa 20–60 MW_{th} ja kiertopetikaasuttimen kokoluokassa yli 60 MW_{th}.

Eri kaasutustekniikoiden toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Kaasutusreaktorityypit ja niiden toimintaperiaatteet (Energia Suomessa 1999).

Kiinteäkerroskaasutuksessa erotetaan kaksi perustekniikkaa: vastavirta- ja myötävirtakaasutus. Myös näiden perusmenetelmien yhdistelmiä on kehitetty. Vastavirtakaasutusta on käytetty useissa kaupallisissa sovelluksissa. Suomessa parhaiten tunnettu on Bioneer-vastavirtakaasutin, joka on ollut kaupallisessa käytössä jo 1980-luvun alkupuolelta lähtien.

Vastavirtakaasuttimessa polttoaine syötetään reaktorin yläosaan ja kaasutusilma tai -happi alaosaan. Polttoaine valuu reaktorissa hitaasti kuivumis-, pyrolyysi-, kaasutus- ja polttovyöhykkeiden läpi. Tuhka poistetaan reaktorin pohjalta. Koska pyrolyysi- ja kuivumisvaiheissa vapautuvat haihtuvat aineet joutuvat suoraan reaktorista poistuvaan kaasuun, tälle kaasutusmenetelmälle on ominaista kaasun korkea hiilivety- ja tervapitoisuus ja kaasun matala lämpötila, noin 200–600 °C. Koska vastavirtakaasuttimen toiminta perustuu polttoaineen valumiseen alaspäin ja kaasujen virtaukseen polttoainekerroksen läpi, polttoaineeksi soveltuu vain suhteellisen tasalaatuinen palamainen polttoaine, jonka partikkelikoko on melko suuri, muutamia senttimetrejä.

Markkinoilla olevat pienimmät kaasutuspolttolaitokset toimivat vastavirtakaasutusperiaatteella. Polttoaine syötetään keraamisesti vuorattuun kuilu-uuniin kaasutiiviin sulkujärjestelmän lävitse. Kuilu-uuniin tuodaan alaspäin kaasutusilmaa, jota lisäksi kostutetaan vedellä. Kaasutusilmamäärä on noin 20 % kokonaispalamisilmamäärästä turvetta ja puupolttoaineita käytettäessä. Kaasutusreaktio tapahtuu polttoainekerroksissa siten, että kaasuvirtaa hitaasti ylöspäin generaattorissa, jonka yläpäästä se johdetaan lämpöeristetyllä putkella kaasukattilan polttimelle. Kaasutusreaktiossa ei ylitetä 1 000 °C:n lämpötilaa, joten tuhkan sulaminen ei tavallisesti aiheuta ongelmia. Tuhka poistetaan generaattorin pohjalla olevan liikkuvan tuhka-arinan sivuista. Tässä vyöhykkeessä lämpötila on alhainen, minkä ansiosta tuhka on hienorakeista ja kuivaa.

Kaasukattilana käytetään tavallista tulitorvi-tuliputkikattilaa, joka on varustettu tuotekausulle kehitetylle kaasupolttimelle. Polttimelle tulevassa kaasussa on tervamaisia aineksia, jotka on poltettava tulipesässä, jotta ne eivät likaa konvektio-osaa. Tämän vuoksi on tulitorven alkupäässä muurausta, jolla varmistetaan kaasuliekin varma syttyminen ja palaminen.

Kaasugeneraattorissa voidaan käyttää palaturvetta ja haketta. Polttoaineen kosteus ei saisi olla yli 50 %, koska tuotekaasun lämpöarvo muodostuu tällöin alhaiseksi.

4.1.4 Polttotapojen vertailua ja kehityskohteita

Leijukerros poltto

Leijupolton etuina voidaan pitää mahdollisuutta käyttää erilaisia polttoaineita, halpaa rikinpoistoa sekä vähäisiä typenoksidi- ja palamattomien päästöjä.

Kerrosleijukattilassa voidaan samassa tulipesässä polttaa useita polttoaineita, kuten teollisuusjätteitä (myös lietteitä) ja kosteita kotimaisia polttoaineita, jotka sisältävät runsaasti haihtuvia aineita ja syttyvät alhaisissa lämpötiloissa ja joiden jäännöskoksin palamisaika

on lyhyt. Kerrosleijussa hiilen poltto on vaikeampaa, koska hiilessä on vain 20–30 % haihtuvaa aineita ja jäljelle jäävä koksi vaatii alhaisessa lämpötilassa melko pitkän palamisajan täydellisen palamistuloksen saavuttamiseksi.

Kiertopetiteknikalla on mahdollista polttaa hyvällä hyötysuhteella myös huonolaatuista vähän haihtuvia komponenttejä sisältävää hiiltä. Kiertopetikattilassa savukaasujen mukaan tempautuvat palamatta jääneet partikkelit erottuvat savukaasuista syklonissa ja palautuvat takaisin tulipesään, jolloin saadaan aikaan riittävän pitkä palamisaika ja sen ansiosta hyvä palamishyötysuhde.

Lisäksi kiertopetiteknikan etuna ovat pienet NO_x -päästöt ja mahdollisuus edulliseen savukaasujen rikinpoistoon. Koska palamislämpötila on alhainen, jää NO_x :n muodostuminen vähäiseksi. Savukaasujen rikkipäästöjen vähentäminen on kiertopetileijussa yksinkertaista syöttämällä tulipesään kalkkia. Kalkki reagoi polttoaineessa olevan rikin kanssa muodostaen kipsiä. Se poistetaan kattilasta tuhkan mukana.

Leijukerrospoltoissa pääosa tuhkasta poistuu savukaasun mukana, joten tarvitaan tehokkaat savukaasun puhdistuslaitteet. Leijukerrospoltoissa savukaasujen mukana kulkevat hiukkaset erotetaan tavallisesti sähkösuotimessa.

Petimateriaalin suuri lämpökapasiteetti eliminoi tehokkaasti polttoaineen laadun normaalin vaihtelun aiheuttamat häiriöt. Tukipolttainetta ei normaalisti tarvita.

E erityisenä etuna esimerkiksi arinapoltoon verrattuna on se, että leijupolton tila on helposti havaittavissa yksinkertaisin mittauksin ja näin ollen palamisen hallinta ja pedin toiminta voidaan automatisoida helposti.

Leijupolton kehityskohteena ovat olleet erityisesti vaikeiden biopolttoaineiden ja jätejakeiden poltto, mikä on johtanut parempien rakennemateriaalien käyttöön korroosiolle ja kulumiselle herkissä osissa samoin kuin väljempien mitoitusten käyttöön herkästi tukkeentuvissa osissa. Arinarakenteita muutamalla on helpotettu epäpuhtauksien poistoa käytön aikana kattilasta. Lisäaineiden syötöllä on pienennetty päästöjä ja pidennetty pedin vaihtovälejä.

Kiertopetileijuissa on yksinkertaistettu rakennetta sijoittamalla syklonit kattilan sisäpuolelle. Vaikeita polttoaineita poltettaessa kuumimmat tulistinpinnot on sijoitettu syklonilta tulevaan palautusvirtaan tai kattilan alaosaan, jossa korroosiovaara on pieni. Kattilan muurauksien kestävyyttä on parannettu kunnossapitokustannusten laskemiseksi. Rikkipäästöjä voidaan vähentää alkalien lisäyksellä tulipesään, jolloin savukaasujen puhdistusta ei useinkaan tarvita. Samoin ammoniakkin tai urean lisäyksellä voidaan usein vähentää typen oksidien päästöt tasolle, ettei katalyyttistä puhdistusta tarvita.

Uuden sukupolven kiertoleijukattiloissa on tavoitteena nostaa sähkön tuotannon hyötysuhdetta merkittävästi nostamalla höyryn arvot ylikriittiselle alueelle ja käyttämällä lämpivirtausperiaatetta. Kattiloiden polttoainetehto voisi nousta lähelle 1000 MW:a, ja polttoainevalikoimassa voisi olla samanaikaisesti erilaisia biopolttoaineita ja hiililaatuja. Kattilatyypit olisivat vaihtoehtoja erillisille hiilipöly- ja biopolttoainekattiloille.

Arinapoltto

Arinapolttota käytetään yleisimmin teollisuuden puujätteen polttolaitoksissa, pienehköissä haketta, palaturvetta ja teollisuuden puujätettä käyttävissä kaukolämpölaitosten kattiloissa, sekä kiinteistökokoluokan kattiloissa.

Arinapolton etuina voidaan pitää seuraavia tekijöitä:

- pieni omakäyttöteho
- polttoaineen palakoko voi olla suurempi kuin muilla polttotavoilla
- savukaasun puhdistimena voidaan usein käyttää multisyklonia, koska valtaosa tuhka poistuu tuhka-arinan kautta
- yksinkertaisen rakenteen ansiosta helppokäyttöinen, pienissä kokoluokissa taloudellisin.

Arinapolton heikkouksia muihin polttotapoihin verrattuna ovat seuraavat seikat:

- tuhkahäviöt suuremmat kuin leijukerros poltossa
- polttoainetta on tulipesässä aina monessa palamisvyöhykkeessä, jolloin polttoaineen ominaisuuksien muutokset vaikuttavat palamisprosessiin helposti, vaikeammin hallittava
- kaasujen sekoittuminen on melko tehotonta, mikä johtuu toisaalta siitä, että polttoaineen sekoittuminen ja liike on rajallista ja toisaalta siitä, että arinapolton teho pinta-alaa kohden on pieni, mikä vaikeuttaa sekundääri-ilman sekoittamista ja suuntaamista
- soveltuu vain pienehköön kokoluokkaan, nykyisin alle 30 MW_{th}, arinarasitus kW/m² on huomattavasti pienempi kuin leijukerros poltossa, johtaa suuriin rakenteisiin
- arinapolton automaation toteutus on vaikeaa
- tehon säätö on melko hidasta.

Arinapoltoissa palamisilman tunkeutuvuus polttoainekerrokseen sekä pienten partikkelien karkaaminen polttoainekerroksesta palamattomana asettavat polttoaineen hiukkaskoolle alarajan. On myös mahdollista, että hienojakoinen polttoaine varisee arinan lävitse.

Kaasutuspoltto

Perinteiset kiinteäkerroskaasuttimet soveltuvat siis vain palamaisille polttoaineille, kuten puuhakkeelle tai palaturpeelle. Condens Oy ja VTT Energia ovat kehittäneet uudentyypisen Novel-kiinteäkerroskaasuttimen, joka soveltuu myös hienoainesta sisältäville keveille polttoaineille, kuten sahanpurulle, metsätähdemurskeelle ja kierrätyspolttoaineelle (REF). Novelkaasutin perustuu pakkotoimiseen polttoaineen syöttöön, vastavirtaperiaatteella toimivaan kaasuttimen alaosaan ja sen yläpuolisessa tilassa tapahtuvaan kaasun krakkaukseen.

Kaasutustekniikoita on tarkasteltu yksityiskohtaisesti kohdissa 4.2.1–4.2.3.

4.1.5 Biopolttoaineiden ja hiilen yhteispoltto

Biopolttoaineiden käyttö seospolttoaineena hiilikattiloissa on noussut useissa maissa kiinnostavaksi vaihtoehdoksi, koska

- Biopolttoaineiden käyttöönoton investoinnit olemassa olevissa hiilikattiloissa jäävät pieniksi uuteen biopolttoainekattilaan verrattuna
- Käytettävissä oleva biopolttoainemäärä on rajallinen ja erikseen käytettynä energian tuotannon hyötysuhde jää useimmiten pienemmäksi kuin suurella hiililaitoksella
- Biopolttoaineen saatavuudessa voi olla vaihteluita, ja yhteispoltolla voidaan vähentää biopolttoaineiden varastointitarvetta
- Yhteispoltossa voidaan polttoaineiden valinta tehdä kulloisenkin hintatason perusteella joustavammin kuin yhtä polttoainetta käytettäessä
- Hiilidioksidipäästöjen vähenemisen lisäksi rikki- ja typenoksidipäästöjä kattiloista voidaan vähentää.

Hiilen käyttömahdollisuus on suunniteltu useimpiin sekä kerros- että kierto-leijukattiloihin. Useimmissa kattiloissa hiilen syöttö tapahtuu muiden kiinteiden polttoaineiden tapaan.

Hiilen käyttöön on varauduttu myös monissa 90-luvulla rakennetuissa yhdyskuntien vastapainelaitoksissa, joiden leijukattiloiden pääpolttoaineena on turve. Niissä toteutunut hiilen käyttö on ollut hyvin pientä, koska turve on ollut hinnaltaan kilpailukykyistä ja koska ympäristömääräyksillä rajoitetut rikkipäästöt ovat saattaneet olla esteenä. Eräillä laitoksilla on mahdollisuus rikkipäästöjen rajoittamiseen kalkin lisäyksellä.

Biopolttoaineiden käytöstä hiilen pölypolttoon suunnitelluissa kattiloissa on Suomessa pisimmät kokemukset Lahden Lämpövoma Oy:n Kymijärven voimalaitoksen kattilasta, johon on yhdistetty biopolttoaineiden ilmanpaineessa toimiva leijukerroskaasutin, sekä Naantalista, jossa on tehty kokeita biomassan poltosta hiilipölykattilassa.

Muissa EU-maissa on toteutettu useita eri vaihtoehtoja, mutta niiden kaupallisesta käytöstä on vielä melko lyhytaikaisia käyttökokemuksia:

- hollantilaisista ja ruotsalaisista hiilipölykattiloista, johon on syötetty pölymäiseksi jauhettua puupölyä tai pellettejä,
- biomassakaasuttimien kytkennästä hiilikattiloihin Itävallassa
- biomassakaasuttimien käytöstä meesauunien yhteydessä öljyn korvaajana
- bio- ja hiilikattiloiden yhdistämisestä, joko höyry- tai savukaasupuolelta Tanskassa
- biopolttoaineiden käytöstä pölypolttokattiloiden nykyisillä tai uusilla arinoilla.

Hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi biopolttoaineiden ja hiilen yhteispoltossa on edellytyksenä, että seuraavat tekijät on huomioitu:

- biopolttoaineen palakoon on oltava tarpeeksi pieni, jotta kattilassa viipymäaika on tarpeeksi pitkä loppuunpalamiselle
- monissa hiilipölykattiloissa palamislämpötila on 1 000–1 250 °C, joten biopolttoaineet on valittava likaantumisen estämiseksi siten, ettei niiden tuhkan sulamispiste ole liian matala
- esimerkiksi oljella ja vihreillä kasvinosilla voi olla korkea klooripitoisuus, joka voi aiheuttaa korkealämpötilakorroosiota
- biopolttoaineen käyttöönotto muuttaa tuhkan ominaisuuksia, ja hiilen tuhkan hyötökäyttö voi estyä
- kattilan teho ja hyötysuhde voi laskea, mm. myllyjen ja puhaltimien kapasiteetin rajoitusten takia, kun otetaan käyttöön energiatiheydeltään pienempiä polttoaineita, kuten biomassoja.

Taulukkoon 8 on koottu seospolton eri toteuttamisvaihtoehtojen ominaisuuksia.

Taulukko 8. Yhteenveto seospolton eri toteuttamisvaihtoehtojen tyypillisistä ominaisuuksista.

	Seospoltto leijukattilassa	Seospoltto pölypoltokattilassa	Erillinen kaasutin
Max. biopa.määrä, % lämpötehosta	20–100	0–5 myllyn kautta 5–15 erillinen syöttö	10–30 %
Biopolttoaineen kosteus, %	< 55 %	< 40 %	< 50 %
Biopolttoaineen palakoko, mm	< 50	< 5–10	< 50
Sopivuus peltobiomassoille	Hyvä	Rajoituksia	Hyvä
Sopivuus jättepolttoaineille	Hyvä	Rajoituksia	Hyvä
Maksimi Cl-pitoisuus, %	< 0,1–1 %	Riippuu rikistä	Mahdollisuus poistaa suodatuksella
Vaikutus SO ₂ -päästöihin	Voi olla biopolttoaineiden määrää suurempi	Vastaa biopolttoaineiden määrää	Vastaa biopolttoaineiden määrää
Vaikutus NO _x -päästöihin	Alentaa	Ei suurta vaikutusta	Voi käyttää reburningiin
Tuhkan käsittely	Tuhkat sekoittuvat	Tuhkat sekoittuvat	Biotuhka erikseen
Vaikutus kattilan käytettävyyteen	Voi vaikuttaa negatiivisesti	Voi vaikuttaa negatiivisesti	Ei vaikutusta
Investointikustannukset	Pienet	100–400 mk/kW _{th}	1 000 mk/kW _{th}

4.2 Yhdistetty sähkön ja lämmön (CHP) tuotanto

4.2.1 Pienen kokoluokan CHP-tuotanto

Pienessä kokoluokassa (alle 15 MW_e sähköä) päävaihtoehdot sähköntuotantoon ja yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon biopolttoaineita käytettäessä ovat lähivuosina:

- Höyrykattila ja höyryn käyttö höyryturbiinissa tai -koneessa
- Kaasutuksen tuotekaasun poltto kaasukattilassa ja höyryn käyttö höyryturbiinissa
- Kaasutuksen tuotekaasun käyttö diesel- tai kaasumoottorissa ja kaasuturbiineissa
- Pyrolyysiöljyn käyttö dieselmoottorissa tai kaasuturbiinissa
- Stirling-moottori
- ORC-prosessi
- Kaatopaikkakaasun tai biokaasureaktorin kaasun käyttö kaasumoottorissa.

Polttokennoja koskeva tutkimus laajenemassa nopeasta, mutta ensimmäisessä vaiheessa käytettävänä polttoaineena on etenkin maakaasu. Biopolttoaineiden taloudellinen käyttö polttokennoissa vaatii vielä tutkimus- ja kehitystyötä.

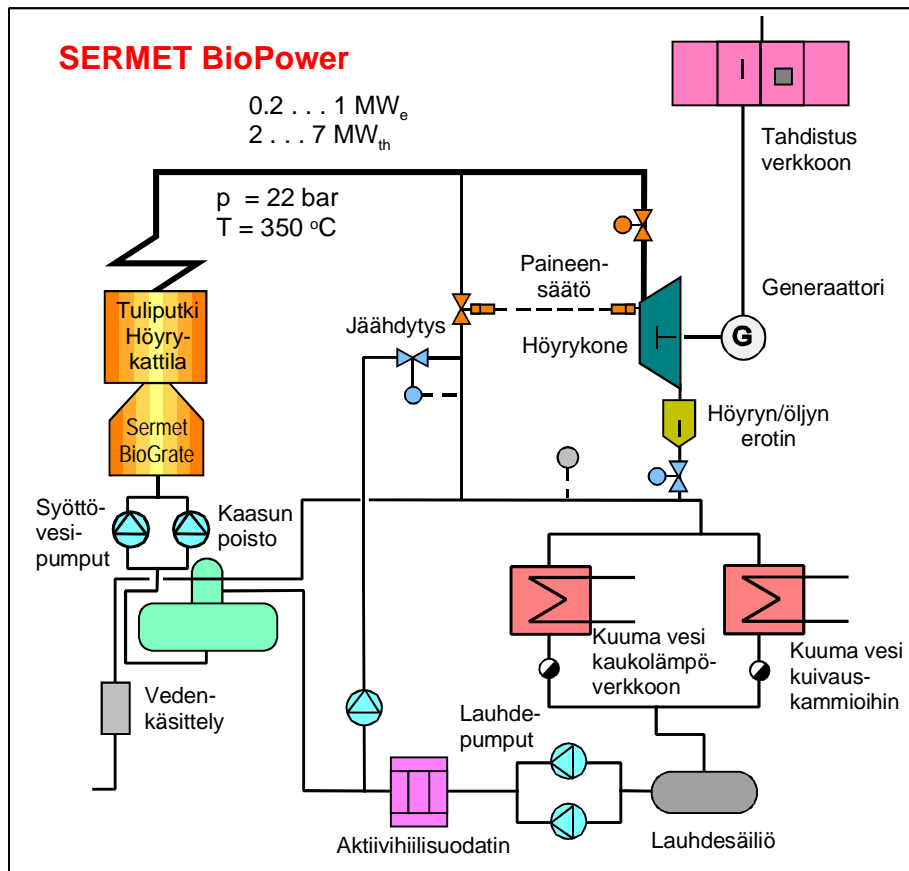
Edellä mainittujen prosessien yhdistelmiä sekä muitakin prosesseja, kuten puupölyn suoraa polttoa kaasuturbiineissa, tutkitaan muualla Euroopassa ja Yhdysvalloissa.

4.2.1.1 Höyryturbiini ja -kone

Suurimpaan osaan suomalaisista pienvoimalaitoksista kuuluu leijukerrostekniikkaan perustuva höyrykattila ja höyryturbiini. Tässä kokoluokassa sähkö- ja kaukolämpötehon suhde, rakennusaste, on tyypillisesti täydellä teholla 0,3–0,35. Osakuormalla rakennusaste laskee. Kattilavalinta mahdollistaa sekä turpeen, puun että myös muiden biomassojen käytön polttoaineena. Kymmenen viime vuoden aikana Suomeen noin 10 rakennetusta pienvoimalaitoksesta pienimpien sähköteho on ollut 5 MWe, ja tuorehöyryn paine on ollut tyypillisesti 50–60 bar.

Viime vuosina on rakennettu kaksi laitosta, joissa sähkön tuotanto on alle 1 MW. Näissä höyry tuotetaan arinakattilassa (kuva 19), ja sähköä tuotetaan höyrykoneella. Sähkön tuotannon rakennusaste jää melko vaatimattomaksi (alle 0,2), mutta ominaisinvestoinnit ovat edulliset (2 900 mk/kW_{th}).

Seuraavaan taulukkoon (taulukko 9) on koottu sekä arina- että leijukattilaan perustuvan pienen CHP-laitoksen energian tuotannon kustannukset valituilla lähtöarvoilla (Savolainen et al. 2001). Lähiajan kehityskohteena on ominaisinvestoinneiltaan entistä edullisempien konseptien kehittäminen teholuokkaan 1–5 MW_e sekä rakennusasteen nostaminen.



Kuva 19. Höyrykonekytkentä pienessä CHP-laitoksessa (Alakangas & Flyktman 2001).

Taulukko 9. Kustannusesimerkkejä pienistä CHP-laitoksista.

Laitoksen teho, sähkö/lämpö, MW	1/7	3/9.5
Kokonaishyötysuhde	86 %	84 %
Kattilatyyppi	Arina	Leijukerros
Sovelluskohde	Mekaaninen metsäteollisuus	Kaukolämmitys
Huipun käyttöaika	6 500 tuntia/v	5 000 tuntia/v
Käyttöikä, korko	25 vuotta, 5 %	25 vuotta, 5 %
Investointikustannus, Mmk	23	39
Polttoaineen hinta, mk/MWh	30	45
Tuotetun lämmön arvo, mk/MWh	60	90
Tuotetun sähkön kustannus, mk/MWh	105	107

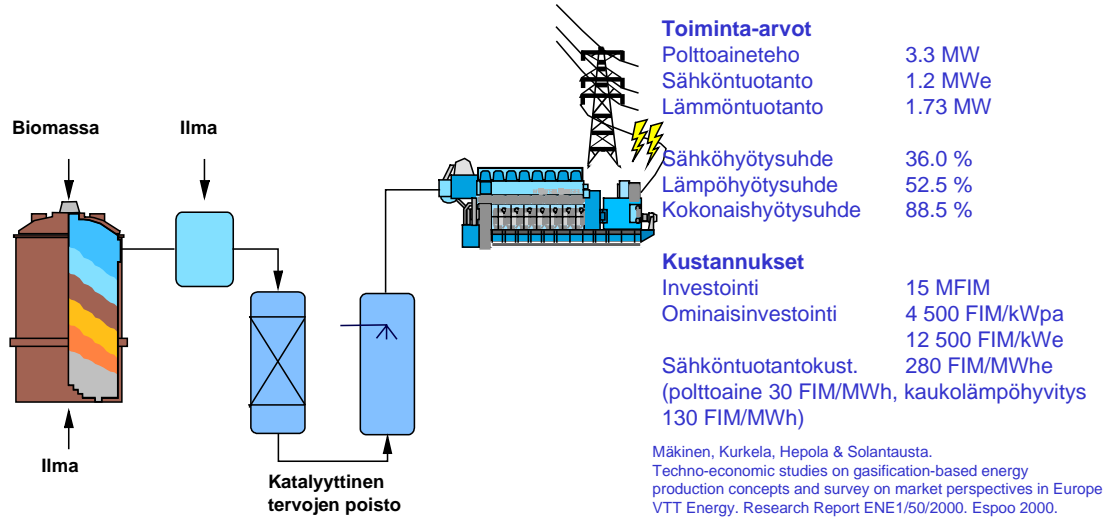
4.2.1.2 Kaasutukseen perustuvat prosessit

Pienessä kokoluokassa (alle 15 MW_e) kaasutusta voidaan hyödyntää yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa kahdella päätavalla. Kaasutin voidaan joko kytkeä höyrykattilaan, jonka yhteydessä on pieni höyryturbiini tai -kone, tai kaasutuksen tuotekaasu voidaan puhdistuksen jälkeen käyttää polttomoottorissa.

