

04.12.96

**METSÄMME BIOENERGIAN LÄHTEENÄ**  
Pentti Hakkila ja Tage Fredriksson

**METSÄNTUTKIMUSLAITOS**  
**PUUENERGIA RY - TRÄENERGI RF**



04.12.96

# METSÄMME BIOENERGIAN LÄHTEENÄ

Pentti Hakkila ja Tage Fredriksson

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
PUUENERGIA RY - TRÄENERGI RF

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613

Vantaa 1996

PK 15365/2

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto

Hakkila, P. ja Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s. ISBN 951-40-1531-2, ISSN 0358-4283.

---

Kiinnostus metsien mahdollisuuksiin puhtaan energian tuottajana elpyi Suomessa 1990-luvun alussa, kun esiin nousi uusia painavia perusteita puoltamaan teollisuuden raaka-aineeksi soveltumattoman puubiomassan hyödyntämistä fossiilipolttoaineita korvaavana uudistuvana energialähteenä. Taustalla vaikuttivat puuvarojen vajaakäyttö ja nuorten metsien hoidon vaikeutuminen, metsäalan ennenkokematon työttömyys sekä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kohoamisen aiheuttama kasvihuoneilmiö ja yleismaailmallinen ympäristöuhka.

Kauppa- ja teollisuusministeriö sekä maa- ja metsätalousministeriö käynnistivät vuonna 1993 kansallisen bioenergian tutkimusohjelman, jonka siivittämänä energia-puun tuotannon ja käytön edistämiseen ja tehostamiseen tähtäävä toiminta on suuresti vilkastunut, ongelmakenttä selkeytynyt ja tekninen osaaminen ja valmius parantuneet. Tämä katsaus, joka on laadittu Metsäntutkimuslaitoksen ja Puuenergia ry:n yhteistyönä, on uusimman tiedon pohjalta tehty synteesi metsäenergian merkityksestä ja mahdollisuuksista metsä-, ympäristö- ja kansantaloudessamme.

Tarkastelun kohteina ovat puun polttoaineominaisuudet, metsiimme kätkeytyvä energioreservi, energiapuun tuotannon tekniikka ja kustannukset, energiapuun käyttö, työllisyys- ja ympäristövaikutukset, puun energiakäytön kansantaloudellinen tausta sekä yhteiskunnan puun energiakäytölle antama taloudellinen tuki. Energiapuun saatavuus riippuu tulevaisuudessa mm. ensiharvennuspuun hyväksymisestä kuituteollisuuden raaka-aineeksi, mutta varovaistenkin laskelmien mukaan teknisesti korjuukelpoinen vuotuinen energioreservi on 10—15 milj. m<sup>3</sup>, josta aikaisemmin oletettua mittavampi osuus koostuu uudistushakkuualojen oksa- ja runkopuutähteestä. Jos puun energiakäyttö kasvaisi 10 miljoonalla m<sup>3</sup>:llä vuodessa, sen työllistävä vaikutus vastaisi välittömästi 5000 ja välillisine kerrannaisvaikutuksineen 11 000 työvuotta. Fossiilipolttoaineitten käyttöä voitaisiin supistaa 2 milj. öljytonnia vastaavalla määrällä vuodessa, ja hiilidioksidin päästöt vähenisivät vuoden 2010 ennustetasolla 8 %. Metsäenergiareserviemme hyödyntäminen edellyttää kuitenkin yhteiskunnan tukitoimia, kunnes pien- ja jätepuusta tehdyn hakkeen kustannukset hankintaketjujen kehittyessä ja toiminnan laajentuessa muodostuvat fossiilipolttoaineisiin verrattuina liiketaloudellisesti kilpailukykyisiksi.

**Avainsanat:** metsäenergia, energioreservi, energiapuun käyttö, korjuutekniikka, työllisyys, ympäristövaikutukset

**Julkaisijat:** Puuenergia ry ja Metsäntutkimuslaitos. Hanke: 3137. Hyväksynyt: Aarne Reunala 4.10.1996.

**Kirjoittajien yhteystiedot:** *Pentti Hakkila:* Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa. Puhelin: 09-857 051, Fax: 09-8570 5361. *Tage Fredriksson:* Puuenergia ry, Maistraatinportti 4 A, 00240 Helsinki. Puhelin: 09-1562247, Fax: 09-1562232.

**Jakelu:** Puuenergia ry, Maistraatinportti 4 A, 00240 Helsinki, Puhelin: 09-1562247, Fax: 09-1562232. Metsäntutkimuslaitos, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki. Puhelin: 09-857 051, Fax: 09-625 308.

---

# Sisällys

---

Esipuhe .....	4
1 Johdanto .....	5
2 Puu polttoaineena .....	8
3 Metsiemme energiareservi .....	12
3.1 Taimikoitten pienpuu .....	13
3.2 Ensiharvennuspuu .....	16
3.3 Uudistushakkuualojen viherenergia .....	17
3.4 Korjuukelpoinen metsäenergiareservi .....	20
4 Energiapuun tuotannon tekniikka .....	24
4.1 Pilkkeen tuotanto .....	25
4.2 Hakkeen tuotanto pienpuusta .....	26
4.3 Hakkeen tuotanto hakkuutähteestä .....	29
4.4 Kuitu- ja energiapuun yhdistetty korjuu .....	32
4.5 Hakkeen tuotantokustannukset .....	37
5 Energiapuun käyttö .....	41
5.1 Puu pientalojen lämmön lähteenä .....	41
5.2 Puu lämmityslaitosten polttoaineena .....	45
5.3 Puu metsäteollisuuden energialähteenä .....	49
5.4 Puun käyttö sähkön tuotantoon .....	51
5.5 Puupolttoaineitten jalosteet .....	53
5.6 Puu Suomen energiataseessa .....	55
6 Metsäenergia ja työllisyys .....	59
7 Puun energiakäytön kansantaloudellinen tausta .....	63
8 Metsäenergia ja ympäristö .....	67
8.1 Tehostettu talteenotto ja metsämaan ravinnetasapaino .....	67
8.2 Puuta poltettaessa syntyvät päästöt .....	70
8.3 Tuhkan kierrätys .....	75
8.4 Metsäenergia ja kasvihuoneilmiö .....	79
9 Puun energiakäytön tuki .....	83
10 Puuenergia ry — Träenergi rf .....	88
Kirjallisuutta .....	89

# Esipuhe

Kuluvan vuosikymmenen alussa kotimainen metsäenergia nousi jälleen vilkkaan julkisen keskustelun kohteeksi. Kimmokkeina olivat puuvarojen vajaakäyttö, haja-asutusalueitten vaikea työllisyystilanne sekä poltossa syntyvien hiilidioksidipäästöjen aiheuttaman kasvihuoneilmiön tiedostaminen ja vuonna 1992 Rio de Janeirossa tehty kansainvälinen ilmastosittemus.

Metsäntutkimuslaitos toi keskusteluun metsäsektorin näkökulman Metsäenergianimisessä Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannossa nro 422, jonka kirjoittajina olivat Ari Ferm, Pentti Hakkila, Kari Mielikäinen ja Jari Parviainen. Samaan aikaan valmistui kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmän mietintö puun energiakäytön edistämisestä (Puun energiakäyttö 1993). Koska aihepiirin tutkimus oli ollut pitkään säästöliekillä, kummassakin julkaisussa jouduttiin turvautumaan paljolta kymmenenkin vuoden takaisiin tilastotietoihin ja tuloksiin.

Vuonna 1993 käynnistyi *kansallinen bioenergian tutkimusohjelma*. On kehitetty ja toteutettu uusia puun energiakäyttöä edistäviä teknisiä ratkaisuja, ja metsäenergian hyödyntämisen ongelmakenttä on selkeytynyt. Metsäenergian käyttö on kasvanut kuitenkin vain hitaasti.

Nyt, kolme vuotta myöhemmin, metsäteollisuus on selviytynyt lamasta, ja sen puunkäyttö on kivunnut ennätystasolle. Monimuotoisuuden tavoite on alkanut muovata metsänhoitokäytäntöä ja uhkaa supistaa markkinoille tulevan puun tarjontaa. Puuvarojen vajaakäyttöongelma on lientynyt ja muuttanut luonnettaan, mutta ennenkokematon massatyöttömyys ja kasvihuoneilmiöjäytävät yhteiskuntaa entistä syvällisemmin. Puun energiakäytön yhteiskunnallinen tausta on näin saanut uusia ulottuvuuksia.

Kun keskustelu energiapolitiikkamme linjauksista edelleen jatkuu, on käynyt tarpeelliseksi laatia ajantasainen kooste metsäenergian mahdollisuuksista. Tämä katsaus on tehty *kauppa- ja teollisuusministeriön myöntämän määrärahan turvin Metsäntutkimuslaitoksen ja Puuenergia ry:n yhteistyönä*. Metsäntutkimuslaitoksessa työ kuuluu Puuvarojen käyttömahdollisuuksien tutkimusohjelmaan. Katsaus julistaa myös *Puun vuoden viestiä*, jonka ytimenä on mekaanisen metsäteollisuuden mahdollisuuksien hyödyntäminen mutta johon hyvin liittyy myös puun energiakäyttömahdollisuuden tunnetuksi tekeminen ja pien- ja jätepuun jalostaminen puhtaaksi energiaksi.

Aineiston keruussa on avustanut metsätal.ins. Hannu Kalaja. Puhtaaksikirjoitus- ja toimitustyöstä ovat huolehtineet Maija Heino ja Essi Puranen. Arvokkaita kommentteja käsikirjoitukseen ovat tehneet tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen Metsäntutkimuslaitoksesta sekä Puuenergia ry:n hallituksen työvaliokunnan jäsenet.

Lausumme parhaat kiitoksemme kaikille työhön myötävaikuttaneille.

Helsingissä, lokakuussa 1996

Pentti Hakkila  
Metsäntutkimuslaitos

Tage Fredriksson  
Puuenergia ry - Träenergi rf

# 1 Johdanto

*Puuenergia* tarkoittaa puuperäisestä raaka-aineesta (puu, kuori, neulas, teollisuuden puujäte, sulfaattiseluteollisuuden jäteliemi) tai sen jalosteesta tuotettua energiaa. Vaikka koko maapallon mittakaavassa puolet kaikesta käyttöpuusta korjataan polttoaineeksi, Suomessa suoraan energiakäyttöön ohjataan pääsääntöisesti vain teollisuuden raaka-aineeksi soveltumatonta pienpuuta ja metsä- ja teollisuustähdettä. Poikkeuksellisesti energian tuotanto saattaa kuitenkin olla puun kasvatuksen pääasiallinenkin tavoite. *Metsäenergia* on hieman suppeampi käsite tarkoittaen tässä julkaisussa kestäväen metsätalouden puitteissa tuotetusta biomassasta kehitettyä energiaa. Peltoviljelyksenomaisesti kasvatettu *lyhytkiertoinen energiapuu* ei sisälly näin rajattuun metsäenergian mutta kylläkin puuenergian käsitteeseen.

Puuenergian yleisesti tunnettuja *etuja ovat uusiutuvuus, puhtaus, kotimaisuus, paikallisuus, työllistävyys sekä metsien hoidon edistäminen*. Kannustimena ovat pikemminkin välilliset alue-, kansan- ja ympäristötaloudelliset kuin välittömät liiketaloudelliset hyödyt. Ympäristövaikutuksia ei kuitenkaan sisällytetä energian hintaan, vaan maksajaksi joutuu aiheuttajan sijasta vahingon kärsijä. Kun *ympäristökustannukset näin ulkoistetaan*, uusiutuvien ja uusiutumattomien energialähteitten hintasuhteet vääristyvät, eikä markkinoilla synny kannustetta energiaa säästävän ja uusiutuvia energiavaroja hyödyntävän tekniikan käyttöönottoon. Muodostuu *energiatekniikan kehityksen kannustusloukku* (Biaudet ym. 1996).

Vaikka energiapoliittiset ratkaisut ja investoinnit on tehtävä pitkällä, kymmenienkin vuosien tähtäyksellä, julkishallinnon tuki metsäenergialle on usein poukkoilevaa ja lyhytjänteistä. Kiinnostus on virinnyt ja hiipunut paljolta taloudellisten suhdanteitten ja fossiilipolttoaineitten hintojen heilahtelun tahdissa, ja peräkkäiset verot ja energiapoliittiset päätökset ovat saattaneet olla ristiriitaisia, vastakkaisiin suuntiin vaikuttavia.

Kuten aikoinaan oli hetkellisesti tapahtunut jo 1930-, 1950- ja 1970-luvuilla, jälleen myös 1990-luvun alussa yhteiskunnassa heräsi aito kiinnostus metsäenergian mahdollisuuksiin. Poikkeuksellisen painavat ja osaksi aivan uudenlaiset syyt puolsivat nyt heikkolaatuisen puubiomassan hyödyntämistä energian lähteenä:

- Metsiemme kasvun nopeutuminen ja metsäteollisuuden syvä kustannuskriisi johtivat vuosikymmenen alussa *puuvarojen vajaakäyttöön*, jonka vallitessa pienikokoisesta ensiharvennuspuusta näytti muodostuvan markkinakelvoton ongelmatuote. Ensiharvennuspuun kysynnän tyrehtyminen uhkasi järkyttää koko metsänhoitojärjestelmäämme. Puun energiakäyttö nähtiin eräänä ratkaisumallina pienikokoisen puun hyödyntämiseen ja sen kautta nuorten metsien hoitoon.
- Talouselämän syvä lama ja rakennemuutos sekä niitten kiihottama puunkorjuun huikea koneellistamiskehitys kasvattivat *metsäalan työttömyyden* kuluvan vuosikymmenen alkupuolella ennennäkemättömiin mittasuhteisiin. Hak-

kuukoneitten käyttöönotto kaksinkertaisti korjuutyön tuottavuuden viidessä vuodessa jättäen samalla tuhansia ammattimetsureita työttömiksi. Energiapuun talteenoton toivottiin elvyttävän metsäalan työllisyyttä erityisesti haja-asutusalueilla.

- Sekä kansallisesti että yleismaailmallisesti herättiin tiedostamaan *fossiilipolttoaineista ilmakehään vapautuvan hiilidioksidin aiheuttama kasvihuoneilmiö* maapallon vakavimpana ympäristöuhkana. Ongelman torjumisen ymmärrettiin edellyttävän öljyn ja kivihiilen käytön rajoittamista energiaa säästämällä ja vaihtoehtoihin energialähteisiin turvautumalla.

Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä katsoi syksyllä 1993, että metsäenergian käytön kasvu edellyttää paitsi taloudellisia ja hallinnollisia ohjauskeinoja myös tutkimus- ja kehitystoiminnan tehostamista (Puun energiakäyttö 1993). Niinpä kauppa- ja teollisuusministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö käynnistivät vuoden 1993 alussa kuusivuotiseksi suunnitellun *kansallisen bioenergian tutkimusohjelman*, jonka koordinaatiolaitokseksi nimitettiin ensiksi VTT Energia ja vuoden 1996 alusta lähtien Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. Tarkoitukseen myönnetty julkinen rahoitus on vuodesta 1995 lähtien jaettu pääasiassa TEKESin kautta.

Ohjelman käynnistysajankohtaan verrattuna puuvarojen vajaakäyttötilanne on väistymässä vientimarkkinain elpymisen, metsäteollisuuden tuotantokapasiteetin kasvun, suojelutarkoituksiin varatun metsäalan laajenemisen ja luonnon monimuotoisuuden arvonnousun myötä. Ensiharvennusleimikotkin ovat jälleen ainakin osittain markkinakelpoisia kuitupuukohteita, joten puun energiakäytön metsänhoidollinen merkitys on siltä osin ehkä jossain määrin supistunut. Mutta bioenergian tutkimusohjelman muut yhteiskunnalliset kantovoimat - massatyöttömyys ja kasvihuoneilmiön aiheuttama ilmaston lämpeneminen - ovat edelleen ajankohtaisia ja puoltavat tutkimusohjelman jatkamista. Kun nämä mittasuhteiltaan jättimäiset ongelmat tulevat nykyäkymien valossa jatkumaan pitkään, metsäenergian merkitys on ymmärretty ja tunnustettu yhteiskunnan kaikissa piireissä. Tutkimusohjelmaa vähättelevät ja sen supistamista vaativat kannanotot ovat enää harvinaisia poikkeuksia (vrt. Kara 1996).

Tuotannon tekniikkaan ja hankintajärjestelmään on löydetty viime vuosina uusia ratkaisumalleja, jotka omalta osaltaan tasoittavat tietä metsiemme energiapotentiaalin hyödyntämiselle. Kuitenkin on jo ohjelman alusta lähtien ollut ilmeistä, ettei riittävää kustannuskilpailukykyä voida vielä pitkään aikaan saavuttaa yksinomaan tutkimuksen ja menetelmäkehittelyn keinoin, vaan samanaikaisesti *tarvitaan uudistuvien energialähteiden käyttöönottoa tukevaa energiapolitiikkaa*.

Tässä katsauksessa valotetaan metsäenergian asemaa ja potentiaalia maamme monimuotoisessa energiataloudessa, kuvataan sen tuotannon tekniikkaa ja käyttökohteita sekä tarkastellaan eräitä yhteiskunnallisia ja ympäristön tilaan liittyviä metsäenergian käytön seurannaisvaikutuksia. *Tekstissä käytetään yleisimmin seuraavia mityksiköitä ja lyhenteitä*. Huomattakoon, että puun ja puubiomassan energiasisältö riippuu käytännössä puulajista, puun kosteudesta ja muista puuteknisistä tekijöistä. Siten esimerkiksi luvut puukuutiometrin energiasisällöstä eivät ole täsmällisiä vaan ainoastaan suuntaa-antavia nyrkkisäännönomaisia vertailuarvoja.

### Puun tilavuusyksiköitä:

$m^3$  = kiintokuutiometri. Runkopuun ja biomassan tilavuuden ensisijainen mittayksikkö, ellei symbolein toisin osoiteta. Yksi  $m^3$  vastaa 2,2—2,6  $i\text{-}m^3$  haketta.

$i\text{-}m^3$  = irtokuutiometri haketta = noin 0,38—0,46  $m^3$ . Käytetään  $m^3$ :n sijasta eräissä tapauksissa hakkeen tilavuusmittayksikkönä.

### Energiayksiköitä:

MJ = megajoule = 0,278 kWh

GJ = gigajoule = 1000 MJ = 0,278 MWh

kWh = kilowattitunti = 3,60 MJ. Yksi kg puun kuivamassaa sisältää 40 %:n kosteudessa noin 5 kWh energiaa

MWh = megawattitunti = 1000 kWh. Yksi  $m^3$  puuta sisältää puulajista riippuen noin 2 MWh energiaa

GWh = gigawattitunti = 1000 MWh

TWh = terawattitunti = 1 000 000 MWh. Miljoona  $m^3$  puuta on noin 2 TWh

toe = ekvivalenttinen öljytonni eli yhtä öljytonnia vastaava energiamäärä = 11,28 MWh. Yksi toe on 5—6  $m^3$  puuta

### Polttoaineitten energiasisältö:

	Yksikkö	Energiasisältö		
		toe	MWh	GJ
Raskas polttoöljy	t	1,00	11,28	40,61
Kevyt polttoöljy	t	1,04	11,73	42,23
Kivihiihi	t	0,63	7,11	25,58
Maakaasu (20°C)	1000m <sup>3</sup>	0,86	9,64	34,92
Palaturve	m <sup>3</sup>	0,12	1,40	5,03
Jyrsinturve	m <sup>3</sup>	0,08	0,90	3,25
Hake	$i\text{-}m^3$	0,08	0,85	3,06
Hake	m <sup>3</sup>	0,18	2,00	7,20

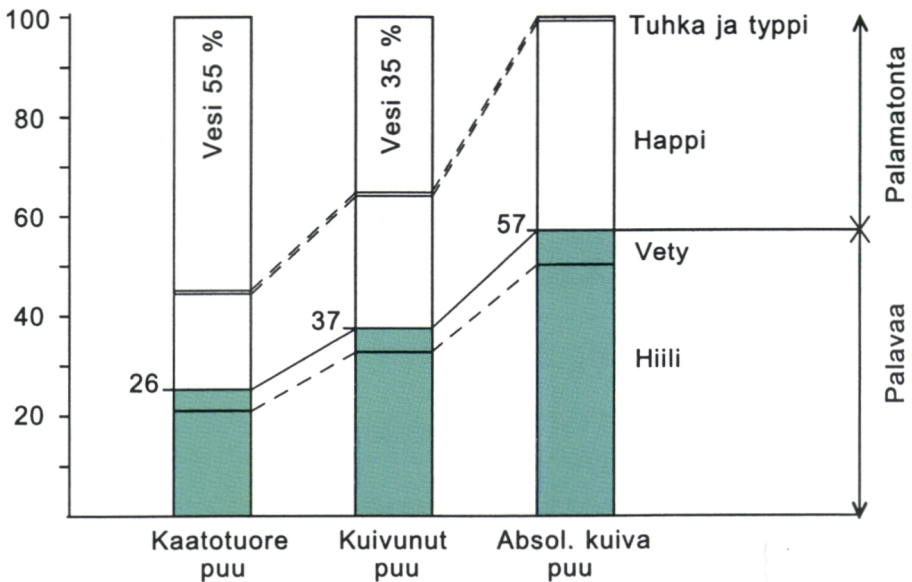
# 2 Puu polttoaineena

Kiinteän polttoaineen *palamistapahtuma on sarja peräkkäisiä reaktioita*. Palaminen käynnistyy polttoaineen lämpenemisellä ja veden poistumisella, mitä seuraa haihtuvien ainesosien kaasuuntuminen ja kaasujen palaminen liekin muodossa ulkopuolisen hapen turvin. Haihtuvien aineitten osuus on puupolttoaineissa suuri, ja siksi puu palaa korkealla liekillä paljon palamistilaa vaatien. Haihtumattomasta kiinteästä aineesta muodostuu vähähappisessa tilassa ensin puuhiiltä ja muita pyrolyysituotteita, jotka palavat vasta prosessin viimeisessä vaiheessa.

Polttoaineen *lämpöarvo määräytyy hiili- ja vetytitoisuuden mukaan*, sillä vain hiili ja vety ovat palavia (kuva 1). Puubiomassan alkuainekoostumus on seuraava:

Osuus kuorellisen puun kuivamassasta, %	
Palavat alkuaineet:	
Hiili	51
Vety	6
Palamattomat alkuaineet:	
Happi	42
Typpi	0,3
Mineraaliaineet	0,7
<b>Yhteensä</b>	<b>100,0</b>

Osuus massasta, %



Kuva 1. Palavan ja palamattoman aineen osuus tuoreessa ja kuivassa puussa.

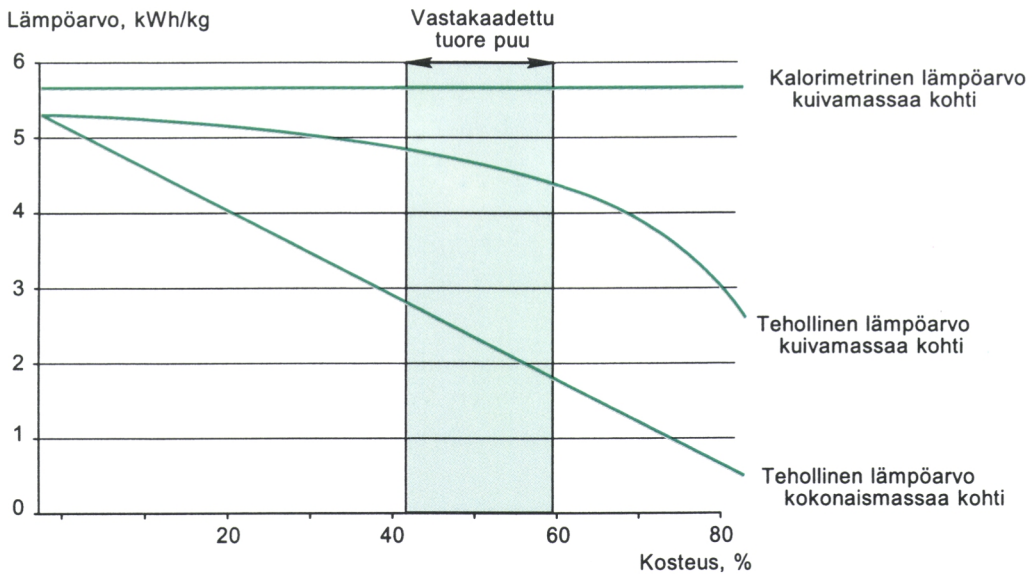
Kiintokuutiometri kuorellista runkopuuta sisältää puutavaralajista riippuen 180—250 kg hiiltä ja 20—30 kg vetyä. Palamisprosessissa hiili ja vety yhtyvät happeen. *Palamistuotteina syntyy puukuutiometriä kohti 660—920 kg hiilidioksidia ja 100—150 kg vettä.* Hiilidioksidi ja vesi palautuvat ilmakehään ja jatkavat luonnollista kiertokulkuaan.

Yhteyttämisprosessissa lehtivihreän avulla biomassaan sitoutunut auringon energia vapautuu palamisen yhteydessä. Vapautuvan energian määrä ilmaistaan puun *kalorimetrinenä lämpöarvona*, jonka yksikkö on MJ/kg tai kWh/kg. Osa lämpöenergiasta kuluu kuitenkin puussa jo ennestään olevan sekä vedystä poltossa syntyvän veden höyrystämiseen. Puun *tehollinen lämpöarvo* osoittaa vapautuvan lämpöenergian määrän vähennettynä veden höyrystymiseen kuluvalla energialla, kun vesihöyryn oletetaan savukaasujen mukana poistuessaan jäähtyneen polttoaineen alkuperäiseen lämpötilaan. Kalorimetrinen lämpöarvo (ylempi lämpöarvo) on aina korkeampi kuin tehollinen lämpöarvo (alempi lämpöarvo). Ero on absoluuttisen kuivassa puussa 0,37 kWh/kg eli noin 6 %, ja se kasvaa puun kosteuden mukana (kuva 2).

*Kuivamassayksikön energiasisältö* riippuu siis sen kemiallisesta koostumuksesta. Alkuainekoostumuksen eroista johtuen selluloosan lämpöarvo on 4,9 kWh/kg, ligniinin 7,1 kWh/kg ja pihkan lähes öljyn veroinen eli noin 10,3 kWh/kg (Kollmann 1951). Lehtipuussa on enemmän selluloosaa ja vähemmän ligniiniä kuin havupuussa, ja siksi sen lämpöarvo on alhaisempi, mutta suomalaisten puulajien väliset lämpöarvoerot ovat kuitenkin vähäisiä. Poikkeuksen muodostaa koivun kuori, jonka ulko-osa eli tuohi sisältää runsaasti suberiinia ja betuliinia. Seuraava asetelma osoittaa pienikokoisen puuston eri biomassaositteitten lämpöarvon absoluuttisen kuivaa biomassaa kohti laskettuna Etelä-Suomessa (Nurmi 1993):

	Mänty	Kuusi	Koivu
	Tehollinen lämpöarvo kWh/kg (kosteus 0 %)		
Runkopuu	5,4	5,3	5,2
Rungon kuori	5,4	5,2	6,3
Oksat kuorineen	5,6	5,5	5,5
Lehdet	5,8	5,3	5,5

Puubiomassassa on aina jo alunperinkin vettä, joka alentaa tehollista lämpöarvoa, sillä *veden höyrystäminen vaatii energiaa 0,68 kWh/kg*. Tuoreessa puussa vettä on 360—500 kg/m<sup>3</sup>, hyvin kuivuneessa puussa vain 100—170 kg/m<sup>3</sup>. Kosteuden vaikutus lämpöarvoon nähdään kuvasta 2. Edellä on jo mainittu polton yhteydessä kehittyvästä vedestä.



Kuva 2. Kosteuden vaikutus puun lämpöarvoon.

Kun biomassasta paineen alaisena syntyi muinaisuudessa fossiilisia polttoaineita, tapahtui kemiallisia reaktioita, joiden seurauksena palavien alkuaineitten osuus kuivamassasta kasvoi. Hiilen ja vedyn yhteenlaskettu osuus on puussa noin 57 %, turpeessa 60 %, hiilessä 75—80 % ja öljyssä peräti 99 %. Siksi fossiilipolttoaineitten teholliset lämpöarvot ovat korkeampia kuin puun: vedettömällä turpeella 5,7—6,3 kWh/kg, kivihiilellä 7—9 kWh/kg ja raskaalla polttoöljyllä 11,2—11,4 kWh/kg.

Kiintotilavuusyksikön energiasisältö riippuu edellisen ohella myös puuaineen tiheydestä. Kokopuuraaka-aineen kuiva-tuoretiheys on koivulla noin 470, mänyllä 380, kuusella 390 ja harmaalepällä 360 kg/m<sup>3</sup>. Irtotilavuusyksikön energiasisältöön vaikuttaa lisäksi puubiomassan tiiviys, joka polttihakkeella vaihtelee raaka-aineesta, hakkurista, kuormaustavasta ja matkasta riippuen yleensä välillä 0,38—0,46. Yleisluonteisissa laskelmissa voidaan käyttää seuraavia tehollisia lämpöarvoja, joissa puun kosteudeksi oletetaan 40 % ja hakkeen kiintotiheydeksi 0,42:

	Tehollinen lämpöarvo	
	MWh/m <sup>3</sup>	MWh/i-m <sup>3</sup>
Kokopuuhake:		
Havupuu	1,9	0,8
Koivu	2,3	1,0
Harmaaleppä	1,7	0,7
Hakkuutähdehake:		
Mänty	2,0	0,8
Kuusi	2,2	0,9

Puun energiasisältö ilmoitetaan käytännössä yleensä tehollisena lämpöarvona, jolloin siis sekä puussa jo alunperin olevan että palamisessa syntyvän veden höyrystämisen vaatima energia vähennetään kalorimetrisestä lämpöarvosta. Ero on yleensä 10—20 %. *Polton ja poltonjälkeinen lämmön talteenoton hyötysuhde* on tapana laskea polttoaineen tehollisesta lämpöarvosta.

Uusinta lämpölaitostekniikkaa sovellettaessa kuitenkin *myös höyrystämiseen käytetty energia voidaan ottaa talteen savukaasut lauhduttamalla*. Savukaasujen lämpöenergiaa voidaan hyödyntää vaihtoehtoisesti myös kostean polttoaineen kuivatukseen. Jos laskennan lähtökohtana on biomassan tehollinen lämpöarvo, uudenaikaisen kattilan laskennallinen hyötysuhde saattaa näillä keinoin nousta jopa yli 100 %:n, kun myös ylemmän ja alemman lämpöarvon ero kyetään hyödyntämään. Siksi Ruotsin metsäenergiapotentialia koskevissa uusissa arvioissa onkin lähdetty olettamuksesta, että vuonna 2020 puolet lämpölaitoksista ottaa kehittyneellä lauhdutustekniikalla takaisin polttoaineen höyrystämiseen käytetyn energian ja että 10 % lämpölaitoksista kuivattaa hakkeensa savukaasujen hukkalämmöllä. Näillä kehitysodotuksilla Ruotsin metsäenergiapotentialia arvioidaan uusimmissa laskelmissa 10 % korkeammaksi kuin tehollisen lämpöarvon pohjalta perinteisesti laskien (Hektor ym. 1995).