Perinteiset kiinteäkerroskaasuttimet soveltuvat siis vain palamaisille polttoaineille, kuten puuhakkeelle tai palaturpeelle. Condens Oy ja VTT Energia ovat kehittäneet uudentyyppisen Novel-kiinteäkerroskaasuttimen, joka soveltuu myös hienoainesta sisältäville keveille polttoaineille, kuten sahanpurulle, metsätähdemurskeelle ja kierrätyspolttoaineelle (REF). Novelkaasutin perustuu pakkotoimiseen polttoaineen syöttöön, vastavirtaperiaatteella toimivaan kaasuttimen alaosaan ja sen yläpuolisessa tilassa tapahtuvaan kaasun krakkaukseen. Novel-kaasuttimella tuotettu kaasu käsiteltynä nikkelikatalyyttiyksikössä, jossa tapahtuu tervojen ja ammoniakkin poisto, ja vesipesurissa soveltuu moottorikäyttöön. Prosessin kehitystyö on toteutettu VTT Energian ja Condens Oy:n VTT:n tiloissa Otaniemessä sijaitsevalla 400 kW:n pilottilaitoksella. (Kurkela et al. 2000). Tekniikka on valmis demonstraatiolaitoksen rakentamiseen 2–10 MW_{th}:n kokoluokassa.

Kuvassa 20 on esitetty Novel-kiinteäkerroskaasutukseen ja kaasumoottoriin perustuvan pienvoimalaitoksen yksinkertaistettu virtauskaavio sekä arvioidut voimalaitoksen toiminta-arvot, investointi- ja sähköntuotantokustannukset. Laitoksessa voidaan saavuttaa suuruusluokaltaan 35 %:n sähköntuotannon hyötysuhde, joka selvästi korkeampi höyrykattila ja -turbiinia käytettäessä (Mäkinen et al. 2000). Laitos on kilpailukykyisimmillään silloin, kun lämmön tarve on laitoksen kokoa rajoittava tekijä tai kun tuotetun sähkön arvo on merkittävästi tuotetun lämmön arvoa suurempi.

Kiinteäkerroskaasutukseen ja kaasumoottoriin perustuva pienvoimalaitos



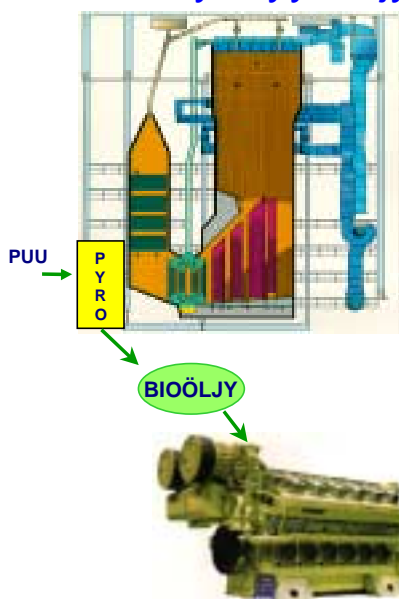
Kuva 20. Kiinteäkerroskaasutukseen ja kaasumoottoriin perustuva pienvoimalaitos.

Entimos Oy on toimittanut Tervolan kuntaan lämpöteholtaan 2 MW:n kaasuttimen, jonka polttoaineiksi on suunniteltu sahojen puutähteet ja metsähake. Yhdistettyyn vasta- ja myötävirtakaasuttimeen on kytketty kaasumoottori, johon kaasugeneraattorissa tuotettu puhtaampi kaasu johdetaan. Laadultaan huonompi kaasu poltetaan kattilassa. Sähkön tuotannosta on vielä vähän käyttökokemuksia. (FINBIO 2001).

4.2.1.3 Pyrolyysiöljyn käyttöön perustuvat prosessit

Ensisijaisena pyrolyysiöljyn CHP-sovelluksena on sen käyttö dieselmoottoreissa (kuva 21), mutta lisäksi on käynnissä pyrolyysiöljyä käyttävien kaasuturbiinien kehitystyö (kuva 22). Ensimmäisten demonstraatiolaitosten arvioidaan käynnistyvän Euroopassa lähivuosina.

Pyrolyysiöljydieselvoimalaitos



Toiminta-arvot

Diesel	
Sähköntuotanto	0,1–15 MWe
Rakennusaste	0,9
Sähköhyötysuhde	36–44 % (öljystä) 37 % (puusta)

Kustannukset

Ominaisinvestointi	2 400 FIM/kWpa 6 500 FIM/kWe
Sähköntuotantokust. (polttoaine 45 FIM/MWh)	180 FIM/MWhe

Kuva 21. Pyrolyysiöljyä käyttävän dieselvoimalaitoksen kehitystyön tavoitteena olevat toiminta-arvot ja kustannukset, kun pyrolyysiöljyn tuotanto on vastapainelaitoksen yhteydessä.

Pyrolyysiöljyturbiinivoimalaitos

Toiminta-arvot

Turbiini	
Sähköntuotanto	0,1–5 MWe
Rakennusaste	0,4–0,7
Sähköhyötysuhde	26–32 % (öljystä) 22–30 % (puusta)

Kustannukset

Ominaisinvestointi	1 200 FIM/kWpa 4 500 FIM/kWe
Sähköntuotantokust. (polttoaine 45 FIM/MWh)	180–280 FIM/MWhe

Kuva 22. Pyrolyysiöljyä käyttävä mikroturbiinivoimalaitos.

4.2.1.4 ORC- ja Stirling -prosessit

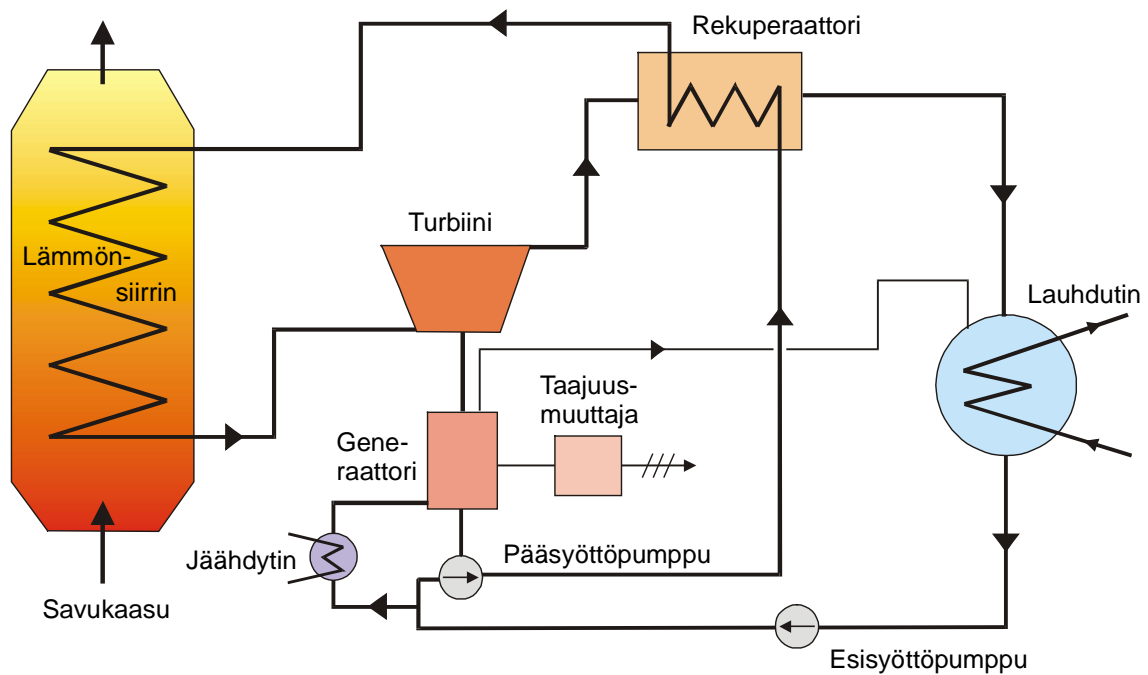
ORC-prosessi perustuu höyryvoimalaitosprosessiin, jossa veden sijasta käytetään orgaanista väliainetta (esimerkiksi tolueenia), mikä mahdollistaa matalalämpöisten lämmönlähteiden hyödyntämisen. ORC-prosessin periaatekaavio esitetään kuvassa 23.

Höyrystin sijoitetaan tulipesän jälkeiseen savukaasukonvektioon. On myös mahdollista, että höyrystin sijoitetaan tavanomaisen vesikonvektion rinnalle, jolloin kaukolämmön tuotanto ei ole riippuvainen ORC-prosessista. Prosessi ei ole sidottu mihinkään tiettyyn polttotekniikkaan, vaan se voidaan asentaa mm. arina- ja leijukattilaan tai kaasutuslaitokseen sekä dieselmoottorivoimalaan.

Varsinainen sähköntuotantoyksikkö voidaan sijoittaa erilliseksi ORC-kontiksi lämpökeskuksen ulkopuolelle. Kontti sisältää suurnopeusgeneraattorit, lauhduttimen ja sähkönmuuntoon normaalitajuisiksi tarvittavan tehoelektroniikan. ORC-energiamuunnin toimii vastapainekylläytettynä siten, että tolueenikierron lauhdelämpö siirretään kaukolämpöveeten. Suurnopeusturbogeneraattori on optimoitu Suomessa kehitetyssä konseptissa teholle 175 kW, jolloin saavutetaan ominaiskustannusminimi sarjavalmistuksessa. Halutun kokoinen energiamuunnin rakennetaan kytkemällä rinnan optimikokoisia generaattoreja.

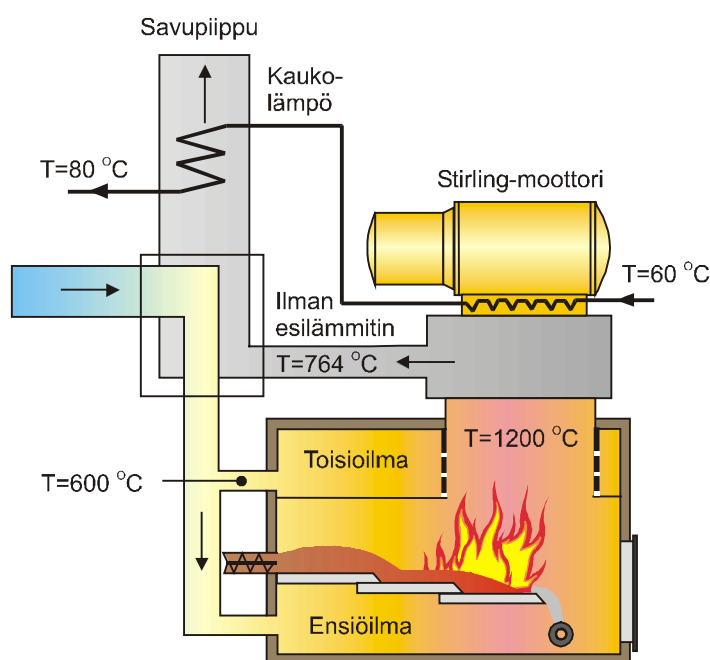
ORC-tekniikalla saatava sähköteho kaukolämpökytkennällä on 15–18 % kattilan tuotamasta lämpötehosta. ORC-energiamuuntimen kokonaishinta on luokkaa 8 500 mk/kW_e. ORC-prosessin kokonaistoimittaja on hollantilainen Triogen BV, joka soveltaa Suomessa kehitettyä suurnopeustekniikkaa CHP-käyttöön. Todennäköisesti merkittävä osa komponenteista valmistettaisiin Suomessa, kun laitetoimitukset ovat Suomeen. Tekniikka on valmiina demonstrointiin Suomessa CHP-laitoksissa.

Esimerkkitapauksessa on arvioitu sähkön tuotantokustannukset kaksi generaattoria sisältävästä yksiköstä, jonka teho on yhteensä 325 kW. Investointikustannukset ovat 2,7 milj. mk ja polttoaineen hinta 30 mk/MWh. Sahan yhteydessä toimiessa huipun käyttöajaksi saadaan 7 250 tuntia. Sähkön tuotantokustannus on 164 mk/MWh, kun pääomakulut on laskettu käyttäen 15 vuoden laskenta-aikaa ja 6 %:n korkoa. (Kaukonen 2001)



Kuva 23. ORC-prosessin kaavio (Alakangas & Flyktman 2001).

Stirling-moottorin käyttövoimana on yli 1 000 °C:n kuuma ilma, joka lämmitetään lämmönsiirtimen avulla biopolttoaineilla (kuva 24). Rakennusasteeksi saadaan kaukolämpöä tuottaessa noin 0,3–0,4. Konseptia on tutkittu Suomessakin, mutta pääosa kehitystyöstä on tehty muualla. Alustavat tanskalaiset kustannustiedot Stirling-moottoriin perustuvasta CHP-laitoksista osoittavat, että investoinnit ovat vielä toistaiseksi erittäin korkeat (Bioenergy 2001). Stirling-moottorin etuja ovat pitkät huoltovälit ja äänettömyys.



Kuva 24. Stirling-kone CHP-käytössä (Alakangas & Flyktman 2001).

4.2.2 Fossiilisten polttoaineiden korvaus biomassan/REF:n kaasutuksella

Kun halutaan syöttää biomassaa tai kierrätyspolttoaineita hiilipölykattilaan, maakaasukattilaan tai -turbiiniin, yhtenä vaihtoehtona on kierrätyspolttoaineen kaasuttaminen. REF:n kaasutuksen tuotekaasu voidaan puhdistaa epäpuhtauksista ennen kaasun syöttöä kattilaan, jolloin pääkattilan käytettävyys ei huonone. Tällainen ratkaisu soveltuu myös kiinteän polttoaineen leijukerroskattiloiden yhteyteen etenkin silloin, kun halutaan varmistaa pääkattilan häiriötön käyttö. Toinen vaihtoehto kierrätyspolttoaineiden epäsuoraan rinnakkaispolttoon on kierrätyspolttoaineen polttaminen erillisessä kattilassa, jonka höyrypiiri on kytketty pääkattilan höyrypiiriin. Erillinen REF-kattila olisi vaativien polttoaineiden ominaisuudet huomioon ottaen suunniteltu jätteenpolttokattila. 100 %:n REF-kattila on kuitenkin kilpailukykyisin uusinvestointina.

Kaasuttimen polttoainetehosta riippuen kaasutin perustuu joko kiinteäkerros-, kiertoleiju- tai kerrosleijutekniikkaan. Kiertoleijukaasuttimen kapasiteetti on tyypillisesti välillä 40–100 MW_{pa} ja kerrosleijukaasuttimen 15–40 MW_{pa}. Kiinteäkerroskaasutustekniikkaa on mahdollista käyttää pienemmissä kokoluokissa (alle 15 MW_{pa}).

Kiinteäkerroskaasutuksessa erotetaan kaksi perustekniikkaa: vastavirta- ja myötävirta-kaasutus. Myös näiden perusmenetelmien yhdistelmiä on kehitetty. Vastavirtakaasutusta on käytetty useissa kaupallisissa sovelluksissa. Suomessa parhaiten tunnettu on Bio-neer-vastavirtakaasutin, joka on ollut kaupallisessa käytössä jo 1980-luvun alkupuolelta

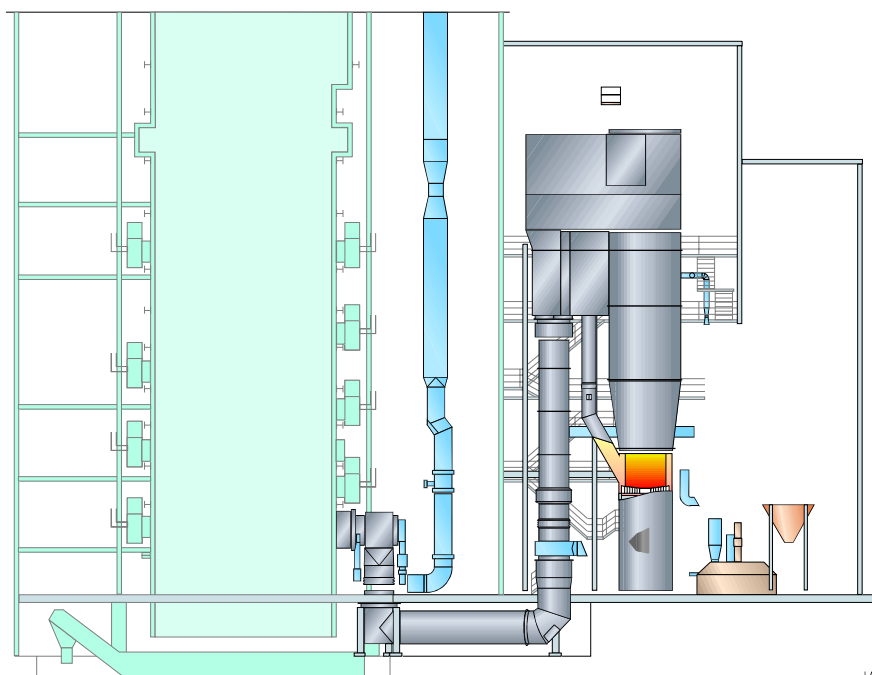
lähtien. Kiinteäkerroskaasutusta on kehitetty edelleen myös hienoainesta sisältäville polttoaineille.

Leijukerroskaasutuksessa kiinteän polttoaineen kaasuuntuminen tapahtuu kuumassa ilman leijuttamassa hiekka/tuhka/hiilikerroksessa, jossa polttoaine lämpenee ja pyrolysoituu nopeasti. Leijukaasuttimia on kahta päätyyppiä: kerrosleiju (BFB)- ja kiertoleiju (CFB)-kaasutin. Toistaiseksi menestyksekkäin CFB-kaasuttimien toimittaja on ollut Suomessa toimiva Foster Wheeler Energia Oy, joka on toimittanut mm. Lahden Lämpövoima Oy:n Kymijärven voimalaitoksen 50 MW:n kaasuttimen. Foster Wheeler Energia Oy on panostanut lähinnä CFB-kaasutustekniikan kehittämiseen, mutta on lisäksi toimittanut Corenso Oy:lle muovirejektin kaasutukseen BFB-kaasuttimen (40 MW_{th}).

Carbona Oy:llä on oikeudet 1970–1980-luvuilla USA:ssa kehitettyyn U-GAS-leijukerroskaasutusprosessiin (BFB). Carbonan edeltäjä Enviropower teki 1990-luvulla laajoja koesarjoja eri polttoaineilla, mm. puupolttoaineilla, Tampereella sijaitsevassa 18 MW:n pilottilaitoksessa. Vapo Oy ja Pohjolan Voima Oy (PVO) kehittävät yhdessä VTT Energian kanssa leijukerroskaasutukseen ja kaasun suodatukseen perustuvaa prosessia kierätyspolttoaineiden energiakäyttöön (Biotech-uutisia 2000).

REF:n rinnakkaispoltossa kaasutusratkaisuissa on olennaista kaasun puhdistaminen kaikesta kiintoaineesta ja epäpuhtauksista, jotta kierrätyspolttoaineiden käyttö ei aiheuttaisi mitään teknisiä riskejä kaasun käyttökohteina olevissa pääkattiloissa. Esimerkiksi REF:n kaasutuksen lentotuhka saadaan pohjatuhkan lisäksi erilleen pääkattiloiden tuhka-kaasuttimen jälkeisellä hiukkaserottimella.

Kun polttoaineena on biomassa tai REF:n klooripitoisuus on pieni (< 0,1 massa-%), kaasutuksen tuotekaasu voidaan polttaa suoraan kiinteän polttoaineen kattilassa. Esimerkkinä tällaisesta ratkaisusta on Lahden Lämpövoima Oy:n Kymijärven voimalaitoksen kaasutin (kuva 25) (Palonen et al. 1998). Ratkaisu on yksinkertainen ja halpa (polttoaineteholtaan 50 MW olevan laitoksen investointikustannukset olivat noin 65 Mmk). Kaasutuskaasun polttimet sijaitsevat hiilipolttimien alapuolella, joten kaasutuskaasun polton savukaasut kulkevat kuumien hiililiikkien läpi. Koska kaasutuskaasun lämpöarvolle ei ole tiukkoja vaatimuksia, polttoaine voi olla kosteaa (kosteus 20–70 %). Ratkaisua ei suositella polttoaineille, jotka sisältävät runsaasti alkaleja, klooria tai alumiinia (pitoisuudet yli 0,15 massa-%). Kuumien, kondensoituvien yhdisteitä sisältävän kaasutuskaasun siirto ja jakelu on hankalaa, joten kaasuttimen pitää olla kattilan välittömässä läheisyydessä (etäisyys alle 100 m).



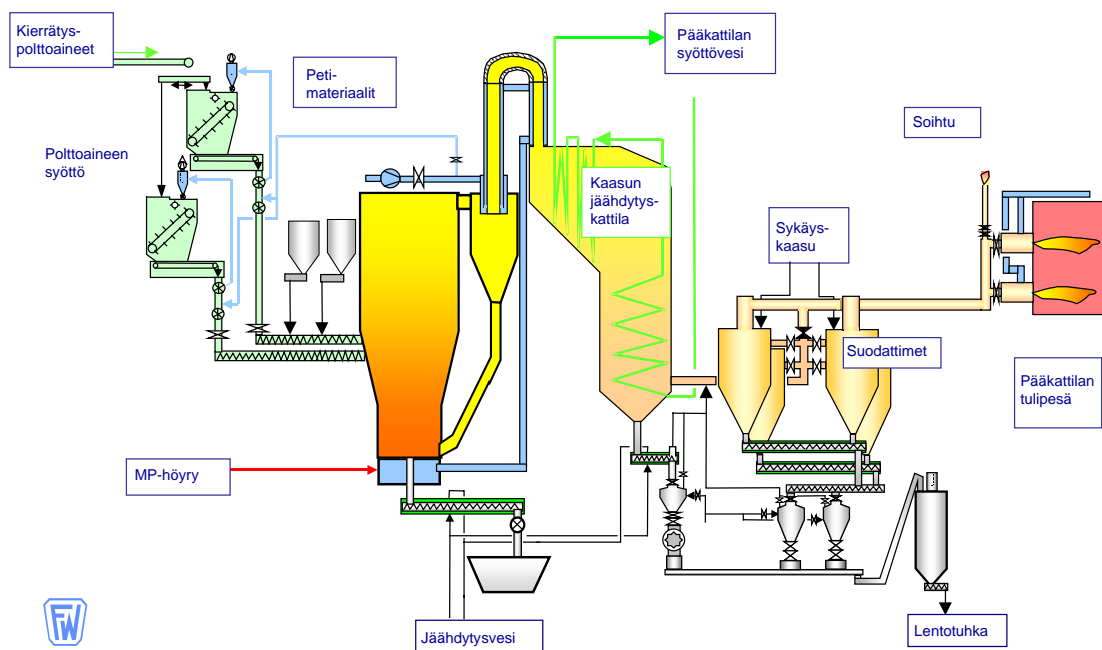
LAHDEN LÄMPÖVOIMA
KYMJÄRVI POWER PLANT
KYMJÄRVI, FINLAND

Kuva 25. Hiilipölykattilaan kytketty kaasutin Lahden Lämpövoima Oy:n Kymijärven voimalaitoksella (Foster Wheeler Energia Oy).

Kun REF:n klooripitoisuus on korkeampi (0,9–1,0 massa-%), tarvitaan kaasun puhdistus ennen kaasun polttoa kiinteän polttoaineen kattilassa. Kaasun jäähtymällä ja suodatuksella saadaan pöly poistetuksi täydellisesti, ja pääosa raskasmetalleista, alkaleista ja kloorista poistuu pölyn mukana. Tämän kaasutuskytkennän virtauskaavio on esitetty kuvassa 26. Kloorin ja raskasmetallien puhdistusta voidaan tehostaa kalkin ja aktiivihiihlen ruiskutuksella kaasuvirtaan ennen suodatusta, jolloin on mahdollista päästä yli 90 %:n erotusasteeseen. Vastaava puhdistustekniikka savukaasuille on yleisesti käytössä Euroopassa jätteenpolttolaitoksilla. VTT Energiassa on käynnissä useita tutkimus- ja kehityshankkeita liittyen REF III:n kaasutukseen ja kaasun puhdistukseen. Tekniikan voidaan arvioida olevan valmis demonstroitavaksi vuoden 2002 aikana.

Haluttaessa voidaan vielä lisätä kalliimpi vesipesuri, jossa poistetaan myös ammoniakki ja loput muista epäpuhtauksista. Esimerkkinä tällaisesta ratkaisusta on EPZ:n laitos Hollannissa. Kokemukset Lahden laitokselta tosin osoittavat, että ammoniakkin poisto kaasutuskaasusta ei ole välttämätöntä, vaan itse asiassa kaasutuskaasun käyttö on alentanut hiilikattilan NO_x-päästöjä. Vesipesun jälkeinen puhdas ja viileä (35 °C) kaasu on helppo kuljetettavissa ja voidaan polttaa kattilassa ilman riskejä. Lisäksi kaasu soveltuu kaasuturbiinikäyttöön. Toisaalta kaasunpuhdistus lisää investointikustannuksia. Lisäksi

polttoaineen on oltava melko kuivaa (kosteus alle 25 massa-%), jotta kaasun lämpöarvo on riittävän korkea palamiselle.



Kuva 26. Kierrätyspolttoaineen kaasutus ja kaasun puhdistus suodatuksella yhdistettynä olemassa olevaan kattilaan (Foster Wheeler Energia Oy).

Sellutehtaissa käytetään edelleen fossiilisia polttoaineita, polttoöljyä ja maakaasua, meesauunien polttoaineena, joka voitaisiin korvata biopolttoaineiden kaasutuksesta saatavalla tuotekaasulla. Suomalaisten laitetoimittajilla on pitkäaikaisia käyttökokemuksia toimittamistaan leijukerroskaasuttimista sekä Suomesta että ulkomailta. Kehityskohteena on entistä edullisempien biopolttoaineiden käyttö kaasuttimessa ja samalla tuotekaasun puhtauden varmistaminen, jotta materiaalikiertoon ei tulisi kaasutuskaasun mukana vieraita aineita.

4.2.3 Rakennusasteen nosto kaasutustekniikan avulla

Uusien voimalaitostekniikoiden kehittämisen yhtenä päätavoitteena on ollut rakennusasteen kohottaminen yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Näin samaa kaukolämpökuormaa tai teollisuuden höyryntarvetta kohti voidaan tuottaa enemmän edullista yhteistuotantosähköä.

Nykyaikaisten kaukolämpöä tuottavien suurten vastapainevoimalaitosten rakennusaste on noin 0,5 ja pienempien laitosten luokkaa 0,35. Kokonaishyötysuhde on noin 90 %. Teollisuuden vastapainevoimalaitosten rakennussuhteet ovat kaukolämpöä tuottavia laitoksia alemmat, koska teollisuusprosesseissa höyry tarvitaan yleensä korkeammassa lämpötilassa. Tyypilliset rakennusasteet ovat luokkaa 0,25–0,31. Kokonaishyötysuhde on samaa luokkaa kuin kaukolämpövoimaloissa. Vastapainevoimalaitokset voidaan toteuttaa varsin laajassa kokoluokassa. (Kurkela 2001).

Kiinteän polttoaineen paineistettuun polttoon perustuvalla ns. PFBC-prosessilla voidaan saavuttaa korkeampia rakennusasteita. PFBC-prosessissa kiinteä polttoaine poltetaan paineen alla toimivassa leijukerrosreaktorissa, johon palamisilma ahdetaan kompressorilla. Syntyvät savukaasut puhdistetaan hiukkasista ja alkalimetalleista ja johdetaan kaasuturbiiniin. Osa palamisesta vapautuvasta lämmöstä siirretään jo leijukattilassa höyrypiiriin. Myös kaasuturbiinin läpi menneet savukaasut johdetaan jätelämpökattilaan, jossa kehitetään höyryä. Nykyisin toiminnassa olevissa ns. ensimmäisen sukupolven PFBC-kombilaitoksissa kaasuturbiineille johdettavan savukaasun lämpötila on turbiini-siipien korroosion takia pidettävä alle 800–900°C:ssa. Yhteistuotannossa voidaan ensimmäisen sukupolven PFBC-laitoksissa päästä rakennusasteeseen 0,55–0,7 ja sähköhyötysuhteeseen 34–37 % (polttoaineena jyrshinturve).

Kehitteillä olevissa ns. toisen sukupolven PFBC-laitoksissa yhdistetään kiinteän polttoaineen paineistettu osittaiskaasutus ja paineistettu poltto (ns. topping cycle). Kiinteä polttoaine johdetaan aluksi kaasutusreaktoriin, jossa polttoaineesta vapautuvat lähinnä haihtuvista aineista syntyvät pyrolyysikaasut. Jäljelle jäävä hiiltojännös poltetaan sitten paineistetussa PFBC-kattilassa. PFBC-kattilassa tulevan savukaasun lämpötila nostetaan tasolta 800 - 900 °C kaasuturbiinin sallimalle tasolle, 1 200–1 300°C, polttamalla osittaiskaasutuksesta saatavaa tuotekaasua. Prosessin suurimpana etuna täydelliseen kaasutukseen perustuvaan ns. IGCC-tekniikkaan verrattuna on erityisesti käytettäessä kivihiiltä polttoaineena se, että osittaiskaasutus voidaan tehdä yksinkertaisesti ilmalla, kun taas kivihiilen täydellinen kaasutus vaatii happikaasutuksen ja siinä tarvittavan kalliin hapen valmistusyksikön. Tekniikan kaupallistuminen riippuu lähinnä kilpailukyvyistä uusien höyryvoimalaitosten ja IGCC-tekniikan kanssa.

Kaasutuskombivoimalaitoksessa, ns. IGCC-prosessissa, polttoaine kaasutetaan ja kaasu puhdistetaan ennen polttoa kaasuturbiinissa. Polttokaasun ja savukaasun tuntuva lämpö käytetään kehittämään höyryä, joka käytetään edelleen sähkön kehitykseen höyryprosessissa. IGCC-laitos voidaan toteuttaa hyvin monella erilaisella tavalla, jotka poikkeavat toisistaan mm. käytetyn kaasutusmenetelmän (happi/ilmakaasutus, pöly/kiinteäkerros/leijukerrosreaktori) ja kaasujen puhdistustekniikan perusteella. IGCC-tekniikkaa on kehitetty sekä lauhdevoimalaitoskokoluokkaan (yli 300 MW_e) että yhdis-

tettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon soveltuvaan keskisuureen voimalaitoskokoluokkaan (30–150 MW_e).

Biomassalle ja CHP-tuotantoon soveltuvassa kokoluokassa ei taloudellisista syistä voida soveltaa happikaasutusta eikä monimutkaista märkäpuhdistustekniikkaa. Erityisesti tähän kokoluokkaan soveltuvan ns. yksinkertaistetun kaasutuskombiprosessin (simplified IGCC) kehittämiseen panostettiin voimakkaasti myös Suomessa 1990-luvulla. Tässä prosessissa kiinteä polttoaine kaasutetaan paineistetussa leijukerroskaasuttimessa ilman avulla. Syntyvä tuotekaasu jäädytetään noin 500 °C:seen ja suodatetaan ennen johtamista kaasuturbiinin polttokammioon. Muulta osin prosessi on maakaasukombin kaltainen. Toistaiseksi tällä tekniikalla on toteutettu vain yksi koelaitos, jonka sähköteho on 6 MW ja kaukolämpöteho 9 MW. Laitos sijaitsee Etelä-Ruotsissa Värnamossa. Teknisesti prosessi on valmis myös suuren kokoluokan demonstrointiin. Puupolttoaineilla tämän prosessin (kokoluokka 40–100 MWe) rakennusaste on kaukolämmön tuotannossa 0,8 - 1,2, sähköhyötysuhde 40–45 % ja kokonaishyötysuhde 85–90%.

IGCC-tekniikan oletetaan kaupallistuvan ensin öljynjalostamoihin integroiduissa pohjaöljyn kaasutussovelluksissa ja sitten kivihiihikäyttöisissä lauhdevoimalaitoksissa. Kaupallistumisen aikataulu riippuu lähinnä taloudellisesta kilpailukyvyvystä verrattuna perinteisiin höyryvoimalaitoksiin ja maakaasukombeihin.

Pitkällä aikavälillä on mahdollista edelleen nostaa sähkön tuotannon hyötysuhdetta liittämällä kombivoimalaitoksen osaksi korkealämpötilapolttokennotekniikkaa. Noin 3–5 barin paineessa toimiviin polttokennoihin ja kaasuturbiineihin perustuvilla ns. hybridoimalaitoksilla voidaan päästä selvästi yli 50 %:n sähköhyötysuhteeseen (kokoluokka 1–20 MW_e).

4.2.4 Uudet tekniikat metsäteollisuuden CHP-tuotannossa

4.2.4.1 Konventionaalisen kemikaalikierron modernisointi

Sulfaattiselutehtaan kemikaalikierto voidaan jakaa neljään, toisiinsa hyvin kiinteässä yhteydessä olevaan osaan, jotka ovat mustalipeän haihdutus, mustalipeän poltto, kaustisointi ja meesan poltto. Kemikaalikierron tarkoituksena on rikkiyhdisteiden talteenotto natriumsulfidina, lopun natriumin talteenotto natriumhydroksidina, energian talteenotto polttamalla sellunkeiton yhteydessä puusta liuennut orgaaninen aines soodakattilassa sekä ympäristönsuojelu minimoimalla häviöt jätevesiin ja ilmakehään (Kiiskilä et al. 1993).

Sulfaattiselluprosessin kemikaalikierrossa ja sen laitteissa on tapahtunut merkittäviä kehitysaskelia viime vuosikymmeninä. Kehityksen taustalla ovat olleet mm. muutokset keittoprosessissa, kuten jatkettun keiton ja happidelignifioinnin käyttöönotto, ja kloorin käytön vähentyminen valkaisuissa. Nämä muutokset ovat vaikuttaneet erityisesti mustalipeän määrään ja koostumukseen (Kiiskilä et al. 1993, Vakkilainen 1997).

Vielä 1980-luvun puolivälissä mustalipeän kuiva-ainepitoisuus oli tyypillisesti 65 %, kun nykyisin päästään 80 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-ainepitoisuuden nosto tälle tasolle edellyttää yleensä loppukonsentraattoria ja väliottohöyryn käyttöä. Korkeammat kuiva-ainepitoisuudet edellyttävät tyypillisiä ruiskutuslämpötiloja korkeampia lämpötiloja, jotta mustalipeä säilyisi juoksevassa muodossa. Mustalipeän lämpökäsittelyllä ennen haihduttamoa voidaan vähentää väliottohöyryn tarvetta sekä pienentää varastointilämpötilaa. Kuiva-ainepitoisuuden nousu on lisännyt sekä soodakattilassa tuotetun höyryn määrää että höyryn kehityksen hyötysuhdetta (Vakkilainen 1997).

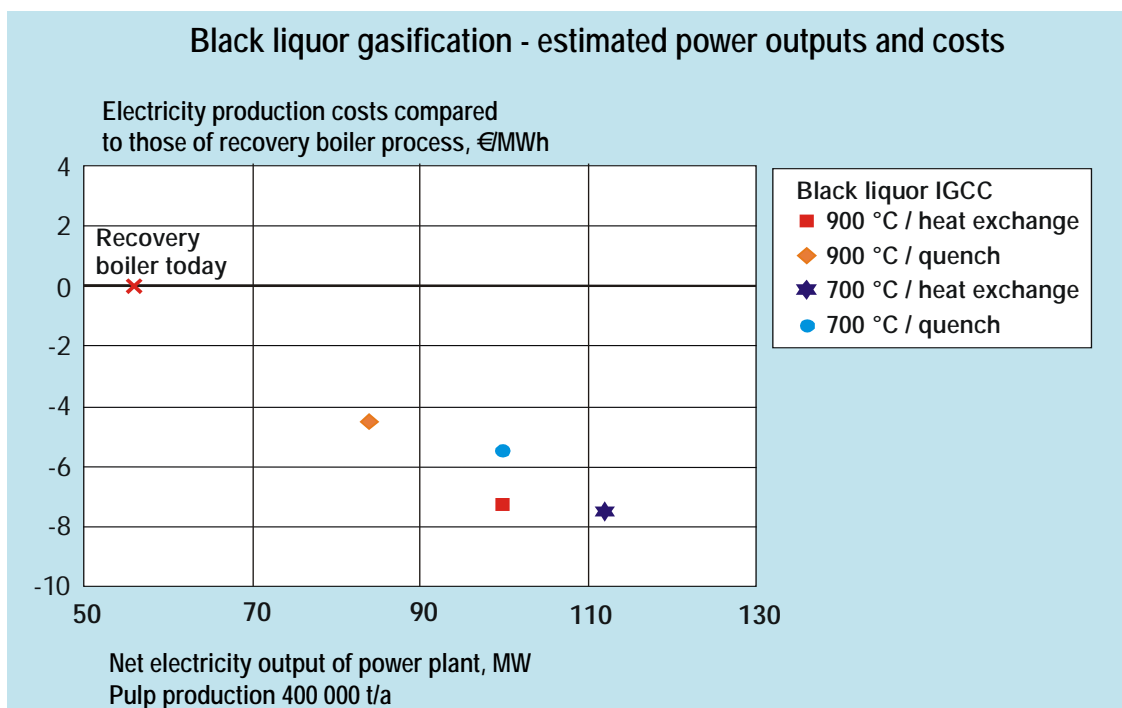
Soodakattilan koko on kasvanut tasaisesti. Soodakattilan kapasiteettia on voitu kasvattaa kuiva-ainepitoisuuden nousun, lipeän ruiskutuksen, paremman keonhallinnan ja yleisen automaation kehityksen myötä. Soodakattilan suunnittelukapasiteetti kasvaa lähivuosina nykyisestä 3 000 tka/d kapasiteettiin 4 000 tka/d (Vakkilainen 1997).

Sähkön tuotantoa on voitu lisätä myös nostamalla höyrynpainetta ja lämpötilaa. Tarve rajoittaa tulistimen ja tulipesän alaosan korroosiota on johtanut soodakattiloissa alhaisempiin höyrynpaineisiin ja lämpötiloihin kuin muissa kattiloissa tyypillisesti. Uusien tulistinmateriaalien ja kattilarakenteiden kehitys on kuitenkin mahdollistanut päähöyryn lämpötilan ja paineen nostamisen tasolle, joka voi lähivuosina olla uusissa kattiloissa 104 bar(a) ja 520 °C. Höyryn arvojen nostaminen ja syöttöveden esilämmityksen lisääminen nostaisi soodakattilan rakennusastetta nykyisestä noin 0,2:sta 0,3:een (Vakkilainen 1997, Energia Suomessa 1999).

4.2.4.2 Mustalipeän kaasutus

Sulfaattisellutehtaan soodakattilalle on jo 40 vuoden ajan kehitetty vaihtoehtoista prosessia, mustalipeän kaasutukseen perustuvaa IGCC-laitosta. Viime vuosina kehitystyö on ollut käynnissä lähinnä Ruotsissa ja Yhdysvalloissa. Suomessa tekniikan kehitykseen panostettiin erityisesti vuosina 1989–1992, jolloin mustalipeän kaasutusta tutkittiin muun muassa Äänekoskelle rakennetulla koelaitteistolla. Koelaitostoiminnan päätyttyä tutkimus on jatkunut pienimuotoisempana VTT Energiassa ja Åbo Akademiassa (Anon 1998).

Onnistuessaan mustalipeän kaasutus tarjoaisi perinteiselle soodakattilalle mielenkiintoisen vaihtoehdon, jolla olisi mahdollista nostaa sellutehtaiden energiantuotannon rakennusastetta (kuva 27). Nykyaikaisissa sellutehtaissa saadaan mustalipeästä ja kuoresta tuotettua lämpöä ylimäärin tehtaiden tarpeisiin nähden, mutta tehtaiden sähköntarvetta ei saada katettua omalla tuotannolla, erityisesti tietysti integroiduissa sellu- ja paperitehtaissa. VTT on arvioinut, että mustalipeän kaasutus-IGCC:llä voitaisiin saavuttaa rakennusaste 0,70, seuraavan sukupolven kuumakaasunpuhdistusta käyttävässä laitoksessa rakennusaste voisi olla jopa 0,83 (McKeough & Fogelholm 1991, Solantausta et al. 1994). Konventionaalisen soodakattilan rakennusaste on 0,26.



Kuva 27. Korvaamalla sellu- ja paperitehtaiden soodakattiloita mustalipeän kaasutuslaitoksilla odotetaan saavutettavan huomattavia sähköntuotannon lisäyksiä ja sähkön tuotantokustannusten alenemisiä (Energy Visions 2001).

Kaasutukseen perustuvan voimalaitoksen on arvioitu maksavan noin 30 % enemmän kuin perinteisen prosessin, mutta kaasutusvaihtoehdon sähköntuotantokustannukset jäävät alhaisemmiksi kuin soodakattilan (McKeough et al. 1995). Integroidulla sellu- ja paperitehtaalla soodakattilan korvaaminen IGCC-prosessilla johtaisi yleensä prosessilämmön vajaukseen, jolloin kaasutusprosessin kilpailukyky riippuisi myös puuttuvan lämmön tuottamisen edullisuudesta (Anon 1998). Toisaalta kaasutustekniikka voisi tarjota sellutehtaalle mahdollisuuden kemikaalikierron kapasiteetin kasvattamiseen ilman investointia uuteen kalliiseen soodakattilaan. Näissä sovelluksissa kaasuttimeen ohjattaisiin osa tehtaan mustalipeästä ja tuotettu kaasu poltettaisiin esim. voimakattilassa.

Kaasutukseen perustuva talteenotto-prosessi on myös joustavampi, sillä siinä natriumin ja rikin kierrot eivät ole sidoksissa toisiinsa samalla tavalla kuin perinteisessä prosessissa. Tämän asian merkitys kasvaa sitä mukaa kuin tehtaiden vesikiertoja suljetaan (Anon 1998).

Kehitteillä olevat mustalipeän kaasutusprosessit voidaan jakaa kahteen tyyppiin toimintalämpötilan mukaan. Toimintalämpötila määrää, missä olomuodossa suurin osa epäorgaanisista yhdisteistä poistuu reaktorista. Korkealämpötilakaasuttimet perustuvat pölykaasutukseen. Kaasutuslämpötila on 950 °C tai korkeampi, jolloin epäorgaaniset yhdisteet poistuvat reaktorista sulana. Tarvittavan lämmön tuottamiseen voidaan käyttää ilmaa tai happea. Matalalämpötilaprosessit perustuvat taas leijukerroskaasutukseen, ja kaasutuslämpötila on 700 °C tai pienempi, jolloin epäorgaaniset yhdisteet poistuvat kaasuttimesta kiinteinä. Kvaerner ja Noell kehittävät paineistettua korkelämpötilaprosessia. MTCI:llä on matalalämpötilaratkaisu, jossa mustalipeä lämmitetään epäsuorasti ilmanpaineisessa reaktorissa. ABB:n prosessi on hieman paineistettu (noin 5 bar) matalalämpötilaprosessi, joka perustuu ilmakaasutukseen. Muut prosessit ovat vielä kehitystyön alkuvaiheissa (Larson & Raymond 1997).

Kehitteillä olevista mustalipeän kaasutusprosesseista teknisesti pisimmällä on Kvaernerin Chemrec-prosessi. Ilmanpaineisen prosessin voidaan sanoa olevan demonstroitu, vaikka siinä onkin edelleen esim. joitakin hankalia materiaali-ongelmia. Paineistetun prosessin demonstrointi on käynnistymässä sekä Ruotsissa että Yhdysvalloissa. Chemrec-prosessin parempi tekninen varmuus verrattuna muihin kaasutusvaihtoehtoihin perustuu quench-jäähdytykseen. Chemrec-prosessiin perustuvan IGCC-prosessin sähkön-tuotanto on kuitenkin pienempi kuin muissa kehitteillä olevissa prosesseissa, mutta silti kaksi kertaa suurempi kuin soodakattilan sähköteho.

Kvaernerin Chemrec-kaasutin on ilmanpaineisena demonstroitu Weyerhaeuserin New Bernin tehtailla Pohjois-Carolinassa Yhdysvalloissa. Kaasuttimen kapasiteetti on noin 330 t ka/d (730 000 lb ka/d), noin 20 % tehtaan mustalipeämäärästä. Kaasutinlaitoksella on lisätty kemikaalikierron kapasiteettia, ja kaasutuksen tuotekaasu poltetaan voimakas-tilassa. Koelaitos käynnistyi joulukuussa 1996 (Erickson & Brown 1999). Pienempi, niinkään ilmanpaineinen koelaitos (75 t ka/d) on ollut käytössä Ruotsissa AssiDomänin Fröviforsin tehtailla vuodesta 1992 alkaen (Anon 1998). Toukokuussa 1997, Kvaerner ilmoitti ensimmäisen mustalipeän kaasutus-IGCC-laitoksen rakentamisesta AssiDomän Kraftlinerin Piteån tehtaalle Ruotsiin. Laitos perustuu paineistettuun happikaasutukseen. (Larson & Raymond 1997). Vastaava laitos on ollut suunnitteilla myös Championin (nykyisin International Paper) Courtlandin tehtaalle Alabamaan, Yhdysvaltoihin. Laitoksen kokoluokka olisi 550 t mustalipeää/d (McDonald 1999).

Georgia-Pacific Corp. on ilmoittanut rakentavansa Big Islandin tehtailleen Virginiaan, Yhdysvaltoihin mustalipeän kaasutuslaitoksen (Georgia-Pacific 2001, Anon 2000). Laitoksen tekniikaksi on valittu MTCI:n prosessi. Laitoksen kapasiteetiksi on ilmoitettu 200 t mustalipeää/d. Laitos käynnistyisi vuonna 2002.

4.3 Polttoaineen vaihdon mahdollisuus

Useissa suurkäyttökohteissa puupolttoaine ja turve ovat suurelta osin vaihtoehtoisia polttoaineita. Jos kiinteän polttoaineen kattilaa ei ole suunniteltu 100 %:n puupolttoaineen käyttöön, metsähakkeen käyttö ei yleensä ole mahdollista ainoana polttoaineena kattilan likaantumisen tai korroosioriskin takia. Turpeen sisältämä tuhka auttaa pitämään kattilan puhtaana ja rikki sitoo mm. puupolttoaineiden korroosioriskiä lisäävää klooria. Uusi kattila voidaan suunnitella 100 %:n metsähakkeen käyttöön, mutta usein tällöin valitaan matalammat höyrynarvot, jolloin sähkön tuotanto vähenee. Puupolttoaineen saatavuuden epävarmuus edellyttää turpeen käyttöä puun ohella useimmissa suurkäyttökohteissa.