Poltossa vapautuva hiilidioksidi palautuu ilmakehään. Polttoaineen *hiilidioksidin ominaispäästö* riippuu lämpöarvosta ja kemiallisesta koostumuksesta. Tehollista lämpöarvoa kohti laskettuna se on maakaasulla noin 200, öljyllä 270, hiilellä 340 ja turpeella ja puulla 400 g CO<sub>2</sub>/kWh. Maakaasu on siis ominaispäästön suhteen muita polttoaineita edullisempi ja puu näennäisesti kehnempi.

*Puun osalta on kuitenkin kysymyksessä hiilen luonnollinen kiertokulku*. Kestävän puuntuotannon olosuhteissa puun lahoamisessa ja poltossa ilmakehään vapautuva hiilidioksidi näet sitoutuu ennen pitkää takaisin puuston biomassaan eikä fossiilipolttoaineitten tapaan jää pysyvästi kohottamaan ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Turve sen sijaan, vaikka koko valtakunnan puitteissa onkin alati kasvava ja hiilidioksidia sitova biomassavara, ei yksittäisen turvetuotantosoon puitteissa ole uusiutuva.

On syytä korostaa, ettei puubiomassakaan kaikkialla ole hiilidioksidipäästöjen suhteen ympäristöystävällinen polttoaine. Edellytyksenä on, ettei polttopuun käyttö johda puuvarojen hupenemiseen ja niihin sitoutuneen hiilen pysyvään vapautumiseen, kuten useissa kehitysmaissa nyt tapahtuu. Olosuhteissa, joissa metsätaloutta ei harjoiteta kestäväällä pohjalla, fossiilipolttoaineet saattavat olla puuta parempi vaihtoehto.

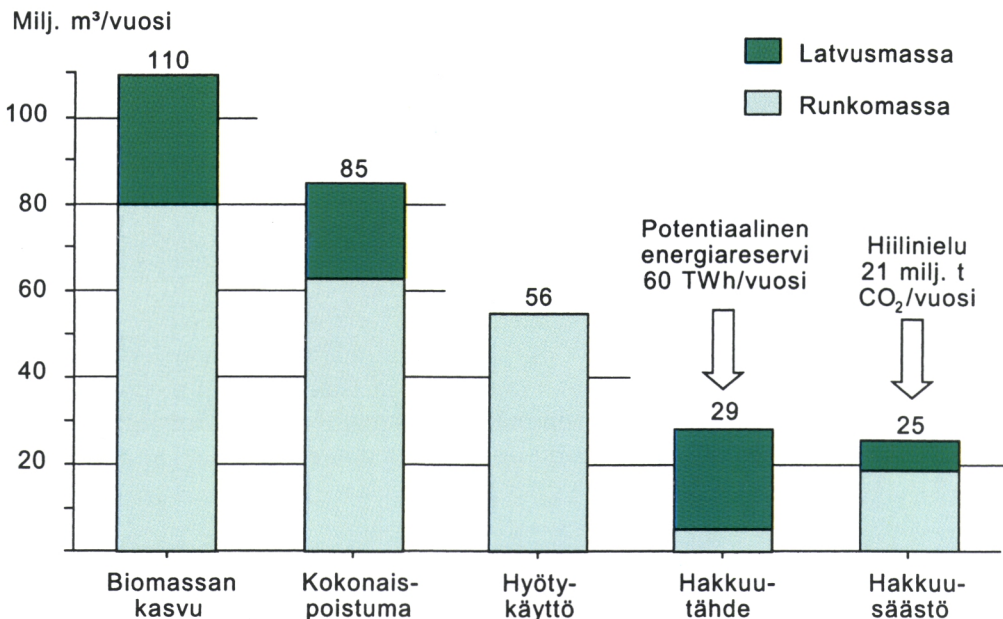
# 3 Metsiemme energiareservi

Suomen metsien runkokuun kasvu on noin 80 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Oksat mukaan lukien puuston kaiken maanpäällisen biomassan kasvu on 110 milj. m<sup>3</sup> vuodessa.

Runkokuun poistuma oli vuonna 1994 vastaavasti 62 milj. m<sup>3</sup>, johon sisältyy noin 55 milj. m<sup>3</sup> käyttöpuuta, 1—2 milj. m<sup>3</sup> luonnonpoistumaa ja 5 milj. m<sup>3</sup> hakkuutähteeksi jäävää hukkarunkopuuta. Hakkuutähteeksi jää vuosittain lisäksi 24 milj. m<sup>3</sup> oksista koostuvaa latvusmassaa, jonka määrää ei mitata eikä tilastoida (kuva 3).

Kasvu siis ylittää poistuman, niin että *puuvaramme karttavat vuosittain 1 %:lla*. Vaikka teollisuus rakentaa uutta jalostuskapasiteettia, se ei tarvitse lähitulevaisuudessa kaikkea metsissämme kasvavaa puuta. Puhutaan jopa puuvarojen vajaakäytöstä.

Suojelualueet ja uudet metsänhoitosuosituksot, joitten mukaan esimerkiksi uudistushakkuualoille tulee monimuotoisuuden turvaamiseksi jättää säästöpuuta, kuitenkin supistavat hakkuumahdollisuuksia. Kun lisäksi yhä useamman metsänomistajan arvomaailmassa puuntuotanto jää metsänkäsittelyn tavoitteena toissijaiseksi, *puun tarjonta ei nouse yhtä suureksi kuin kasvu*. Lähes kaikelle markkinoille tulevalle puutaralle, joka täyttää metsäteollisuuden laatu- ja leimikkovaatimukset, näyttää löytyvän kysyntää raaka-aineeksi, eikä potentiaalista kuitupuuta ensiharvennusleimikoita ehkä lukuun ottamatta jouda juurikaan energiakäyttöön.



Kuva 3. Metsiemme puuston biomassan kasvu, poistuma ja hyötykäyttö vuonna 1994. Kasvu = poistuma + säästö ja poistuma = hyötykäyttö + tähde + luonnonpoistuma (1—2 milj. m<sup>3</sup>/vuosi).

Metsiimme kätkeytyy kuitenkin *mittava uusiutuvan bioenergian reservi*, joka koostuu viallisesta ja teollisuuskäytön kannalta alamittaisesta alle 7—8 cm:n runkopuusta, kuoresta ja ennen kaikkea latvusmassasta. Se jää kaupallisissa hakkuissa työmaalle markkinakelvottomaksi tähteeksi tai yksinkertaisesti lyödään maahan metsiä hoidettaessa.

Energiapuun tärkeimmät lähteet ovat taimikoitten harvennuspuu, kaupallisista ensiharvennuksista kuitupuun rinnakkaistuotteena saatava pienpuu, päätehakkuualojen hukkarunkopuusta ja latvusmassasta koostuva hakkuutähde, vajaatuottoisista metsiköistä poistettava heikkolaatuinen lehtipuuvaltainen pienpuu sekä Etelä-Suomen tyvilahoinen kuusipuu. *Energiareserviin ei sisällytetä teollisuuden raaka-aineeksi soveltuvaa puuta*, koska kansantalouden kannalta massan ja paperin valmistus on energiakäyttöön verrattuna suotavampaa. Paikallisesti tai esimerkiksi tilapäisten markkinähäiriöitten sattuessa varsinaisen energiareservin ulkopuolelta voi kyllä ohjautua teollisuuspuutakin energiakäyttöön.

Luvuissa 3.1—3.3 tarkastellaan metsiemme *teknisesti korjuukelpoista energiareserviä*, jonka suuruutta arvioitaessa on otettu huomioon talteenoton tekniset ja ekologiset rajoitteet mutta ei sen sijaan mitään tiettyä kustannusrajoitetasoa. Miten suuri osa korjuukelpoisesta energiareservistä on todellisuudessa aikanaan mahdollista hyödyntää, riippuu lopulta tuotantoteknologian ja polttoaineitten hintojen yleisestä kehitymisestä. Esimerkiksi Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueen energiapuuselvitys osoitti, että kun sovellettiin nykytekniikkaa ja polttohakkeesta käyttöpaikalla maksettu hinta nostettiin tasolta 45 mk/MWh tasolle 65 mk/MWh, taloudellisesti korjuukelpoisen energiapuun määrä kaksinkertaistui (Mielikäinen ym. 1995).

### 3.1 Taimikoitten pienpuu

Kun uudistusosalalle on vakiintunut taimikko, sen ensimmäinen hoitotoimenpide on perkaus tai harvennus. *Taimikon perkauksessa* poistetaan taimien kehittymistä haittaava vesakko. Tämä tapahtuu niin varhaisessa kehitysvaiheessa, että poistettavat puut ovat kooltaan vielä liian vähäpätöisiä talteen kerättäviksi. Myöhemmin seuraavassa *taimikon harvennuksessa* järjestellään jo tulevan metsän puulajisuhteita jättäen jäljelle se puusto, joka kasvatetaan ensimmäiseen kaupalliseen harvennuksen saakka. Taimikon harvennuksessa poistettava puusto on nykyisin markkinakelvotonta, mutta osa siitä voidaan lukea korjuukelpoiseen energiareserviin (kuvat 4 ja 5).

Poistettavan puuston määrä riippuu taimikon tiheydestä ja koosta. Etelä-Suomen vartuneissa taimikoissa, joista yli kaksi kolmannesta on mäntyvaltaisia, puuston runkoluuku on keskimäärin 11 000 kpl/ha ja keskipituus 3 m (Kaivola 1993). Metsätalouden Kehittämiskeskus Tapion metsänhoitosuosituksen mukaan mänty- ja koivuvaltaiset taimikot tulisi harventaa 4—7 m:n ja kuusivaltaiset 4—5 m:n valtapituudessa. Mäntyvaltaisissa taimikoissa jätetään jäljelle 1800—2000 ja kuusivaltaisissa 1600—1800 puuta hehtaarille (Luonnonläheinen... 1994).



*Kuva 4. Myöhäistetty harvennus kulotusalalle kylväen perustetussa taimikossa Padasjoella. Poistettu puusto jätetty yläkuvassa hyödyntämättä, alakuvassa poistuma kerätty kaadon yhteydessä kokopuukasoille energiakäyttöä silmällä pitäen (kuva Pentti Hakkila).*



*Kuva 5. Kuusentaimikon päältä poistettu harmaalepän verhopuusto on kerätty kokopuukasoille polttohakkeen tuottamiseksi (kuva Hannu Kalaja).*

Kaupallisen hyödyntämisen vähimmäisvaatimuksena voidaan hankintakaupoissakin pitää  $15 \text{ m}^3$ :n kertymää hehtaarilta ja kauppakohtaisesti  $30 \text{ m}^3$ :n kokonaiskertymää, latvusmassa mukaan lukien. Jos puuston valtapituus on harvennustilanteessa Tapion suosituksen yläreunalla, kertymävaatimus toteutuu  $1500\text{—}3000$  suurimman poistettavan puun talteenotolla ja  $1,5\text{—}2$  ha:n leimikkokoolla. Metsätalouden suunnittelussa *taimikon harvennusta voidaan ohjelmoida tavoitteellisesti kohti suurempaa kertymää*. Myöhäistäminen kannattaa, jos edes osa kustannuksista saadaan energiapuun hyödyntämisen kautta katetuksi. Samalla puuston luontainen karsiintuminen edistyy eli sahapuun arvo nousee ja aikanaan toteutettavan ensimmäisen kaupallisen harvennushakkuun kannattavuus paranee.

Metsiämme uudistetaan vuosittain lähes  $200\,000$  ha:n alalla. Tässä oletetaan, että pitkällä tähtäyksellä kolmannes uudistusaloille nousevien taimikoitten harvennusalasta eli vuosittain  $65\,000$  ha täyttää korjuukelpoisuusvaatimuksen. Näissä taimikoissa kuorellisen runkopuun poistuma olisi latvusmassa mukaan lukien  $24 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Jos talteenottoaste näin rajatuissa korjuukohteissa on  $75\%$  biomassapoistumasta, *taimikoitten harvennuspuesta muodostuva potentiaalinen energiareservi on  $1,2$  milj.  $\text{m}^3$  kokopuuraakaainetta eli  $2,3 \text{ TWh}$  bruttoenergiaa vuodessa*.

Nykyisten hintasuhteitten vallitessa taimikoitten harvennuspuiden kaupallinen hyödyntäminen on yleensä kuitenkin kannattamatonta, vaikka puun talteenottoa energiakäyttöön voidaankin tukea metsänparannusvaroin. Myöhäistäminen paisuttaa kertymää ja korjuukelpoista pinta-alaa.

## 3.2 Ensiharvennuspuu

Metsikön kehityskaaren *ensimmäinen kaupallinen harvennus eli ensiharvennus* tehdään olosuhteista riippuen 25—50 vuoden iällä. Ensiharvennuksen tavoitteina ovat puuston elinvoimaisuuden säilyttäminen kasvutilaa väljentämällä, puulajisuhteitten säätelyminen, järeyskehityksen kiihdyttäminen sekä puuston teknisen laadun kohottaminen. Samalla myös pelastetaan talteen muutoin luonnonpoistumaksi hukkaantuvaa puuta, aikaistetaan metsänomistajan tulokertymää sekä luodaan edellytykset tehokkaalle koneelliselle korjuulle myöhemmissä hakkuissa.

Jos ensiharvennus laiminlyödään tai viivästyy, seurauksena on rungon riukuuntuminen ja altistuminen lumituhoille, elävän latvuston ränsistyminen ja puuston ennenaikainen rappeutuminen. Tulevaisuudessa ensiharvennuksiakin pyrittäneen kyllä myöhäistämään hakkuukertymän paisuttamiseksi ja korjuukustannusten alentamiseksi, mutta edellytyksenä on silloin taimikon harventaminen nykyistä voimakkaammin ja varttuneempana.

Metsiemme ensiharvennustarve on arvioitu valtakunnan metsien inventointien yhteydessä. Lähitulevaisuudessa ensiharvennuksia tulisi toteuttaa Suomen eteläpuoliskossa 160 000 ha:n ja pohjoispuoliskossa noin 50 000 ha:n alalla vuosittain. Olettaen kuorellisen runkopuun keskimääräiseksi ensiharvennuspoistumaksi etelässä 45 ja pohjoisessa 35 m<sup>3</sup>/ha, metsänhoidollista hakkuutarvetta vastaava runkopuun ja latvusmassan kokonaispoistuma olisi seuraava:

	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Koko maa
	Ensiharvennustarvetta vastaava biomassapoistuma, milj. m <sup>3</sup> /a		
Runko kuorineen	7,2	2,5	9,7
Latvusmassa	2,2	0,8	3,0
Yhteensä	9,4	3,3	12,7

Ensiharvennuspuu on joskus luettu kokonaisuudessaan metsäenergiareserviin. Tilanteessa, jossa kuiduttavan teollisuuden tuotantokapasiteetti ja raaka-aineen tarve ovat voimakkaassa kasvussa, tavoitteeksi tulee kuitenkin asettaa ensiharvennuspuun hyödyntäminen ensisijaisesti kuituraaka-aineen ja vasta toissijaisesti energian lähteenä. Massa- ja paperiteollisuuden puustamaksukyky näet on ylivertainen energiatalouteen verrattuna, ja pienikokoisen puun käytöstä saatavat hyödyt kertaantuvat kansantaloudessa tehokkaimmin nimenomaan paperiteollisuuden vientitulojen kautta.

Vaikka metsäteollisuus lamavuosina nostikin kuitupuun vähimmäisläpimittavaatimuksen 7—8 cm:iin kuoren päältä mitattuna, suunnittelun lähtökohdaksi voidaan kuitenkin asettaa, että tulevaisuudessa *ensiharvennusleimikoitten runkopuu on 5 cm:n latvaläpimittaan saakka potentiaalista kuitupuuta. Alle 5 cm:n paksuinen latvapuu, rungon kuori sekä latvusmassa ovat ensisijaista energiapuuta.* Rinnankorkeusläpimitaltaan alle 8 cm:n rungot ovat metsänomistajan hankintahakkuista ehkä lukuun ottamatta laatu- ja kustannussyistä kuitenkin kuitupuuksi kelvottomia, joten ne voidaan lukea energiapuuhun kokonaisuudessaan (Hakkila ym. 1995).

Ensiharvennusleimikoista poistettavien, rinnankorkeudelta vähintään 8 cm:n pak-suisten puitten biomassa jakaantuu edellä kuvatun rajauksen puitteissa potentiaali- seen kuitupuuhun ja energiapuuhun seuraavasti. Energiapuusite jakaantuu vielä kah- teen osaan: käyttösuositus ja tähdesuositus. Metsämaan ravinnetasapainon turvaa- miseksi näet *läpimitaltaan alle 5 cm:n latva oksineen suositellaan jätettäväksi kas- vupaikalle:*

Käyttötavoite	Ensiharvennustarvetta vastaava biomassa, milj. m <sup>3</sup> /a	Jakauma, %
Potentiaalinen kuitupuu	7,7	61
Ensisijainen energiapuu:		
Energiapuun käyttösuositus	3,1	24
Hakkuutähdesuositus (alle 5 cm latva)	1,9	15
Biomassa yhteensä	12,7	100

Laskelmassa siis edellytetään, että kuoreton runkopuu kelpuutetaan kuituraaka-ai- neeksi vastoin nykykäytäntöä 5 cm:n läpimitaan saakka. Silloin *energiapuun käyt- tösuositus ensiharvennusleimikoista on 3,1 milj. m<sup>3</sup>* ja sitä vastaava bruttolämpöar- vo 5,6 TWh vuodessa. Ellei metsäteollisuus kuitenkaan ole valmis alentamaan kui- tupuun latvaläpimittaa ensiharvennusleimikoissa ja pysyttää kuitupuun vähimmäis- läpimitan vastaisuudessaakin 7—8 cm:ssä, laskelman potentiaalisesta kuitupuusta siirtyy 2,0 milj. m<sup>3</sup> energiapuuksi. Siinä tapauksessa ensiharvennusleimikoitten ener- giapuun käyttösuositus olisi yhteensä 5,1 milj. m<sup>3</sup> eli 9,6 TWh vuodessa.

Kustannuksiltaan edullisimmaksi vaihtoehdoksi on osoittautumassa kuitupuun ja energiapuun yhdennetty korjuu, jolloin tavaramateriaalien erottelu tapahtuu tehtaalla tai puunkäsittelyterminaalissa joukkokarsintaa ja -kuorintaa käyttäen. Tämän järjestel- män logistiikkaan on vaikeata ympätä alamittaisten, rinnankorkeusläpimitaltaan alle 8 cm:n runkojen talteenotto. Siksi pienimmät puut on jätetty korjuukelpoisen bio- massan kertymälaskelman ulkopuolelle, vaikka ne periaatteessa kuuluvatkin ensi- harvennusleimikoitten energiapotentiaaliin. Jos ensiharvennuspuu kuitenkin ohjat- taisiin kokonaisuudessaan energiakäyttöön, korjuutekniikka painottuisi ensisijaisesti kokopuuhaketuksen. Silloin pienemmätkin puut voitaisiin ottaa talteen, ja energia- puun kertymäpotentiaali kasvaisi ehkä 0,5 milj. m<sup>3</sup>:llä.

### 3.3 Uudistushakkuualojen viherenergia

*Hakkuutähteellä* tarkoitetaan tässä puutavaran korjuussa metsään tähteeksi jääviä rungonosia ja oksia, mutta siihen ei lueta kanto- ja juuripuuta. Hakkuutähte jää metsään, koska se ei täytä teollisuuden raaka-aineen laatuvaatimuksia. Kun biomas- salle avautuu myös energiakäyttöä, keskeiseksi laatuksiteriksi nousee kuituomi- naisuuksien ja kuoriutuvuuden sijaan lämpöarvo, ja tähteen kelpoisuus on arvioitava uudelleen.

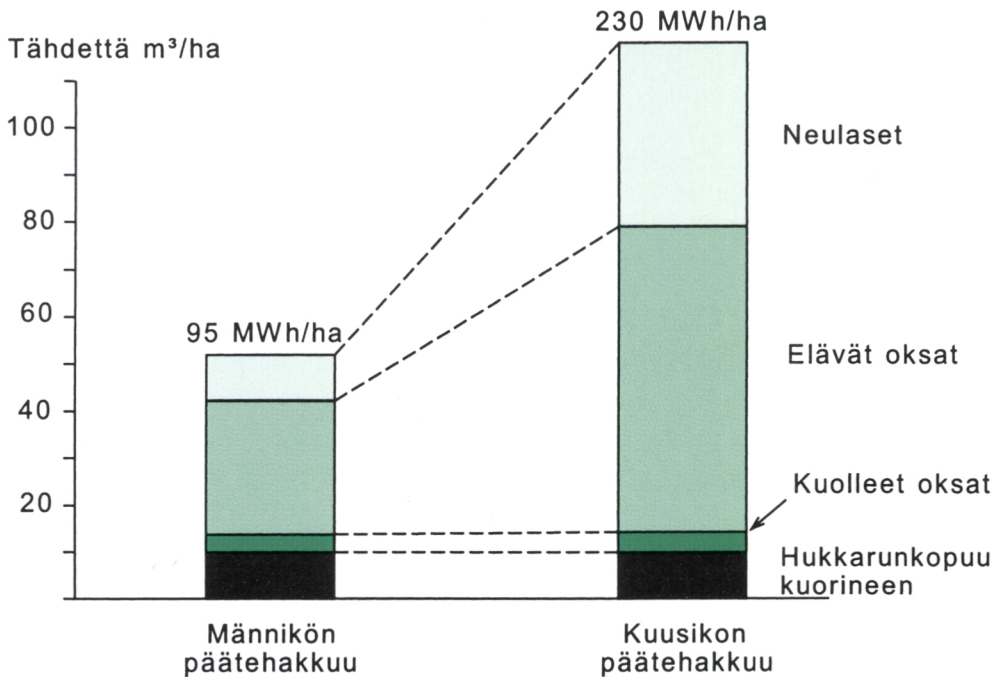


*Kuva 6. Samalla kun hakkuukone karsii saha- ja kuitupuun se kerää myös tähteeksi jäävän latvusmassan ja hukkarunkopuun talteenoton kannalta edullisiin muodostelmiin (kuva Hannu Kalaja).*

Mitä enemmän teollisuus käyttää kotimaista runkopuuta, sitä enemmän syntyy hakkuutähdettä. Kun runkopuun kokonaispoistuma Suomen metsistä on 62 milj. m<sup>3</sup> vuodessa, käyttöpuun korjuussa jää samalla *tähteeksi 24 milj. m<sup>3</sup> latvusmassaa ja 5 milj. m<sup>3</sup> kuorellista runkopuuta*. Tämän tähteen bruttoenergia-arvo on huikea 60 TWh, mutta ekologiset, tekniset ja taloudelliset syyt tulevat rajoittamaan sen talteenottoa kaikissa ajateltavissa olosuhteissa.

Mahdollisuuksia energiakäytölle avautuu nimenomaan uudistushakkuitten yhteydessä, jolloin tähdettä on sekä pinta-alayksikköä että leimikkoa kohti runsaimmin tarjolla, eikä pystypuusto haittaa keruuta. Talteenotto voidaan yhdistää runkopuun korjuuseen ja toteuttaa osaksi tai kokonaan samalla kalustolla, tai se voidaan tehdä aivan erillisenä toimenpiteenä joko välittömästi runkopuun korjuun jälkeen tai vasta vuodenkin kuluttua neulasten jo varistua (kuva 6).

Hakkuukypsän varttuneen metsän latvusmassassa on runkopuuhun verrattuna lisäraaka-ainetta männyllä 21 %, kuusella 54 % ja koivulla 16 % (Hakkila 1991). Metsikön aikaisemmasta käsittelystä, terveydentilasta ja järeydestä riippuen tähteeksi jää myös 2—5 % kuorellisen runkopuun massasta. Tyypillisellä Etelä-Suomen uudistushakkuualalla tähteen määrä on neulaset mukaan lukien männikössä noin 50 ja kuusikossa noin 120 m<sup>3</sup>/ha eli bruttoenergiasällöltään 95 ja 230 MWh/ha (kuva 7).



Kuva 7. Hoidetun männikön ja kuusikon päätehakkuussa jäljelle jäävän hakkuutähteen määrä ja energiasisältö, kun runkopuun poistuma on 200 m<sup>3</sup>/ha.

Talteenoton kannattavuus riippuu tietenkin polttoaineitten hintasuhteista. Mutta vaikka hakkuutähdehakkeen hintakilpailukyky ja kysyntä kohentuisivat paljonkin, vain osa potentiaalisesta reservistä on mahdollista hyödyntää. Korjuukelpoisen hakkuutähteen määrää valtakunnallisesti laskettaessa on tehty seuraavat rajaukset:

- Harvennushakkuualojen tähteet eivät tule kysymykseen, mikä supistaa korjuukelpoista reserviä 25 %.
- Uudistushakkuussa vähimmäiskertymän on oltava kuusella 200 m<sup>3</sup> ja männyllä 400 m<sup>3</sup> runkopuuta, mikä supistaa reserviä jälleen 20 %. Huomattakoon, että päinvastoin kuin eräissä muissa arvioissa, pienemmästä latvusmassakertymästä huolimatta tässä laskelmassa on hyväksytty korjuukohteiksi myös männiköitä.
- Hakkuutähdettä ei tule ottaa talteen erittäin kivisiltä, ravinneköyhiltä tai muutoin ekologisesti herkiltä uudistushakkuualoilta. Rajaus supistaa reserviä 15 %.
- Kohtuuttoman tarkka talteenotto johtaa maan köyhtymiseen, kohottaa korjuun yksikkökustannuksia ja lisää tähteen joukkoon joutuvien epäpuhtauksien määrää. Miten suuri osuus leimikon tähteestä voidaan ja kannattaa ottaa talteen, riippuu tähden runsaudesta, korjuuolosuhteista, hinnan muodostuksesta ja korjuutekniikan kehittymisestä. Yksioteharvesterin jättämiltä tuoreilta tähdeksäoilta saanto on kenttäkokeitten mukaan 70 %.

- Jos tähteen annetaan ravinnetasapaino- tai muista syistä kuivahtaa ja varistaa neulasensa, biomassaa jää tarjolle 30 % vähemmän, joskin kuivuminen hie- man kohottaa lämpöarvoa. Tästä neulasettomasta tähteestä vain 65 % saadaan talteen.

Vähennyksistä huolimatta päätehakkuualojen tähde on metsäenergiälähteistämme mittavin. Luku 4.3 osoittaa, että se on myös korjuutekniikan, korjuulogistiikan sekä korjuukustannusten kannalta houkutteleva vaihtoehto. Erityisen tärkeä merkitys sekä korjuujärjestelmän ja korjuun ajoittamisen että kertymän kannalta on myös neulas- ten talteenotolla. Vaihtoehdosta riippuen *korjuukelpoisen tähteen määrä voi nous- ta jopa 8,6 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa*. Korjuutekniikan ja -logistiikan kannalta tarkoituk- semukaisempi vaihtoehto on talteenotto tuoreena neulasineen.

#### Päätehakkuualojen korjuukelpoinen tähde

	Milj. m <sup>3</sup> /a	TWh/a
Tuoreena neulasineen	8,6	18,1
Kuivana neulasitta	5,6	12,3

Arvioon sisältyy joukko ekologisia ja teknisiä epävarmuustekijöitä, sillä tutkimus- tiedot ja kokemus ovat edelleen puutteellisia. Ei myöskään tiedetä, missä määrin ja millä kantohintavaatimuksella metsänomistajat ovat valmiita luovuttamaan hakkuu- tähdettä energiakäyttöön.

### 3.4 Korjuukelpoinen metsäenergiareservi

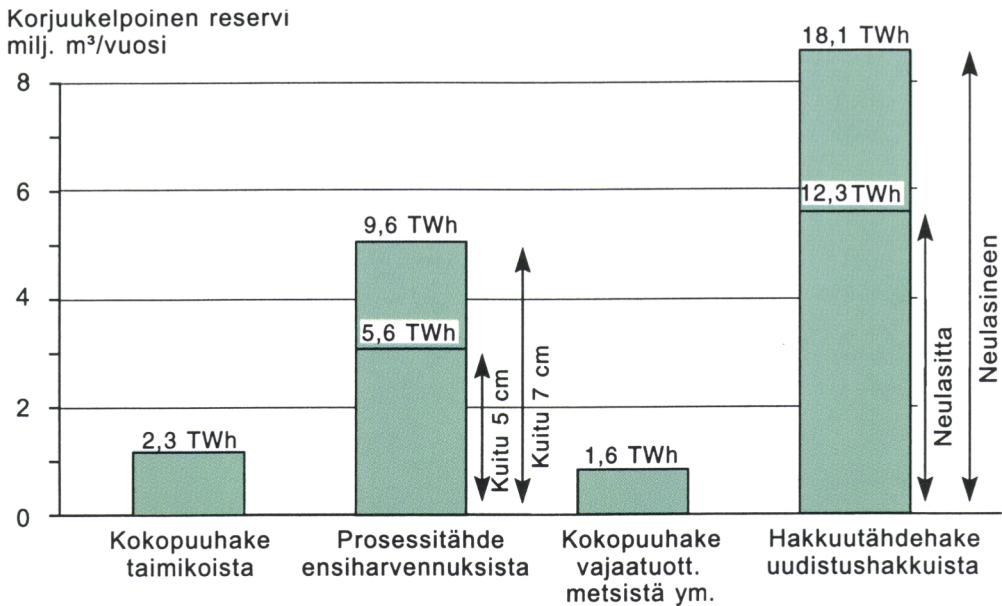
Mittausongelmien, käsitteitten selkeytymättömyyden ja perustietojen puutteellisu- den vuoksi pienpuusta ja latvusmassasta koostuvaa metsäenergiareserviä ei voida määrittää sillä luotettavuudella, johon runkopuun osalta on totuttu. Erityisen ongel- mallinen on *teknisen korjuukelpoisuuden käsite*, jonka tulisi olla riippumaton met- säenergian taloudellisesta kilpailukyvyistä mutta jota kuitenkin ei voi siitä täysin irrottaa.