Polttoaineiden väliseen kilpailukyvyyn tärkein tekijä on luonnollisesti polttoaineen hinta laitoksella, mutta käytetty polttoaine vaikuttaa myös muihin muuttuviin ja kiinteisiin käyttökustannuksiin.

Kun puupolttoainetta käytetään pienehköjä määriä, alle 5 % hiilipölykattiloissa ja alle 30 % turveleijukattiloissa, ei polttoaineiden välillä ole olennaisia eroja muuttuvissa tai kiinteissä käyttökustannuksissa. Suurempia määriä metsähaketta käytettäessä saattaa kattilan likaantuminen lisääntyä, jolloin nuohousten tarve lisääntyy.

Puun käytön lisäämisestä voi aiheutua muuttuvien ja kiinteiden käyttökustannusten lisäyksiä seuraavista syistä:

1. Omakäyttötehon nousu, hyötysuhteen ja maksimitehon pieneneminen
 - koston polttoaineen käyttö nostaa polttoaineen massavirtaa ja lisää savukaasujen määrää
2. Nuohoustarpeen lisääntyminen ja käytettävyyden pieneneminen
 - polttoaineen laadun vaihtelujen takia käsittelyjärjestelmien häiriöt
 - kattilan alasajot lämmönsiirtopintojen likaantumisen takia

3. Kuumakorrosio tulistinpinnoilla

- metsähakkeen ja muiden klooria sisältävien polttoaineiden aiheuttamat kerrostumat tulistinpinnoille.

Puupolttoaineen käyttö voi toisaalta vähentää kustannuksia tai päästöjä

1. Rikkipäästöjen väheneminen

- puupolttoaineiden alkalit sitovat rikkiä, jolloin alkalien käyttötarve vähenee

2. Typenoksidipäästöjen väheneminen:

- puupolttoaine voi vaikuttaa palamislämpötiloihin.

Taulukko 10. Eri polttoaineiden korvattavuus biopolttoaineilla.

Biopolttoaineilla korvattava polttoaine	Päästökerroin, gCO ₂ /MJ ja korvausosuus %	Korvausmahdollisuus (%) ja/tai tarvittavat investoinnit (mk/kW) tyypillisissä kokoluokissa
Turve	107 100 %	Leijukattiloissa 50–100 %
Kivihiili	95 98–95 %	Leijukattiloissa 50–100 % Hiilipölykattiloissa suoraan 5–10 % (50–100 mk/kW), kaasuttimen kautta 30 % (1 000 mk/kW)
Raskas polttoöljy	79 95–65 %	Uusi kattila (1 500 mk/kW) Kiinteät jalosteet etupesässä (500 mk/kW) Kaasutin (1 500 mk/kW) tai nestemäiset biopoltto-aineet
Kevyt polttoöljy	74 90–60 %	Uusi kattila (1 000 mk/kW) Kaasutin (1 500 mk/kW) tai nestemäinen biopoltto-aine

Biopolttoaineiden käytön kustannukset koostuvat seuraavista osista:

- polttoainekustannusten muutokset: hintaero, hyötysuhteen muutos (yleensä vain muutamia %-yksiköitä, paitsi jalosteissa, joissa valmistusprosessi voi kuluttaa jopa 30 % polttoaineiden energiasisällöstä, taulukossa 10 kuvattu korvausosuuden avulla)
- tarvittavat investoinnit: polttoaineen varastointi ja käsittely, energian tuotantotekniikka (0–1 500 mk/kW, joka 5 %:n korolla ja 15 vuoden takaisinmaksuajalla vastaa 0–40 mk/MWh)
- muuttuvien ja kiinteiden käyttökustannusten muutokset: savukaasujen puhdistus, käyttö- ja kunnossapitotyöt, tyypillisesti muutokset selvästi alle 5 mk/MWh.

Luvussa 3 esitetyssä perustapauksessa ei tarvita oleellisia investointeja, vaan biopoltto-
aineiden käyttöä voidaan lisätä nykyisissä laitoksissa. Maksimitapauksessa oletetaan
uuden kattilan hankintaan verrattuna pienehköjä investointeja.

5. Biopolttoaineiden pienkäyttö

5.1 Kiinteistöissä käytetty polttotekniikka

Käytettävät polttotekniikat ovat tyypillisesti arinapolttotekniikan sovelluksia. Tyypillisin ratkaisu pienillä tehoilla (alle 700 kW) on stokeripolttoon perustuva laitteisto. Lähes 1 MW:n tehoilla (> 700 kW) on käytetty myös mekaanista arinaa.

Kiinteistökokoluokassa polttoaineen laadulle asetetaan kovimmat vaatimukset, hakkeen kosteuden tulisi olla mieluiten noin 30 %, eikä se saisi ylittää 40 % a missään tapauksessa. Pienissä kattiloissa korostuu myös palakoon tasaisuus. Näillä tekijöillä on käytettävyyden lisäksi huomattava merkitys päästöjen pitämisessä alhaisina.

Kiinteistöjen lämmitykseen on noussut parin viime vuoden aikana uudeksi polttoainevaihtoehdoksi puupelletti, jolle ollaan kehittämässä sille parhaiten soveltuvaa polttotekniikkaa. Puuraaka-aineista on suunnitteilla valmistaa myös nestemäistä polttoainetta, pyrolyysiöljyä, jota voitaneen käyttää nykyisissä öljykattiloissa melko vähäisin muutoksin.

5.2 Biopolttoaineiden kilpailukyky

Biopolttoaineiden kilpailukykyä verrataan kiinteistökokoluokissa kevyeen öljyyn, kauko- ja aluelämpökokoluokissa raskaaseen öljyyn. Tarkastelussa ovat mukana teholuokat 20 kW, 50 kW, 100 kW, 200 kW, 500 kW ja 1 000 kW. Verrattavat polttoaineet ovat hake, puupelletti, pilke, pyrolyysiöljy ja kevyt polttoöljy. Taulukossa 11 esitetään teholuokittain ominaisinvestointikustannukset (mk/kW), luvuissa on mukana arvonlisävero. Investoinnit kuvaavat uuden lämpökeskuksen investointikustannuksia. Monessa tapauksessa kuitenkin voidaan hyödyntää olemassa olevia laitteistoja tai tiloja, jolloin joissain tapauksissa muutostyön kustannukset voivat olla esitettyjä pienemmät.

Taulukko 11. Kiinteistöjen lämpökeskusten ominaisinvestoinnit (mk/kW).

Teho	Puupelletti	Hake	Pilke	Pyroöljy	POK
20 kW	3 295	3 470	3 300		2 950
50 kW	2 942	2 942	2 422		1 904
100 kW	2 450	2 450		1 870	1 677
200 kW	1 805	1 805		1 399	1 164
500 kW	1369	1 509		956	786
1 000 kW	1 202	1 292		810	647

Taulukon 11 luvuissa suurimmat epävarmuudet ovat pyrolyysiöljykeskuksen investointikustannuksissa, koska käytännön kokemukset tarvittavista ratkaisuista puuttuvat. Käytännön ratkaisuisissa laitosten / lämpökeskusten hintavaihtelut ovat suuret, joten taulukon luvut ovat ainoastaan suuruusluokka-arvoja. Kiinteän polttoainekattiloiden investointikustannukset ovat kaikissa kokoluokissa suuremmat kuin vastaavantehoisen öljylaitoksen.

Tulevaisuudessa investointikustannusten nousupainetta aiheuttavat ennen kaikkea kiristyvät päästönormit. Pienemmissäkin kattiloissa on taattava, etteivät kattiloiden päästöt ylitä sallittuja päästöjä. Pienistä kattiloista ja tulisijoista on mitattava CO-päästöt ja niille on määritettävä hyötysuhde. Kattilat on testattava tulevaisuudessa CEN-normin mukaan, mitattavia suureita ovat tällöin CO-pitoisuus, hiilivetyypitoisuus sekä hyötysuhde. Tämä johtaa kattiloiden varustelutason nostoon mittauslaitteiden, säätölaitteiden ja valvontajärjestelmien osalta.

Kiinteistöjen lämmityskattiloissa käytettävien biopolttoaineiden laatuvaatimukset ovat tiukemmat kuin suuremmissa kattiloissa. Myös polttoainepuolella tulee tapahtumaan samansuuntainen kehitys eli kaupallisille polttoaineille ollaan kehittämässä laatuluokitusta. Näin ollen ostaja hankkiessaan polttoainetta saa sen laadusta riittävän tiedon. Uusien polttoaineiden ja polttolaitteiden käyttöönotto sisältää usein monia ratkaistavia ongelmia. Esimerkiksi puupellettien käytössä on vielä montaa tekijää, joita voidaan parantaa. Näitä ovat esimerkiksi pellettien laatu ja pellettien käsittelyjärjestelmät. Samoin kehitettävää on pellettien polttolaitteissa. Puupellettilämpökeskusten kustannusten voidaan olettaa alenevan laiteratkaisujen kehittymisen myötä. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi erilaiset konttiratkaisut eli pyritään tekemään mahdollisimman pitkälle standardiosiin. Nykyiset pellettilaitteistot soveltuvat pääosin myös hakkeelle. Kehittämällä

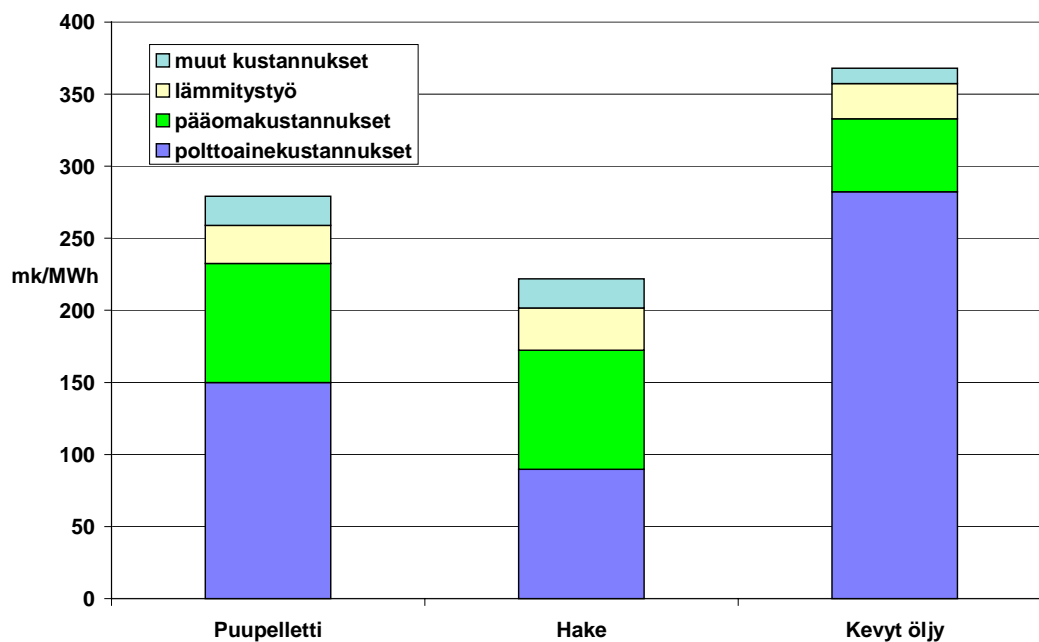
lämpökeskus siten, että se on suunniteltu puupelletille, voitaneen investointikustannuksia olennaisesti alentaa.

Taulukossa 12 on esitetty laskennassa käytetyt verolliset polttoaineiden hinnat kussakin kokoluokassa. Sähkön hinnaksi on arvioitu 310 mk/MWh + perusmaksu.

Taulukko 12. Käytetyt polttoaineiden hinnat (mk/MWh).

Teho	Puupelletti	Hake	Pilke	Pyroöljy	POK
20 kW	160	85	75		240
50 kW	160	75	60		240
100 kW	120	75		120	240
200 kW	120	70		120	240
500 kW	100	60		100	240
1 000 kW	100	60		100	240

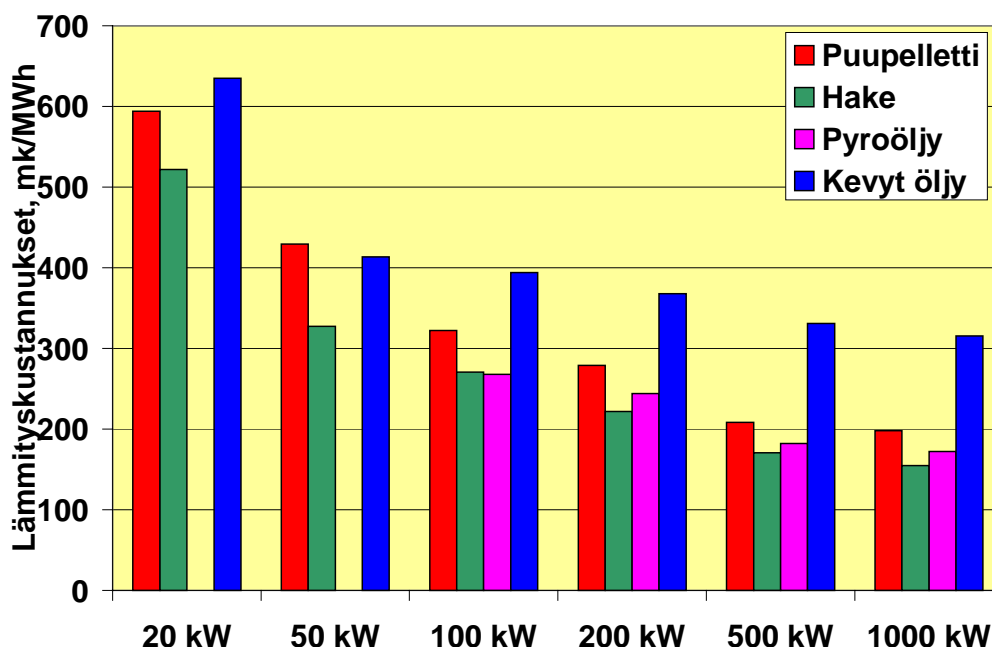
Kuvassa 28 esitetään puupelletillä, hakkeella ja kevyellä polttoöljyllä tuotetun lämmöntuotantokustannusten jakautuminen teholuokassa 200 kW.



Kuva 28. Esimerkki puupelletin, hakkeen ja kevyen polttoöljyn kustannusrakenteesta (teho 200 kW).

Kuvasta havaitaan eri lämmityspolttoaineiden kustannusrakenteiden selvä erot. Kevyellä öljyllä valtaosa kustannuksista aiheutuu polttoainekustannuksista, hakkeella vastaavasti pääoma- ja muut kustannukset muodostavat suurimman osan kustannuksista. Puupelletin kustannusrakenne vastaa suurin piirtein hakkeen kustannusrakennetta. Puupolttoaineella valvontakustannukset ovat merkittävästi vähentyneet, tätä kehitystä ovat auttaneet huomattavasti uudistuneet organisaatiot, lämpöyrittäjäyys ja lämpöpalvelujen ostaminen oman yrityksen ulkopuolelta. Tärkeimmäksi kehityskohteeksi voidaan osoittaa investointikustannusten alentaminen.

Kuvassa 29 esitetään biopolttoaineiden sekä kevyen öljyn käytön kustannukset kiinteistöjen lämmityksessä, kuvan laskelmat on tehty verollisin hinnoin. Kevyen polttoöljyn hinta oli 240 mk/MWh.

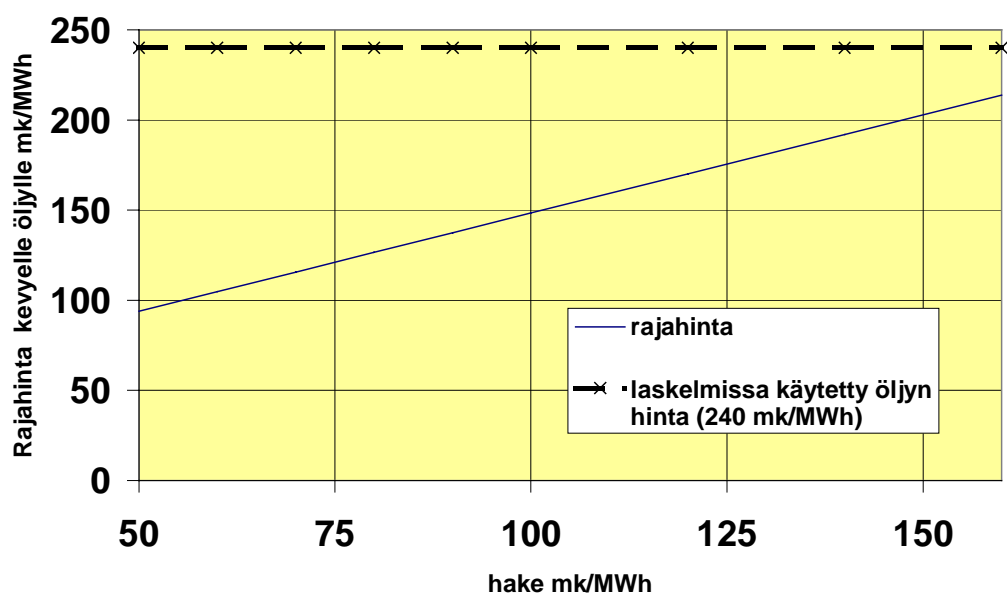


Kuva 29. Biopolttoaineiden kilpailukyky kiinteistöjen lämmityksessä, korko 6 % ja takaisinmaksuaika 15 vuotta.

Kuvan 29 mukaan biopolttoaineiden kilpailukyky on kaikissa kokoluokissa hyvä, ja hakkeen ja puupelletin kilpailukyky paranee teholuokan kasvaessa. Lämmityssektorilla korvattaessa biomassapohjaisilla polttoaineilla kevyttä polttoöljyä hiilidioksidipäästöjen vähentämiskustannus on usein negatiivinen. Tosin lämmityslaitteiden uusiutuminen tapahtuu myös kiinteistökokoluokassa melko hitaasti. Merkittävä vaikutus on myös tulevaisuuden öljyn hinnalla ja sen kehityksellä.

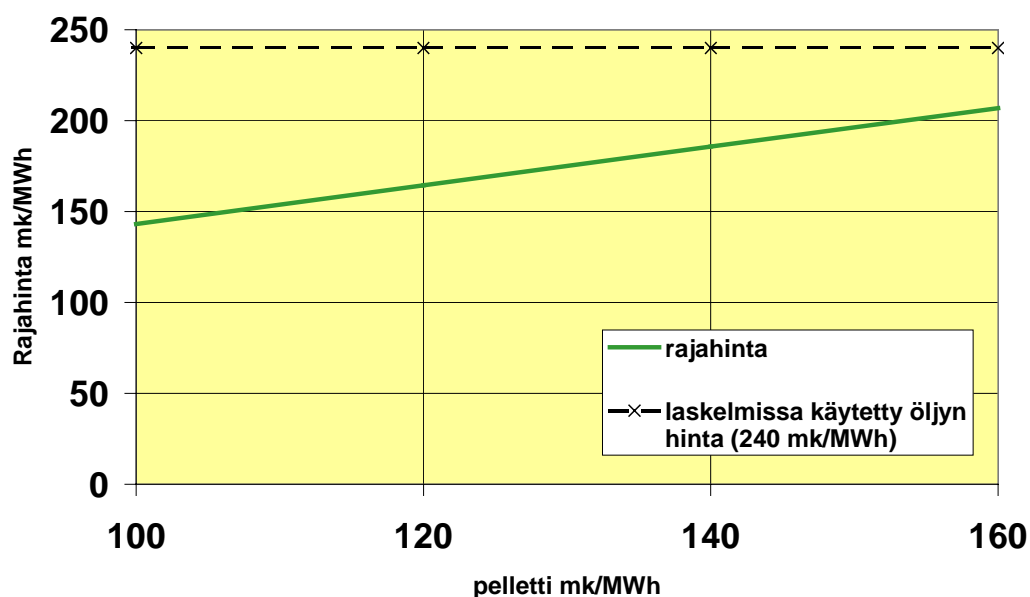
Kiinteistökokoluokan lämmitykseen on hakkeen ohella tulossa voimakkaasti puupelletit ja lähivuosina teknologian kehityksen myötä myös pyrolyysiöljy. Sekä puupelletit että pyrolyysiöljy antavat mahdollisuuden siirtyä käyttämään uusiutuvaa polttoainetta aikaisempaa laajemmin sellaisissa kohteissa, jotka ovat olleet biopolttoaineiden käytön kannalta hankalasti tavoitettavissa. Pyrolyysiöljyn potentiaali korvata kevyttä öljyä on huomattava, mikäli sitä voidaan käyttää pienin muutostöin samassa kattilassa kuin kevyttä öljyä.

Kuvassa 30 esitetään esimerkki hakkeen kilpailukyvästä kevyeen öljyyn verrattuna 200 kW:n kokoluokassa. Rajahinnalla tarkoitetaan hintaa, jonka kevytöljy saa maksaa hakkeeseen verrattuna, jotta lämmityskustannukset ovat yhtä suuret.



Kuva 30. Öljyn rajahinta verrattuna hakkeeseen, teho 200 kW.

Kuvan 30 mukaisella lämmityskustannusrakenteella hakkeen hintaa 75 mk/MWh vastaa kevyen öljyn hinta noin 125 mk/MWh. Kuvassa 31 esitetään vastaava rajahinta pellettiin verrattuna teholla 200 kW.



Kuva 31. Öljyn rajahinta verrattuna puupellettiin, teho 200 kW.

Esimerkiksi pelletin hinnalla 120 mk/MWh kevytöljy voi maksaa noin 170 mk /MWh. Käänteisesti voidaan kullekin biopolttoaineelle laskea kilpailukykyinen hinta kevyeen polttoöljyyn verrattuna. Taulukossa 13 esitetään hakkeen ja puupelletin kilpailukykyiset hinnat verrattuna kevytöljyyn (240 mk/MWh)

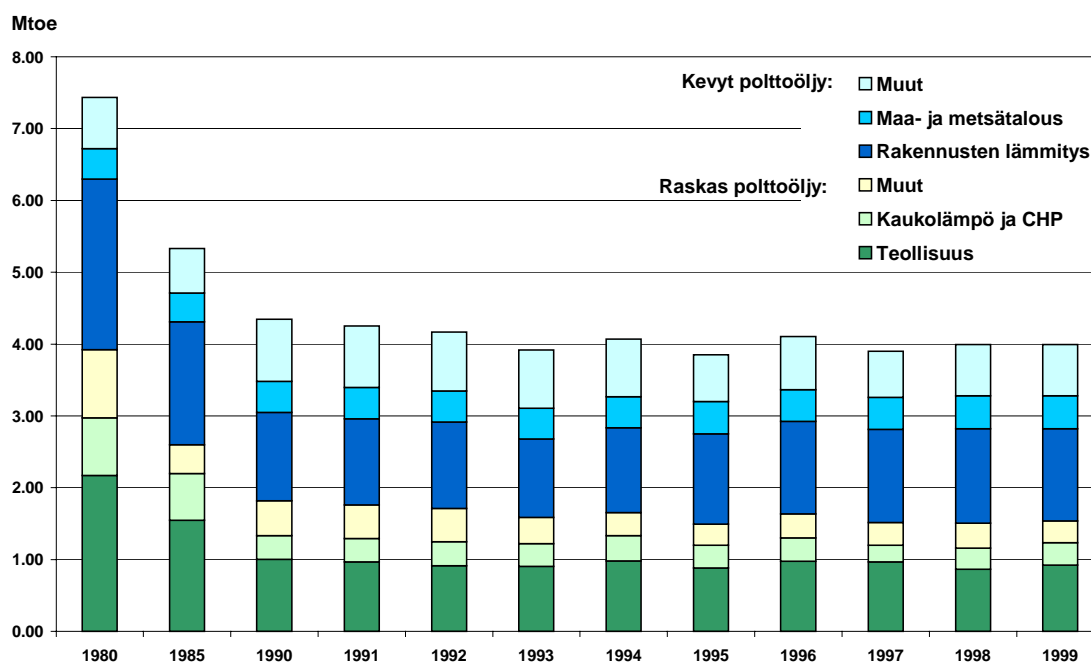
Taulukko 13. Hakkeen ja puupelletin kilpailukykyiset hinnat verrattuna kevytöljyyn.

Teho	Puupelletti mk/MWh		Hake mk/MWh	
	Perushinta	Kilpailukykyinen hinta *)	Perushinta	Kilpailukykyinen hinta *)
20 kW	160	189	85	166
50 kW	160	146	75	138
100 kW	120	175	75	167
200 kW	120	190	70	183
500 kW	100	199	60	187
1 000 kW	100	195	60	190

*) kilpailukykyinen hinta tarkoittaa hintaa, joka polttoaineesta voidaan maksaa, jotta lämmityskustannukset ovat samat kuin kevyellä hinnalla, perushinta tarkoittaa tarkastelussa käytettyä hintaa.

5.3 Biopolttoaineiden lisäkayttomahdollisuudet

Biopolttoaineille voidaan osoittaa lämmöntuotannossa huomattavaa lisäkayttopotentiaalia. Puupolttoaineilla voidaan korvata lämmöntuotannossa polttoöljyä sekä jonkin verran myös polttoturvetta. Kuvassa 32 esitetään raskaan ja kevyen polttoöljyn käytön kehittyminen vuosien 1980–1999 aikana.



Kuva 32. Kevyen ja raskaan polttoöljyn käyttö vuosina 1980–1999.

Vuonna 1999 öljyn käyttömäärä oli yhteensä noin 4 Mtoe (45 TWh, 170 PJ). Tästä 60 % oli kevyttä öljyä, joka käytettiin pääosin rakennusten lämmitykseen. Muita merkittäviä kohteita ovat esimerkiksi kasvihuoneet.

Raskaasta polttoöljystä suurin osa käytetään teollisuudessa. Kaukolämpöä sekä sähköä että lämpöä tuottavissa laitoksissa raskas öljy on tyypillisesti varapolttoaineena sekä huipputehon tarpeen aikaan käytettävä polttoaine.

Taulukossa 14 on esitetty arvio lämmityssektorilla korvattavasta fossiilisten polttoaineiden määrästä maksimivaihtoehdossa ja uusiutuvien edistämishjelman tavoite vuoteen 2010 (KTM 1999).

Taulukko 14. Bioenergialla korvattava fossiilinen polttoaine rakennusten lämmityksessä.

	Käytön lisäys	Käytettävät biopolttoaineet
Maksimivaihtoehto	0,8 Mtoe, korvataan pääosin kevyttä polttoöljyä	0,4 Mtoe haketta ja pilkettä 0,2 Mtoe puupellettejä 0,2 Mtoe pyrolyysiöljyä
Uusiutuvien edistämishjelma	0,5 Mtoe	Ei eritelty

Biopolttoaineiden käyttö kiinteistölämmityksessä voi lisääntyä merkittävästi öljyn käyttöä korvaten, jos biopolttoaineiden kilpailukyky on nykytasolla tai se paranee. Käytön lisäämisen edellytyksenä on kilpailukyvyn lisäksi, että biopolttoaineiden käytön vaivattomuus on käyttäjille verrattavissa muihin vaihtoehtoihin. Käyttäjille tarjottavia vaihtoehtoja ovat muun muassa:

- polttopuun omatoiminen hankinta ja käyttö
- puupolttoaineen ostaminen ja omatoiminen käyttö
- oma investointi lämmön tuotannon laitteisiin, mutta käyttöpalvelujen osto
- lämmön osto.

Liiketoimintavaihtoehtojen kehittämisen lisäksi tarvitaan teknistä kehitystyötä lämmityslaitteistojen helppokäyttöisyyden lisäämiseksi ja päästöjen vähentämiseksi.

6. Jalosteet

Biopolttoaineita voidaan jalostaa helppokäyttöisempään muotoon tai korvaamaan fossiilisia nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita. Jaloste on myös energiatiheydeltään alkuperäistä polttoainetta parempi tuote. Kiinteitä jalosteita ovat esimerkiksi puupöly, puuhiili, pelletit ja briketit ja nestemäisiä pyrolyysiöljy, etanoli, metanoli, rypsidiesel ja bensiinin lisäaineet. Bioperäisillä kaasuilla voidaan korvata maakaasua eri käyttökoh-teissa.

Kiinteistä raaka-aineista, kuten hiilestä, turpeesta ja biomassasta, voidaan valmistaa nestemäisiä polttoaineita lukuisin tavoin. Termokemiallisia menetelmiä ovat pyrolyysi, suora nesteytys ja epäsuora nesteytys kaasutuksen kautta. Bioteknisesti voidaan val-mistaa biomassasta sokerien kautta bioalkoholeja liikennekäyttöön.

Synteettisiä polttonesteitä valmistetaan käyttökohteisiin, joissa ei voida käyttää muita kuin nestemäisiä polttoaineita. Ajavana voimana on ollut halu vähentää öljyriippuvuut-ta. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi liikenteen energiantarve ja nykyiset öljy-kattilat. Jalostuksessa polttoaineen energiatiheys kasvaa, jolloin kuljetuskustannukset alenevat. Polttonesteet ovat myös helpommin käsiteltäviä ja varastoitavia. Tavoitteena voi olla myös päästöjen vähentäminen, sillä erityisesti pienessä kokoluokassa päästöjen hallinta on helpompaa käytettäessä polttonesteitä kuin käytettäessä kiinteitä polttoai-neita. Valmistus uusiutuvista raaka-aineista voi olla perusteltua myös mm. siksi, että liikenteen hiilidioksidipäästöjä on vaikea muutoin rajoittaa tai että halutaan suunnata maatalouden ylituotantoa energiasektorille.

Synteettisten polttoaineiden tuotantokustannukset ovat yleensä korkeammat kuin kil-pailevien kaupallisten vaihtoehtojen, öljyn tai maakaasun. Tuotanto ja käyttö onkin kil-pailukykyistä vain erityisolosuhteissa ja edellyttää esimerkiksi verohelpotuksia. Kilpai-lukykyä parantaa tuotannon integrointi esimerkiksi sellutehtaaseen, sahaan, voimalaan tai elintarvikkeiden valmistukseen (Solantausta et al. 1997).

6.1 Pelletit

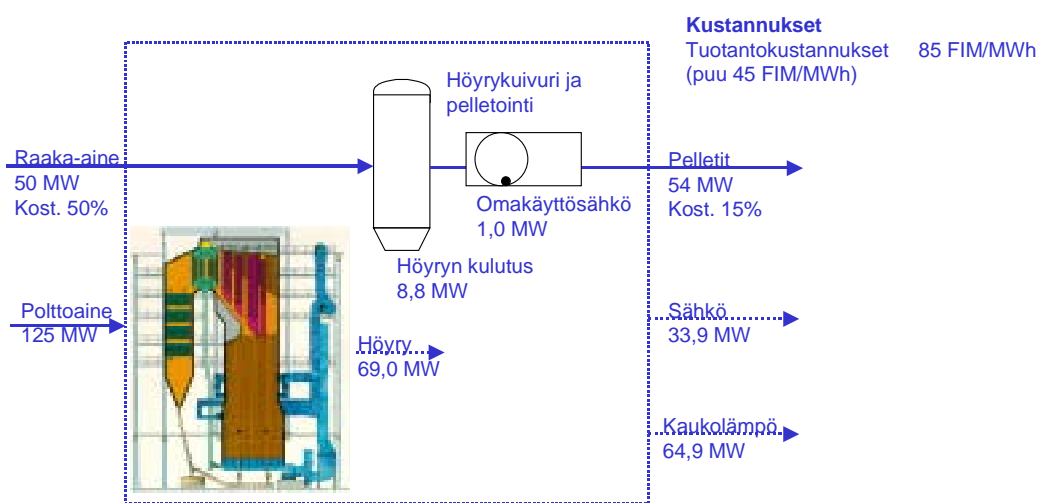
Pellettien valmistus jakautuu raaka-aineen esikäsittelyyn, pellettien puristamiseen ja valmiiden tuotteiden pakkaamiseen tai varastointiin. Pellettitehtaan pääkomponentit ovat tavallisesti vasaramylly ja matriisipuristin, mutta niiden lisäksi tarvitaan erilaisia kuljettimia, seuloja, sykloneita ja syöttimiä sekä näitä käyttäviä moottoreita.

Pellettien raaka-aineena on pääasiassa käytetty kuivaa (kosteus noin 15 %) kutterinlas-tua tai sahanpurua. Kosteamman raaka-aineen käyttö on mahdollista, mutta tällöin se on

kuivattava ennen puristamista. Kuivaaminen lisää käytettävissä olevan raaka-aineen määrää, mutta kuivauksen takia tuotantokustannukset kasvavat (kuva 33).

Pellettimatriisissa puristuksessa syntyvä lämpö pehmittää puun ligniinin hetkeksi, jolloin pelletti saa muotonsa ja kovuutensa. Ligniini on puun oma luonnollinen sidosaine, joka sitoo puun kuidut toisiinsa. Havupuissa ligniinin määrä on suurempi kuin lehtipuilla.

Integroitu pellettien tuotanto



Ekono Oy. Integroidun polttopuristetehtaan teknistaloudellinen selvitys. KTM Energiaosasto D:27. Helsinki 1983.

Kuva 33. CHP-kattilaan integroitu pellettien tuotanto.

6.2 Pyrolyysi

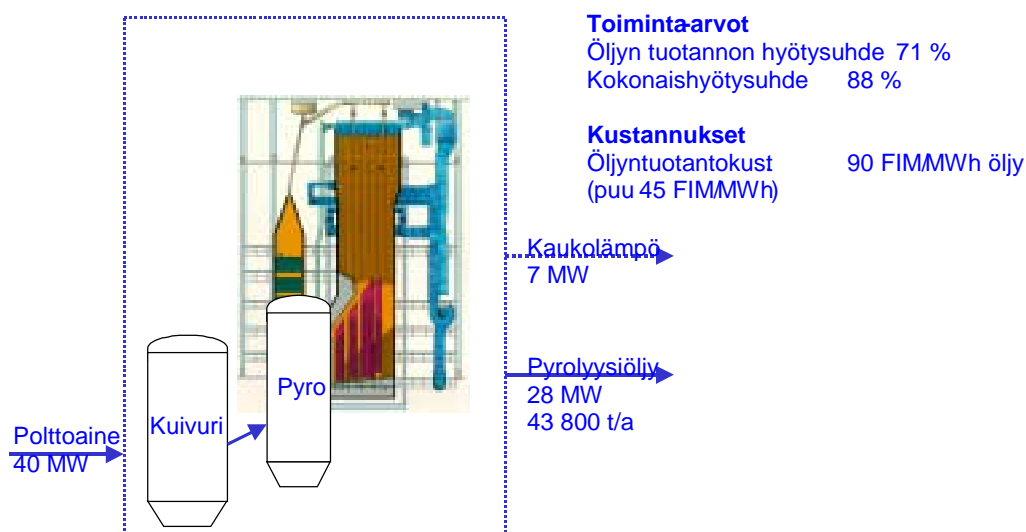
Pyrolyysissä biomassa kuumennetaan hapettomassa tilassa, jolloin syntyy kaasuja, nestemäinen tuote ja kiinteä hiiltojännös. Nestejakeen määrä voidaan maksimoida nopealla pyrolyysillä (ns. fast- tai flash-pyrolyysi). Nopeassa pyrolyysissä jauhettu biomassa kuumennetaan nopeasti noin 500 °C:n lämpötilaan. Viipymäaika reaktorissa on lyhyt, puolesta sekunnista muutamaan sekuntiin. Tuotteet jäähdytetään mahdollisimman nopeasti. Parhaimmillaan kuivasta biomassasta voidaan saada 70–75 paino-% nestetuotetta.

Pyrolyysiöljyn kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet ovat täysin toisenlaiset kuin raakaöljyn tai siitä jalostettujen tuotteiden. Puubiomassasta valmistettu pyrolyysiöljy ei juuri sekoitu hiilivetypohjaisiin polttonesteisiin.

Pyrolyysiprosesseja on kehitetty Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Euroopassa. Suurimman toiminnassa olevan reaktorin kapasiteetti on noin 1 t/h. Suomessa Fortum ja Vapo ovat aloittaneet koetuotantolaitoksen rakentamisen (Fortum & Vapo 2001). Myös VTT Energia on ollut mukana prosessikehitystyössä. Noin 20 milj. markkaa maksavan laitoksen kapasiteetti on noin 350 kg pyrolyysiöljyä tunnissa. Laitos aloitti toimintansa vuoden 2002 alussa.

Nopealla pyrolyysillä valmistettu biopolttoöljy on arvioitu halvimmaksi biomassasta saatavaksi polttonesteeksi. Ennen kaupallista tuotantoa on kuitenkin pystyttävä osoittamaan tuotetun öljyn tasalaatuisuus. Biopolttoöljyn kilpailukyky vaihtelee eri maissa öljyn verotuksesta riippuen. Esimerkiksi Ruotsissa kevyen polttoöljyn korvaaminen suurkiinteistöjen lämmityskattiloissa näyttää lupaavalta.

Yhdistetty pyrolyysiöljyn ja kaukolämmön tuotanto



Kuva 34. Yhdistetty pyrolyysiöljyn ja kaukolämmön tuotanto.

6.3 Polttonesteet metsäteollisuuden sivutuotteista

Sulfaattiselutehtaan merkittävimmät sivutuotteet ovat sellunkeiton jäteliemi eli mustalipeä sekä raakasuopa ja mäntyöljy. Mäntyöljy, joka on peräisin puun uuteaineista, eristetään sulfaattikeitossa muodostuvasta raakasuovasta hapottamalla (palstoitus). Raakasuopa erottuu mustalipeästä mustalipeähaihduttamon välilipeäsäiliössä.

Vaihtoehtoisia prosesseja, joissa mustalipeästä valmistetaan polttokaasuja tai polttonesteitä, on tutkittu sekä Suomessa että muualla. Vaihtoehtoisista prosesseista kaasutus on osoittautunut kilpailukykyisimmäksi.

Raakasuopa näyttäisi sen sijaan olevan helpommin jalostettavissa polttonesteiksi. Tällä hetkellä Suomessa lähes kaikki suopa palstoitetaan, jonka jälkeen raakamäntyöljystä voidaan tislaamalla eristää edelleen rasva- ja hartsihappofraktioita. Lisäksi saadaan ns. esiöljyä ja mäntypikeä. Nykyään ainoa palstoituksen vaihtoehto on raakasuovan poltto soodakattilassa. Koivu- ja mäntylinjojen suovat yhdistyvät yleensä tehtaissa ns. seka-suovaksi. Sekasuovasta valmistettu öljy on pienen hartsihappopitoisuuden sekä suuren neutraaliaineiden pitoisuuden vuoksi vähempiarvoista. Mäntypohjaisia tuotteita voidaan käyttää nestemäisinä polttoaineina tai jalostaa sellaisiksi. Tärkeimmät vaihtoehdot ovat:

- Suora käyttö polttonesteinä. Taloudellisista syistä tämä vaihtoehto koskee lähinnä raakamäntyöljyä (ja ennemmin sekaöljyä kuin hyvälaatuista mäntyöljyä), esiöljyä ja mäntypikeä.
- Mäntyrasvahapon jalostus esteriksi ja esterin käyttö hyvänlaatuisena dieselpolttoöljynä.

Laboratoriossa tehdyissä nestefaasikokeissa suovasta on saatu hyvälaatuinen tuote pelkällä termisellä käsittelyllä. Kyseisellä käsittelyllä on saatu kevyt hiilivetypitoinen polttoneste, jonka polttoaineominaisuudet ovat paremmat kuin raakamäntyöljyn vastaavat ominaisuudet. Kyseistä jalostusprosessia olisi tarkoitus soveltaa lähinnä sellaiseen seka-suopaan, josta ei voida valmistaa hyvälaatuista raakamäntyöljyä. Toinen kiinnostava menetelmä polttonesteiden valmistamiseksi suoraan raakasuovasta on nopea pyrolyysi.

Mäntyöljypohjaisten tuotteiden käyttö raskaan polttoöljyn korvikkeena on tunnettua tekniikkaa. Niiden suora käyttö dieselvoimalan moottorin polttoaineena on sen sijaan uusi vaihtoehto, josta on hyvin rajoitetusti tietoa. Mäntyrasvahappoesteriä voidaan käyttää konventionaalisessa dieselmoottorissa.

6.4 Liikenteen biopolttonesteet

EU:n alueella tuotettiin biodieseliä ja etanolia energiamarkkinoille 910 000 tonnia vuonna 1995 (IEA 2001). Biodieselin raaka-aineena käytettiin kasviöljyjä ja etanolin tuotannon pääraaka-aineet olivat vehnä ja sokerijuurikas. Suomessa valmistetaan etanolia viljasta noin 20 000 tonnia vuodessa elintarvikekäyttöön. Etanolia valmistetaan polttonesteeksi mm. sokeriruo'osta Brasiliassa ja maissista Yhdysvalloissa. Kumman-

kaan tuotanto ei ole taloudellisesti kannattavaa, vaan niitä tuetaan maatalouspoliittisista ja kansantaloudellisista syistä.

6.4.1 Biodiesel

Suomen oloja ajatellen kasviöljypohjaisen biodieselin pääraaka-aine olisi rypsi. Suomen kannalta kiinnostavin biopolttonesteiden tuotannon raaka-aine olisi kuitenkin puu. Toisaalta jäteperäiset polttoaineet ovat mielenkiintoinen vaihtoehto silloin, kun ne soveltuvat prosessin raaka-aineeksi.

Rypsin siemenestä voidaan valmistaa metyyliesteriä, joka on dieselpolttonesteeksi soveltuva tuote. Prosessissa siemen puristetaan mekaanisesti, jolloin saadaan raakaöljyä ja kiinteä jäännös. Kiinteä jäännös uutetaan liuottimella, jolloin öljysaanto nousee. Kiinteä jäännös voidaan käyttää eläinrehuna. Raakaöljy käsitellään vielä lievästi, jolloin saadaan kevyeen polttoöljyyn verrattavaa raakarypsiöljyä. Rypsimetyyliesteriä (RME) valmistettaessa raakaöljy esteröidään metanolilla ja metyyliesterin lisäksi syntyy sivutuotteena glyserolia (Solantausta et al. 1997)

RME:n käyttö ei poikkea kovin ratkaisevasti tavallisen dieselöljyn käytöstä. On myös osoitettu, että päästöt ovat RME:tä käytettäessä samaa luokkaa kuin kaupallisella polttoaineella. RME:tä käytetäänkin jo liikenteen energialähteenä ainakin Ranskassa, Saksassa, Itävallassa ja Italiassa. Vuonna 1994 tuotantokapasiteetti EU:ssa oli noin 500 000 t/a. Suomessa sitä ei valmisteta. Rypsiöljy puolestaan eroaa dieselöljystä siinä määrin, ettei sitä voi käyttää liikkuvan raskaan kaluston polttonesteena. Sitä on kuitenkin ehdotettu kevyttä polttoöljyä korvaavaksi kattilapolttoaineeksi seossuhteilla 5–30 %. Perinteisistä viljelykasveista jalostetuista polttonesteistä rypsipolttoöljy (rypsi-POK) on kilpailukykyisin. Sekä rypsi-POK:n että RME:n tuotanto ja käyttö Suomessa edellyttäisi kuitenkin huomattavia verohelpotuksia polttoaineveroista (Solantausta et al. 1997). Suomessa RME:n tuotantopotentiali olisi noin 45 milj.littraa, jos rypsiä viljeltäisiin 70 000 hehtaarilla (KTM 1993).

6.4.2 Etanoli

Puusta voidaan valmistaa etanolia vapauttamalla ensin selluloosan ja hemiselluloosan sokerit kemiallisesti ns. hydrolyysin avulla. Sokerit fermentoidaan etanoliksi mikroorganismien avulla. Puun selluloosa ja hemiselluloosa voidaan hydrolysoida sokereiksi kolmella eri perustekniikalla: vahvahappo-, laimeahappo- tai entsyymaattisella hydrolyysillä. Entsyymaattiseen hydrolyysiin perustuvien prosessien osalta kehitteillä on eri prosessiratkaisuja, jotka eroavat toisistaan entsyymien valmistuksen, hydrolyysin ja fer-

mentoinnin kytkennän osalta. Lisäksi on laboratorioasteella kehitteillä synteetikaasun fermentointiin perustuvia prosesseja (McCloy et al. 1998).

Etanolin valmistusta tutkitaan lähinnä Yhdysvalloissa, Ruotsissa ja Kanadassa. Useita-kin demonstraatiohankkeita on suunnitteilla, mutta mitään em. tekniikkaa ei ole vielä kokonaisuudessaan demonstroitu laboratorion ulkopuolella eikä niitä voida pitää tällä hetkellä kaupallisina prosesseina. Ruotsissa on esitetty laimeahappohydrolyysiin perustuvan prosessin olevan lähimpänä teollisen mittakaavan toteutusta. Prosessit eivät ole sellaisenaan sovellettavissa havupuulle eikä kuoren vaikutuksesta prosesseihin ole vielä selvyyttä, joten on epäselvää, voidaanko esimerkiksi metsätähdettä käyttää prosessien raaka-aineena.

Etanolin saanto puusta hydrolyysiin perustuvissa prosesseissa olisi arviolta 17–22 paino-% kuivasta puusta. Etanolin lisäksi prosessissa saadaan huomattava määrä sivutuotteita, joista tärkein on ligniinipolttoaine. Ligniinpolttoaineen massasaanto on lähes kaksinkertainen etanolin saantoon verrattuna.

6.4.3 Metanoli

Metanolia voidaan tuottaa puusta valmistamalla ensin puusta termisesti kaasuttamalla synteetikaasua ja edelleen synteetikaasusta metanolia. Kaasutuksen tuotekaasu täytyy puhdistaa epäpuhtauksista eri kaasunpuhdistusmenetelmillä ja edelleen konvertoida metanolisynteessin vaatimusten mukaiseksi synteetikaasuksi. Hyvin optimoidussa prosessissa voidaan saavuttaa jonkin verran yli 55 %:n massasaanto kuivasta puusta. Prosessi on periaatteessa tunnettua tekniikkaa. Vastaava prosessi demonstroitettiin 1980-luvulla Oulussa Kemira Oyj:n laitoksella, jossa tuotettiin turpeesta ammoniakkaa, laitoksen kapasiteetti oli 80 000 t NH₃/a. Koeajoissa raaka-aineena käytettiin myös sahanpurua.

Kaasutusprosessin tulee perustua happi- tai epäsuoraan kaasutukseen. Ilmakaasutuksen tuotekaasu sisältää yli 40 tilavuus-% typpeä, joka kasvattaa kaasun puhdistus- ja prosessointilaitteiden kokoa ja siten tuotantokustannuksia. Metanolisynteesiin soveltuvia suurien kokoluokan leijukerroskaasuttimia on kehitetty Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Happikaasutukseen perustuva tekniikka on kaupallista, mutta biomassojen käytöstä raaka-aineena suuressa kokoluokassa on vähän kokemuksia. Oletettavasti biomassan käyttöönotto vaatisi vielä kehitystyötä mm. kuivaus- ja syöttölaitteiden osalta sekä biomassoille soveltuvien prosessiolosuhteiden optimointia. Demonstroitivaiheessa oleva epäsuora kaasutustekniikka on happikaasutusta monimutkaisempi prosessi, ja mahdollisia ongelmia voi olla esimerkiksi runsas tervojen muodostuminen. Tekniikan kaupallistu-

misen voi olettaa kestävän vielä jonkin aikaa, ehkä noin viisi vuotta, jos kehittämiseen alettaisiin panostaa EU:ssa.