Ensimmäinen selvitys korjuuteknisesti kelvollisesta pienpuusta ja hakkuutähteestä tehtiin kaksi vuosikymmentä sitten Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton puuva- raselvityksen osana, jolloin laskennan lähtökohtana oli valtakunnallisen perussuun- nitteen runkopuun hakkuupoistuma. Silloin päädyttiin arvioon, että vuonna 2000 olisi saatavilla kuitupuun laatuvaatimukset täyttämätöntä lisäbiomassaa seuraavasti: 3,1 milj. m<sup>3</sup> kokopuuhaketta taimikoitten pienpuustosta, 3,1 milj.m<sup>3</sup> kokopuuhaketta ensiharvennusleimikoista, 1,1 milj. m<sup>3</sup> kokopuuhaketta vajaatuottoisuuden vuoksi uudistettavista pienpuuvaltaisista metsistä sekä 4,8 milj. m<sup>3</sup> neulasetonta hakkuu- tähdihaketta uudistushakkuualoilta. Näistä leimikkokohteista arvioitiin muodostu-

van kaikkiaan 12,1 milj. m<sup>3</sup>:n korjuukelpoinen biomassareservi, ja lisäksi katsottiin olevan teknisesti mahdollista ottaa talteen myös 3,0 milj. m<sup>3</sup> uudistushakkuualojen kanto- ja juuripuuta (Puuvaraselvitys 1976). Metsätaloudessa ja sen toimintaympäristössä on tuon ajankohdan jälkeen tapahtunut kuitenkin muutoksia, jotka vaikuttavat korjuukelpoisen metsäenergiareservin suuruuteen:

- Sekä kustannus- että ympäristösyistä kanto- ja juuripuun talteenottoa ei pidetä enää mahdollisena.
- Taimikkopuun saatavuusarviota on supistettu, sillä kilpailukykyisiä koneellisia korjuuratkaisuja ei ole syntynyt, ja miestyön kustannukset ovat voimakkaasti kohonneet. Siksi leimikon korjuukelpoisuusvaatimuksia on kiristetty, niin että energiareservin suuruudeksi arvioidaan nyt vain 1,2 milj. m<sup>3</sup> biomassaa vuodessa.
- Ensiharvennuspuun osalta arvio kytkeytyy kokopuuhaketuksen sijasta nyt kuitu- ja energiapuun yhdenmukaiseen korjuuseen menetelmillä, joissa kuitupuun erotetaan energiapuusta pääsääntöisesti ennen haketusta. Entistä suurempi osuus biomassasta on luokiteltu potentiaalisesti kuitupuuksi. Jos kuitupuun vähimmäisläpimitta säilyy nykyiseen tapaan 7 tai 8 cm:ssä, vuotuisen energiareserviin jää 5,1 milj. m<sup>3</sup> biomassaa. Jos kuitupuun latvaläpimitta alennetaan 5 cm:iin, kuten kokonaistalouden kannalta olisi suotavaa, energiareservi on 3,1 milj. m<sup>3</sup> biomassaa.
- Vajaatuottoisten lehtipuuvaltaisten metsien ja hakamaitten osalta korjuukelpoisen reservin arvioiminen on erityisen ongelmallista. Tuntematon, tilastoitamaton osa niitten pienpuusta käytetään jo nykyisinkin pientalojen polttopuuksi, ja toisaalta metsätalouden monimuotoisuustavoite ja pellon reunavyöhykkeille myönnettävä ympäristötuki supistavat vähäarvoisen harmaalepän ja haavan saatavuutta, ja lisäksi hyvälaatuisen haavan kysyntä kuitupuuksi on elpymässä. Myös ainespuun hakkuissa hylättävän lahoppuun kertymää on vaikea arvioida, sillä lahottajasienten pahoin vioittama pysty- ja maapuu pyritään vastedes ehdoin tahdoin jättämään luonnon monimuotoisuutta rikastuttamaan. Vuotuinen energiareservi arvioidaan näissä kohteissa 0,9 milj. m<sup>3</sup>:ksi.
- Hakkuutähdehakkeelle on esitetty kaksi vaihtoehtoa: korjuu tuoreena neulasineen tai kuivahtaneena neulasitta, joista viimeksi mainittu on kustannuksiltaan kallis ja siitä syystä epätodennäköinen. Korjattavissa olevat määrät ovat kasvaneet aikaisempaan verrattuina, sillä hakkuumäärätkin ovat kasvaneet. Hakkuun koneellistaminen ja yksiotetarvesterien käyttöönotto helpottavat tähteen hyödyntämistä niinkään. Jos tähde otetaan talteen tuoreena neulasineen, korjuukelpoinen energiareservi on 8,6 milj. m<sup>3</sup>. Jos sen annetaan ensin varistaa neulasensa, korjuukelpoinen reservi on 5,6 milj. m<sup>3</sup> vuodessa.

Kuva 8 on yhteenveto korjuukelpoisesta metsäenergiareservistämme. Sen ylivoimaisesti tärkein osite on uudistushakkuualojen tähde silloinkin, kun neulasten annetaan varista ennen talteenottoa. Hakkuutähteen asema vain korostuu, jos korjuu tapahtuu tuoreena neulasineen, kuten on todennäköistä:



Kuva 8. Korjuukelpoinen metsäenergiareservi. Ensiharvennuspuulla kuitupuun vähimmäisläpimittavaatimus vaihtoehtoisesti 5 cm tai 7 cm.

- Jos kuitupuun vähimmäisläpimitta on ensiharvennusleimikoissa 5 cm ja toisaalta uudistushakkuualueiden tähteen annetaan ennen talteenottoa varistaa neulasensa, koko korjuukelpoinen energiareservi on 10,4 milj. m<sup>3</sup> eli 21,8 TWh vuodessa.
- Jos kuitupuun vähimmäisläpimitta on ensiharvennusleimikoissa 7 cm ja uudistushakkuualueiden tähte otetaan talteen tuoreena neulasineen, korjuukelpoinen energiareservi on 15,4 milj. m<sup>3</sup> eli 31,6 TWh vuodessa.

Korjuukelpoisen metsäenergiareservin kokonaisarvio on nykyoloissakin edelleen samaa suuruusluokkaa kuin 1970-luvulla. Sen rakenne on kuitenkin muuttunut metsätalouden toimintaympäristön mukana, niin että laskelmavaihtoehdosta riippuen uudistushakkuualueiden hakkuutähdehake muodostaa 50–65 % koko reservin bruttoenergi-arvosta. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio on alueellisten metsätaloussuunnitelmien pohjalta toista tietä arvioinut teknisesti korjuukelpoisen metsäenergian määräksi 14 milj. m<sup>3</sup> vuodessa ja siitä nykyisellä tekniikalla ja kustannustasolla taloudellisestikin korjuukelpoiseksi 6 milj. m<sup>3</sup> eli 43 % (Vesterlin 1996).

Suomalaiset laskelmat ovat varovaisia. Ruotsin maatalousyliopisto ottaa omassa arviossaan vähennyksenä huomioon vain ekologisia rajoitteita mutta edellyttää kyllä samalla lisäksi, että tuhka palautetaan täysimääräisesti luontoon. Näin se päättyy suhteellisesti suomalaisia korkeampaan arvioon, joka on esitetty vaihtoehtoisesti kahdelle teollisuuspuun käytön tasolle. Alempi käyttötaso vastaa nykytilannetta ja ylempi 15 %:lla kohonnutta käyttöä (taulukko 1).

*Taulukko 1. Arvio energiapuun lisäpotentiaalista Ruotsissa vuonna 2005 (Hektor ym. 1995).*

Biomassan lähde	Energiapotentiaali, kun teollisuuspuun käyttö on nykytasolla	+15 %	Energiapuun käyttö nykytasolla	Energiapuun lisäpotentiaali eri vaihtoehdoissa
	TWh/vuosi			
Ensiharvenn. runkopuu	19,5	7,0	0,5	6,5—19
Laho- ym. hylkypuu	5,0	5,0	1,5	3,5
Hakkuutähde	63,0	68,0	9,0	54—59
Taimikon harvennuspuu	3,0	3,0	11,0	10,0
Muu runkopuu	18,0	18,0		
Yhteensä	108,5	101,0	22,0	74—91,5

Ruotsalainen arvio on suomalaista paljon rohkeampi, kolminkertainen. Se heijastaa virallisen energiapolitiikan mittavaa tukea uudistuvalla energialle, uskoa metsäenergian mahdollisuuksiin sekä energiapuun kilpailukykyä fossiilipolttoaineitten ja kuitupuun vaihtohtona. Rakenteellisesti arviot ovat sikäli samanlaiset, että hakkuutähdeellä on kummassakin maassa keskeinen asema.

Suomalaisissa kehityssuunnitelmissa ja bioenergian tutkimusohjelmassa hakkuutähde on jäänyt vähemmälle huomiolle kuin ensiharvennuspuu, joka nykyisessä puunkysyntätilanteessa kannattaa ohjata ensisijaisesti metsäteollisuuden jalostuskäyttöön. Muutokset toimintaympäristössä ovat kallistamassa painopistettä hakkuutähteen suuntaan. Vain mikäli kuituteollisuus markkinatilanteen mahdollisesti vaikeutuessa joutuisi merkittävästi supistamaan tuotantoaan, ensiharvennuspuutakin alkaisi jalostuskäytön tyrehtyessä ajan myötä lipua nykyistä runsaammin energiakäyttöön.

# 4 Energiapuun tuotannon tekniikka

Kun tässä luvussa tarkastellaan energiapuun tuotannon tekniikkaa, rajoitutaan normaalin metsätalouden puitteissa ainespuun sivutuotteena kertyvään biomassaan. Tarkastelu ei kohdistu lyhytkiertoviljelmillä kasvatettavaan energiapuuhun, jonka mahdollisuudet Suomen oloissa ovat vasta pitkällä tulevaisuudessa.

Energiapuun kilpailukyky riippuu sen hintakehityksestä vaihtoehtoisiin polttoaineisiin nähden. Koska kustannukset koituvat lähes kokonaisuudessaan korjuusta ja kuljetuksesta, hankintaorganisaation tehokkuudelle asetetaan suuret vaatimukset. Kysymys ei ole niinkään yksityisten koneitten kelpoisuudesta kuin *koko hankintajärjestelmän toimivuudesta* kannolta käyttöpaikalle. Sen työvaiheet ovat osto, korjuu tien varteen, kuljetus käyttöpaikalle, varastointi sekä jakelu ja luovutus käyttäjälle halkona, pilkkeenä, hakkeena tai murskeena. Järjestelmän vahvuus ja toimivuus määräytyvät sen heikoimman lenkin mukaan.

Jotta kaluston ja organisaation kiinteät kustannukset pysyisivät kurissa, *on pyrittävä ympärivuotiseen täystyöllisyyteen*, vaikka sen saavuttaminen nimenomaan energiapuun hankinnassa onkin varsin vaikeata. Vajaatyöllisyys ja käytön epäsäännöllinen, ennalta arvaamaton heilahtelu nostavat aina kustannuksia ja nävertävät koneyritysten kannattavuutta. Vuonna 1994 teollisuuden ainespuun korjuuseen osallistuneet hakkuukoneet työskentelivät keskimäärin 2400 tuntia ja kuormatraktorit 1820 tuntia (Jaakkola 1994), mutta energiapuun korjuukaluston työllisyys on enemmän kausiluonteista ja jää selvästi tämän tason alapuolelle. Tehokkaan hankintaorganisaation ylläpito ja sille palveluksia tuottavan yrittäjäkunnan koneinvestoinnit ja täystyöllisyys käyvät mahdollisiksi vasta sitä mukaa, kun maahamme perustetaan todella suuria metsäenergiaa hyödyntäviä laitoksia. Jotta näin voisi tapahtua, *energiapolitiikan tulee olla pitkäjänteistä ja uskottavaa*.

Energiapuun tuotanto ei ole muusta metsätaloudesta irrallinen tapahtuma, vaan se tulee kytkeä kiinteästi metsätalouden yleiseen suunnitteluun ja teollisuuspuun korjuuseen. Esimerkiksi taimikoista voidaan saada markkinakelpoisia energiapuukohteita harvennusta myöhäistämällä, tai uudistushakkuualalla työskentelevän hakkuukoneen työtekniikka voidaan sopeuttaa tähteen talteenottoa helpottamaan. Talteenottoa saattaisi edistää metsänhoitoyhdistysten ylläpitämä *energiapuuleimikkorekisteri*, johon kerättäisiin tietoja tarjolla olevista energiapuukohteista, esimerkiksi tähteen talteenottoon soveltuvista uudistushakkuualoista. Rekisteristä nähtäisiin leimikkoon jäävän tähteen määrä, hakkuun ajankohta, kuljetusetäisyydet, tiestö, varastopaikan ominaisuudet, maaston kantavuus jne.

Vaikka kustannusten alentaminen onkin metsäenergian hyödyntämisen keskeinen ongelma, ei hankintajärjestelmän tehokkuus saa tarkoittaa yksinomaan korkeaa tuotavuutta ja halpoja kustannuksia. Tehokkuus on käsitteenä paljon laajempi merkitys myös ympäristöystävällisyyttä, tavoitteen mukaista biomassakertymää, laadukasta polttoainetta sekä luotettavaa jakelua. Näillekin näkökohdille tulee antaa vahva painoarvo kalustoa ja menetelmiä kehitettäessä.

Luvussa 4 kuvataan esimerkinomaisesti eräitä yleisimmin käytettyjä energiapuun korjuumenetelmiä. Tarkastelun kohteina ovat perinteinen pienimittainen pilkkeen tuotanto (4.1), kokopuuhakkeen tuotanto pienpuusta (4.2), hakkuutähdehakkeen tuotanto uudistushakkuualojen runkohukkapuusta ja latvusmassasta (4.3), energiapuun korjuu ensiharvennuksista kuitupuun korjuuseen yhdennettynä (4.4) sekä polttohakkeen kustannukset vuoden 1995 tasolla käyttäjille osoitetun kyselytutkimuksen valossa (4.5).

## 4.1 Pilkkeen tuotanto

*Pilkkeellä tarkoitetaan 25–50 cm:n pituiseksi katkaistua polttopuuta, joka kuivumisen edistämiseksi yleensä halkaistaan kahteen tai useampaan osaan. Pääosa pienitulojen polttopuusta on perinteisesti pilkettä. Pilkkeen etuna on hyvä kuivuminen ja säilyminen, haistana taas sekä teko- että käyttövaiheessa runsas käsityön tarve. Pilkettä käytetään edelleen noin 5 milj. m<sup>3</sup> vuodessa.*

Pilke tehdään pitkistä rangoista tai metrin pituisista haloista. Ranka, halko ja pilke tuotetaan kevyellä kalustolla pienimuotoisesti, yleensä erillään teollisuuspuun korjuusta. Moottorisahan ja kirveen lisäksi käytetään enenevästi pilkontalaitteita, joilla polttopuu katkaistaan ja halkaistaan lopulliseen kokoonsa. Pilkkeen teon koneellistaminen on välttämätöntä, jotta kustannuksia voitaisiin alentaa ja käsittelykertojen määrä supistaa mahdollisimman pieneksi (kuva 9).



*Kuva 9. Palax katkaisu-halkaisukone tekemässä pilkettä yksimetrisestä halosta (kuva Hannu Kalaja).*

Vuonna 1994 markkinoilla oli yli 70 erilaista pilkontalaitetta 26 valmistajalta (Mutikainen 1994). Pääosa niistä sekä katkaisee että halkaisee puun, mutta tarjolla on myös pelkästään katkaisuun tai halkaisuun tarkoitettuja laitteita. Käyttövoimana näille laitteille on lähes poikkeuksetta maataloustraktori.

Katkaisuun käytetään 3000 mk:n hintaista sirkkeliä, jonka terää vasten syöttötelineeseen asetettu puu painetaan. Halkaisuun käytetään yleisimmin 1300—3500 mk:n ruuvihalkojaa, jossa pölkyn sivu painetaan pyörivän kartioruuvin kärkeä vasten, jolloin ruuvi porautuu puuhun ja halkaisee sen. Sirkkelin ja ruuvihalkojan yhdistelmä maksaa 3000—7200 mk. Nämä halvimmat laitteet vaativat runsaasti käsityötä, ja siksi niiden tuottavuus on vain 1—3 m<sup>3</sup> tehotunnissa (Mutikainen 1994). Tehokkaimmat pilkekoneet toimivat ilman käsinohjausta, ja niissä on myös hihnakuuljetin pilkkeen kuormaamiseksi esimerkiksi traktorin perävaunuun, mutta niiden hinta on huomattavasti korkeampi, noin 35 000 mk. Rankojen varastopilkkonnassa niillä päästään 6—8 m<sup>3</sup>:n tehotuntituotokseen (Jääskeläinen 1995).

Maatilojen käytössä on yli 50 000 pilkekoneetta, jotka lähes kaikki ovat kotimaassa valmistettuja. Kalliimpia kuljettimella varustettuja koneita on myös yhteiskäytössä ja vuokrattavina, jolloin kiinteät kustannukset kevenevät käyttötuntimäärän kasvun ansiosta. Uutta kehitysaskelta edustaa Tume Oy:ssä kehitystyön kohteena oleva pilkeharvesteri, joka käsittelykertojen vähentämiseksi tekee pilkkeen suoraan kontteihin. Tavoitteena on, että samoja kontteja käytetään myös pilkkeen kuivattamiseen ja vähittäisjakeluun.

Nykyisin vain pieni osa pilkkeestä kulkeutuu polttopuukaupan piiriin. Kauppaa haittaa yhtenäisten mitta- ja laatuvaatimusten puuttuminen ja monin paikoin myös huono saatavuus. Kauppaa on pyritty tehostamaan puupörssien ja suoramyöntikampanjoien avulla. Ensimmäinen polttopuupörssi perustettiin vuosikymmenen alkuvuosiina Joensuun seudulle (Ryynänen 1993).

## 4.2 Hakkeen tuotanto pienpuusta

Pienpuuhakkeen kertymä kasvaa ja *kustannus alenee, kun raaka-aineena käytetään karsitun rangan sijasta karsimatonta kokopuuta*. Kokopuuhakkeen ja rankahakkeen kustannusero on niin merkittävä, että uusissa laitoksissa syöttöjärjestelmät mitoiteetaan karsimattomasta kokopuusta tehtyä haketta silmällä pitäen. Vain pienimmissä hakekattiloissa vaaditaan syöttöhäiriöitten välttämiseksi tikutonta haketta, joka on tehty karsitusta rangasta.

Mitä ohuemmasta puusta kokopuuhake tehdään, sitä kalliimmaksi tulee sen korjuu. Kun massa- ja paperiteollisuuden puustamaksukyky on energialaitoksiin verrattuna ylivertainen, energiakäyttöön jäävät kuitenkin juuri pienimmät puut: taimikoitten harvennuspuu, alamittainen ensiharvennuspuu, vajaatuottoiset lepikot, jne. Tästä seuraa, että vaikkei hakepuulle juurikaan makseta kantorahaa, sen kustannukset pyrkivät siitakin huolimatta nousemaan korkeiksi.

Kokopuuhakkeen *tuotantoketjun työvoimavaltaisin ja kallein vaihe on puitten kaato ja kasaus*. Koska käsitellään pieniä puita ja työskennellään leimikoissa, joissa kasvamaan jätettävän puuston runkoluku on suuri, koneellistaminen on vaikeata. Koneellisia menetelmiä kyllä kehitellään, mutta pääsääntöisesti kaato-kasaustyön tekevät edelleen metsurit moottorisahalla siirtelykaatomenetelmällä. Siinä metsuri vain kaataa puut kuljetuksen kannalta edulliseen suuntaan ja siirtää ne kaatuvan puun liike-energiaa hyväksi käyttäen kuormausta helpottaville taakkakasoille. Jos puut ovat pituudeltaan yli 7—8 m, metsuri voi tarvittaessa katkaista kokopuut kahtia lyhyemmiksi osapuiksi. Siirtelykaadon tuotos riippuu vahvasti puun koosta, mutta yleensä se on 2—4 m<sup>3</sup>/h.

Palstahaketuvaihtoehtoa lukuun ottamatta raaka-aine kuljetetaan tien varteen kokotai osapuuna. Työ tehdään yleensä vakiorakenteisella kuormatraktorilla. Koska puu on karsimatonta, kuorman tiiviys kärsii etenkin kuusella, ja kuorman koko putoaa karsittuun pinotavaraan verrattuna jyrkästi (Kahala 1984):

	Karsittu kuitupuu	Karsimatonta kuitupuu
	Biomassaa metsätraktorin kuormassa, m <sup>3</sup>	
Mänty	9—11	5,5—6,5
Kuusi	9—11	4,5—5,5

Kun traktorin kuormakapasiteetti jää vajaakäyttöön, kuljetuksen tuottavuus putoaa. Se on siirtelykaatotyömailla yleensä 6—8 m<sup>3</sup>/h, mutta koneellisen kaadon jäljiltä se voisi edullisempien taakkamuodostelmien ansiosta kohota tasolle 8—10 m<sup>3</sup>/h. Kuljetuskustannus on joka tapauksessa korkeampi kuin karsitulla kuitupuulla.

Korjuuprosessin keskeinen työvaihe on haketus, jonka tekniikka määrää pitkälti myös metsä- ja kaukokuljetuksen tekniikan. *Haketus tapahtuu joko palstalla, välivarastolla eli tien varressa tai keskitetysti terminaalisissa tai käyttöpaikalla*. Palstahaketuksessa hakkuri on varustettu 10—20 m<sup>3</sup>:n säiliöllä, joka tyhjennetään kippaamalla maahan laskettuun kuorma-auton hakekonttiin. Palstahaketukseen on seuraavia etuja ja heikkouksia:

#### *Palstahaketuksen edut:*

- Haketus ja kuljetus tien varteen voidaan tehdä samalla ajoneuvolla.
- Kokopuutaakan asettaminen hakkurin syöttölaitteeseen tapahtuu yhtä nopeasti tai nopeamminkin kuin sen nostaminen kuljetustraktorin kuormatilaan.
- Biomassa saadaan talteen tarkemmin kuin varastohaketusmenetelmissä, ja hake säilyy puhtaana.
- Tien varteen ja varastoille ei kerry puista irtoavia oksia.
- Varastotilan tarve supistuu.

#### *Palstahaketuksen haitat:*

- Tehokas palstahakkuri on kallis koneyksikkö, ja siksi sitä ei kannata käyttää kuljetukseen pitkillä, yli 300 m:n etäisyyksillä.

- Palstahakkuri ei ole kulkuominaisuuksiltaan metsätraktorin veroinen, ja siksi sen käyttö rajoittuu lähinnä tasaisille ja kantaville maille.
- Palstalle kasatut taakat saattavat talviaikaan jäätyä ja peittyä lumeen, mikä vaikeuttaa niiden löytämistä ja kohottaa hakkeen kosteutta.

Palstahakkurin tuottavuus riippuu puitten koosta ja oksaisuudesta, taakkojen koosta ja sijainnista ajouraan nähden, biomassakertymästä, maaston laadusta, lumen syvyydestä ja kuljetusmatkasta. Sivulta syöttävän metsätraktorisovitteisen palstahakkurin tuottavuus on nuorena harvennusmetsikössä 300 m:n ajomatalla metsurin tekemiltä taakkakasoilta noin 8 m<sup>3</sup>/h mutta kaato-kasauskoneen jäljiltä 9–10 m<sup>3</sup>/h (Kalaja 1978). Uusinta palstahaketustekniikkaa edustaa Chipset hakkuri, joka harvennusleimikossa ajouralla edetessään kykenee ottamaan puuta sekä edestä että kummaltakin sivulta (Stén 1995, kuva 10).

*Yleisimmin haketus tapahtuu tien varressa varastopinoilta.* Toiminnan mittakaavasta riippuen käytetään sekä maataloustraktorisovitteista kevyttä että kuorma-autosovitteista raskasta kalustoa. Kun varastohakkureilta ei vaadita sellaista maastokelpoisuutta kuin palstahakkureilta, ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisempia, raskaampia, ja haketustyössä tehokkaampia. Hake kuormataan putkea pitkin puhaltamalla odotettavaan ajoneuvoon, perävaunuun tai konttiin. Järeän autohakkurin tuottavuus on odotusajat huomioon ottaen käytännössä 15–30 m<sup>3</sup>/h ja vuosikapasiteetti täyden työllisyyden vallitessa jopa 40 000–50 000 m<sup>3</sup>. Tällaisiin vuosisuoritteisiin ei kuitenkaan käytännössä yllätä, kun käyttömäärät eivät sitä mahdollista.



*Kuva 10. Chipset palstahakkuri valmistamassa kokopuuhaketta ensiharvennusmetsikössä (kuva Oy Logset Ab).*

*Haketus voidaan keskittää myös puutavaraterminaaliin tai hakkeen käyttöpaikalle, jolloin hakkurin aikaa ei kulu työmaitten välisiin siirtoihin ja autojen odotteluun. Hakkurin toiminnallinen käyttöaste ja vuosikapasiteetti kasvavat, ja myös huolto ja laadunvalvonta helpottuvat. Karsimattoman puutavaran autokuljetus keskusasemalle on kuitenkin ongelmallista, sillä oksat vähentävät puutavaran tiiviyttä ja johtavat vajaakuormilla ajoon. Tämä syö haketuksessa saavutettavaa kustannushyötyä, ja siksi keskitetty haketus ei ole toistaiseksi yleistynyt. Kannattavuus parantuisi, mikäli löydettäisiin tehokas ratkaisu karsimattoman puutavarakuorman tiivistämiseen. Keskitetyn haketuksen kustannuskilpailukyky on parhaimmillaan lyhyillä kuljetusetäisyyksillä.*

## 4.3 Hakkeen tuotanto hakkuutähteestä

Uudistushakkuut toteutetaan Suomessa koneellisin menetelmin. Puut kaadetaan, karsitaan, katkotaan ja mitataan yksiotehakuukoneella, minkä jälkeen puutavara kuljetetaan metsätien varteen kuormatraktorilla. Hakkuukone tekee karsinnan ja pölkytyksen siten, että puutavara kerääntyy kasoille. Samalla myös karsintaterien irrottamat oksat ja alamittainen latvakappale kasaantuvat. Heikosti kantavilla mailla ja harvennusleimikoissa tähdekasat pyritään kohdistamaan koneitten ajourille, jolloin ne muodostavat maaperää suojaavan peitteen, tasaa- vat koneitten pyöristä metsämaahan kohdistuvan pintapaineen ja ehkäisevät raidepainumien muodostumista. Metsän luontaisen ja keinollisen uudistamisen kannalta paksut tähdekasat ovat haitaksi, sillä ne vaikeuttavat maanpinnan muok- kausta, kylvöä ja istutusta.

Kuten luvussa 3.4 on osoitettu, metsäenergiareservistämme yli puolet koostuu uu- distushakkuualoille jäävästä tähteestä. Jos talteenotto tapahtuu tuoreena neulasineen, korjuukelpoisen tähteen määrä on 8,6 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Jos tähteen annetaan va- ristaa neulasensa ja siitä “vihreän hakkeen” sijasta tuotetaan “ruskeata haketta”, tek- nisesti korjattavissa on 5,6 milj. m<sup>3</sup>. Vuonna 1995 hakkuutähdehaketta tuotettiin Metsäntutkimuslaitoksen ja Puuenergiayhdistys ry:n käyttäjäkyselyn mukaan kui- tenkin vain 40 000 m<sup>3</sup>.

*Korjuun koneellistaminen on luonut hyvät edellytykset hakkuutähteen talteenotol- le, sillä keruu kasoilta on nopeampaa ja tehokkaampaa kuin hajaltaan maastosta. Talteenottoa voidaan vielä edesauttaa, kun hakkuukoneen työjärjestys mukautetaan tähteen keruuta palvelemaan. Kasautumista voidaan edistää, ja maaperän kantavuuden sen salliessa voidaan välttää tähdekasojen jäämistä ajourille, niin etteivät ne tal- laannu ja likaannu koneitten pyörien alla. Metsäntutkimuslaitoksen kokeissa on to- dettu, että kun hakkuukone tavanomaisessa työmenetelmässä jättää kaikesta tähteestä kolmanneksen yli puolen metrin paksuisille kasoille, tähteen talteenottoon tähtää- vässä työskentelyssä vastaava osuus on kaksi kolmannesta (Nurmi 1994). Sopeutettu työtekniikka saattaa ainakin alkuun rasittaa runkopuun teon tuottavuutta, kun koneen kuljettaja ei ole sitä vielä sisäistänyt, mutta läheskään kaikissa kokeissa näin ei ole käynyt.*

Tähde kuljetetaan tien varteen vakiorakenteisilla kuormatraktoreilla (kuva 11), joitten tuottavuutta voidaan parantaa yksinkertaisilla järjestelyillä kuormatilaa suurentamalla ja kuormaimen kouraa muotoilemalla. Täten tehostetulla kalustolla kuljetuksen tuottavuus on 250 m:n ajomatalla 10—13 m<sup>3</sup>/h, mikäli hakkuukone on soveltanut tavanomaista työtekniikkaa. Kun hakkuukoneen työskentelyssä otetaan huomioon tähteen talteenottotavoite, kuormatraktorin tuottavuus nousee tasolle 12—17 m<sup>3</sup>/h. Samalla myös talteensaantiaste kohoaa (Brunberg 1994, Nurmi 1994). *Runkopuun ja tähteen korjuu tulee siis suunnitella yhtenä kokonaisuutena:*

	Hakkuukone ei ota huomioon tähteen talteenottoa	Hakkuukone tähtää tähteen talteenottoon
Kuormatraktorin tuottavuus, m <sup>3</sup> /h	10—13	12—17
Tähteestä saadaan talteen, %	55—60	65—80

Jos tähde kuljetetaan tien varteen samalla traktorilla kuin runkopuutavara, vaikkakin erillisinä kuormina, vältetään ylimääräisiltä konesiirroilta. Jos tähden kuljetus tehdään eri kalustolla, kuormatraktoriin voidaan tehdä tähdettä silmällä pitäen muutoksia, ja viipeen kautta samalla avautuu mahdollisuus tähden kuivattamiseksi hakkuualalla yli kesäkauden. Vaihtoehtojen edullisuus riippuu suuresti myös koneitten ja kuljettajien työllisyystilanteista (Asikainen 1995).



*Kuva 11. Hakkuutähde kuljetetaan tien varteen vakiorakenteisella kuormatraktorilla, joka voidaan varustaa erikoisrakenteisella kouralla ja laajennetulla kuormatilalla (kuva Jaakko Miettinen).*

*Tähteen kuljetus voidaan tehdä myös maataloustraktorilla, jonka kuormatilaa ja kouran rakennetta niinkään voidaan muuntaa tähän tarkoitukseen. Maataloustraktoriyrittäjä voisi kerätä hakkuutähdettä omista ja ulkopuolistenkin metsistä ja myydä sitä hakkeenhankintaorganisaatiolle tai haketusyrittäjälle hankintakaupalla tien varteen toimitettuna. Tällainen hankintapalvelu yrittäjäverkostoineen soveltuisi hyvin myös metsänhoitoyhdistysten ohjaukseen, olletikin kun hakkuutähteen poistaminen helpottaa metsänuudistamisen teknistä toteuttamista. Ratkaisu saattaisi soveltua myös suurehkon lämpöyrittäjäyryssopimuksen käyttöön.*

Jotta hakkuutähdettä voitaisiin käyttää polttoaineena, siitä tehdään terävillä terillä leikaten haketta tai tylsillä vasaroilla iskien mursketta. Kun tähdettä keräillään traktorin kuormaimen kouralla, mukaan saattaa joutua kiviä ja muita epäpuhtauksia, joita murskaimen vasaraterät kestävät paremmin kuin hakkurin veitsiterät. Sekä hakkurin että murskaimen häiriöttömän toiminnan ja hyvän tuottavuuden ehdottomana edellytyksenä on suuri syöttöaukko, johon tähdetaakat hakkurin kuormaimella sekä pakkosyöttörullilla tai telamatolla saatetaan. Hakkuutähdehakkureita ja -murskaimia ympäröi usein sisäinen seula, jolla estetään ylisuurten hakepalojen pääsy lopputuotteen.

Suomessa hakkuutähteen haketus ja murskaus tapahtuvat yleensä tienvarsivarastolla (kuva 12), mutta Ruotsissa yleisin toimintamalli on palstahaketus. Järeitten hakkuutähdehakkureitten tuottavuus on varastolla työskennellessä lähes yhtä suuri kuin saman kokoluokan kokopuu hakkureitten. Suomessa on kehitetty myös aivan uuden



*Kuva 12. Kotimaiset Energiat Ky Pekka Lahden kuorma-autosovitteinen Evolution rumpuhakkuri valmistamassa hakkuutähdehaketta (kuva Jaakko Miettinen).*



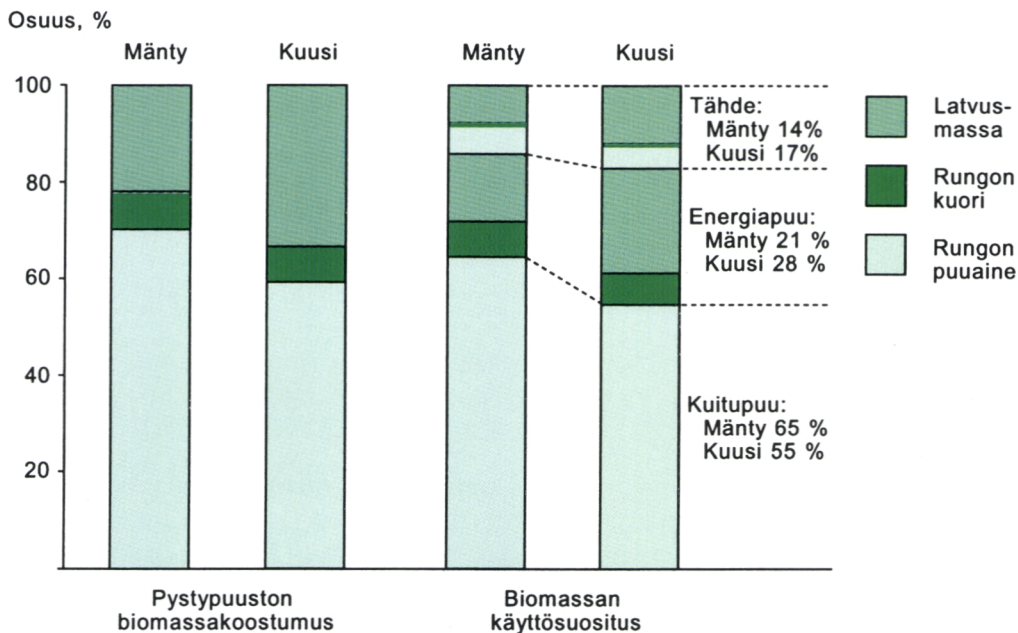
*Kuva 13. MOHA hakkurikuorma-auto valmistamassa hakkuutähdehaketta uudistus-hakkuualalla (kuva Jaakko Miettinen).*

tyyppinen vaihtoehto, jossa hakkuri ja vaihdettava hakekontti on sijoitettu samaan maastokuorma-autoon (kuva 13). Tämä MOHA-hakkuri hakettaa tähdettä maaston kantavuudesta riippuen joko palstalle kerätyiltä kasoilta tai tienvarsivarastosta ja hoitaa perävaunun avulla myös valmiin hakkeen kuljetuksen, jolloin vältytään perinteistä tuotantoketjua häiritseviltä hakkurin ja kuorma-auton välisiltä odotusajoilta. On myös tutkittu kokopuitten laahusjuontoa latvusmassan talteenoton ratkaisuna, mutta kokopuumenetelmien niveltäminen kuormatraktorin ja tavaralajimenetelmän pohjalle rakennettuun puunhankintajärjestelmäämme on ongelmallista (Nousiainen & Vesisenaho 1996).

Hakkuutähdeestä tehdyn polttoaineen kustannukset jäävät selvästi alhaisemmiksi kuin pienpuuhakkeen, koska kaato- ja kasausvaiheen kustannukset ovat hyvin pienet. Myös metsäkuljetuksessa päästään alhaisempiin kustannuksiin kuin kokopuulla harvennusleimikoissa. Haketuksessa ja autokuljetuksessa kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen kustannuserot sen sijaan ovat vähäisiä.

## 4.4 Kuitu- ja energiapuun yhdistetty korjuu

Kuitupuuta korjattaessa tuotetaan aina myös energiaraaka-ainetta, vaikkei varsinaisesti ole toiminnan tavoite. Mekaanisessa kuidutuksessa energian tuotantoon käytetään kuorintatähde ja kemiallisessa kuidutuksessa kuoren lisäksi myös jäteliemi, joka sisältää puusta liuenneen ligniinin ja hemiselluloosia. Yli puolet kuorellisen puun massasta päätyy sulfaattiselluteollisuudessa energian tuotantoon.



Kuva 14. Männyän ja kuusen ensiharvennusleimikosta poistettavan puuston biomassan jakautuminen potentiaaliseen kuitupuuhun, energiapuuhun ja hakkuutähteeseen, kun alle 5 cm:n latva oksineen jätetään metsään.

Kuitu- ja energiapuun yhdistetyllä korjuulla tarkoitetaan yleensä sellaisia rationaalisia menetelmiä, joissa kuitupuun rinnalla tavoitteellisesti otetaan talteen myös pelkästään energiakäyttöön kelpoista latvusmassaa. Kuitupuu korjataan silloin karjimattomana kokopuuna tai osapuuna. Kun ravinnetasapaino- ja ekologisista syistä osa kaadetun puuston biomassasta tulisi kuitenkin jättää tähteeksi hakkuualalle, suositellaan menettelyä, jossa runko katkaistaan 5 cm:n läpimitan kohdalta ja ylin latvakappale oksineen jätetään metsään. Tällöin ensiharvennusleimikosta poistettavan puuston biomassa jakaantuu kuitupuuksi, energiapuuksi ja hakkuutähteeksi kuvan 14 osoittamalla tavalla.

Kuvan vasen pylväspari osoittaa runkokuun, rungon kuoren ja latvusmassan osuudet ensiharvennusleimikoitten pystypuissa. Oikea pylväspari osoittaa, mikä osuus kuitu- ja energiaositteesta on mahdollista saada talteen, jos ensiharvennuspuu korjataan oksineen mutta kuitenkin siten, että alle 5 cm:n latva jätetään tähteeksi. Käytännössä energiapuun kertymä jää kuitenkin pienemmäksi, sillä oksia katkeilee ja kuorta varisee puutavaraa kuormaimella käsiteltäessä.

Yhdistetty korjuu näyttää raaka-ainetaseen valossa erityisen houkuttelevalta kuusikoissa, koska kuusella kertyy latvusmassasta mäntyyn verrattuna kaksinkertainen määrä energiapuuta. Todellisuudessa yhdenntetty koko- tai osapuunakorjuu on kuitenkin paljon lähempänä toteutumistaan ensiharvennusmänniköissä, sillä:

- Oksista kaato- ja kasaustyössä metsurille ja kaatokoneelle aiheutuva haitta on männyllä vähäisempi.

- Oksista aiheutuva kuormatilan menetys ja kuljetuskustannusten nousu on männyllä vähäisempi niinikään.
- Tehdasvarastolla tapahtuva osapuun joukkokarsinta- ja kuorinta onnistuu paremmin männyllä.
- Kuorinnan puhtausvaatimukset ovat sellun raaka-aineeksi käytettävällä männyllä lievemmat kuin mekaanisen massan raaka-aineeksi käytettävällä kuusella. Tosin kuusi soveltuu hyvin myös sellupuuksi.
- Latvusmassan talteenoton aiheuttama ravinnemenetys ja kasvitappio on männikössä pienempi.
- Takavuosien mäntyä suosineesta metsänuudistamissuuntauksesta johtuen ensiharvennusten painopiste on nykyään vahvasti männiköissä, minkä vuoksi myös menetelmäkehittely on edennyt pisimmälle juuri männyllä.

Erityisesti Veitsiluoto Osakeyhtiö korjasi ensiharvennuspuuta osapuumenetelmällä oksineen siten, että karsinta ja kuorinta tehtiin sellutehtaan kuorimarummussa muun kuitupuun seassa. Yhteiskäsittelyssä pienikokoinen ensiharvennuspuu kuitenkin murskaantuu helposti, jolloin kuituositetta joutuu energiapuuksi.

Bioenergian tutkimusohjelmassa on kiinnitetty suurta huomiota osapuun korjuu- ja käsittelytekniikan kehittämiseen. Keskeisiä kehityskohteita ovat pienten puitten jouk-



*Kuva 15. Timberjack 745 harvesteripäällä varustettu Timberjack 870 hakkuukone soveltaa joukkokäsittelytekniikkaa ensiharvennusmännikössä työskennellessään (kuva Pentti Hakkila).*

kokäsittely koneellisessa hakkuussa (Lilleberg 1995, kuva 15), kaadon ja metsäkuljetuksen yhdistäminen (Lilleberg 1996), karsimattoman puun tilankäytön tehostaminen autokuljetuksessa sekä kuoren ja latvusmassan eli energiaositteiden erottaminen mahdollisimman tarkoin runkopuusta eli kuitupuuositteesta ilman, että arvokasta runkopuuta joutuu energiakäyttöön ja kuoriainesta jää yli sallitun määrän selluhakkeeseen. Suomessa on kehitetty viime vuosina useita *uusia teknisiä ratkaisuja kuitu- ja energiaositteiden erottamiseksi toisistaan*:

- *Pertti Szepaniak Oy* on siirtänyt Suomeen amerikkalaisen ketjukarsinta-kuorinta-haketustekniikan ja mukauttanut sen paikalliseen ensiharvennuskannan korjuujärjestelmään. Osapuun joukkokarsinta ja -kuorinta tehdään ennen haketusta kuorma-auton alustalle asennetulla laitteistolla teräsketjuilla piiskaaten. Menetelmä on osoittautunut toimivaksi, mutta selluhakkeelle asetetun 1 %:n kuoripitoisuusrajan saavuttaminen tuottaa erityisesti pakkasoloissa vaikeuksia (Hakkila & Kalaja 1993, Kuitto & Rieppo 1993, Rieppo ym. 1995).
- *Pertti Szepaniak Oy* on rakentanut Enso Oy:n Kaukopään tehtaalle ensiharvennuspuun käsittelyaseman, jossa puutavara ajetaan ensin ketjukarsija-kuorijan ja sitten pienikokoisen kuivarummun ja hakkurin läpi (kuva 16). Tämä aivan uutta pienpuuteknologiaa edustava laitos on otettu käyttöön vuoden 1996 alussa, ja siitä saadut alustavat kokemukset ovat nimenomaan mäntykuitupuun osalta erittäin rohkaisevia (Hakkila ym. 1995, Rieppo ym. 1996).
- *Hooli Oy* on kehittänyt kuorma-auton alustalle rakennetun ketjukarsinta-kuorinta-murskainyhdistelmän, jolla kuitupuuta karsitaan ja kuoritaan ketjuilla piiskaamalla. Prosessitähde murskataan samassa yhteydessä tasalaatuiseksi polttoaineeksi, mutta kuitupuuta haketetaan vasta jälkikäteen erillisellä autohakkurilla (kuva 17). Ratkaisun erityispiirteenä on energiapuun tarkka hyödyntäminen. Laitteesta on saatu käytännön mittakaavan kokeissa lupaavia tuloksia, ja sen kehittäminen jatkuu edelleen (Hooli ym. 1996).
- *VTT Energia* on kehittänyt kokopuuhakkeen puhdistusmenetelmän, jossa energiaosite erotetaan kuituositteesta vasta haketuksen jälkeen. Kuori irrotetaan hakepalasista jauhimessa ja poistetaan puun seasta mm. seuloja, ilmavirtauksia ja värierottelijaa hyväksi käyttäen. Tekniikkaa sovelletaan vuonna 1995 valmistuneessa Pohjois-Satakunnan Massahake Oy:n kokopuuhakkeen lajitte-laitoksessa Kankaanpäässä (Hartikainen 1996). Ongelmana on levyjauhannassa muodostuvan pienikokoisen neulahakkeen aiheuttama kuitupuun hävikki.

Nämä tekniikat edistävät *ensiharvennuspuun yhdennettyä hyödyntämistä päätuotteena kuitu- ja sivutuotteena energiapuu*. Metsäteollisuus voisi niitten avulla laajentaa kuituraaka-ainepohjaansa ja ehkä kehittää nuoren ensiharvennuspuun kuiduista erikoistuotteita, ja samalla se saisi käyttöönsä myös energiaraaka-ainetta.

Rationaalinen korjuu- ja karsinta-kuorintatekniikka merkitsee kuitenkin sitä, ettei energiapuun talteenotto tässä tapauksessa synnyttäisi uusia työpaikkoja siinä määrin kuin esimerkiksi kokopuuhaketta energiakäyttöön hankittaessa. Toiminnalla olisi joka tapauksessa suuri metsänhoidollinen merkitys.



*Kuva 16. Pertti Szepaniak Oy:n ketjukarsija-kuorijasta, pienrummusta, hakkurista ja hakeseulasta koostuva ensiharvennuspuun käsittelyasema Enso Oy:n Kaukopian tehdasvarastolla (kuva Hannu Kalaja).*



*Kuva 17. Hooli Oy:n kuorma-auton alustalle rakentama ketjukarsija-kuorijan ja prosessitähteen murskaimen yhdistelmä käsittelemässä ensiharvennusmäntyä tienvarsivarastolla (kuva Hannu Kalaja).*

## 4.5 Hakkeen tuotantokustannukset

*Vain pieni osa energiapuusta joutuu käytännössä kaupan piiriin* niin, että sille määrytyy tuotantokustannuksiin perustuva hinta. Vaihteluväli on laaja, sillä kustannusten muodostuminen riippuu monista tekijöistä:

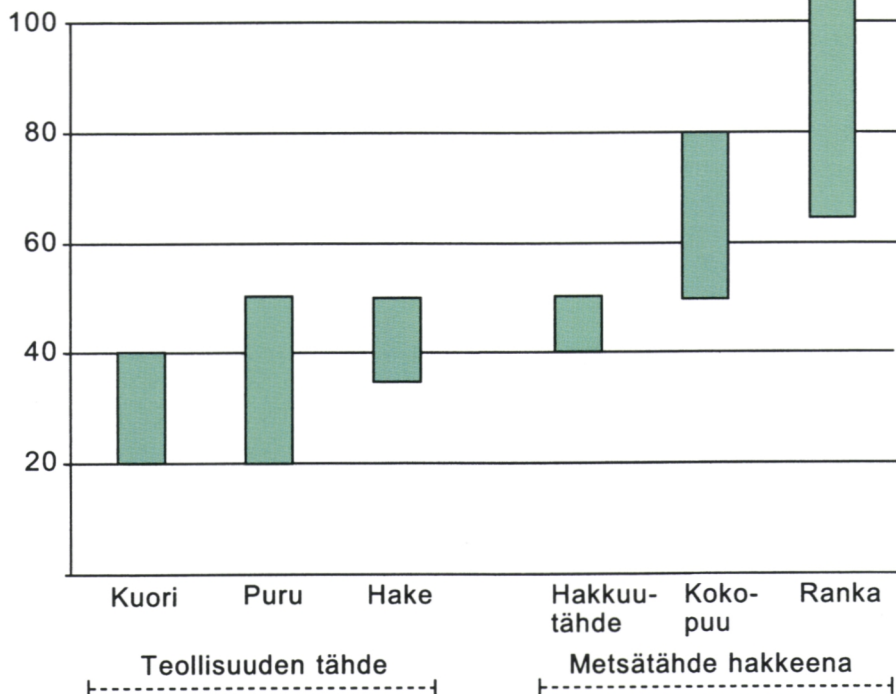
- Leimikkotekijät (harvennukset/uudistushakkuut, puuston koko, maasto, kertymä hehtaaria kohti, kertymä leimikkoa kohti jne.)
- Kuljetusetäisyydet (metsäkuljetus, autokuljetus)
- Hankintaorganisaation tehokkuus ja logistiikan toimivuus (työvoiman ammatitaito, konekalusto, toiminnan mittakaava ja ympärivuotisuus, organisaation ja kaluston täystyöllisyys jne.)
- Raaka-aineen laatu ja lämpöarvo (pienpuu/hakkuutähde/teollisuustähde, puulaji, biomassan koostumus, kosteus jne.)

On hyvin vaikeata määrittää hakkeelle fossiilipolttoaineitten tapaan yleispätevää hintatasoa, sillä edellä mainittujen tekijäin vaikutus vaihtelee tapauskohtaisesti suuresti. Kauppa- ja teollisuusministeriön neljännesvuosittain julkaisemassa energiatilastossa lähtökohtana on pitkään ollut VAPOn markkinahinta, joka ei kuitenkaan ole täysin vastannut kaikkien toimittajien keskimääräistä tilannetta. Hakkeen kuluttajahinnaksi ilmoitettiin vuonna 1991 peräti 98 mk/MWh, mutta sen jälkeen tilastoarvoja on tarkistettu. Vaikkei jyrkkiä hinnanmuutoksia todellisuudessa ole tapahtunut, kuluttajahinta oli saman tilaston mukaan vuonna 1995 enää 60 mk/MWh. Halon tilastohinta oli vastaavasti 130 mk/MWh (Energiakatsaus 1996), mikä maaseudun hintatasoa ajatellen saattaa edelleen olla keskitasoa korkeampi.

Puuenergiayhdistys ry:n ja Metsäntutkimuslaitoksen kyselytutkimuksessa saatiin vuoden 1995 keskimääräiset hintatiedot 50 metsähaketta käyttävältä lämmityslaitokselta, joilta tiedusteltiin hakkeesta, purusta ja kuoresta käyttöpaikalla maksettua arvonlisäverotonta hintaa. Hakkeen osalta erotettiin neljä ryhmää: karsitusta pienpuusta tehty rankahake, karsimattomasta pienpuusta tehty kokopuuhake, uudistushakkuualojen tähteestä tehty hakkuutähdehake sekä mekaanisen metsäteollisuuden prosessitähteestä tehty hake. Monilla laitoksilla hakkeelle oli kuitenkin tiedossa vain yksi keskimääräinen hinta, eikä hankintaorganisaation toimittamien erityyppisten hakkeitten hintoja voitu niitten osalta eritellä. Metsäteollisuus ja voimalaitokset jäivät kyselytutkimuksen ulkopuolelle.

Laitoskyselyn tulokset nähdään kuvasta 18. Polttoainelajien väliset erot ovat hyvin merkittäviä, ja myös lajien sisäinen vaihtelu on laaja. Kuvasta on jätetty pois eräitä pieniä laitoksia, joitten ilmoittama hintataso poikkeaa muista suuresti, mutta niitten osuus kokonaiskäytöstä on vain 1—2 %.

Hinta käyttöpaikalla  
mk/MWh



Kuva 18. Lämmityslaitosten puupolttoaineista maksama arvonlisäveroton hinta käyttäjäkyselyn mukaan vuonna 1995.

Metsäteollisuuden prosessitähde on kustannuksiltaan edullisempaa polttoainetta kuin metsähake. Halvimpia ovat kuorintatähde ja puru. Kuorimattomista sahauspinnoista ja puusepänteollisuuden prosessitähdeestä tehty hake on jo kalliimpaa. Sen kanssa lähes samalle kustannustasolle yltää myös hakkuutähdehake. Pienpuusta tehdyn hakkeen kustannukset ovat oleellisesti korkeammat, aivan erityisesti jos hake tehdään karsituista rangoista. Kyselytutkimuksen aineistossa käyttömäärillä painotetut keskimääräiset kustannukset olivat seuraavat:

Keskimääräinen kustannus  
käyttöpaikalla vuonna 1995, mk/MWh

Metsäteollisuuden tähde:

Kuorintatähde	32
Sahanpuru	33
Teollisuustähdehake	44

Metsähake:

Hakkuutähdehake	46
Kokopuu	62
Rankahake	89
Metsähake keskimäärin	58

Metsäntutkimuslaitos on aikaisemmin tehnyt selvityksen metsähakkeen käytöstä lämmityslaitosten polttoaineena vuonna 1982. *Metsähakkeen kustannus on 13 vuoden kuluessa jopa alentunut markkamääräisesti.* Tämä on osaksi kone- ja menetelmäkehittelyn ansiota, mutta merkittävä vaikutus on ollut myös hankintaorganisaation ja -logistiikan kehittämisen avulla. Tarjouskilpailumenettely on johtanut metsäkone- ja -kaluston yleiseen alentumiseen, ja tämä heijastuu myös energiapuun hankintakustannuksissa, vaikka konekalusto on edelleenkin vajaatyöllistetty. Pienpuusta tehtävän hakkeen kustannuksiin vaikuttaa alentavasti myös metsänparannusvaroista osaksi saatu tuki, jonka suuruus on 25 mk/m<sup>3</sup> eli 13 mk/MWh. Myös hakepuulle maksettavasta pienestä kantohinnasta lienee tingitty. Vain runsaasti ihmistyötä vaativan rankahakkeen kustannus on lievästi noussut:

	Vuosi 1982	Vuosi 1995	Muutos, %
	Kustannus käyttöpaikalla, mk/MWh		
Hakkuutähdehake	52	46	-12
Kokopuuhake	75	62	-17
Rankahake	85	89	+ 5

Että puupolttoaineitten suhteellinen kustannuskilpailukyky on Ruotsissa selvästi parempi kuin Suomessa, johtuu erilaisesta verotuskohtelusta eikä suinkaan edullisemmista tuotantokustannuksista. NUTEK:n neljännesvuosittaiseen puu- ja turvepolttoaineitten hintatilastoon perustuva asetelma osoittaa, että *ruotsalaisten lämmityslaitosten metsähakkeesta vuonna 1995 maksama liikevaihtoveroton keskihinta oli 24 % korkeampi kuin metsähakkeen keskihinta Suomessa* vastaavasti toukokuun 1996 vaihtokurssin (SEK=0,70 FIM) mukaan. Hintaero oli vielä suurempi teollisuuden prosessitähdeestä valmistetulla polttoaineella. Lämmityslaitokset maksoivat puupolttoaineesta hieman enemmän kuin teollisuuslaitokset (Prisblad... 1996):

	Ruotsi 1995	
	Lämmityslaitokset	Teollisuuslaitokset
	Puupolttoaineesta maksettu hinta, mk/MWh	
Teollisuuden tähde	64	55
Metsähake	76	72
Pelletit ja briketit	102	

Pienpuuhakkeen suurin yksittäinen kustannuserä koituu kaadosta ja kasauksesta, johon työhön rankahaketta tuotettaessa liittyy myös karsinta. Näitä työvaiheita ei ole vielä onnistuttu koneellistamaan tyydyttävästi. Kustannukset kohoavat korkeiksi, erityisesti jos puut ovat pieniä, kertymä hehtaaria ja koko leimikkaa kohti on alhainen, hakkuualalla on työtä haittaavaa risukkoa, maasto on vaikeakulkuista ja etäisyys tielle on pitkä. Uudistushakkuualueiden hakkuutähdehakkeen edullinen kustannustaso perustuukin siihen, että kaato- ja kasausvaiheen kustannus jää sen osalta hyvin pieneksi, koska tähde on yksiottehakkuukoneen jäljiltä sellaisenaan valmistatteen kerättäväksi.

Sekä metsä- että autokuljetus edustavat noin 20 % kokopuuhakkeen ja 25 % hakkuutähdehakkeen kokonaiskustannuksesta. Autokuljetuksen kustannus vaihtelee yksityistapauksissa suurestikin matkan pituudesta riippuen, ja hankintatoiminnan laajentuessa autokuljetuksen kustannusosuus kasvaa (taulukko 2).

*Kantohintaa energiapuulle ei juurikaan ole mahdollista maksaa, vaan metsänomistajan saama hyöty koituu metsänhoidollisista eduista. Esimerkiksi Mikkelin Puuha-projektissa arvioitiin metsänuudistamiskuluja säästyneen 300 000 mk, kun kolmen vuoden aikana otettiin talteen hakkuutähdettä yhteensä 530 ha:n alalta (Saksa & Auvinen 1996). Kun kantohintaa ei makseta, kuitupuun mitat täyttävä ensiharvennuspuu jää pois metsäenergiareservistä. Todettakoon, että vuoden 1995 lopulla ensiharvennuspuun kantohintataso oli 60—70 mk/m<sup>3</sup> eli 32—37 mk/MWh, mutta menekki on rajallinen.*

Työllisyyden ja paikallisen tulonmuodostuksen kannalta on toivottavaa, että mahdollisimman suuri osa hakkeen kustannuksista koostuu metsureitten, koneenkuljetien ja työnjohdon palkkatuloista. Korkea ihmistyöpanos merkitsee kuitenkin samalla korkeata kokonaiskustannusta, ja siksi *liiketaloudellinen kilpailukyky on paras niillä haketyypeillä, jotka tuotetaan pienin ihmistyöpanoksin*. Henkilökustannusten osuus on rankahakkeella 70—80 %, kokopuuhakkeella 45—50 % ja hakkuutähdehakkeella 25—30 %.

Bioenergian tutkimusohjelman kehitystyössä kustannusten tavoiterajaksi on asetettu 45 mk/MWh, jolle tasolle hakkuutähdehakkeen kustannus onkin jo putoamassa, milloin toiminnan laajuus mahdollistaa tehokkaitten koneitten ja hankintajärjestelmien käytön. Kokopuuhakkeen kustannus on edelleen liiketaloudellisen kannattavuuden kannalta korkea, mutta kun otetaan huomioon myös alue- ja kansantaloudelliset sekä ympäristönäkökohdat (luku 7), sen käytön tukeminen on yhteiskunnan kannalta perusteltua jo nykytasolla.

*Taulukko 2. Kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen keskimääräinen kustannusrakenne ilman kantorahaa.*

Kustannustekijä	Kokopuuhake Kustannusrakenne, %	Hakkuutähdehake
Hakepuun teko	29	2
Hakepuun metsäkuljetus	19	23
Kustannus tien varressa	48	25
Haketus	22	38
Hakkeen autokuljetus	19	27
Korkokulut	3	2
Työnjohto ja yleiskulut	8	8
Kokonaiskustannus	100	100

# 5 Energiapuun käyttö

Puu on monimuotoinen energian lähde. Perinteiset halko, ranka ja niistä tehty pilke kattavat enää viidenneksen puuperäisten polttoaineitten käytöstä (luku 5.1). Metsähakkeen käyttö lämmityslaitoksissa, niin paljon kuin sen kasvua onkin toivottu, edustaa edelleenkin vain 1 % puuperäisten polttoaineitten kokonaiskäytöstä (luku 5.2). Pääasiallinen puuperäisen energian tuottaja ja käyttäjä on metsäteollisuus, jonka puupolttoaineet koostuvat mekaanisissa ja kemiallisissa jalostusprosesseissa syntyvästä kuoresta, purusta ja jäteliemestä (luku 5.3).

Jos puupolttoaineitten käyttö rajoittuu lämmitykseen ja teollisuuden prosessihöyryn tuotantoon, kasvumahdollisuuksia avautuu niukalti. Siksi nähdään välttämättömäksi, että tulevaisuudessa rakennetaan uuteen tekniikkaan perustuvia laitoksia, jotka lämmön lisäksi tuottavat puubiomassasta korkeammalle jalostettua energiaa, lähinnä sähköä (luku 5.4).

Puupolttoaineitten ongelmana on laadun hallitsematon vaihtelu. Pitkällä tähtäyksellä on tärkeää kiinnittää entistä enemmän huomiota myös käyttöominaisuuksien parantamiseen. Laadukkaissa jalosteissa energia on tiivistetyssä muodossa, minkä ansiosta niitten kuljetus, käsittely ja varastointi on helppoa (luku 5.5).

## 5.1 Puu pientalojen lämmön lähteenä

Metsäntutkimuslaitos toteutti valtakunnallisen puunkäyttötutkimuksen ensimmäisen kerran vuonna 1927. Tuolloin käytettiin polttopuuta kaikkiaan 16 milj. m<sup>3</sup>, josta kiinteistöjen osuus oli 13 milj. m<sup>3</sup>. Maaseudun kotitarvekäytön ohella puu oli lämmön lähde myös kouluissa, kunnalliskodeissa, sairaaloissa, kaupunkien kerrostaloissa, teollisuudessa, rautateillä jne. (Saari 1934):

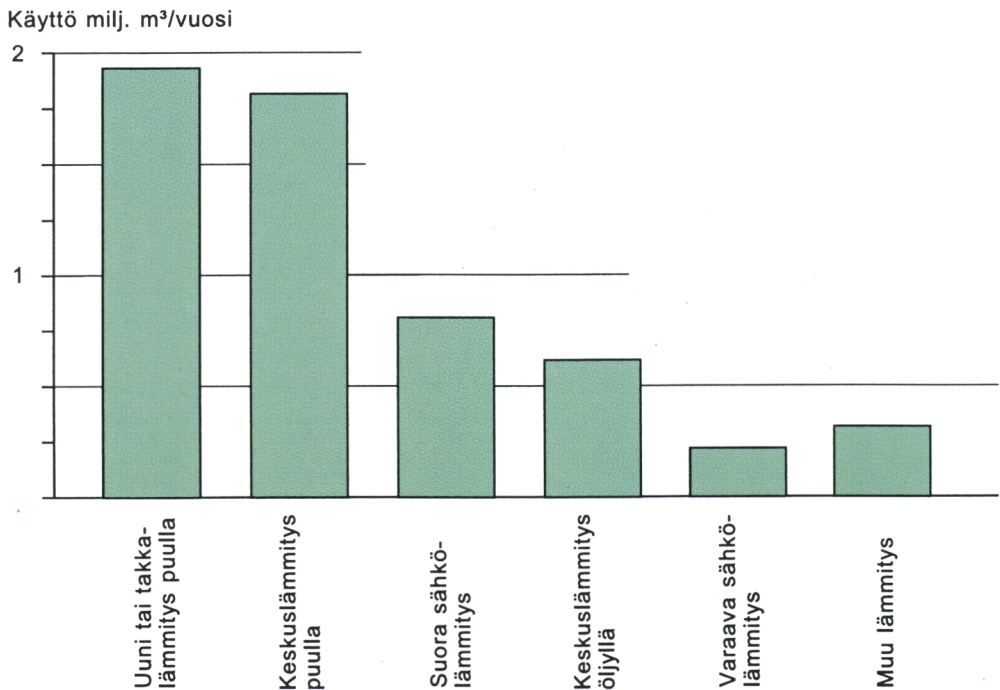
Käyttäjä	Puun energiakäyttö vuonna 1927, milj. m <sup>3</sup>
Teollisuus	1,7
Liikenne	1,4
Maaseudun kotitarve	10,9
<u>Muut (koulut, sairaalat jne.)</u>	<u>2,1</u>
Yhteensä	16,1

Kiinteistöjen puun käyttö säilyi lähes muuttumattomana aina 1950-luvun puoliväliin saakka, jolloin vielä lehtipuu tehtiin edelleen pääsääntöisesti haloksi. Vasta kun lyhytkuituisesta koivustakin tuli 1960-luvulla paperin raaka-aine ja halpaa öljyä alkoi virrata maahan, puun polttaminen alettiin nähdä kansantaloudellisena tuhlauksena, ja se kääntyi parin vuosikymmenen ajaksi jyrkkään laskuun. Lasku laantui viime

vuosikymmenen alussa toisen yleismaailmallisen energiakriisin seurauksena. Kiinteistökohtaisesti käyttö on vähentynyt senkin jälkeen, sillä pientalojen lämmitysenergian tarve on supistunut parantuneen eristystason ansiosta. Myös puulämmityskattiloitten hyötysuhde on tehostunut, ja lämmityslaitteita osataan käyttää aiempaa taloudellisemmin.