Kaasutuksen tuotekaasu on puhdistettava kiintoaineista, tervoista, ammoniakista ja rikkiyhdisteistä ennen metanolisynteesiä. Tähän voidaan käyttää konventionaalista puhdistustekniikkaa, joka perustuu kaasun pesuun erityyppisillä pesuliuksilla. Lisäksi lähitulevaisuudessa tulee mahdolliseksi käyttää kehitysasteella olevaa kaasun katalyyttistä puhdistusta tervoille ja ammoniakille. Lisäksi kaasun koostumus (H_2/CO -suhde) on muunnettava prosessille sopivaksi, joko CO-konversion (shift) tai reformointiyksiköiden avulla. Konversioprosessit ovat kaupallista tekniikkaa.

Varsinainen metanolisynteesi on kaupallista tekniikkaa, jossa ei ole viime vuosina tapahtunut suuria muutoksia. Viimeaikainen kehitystyö on kohdistunut katalyyttireaktorin energiatalouden sekä katalyyttien tehokkuuden parantamiseen. Uusinta tekniikkaa edustaa Air Products and Chemicals Inc:n nestefaasisynteesi, jossa lämmönsiirron tehokkuuden johdosta metanolisynteesi tapahtuu lähes isotermisissä olosuhteissa. Tekniikka on tällä hetkellä demostroitivaiheessa.

6.4.4 Muita kehityskohteita

Alkoholien käyttöön polttonesteinä ei liity kovin suuria teknisiä epävarmuuksia. Alkoholeja on käytetty joko puhtaana, tavoitteena fossiilisten polttonesteiden korvaaminen, laimeina seoksina tai bensiinin seoskomponenttien MTBE:n ja ETBE:n valmistuksessa päästöjen vähentämiseksi. Eettereitä lisätään bensiiniin oktaaniluvun kohottamiseksi korvaamaan lyijy-yhdisteitä ja palamisen tehostamiseksi, jolloin moottorien haitalliset päästöt vähenevät.

Liikenteen polttonesteitä voidaan valmistaa synteesikaasusta myös ns. Fischer-Tropsch-synteesin kautta. Fischer-Tropsch-synteesissä saadaan hyvin laaja tuotevalikoima hiilivetyjä ja niiden hapettuneita johdannaisia, joista edelleen jalostamalla ja tislaamalla saadaan myös liikenteen polttonesteiksi soveltuvia jakeita. Esimerkkinä tämäntyyppisestä laitoksesta ovat Etelä-Afrikassa sijaitsevat Sasolin laitokset, joissa raaka-aineena käytetään kivihiihtä. Mobil on kehittänyt ns. MTG-prosessin (Methanol-To-Gasoline), jossa valmistetaan synteesikaasusta ensin katalyyttisesti metanolia ja edelleen metanolista katalyyttisesti liikenteen polttonesteiksi soveltuvia hiilivetyjä. Mitään näistä vaihtoehdoista ei pidetä tällä hetkellä taloudellisesti kiinnostavina ilman verotukia.

Puusta voidaan valmistaa synteesikaasun kautta myös dimetyylieetteriä (DME). Nykyinen DME:n tuotanto perustuu metanolin katalyyttiseen konversioon. Haldor Topsøe on kehittänyt prosessin, jossa metanolin ja DME:n tuotanto tapahtuu integroidusti samassa

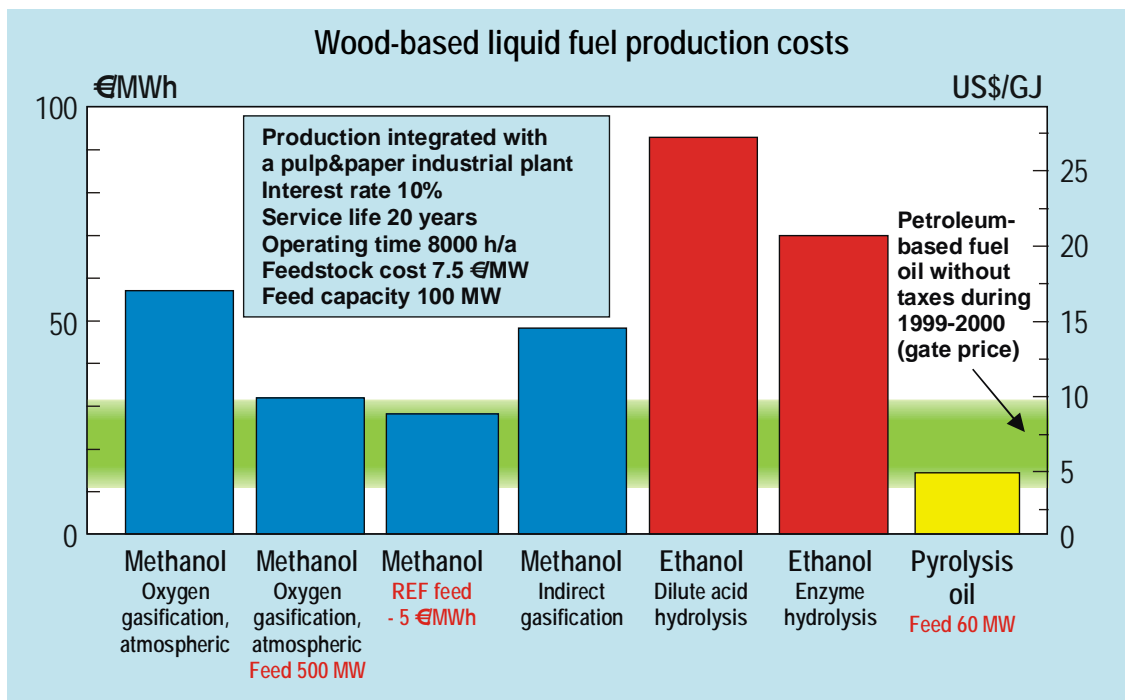
synteesivaiheessa. Tällöin ei tarvita välituotteena olevan metanolin erottamista ja puhdistamista ennen sen jatkojalostamista DME:ksi. IEA:n vaihtoehtoiset moottoripolttoaineet -työryhmässä (Walwijk et al. 1998) on arvioitu, että DME:n ja metanolin tuotantokustannukset olisivat samat, mutta DME:n jakelukustannukset tuotantolaitokselta jake-luasemille olisivat suuremmat kuin metanolilla. DME on kuitenkin arvioitu metanolia paremmaksi liikenteen polttonestteksi, joten tehollista energiayksikköä kohti laskettuna DME olisi metanolia edullisempaa. DME:n tuotantokustannukset on arvioitu 23 % pienemmiksi kuin metanolin, kun otetaan huomioon raaka-aineen kuljetuskustannukset, polttoaineen jakelukustannukset sekä polttoainekäytön hyötysuhde.

6.4.5 Kilpailukykyvertailut

Monet tutkimusryhmät ovat julkaisseet biopolttonesteiden tuotantokustannuksista ja kilpailukyvyistä useita arvioita (esim. DOE 1990, Elam et al. 1994, Williams et al. 1995). Myös VTT Energia on tehnyt useita teknistaloudellisia tarkasteluita (esim. Solantausta et al. 1997 ja Ohlström et al. 2001).

Kemiallisilla synteesiprosesseilla kiinteistä raaka-aineista tuotetuista polttonesteistä metanoli on arvioitu kilpailukykyisimmäksi ja kiinnostavimmaksi. Esimerkiksi F-T-synteesillä tai MTG-prosessilla valmistettujen polttonesteiden tuotantokustannukset ovat arviolta noin 25–40 % suuremmat kuin kiinteästä raaka-aineesta valmistetun metanolin.

Kuvassa 35 on esitetty uusimmat VTT Energiassa tehdyt bioalkoholien tuotantokustannusvertailut. Vertailussa oli mukana eri metanoliprosesseja sekä laimeahappo- ja entsyymaattiseen hydrolyysiin perustuvat etanoliprosessit. Raaka-aineena oli metsätähde. Laitosten polttoainekapasiteetti oli 100 MW, joka vastaa raaka-aineen massavirtaa 334 000 t/a (kosteus 50 %), jonka verran arvioitiin laitokselle saatavan metsätähdettä kilpailukykyiseen hintaan 45 mk/MWh. Raaka-aineen kuljetusetäisyys tuotantolaitokselle on tällöin alle 150 km. Lisäksi tarkastelussa arvioitiin tuotantokustannukset metanolilaitokselle, joka sijaitsisi esim. Kaukoidässä, jossa paremmat puun kasvuolosuhteet mahdollistaisivat maksimissaan 500 MW:n raaka-ainekapasiteetin.



Kuva 35. Bioalkoholien tuotantokustannusten vertailu (Energy Visions 2001).

Tarkastelussa bioalkoholien tuotantokustannukset arviointiin laitoksille, jotka oli integroitu metsäteollisuuden tehtaan energiantuotantoon. Tällöin saavutetaan kustannussäästöjä mm. raaka-aineiden hankinnassa, investointikustannuksissa sekä käyttöhyödykkeiden hankinnassa. Tarkastelussa tuli esiin mielenkiintoisena vaihtoehtona tuotantokustannusten alentamiseen jäteperäisten polttoaineiden käyttö raaka-aineena, jolloin metanolin tuotanto olisi varsin kilpailukykyinen jopa nykyisillä öljyn hinnoilla ja tyyppillisillä massapolttolaitoksen käsittelymaksuilla.

Synteetikaasun käyttöön perustuvat biopolttonesteprosessit ovat periaatteessa kaupallista tekniikkaa, ja prosessikehityksellä on vaikea saavuttaa ratkaisevia parannuksia prosessien kilpailukykyyn. Prosessien hyötysuhteita voidaan todennäköisesti hieman parantaa hyvin optimoiduissa prosesseissa, esim. optimoimalla kaasutuspainetta. Kehitteillä olevat uudet katalyyttiset kaasunpuhdistusmenetelmät voivat jonkin verran yksinkertaistaa kaasun puhdistusprosessia.

7. Bioenergian ja muiden uusiutuvien energialähteiden integrointi

7.1 Nykytilanne ja kehitystarpeet

Biopolttoaineiden tuotannossa hyödynnetään merkittävästi aurinkoenergiaa, etenkin metsähakkeen ja polttopuun tuotannossa. Tuoreen puun kosteus on vuodenaikasta ja puulajista riippuen tyypillisesti 45–55 %. Hakkuutähteet kuivuvat palstalla hakkuukoneen jättämissä kasoissa parhaimmillaan parissa viikossa (PUUENERGIA 2001) noin jopa alle 30 %:n kosteuteen. Kaikkina vuodenaikoina kuivaminen ei ole yhtä tehokasta ja kuivuneenakin suojaamaton polttoaine voi kastua uudelleen, tällöin joudutaan turvautumaan keinokuivaukseen laitoksilla, jotka edellyttävät kuivaa polttoainetta. Energiataloudellisesti edullinen vaihtoehto on käyttää kuivaamiseen normaalisti ympäristöön poistettavia jätelämpöjä, kuten savukaasuja. Biopolttoaineiden kuivauksen tarve kasvaa, kun biopolttoainetta käytetään rakennusten lämmitykseen pienissä kokoluokissa. Lisäksi eräät uudet tekniikat, kuten pyrolyysiöljyn ja pellettien valmistus ja IGCC-tekniikat, edellyttävät kuivaa polttoainetta alle 20 %:n kosteudessa.

7.2 Energiantuotannon vaihtelut

Biopolttoaineita voidaan varastoida rajoitetusti suuren tilantarpeen ja laadun heikkene-
misen takia. Lämpölaitoksilla puupolttoaineita voidaan käyttää ainoana polttoaineena. Suurilla CHP-laitoksilla puupolttoaineen saantia varmistamassa käytetään yleensä turvetta, jota varastoidaan vuosittaisten tuotannon vaihteluiden takia yli vuoden tarvetta varten.

Biopolttoaineiden käytön vaihtelut vuoden aikana riippuvat lämmön tarpeesta. Yhdyskuntien ja rakennusten lämmitysenergian kulutus määrää tarvittavan polttoainemäärän ja yhdistetyssä tuotannossa tuotetun sähkön määrän. Lämmön tarpeet huiput katetaan tyypillisesti öljyn käytöllä, joskin öljyn hinnan noustessa helposti varastoitavien puupellettien käyttö huippuenergian tuotantoon on kasvussa. Metsäteollisuuden prosessi-
lämmön tarve on tasaisempi, joten biopolttoaineiden käytön vuoden- ja vuorokauden-
kaiset vaihtelut ovat pienemmät.

Tuulivoiman 2 000–2 500 tunnin huipunkäyttöaikaan verrattuna biopolttoainetta käyttävien laitosten vuotuinen huipunkäyttöaika on 2–3-kertainen ja varatehon tarve vähäisempi. Biopolttoainetta käyttävät laitokset ovat tyypillisesti kalliita investointikustannuksiltaan ja niillä on edulliset muuttuvat kustannukset, joten ne toimivat peruskuor-

malaitoksina. Biopolttoaineista sähkön tai lämmön huipputehon tuotantoon soveltuisivat lähinnä jalosteet, kuten pelletit ja bioöljy, joita olisi mahdollista käyttää investoinneillaan edullisissa laitoksissa tai joilla on osin mahdollista korvata suoraan fossiilisia polttoaineita.

7.3 Rakennusten energian tuotanto

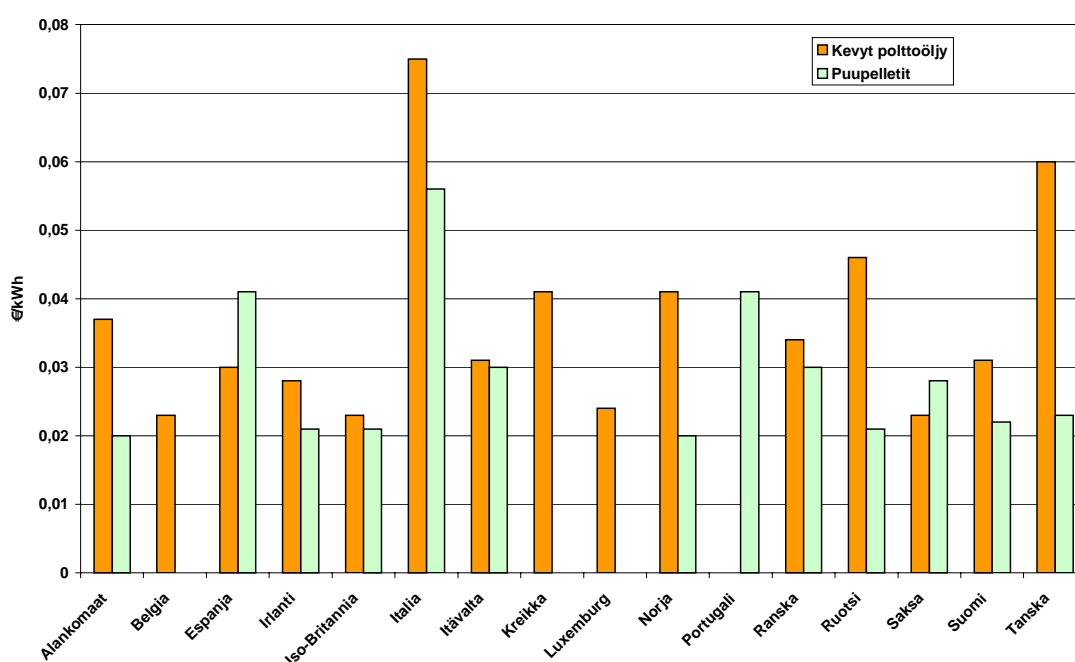
Pyrittäessä rakennusten energian käytössä omavaraisuuteen ja uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseen useampien uusiutuvien energialähteiden käytön yhdistäminen on pohjoisissa olosuhteissa erityisen luonnollista. Järjestelmissä hyödynnetään puupolttoaineiden lisäksi aurinkoenergiaa, maalämpöä tai eräissä sovelluksissa myös tuulienergiaa.

Lämmön tuotantoon kiinteistökohtaisesti on useita vaihtoehtoja myös uusiutuvia energialähteitä käyttäen. Kiinteistökohtainen sähkön tuotanto on vasta kehitysvaiheessa. Hajautetussa sähkön tuotannossa on yhtenä kriittisenä tekijä sähköverkkoon liittymisen tekniset ratkaisut.

Kun halutaan parantaa rakennusten valmiutta sietää sähkökatkoja pakkasaikana, puuta käyttävät tulisijat ovat käyttökelpoisin vaihtoehto. Muissa lämmitysjärjestelmissä tarvitaan jonkin verran sähköä mm. pumppujen ja puhaltimien käyttämiseen.

8. Biopolttoaineiden kansainvälinen kauppa

Polttoaineiden hinnoissa eri maissa on erittäin suuria eroja etenkin fossiilisten polttoaineiden verotuksen takia. Polttoaineiden hinta eri käyttäjäryhmille ja eri käyttötarkoituksiin voi lisäksi vaihdella. Suurimmat verot ovat yleensä liikennepolttoaineilla ja yksityisten kuluttajien lämmitykseen käytettävillä polttoaineilla. Pienimmät verot ovat teollisuuden ja sähkön tuotannon polttoaineilla. Seuraavissa kuvassa 36 sekä taulukoissa 15 ja 16 on esitetty eräiden polttoaineiden hintatasoja toisaalta lämmityssektorilla, toisaalta suuremmissa, 5–50 MW:n laitoksissa eri Euroopan maissa.



Kuva 36. Lämmitykseen käytettävän kevyen polttoöljyn ja puupellettien hintoja syyskuussa 1999, €/kWh (Woodpellets in Europe 2000).

*Taulukko 15. Polttoaineiden hintoja pienkäyttäjille eräissä Euroopan maissa, p/kWh
(Energiatilastot 2000, Vesterinen & Alakangas 2001, Woodpellets in
Europe 2000).*

	Polttopuu	Pelletit	Kevyt polttoöljy	Maakaasu	Sähkö
Alankomaat		12	26	22	88
Belgia			17	34	87
Espanja		24	21	29	76
Irlanti		12	22	35	66
Islanti					69
Iso-Britannia	33	12	17	19	78
Italia	12	33	39	27	119
Itävalta	12	18	22	24	84
Kreikka			19		45
Latvia	6	7	12	11	
Luxemburg			17	24	78
Norja		12	28		60
Portugali	6	24		34	79
Puola	12	26	9	11	
Ranska	15	18	21	26	81
Romania	2		17		
Ruotsi		12	31	34	60
Saksa	15	17	19	31	87
Slovakia	2		7	2	
Slovenia	15	30	14	10	
Suomi	13	13	20		49
Sveitsi					72
Tanska	18	14	34	87	117

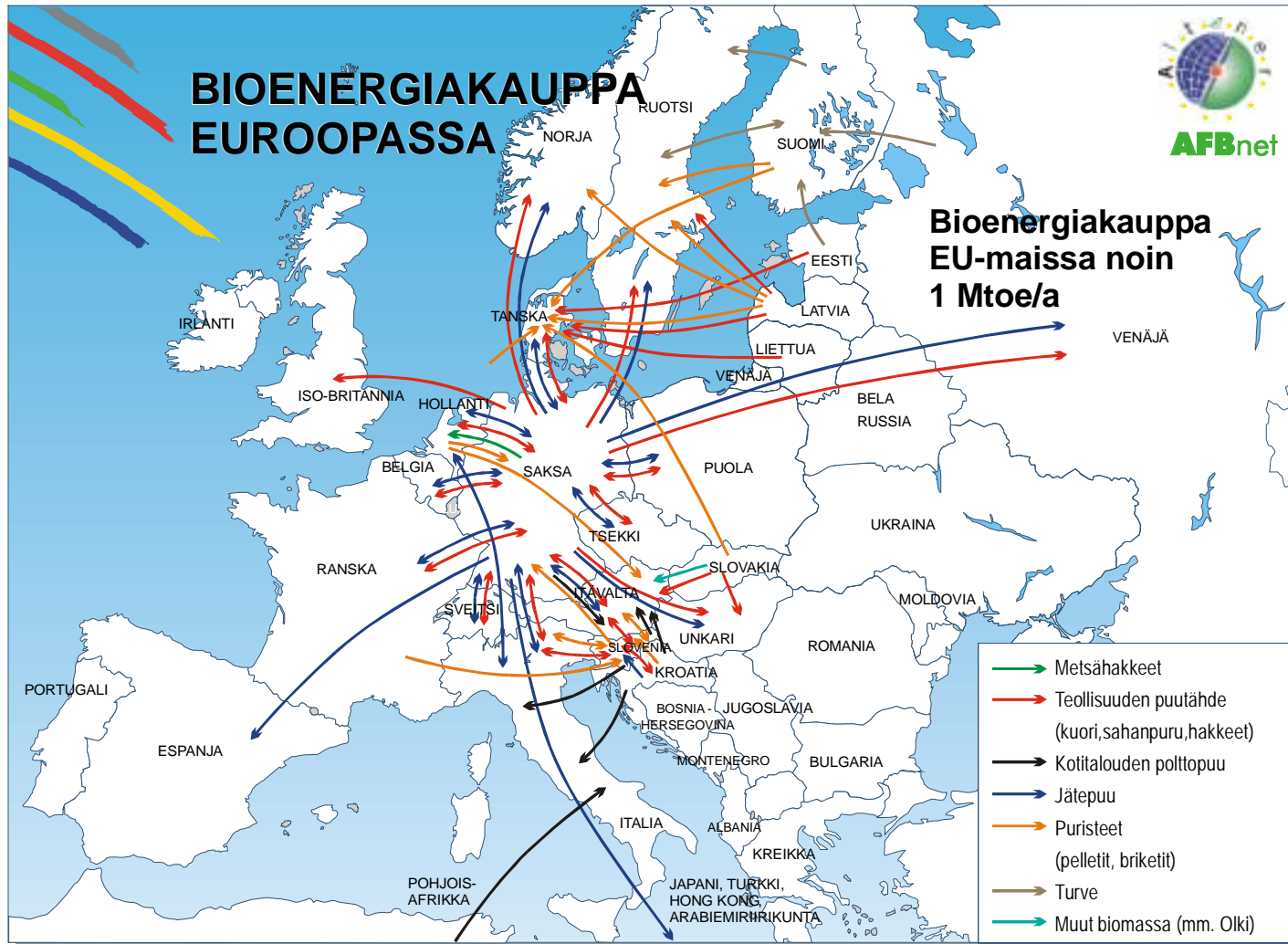
Taulukko 16. Polttoaineiden hintoja 5–50 MW:n laitoksilla (Vesterinen & Alakangas 2001).

EUR/GJ	Metsä-tähteet	Teoll. sivutuott.	Polttopuu	Puujätteet	Jalost. puupolttoaineet	Muut biomassat	Turve	Raskas polttoöljy	Kevyt polttoöljy	Maakaasu	Hilli
Alankomaat	3,3	2,2	6,3*	0,5	5,2*	4,2					
Belgia		1,07	6,05					3,07	6,81	6,6	6,78
Espanja	2,67*	1,38*	3,8*		4,13*	1,78*		6,91*	11,5*	4*	3,46*
Irlanti	2,5	2,45	7,6	-4		6,45	3,75	7,8	8,9	7,75	2,55
Iso-Britannia	4,04		3,33*			3,53		3,07	5,16	2,04	1,89
Italia	8,33*	2,39*	4,81*					4,37*	3,52*	16,2*	
Itävalta	6,7*	2,89				3,85			7,75*	9,53*	8,25*
Latvia	1,6	0,83	1,95*		3,28		2,1	3,5	5,6	3,3	3,6
Portugali	1,25	1,37	2,78*					5	5,06		
Puola	3,17	9,07	5,9	3,31	12,21	12		1,44	3,73	4,57	1,37
Ranska	4,03	1,1	7,2	1,35	10,63			3,6	6,78	3,98	3,6
Romania		0,58*	1,24*					3,91*	7,93*	0,002*	2,29*
Ruotsi	3,39	2,89		2,03	4,75		3,05	2,33	4,33	5,47	1,44
Saksa	3,68*	3,15*	6,13*	2,81*	6,13*	3,37*		2,6	5,83*	3,62	5,07
Slovakia	1,19	2,36	1,01		119	0,83		1,4	3,1	1,1	3,35
Slovenia		1,41	6,35	0,59	14,1				6,77	4,79	6,35
Suomi	2,48	1,71	5,84*	1,17	8,87*	2,21	2,1	4,34	7,19	3,16	3,36
Tanska	4,2	4	8,4*		4,9	3,9		12	13,3	12,6	10

* Hinta alle 5 MW:n laitoksella.

8.1 Biopolttoaineiden tuonti ja vienti

Biopolttoaineiden hintataso on korkein maissa, joissa fossiilisilla polttoaineilla on korkeat verot ja maissa, joissa edellytetään tai tuetaan biopolttoaineiden käyttöä. Biopolttoaineiden käyttökohteista on toistaiseksi ollut puutetta Baltian maissa ja Venäjällä, joista on viety polttoainetta muualle Eurooppaan. Eräiden bioperäisten jätteiden energiakäyttöä on rajoitettu esimerkiksi Saksassa, mikä on edistänyt näiden jakeiden vientiä (kuva 37).



Kuva 37. Polttoaineiden tuonti ja vienti (Vesterinen & Alakangas 2001).

Biopolttoaineiden kuljettamista rajoittaa niiden pieni energiatiheys ja huono varastoitavuus, mitä voidaan parantaa jalostamalla polttoainetta esimerkiksi pelleteiksi tai bioöljyiksi. Jalosteiden merikuljetus on mahdollista jopa maanosasta toiseen.

Biopolttoaineiden maailmankaupan määrään vaikuttaa olennaisesti uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi voimassa oleva lainsäädäntö. Lainsäädäntö, joka edellyttää tiettyä prosenttiosuutta biokomponentteja esimerkiksi liikennepolttoaineissa, lisääisi todennäköisesti biopolttoaineen tuontia ja vientiä. Tällöin voisi tulla kysymykseen biopolttonesteiden valmistus esimerkiksi integroituna metsäteollisuuteen Etelä-Amerikassa tai Kaukoidässä, jossa biomassan kasvu on Eurooppaa nopeampaa.

Voimassa olevan lainsäädännön ja verotuskohtelun perusteella näyttää siltä, että biopolttoainetta tuodaan erityisesti Ruotsiin, Tanskaan, Hollantiin, Saksaan ja Italiaan. Viejinä säilynevät Baltian maista etenkin Latvia ja Viro sekä Venäjä. Saksassa biopolttoaineilla sähköä tuottava alle 20 MW_e laitos saa sähköstään 500 mk/MWh, joka mahdollistaa biopolttoaineesta maksukyvyksi 100–200 mk/MWh eli moninkertaisesti Suomeen verrattuna.

Jos uusiutuvien energialähteiden lisääminen on mahdollista maantieteellisesti missä tahansa esimerkiksi Joint implementation-mekanismi tai vihreiden sertifikaattien kaupan avulla, vähentyy biopolttoaineiden kuljettamistarve ja siten kokonaiskustannukset biopolttoaineiden käytön lisäämisestä vähenevät. Biopolttoaineiden kasvihuonekaasujen vähentämismahdollisuudet ovat kuitenkin eri käyttökohteissa erilaiset, ja biopolttoaineiden käyttö yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa pitkienkin kuljetusmatkojen päässä pysyy kasvihuonepäästöjen suhteen tehokkaampana kuin lauhdesähkön tuotanto lyhyillä kuljetusmatkoilla.

Polttoaineiden kauppaa helpottamaan on valmisteilla sekä puhtaille biopolttoaineille (CEN TC 335) että kierrätyspolttoaineille eurooppalaiset standardit, joissa määritellään polttoaineiden laatuluokat.

9. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet

Tässä luvussa käsitellään kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksia biopolttoaineilla ensin yleisesti ja sitten käyttösektoreittain. Käytettäviä tekniikkavaihtoehtoja ja niiden kehittämistarpeita esitellään yksityiskohtaisemmin seuraavassa luvussa.

9.1 Biopolttoaineiden vaihtoehtoiset käyttökohteet

Biopolttoaineiden käyttökohteet ja -määrät riippuvat luonnollisesti niiden kilpailukykyisyydestä muihin polttoaineisiin verrattuna. Kuten luvusta 2 käy ilmi, biopolttoaineiden riittävyys on Suomessa rajallinen, joten mahdollisia käyttökohteita on enemmän kuin biopolttoaineita on kohtuukustannuksin saatavilla. Käytön lisäämisen painopisteet voidaan jaotella seuraavasti kahteen pääkohteeseen:

- jos sähkö on kallista tai uusiutuvien osuutta sähkön tuotannossa halutaan lisätä: biopolttoaineita käytetään yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa, myös entistä pienemmissä kokoluokissa
- jos hiilidioksidipäästöjä verotetaan lämmön tuotannossa tai fossiilisten polttoaineiden hinta nousee: öljyä korvataan kiinteistöjen lämmityksessä ja kaukolämmöntuotannossa sekä kivihiltä korvataan rannikon CHP-laitoksissa biopolttoaineilla.

Biopolttoaineiden lisäämisen pääkohteita ovat siis lähivuosina yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto sekä kiinteistöjen lämmitys.

Biopolttoaineiden merkittävä käyttö liikennepolttoaineiksi tulee kysymykseen, jos sitä edistetään lainsäädännöllä. Jos maksukyky biopolttoaineista Suomen ulkopuolella kasvaa Suomeen verrattuna merkittävästi, ohjautuu osa biopolttoaineista vientiin. Vastavalla tavalla uusiutuvien käytön lisäämismahdollisuus vähenee Suomesta, jos Suomesta myydään uusiutuvilla tuotetusta energiasta päästövähennykset tai todistukset uusiutuvien käytöstä muihin maihin.

Biopolttoaineiden käytön lisäämisen valintaa eri käyttökohteiden välillä ei voida tehdä ainoastaan kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen kustannustehokkuuden näkökulmasta, koska valittu energian tuotantovaihtoehto vaikuttaa myös moniin muihin seikkoihin. Esimerkiksi puupolttoaineiden lisäkäyttö tiheään asutulla alueella kiinteistöjen lämmityksessä edellyttää käyttäjiltä asiantuntemusta ja hyviä laitteita, jotteivat laitteistojen savukaasut huonontaisi ilman laatua. Samoin korvattaessa puupolttoaineilla

fossiilisten polttoaineita vähennetään samalla energian tuotannon tuontiriippuvuutta ja lisätään työpaikkoja, mitä etuja ei saavuteta korvaamalla puulla turvetta.

Polttoaineiden hiilidioksidipäästökertoimina (g CO₂/MJ) on käytetty seuraavia (Savolainen et al. 2001):

- turve 106
- kivihiili 94,6
- raskas polttoöljy 77,4
- kevyt polttoöljy 72,5
- maakaasu 56,1.

9.2 Kiinteistöjen lämmitys

Hiilidioksidipäästöjä olisi mahdollista vähentää vuoteen 2010 mennessä 1,4–2,2 milj. tonnia vuodessa, kun fossiilinen polttoaine korvataan uusiutuvalla polttoaineella kiinteistöjen lämmityksessä luvun 5 mukaisesti (taulukko 17). Korvattava polttoaine on kevyttä polttoöljyä. Pieni osa lisäkäytöstä voi käytännössä korvata sähkölämmitystä ja hyvin pieni osa raskasta polttoöljyä.

Taulukko 17. Hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuus korvattaessa fossiilisia polttoaineita biopolttoaineella (biopolttoaineella korvaamiselle oletettu 90 %:n hyötysuhde) kiinteistöjen lämmityksessä vuoteen 2010 .

	Biopolttoaineen käyttö fossiilisen polttoaineiden korvaukseen, Mtoe/TWh	Hiilidioksidipäästöjen vähentyminen, milj. tonnia
Perustapaus	0,5 / 5,8	1,4
Maksimitapaus	0,8 / 9,3	2,2
Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman tavoite	0,5 / 5,8	1,4

Kannattavuuslaskelmat luvussa 5 osoittivat, että biopolttoaineiden käyttöönotto oli kaikissa kokoluokassa kannattavaa vuoden 2000 energian hinnoilla uusissa rakennuksissa. Koska investointikustannukset ovat korkeammat kuin muilla järjestelmillä, vain osa rakentajista valitsee biopolttoaineiden käytön. Käyttö- ja huoltotöiden suurempi määrä voi myös olla vaikuttamassa valintaan. Biopolttoaineista tehtyjen jalosteiden käytön lisääntyminen ja tekniikan kehittyminen helpottavat käyttöä, alentavat investointikustannuksia ja vähentävät polton päästöjä.

Eräissä maissa, kuten Ruotsissa, Tanskassa ja Itävallassa, on tuettu biopolttoaineiden käyttöönoton investointeja myös kiinteistöissä. Investointituen saannin ehtona on yleensä hyötysuhteeltaan ja päästöiltään hyväksytyjen laitteiden käyttäminen.

9.3 Kaukolämmitys ja teollisuus

Biopolttoaineiden suurkäytön mahdollinen lisäys vuoteen 2010 on jaettu kaukolämmitykseen ja teollisuuteen taulukossa 18. Biopolttoaineita käytetään näissä kohteissa fossiilisten polttoaineiden ja osin turpeen korvaamiseen, kasvaneen lämmön tarpeen kattamiseen ja sähkön tuotannon lisäämiseen. Koska vuoteen 2010 mennessä biopolttoaineiden lisäyksen ei arvioida vähentävän muiden uusiutuvien energialähteiden, ydinvoiman tai tuontisähkön käyttöä, joista ei ole merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä, laskelmat hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä on tehty korvattaessa sekä maakaasua että kivihiiltä.

Teollisuus, josta merkittävin on metsäteollisuus, on suurin biopolttoaineiden käyttäjä myös tulevaisuudessa. Maksimiskenaariossa lisää kaukolämmitys eniten biopolttoaineiden käyttöä, koska biopolttoaineiden käytön lähtötaso on pieni, 8 % vuonna 1999. Hiilivastapainekattiloissa on arvioitu voitavan korvata noin 5 TWh hiiltä biopolttoaineilla sekä seospolton että erillisten biomassan kaasuttimien avulla.

Taulukko 18. Biopolttoaineiden käytön lisäysmahdollisuudet suurkäyttökohteissa kaukolämmityksessä ja teollisuudessa.

Käyttökohde	Laskenta- vaihtoehto	Arvioitu lisäys- mahdollisuus vuodesta 1999 vuoteen 2010 Mtoe/TWh	Hiilidioksidipäästöjen vähennys (maakaasu-hiili-korvaus) Milj.tonnia
Kaukolämmitys	Perustapaus	0,2 / 1,8	0,4–0,6
	Maksimitapaus	1,2 / 13,8	2,8–4,7
Teollisuus	Perustapaus	0,6 / 6,7	1,4–2,3
	Maksimitapaus	1,0 / 11,8	2,4–4,0
YHTEENSÄ	Perustapaus	0,73 / 8,5	1,7–2,9
	Maksimitapaus	2,2 / 25,6	5,2–8,7

Biopolttoaineiden käytön lisääminen ei edellytä perustapauksessa lisäinvestointeja ja maksimitapauksessa investoinnit ovat pieniä lisäinvestointeja, lukuun ottamatta kierrätyspolttoaineiden käytön edellyttämiä investointeja. Biopolttoaineiden käytön lisäämi-

sen edellytyksenä on luonnollisesti niiden saatavuus kilpailukykyiseen hintaan. Maksimitapauksessa biopolttoaineiden tuotantokustannusten taso on merkittävästi korkeampi (kuva 9) kuin perustapauksessa (kuva 7), jossa kilpailukyky arvioidaan saavutettavan nykyisillä biopolttoaineiden tuki- ja verotasoilla.

9.4 Vertailu biopolttoainevaroihin

Kun biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet kiinteistöjen lämmityksessä ja suurkanjojen käyttökohteissa yhdyskunnissa ja teollisuudessa lasketaan yhteen, päädytään tulokseen, että mahdollisia käyttökohteita on perustapauksessa hieman enemmän kuin tarjolla olevia biopolttoaineita (taulukko 19). Käyttökohteet ja polttoaineiden tuotantomahdollisuudet eivät ole myöskään jakaantuneet tasaisesti, mikä edelleen vähentää laitoksilla käytettävissä olevaa biopolttoainemäärää. Tulos osoittaa myös sen, että edullisimpia polttoainetyppejä ei ole tarjolla perustapauksen koko käyttöä vastaavasti. Perustapauksen käyttömäärä vastaa uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman mukaista käyttömäärää (KTM 1999). Taulukossa ei ole otettu huomioon biopolttoaineiden mahdollista tuontia tai vientiä.

Taulukko 19. Biopolttoaineiden käytön lisäysmahdollisuudet suurkanjojen käyttökohteissa kaukolämmityksessä ja teollisuudessa.

Käyttökohte	Laskenta- vaihtoehdot	Arvioitu lisäys- mahdollisuus vuodesta 1999 vuoteen 2010 Mtoe/TWh	Hiilidioksidipäästöjen vähennys Milj. tonnia
Kiinteistölämmitys	Perustapaus	0,5 / 5,8	1,4
	Maksimitapaus	0,8 / 9,3	2,2
Suurkanjojen käyttökohteet	Perustapaus	0,73 / 8,5	1,4–2,3
	Maksimitapaus	2,2 / 25,6	5,2–8,7
YHTEENSÄ	Perustapaus	1,2 / 14,3	2,8–3,7
	Maksimitapaus	3,0 / 34,9	7,4–10,9
Saatavilla oleva lisäbiopolttoaine	Perustapaus	1,1 / 13	
	Maksimitapaus	3,3 / 38	

Biopolttoaineilla on mahdollista tuottaa edellä esitetyissä perus- ja maksimitapauksissa vuonna 2010 yhteensä 3–6 TWh sähköä enemmän kuin vuonna 1999. Lisäsähköntuotantokapasiteettia, joka ei korvaa käytöstä poistettavaa kapasiteettia, arvioidaan otettavan käyttöön 2000–2010 alle 500 MW. Suurin osa sähköstä maksimivaihtoehdon lisä-

sähkön tuotannossa tuotetaan laitoksissa, joissa käytetään aiempaa suurempia osuuksia biopolttoaineita. Arvio sähkön tuotannosta perustuu nykytekniikan käyttöön (luku 3.3). Uusien tekniikoiden merkitys näkyy merkittävässä laajuudessa vasta pitemmällä ajanjaksolla, sillä monille uusille tekniikoille ehditetaan rakennetaan vasta ensimmäiset demonstraatiolaitokset vuoteen 2010 mennessä.

10. Tekniikan kehitystarpeet

Biopolttoaineiden suurkankäyttökohteissa kilpailukykyä voidaan parantaa

- pienentämällä investointikustannuksia: yksinkertainen rakenne, sarjavalmistus, tehdasvalmistus, muuttamalla nykyisiä laitoksia biopolttoaineiden käyttöön sopivaksi uusinvestointien sijaan
- nostamalla yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) laitoksissa sähkön tuotannon osuutta (rakennusaste) uudella tekniikalla
- aloittamalla CHP-tuotanto entistä pienemmillä lämpökuormilla
- kehittämällä tekniikoita, joissa biopolttoaineilla korvataan nestemäisiä tai kaasumaisia fossiilisia polttoaineita
- pienentämällä käyttökustannuksia: hyötysuhteen parantaminen, automatisointi ja kaukokäyttö käyttökilokunnan tarpeen vähentämiseksi.

Lisätarpeita tekniikan kehitykseen asettavat päästömääräykset. Suurien laitosten päästöraajat on määritelty EU:n LCP-direktiivissä (2001/80/EY), jonka uusia laitoksia koskevat päästöraajat ovat jonkin verran tiukemmat kuin nykyisessä Suomen lainsäädännössä. Jätteiden poltolle on oma direktiivinsä, jonka vaatimukset ovat erityisen tiukat.

Seuraavaan taulukkoon 20 on koottu biopolttoaineiden käyttöön soveltuvia suuren kokuokan voimalaitostekniikoita, joiden kehittämisessä ovat suomalaiset mukana. Uusi tekniikka mahdollistaa aiemman suuremman rakennusasteen, joten sähkön tuotantoa voidaan biopolttoaineilla merkittävästi lisätä. Vuoteen 2010 mennessä sähkön tuotannon lisäys uusilla tekniikoilla perus- ja maksimitapauksen nykytekniikan vaihtoehtoon verrattuna jäänee luokkaan 1 TWh. Vuoteen 2025 mennessä ikääntyy paljon biopolttoaineita käyttäviä CHP-laitoksia ja niiden korvaaminen uuden tekniikan laitoksilla mahdollistaisi jopa sähkön tuotannon lisäämisen 10 TWh vuoden 2010 tasoon verrattuna (Helynen et al. 1999).

Tekniikoiden kaupallistumisaikataulu arvioidaan, samoin kuin arvioidaan, mitä toimenpiteitä tarvitaan tekniikoiden kaupallistamiseksi. Lisäksi on arvioitu, kuinka monta laitosta voitaisiin vuoteen 2010 mennessä rakentaa Suomessa ja EU:ssa. Pohjoismaiden ulkopuolella laitokset toimivat usein vain sähkön tuotannossa, koska tarpeeksi suuria lämpökuormia ei ole tarjolla, poikkeuksena ovat metsäteollisuuden yhteydessä toimivat laitokset.

Taulukko 20. Kehittämisohjelma tekniikoille suuren kokoluokan CHP-laitoksille.

Tekniikka, tyypillinen rakennusaste	Kaupallistumis- aikataulu	Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus	Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010
Seospoltto pölypolttokattiloissa 0,5	Ennen 2005	1–3 demonstraatiota, inv.10– 50 milj.mk/laitos	Suomi: 15 EU: satoja
Uuden sukupolven leijukattilat 0,5	Ennen 2010	1–3 demonstraatiota, inv. 0,75 mrd.mk/500 MW kattila	Suomi: 10 EU: kymmeniä
Uuden sukupolven soodakattilat 0,35	Ennen 2010	1–3 demonstraatiota, inv. 0,5 mrd.mk/200 MW kattila	Suomi: 5 Maailma: kymmeniä
Biomassan kaasutus ja kaasun puhdistus jätteitä käytettäessä 0,5	Ennen 2010	1– 3 demonstraatiota, inv. 0,2mrd.mk/100 MW kaasutin	Suomi: 10 EU: kymmeniä
IGCC 0,7–1,0	2010	1– 3 demonstraatiota, inv.0,5 mrd.mk/100MW polttoaineteho	Suomi: 1–3 EU: kymmeniä
PFBC 0,7–1,0	2010	Tutkimus ja kehitys Demonstrointi 2005, inv. 0,75 mrd.mk/200 MW polttoaineteho	Suomi: 1–3 Maailma: kymmeniä
Mustalipeän kaasutus 0,7	2010 jälkeen	Tutkimus ja kehitys Demonstrointi vaiheittain 2005– 2010	

Taulukkoon 21 on koottu pienen kokoluokan CHP-tuotannon kehittämiskohteita, joista osa nykytekniikan edelleen kehittämistä ja osa uusia tekniikoita. Sähköverkkoon liittymisen tekniset ja hallinnolliset ratkaisut ovat yhteisiä kehittämiskohteita myös muille hajautetuille tuotantomuodoille, kuten tuulienergialle.

Taulukko 21. Kehittämisohjelma tekniikoille pienen kokoluokan CHP-tuotantoon.

Tekniikka, tyypillinen rakennusaste	Kaupallistumis-aikataulu	Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus	Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010
Arinakattila ja höyrykone/turbiini, 0,15- > 0,25	2005	1– 3 demonstraatiota, inv. 25 milj. mk/2,5MW _e	Suomi: kymmeniä EU: satoja
Leijukattila ja höyryturbiini 0,3- > 0,4– 0,5	2005	1– 3 demonstraatiota, inv.40 milj. mk/5 MW _e	Suomi: 10 EU: satoja
Kiinteäkerroskaasutus ja kaasun puhdistus polttomootoria varten 0,6–0,8	2005	1– 3 demonstraatiota, inv. 20 milj. mk/ 2 MW _e	Suomi: kymmeniä EU: satoja
Pyrolyysiöljyn käyttö polttomootorissa 0,6–0,8	2005	1–3 demonstraatiota, inv. 20 milj. mk/ 2 MW _e	Suomi: kymmeniä EU: satoja
ORC-prosessi (+Stirling)	2005	1– 3 demonstraatiota, inv. 2 milj. mk/ 0,2 MW _e	Suomi: kymmeniä EU: satoja
Polttokennot	2005–2010	Tutkimus ja kehitys Demonstrointi käyttökohteittain	Käyttökohteista riippuen: tuhansia–satoja tuhansia
Hajautettujen tuotantomuotojen verkkoonliitäntä	2005– 2010	Tutkimus ja kehitys Demonstrointi kokoluokittain	Käyttökohteista riippuen: tuhansia–satoja tuhansia

Sekä kiinteistöjen lämmityksessä että biopolttoaineiden tuotannossa (taulukot 22 ja 23) on paljon kehittämiskohteita, joissa tekniikan kehittämisen lisäksi tarvitaan liiketoimintakonseptien kehittämistä. Esimerkkinä tällaisesta on nopeasti yleistynyt lämpöyrittäjä, jossa kuluttajalle myydään lämpöä polttoainetoimituksen sijasta.

Taulukko 22. Kehittämisohjelma tekniikoille kiinteistöjen lämmitykseen ja polttoainelajosteiden valmistukseen.

Tekniikka	Kehityskohde	Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus	Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010
Tulisijat	Päästöt, hyötysuhde, käyttömukavuus	Uusien laitteiden kehittäminen	Suomi: tuhansia EU: kymmeniä tuhansia
Automaattiset lämmitysjärjestelmät	Päästöt, hyötysuhde, käyttömukavuus	Uusien laitteiden kehittäminen	Suomi: tuhansia EU: kymmeniä tuhansia
Pellettien valmistus	Laatu, raaka-aineet, kuivaus, energian kulutus	Demonstrointi 1–3 tehtaalla, inv. 10–20 milj.mk/laitos	Suomi: kymmeniä EU: satoja
Pyrolyysiöljyn tuotanto	Tuotantoprosessi, laatu, jakelu, varastointi	Tutkimus ja kehitys, 1–3 demonstraatiota, inv. 50 milj. mk/20 MW	Suomi: 0,6 Mtoe 10 laitoksessa EU: kymmeniä
Muiden biopolttonesteiden valmistus, etenkin metsäteollisuuden sivutuotteista	Tuotantoprosessi, laatu, jakelu, varastointi	Tutkimus ja kehitys demonstrointi	Suomi: useita laitoksia EU: kymmeniä

Taulukko 23. Kehittämisohjelma biopolttoaineiden tuotannon tekniikoille.

Tekniikka	Kehityskohde	Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus	Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010
Metsähake pääte-hakkuilta	Tuotantoketjujen optimointi, laadun hallinta ja varastointi	Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 2– 3 milj. mk/ketju	Suomi: kymmeniä ketjuja EU: satoja ketjuja
Metsähake harvennuksista ja taimikonhoidosta	Kevyiden korjuukoneiden kehittäminen, tuotantoketjun optimointi	Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 0,5– 2 milj. mk/ketju	Suomi: alle sata EU: satoja ketjuja
Hake ja pilke pienkäyttöön	Hyvälaatuiset polttoaineet, varastointi, jakelu	Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 0,1– 0,5 milj.mk/ketju	Suomi: satoja ketjuja EU: tuhansia ketjuja
Peltobiomassat	Korjuuketjujen kehittäminen Integrointi kuidun tai muiden raaka-aineiden tuottamiseen sekä vesien käsittelyyn	Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 1– 2 milj. mk/ketju	Suomi: kymmeniä ketjuja EU: tuhansia ketjuja
Teollisuuden sivutuotteet	Laadun parantaminen kuivauksella Polttoainelajosteiden valmistus: pelletit, bioöljyt	Laitteiden kehittäminen, inv. 0,1–20 milj. mk	Suomi: kymmeniä EU: satoja

Edellä olevat taulukot 20–23 osoittavat, että bioenergian alueella tutkimus- ja kehitystyöllä sekä demonstroinnilla on mahdollista saada vuoteen 2010 mennessä lukuisia uusia tuotteita markkinoille, jotka ovat EU:ssa kymmeniä miljardeja markkoja vuodessa uusiutuvien energialähteiden valkoisen kirjan mukaan (EY 1997). Bioenergian alueella suomalaiset ovat edelläkävijöitä, joten on todennäköisestä, että Suomessa toimivilla yrityksillä on mahdollisuus merkittävien markkinaosuuksien saamiseen. Esimerkiksi leijukattiloissa suomalaisten tuotteiden markkinaosuus maailmassa on yli 50 %.