Suomessa on kaikkiaan 1,4 miljoonaa pientalokiinteistöä, joista 48 % on omakotitaloja, 26 % vapaa-ajan asuntoja, 13 % maatalan päärakennuksia ja 13 % paritaloja, myymälöitä, kouluja ynnä muita rakennuksia. Yhä edelleen 30 %:ssa niistä ensisijainen lämmitysratkaisu on puun poltto uunissa tai takassa ja 8 %:ssa puun poltto keskuslämmityskattilassa (kuvat 19 ja 22). Kolme neljännestä kaikista pientalokiinteistöistä polttaa puuta ainakin jossain määrin. Uusien omakotitalojen suosituin lämmönlähde on kuitenkin jo pitkään ollut sähkö, jota puuta polttavat tulisijat sitten täydentävät (Peltola & Tuomi 1996).

Lämmityskaudella 1992—1993 pientalot polttivat 5,6 milj. m<sup>3</sup> puuta, josta 4,6 milj. m<sup>3</sup> oli raakapuuta ja 1,0 milj. m<sup>3</sup> erilaista jätetuuta. Puu käytettiin perinteiseen tapaan halkona, rankana ja pilkkeenä (kuvat 20 ja 21). Pelkästään saunapuuta käytettiin 1,1 milj. m<sup>3</sup>. Hakkeen osuus oli vain 4 % (Salakari & Peltola 1995). Pientalojen käyttö on määrällisesti suurempi kuin aikaisemmin on otaksuttu, eikä se näytä olevan enää supistumassa. Käytöstä kaksi kolmannesta on lehtipuuta, josta vain pieni osa täyttäisi kuitupuun laatu- ja leimikkovaatimukset.



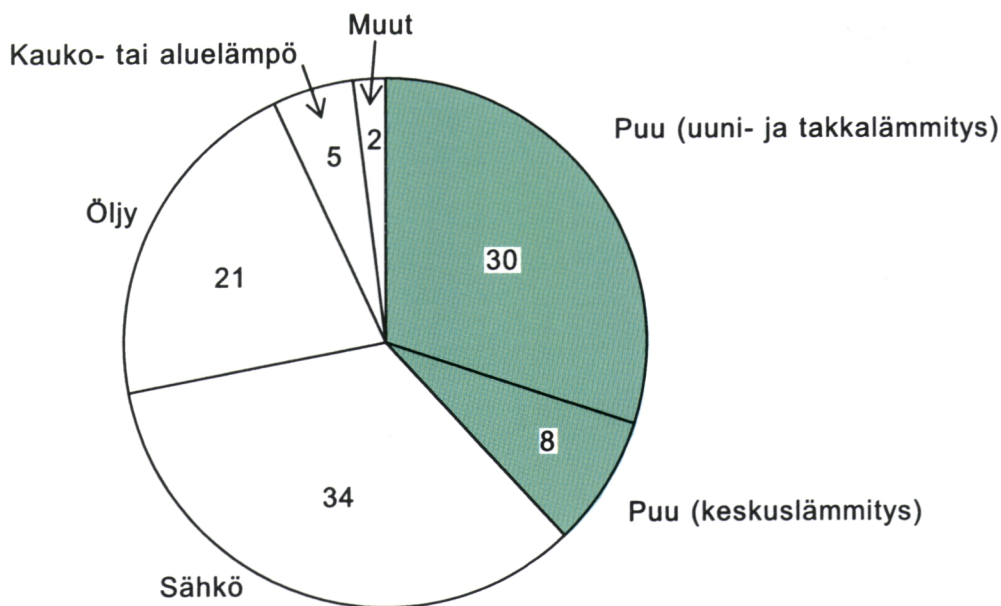
Kuva 19. Puu pientalojen lämmönlähteenä lämmityskaudella 1992-1993 kiinteistön päälämmitystavan mukaan jaoteltuna (Salakari & Peltola 1995).



*Kuva 20. Yksimetrinen halko samoin kuin siitä tehty pilke on edelleen yleinen pien-  
talojen polttoaine (kuva Pentti Hakkila).*



*Kuva 21. Saunojen lämmitykseen käytetään vuosittain yli miljoona m<sup>3</sup> pilkettä (kuva  
Erkki Salo).*



Kuva 22. Pientalojen jakauma (%) pääasiallisen lämmitysenergiälähteen mukaan lämmityskaudella 1992—1993 (Salakari & Peltola 1995).

Pääosa pientalojen polttopuusta korjataan käyttäjän itsensä toimesta, eikä se siis tule kaupan piiriin. Kannattavuus perustuu tuolloin paljolta siihen, että omatoimisessa työssä vältetään sekä vero- että sosiaalikulunnuksilta. Vain 17 % hankitaan ostamalla, ja silloinkin useimmiten pieninä erinä lähinaapureilta. Lähes puolet käytöstä keskittyy maataloille, missä polttopuun kilpailuasemaa parantavat oman kaluston käyttömahdollisuus, lyhyt kuljetusmatka, varastotilojen väljyys, ja toiminnan tuottama metsänhoidollinen hyöty. Käyttö jakaantuu pienkiinteistöjen kesken seuraavasti (Salakari & Peltola 1995):

	Energiapuun käyttö vuonna 1993	
	m <sup>3</sup> /kiinteistö	yhteensä milj. m <sup>3</sup>
Maatilat	13,0	2,5
Omakotitalot	3,3	2,3
Vapaa-ajan asunnot	1,8	0,6
Muut pienkiinteistöt	1,0	0,2
<b>Kaikki pientalot</b>	<b>4,0</b>	<b>5,6</b>

Pientalojen energiapuun käyttö on bruttoenergia-arvoltaan yli 11 TWh vuodessa. Se on keskimäärin 1,1 m<sup>3</sup> jokaista suomalaista kohti. Luku on suurin Mikkelin (2,1 m<sup>3</sup>) ja Kuopion (1,8 m<sup>3</sup>) lääneissä ja pienin Uudenmaan (0,4 m<sup>3</sup>) läänissä (Salakari & Peltola 1995).

Kasvunäkymät ovat rajalliset, mutta jos hintasuhteet heilahtavat puuta suosivaan suuntaan, *tulisijojen tehokkaampi käyttö mahdollistaa vuositasolla 1 milj. m<sup>3</sup>:n lisäyksen ilman laiteinvestointejakin*. Sekä uudis- että korjausrakentamisessa tulisi ottaa entistä paremmin huomioon puun lämmityskäytön mahdollisuus. Vaikka se lisääkin investointikustannuksia, se mahdollistaa käyttökustannusten alenemisen ja monessa tapauksessa lisää asumisviihtyisyyttä. Kasvua voi tapahtua ennen kaikkea omakotitaloissa, kun taas maataloudessa tilakuolet vaikuttavat pikemminkin päinvastaisesti.

## 5.2 Puu lämmityslaitosten polttoaineena

Puun energiakäytöstä käydyssä keskustelussa on annettu suuri painoarvo puuta polttaville lämmityslaitoksille. Syynä ei suinkaan ole nykykäytön taso, vaan lämmityslaitoksiin erityisesti kunnan kannalta kohdistuvat odotukset. Juuri lämmityslaitosten puunkäyttö voisi elvyttää haja-asutusalueitten työllisyyttä, sillä lämmityslaitosten polttohakkeesta maksama raha jää suureksi osaksi oman paikkakunnan talouselämää piristämään.

Suomeen rakennettiin 1950-luvun jälkipuoliskolla lukuisia hakelämmityslaitoksia, mutta fossiilipolttoaineitten hintojen laskiessa ja koivun kuitupuukäytön avautuessa 1960-luvulla useimmat niistä siirtyivät käyttämään öljyä. Poikkeuksena olivat lähinnä varuskunnat, jotka kriisiaikojen valmiutta ja osaamista ylläpitääkseen jatkoivat hakkeen käyttöä. Hake tehtiin hyvälaatuisesta karsitusta raaka-aineesta, ja sen toimituksista vastasi VAPO.

Kun kiinnostus kotimaisiin polttoaineisiin ensimmäisen ja toisen energiakriisin seurauksena virisi jälleen 1970-luvulla, vain harva laitos poltti enää haketta, mutta osaminen oli edelleen tallella. Valtiovalta ryhtyi tukemaan kotimaisia polttoaineita käytävien laitosten investointeja, ja vuosina 1979—1982 hakelämmityslaitosten määrä moninkertaistui. Öljyn korkea hinta teki hakkeen polttoainekäytön kannattavaksi.

Vuoden 1982 päättyessä Metsäntutkimuslaitos toteutti koko maan kattaneen haastattelututkimuksen, jossa selvitettiin polttohakkeen käytön laajuus ja ongelmat (Hakkila 1984). Maassa oli tuolloin kaikkiaan 115 teholtaan yli 0,5 MW:n lämmityslaitosta, jotka käyttivät ainoana tai osapolttoaineenaan rangoista, kokopuusta tai hakuuhteesta tehtyä metsähaketta. Käyttäjien joukossa oli 60 kunnallista aluelämmityslaitosta, 17 varuskuntaa, 9 oppilaitosta, 8 teollisuuslaitosta, 5 sairaalaa ja 4 meijeriä. Käyttäjää oli runsaimmin Pohjois- ja Keski-Pohjanmaalla sekä Jyväskylän ja Joensuun ympäristössä.

Lämmityslaitokset käyttivät vuonna 1982 yhteensä 393 000 m<sup>3</sup> metsähaketta. Sen lisäksi metsäteollisuus poltti 84 000 ja maatilat 120 000 m<sup>3</sup> metsähaketta. Lämmityslaitosten käyttöä rajoittivat ensisijaisesti hakkeen hinta ja lämmöntuotantokapasiteetin vajaakäyttö sekä toissijaisesti hakkeen epätydyttävä laatu ja laitoksen rakenteelliset tekijät. Pian tutkimuksen jälkeen öljyn hinta kääntyi jyrkkään laskuun,

jolloin suunnitelmat uusista laitoksista raukesivat, ja hakelämmityslaitos toisensa jälkeen siirtyi muihin polttoaineisiin. Myös Puolustusvoimat supisti rajusti hakkeen käyttöä. Polttihakkeen käyttö lienee 1990-luvun alkuun mennessä romahtanut kolmannekseen.

Viime vuosina hakkeen käyttö lämmityslaitoksissa on valtion toimenpiteitten ja erityisesti kuntien toipuneen kiinnostuksen myötä kääntynyt jälleen kasvuun. Metsäntutkimuslaitos ja Puuenergiayhdistys ry toteuttivat keväällä 1996 tätä julkaisua varten kyselytutkimuksen, jossa selvitettiin metsähakkeen käyttö lämmityslaitoksissa vuonna 1995. Kun alarajaksi asetettiin 250 m<sup>3</sup> vuodessa, käyttäjiä oli kaikkiaan 102, joista noin 60 oli kunnallisia. Laitosten sijainti ja käytön suuruusluokka näkyvät kuvassa 23.

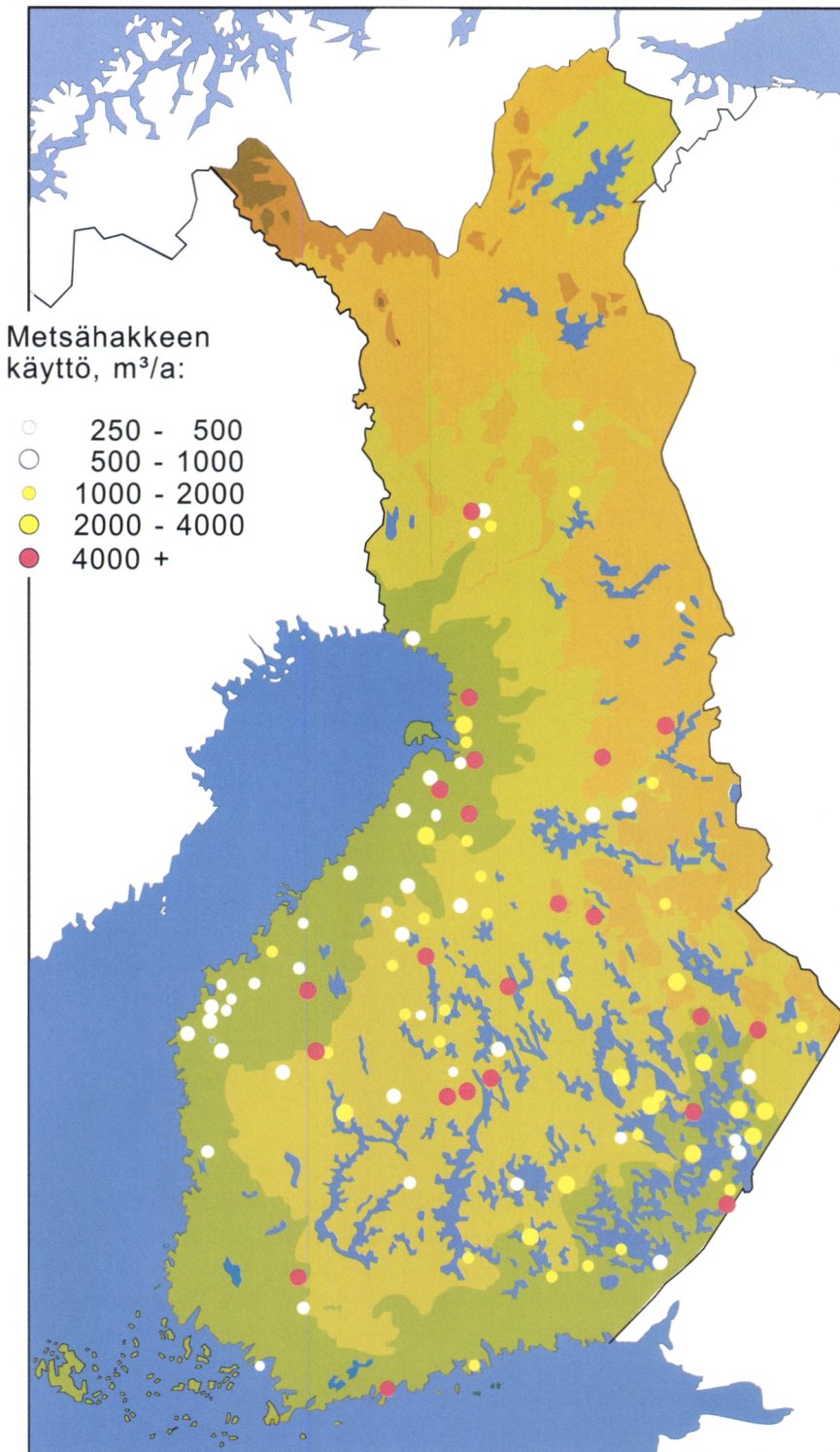
Vuonna 1995 lämmityslaitosten metsähakkeen kokonaiskäyttö oli 258 000 m<sup>3</sup> eli 644 000 i-m<sup>3</sup>. Ongelmana on kesäaikainen vajaakäyttö, sillä laitosten keskimääräinen käyttöaste ylittää 80 % vain vuoden ensimmäisellä ja viimeisellä neljänneksellä. Kolmannella neljänneksellä se jää alle 40 %:n.

Kuva 24 osoittaa, että tärkein raaka-ainelähde oli karsimattomasta pienpuusta tehty kokopuuhaake. Karsitusta pienpuusta tehtyä rankahaketta käytetään sen korkeista kustannuksista huolimatta edelleen varsin yleisesti. Syinä ovat toisaalta pienten laitosten vanhanaikaiset syöttöjärjestelmät, joitten häiriötön toiminta edellyttää tikutonta haketta, sekä toisaalta hakepuuta toimittavien metsänomistajien tottumattomuus karsimattoman pienpuun kasaukseen ja kuljetukseen.

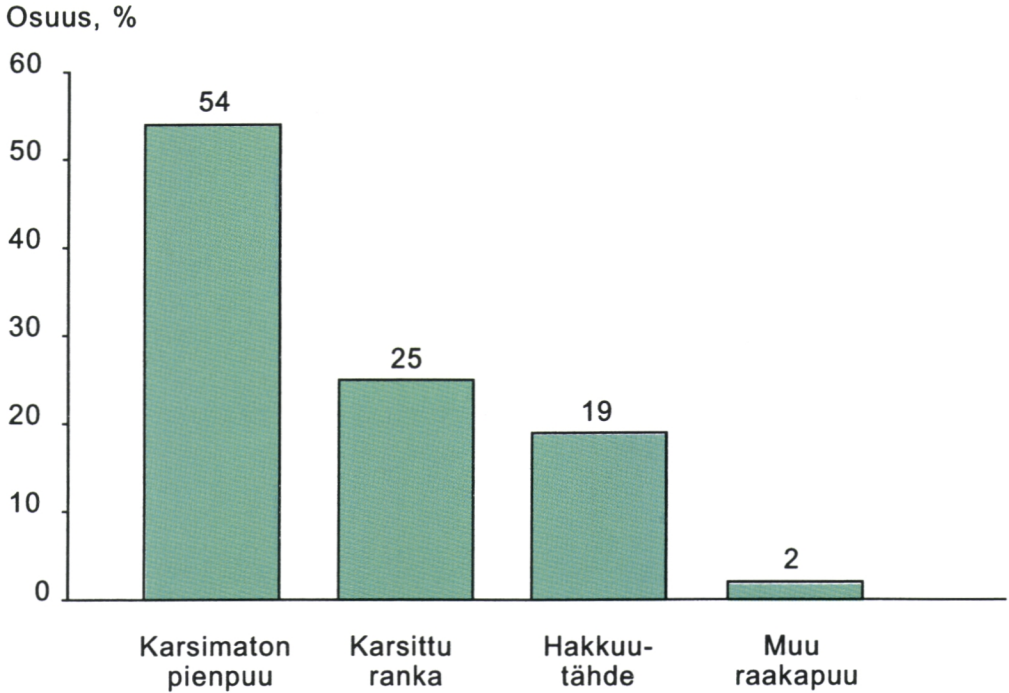
Laitostekniikan ja ammattitaidon kehittyessä lämmön tuotannon hyötysuhde on parantunut merkittävästi. Tämä kohentaa kannattavuutta, ja monilla laitoksilla myös hakkeen kosteusvaatimuksia on voitu uuden tekniikan ansiosta lieventää. Keskimääräinen vuosihyötysuhde jää kuitenkin alhaisemmaksi kuin kattilan täydellä hyötysuhdella saavutettava hyötysuhde, mihin vaikuttavat paitsi osakuormakäyttö myös käynnistys- ja pysäytysvaiheet. Vuosihyötysuhde paranee laitoksen koon myötä.

Kattilan teho MW	Laitosten ilmoittama lämmöntuotannon vuosihyötysuhde, %
— 1	76
1 — 5	82
5 — 10	86
10 —	87

Biomassareserveihin ja lämmön kulutukseen nähden metsähakkeen käyttö lämmityslaitoksissa on edelleen vaatimatonta. Se on kuitenkin kasvussa, ja vuonna 1996 käynnistyy jälleen uusia laitoksia, joitten joukossa on mm. Forssan voimalaitos. Se tulee tuottamaan puupolttoaineilla vuodessa 0,3 TWh sähkö- ja lämpöenergiaa. Raaka-ainetta tarvitaan 160 000 m<sup>3</sup>, josta pääosa saadaan metsäteollisuuden puu- ja kuoritähteestä ja noin 20 % hakkuutähteestä. Polttoainehuollosta tulee vastaamaan Biowatti Oy.



Kuva 23. Metsähaketta käyttäneet lämmityslaitokset vuonna 1995. Laitoskohtainen vähimmäiskäyttö 250 m<sup>3</sup> (625 i-m<sup>3</sup>) vuodessa.



Kuva 24. Lämmityslaitosten metsähakkeen raaka-ainelähteet vuonna 1995.

Kotimaisia polttoaineita hyödyntävien sähkö- ja lämmityslaitosten vaikein ongelma on korkeat investointikustannukset. Tästä johtuen ne ovat kilpailukykyisimpiä silloin, kun vuosikapasiteetin käyttöaste on korkea. Tämä etu saavutetaan parhaiten massa- ja papaeritehtailla, sahatavaran kuivatuksessa tai meijereissä, joilla energian tarve on tasainen ja keskeytymätön. Sitä vastoin aluelämmityslaitoksissa vuosikapasiteetin käyttöaste pyrkii jäämään alhaiseksi, koska lämmön tarve on kesäaikana pieni. Korkeista investointikustannuksista aiheutuva ongelma on vielä vaikeampi vain tilapäiskäytössä olevissa laitoksissa kuten viljan kuivaamoissa.

Korkeat investointikustannukset on kompensoitava alemmilla polttoainekustannuksilla, joten kannattavuus riippuu paitsi hakkeen myös vaihtoehtoisten polttoaineitten hintakehityksestä. Hakkeen kustannusten alentamisen edellytyksenä on usein suuri ja pitkään jatkuva käyttö, jotta tehokkaan korjuukaluston työllistäminen ja ammattitaitoisen hankintaorganisaation ylläpito käyvät mahdollisiksi. Metsähakkeen raaka-ainelähteenä tulee tuolloin kysymykseen ensisijaisesti hakkuutähde.

## 5.3 Puu metsäteollisuuden energialähteenä

Metsäteollisuus on suuri energian kuluttaja. Sen osuus Suomen kaikesta energiankäytöstä on neljännes ja sähkön käytöstä peräti 40 %. Tuotteen valmistuskustannuksista koituu energiasta sahatavaralla ja vanerilla 8—10 %, TMP-hierteellä 30 %, valkaisuainemattomalla sulfaattimassalla 40 %, valkaistulla sulfaattimassalla 50 %, sanomalehtipaperilla 45 % ja painopapereilla 35 % (Verkasalo 1992).

Metsäteollisuus on toisaalta myös suuri energian tuottaja. Tehtaalle saapuvassa puutavaraissa on paljon sellaista biomassaa, joka joko alunperinkään ei sovellu raaka-ainekäyttöön tai joka muutoin hukkaantuu jalostusprosessissa tähteeksi. Nämä biomassaositteet metsäteollisuus polttaa ja tuottaa vapautuvalla lämpöenergialla höyryä, jota se sitten käyttää esimerkiksi sahatavaran, vanerin, sellun tai paperin kuivatukseen, lämmitykseen tai sähköturbiinin pyörittämiseen. Suomen metsäteollisuus hyödyntää tehdaslaitoksille kertyvän biomassatähteen nykyisin varsin tarkoin, ja sen ansiosta se on onnistunut tuntuvasti supistamaan fossiilipolttoaineitten käyttöä. Metsäteollisuuden kiinteän puu- ja kuorijätteen sekä sellunkeitossa syntyneen jäteliemen energiakäyttö oli vuonna 1994 seuraava (Energia ja päästöt 1996):

### Metsäteollisuuden energiakäyttö, TWh vuonna 1994

Kiinteä puu ja kuorijäte	9,9
Selluteollisuuden jäteliemi	26,8
<hr/>	<hr/>
Puuperäiset polttoaineet yhteensä	36,7

*Sahateollisuus* käytti vuonna 1994 kaikkiaan 22,7 milj. m<sup>3</sup> kuorellista tukkipuuta ja valmisti siitä 9,7 milj. m<sup>3</sup> sahatavaraa. Yli puolet raaka-aineesta jää prosessitähteenä sivutuotteeksi. Mahdollisimman suuri osa tähteestä pyritään jalostamaan kuidutukseen sopivaksi hakkeeksi, ja muu osa ohjataan energiakäyttöön. Tukkien koosta ja laadusta sekä käytetystä tekniikasta riippuen sahatavaran osuus on noin 45 %, kuituhakkeen 30 %, purun 12 %, kuoren 10 % ja lähinnä kuivumisesta aiheutuvan hävikin noin 5 % kuorellisen tukin tilavuudesta.

Energian tuotantoon käytetään pääosa purusta, kuori sekä hakkeesta seulomalla poistetut ylisuuret ja alamittaiset palakoot. Sahat käyttävät tämän tähteen lähinnä kuivaamonsa energian lähteenä, mutta ne myyvät myös ulkopuolisille lämmityslaitoksille kuorta ja purua, joka ostohinnaltaan on metsähaketta edullisempaa. Pienimmät sahat eivät kuori tukkeja lainkaan, jolloin myös sahauspinnat käytetään polttoaineeksi.

Uutta kuljetetun ja vesivarastossa säilytetyn tukkipuun kuorella on niin paljon vettä, että sen poltto edellyttää kosteuden alentamista kuoripuristimella. Tarjolla on myös uusia teknisiä polttolaiteratkaisuja, joilla voidaan polttaa korkealla hyötysuhteella kosteudeltaan jopa 65 %:n biomassaa. Tästä on esimerkkinä Sermet Oy:n pyörivä kekoarinaratkaisu 1—8 MW:n kattiloihin, jollaisia oli kesän 1996 alkuun men-

nessä asennettu jo 5 sahalle. Laitokset tuottavat energiaa sahatavaran kuivatukseen ja kaukolämpöön, ja niihin on mahdollista liittää myös sähköntuotantomoduli, joskin sähkön osuus jää vain 10 %:iin energian tuotannosta.

*Vaneriteollisuuden* raaka-aineen käyttö vuonna 1994 oli 2,3 milj. m<sup>3</sup>, vain kymmenesosa sahatavaran puunkäyttöön verrattuna. Vanerin tuotanto oli 0,7 milj. m<sup>3</sup> eli noin 30 % tukkipuun kuorellisesta tilavuudesta. Sivutuotteena syntyy tukkien tasauspätkistä, sorvaustähteestä, purilaista sekä viulun leikkaustähteestä 25—30 % kuitu- ja lastulevyteollisuuden käyttöön soveltuvaa haketta. Energiakäyttöön jää peräti 40—50 % tukkipuun tilavuudesta: kuori, liimaa sisältävä vanerilevyjen leikkaustähde, levyjen hiontapöly sekä kuituhakkeen seulontatähde.

*Puumassateollisuus* käytti vuonna 1994 yhteensä 41,4 milj. m<sup>3</sup> puuraaka-ainetta, josta 32,3 milj. m<sup>3</sup> oli kuorellista raakapuuta ja 9,1 milj. m<sup>3</sup> kuoretonta saha- ja vaneriteollisuuden tähdettä. Raakapuun kuorinta- ja seulontatähde käytetään paikan päällä teollisuusprosesseissa tarvittavan energian tuotantoon.

Hakkuutyön koneellistuttua kuitupuun mukana kuorta saapuu tehtaalle vähemmän kuin aikaisemmin, keskimäärin 7—9 % raaka-aineen tilavuudesta, sillä hakkuukoneen karsintaterät viiltävät myös kuorta. Kuorimarummun prosessitähteeseen hukkaantuu myös 1—5 % runkopuusta. Lisäksi hakkeen seulonnassa poistettu puru, jonka osuus on 1—3 % hakkeesta, käytetään energian tuotantoon. Näin yhteensä noin 13 % puumassateollisuuden kuorellisen raakapuun tilavuudesta on energian raaka-ainetta. Vuoden 1994 puunkäyttötasolla se vastasi 4,2 milj. m<sup>3</sup>. Männyn osalta on otettava huomioon, että sen kuori on merkittävästi kevyempää kuin puu, mikä heikentää kuutiometriä kohti laskettua lämpöarvoa.

Puumassateollisuuden raaka-aineesta 11,6 milj. m<sup>3</sup> jalostettiin mekaanisin menetelmin hierteeksi ja hiokkeeksi sekä 29,8 milj. m<sup>3</sup> kemiallisin menetelmin selluksi. Kemiallisessa prosessissa hakkeesta liutetaan pääosa ligniinistä ja hemiselluloosista. Ne jäävät jätelipeäksi, josta keittokemikaalien talteenoton ja veden haihduttamisen jälkeen saadaan polttoaineeksi kelvollista mustalipeää. Sulfaattisellun keitossa massan saanto on puulajista ja valkaisuasteesta riippuen 45—53 % kuorettomasta puusta, joten jopa puolet kuituhakkeen raaka-ainesisällöstä kulkeutuu lopulta energiakäyttöön. Tämän ansiosta *nykyaikaiset sulfaattisellutehtaat tuottavat energiaa enemmän kuin tarvitsevat* ja toimittavat ylijäämäenergian yleensä paperitehtaalle.

Metsäteollisuus siis käyttää varsin suuren osan puuraaka-aineestaan energian tuotantoon. *Energiaraaka-aineen osuus on sahatavaran tuotannossa 15—25 %, vaneriteollisuudessa 40—50 %, mekaanisessa puumassateollisuudessa 10—15 % ja sulfaattimassateollisuudessa 50—60 % tehtaalle saapuvan kuorellisen puutavaran biomassasta.* Kaikissa tapauksissa kysymyksessä on prosessitähde, joten metsäteollisuudessa puun energiakäyttö on luonteeltaan passiivista. Metsäteollisuus ei ole juurikaan hankkinut puuta erityisesti energiakäyttöön tähdäten, koska paikan päällä syntyvän tähteen markkinahinta on selvästi alhaisempi kuin metsähakkeen tuotantokustannus.

Metsäteollisuuden kiinnostus esimerkiksi ensiharvennuspuun yhdenntettyyn kuitu- ja energiakäyttöön ja uudistushakkuualojen tähteen energiakäyttöön on kuitenkin kas-

vamassa, ja puunhankintaorganisaationsa ansiosta sillä on myös erinomaiset tekniset edellytykset ja perusvalmius laajamittaiseenkin energiapuun hankintaan tehokkaita menetelmiä soveltaen. Metsäteollisuus ei enää näe pienikokoisen puun energiakäyttöä uhkana kuitupuun saatavuudelle ja hintakehitykselle, vaan päinvastoin arvostaa energiapuun talteenoton metsänhoidollisia hyötyjä, jotka pitkällä tähtäyksellä edistävät teollisuuden raaka-aineen tuotantoa. Puun energiakäytön laajuus metsäteollisuudessa on tietenkin sidoksissa laitosten toiminta-asteeseen sekä uusiin investointeihin.

Sekä metsä- että energiasektorille olisi eduksi, jos metsäteollisuus sisällyttäisi myös metsähakkeen tuotannon, jakelun ja energiakäytön puunhankintastrategiaansa. Ruotsissa tästä on saatu rohkaisevia kokemuksia, niin että 63 % polttohaketta toimittavista yrityksistä on kytköksissä metsäteollisuuteen. Vastaavasti 20 % toimittajista on kytköksissä metsänomistajajärjestöihin, ja loput 17 % on riippumattomia. Toimitussovimuksen kesto aika on keskimäärin 1,8 vuotta (Hillring 1996). Suomessa tarjoaa hyvän esimerkin Metsäliitto Yhtymään kuuluva Biowatti Oy, joka vuoden 1996 aikana tulee toimittamaan asiakkailleen kaikkiaan 650 000 m<sup>3</sup> kiinteitä puupolttoaineita. Siitä metsäteollisuuden ulkopuolisten kaukolämpökeskusten ja lämmitysvoimalaitosten osuus on 350 000 m<sup>3</sup> teollisuuden puutähdettä ja 50 000 m<sup>3</sup> metsähaketta. Tulevaisuuden ympäristövaatimuksia ja tuotteitten sertifiointia ajatellen metsäteollisuuden kannattaisi hyödyntää vihreätä metsäenergiaa entistä näkyvämmiin.

## 5.4 Puun käyttö sähkön tuotantoon

Kun metsäenergiareservimme mahdollistaisi vuositasolla jopa 10 milj. m<sup>3</sup>:n lisäkäytön, on uusia kohteita etsittävä erityisesti sähkön tuotannosta, sillä näin suurta biomassamäärää ei voida sijoittaa yksinomaan lämmitykseen ja teollisuuden prosessihöyryn kehittämiseen. Vaikka metsäenergia ei voikaan tulla kysymykseen kansantaloutemme perusenergian lähteenä, sillä on laajenemispotentiaalia sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, sillä sähkön kulutus on edelleen voimakkaassa kasvussa. Tarjolla on muun muassa seuraavia vaihtoehtoja (Kosunen & Leino 1995):

- Pienet ja keskiuuret *kaukolämpökeskukset*, jotka tuottavat arina- tai leijupeti-polttotekniikkaa käyttäen 80—90 %:n hyötysuhteella yhdyskunnille lämpöä mutta eivät sähköä.
- *Teollisuuden höyrykattilalaitokset*, jotka tuottavat leijupetipoltolla 80—90 %:n hyötysuhteella teollisuusprosesseissa tarvittavaa höyryä mutta eivät sähköä.
- *Lauhdevoimalaitokset*, jotka leijupetipolttoa käyttäen tuottavat sähköä noin 40 %:n hyötysuhteella mutta eivät lämpöä, sillä lämpöenergia hukkaantuu lauhdeveden mukana.
- *Konventionaaliset lämmitysvoimalaitokset*, jotka tuottavat höyrykattilan ja höyryturbiinin avulla sekä kaukolämpöä että vastapainesähköä. Suurissa laitoksissa kaukolämmön osuus on kaksi kolmannesta ja sähkön osuus yksi kolman-

nes tuotetusta energiasta. Pienissä laitoksissa, joita on ryhdytty rakentamaan vasta tällä vuosikymmenellä, sähkön osuus on pienempi, usein vain 15—20 % tuotetusta energiasta.

- *Teollisuuden vastapainevoimalaitokset*, jotka tuottavat teollisuudelle prosessihöyryä ja vastapainesähköä. Kokonaishyötysuhde voi nousta 75—80 %:iin. Kun höyryn tulee olla teollisuusprosesseissa kuumempaa kuin yhdyskuntien kaukolämpöverkoissa, sähkön osuus tuotetusta energiasta on vain neljännes. Höyryn pyörittämä turbiini toimii sähkögeneraattorin voimanlähteenä, mutta se voi toimia myös muuta konetta pyörittävänä mekaanisena voimanlähteenä.
- *Kaasutuskombivoimalaitoksissa* (IGCC) hake kuivataan ja kaasutetaan 950—1000 °C lämpötilassa ja 20—25 ilmakehän paineessa. Jäähdytetty ja puhdistettu kaasu poltetaan kaasuturbiinin kammiossa, josta kuumen paineellisen kaasun energia siirretään generaattoria pyörittämään. Kaasuturbiinin jälkilämpö johdetaan normaalipaineisena höyrykattilaan pyörittämään vastapaine- tai lauhdeturbiinin akselille kytkettyä generaattoria. Kattilan jälkilämpö voidaan hyödyntää kaukolämpönä tai polttoaineen kuivatuksessa. IGCC-vastapaine-laitoksessa pelkän sähköntuotannon hyötysuhde on 40—45 % ja yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon kokonaishyötysuhde 85—90 %. IGCC-lauhde-laitoksessa sähköntuotannon hyötysuhde on korkeampi, 44—50 %, mutta lämpöä ei saada talteen.

Paineistettuun kaasutukseen ja polttoon perustuvat tekniikat eivät ole vielä kaupallisessa käytössä. A. Ahlström Osakeyhtiö ja ruotsalainen Sydkraft AB ovat rakentaneet biomassaa polttavan koelaitoksen Värnamon kuntaan Ruotsissa, mutta muut demonstraatiolaitoshankkeet ovat toistaiseksi rauenneet. Ratkaisun odotetaan löytyvän ensi vuosikymmenen alkupuolella. *Uudet tekniikat voivat oleellisesti kohentaa sähkön ja lämmön yhteistuotannon hyötysuhdetta ja rakennusastetta*, ja niitten käyttöönotto tulee supistamaan myös haitallisia päästöjä (Sipilä 1991). Puun suhteellinen kilpailuasema turpeen vaihtoehtona tuskin kuitenkaan oleellisesti muuttuu.

Kiinteitä polttoaineita käyttävien laitosten ongelmana ovat *korkeat investointikustannukset*. Tämä aiheutuu suuremmista polttoainevarastorakenteista, monimutkaisista polttoaineen käsittelyjärjestelmistä sekä kalliimmista kattiloista. Investointikustannukset kuitenkin suhteellisesti kevenevät, kun laitoksen koko kasvaa.

Suuri laitoskoko merkitsee sekä investointi- ja työvoimakustannusten alenemista että haitallisten päästöjen supistumista. *Suuret laitokset mahdollistavat tehokkaan korjuu- ja kuljetuskaluston käyttöönoton ja takaavat jatkuvan ympärivuotisen työllisyyden*, mikä puolestaan alentaa hakkeen kustannuksia. Suuri käyttö kuitenkin johtaa toisaalta polttoaineen hankinta-alueen laajenemiseen, pakottaa hyväksymään myös korjuuteknisesti vaikeita leimikkokohteita ja kohottaa myyjäin kantohintaodotuksia. Esimerkiksi yhteisteholtaan 100 MW:n kaasutuskombivoimalaitos vaatisi 6000 tunnin huippukäyntiajalla ja 85 %:n hyötysuhteella puubiomassaa noin 1000 m<sup>3</sup> päivässä ja 360 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Mikäli polttohake kerättäisiin vaikkapa pelkästään uudis-

tushakkuulojen tähteestä, siihen tarvittaisiin vuosittain 5000—7000 ha päätehakuita eli lähes miljoonan hehtaarin metsäala.

VTT Energian ennusteen perusvaihtoehdon mukaan kotimaisten polttoaineitten käyttöön perustuva sähköntuotantokapasiteetti kasvaa vuodesta 1990 vuoteen 2010 kaikkiaan 2000 MW:lla, jolloin turpeen ja puun energiakäyttö paisuisi 3,2 milj. öljytonnia vastaavalla määrällä vuodessa (Bioenergian... 1993). Jotta puu voisi saada haltuunsa merkittävän osan arvioidusta käyttöpotentiaalin kasvusta, sen suhteellisen kilpailukyvyyn turpeeseen nähden on parannettava. Tämä edellyttää paitsi tutkimus- ja kehitystoimintaa myös kansan- ja ympäristötaloudellisten näkökohtien kokonaisvaltaista huomioon ottamista energiapoliittisissa päätöksissä.

## 5.5 Puupolttoaineitten jalosteet

Puubiomassan vaihteleva laatu ja alhainen kiintotiheys aiheuttavat energiakäytössä ongelmia ja lisäkustannuksia. Laadun hallitsematon vaihtelu vaikeuttaa automaattista syöttöä ja polton säätelyä, mikä taas johtaa häiriöihin poltossa, menetyksiin hyötysuhteessa ja epäpuhtauksiin savukaasupäästöissä. Jos laatua tasataan ja jalostetaan, käyttömukavuus kasvaa ja mahdollisuudet monipuolistuvat.

Palakoko ja -muoto, kosteus, lämpöarvo ja tiiviys voidaan homogenisoida valmistamalla biomassasta jalosteita. *Kiinteät jalosteet* voidaan luokitella palakokonsa mukaan seuraavasti (Förädlade...1995):

- *Puubriketti* on hienojakoisesta puubiomassasta tehty poikkileikkaukseltaan pyöreä tai kulmikas puriste, jonka läpimitta on yli 25 mm.
- *Puupelletti* on hienojakoisesta kuivasta puubiomassasta tehty lyhyt sylinterimäinen puriste, jonka läpimitta on alle 25 mm.
- *Puujauho* on hienonnettua puubiomassaa, jonka pääjakeen läpimitta on alle 1 mm.

Kiinteitten jalosteitten valmistaminen aiheuttaa lisäkustannuksia ja kuluttaa energiaa. Se saattaa myös johtaa ristiinkuljetuksiin. Korkean palamislämpötilansa vuoksi jalosteet eivät myöskään sovellu kaikkiin vakiorakenteisiin kattiloihin. Toisaalta *jalosteet tarjoavat merkittäviä etuja* (Förädlade...1995):

- Energiasisältö tilavuus- ja painoyksikköä kohti kasvaa ja kuljetuskustannukset alenevat
- Varastointi helpottuu, kun pöly- ja homehaitat ja tilantarve supistuvat eikä varastointitappioita tapahdu.

- Käsittely kuljettimilla ja siiloissa helpottuu, kun polttoaineen juoksevuus paranee ja syöttöhäiriöiltä välttyään.
- Tasainen ja korkea energiasisältö helpottaa kattilan säätöjä ja antaa mahdollisuuden polton optimointiin. Kattilan likaantuminen, tuhkan määrä ja haitalliset päästöt vähenevät.
- Polton hyötysuhde paranee ja polttoaineen tarve vähenee.
- Syöttö- ja polttolaitteitten koko ja kustannukset pienenevät. Myös monet fossiilipolttoaineille suunnitellut lämmitysjärjestelmät voidaan muuntaa kiinteitä puupolttoainelasteita käyttämään.

Kiinteitten jalosteitten valmistukseen soveltuvat parhaiten kutterinlastu, sahanpuru ja kuiva teollisuushake. Tuotanto voidaan yhdistää mekaanisen puujalostusteollisuuden liitännäksi, jolloin ainakin osa raaka-aineesta saadaan paikan päältä. Jos joudutaan turvautumaan tuoreeseen raaka-aineeseen, kuivatus aiheuttaa lisäkustannuksia.

Suomessa vallitsevat hintasuhteet eivät suosi puupolttoainelasteita. Maahamme 1970-luvun energiakriisin jälkeen rakennetut turvebriketti- ja -pellettehtaat osoittautuivat kannattamattomiksi. Sen sijaan Ruotsissa puupolttoainelasteet ovat kilpailukykyisiä, ja puupellettejä on tuotu maahan ulkomailtakin. Käyttäjäkunta muodostuu pääasiassa taajamien kunnallisista lämpölaitoksista, joille jalosteitten tarjoamat kuljetus-, hygieni- ja varastointiedut ovat erityisen merkityksellisiä. Puupelletit saattavat osoittautua Ruotsin oloissa kannattavaksi vaihtoehdoksi pientaloissakin, mutta edellytyksenä on öljytuotteitten tapaan toimivan vähittäisjakelujärjestelmän luominen.

Ruotsissa oli vuoden 1995 päättyessä 35 kiinteitten puupolttoainelasteitten valmistajaa, pääasiassa maan eteläosassa. Vuonna 1994 tuotannon bruttoenergia-arvo oli yhteensä 1,9 TWh. Tuotantokapasiteetti on nousemassa 4,0 TWh:iin, josta puolet on pellettejä, neljännes brikettejä ja neljännes puujauhoa. Pidetään mahdollisena, että kiinteitten puupolttoainelasteitten käyttö nousee Ruotsissa pitkällä tähtäyksellä jopa 17 TWh:n vuositasolle, mikä vastaa 7—8 milj. m<sup>3</sup> puuta (Förädlade... 1995). Kilpailu on pudottanut jalosteitten hinnan tasolle 140—150 SEK/MWh.

Toinen tie on *kaasumaisten ja nestemäisten biopolttoaineitten tuottaminen lähinnä termokemiallisin tai biokemiallisin menetelmin*. Metsäenergian hyödyntämisen kannalta mielenkiintoisimpia vaihtoehtoja ovat *metanolin valmistaminen biomassan kaasutustuotteista sekä etanolin valmistaminen hydrolyysin ja sokerituotteitten käymisen avulla*. Kumpaakin tuotetta voidaan käyttää ajoneuvoissa yksinomaisten tai seospolttoaineena bensiiniä korvaamaan, mutta biopolttoaineet ovat toistaiseksi aivan liian kalliita. Myös puusta pyrolyysitekniikalla valmistettu öljy ja selluteollisuuden jätelipeän käyttö liikennepolttoaineitten ja voiteluaineitten valmistamiseen ovat tutkimuksen kohteina.

Maapallon öljyvarojen ehtyessä ja öljytuotteitten hintojen kohotessa sekä toisaalta ympäristösyistä metsäbiomassasta tuotettujen nestemäisten polttoaineitten mahdollisuuksien odotetaan kasvavan. Jo tällä hetkellä tuotetaan Yhdysvalloissa ylijäämämaissa ja Brasiliassa sokeriruokojätteestä miljoonia tonneja etanolia bensiinin seosaineeksi, vaikkakin tuotantokustannukset ovat kolminkertaiset bensiinin verottomaan hintaan verrattuina. Ranskan hallitus puolestaan on tehnyt päätöksen, jonka mukaan kaikissa moottoripolttoaineissa pitää vuoden 2000 alusta lähtien olla mukana kasvisperäistä polttoainetta etanolin, metanolin tai dieselmootoreissa käytettävän diesterin muodossa. Näitä vihreitä polttoaineita tuetaan verohelpotuksin, ja niitten tuotantoon käytetään Ranskassa jo kuluvana vuonna lähes 400 000 ha peltoa. Viljelykasveja ovat ainakin rypsi, auringonkukka, vehnä ja sokerijuurikas. Suomessakin on herättänyt kiinnostusta etanolipolttoaineen valmistaminen viljasta, jolloin kimmokkeena on maatalouden ylituotanto-ongelmien ratkaiseminen.

IEA:n energiatutkimusohjelmissa biopolttoaineitten on arvioitu pitkällä tähtäyksellä saavan 15 %:n markkinaosuuden nestemäisten polttoaineitten kokonaiskulutuksesta. Vaikka maataloudessa tuotetun biomassan kustannuskilpailukyky biopolttoaineitten raaka-aineena on tällä hetkellä parempi kuin metsäbiomassan, jälkimmäisen kilpailuaseman oletetaan paranevan muun muassa edullisemmän energiataseensa ansiosta.

## 5.6 Puu Suomen energiataseessa

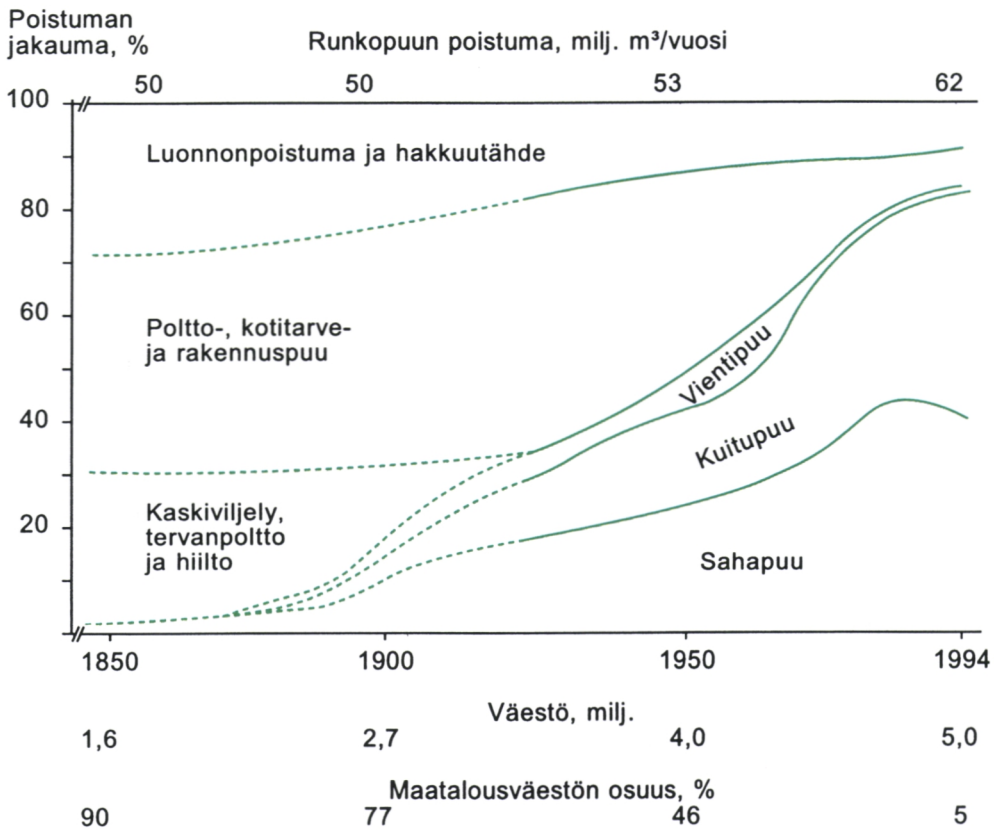
Runkopuun poistuma Suomen metsistä lienee jo viime vuosisadan puolivälissä nousut 50 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa eli lähelle nykyistä tasoaan. Poistuman rakenne oli kuitenkin perin erilainen kuin teollistuneessa Suomessa. Kotitarve-, rakennus- ja polttopuu kuluttivat yhteensä 40 % sekä tervanpolto, hiilto ja kaskeaminen 30 % kaikesta puusta. Luonnonpoistuma ja hakkuutähteet veivät nekin lähes 30 % poistumasta, kun taas sahapuun osuus oli vain 2 % (kuva 25). Nykyisin kiinteistöjen käyttämän puun osuus on enää 8 % sekä luonnonpoistuman ja hakkuutähteen yhteensä 9 % kokonaispoistumasta. Kaikki muu eli 83 % on teollisuuspuuta.

Aikoinaan energian tarve tyydytettiin Suomessa lähes kokonaisuudessaan puuta polttamalla. Vielä toisen maailmansodan kynnyksellä 80 % primaarienergiasta kehitettiin puuperäisillä polttoaineilla, lähinnä halolla. Sodan aikana Suomi jäi pelkästään kotimaisen energian varaan, jolloin myös rauta- ja maantielikenteen polttoaine oli otettava puusta. Puupolttoaineitten saatavuuden turvaaminen oli kansanhuoltolaitoksen keskeisiä tehtäviä, sillä halon kulutus nousi tuolloin 21 milj. m<sup>3</sup>:iin vuodessa.

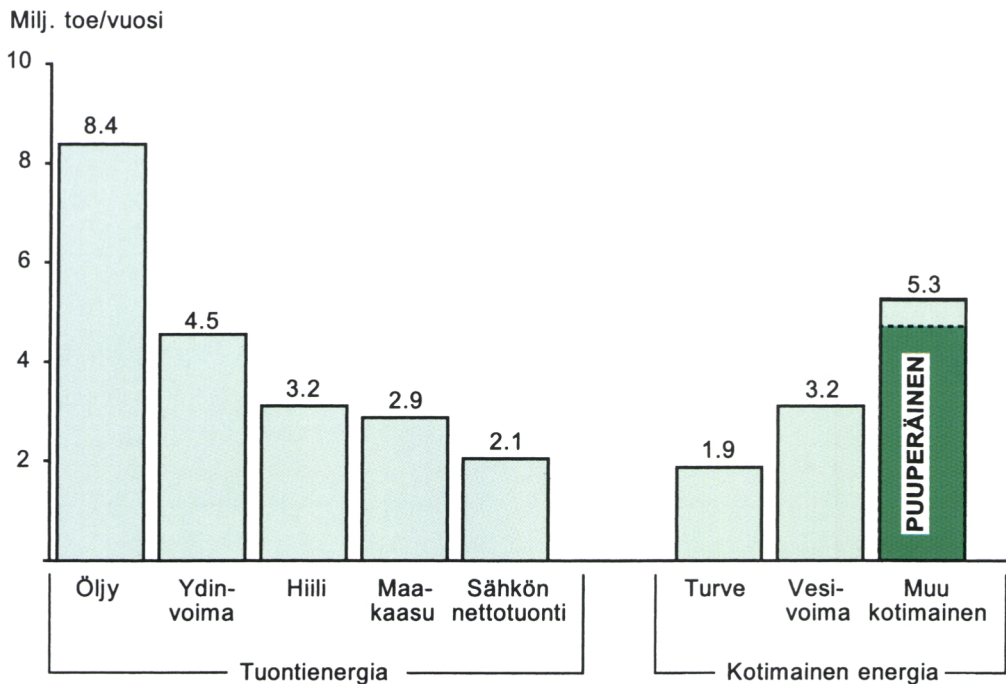
Sotien jälkeen sekä teollisuuspuun että energian kulutus kasvoivat nopeasti. Polttopuuta oli ryhdyttävä korvaamaan ulkomaisilla energialähteillä, ja maamme energiaomavaraisuus kääntyi jyrkkään laskuun. Kuitenkin vielä vuonna 1960 tyydytettiin 45 % kokonaiskulutuksesta puuperäisillä polttoaineilla. Kun koivupinotavarastakin tuli

kuituteollisuudelle kelvollista raaka-ainetta, puuperäisten polttoaineitten osuus supistui vuoteen 1970 mennessä 24 %:iin ja vuoteen 1980 mennessä edelleen 15 %:iin energian kokonaiskulutuksesta, millä tasolla se on edelleenkin.

Kun yleismaailmallinen energiakriisi vuonna 1973 osoitti tuontienergiaan pohjautuvan kansantalouden haavoittuvuuden, valtiovalta asetti tavoitteeksi energian säästön ja kotimaisuusasteen kasvattamisen. Koska vesivoima on jo otettu käyttöön lähes kokonaisuudessaan, kotimaisuusastetta voidaan nostaa lähinnä puun ja turpeen käyttöä lisäämällä. Määrätietoisen kehitysohjelman tuloksena turpeesta on tullut kilpailukykyinen polttoaine, ja sen kulutus on noussut 0,5 milj. m<sup>3</sup>:n tasolta vuonna 1970 jo yli 18 milj. m<sup>3</sup>:n tasolle vuonna 1994 vastaten energiasisällöltään 1,6 milj. öljytonnia eli 5 % maamme energian kulutuksesta. Tuotantopinta-ala on noin 50 000 ha, ja turpeen energiapotentiaali on niin mittava, että suurtuotantoon soveltuvaksi luokitellut polttoturvevarat vastaavat energiasisällöltään 200 milj. öljytonnia. Huomattava osa turvesoista sijaitsee kuitenkin Pohjois-Suomessa etäällä käyttökohteista. Turvevarat eivät myöskään ole energiatalouden kannalta uusiutuvia, sillä loppuun käytettyä turvesuota ei voida enää uudelleen valjastaa turpeen tuotantoon.



Kuva 25. Runkopuun poistuma Suomen metsistä viime vuosisadan puolivälistä lähtien (Kuusela 1984, täydennetty vuodesta 1980 lähtien Metsätilastollisen vuosikirjan 1995 mukaan).



Kuva 26. Primaarienergian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 1995 (Energiakatsaus 1/1996).

Puubiomassa sen sijaan uusiutuu. Vaikka kansantalouden kannalta sinänsä on edullisinta käyttää mahdollisimman paljon puuta metsäteollisuuden raaka-aineeksi korkealuokkaisten vientituotteitten valmistamiseen, teollisuuden prosessitähteeksi ja metsiin jää kuitenkin ylen määrin biomassaa, jolle ei energian tuotannon ohella ole näköpiirissä vaihtoehtoista käyttöä.

*Puuperäisen energian tärkein lähde on sulfaattiselluteollisuuden jäteliemi, johon on liennut puuraaka-aineen ligniini ja suuri osa hemiselluloosista. Erittäin merkittävä polttoainelähde on myös teollisuuspuun kuori, jonka määrä tosin on huvennut 10—20 % sen jälkeen kun korjuu koneellistettiin ja ympärivuotistettiin ja puu alettiin karsia rungon pintaa viiltävillä hakkuukoneen veitsiterillä. Teollisuuden prosessitähteen lisäksi myös pientalojen polttopuun käyttö on edelleen merkittävää. Ruotsissa puun energiakäyttö muistuttaa sekä määrällisesti että rakenteellisesti Suomen tilannetta sillä poikkeuksella, että pienten ja keskisuurten lämpölaitosten puunkäyttö on siellä moninkertainen (Lönner 1995):*

	Suomi	Ruotsi
	Käyttö TWh/vuosi	
Teollisuuden puupolttoaineet:		
- Kuori- ja puutähde	13	15
- Jäteliemi	31	30
Pientalojen polttopuu	11	11
Lämpölaitosten puupolttoaineet	2	8
Yhteensä	57	64

Vuonna 1994 puuperäisillä polttoaineilla tuotettu energia vastasi 57 TWh lähes 5 milj. ekvivalenttista öljytonnia. Määrällisesti puu häviää selvästi öljylle mutta on kotimaisista energialähteistä ylivertaisesti tärkein. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastoissa puuperäistä energiaa ei kuitenkaan muitten energialähteitten tavoin selkeästi yksilöidä, vaan suuruudestaan huolimatta se hukkuu tilaston jäännösryhmään “muut kotimaiset polttoaineet” (kuva 26). Siitä sen osuus lienee yli 90 %.

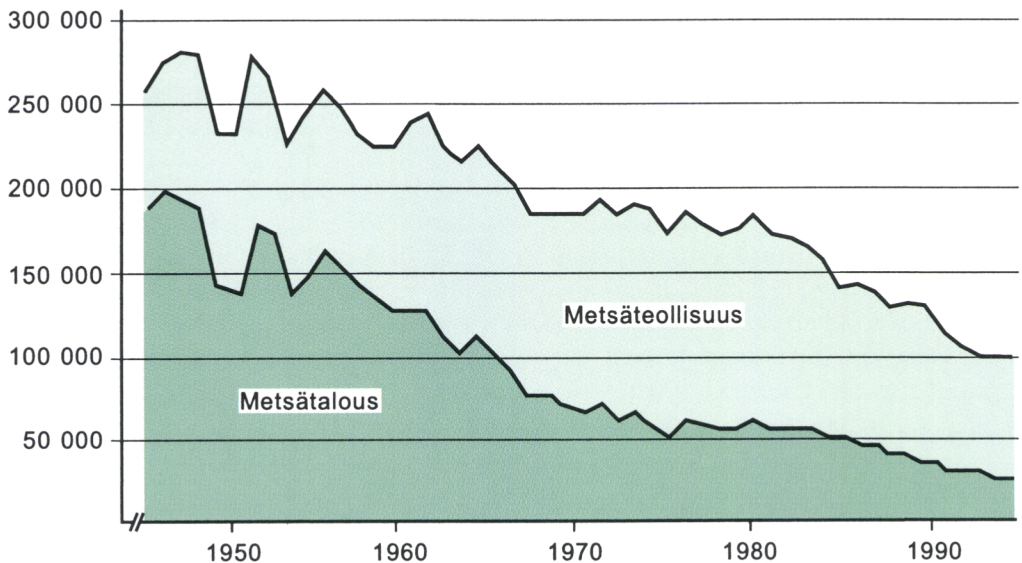
Vuonna 1994 primaarienergian kokonaiskulutus oli Suomessa 31,6 milj. toe, josta kotimaisen energian osuus oli 31 %. Kotimaisesta energiasta noin puolet saatiin puuperäisistä polttoaineista. Ne kattoivat 15 % primaarienergian kokonaiskulutuksesta ja 7 % sähkön tuotannosta. Teollistuneista maista vain Ruotsi yltää puuperäisen energian käyttäjänä lähes samalle suhteelliselle tasolle. Useissa teollisuusmaissa vastaava osuus on vain 1—2 %:n luokkaa.

# 6 Metsäenergia ja työllisyys

Alkutuotannon työpaikat alkoivat huveta Suomessa jo vuosikymmeniä sitten. Heti sotien jälkeen metsätalous työllisti vuositasolla jopa 200 000 henkeä, mutta 1990-luvun puolivälissä se tarjosi enää 25 000 työpaikkaa (kuva 27).