Arviointien tekeminen bioenergia-alan markkinoista Suomen ulkopuolella on epävarmaa, koska biopolttoaineiden suurenkäyttö on monessa maassa vasta käynnistymässä muissa sovelluksissa kuin metsäteollisuudessa ja yhdyskuntien jätteiden poltossa. Suomea erityisesti kiinnostavia markkinoita ovat esimerkiksi kiinteistöjen lämmityslaitteet (arvio 5,7 mrd. mk/a), CHP-laitokset (3,4 mrd. mk/a) ja metsähakkeen tuotantoketjut (0,8 mrd. mk/a). Arvioiden perusteena olevat oletukset on esitetty liitteessä 1. Suomalaisen bioenergia-alan tuotteiden lisävientipotentiaali on useita miljardeja markkoja vuodessa.

11. Yhteenveto

Selvitysten tulosten mukaan bioenergian käyttöä voidaan lisätä nykyisissä ja suunnitella olevissa yhdyskuntien ja teollisuuden laitoksissa sekä kiinteistöjen lämmityksessä uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa esitettyyn tavoitteeseen 7,8 Mtoe:iin vuoteen 2010 mennessä. Vuoden 1999 käyttöön verrattuna lisäys on 1,2 Mtoe, josta 50 % olisi teollisuudessa, 40 % kiinteistöissä ja loppuosa kaukolämmön tuotannossa. Sähkön tuotanto lisääntyisi vuoteen 1999 verrattuna 3 TWh. Hiilidioksidipäästöjen vähennysmahdollisuus vuoteen 1999 verrattuna olisi 2,8–3,7 milj.CO₂ tonnia korvattaessa fossiilisia polttoaineita. Edullisimmin voidaan lisätä uudistushakkuiden hakkuutähteiden käyttöä ja jätteiden energiakäyttöä nykyisissä laitoksissa. Myös puun ja sen jalosteiden käytön lisääminen kiinteistöjen lämmityksessä on taloudellisesti kilpailukykyistä. Perusvaihtoehdon mukainen biopolttoaineiden käytön lisäys edellyttää nykytukitasoa.

Pienillä lisäinvestoinneilla nykyisiin laitoksiin ja käyttämällä tuotantokustannuksiltaan perusvaihtoehtoa selvästi kalliimpia biopolttoaineita voitaisiin käyttöä lisätä jopa 9,5 TWh:iin vuoteen 2010 mennessä. Käytön lisäys olisi tällöin erityisesti kaukolämmityksessä tuotannossa. Sähkön tuotanto lisääntyisi vuoteen 1999 verrattuna lähes 6 TWh, vaikka sähkön tuotantokapasiteetti ei kasvaisi merkittävästi. Hiilidioksidipäästöjen vähennysmahdollisuus vuoteen 1999 verrattuna olisi 7,4–10,9 milj.CO₂ tonnia. Arvioissa ei ole otettu huomioon jätteiden energiakäytön aiheuttamaa kaatopaikkojen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä.

Vuoteen 2025 mennessä paljon sähköä ja lämpöä tuottavia laitoksia on korvattava uusilla, mikä mahdollistaisi uuden tekniikan laajamittaisen käyttöönoton. Merkittävin mahdollisuus sisältyy uuden korkearakennusasteisen CHP-tekniikan käyttöönottoon kaikissa kokoluokissa, jolloin sähkön tuotantokapasiteettia saadaan nykytilanteeseen verrattuna kaksinkertaisesti olemassa olevaa lämpökuormaa kohti. Lisäsähkön tuotantomahdollisuus biopolttoaineilla olisi noin 10 TWh vuoden 2010 tasoon verrattuna.

Kehitteillä olevista polttoaineiden ja energian tuotannon tekniikoista on arvioitu tarvittava panostus, kaupallistumisaikataulu sekä markkinoiden laajuus Euroopassa. Suomalaisella teollisuudella on uusien tekniikoiden kehittäjänä hyvä asema, koska biopolttoaineiden energiakäytöstä on vuosikymmenien perinteet ja Suomi tarjoaa hyvät puitteet uusien tekniikoiden demonstrointiin. Uusien tuotteiden vienti voi jo lähivuosina kohota useaan miljardiin markkaan vuodessa. Vientimarkkinoiden kasvu riippuu olennaisesti siitä, mitä toimenpiteitä toteutetaan uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi kussakin maassa. Bioenergian käytön lisääminen on useissa maissa kustannustehokasta muihin uusiutuviin energialähteisiin verrattuna, mutta bioenergian laajamittaisesta käytöstä ei ole kokemusta.

Suurin bioenergian käyttömäärien muutoksiin liittyvä epävarmuus aiheutuu Suomessa metsäteollisuuden tuotannon vaihteluista, koska metsäteollisuuden sivutuotteet ovat noin 80 % nykyisestä biopolttoaineiden käytöstä. Esimerkiksi mekaanisen metsäteollisuuden tuotannon lasku viime vuonna on vähentänyt markkinoille tulevaa puupolttoainetta merkittävästi. Suomessa useimmissa suurkanäyttökohteissa biopolttoaineiden käytön edellytyksenä on turpeen saatavuus, millä varmistetaan polttoaineen ympärivuotinen saatavuus ja tasataan laatuvaihtelut. Biopolttoaineiden saatavuuteen ja hintatasoon voi jatkossa vaikuttaa biopolttoaineiden hintataso muissa Euroopan maissa. Biopolttoaineiden vienti Suomesta Keski-Eurooppaan ja tuonti Venäjältä kasvane lähivuosina.

Lähteet

- Alakangas, E. & Flyktman, M. 2001. Biomass CHP Technologies. Jyväskylä: VTT Energia. 54 s. + liitt. 8 s. (VTT Energy Reports 7/2001.)
- Alakangas, E., Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1999. Hakkuutähteestä polttohakkeeksi – Koulutusmateriaali. Jyväskylä: VTT Energia. 82 s.
- Anon. 1998. Mustalipeän kaasutus etenee. Uudet ratkaisut lisäävät sähköntuotantoa. Energia 1998, nro 4–5, s. 54–55.
- Anon. 2000. Black liquor gasification will reduce emissions. Chemical Engineering. Vol. 107, no. 10, s. 19, 21.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuu: Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedokunta. 108 s. (Tiedonantoja 131.)
- Bioenergy 2001. Nordic & European Bioenergy Conference. Proceedings. Denmark, 25–28 September, 2001. 167 s.
- Biotech-uutisia. 2000. Vapo ja PVO kehittävät yhdessä valmistus- ja kaasutusteknologiaa kierrätyspolttoaineille. Nro 2. 30.11.2000. Vapo Oy Biotech.
- DOE. 1990. Assessment of costs and benefits of flexible and alternative fuel use in the U.S. transportation sector. Technical report five: Costs of methanol production from biomass. Washington: Department of Energy. 27 s. (DOE/PE-0097P.)
- EC. 2001. Green Paper Towards a European strategy for the security of energy supply. European Communities. 105 s. ISBN 92-894-0319-5
- Elam, N., Ekström, C., Östman, A. & Rensfelt, E. 1994. Metanol och etanol ur trävara – Huvudrapport. Vällingby: Vattenfall Support AB. 80 p. (UB 1994/1.)
- Energia Suomessa. 1999. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Helsinki: VTT Energia & Edita Oy. 368 s. ISBN 951-37-2745-9
- Energiatilastot 2000. Energia 2001:2. Helsinki, Tilastokeskus. 148 s. + liitt. 1 s. (Suomen virallinen tilasto.) ISSN 0784-9354

Energy Visions 2030 for Finland. 2001. Helsinki: VTT Energia & Edita Oy. 237 s. ISBN 951-37-3596-6

Erickson, D. & Brown, C. 1999. Operating experience with a gasification pilot project. Tappi Journal. Vol. 82, no. 9., s. 48–50.

EY. 1997. Komission tiedonanto. Tulevaisuuden energia: uusiutuvat energialähteet. Yhteisön strategiaa ja toimintasuunnitelmaa koskeva valkoinen kirja. Bryssel 1997. KOM(97) 599 lopull.

Fortum Oyj & Vapo Oy. Hakepolttonesteen koetuotantolaitos rakenteilla. Lehdistöiedote 19.04.2001.

[Http://www.fortum.fi/news_section_item.asp?path=2146;4190;5523;6191](http://www.fortum.fi/news_section_item.asp?path=2146;4190;5523;6191). [Viitattu 20.4.2001.]

Fredriksson, T. 2000. Polttohakkeen tuotanto metsänuudistamisaloilta 2000. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 26 s.

Georgia-Pacific. 2001. Big Island installs innovative emissions system as part of EPA's project XL. <http://www.gp.com/enviro/2000esrep/excellence/bigisland.html>. [Viitattu 21.9.2001.]

Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähde energialähteenä. Vantaan tutkimuskeskus – Kannuksen tutkimusasema, Jyväskylä. 68 s. (Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684.)

Hakkila, P., Nousiainen, I. & Kalaja, H. 2001. Metsähakkeen käyttö Suomessa – Tilannekatsaus vuodesta 1999. Puuenergia-teknologiaohjelma, VTT Energia. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 39 s. (VTT Tiedotteita 2087.)

Helynen, S., Holttinen, H., Lund, P., Sipilä, K., Wolff, J. & Alakangas, E. 1999. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman taustaraportti. Helsinki: KTM Energiaosasto. 112 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja ja raportteja 24/1999.)

Helynen, S. & Nousiainen, I. 1996. Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit. Helsinki: KTM Energiaosasto. 87 s. + liitt. 27 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 26/1996.)

IEA. 2001. Global energy supply outlook. Chapter V: Global renewable energy supply outlook. (Draft report. 27.7.2001.)

- Kaukonen, K. Biomassasta pistorasiaan – Entimos kaasuttaa sähkömarkkinoille. Teoksessa: Bioenergiapäivät 2001. FINBIO, s. 115–120. (FINBIO:n julkaisu 19.)
- Kiiskilä, E., Lääveri, A., Nikkanen, S. & Vakkilainen, E. 1993. Possibilities for new black-liquor processes in the pulping industry: energy and emissions. *Bioresource Technology*. Vol 46, no. 1 & 2, s.129–134.
- Kurkela, E., Simell, P., Ståhlberg, P., Berna, G., Barbagli, F. & Haavisto, I. 2000. Development of novel fixed-bed gasification for biomass residues and agrobiofuels. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 42 s. + liitt. 1 s. (VTT Tiedotteita 2059.)
- Kurkela, E. 2001. Teoksessa: Teknologia ja kasviuonekaasujen päästöjen rajoittaminen. Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Toim: Savolainen, I., Tuhkanen, S. & Lehtilä, A. Helsinki: KTM Energiaosasto. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisu 1/2001.)
- KTM. 1993. Biopolttonestetyöryhmän mietintö. Helsinki: KTM Energiaosasto. 44 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 12/1993.)
- KTM 1999. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. Helsinki: KTM Energiaosasto. 36 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisu 4/1999.)
- Larson, E.D & Raymond, D.R. 1997. Commercializing black liquor and biomass gasifier/gas turbine technology. *Tappi Journal*. Vol 82, no. 12, s. 50–57.
- McCloy, B. W. & O'Connor, D.V. 1998. Wood-ethanol: A BC value added opportunity. Ministry of Environment. Lands & Parks and Environment Canada Pacific & Yukon Region. 71 s.
- McDonald. 1999. Industry's role in commercial gasification: the agenda 2020 perspective. *Tappi Journal*. Vol. 82, no. 12, s. 40–43.
- McKeough, P. & Fogelholm, C.-J. 1991. Development of an integrated gasification-combined-cycle process (IGCC) for black liquor. Teoksessa: ASHRAE. Proc. Intl. Symp. On Energy and Environment. Atlanta, Yhdysvallat. S. 197–205.
- McKeough, P.J., Arpiainen, V., Mäkinen, T. & Solantausta, Y. 1995. Black liquor gasification: downstream processes, plant performances and costs. Teoksessa: TAPPI. International Chemical Recovery Conference Preprints, Toronto 24–25 April 1995. Toronto, Kanada. S. B305–B312.

Mäkinen, T., Kurkela, E., Hepola, J. & Solantausta, Y. 2000. Techno-economic studies on gasification-based energy production concepts and survey on market perspectives in Europe. Espoo: VTT Energia. 75 s. (VTT Energy Research Report ENE1/50/2000.)

Ohlström, M., Mäkinen, T., Laurikko, J. & Pipatti, R. 2001. New concepts for biofuels in transportation. Biomass-based methanol production and reduced emissions in advanced vehicles. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 94 s. (VTT Research Notes 2074.)

Palonen, J., Nieminen, J. & Berg, E. 1998. Thermie demonstrates biomass CFB gasifier at Lahti. Modern Power Systems. February 1998.

PUUENERGIA 2001. Alakangas, E. (toim.). 2001. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 459 s. (VTT Symposium 216.)

Ryynänen, S. 2001. Pienpuun korjuu- ja käyttöteknologia – tilannekatsaus. Helsinki: SIR Development. 30 s. (OPET Finland Raportti 3.)

Savolainen, I., Tuhkanen, S. & Lehtilä, A. (toim.). 2001. Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen. Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Helsinki: KTM Energiaosasto. 198 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 1/2001.)

Solantausta, Y., McKeough, P. & Sipilä, K. 1997. Biopolttonesteet. Helsinki. Kauppa- ja teollisuusministeriö. 105 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 5/1997.)

Solantausta, Y., Mäkinen, T., Kurkela, E. & McKeough, P. 1994. Performance of co-generation gasification combined-cycle power plants employing biomass as fuel. Teoksessa: Bridgwater, A.V. (ed.). Proc. Conf. Advances in Thermochemical Biomass Conversion. Vol. 1. Glasgow, Iso-Britannia. Blackie Academic & Professional. S. 476–494.

Vakkilainen, E. 1997. Soodakattilan haasteet lähestyttäessä seuraavaa vuosisataa. Paperi ja puu. Vol. 79, no. 3, s.

Vesterinen, P. & Alakangas, E. 2001. Export-Import possibilities and fuel prices in 20 European countries, Task 2, AFB-net V - Targeted actions in bioenergy network – Part 1. Jyväskylä: VTT Energia. 48 s.

VN. 2001. Kansallinen ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle. VNS 1/2001 vp. 96 s.

Walwijk, M. van, Bückmann, M., Troelstra, W. P. & Elam, N. 1998. Automotive fuels survey. Part 3. Comparison and selection. IEA/AFIS. 168 s.

Williams, R.H., Larson, E.D., Katofsky, R.E. & Chen, J. 1995. Methanol and hydrogen from biomass for transportation, with comparisons to methanol and hydrogen from natural gas and coal. PU/CEES Report No. 292.

Woodpellets in Europe. 2000. Thermie B DIS/2043/98-AT. January 2000.

Liite A: Markkina-arvioita

Taulukko 1. Arvio metsähakkeen tuotantoketjujen markkinoista eräissä Euroopan maissa.

Oletukset

- tuotanto 100 GWh/a/ketju
- investointikustannukset 2 milj. mk (pitoaika 5 vuotta)
- hakkuutähteen määrä arvioitu kansallisesti (AFB Nett)

	Hakkuutähteet TWh	Ketjuja kpl	Markkinat milj. mk/a
Espanja	16	164	66
Iso-Britannia	4	44	18
Itävalta	42	417	167
Portugali	19	189	76
Puola	28	281	112
Ranska	11	106	42
Ruotsi	15	153	61
Saksa	39	394	158
Suomi	27	267	107
Tanska	3	31	12
Viro	8	83	33
YHTEENSÄ	213	2128	851

Taulukko 2. Arvio kiinteistöjen lämmityslaitemarkkinoista eräissä Euroopan maissa.

Oletukset

- Lämmityslaitteiston peruskorjaus joka 25. vuosi
- Uusissa taloissa puun käytön osuus pysyy ennallaan
- Investointi 20 kmk/a

	Peruskorjaus	Uudet 1 000 kpl/a	Yhteensä	Markkinat milj. mk/a
Belgia	2	0	3	64
Iso-Britannia	9		9	235
Italia	19	4	23	584
Itävalta	23	9	32	801
Norja	14	4	18	458
Ranska	97	3	100	2 500
Ruotsi	23	2	25	627
Suomi	12	3	15	367
Tanska	1	0	1	27
YHTEENSÄ	202	25	227	5 664

Taulukko 3. Arvio biomassa CHP-laitosten markkinoista eräissä Euroopan maissa

Oletukset

- Kansalliset arviot (AFB-Nett), 1998–2010
- Investointikustannukset 2 milj. mk/MW(kattilan lämpöteho)

	Lämpöteho MW	Inv. yht. milj. mk	Vuosittain milj. mk/a
Espanja	5 300	10 600	1 060
Iso-Britannia	600	1 200	120
Irlanti	1 000	2 000	200
Italia	7 200	14 400	1 440
Ranska	250	500	50
Ruotsi	500	1 000	100
Suomi	1 700	3 400	340
Tanska	500	1 000	100
YHTEENSÄ	17 050	34 100	3 410



Tekijä(t) Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Vesterinen, Pirkko			
Nimeke Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä			
Tiivistelmä Bioenergian käyttöä voidaan lisätä nykyisissä ja suunnitteilla olevissa laitoksissa Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman ja kansallisen ilmastostrategian tavoitteeseen 7,8 Mtoe vuoteen 2010 mennessä. Vuoden 1999 käyttöön verrattuna lisäys on 1,2 Mtoe, josta 50 % olisi teollisuudessa, 40 % kiinteistöissä ja loppuosa kaukolämmön tuotannossa. Sähkön tuotanto lisääntyisi vuoteen 1999 verrattuna 3 TWh. Hiilidioksidipäästöjen vähennysmahdollisuus vuoteen 1999 verrattuna olisi 2,8–3,7 milj. CO ₂ tonnia korvattaessa fossiilisia polttoaineita. Edullisimmin voidaan lisätä uudistushakkuiden hakkuutähteiden käyttöä ja jätteiden energiakäyttöä. Pienillä lisäinvestoinneilla nykyisiin laitoksiin ja käyttämällä tuotantokustannuksiltaan kalliimpia biopolttoaineita voitaisiin käyttöä lisätä jopa 9,5 Mtoe:iin vuoteen 2010 mennessä. Vuoteen 2025 mennessä paljon sähköä ja lämpöä tuottavia laitoksia on korvattava uusilla, mikä mahdollistaisi uuden tekniikan laajamittaisen käyttöönoton. Merkittävin mahdollisuus sisältyy uuden korkearakennusasteisen CHP-tekniikan käyttöönottoon kaikissa kokoluokissa. Lisäsähkön tuotantomahdollisuus vuonna 2025 biopolttoaineilla olisi noin 10 TWh vuoden 2010 tasoon verrattuna.			
Avainsanat renewable energy sources, bioenergy, biofuels, energy production, power plants, CHP technology, emissions, carbon dioxide, reduction, Europe			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ			
ISBN 951-38-6054-X (nid.) 951-38-6055-8 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero NOSU00363	
Julkaisu-aika Heinäkuu 2002	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 110 s. + liitt. 2 s.	Hinta C
Projektin nimi Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä		Toimeksiantaja(t) Tekes	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2145
VTT-TIED-2145

Author(s) Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Vesterinen, Pirkko			
Title The possibilities of bioenergy in reducing greenhouse gases			
Abstract The use of bioenergy can be increased in existing and planned plants according to the National Action Plan for Renewable Energy Sources and Climate Strategy, the target of which is 7.8 Mtoe in 2010. Compared to 1999, the growth is 1.2 Mtoe, 50% of which is in industry, 40 % in residential heating and the rest in district heating. Power production would increase 3 TWh compared to 1999. The potential reduction of carbon dioxide emissions would be 2.8-3.7 million ton CO ₂ compared to 1999 when replacing fossil fuels. Forest residues from regeneration fellings and waste have the lowest costs. With small additional investments to existing plants and using biofuels with higher costs, the use of bioenergy could reach 9.5 Mtoe in 2010. Before 2025 most CHP plants shall be replaced with new plants, which would enable to install plants with new technologies. The most promising opportunity is CHP technology with high power-to-heat ratios in all capacity classes. The potential for additional power production from biomass in 2025 would be 10 TWh compared to the level of the year 2010.			
Keywords renewable energy sources, bioenergy, biofuels, energy production, power plants, CHP technology, emissions, carbon dioxide, reduction, Europe			
Activity unit VTT Processes, Koivurannantie 1, P.O.Box 1603, FIN-40101 JYVÄSKYLÄ, Finland			
ISBN 951-38-6054-X (soft back ed.) 951-38-6055-8 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number NOSU00363	
Date July 2002	Language Finnish, English abstr.	Pages 110 p. + app. 2 p.	Price C
Name of project The possibilities of bioenergy in reducing greenhouse gases		Commissioned by Tekes	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

VTT PROSESSIT – VTT PROSESSER – VTT PROCESSES

- 2131 Lehikoinen, Jarmo & Olin, Markus. Modelling the transport in the porous layer of oxide films formed on material surfaces in nuclear power plants. Model extension to more general conditions. 2002. 23 p. + app. 1 p.
- 2132 Carlsson, Torbjörn. Survey of methods for the study of the bentonite microstructure and its relevance to hydration. 2002. 29 p.
- 2133 Vuorinen, Ulla & Carlsson, Torbjörn. XAS methods in understanding chemical processes relevant to nuclear waste disposal. A literature review. 2002. 19 p.
- 2135 Ristolainen, Ilari. Voimalaitos- ja teollisuusrengasverkon maasulun paikannus. 2002. 19 s.
- 2137 Kumpulainen, Heikki, Peltonen, Terttu, Koponen, Ulla, Bergelin, Mikael, Valkiainen, Matti & Wasberg, Mikael. In situ voltammetric characterization of PEM fuel cell catalyst layers. 2002. 28 p. + app. 4 p.
- 2138 Ranta, Jussi & Wahlström, Margareta. Tuhkien laatu REF-seospoltossa. 2002. 53 s. + liitt. 13 s.
- 2139 Lohiniva, Elina, Sipilä, Kai, Mäkinen, Tuula & Hietanen, Lassi. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. 2002. 119 s.
- 2141 Laine-Ylijoki, Jutta, Wahlström, Margareta, Peltola, Kari, Pihlajaniemi, Miina & Mäkelä, Esa. Seospolton tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistusjärjestelmä. 2002. 51 s. + liitt. 59 s.
- 2142 Tuhkanen, Sami. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. 2002. 46 s.
- 2143 Meinander, Harriet & Varheenmaa, Minna. Clothing and textiles for disabled and elderly people. 2002. 58 p. + app. 4 p.
- 2145 Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Vesterinen, Pirkko. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. 2002. 110 s. + liitt. 2 s.

Tätä julkaisua myy
VTT TIETOPALVELU
PL 2000
02044 VTT
Puh. (09) 456 4404
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av
VTT INFORMATIONSTJÄNST
PB 2000
02044 VTT
Tel. (09) 456 4404
Fax (09) 456 4374

This publication is available from
VTT INFORMATION SERVICE
P.O.Box 2000
FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 9 456 4404
Fax + 358 9 456 4374