Metsätalouden työpaikat keskittyvät perinteisesti puutavaran korjuuseen. Korjuuteknologia on kuitenkin kokenut perinpohjaisen muodonmuutoksen, kun miestyön tuotavuus on kymmenkertaistunut kolmessa vuosikymmenessä. Metsureitten määrä on pudonnut kymmenessä vuodessa viidennekseen. Huikean kehityksen taustalta löytyy monta muutosta, jotka vähän kerrassaan ovat supistaneet ihmistyön tarvetta: liikkuva kausiluonteinen työvoima korvautui vakinaisluonteisilla ammattimetsureilla, puutavaran kuorinta siirtyi metsästä tehtaalle ja kuori otettiin energiakäyttöön, halon sijasta ryhdyttiin tekemään vähemmän työtä tarjoavaa kuitupuuta, kuitupuupölkyn pituutta lisättiin asteittain aina 5 m:iin saakka, käsityövälineet korvattiin moottorisahalla, moottorisaha korvattiin kymmenkertaisesti tehokkaammalla hakkuukoneella, hevonen korvattiin maatalous- ja metsätraktorilla, puutavara-autot järetyivät ja varustettiin perävaunulla ja kuormaimella, kuljetusmatkoja lyhennettiin rakentamalla yli 100 000 km metsäautoteitä, ja yhä suurempi osa puun hankinnan tehtävistä siirtyi vähitellen itsenäisille metsäkone- ja puutavara-autoyrittäjille.

Työvuosia



Kuva 27. Metsäsektori työllistäjänä (lähde: Elovirta 1995).

Kun metsätaloudesta vapautuneelle työvoimalle etsitään korvaavia työpaikkoja, eräänä vaihtoehtona nähdään markkinakelvottoman puun energiakäyttö. Liiketaloudellinen kannattavuus kuitenkin edellyttää, että energiapuun kustannukset pysyvät kurissa. Vaikka puun energiakäytön eräänä yhteiskunnallisena kantovoimana on työpaikkojen luominen, *energiapuukin on kustannussyistä hankittava pienin ihmistyöpanoksin*. Tuotantomenetelmiä on rationalisoitava, jolloin kilpailukyky kohentuu mutta työllisyysvaikutus heikkenee. Siksi puun energiakäyttökään ei sittenkään luo metsätalouteen aivan niin paljon työpaikkoja kuin on ehkä uskallettu odottaa.

Nykymuodossaan puun energiakäyttö keskittyy pienikiinteistöihin ja metsäteollisuuteen. Pienikiinteistöt hankkivat 83 % polttopuustaan omatoimisesti, ja metsäteollisuuden energiapuu taas koostuu massa-, saha- ja levyteollisuudessa sivutuotteena syntyvästä tähteestä. Kummankaan osalta ei ole kysymyksessä varsinaisesti markkinapolttopuu, eikä tuotannon välitöntä tai välillistä työllistävää vaikutusta ole helppo eritellä.

Metsähakkeen tuotannon työllistävä vaikutus riippuu leimikkotekijöistä, työmenetelmistä, hankintajärjestelmistä, toiminnan mittakaavasta sekä tuotetun polttoaineen laatuominaisuuksista. Kun esimerkiksi pienpuun hakkuu siirtyy omatoimista hankintatyötä tekevältä metsänomistajalta ammattimetsurille, päivätuotos kasvaa ja työllisyysvaikutus supistuu. Jos metsurilla teetetään karsittujen rankojen sijasta karsimatonta osa- tai kokopuuta, biomassakertymä kasvaa oksien ansiosta mutta hakkuutyön määrä supistuu puoleen. Jos metsuri korvataan kaato-kasauskoneella, työllisyysvaikutus hupenee vieläkin jyrkemmin. Mikäli korjuu kohdistetaan pienpuuleimikon sijasta hakkuukoneen jättämiin tähdekasoihin, hakkuutyötä ei tule tarjolle lainkaan, vaan talteenotto käynnistyy suoraan metsätraktorin kuljetustehtävällä.

Leimikkokohteitten ja korjuumenetelmävaihtoehtojen kirjo on käytännössä laaja, mutta tässä työllisyysvaikutusten tarkastelukulmaa yksinkertaistetaan. Lähtökohdaksi asetetaan, että polttopuun käytön kasvu tulee tapahtumaan lähinnä seuraavien vaihtoehtojen puitteissa:

- *Kuitu- ja energiapuun yhdistetty korjuu ensiharvennusleimikoista*. Kuitupuun otetaan talteen karsimattomana 5 cm:n latvaläpimittaan saakka, ja vain kuori ja osa oksista käytetään energiaksi. Kuitu- ja energiaositteitten erottelu tapahtuu keskitetysti tehdasvarastolla. Näin toteutettuna energiapuun talteenotto kuitupuun rinnakkaistuotteena ei lisää oleellisesti korjuun työpanosta, eikä merkittävää välitöntä työllistävää vaikutusta siis ole odotettavissa. Vain jos ensiharvennuspuulle ei ole lainkaan kuitukäyttöä, sen erilliskorjuu energiakäyttöön työllistää merkittävästi puutavaran hankintaporrastakin.
- *Energiapuun korjuu kokopuuhakkeena taimikoista, ensiharvennusmetsistä ja muista pienpuuleimikoista*. Tuottavuus ja työllisyysvaikutukset vaihtelevat leimikkotekijöistä, kuljetusmatkoista, toiminnan mittakaavasta ja organisaation tehokkuudesta riippuen. Taulukon 3 kokemusperäiset työvaiheittaiset työmenekkiluvut kuvaavat kokopuuhakkeen korjuun ja kuljetuksen tuottavuutta.

- *Energiapuun korjuu hakkuutähdehakkeena uudistusaloilta.* Talteenotto tapahtuu pääsääntöisesti järeällä kalustolla, jonka käyttö edellyttää laajamittaista toimintaa. Hakkurin ja hakeauton tuottavuudet ovat samalla tasolla kuin tuotettaessa kokopuuhaketta, mutta hakkuuvaihe puuttuu kokonaan.

Taulukko 4 on yhteenvedo 10 milj. m<sup>3</sup>:n lisäkäytön työllisyysvaikutuksesta. Laskelmassa kokonaismäärästä 1 milj. m<sup>3</sup> hankitaan ensiharvennusleimikoista kuitupuun korjuun sivutuotteena, 4 milj. m<sup>3</sup> kokopuuhakkeen erilliskorjuuna erityyppisistä pienpuuleimikoista ja 5 milj. m<sup>3</sup> hakkuutähdehakkeena uudistushakkuualoilta. Aikaisempiin arvioihin verrattuna ensiharvennuspuun osuutta kokonaismäärästä on supistettu, koska ensiharvennuspuu on markkinoitavissa korkeammalla kantohinnalla kuitupuuksi. Vastaavasti on osoitettu suurempi osuus hakkuutähteelle. Kokopuuhakkeen tuotannon työmenekkiä on hieman lisätty, koska siirrytään ensiharvennusmetistä taimikoihin ja muihin hankalammin korjattaviin leimikoihin (vrt. Hakkila 1995).

Taulukon 4 mukaan *energiapuun hankintaan syntyisi 3950 ja puuta polttaviin laitoksiin 900 eli yhteensä 4850 välitöntä työpaikkaa, jos polttohakkeen käyttö kasvaisi 10 milj. m<sup>3</sup>:llä vuodessa.* Vaikka hankinta kokonaisuutena on ympärivuotinen tapahtuma, yksittäiset työtilaisuudet ovat pääsääntöisesti osavuotisia. Esimerkiksi kokopuuhakkeen erilliskorjuussa hakkuu painottuu kesäkaudelle, metsäkuljetus loppukesään ja syksyyn sekä haketus ja hakkeen kuljetus lämmityskaudelle loka-huhtikuulle riippuen kuitenkin hankintajärjestelmästä ja haketta käyttävästä laitoksesta.

Kuten kaikki taloudellinen toiminta, myös energiapuun hankinta ja käyttö edesauttavat yhteiskunnassa muittenkin työpaikkojen ylläpitoa. Lämpölaitoksia rakennettaessa syntyy tilapäisiä työpaikkoja, ja välittömien työpaikkojen vaikutus kertautuu välillisinä työpaikkoina. Pysyviä välillisiä työpaikkoja arvioidaan syntyvän 1,3-kertaisesti (Toropainen 1984). Näin *10 milj. m<sup>3</sup>:n vuosikäytön pysyvä työllistävä vaikutus olisi kaikkiaan 11 150 työvuotta.*

*Taulukko 3. Kokopuuhakkeen tuotannon keskimääräisiä työmenekkilukuja.*

Työvaihe	Työmenekki	
	päivä/m <sup>3</sup>	päivä/MWh
Pienpuun kaato ja kasaus	0,080	0,040
Kokopuun metsäkuljetus	0,020	0,010
Haketus:		
Keskiraskas varastohakkuri	0,020	0,010
Raskas varastohakkuri	0,010	0,005
Raskas palstahakkuri	0,028	0,014
Hakkeen kuljetus		
Maataloustraktori, alle 20 km	0,034	0,017
Kuorma-auto, alle 80 km	0,016	0,008

Taulukko 4. Esimerkkilaskelma syntyvistä työtilaisuuksista puun energiakäytön kasvaessa 10 milj. m<sup>3</sup>:llä vuodessa.

Tehtäväalue	Työvuosia/ milj. m <sup>3</sup>	Käyttö milj. m <sup>3</sup> /a	Työvuosia yhteensä
Energiapuun hankinta kuitupuun yhteydessä ensiharvennusleimikoista	50	1	50
Kokopuuhakkeen erillishankinta pienpuuleimikoista	675	4	2700
Hakkuutähdehakkeen hankinta uudistushakkuualoilta	240	5	1200
Energiapuun hankinta yhteensä	395	10	3950
Lämpölaitostehtävät	90	10	900
Pysyvät välittömät työpaikat	485	10	4850
Pysyvät välilliset työpaikat	630		6300
Pysyvät työpaikat yhteensä	1115		11150

Viime vuosina on kehitetty uusi puun energiakäyttöä edistävä toimintamalli, lämpöyrittäjyys, jossa yrittäjä ottaa kokonaisvastuun kiinteistön lämpöhuollosta. Lämpöyrittäjät ovat usein maanviljelijöitä, jotka yksin tai yrittäjärenkaana toimittavat hakkeen omista metsistään lämmön ostajalle ja hoitavat myös lämmityksen ja lämpölaitoksen valvonnan. Eräissä tapauksissa lämpöyrittäjä on ottanut vastuun myös hakelämmityksen laiteinvestoinneista, jolloin lämmön ostaja lunastaa laitteet sovitun ajan kuluessa. Osuuskuntamuotoisessa toimintamallissa, jossa jäseniä tulee olla vähintään viisi, hakkeen hankinta ja lämmön toimittaminen hoidetaan yhteisvastuullisesti. *Lämpöyrittäjän korvaus määräytyy tuotetun lämmön mukaan*, joten hakkeen määrän ja laadun mittauksilta vältytään (Solmio ym. 1995). Korvaus lämmöstä on ollut sopimuksen luonteesta riippuen 100—200 mk/MWh.

Hakelämmitykseen ja lämpöyrittäjyyteen siirtyminen saattaa olla tarkoituksenmukaista esimerkiksi kevyellä polttoöljyllä toimivan lämmitysjärjestelmän saneerauksen yhteydessä. Kohteena on yleensä kunnan kiinteistö. Kunnan kannalta on kysymys työllisyyden edistämisestä, rahan pidättämisestä paikkakunnalla, kokemuksen hankkimisesta kotimaisista polttoaineista sekä myös suoranaisten kustannussäästöistä. Kun ulkomailta ostettu kevyt polttoöljy näin korvataan paikallisella hakkeella, luodaan syrjäseuduille kipeästi kaivattuja lisäansiomahdollisuuksia. Työllisyyden kannalta on eduksi, että toiminta keskittyy paljolta talvikaudelle.

Vuoden 1996 lopulla maassamme oli voimassa yli 30 lämpöyrittäjyys sopimusta, ja suunnitteilla oli useita kymmeniä. Järjestelmään soveltuva rakennuskanta 0,1—2 MW:n kattiloineen on monikymmenkertainen, joten kasvumahdollisuudet ovat merkittävät. Lämpöyrittäjyydellä voisi olla tärkeä merkitys maaseudun elinkelpoisuuden turvaamisessa, vaikka kysymyksessä yleensä onkin vain sivuansiomahdollisuus.

# 7 Puun energiakäytön kansantaloudellinen tausta

Puun energiakäyttöä koskevat ratkaisut tehdään viime kädessä liiketaloudellisen kannattavuuden perusteella. Tuoreen selvityksen mukaan sekä hake että palaturve ovat kevyeen polttoöljyyn ja sähköön verrattuna liiketaloudellisesti kilpailukykyisiä polttoaineita 20—1000 kW:n lämmityskattiloissa. Valtaosa lämmityskustannuksista koituu hakkeella ja palaturpeella laiteinvestoinneista sekä lämmitys- ja valvontatyöstä, mutta öljyllä ja sähköllä taas energian hinnasta (Flyktman 1996).

Taloudelliset vaikutukset ulottuvat kuitenkin energialaitoksen ja sen suoranaisten asiakaskunnan ulkopuolelle aluetalouteen ja koko kansantalouteen. Siksi energiapolitiikkaa tulee suunnata esimerkiksi investointituen ja verotuksen avulla siten, että liiketaloudelliset ratkaisut saadaan palvelemaan myös kansantalouden etuja. *Alue-, kansan- ja ympäristötaloudellisten vaikutusten* arvioiminen ja osoittaminen on kuitenkin työlästä.

Metsäntutkimuslaitoksessa tehtiin 1980-luvun alussa urauurtava tutkimus valtion investointiavustusta saaneitten, kotimaisia polttoaineita käyttäneitten kunnallisten lämpökeskusten kansantaloudellisesta kannattavuudesta. Ongelmatiikkaa selvitettiin useista eri näkökulmista (Toropainen 1984):

- *Kunnallisen liikelaitoksen näkökulma.* Kunnallisen aluelämmitysjärjestelmän päätavoitteena ei ole liiketaloudellisen voiton maksimointi vaan lämmön tuottaminen mahdollisimman taloudellisesti. Puupolttoaineista koituvat lämmöntuotantokustannusten lisäykset tai säästöt siirtyvät aluelämmön kuluttajille.
- *Kunnallistalouden näkökulma.* Lämmöntuotantokustannusten muutosten lisäksi otetaan huomioon kunnan verotulojen nettolisäykset sekä kunnan omien metsien metsänhoitokustannusten säästöt. Lämpökeskuksen investointikustannuksista vähennetään rakennusaikaiset kunnan verotulojen nettolisäykset.
- *Koko kunnan näkökulma.* Edellisten lisäksi otetaan huomioon oman kunnan jäsenten työ- ym. tulojen nettolisäykset ja metsänhoitokustannusten säästöt. Investointikustannuksia vähentävänä eränä otetaan huomioon rakennusaikaiset kunnan jäsenten työtulojen nettolisäykset.
- *Muitten kuntien ja niitten jäsenten näkökulma.* Tarkastelu tapahtuu samalla tavoin kuin oman kunnan osalta.
- *Valtiontalouden näkökulma.* Tässä tarkastellaan, kuinka nopeasti avustuksiin sijoitetut varat palautuvat takaisin valtiolle verotulojen nettolisäysten ja menojen nettosäästöjen kautta. Valtion kokemilla fossiilipolttoaineitten verome-nyksillä on tässä tarkastelussa tärkeä merkitys.

— *Kansantalouden näkökulma.* Kansantaloudellinen kannattavuus arvioidaan kustannus-hyötyanalyttisesti summaamalla kaikille edellämainituille hyödynsaajaryhmille koituvat nettohyödyt.

Metsähakkeella toimiva lämpökeskus oli 1980-luvun alkupuolen kustannustilanteessa työtulojen ja metsänhoidollisten hyötyjen ansiosta koko kunnan kannalta varsin kannattava. Kannattavuutta tosin heikensi lämpökeskusten toiminta vajaakapasiteetilla, kun lämpöverkoston laajuus ei vielä vastannut laitoksen koko lämmöntuotantotehoa. Pääosa kotimaisen polttoaineen positiivisista nettohyödyistä jäi omaan kansantalouteen, ensisijaisesti omaan kuntaan. Lämpökeskuksen itsensä kannalta metsähakkeen käyttö raskaan polttoöljyn vaihtoehtona merkitsi kuitenkin lämpöenergian tuotantokustannusten nousua, ja siitä syystä nettohyödyt olivat aluelämmön kuluttajille negatiivisia (taulukko 5). Aluelämpökeskuksen polttoaineen valinta on siis hyödynjako-ongelma, jota ei tule energiapolitiikassa sivuuttaa.

Metsähakkeen hankinnan aluetaloudellisia vaikutuksia on arvioitu yksityiskohtaisesti Mikkelin seudun puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojektissa vuonna 1995. Metsähakkeen hankinta tarjosi työtä yhden henkilötyövuoden edestä kutakin tuotettua 3200 MWh kohti. Metsänhoidollinen hyöty, joka syntyi osaksi nuorten metsien harvennuksista ja osaksi hakkuutähteen poistamisen metsänuudistamiskustannuksia alentavasta vaikutuksesta, oli keskimäärin 5,8 mk/MWh. Metsähakkeen hankinnan kokonaiskustannuksista puolet oli työtuloja sivu- ja verokustannuksineen. Tulovai-  
kutuksista arvioitiin jääneen Mikkelin seudulle 38 % (Saksa & Auvinen 1996):

	Kustannus- jakauma, %	Mikkelin alueelle jäänyt osuus, %
Työtulot	32	75
Kunnallisverot	6	75
Valtionverot ja sivukustannukset	16	0
Pääomakulut	21	20
Korjaus ja huolto	13	20
Poltonesteet ja voiteluaineet	12	20
Yhteensä	100	38

Oulun yliopiston Pohjois-Suomen tutkimuslaitos on selvittänyt kauppa- ja teollisuusministeriön toimeksiannosta, kuinka paljon kotimainen energia saisi nykytilanteessa maksaa, jotta sen käyttö vielä olisi kansantaloudellisesti kannattavaa. Tuloksista voidaan päätellä, minkälaiset tuet kotimaisille polttoaineille ovat perusteltuja. Tarkastelussa on otettu huomioon polttoaineitten hankinnan sekä sähkön ja lämmön tuotannon tulo- ja työllisyysvaikutukset mukaan lukien verotus ja sosiaaliturva. Metsänhoidolliset ja ympäristövaikutukset sen sijaan eivät ole laskelmissa mukana.

*Taulukko 5. Metsähaketta käyttäneestä kunnallisesta lämpökeskuksesta kansantaloudelle koituneet hyödyt tuotettua lämpöyksikköä kohti 1980-luvun alussa. Keskiarvo 11 kooltaan yli 1 MW:n lämpökeskuksesta (Toropainen 1984).*

Hyödyn saaja	Verkkojen rakentamisaikana	Verkkojen saavutettua lopullisen laajuutensa
Nettohyödyt, mk/MWh		
Aluelämmön kuluttajat	- 24	-7
Oma kunta ja sen muut jäsenet	+46	+58
Muut kunnat ja niiden jäsenet	+4	+6
Valtiontalous	+4	+8
Koko kansantalous	+30	+65

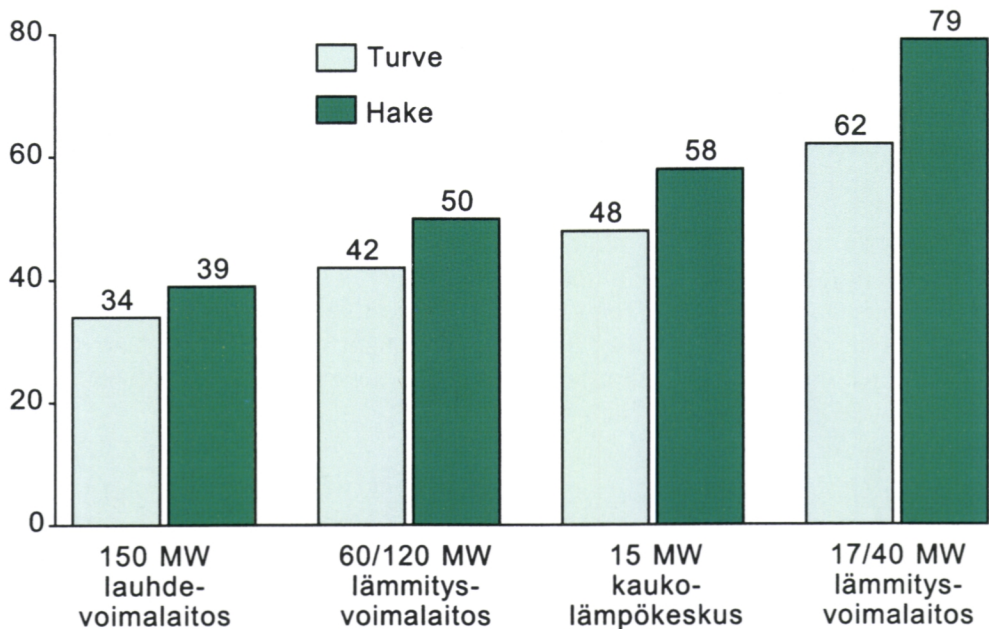
Tutkimus osoittaa, että polttoaineitten kokonaistaloudellinen kannattavuus riippuu ensisijassa niiden reaalista hankintakustannuksista ja reaalista kustannusrakenteista. Sen sijaan polttoaineverojen vaikutus kokonaistaloudelliseen kannattavuuteen on hyvin vähäinen, sillä verot ovat itse asiassa tulonsiirtoja polttoaineen käyttäjältä julkiselle sektorille. Verot vaikuttavat tietenkin merkittävästi liiketaloudelliseen kannattavuuteen (Mäenpää & Männistö 1995).

Oulun yliopiston tutkimuksessa kokonaistaloudellista kannattavuutta kuvataan *kotimaisten polttoaineitten ekvivalenttihinnan* avulla. Tällä tunnusluvulla tarkoitetaan ylintä hintaa, jolla kotimainen polttoaine vielä tuottaa yhtä hyvän kokonaistalouden tilan kuin tuontipolttoaine. Kuva 28 osoittaa hakkeen ja turpeen ekvivalenttihinnan erikokoisissa laitoksissa, kun vertailun lähtökohtana on hiilen veroton hinta 28 mk/MWh rannikolla ja raskaan polttoöljyn veroton hinta 65 mk/MWh. Hake saisi tuolloin hiilen vaihtoehtona maksaa sähkön erillistuotannossa suuressa lauhdevoimalaitoksessa 39 mk/MWh ja suuressa lämmitysvoimalaitoksessa 50 mk/MWh, vaikkei sen käyttöön liittyviä metsänhoidollisia ja ympäristöetuja ole laskelmiin sisällytettykään. Jos haketta käytettäisiin öljyä korvaavana polttoaineena 15 MW:n kaukolämpökeskuksessa, sen ekvivalenttihinta olisi 58 mk/MWh. Jos haketta käytettäisiin sähkön ja lämmön yhteistuotantoon 17/40 MW:n lämmitysvoimalaitoksessa siten, että laitoksen tuottama sähkö korvaa hiililauhdesähköä ja lämpö öljyllä tuotettua lämpöä, hakkeen ekvivalenttihinta olisi 79 mk/MWh.

Hallitus on asettanut tavoitteeksi puulla ja turpeella tuotetun bioenergian osuuden kasvattamisen vuoteen 2005 mennessä 25 %:iin primaarienergian kokonaiskulutuksesta. *Työvaltaisemman hankintaketjunsä ansiosta hake saisi kansantaloudellisesti vertailussa maksaa viidenneksen enemmän kuin turve*, minkä lisäksi tulee ottaa huomioon myös hakkeen käytön ympäristöedut. Jotta energiantuotannon liiketaloudelliset valinnat ohjautuisivat kansantaloudellisen kannattavuuden mukaisesti, kotimaisiin polttoaineisiin kohdistettavan tuen tulisi tarvittaessa kattaa kansantaloudellisen ekvivalenttihinnan ja liiketaloudellisen kannattavuuden erotus. Esimerkiksi suurella lämmitysvoimalaitoksella perusteltu tuki olisi turpeelle 14 mk/MWh ja

hakkeelle 22 mk/MWh hiilen vaihtoehtona. Vuonna 1996 turpeen tuki on hieman pienempi ja hakkeen tuki huomattavasti pienempi. Turpeen ja hakkeen verotuksellinen hintatukiero on 3,5 mk/MWh eli paljon vähemmän kuin kansantaloudellisten laskelmien pohjalta olisi perusteltua (Mäenpää & Männistö 1995). Jos työtulo- ja työllisyysvaikutusten lisäksi otettaisiin huomioon myös uusiutuvan metsäenergian ympäristöystävällisyys ja metsänhoidolliset edut, ero hakkeen hyväksi kasvaisi edelleen.

**Ekvivalenttihinna  
mk/MWh**



*Kuva 28. Turpeen ja hakkeen ekvivalentt hinnat hiiltä ja/tai öljyä korvaavana vaihtoehtona vuoden 1995 kustannustasolla eri laitosryhmissä. Selitys tekstissä (Mäenpää & Männistö 1995).*

# 8 Metsäenergia ja ympäristö

Painavimmat ja pysyvimmat metsäenergian käytön perusteet ovat ympäristölähtöisiä. Samalla kun metsäenergian liiketaloudellinen kannattavuus saattaa olla heikko, sen käyttö fossiilipolttoaineitten korvaajana on paitsi kansantalouden myös ympäristö-talouden kannalta yleensä hyvinkin mielekäästä. Poliittisessa ja taloudellisessa päätöksenteossa ympäristönäkökohdat pyrkivät kuitenkin jäämään taka-alalle, sillä vaikutukset ilmenevät hitaasti, eikä hyödyn tai haitan saaja ole useinkaan selkeästi kohdennettavissa.

Samalla kun yhteiskunta tiedostaa uudistuvan ja puhtaan metsäenergian arvon ympäristölle, se odottaa metsäenergian käyttäjältä kokonaisvaltaista suunnittelua. *Käytöketjun yhdessä vaiheessa saavutettua ympäristöetua ei saa tärvellä sopimattoman teknologian tai välinpitämättömyyden toisaalla synnyttämällä ympäristöhaitalla.* Toimintaa on kehitettävä siten, että metsäenergian potentiaaliset edut todella hyödyntyvät ja mahdolliset haittavaikutukset häviävät.

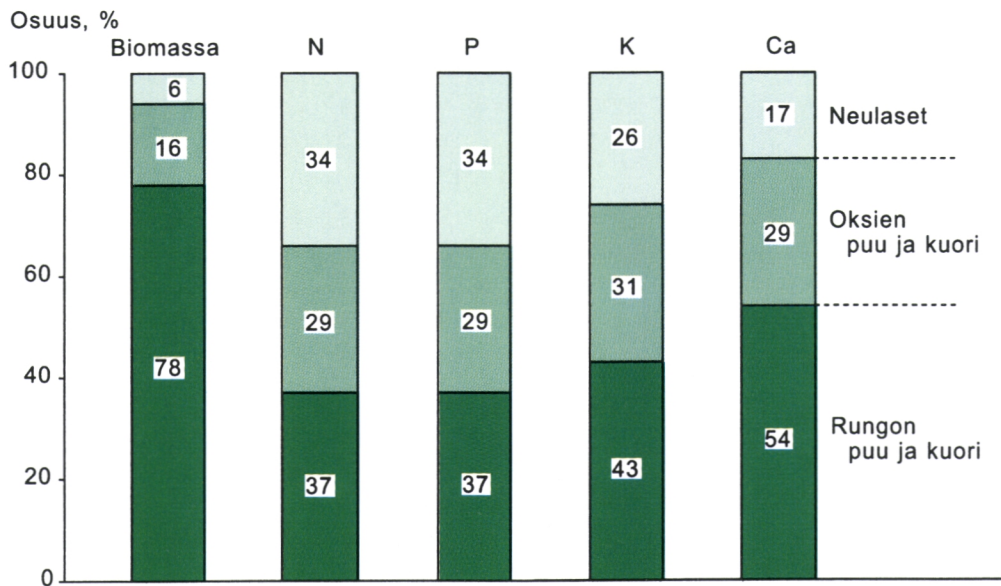
Luvussa 8 arvioidaan metsäenergian käytön keskeisiä ympäristövaikutuksia ja niiden optimoimisen mahdollisuuksia. Tarkastelun kohteina ovat biomassan tehostetun talteenoton vaikutus metsämaan tuotospotentiaaliin (8.1), puuta poltettaessa syntyvät haitalliset päästöt (8.2), tuhkan kierrätys (8.3) sekä uudistuvan metsäenergian mahdollisuudet kasvihuoneilmiön vastaisessa taistelussa (8.4).

## 8.1 Tehostettu talteenotto ja metsämaan ravinnetasapaino

Metsäekosysteemin tasapainotila häiriintyy puutavaraa korjattaessa. Kun runkopuun lisäksi poistetaan myös latvusmassaa, häiriöt vakavoituvat. Ravinnemenetykset kasvavat, mikä saattaa johtaa maan tuotospotentiaalin taantumiseen. Liian perusteellinen talteenotto köyhyttää kasvupaikkaa.

Erityisesti neulaset ovat ravinnerikkaita. Kuorelliseen runkopuuhun verrattuna esimerkiksi männyn neulasten typpipitoisuus on 12-kertainen, fosforipitoisuus 7-kertainen, kaliumpitoisuus 10-kertainen ja kalsiumpitoisuus 4-kertainen. Ensiharvennusköynnäksessä noin 60 % puuston maanpäälliseen osaan sitoutuneesta typestä, fosforista ja kaliumista on latvusmassassa (kuva 29).

Harvennushakkuun jälkeen yksittäisen puun kasvu kiihtyy, kun sen latvukselle ja juuristolle avautuu uutta tilaa ja hakkuutähteistä alkaa vapautua ravinteita. Jos hakkuupoistuman biomassa otetaan talteen kokonaisuudessaan eikä tähteitä jätetä, ravinteita ei vapaudu. Siksi katsotaan, että tähteitten poisto vaikuttaa kielteisesti harvennuksen jälkeiseen kasvuun.



Kuva 29. Puuston maanpäälliseen osaan sitoutuneen typen, fosforin, kaliumin ja kalsiumin jakautuminen runkoon ja latvukseen ensiharvennusmännikössä. Pitoisuudet Mälkösen (1974) mukaan.

Hakkuutähteitten poistamisella on ravinnehävikin lisäksi muitakin metsikön kasvuun ja ekologiseen tilaan epäsuorasti vaikuttavia seurauksia. Se saattaa muuttaa metsämaan mikroilmastoa ja mikrobitoimintaa, happamoittaa maaperää ja hidastaa humuskerroksen typen mineralisoitumista.

Ravinnehävikin seuraukset ovat hidas- mutta pitkävaikutteisia. Tähteitten poisto saattaa vaikuttaa vuosien viipeellä, sillä esimerkiksi typen nettomineralisoituminen neulasista saavuttaa huipputasonsa 3–6 vuoden kuluttua hakkuusta, ja oksapuusta tyyppi ja fosfori alkavat vapautua ehkä vasta vuosikymmenen kuluttua. Siksi vaikutusten selvittäminen edellyttää pitkäaikaisia kenttäkokeita. Laajassa yhteispohjoismaisessa tutkimuksessa, johon sisältyy kaikkiaan 15 männyn ja kuusen ensiharvennusmetsikköä, kokopuunakorjuun vaikutus puuston kasvuun on ollut ensimmäisellä viisivuotiskaudella vähäinen. Tutkijat kuitenkin odottavat ravinnetappioitten vaikutuksen voimistuvan ajan myötä (Jacobsen ym. 1996).

Metsäntutkimuslaitoksen koealasarjoissa neljässä männikössä äärimmäisen tehokkaanakaan toteutettu kokopuunakorjuu ei vaikuttanut ensiharvennusta seuranneen kymmenvuotiskauden aikana kasvuun, mutta kolmen kuusikon vuotuinen kasvu sen sijaan taantui keskimäärin 1,4 m<sup>3</sup>/ha. Kun metsikkö lannoitettiin hakkuun jälkeen, latvusmassan poistamisen vaikutus hieman supistui (Kukkola & Mälkönen 1993):

Metsikön käsittely  
ensiharvennuksessa

Männikkö Kuusikko  
Kasvu harvennusta seuranneella  
10-vuotiskaudella, m<sup>3</sup>/ha/vuosi

Ainespuun korjuu, ei lannoitusta	4,8	14,2
Kokopuun korjuu, ei lannoitusta	4,8	12,8
Ainespuun korjuu, lannoitus	6,7	15,7
Kokopuun korjuu, lannoitus	6,6	15,0

Ensiharvennusmänniköissä ei siis ole toistaiseksi todettu hälyttäviä tuotostappioita, vaikka biomassaa on poistettu perusteellisemmin kuin käytännön korjuutyömaille on mahdollista. Sen sijaan ensiharvennuskuusikoissa, missä latvusmassaa on paljon runsaammin, kasvutappio on ollut noin 10 %. Ennen pitkää eroja saattaa muodostua männiköissäkin, kun tavaralajimenetelmällä korjattujen koealojen hakkuutähteen ravinteet vapautuvat, joten on vältettävä metsämaan ravinnetasapainon radikaalia järkyttämistä. Poistettujen ravinteiden korvaaminen lannoittaen aiheuttaisi huomattavia lisäkustannuksia, eikä sitä kautta voitaisi torjua hivenravinnemenetyksiä. Myös ekosysteemin monimuotoisuus edellyttää, että hakkuualalle jää kuollutta biomassaa.

Sen sijaan että edellä mainittujen koejärjestelyjen tapaan otettaisiin talteen kaikki biomassaa, *tulee etsiä rationaalisia korjuuteknisiä ratkaisuja, joilla osa latvusmassasta voidaan hyödyntää energian lähteenä ja tarvittava osa jättää kasvupaikalle.* Ensiharvennuksissa tarkoituksenmukaisen vaihtoehdon tarjoaa menetely, jossa läpimitaltaan alle 5 cm:n latva oksineen jätetään tähteenä metsään. Silloin neulastappio vähenee kokopuunakorjuuseen verrattuna männikössä puolella ja kuusikossakin kolmanneksella. Ekologisesti arimilla mailla, kuten esimerkiksi köyhillä kanervakankailla ja rämeillä, latvusmassaan ei tule kuitenkaan kajota lainkaan.

Asetelma ravinnemenetyksistä on perin erilainen uudistushakkuualoilla (Kubin 1977). Metsikön elinkierron aikana happamoituneen maan pH kohoaa, kun puitten maasta ottamat kationit päätehakkuun jälkeen vapautuvat tähteestä. Jos tähteet poistetaan, hakkuun happamuutta alentava vaikutus vähenee. Ruotsissa hakkuutähteen poiston vaikutukseksi on todettu 0,1 pH-yksikköä (Nykvist & Rosén 1984).

Harvennusmetsissä puusto sitoo ja hyödyntää tehokkaasti tähteestä vapautuvia ravinteita, mutta uudistushakkuuala pysyy lähes paljaassa tilassa jopa kymmenen vuoden ajan. Tuolloin ravinteita huuhtoutuu, ja erityisesti hakkuukoneitten jälkeensä jättämien tähdekasojen alla on mitattu korkeita nitraattipitoisuuksia (Rosén & Lundmark-Thelin 1987). Uudistushakkuut lisäävät näin nitraattien määrää pohjavedessä ja vesistöissä, ja tätä vaikutusta vielä kiihdyttää maan pinnan muokkaaminen. Huuhtoutuminen on voimakkaimmillaan hakkuuta seuraavan nelivuotiskauden aikana, jolloin maata ei vielä peitä yhtenäinen pintakasvullisuus. Typen ja muitten ravinteitten huuhtoutuminen supistuu, jos uudistushakkuualan tähteet kerätään talteen (Staaf & Olsson 1994).

Varjostavan ja ravinteita sitovan puuston puuttuessa hakkuutähteet rehevöittävät uudistushakkuualan pintakasvillisuutta, varsinkin kun energiantuotannon ja liikenteen päästöt lisäävät maaperän typpikuormitusta laskeuman muodossa. Rehevöityminen vaikeuttaa taimien selviytymistä ja johtaa välillisesti myös myyräkantojen kasvuun ja taimituhoihin. Tältä kannalta tähteitten poistaminen on metsänuudistamiselle eduksi, ja se helpottaa myös maan muokkausta sekä kylvö- ja istutustyötä. Erityisesti karuilla ja kuivilla mailla tähteistä on kuitenkin myös hyötyä taimien alkukehitykselle, sillä ne suojaavat taimia auringon paahdetta, tuulta ja kuivuutta vastaan (Leikola 1974).

## 8.2 Puuta poltettaessa syntyvät päästöt

Kun puu palaa, yhteyttämässä sitoutuneet hiilidioksidi ja vesi palautuvat ilmakehään. Samalla syntyy myös muita palamistuotteita, joilla saattaa olla haitallisia sivuvaikutuksia. Päästöjen määrä ja laatu riippuvat polttoaineen koostumuksesta, tulipesän ja kattilan rakenteesta, liekin lämpötilasta ja muista palamisolosuhteista.

Puuperäiset polttoaineet ovat öljyyn, kivihiileen ja turpeeseen verrattuna ympäristöystävällisiä. Typpi- ja rikkipäästöt ovat pienempiä, ja hiilen osalta on käynnissä luonnollinen kiertokulku uudistuvan biomassan ja ilmakehän välillä. Kotimaisten polttoaineitten käytöstä aiheutuneet päästöt niitten energiakäyttöosuuteen suhteutettuina nähdään taulukosta 6.

### Rikin oksidit

Polttoaineet sisältävät enemmän tai vähemmän rikkiä. Osa rikistä jää poltossa tuhkaan. Pääosa hapettuu oksideiksi savukaasuihin, joista se pyritään poistamaan rikinerotuslaitteilla. Rikkiä pääsee kuitenkin ilmakehään ja sieltä edelleen kuiva- tai märkälasseumana maaperään ja vesistöihin. Jotta rikkilasseuman aiheuttama happamoituminen pysähtyisi, päästöjä on ryhdytty rajoittamaan yleismaailmallisin sopimuksin. Suomi on sitoutunut supistamaan rikkipäästöjä vuoden 1980 tasolta vuoteen 2000 mennessä peräti 80 %:lla. Suomen rikkidioksidipäästöt ovatkin pudonneet 500 000 tonnin vuositason 100 000 tonniin, joten tavoite on saavutettu (Energia ja päästöt 1996).

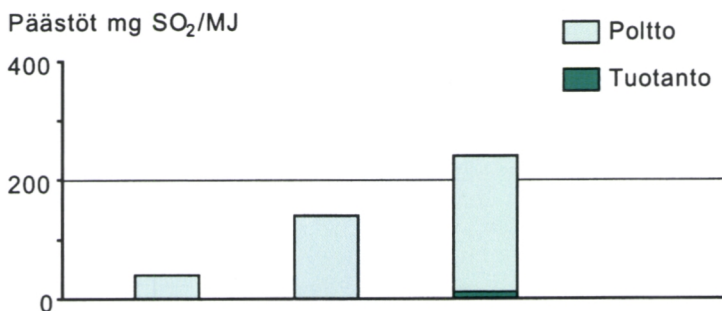
*Taulukko 6. Kotimaisten polttoaineitten käytöstä vuonna 1993 aiheutuneet hiilidioksidi-, typpidioksidi- ja rikkidioksidipäästöt käyttöosuuteen suhteutettuina (Energia ja päästöt 1996).*

Polttoaine	Osuus polttoaineitten käytöstä, %	CO <sub>2</sub> -päästöt	NO <sub>2</sub> -päästöt Osuus, %	SO <sub>2</sub> -päästöt
Puu ja kuori	8,6	12,2	2,1	0,1
Selluteoll. jäteliemi	11,0	14,2	1,8	6,2
Turve	7,0	9,0	4,1	8,3

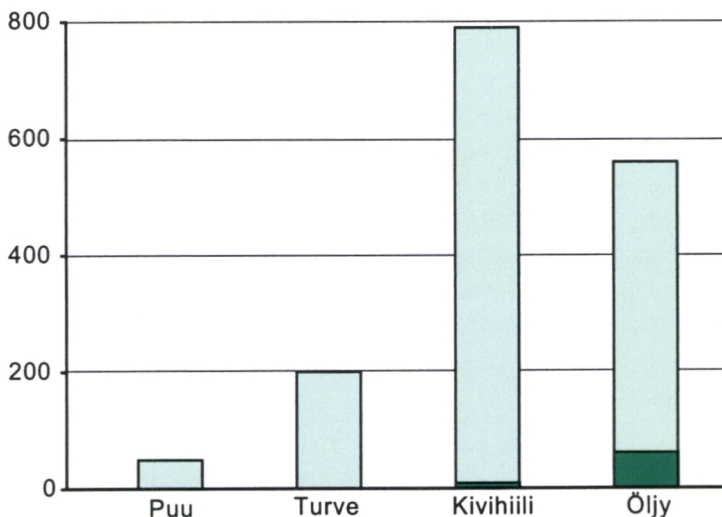
Myös puubiomassassa on rikkiä, sillä rikki on puun elintoiminnoille välttämätön hivenaine. Runkopuussa rikkiä on 0,01 %, kuoressa 0,02—0,1 % ja neulasissa 0,04—0,2 % kuivamassasta. Tätä korkeampia pitoisuuksia on mitattu energiapajusta (Naturvårdsverket... 1983).

Turpeeseen, kivihiileen ja öljyyn verrattuna puubiomassa on vähärikkinen polttoaine, joten puun poltosta aiheutuvat rikkipäästöt eivät ole merkittäviä. Siksi puun poltto ei edellytä erityisiä rikinpoistolaitteita, ja esimerkiksi haketta voidaan joissakin laitoksissa sekoittaa kivihiileen tai turpeeseen rikin kokonaispäästöjen pysyttämiseksi ympäristöviranomaisten asettaman enimmäistason alapuolella. Puusta ja kuoresta jäävä voimakkaan alkalinen tuhka voi näet sekapoltoissa sitoa myös muista polttoaineista peräisin olevaa rikkidioksidia.

### 17/40 MW LÄMMITYSVOIMALAITOS



### 5 MW KAUKOLÄMPÖLAITOS



Kuva 30. Polttoaineen tuotannon ja polton rikkipäästöt 5 MW:n kaukolämpökeskuksessa ja 17/40 MW:n lämmitysvoimalaitoksessa eri polttoaineita käytettäessä polttoaineen lämpöarvoa kohti laskettuna (Wihersaari 1996).

Kuvassa 30 tarkastellaan 5 MW:n kaukolämpökeskuksen ja 17/49 MW:n lämmitysvoimalaitoksen rikkipäästöjä eri polttoaineita käytettäessä. Kuvasta nähdään erikseen polttoaineen tuotantovaiheen ja polton päästöt vuonna 1995 vallinneella tasolla. Maakaasua lukuun ottamatta puu on muihin polttoaineisiin verrattuna rikkipäästöjen suhteen ympäristöystävällisin vaihtoehto.

### Typen oksidit

Puunaineessa ja puun kuoressa on typpeä 0,1—0,5 % kuivamassasta. Neulasten typpipitoisuus on oleellisesti korkeampi, 1—2 %. Turpeen typpipitoisuus vaihtelee suotyypistä riippuen yleensä 0,5—2 %:n ja kivihiilen 0,8—1,2 %:n välillä.

Polttoaineen palaessa osa sen sisältämästä tpeestä hapettuu muodostaen oksideja ( $\text{NO}_x$ ). Alkuvaiheessa syntyy lähinnä typpioksidia ( $\text{NO}$ ), joka ilmakehässä muuttuu typpidioksidiksi ( $\text{NO}_2$ ) ja edelleen moniksi muiksi kemiallisiksi yhdisteiksi. Jos liekin lämpötila nousee yli tietyn raja-arvon, polttoaineen oman typen lisäksi myös palamisilman typpi alkaa hapettua, ja typpioksidien määrä kasvaa. Typen oksidien kokonaispäästöt olivat vuonna 1993 Suomessa 312 000 tonnia, josta puolet aiheutui liikennepolttoaineitten käytöstä (Energia ja päästöt 1996). Päästöihin voidaan vaikuttaa mm. polttoaineen ja polttimen valinnalla sekä bensiinimoottoreitten katalyysaattoreilla.

Typpilaskeumalla on pieninä pitoisuuksina hyödyllinen lannoitusvaikutus, ja se lieenee osatekijä Euroopan metsien kasvun kiihtymisessä. Ajan myötä päästöt kuitenkin lisäävät metsämaan typpikuormitusta sekä maaperän ja vesistöjen happamoitumista. Typpioksidipäästöillä saattaa olla myös terveydellisiä haittavaikutuksia, joita ei kuitenkaan riittävästi tunneta. Suomen tavoitteena on supistaa typen oksidien päästöjä vuoden 1980 tasosta 30 %:lla vuoteen 1998 mennessä.

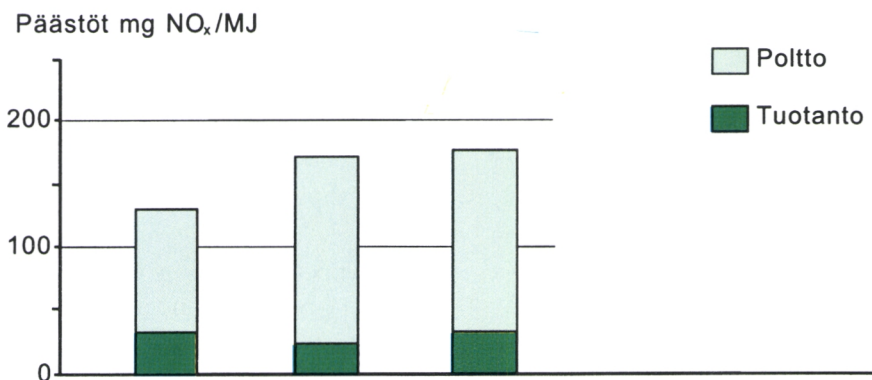
Puubiomassa on vähätyppinen ja matalissa palamislämpötiloissa typpioksidipäästöjen kannalta edullinen polttoaine. Pienissä puukattiloissa liekin lämpötila pysyy alhaisena, ja typpioksideja syntyy vähemmän kuin turpeesta ja kivihielestä. Terveydelle vaarallisten polyaromaattisten hiilivetyjen ja muiden orgaanisten päästöjen hallinta edellyttää kuitenkin tulevaisuudessa entistä korkeampia palamislämpötiloja ja pitempää palokaasujen viipymäaika kattilassa, mikä puolestaan suosii typpioksidien muodostumista palamisilmasta.

Kuva 31 osoittaa typpiyhdisteitten päästötason 5 MW:n kaukolämpökeskuksessa ja 17/40 MW:n lämmitysvoimalaitoksessa vuonna 1995, kun myös polttoaineen tuotannossa syntyvät päästöt luetaan mukaan. Puu suoriutuu vertailussa hyvin.

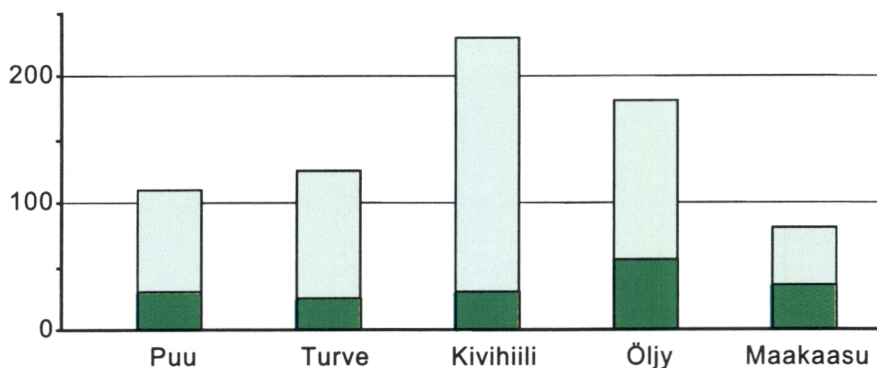
### Orgaaniset yhdisteet

Palon luonne riippuu kaasumaisena ja kiinteänä palavien ainesosasten paljousuhasteista polttoaineessa. Haihtuvista aineista muodostuu orgaanisia yhdisteitä, jotka sitten palavat hiilidioksidiksi ja vedeksi. Happiköyhässä tilassa palaminen on epätäydellistä, ja savukaasuihin jää palamisprosessin välituotteina hiilimonoksidia eli häkkää ( $\text{CO}$ ) ja erilaisia hiilivetyjä ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), joita ovat esimerkiksi metaani ( $\text{CH}_4$ ) ja polyaromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet.

## 17/40 MW LÄMMITYSVOIMALAITOS



## 5 MW KAUKOLÄMPÖLAITOS



Kuva 31. Polttoaineen tuotannon ja polton typpipäästöt 5 MW:n kaukolämpökeskuksessa ja 17/40 MW:n lämmitysvoimalaitoksessa eri polttoaineita käytettäessä polttoaineen lämpöarvoa kohti laskettuna (Wihersaari 1996).

Epätäydellisessä palamisessa jäljelle jäävät orgaaniset kaasut ja terva aiheuttavat lika-, haju- ja terveyshaittoja. Ne saattavat ärsyttää hengityselimiä, ja niitten joukossa on myös karsinogeenisiä ja mutageenisia yhdisteitä. Täydellinen palaminen edellyttää vähintään 900°C lämpötilaa, jolloin välivaihekaasujen päästöiltä voidaan välttyä, kunhan vain polttoaineeseen sekoittuu riittävästi happea.

Haihtuvien aineitten osuus on puussa samoin kuin turpeessa 75–85 %, mikä on enemmän kuin esimerkiksi kivihiilessä. Tämä lisää välivaiheen palamattomien yhdisteitten mahdollisuutta, varsinkin kun puun korkea kosteus pyrkii pysyttämään liekin lämpötilan kriittisen rajan alapuolella. Etenkin pientalojen uuneissa ja kattiloissa on vaikeata saavuttaa täydellisen palamisen edellyttämä korkea lämpötila ja tehokas polttoaineen ja ilman sekoitus.

Suuri osa hiilivetypäästöistämme lienee peräisin puun poltosta (Energiatuotannon... 1988). Puun polttoainekäytön lisäämistä on joskus pyritty tästä syystä jarruttelemaan. Ongelmat liittyvät kuitenkin ensisijaisesti pienkäyttöön, liian kosteaan puuhun ja vanhentuneeseen teknologiaan. Nykyaikaisissa lämpölaitoksissa hakkeen syöttö voidaan säilyttää tasaisena, liekin lämpötila voidaan nostaa riittävän korkeaksi, palamisilman syöttö- ja kierrätys voidaan hallita ja kaasuja voidaan viivyttää kattilassa tarvittavan pitkään, jolloin päästään lähemmäksi täydellistä palamista. Mitä suuremmasta laitoksesta on kysymys, sitä tehokkaampaa teknologiaa ja täsmällisempiä säätöjä on mahdollisuus soveltaa.

Kun tavoitellaan puun energiakäytön laajentamista jopa 10 milj. m<sup>3</sup>:llä vuodessa, kysymyksessä ovat ensisijaisesti keskisuuret ja suurehkot laitokset sekä nykyaikainen teknologia. Pienkäytön lisäpotentiaaliksi on arvioitu enintään 1 milj. m<sup>3</sup> puuta vuodessa. Niin ollen pienten laitosten vanhentuneeseen teknologiaan liittyvät PAH-päästöt eivät ole ongelma, joka voisi mitätöidä nykyaikaisella teknologialla tuotetun ja käytetyn metsäenergian ympäristöystävällisyyden. Toisaalta palamislämpötilan nostaminen johtaa kuitenkin typpioksidipäästöjen kasvuun, jolloin puubiomas-  
san siinä suhteessa tarjoama etu menettää merkitystään.

### Pölyhiukkaset

Kiinteistä polttoaineista syntyy myös hiukkaspäästöjä, jotka heikentävät ilman laatua. Kiintoainepäästöt muodostuvat kolmesta komponentista: polttoaineesta jäävä epäorgaaninen tuhka, polttoaineesta palamatta jäävät koksihiukkaset sekä pyrolyysikaasujen epätäydellisen palamisen tuloksena syntyvä hienorakeinen hiili eli noki. Hiukkasiin kiinnittyy PAH-yhdisteitä ja raskasmetalleja. Pääosa näistä terveydelle haitallisista hiukkasista on mikroskooppisen pieniä, läpimitaltaan vain muutaman mikronin kokoisia.

Hiukkaspäästötkin ovat lähinnä pientaloihin liittyvä ongelma, ja niihin voidaan vaikuttaa erityisesti polttoaineen ja ilman syötön järjestelyillä. Myös pienten hakekattilain hiukkaspäästöt voidaan rajoittaa kohtuullisiksi, mistä esimerkkinä on kuivan hakkeen poltto etupesällä varustetussa kattilassa. Nykyaikaista poltin- ja sähkösuodatintekniikkaa sovellettaessa keskisuuren hakelämpölaitoksen hiukkaspäästöt jäävät samalle tasolle kuin vastaavan kokoluokan öljy-, kivihiili- ja turvekattiloissa.

### Raskasmetallit

Kaikissa polttoaineissa on myös raskasmetalleja. Kiinteissä polttoaineissa useimpia raskasmetalleja on enemmän kuin öljyssä, erityisesti kevyessä polttoöljyssä. Puubiomassan raskasmetallipitoisuus on toisaalta kuitenkin selvästi alhaisempi kuin kivihiilen ja turpeen, joskin kuoressa ja latvusmassassa on raskasmetalleja enemmän kuin puuaineessa. Poikkeuksen muodostaa kyllästetty tai maalattu jätepuu, jossa raskasmetallipitoisuudet saattavat nousta hyvinkin korkeiksi ja jota siitä syystä ei tule polttaa tavanomaisissa uuneissa ja kattiloissa. Taulukko 7 osoittaa eri polttoainet-  
ten raskasmetallipitoisuuden suuruusluokan, mutta on huomattava, että vaihtelu on suuri.

Taulukko 7. Kiinteitten polttoaineitten raskasmetallipitoisuuksia (Naturvårdsverket... 1983).

Raskasmetalli	Kivihiili	Turve Pitoisuus mg/MJ	Puu
Arseeni	150	100	5
Kadmium	10	10	10
Koboltti	150	100	10
Kromi	400	250	50
Kupari	500	500	100
Elohopea	4	5	1
Mangaani	2000	4500	5000
Nikkeli	400	300	50
Lyijy	500	250	200
Vanadiini	900	450	100
Sinkki	1000	900	1200

Poltossa raskasmetallit joko höyrystyvät tai jäävät tuhkaan. Tuhkan raskasmetallit joko erottuvat arinatuhkaan tai leijailevat kiintoaineen mukana savukaasukanavaan, mistä ne pyritään ottamaan kiinni pölynerottimiin. Savukaasujen mukana ilmakehään päässyt osa raskasmetallikaasuista ja -hiukkasista muodostaa varsinaisen raskasmetallipäästön (Energiatuotannon... 1988).

Ilmassa ja maaperässä raskasmetallihiukkasista aiheutuu terveys- ja ympäristöhaittoja. Maaperään kasaantuneet raskasmetallit voivat happamoitumisen seurauksena tai olosuhteitten muutoin muuttuessa lähteä myöhemmin liikkeelle.

Raskasmetallipäästöt riippuvat paitsi itse polttoaineesta myös polttolaitteista ja savukaasujen puhdistuksesta. Parhaat sähkösuodattimet voivat saada kiinni lähes kaikki raskasmetallit, mutta heikkotehoiset erotuslaitteet päästävät lävitseen helposti kaa-suuntuvia raskasmetalleja kuten arseenia, kadmiumia, sinkkiä, elohopeaa ja lyijyä. Suurissa hyvin varustetuissa nykyaikaisissa laitoksissa raskasmetallipäästöt ovat samaa suuruusluokkaa käytettiinpö polttoaineena sitten puuta, turvetta tai kivihiiltä. Pientaloissa päästöt ovat suurempia.

## 8.3 Tuhkan kierrätys

Epäorgaanisista palamattomista mineraaliaineista muodostuu poltossa tuhkaa. Vain typpi, rikki ja pieni osa hivenaineista häviää savukaasujen mukana ilmaan. Tuhka putoaa tulipesän arinalle tai kulkeutuu ilmavirtojen mukaan lentotuhkaksi, joka kerätään talteen tuhkanerotuslaitteilla. Pohja- ja lehtotuhka eroavat ominaisuuksiltaan ja hiukkaskooltaan. Kun lämpötila nousee yli 900—1000°C, tuhka alkaa sintraantua. Hiekka edistää sintraantumista.

Taulukko 8. Männyn, kuusen ja koivun ranka- ja kokopuuhakkeesta jäävä puhdas tuhka (Hakkila & Kalaja 1984).

Puutavara	Koivu	Mänty	Kuusi
	Puhdas tuhka, % kuivamassasta		
Rankahake	0,7	0,7	1,0
Kokopuuhake lehdittä	0,8	0,8	1,3
Kokopuuhake lehtineen	1,0	0,9	1,6
	Puhdas tuhka, kg/m <sup>3</sup> polttopuuta		
Rankahake	3,1	2,7	3,9
Kokopuuhake lehdittä	3,5	2,9	5,0
Kokopuuhake lehtineen	4,6	3,2	6,1

Puu on polttoaineena vähätuhkainen. Kuorettomasta runkopuusta jää puhdasta tuhkaa noin 0,4 %, kuoresta 2—4 % ja kuusen neulasista ja koivun lehdistä jopa 5—6 % kuivamassasta. Pienikokoisesta puusta tehdystä polttohakkeesta jää puhdasta tuhkaa 3—5 kg/m<sup>3</sup> (taulukko 8).

Tuhkassa on tyypeä lukuun ottamatta karjanlannan tavoin kaikkia kasvien tarvitsemia ravinteita, ja ne ovat luonnon määräämissä paljousuhteissa. Erityisesti kuoren tuhkassa on runsaasti kalkkia, ja siksi tuhkalla on happamassa maassa voimakas *neutralointi- eli kalkitusvaikutus*. Tuhkassa on merkittäviä määriä myös kaliumia ja fosforia sekä suuri joukko hivenravinteita. Erityisesti kaliumia tosin liukenee puuta, kuorta ja tuhkaa varastoitaessa, joten sen määrä vaihtelee ja on laitostuhkassa tuntuvasti pienempi kuin vastakaadetussa puutavarassa (taulukko 9). Liukenemisen ja sekapolton seurauksena metsäteollisuuden tuottamassa tuhkassa ravinnepitoisuus on yleensä pienempi kuin lämpölaitosten tuhkassa (Silfverberg 1996).

Tuhkassa on myös raskasmetalleja, joista haitallisimpana pidetään kadmiumia. Lannoitelaki kieltää levittämästä peltomaalle sellaista tuhkaa, jonka kadmiumpitoisuus ylittää 3 mg/kg, mutta metsämaata tämä rajoitus ei koske. Tuhkalannoituksen on todettu lisäävän raskasmetallipitoisuuksia maaperässä ja kasveissa, mutta muutokset eivät ole olleet suuria. Raskasmetallipitoisuuksia ei pidetä kynnyksysymyksenä puu- ja kuorituhkan käytölle maanparannusaineena (Leinonen 1996).

Tuhkaa syntyy lämpölaitoksella enemmän kuin puun tuhkapitoisuus sinänsä edellyttää, sillä kiinteissä polttoaineissa on epäpuhtautena myös hiekkaa, ja lisäksi poltosta jää palamatonta hiiltä. Metsäntutkimuslaitoksen 1980-luvun alkupuoliskolla analysoimien näytteitten mukaan lämpölaitosten *tuhkajätteen määrä paisui hiilen ja etenkin hiekan vaikutuksesta* haketta poltettaessa keskimäärin noin 60 % ja kuorta poltettaessa 80 %, mutta nykyaikaista leiju- ja kiertopetiteknikkaa käytettäessä hiilen osuus jää pieneksi. Tuhkajätettä jää käytännössä kokopuuhakkeesta 1,5—2,5 % ja kuoresta 3—7 % polttoaineen kuivamassasta. Vastaavat luvut ovat turpeella 3—10 %, kivihiehellä 10—15 % ja öljyllä 0,01—0,1 %.

Taulukko 9. Fosforin, kalin, kalkin ja magnesiumin pitoisuudet vastakaadetun puun tuhkassa (Hakkila & Kalaja 1983).

Puutavara	P	K	Ca	Mg
	Pitoisuus tuoreen puun puhtaassa tuhkassa, %			
Lehtipuinen polttohake	2—6	15—22	19—22	3—5
Havupuinen polttohake	2—3	11—13	22—25	3—5
Havutukkien kuori	1—3	6—9	30—33	2—3

Puupolttolaitteista syntyy vuosittain arviolta 150 000 t laitostuhkaa, josta pääosa on peräisin metsäteollisuuden kuorintajätteestä. Monilla laitoksilla puupolttolaitteiden tuhka sekoittuu monipolttolaitteissa fossiilipolttolaitteiden tai turpeen tuhkaan, jolloin tuhkan ravinteisuus laskee mutta raskasmetallipitoisuus kasvaa. Kierrätysjärjestelmän puuttuessa suurin osa tuhkasta viedään nykyisin metsäteollisuuden läjitysalueille tai kunnallisille kaatopaikoille, missä siitä aiheutuu kustannuksia ja ympäristöongelmia. Jätelain mukaan tuhkan tuottajat ovat jätelupavelvollisia, eikä jätettä saa hylätä eikä käsitellä hallitsemattomasti, vaan sille tulee etsiä hyötykäyttöä. Kaatopaikkamääräykset ovat tiukentumassa, ja kaatopaikoille ajettavasta jätteestä alettaneen kantaa tuntuvaa jäteveroa. Eduskunnan käsiteltävänä on uusi jäteverolaki, joka ehkä asettaa tuhkan tuottajille hyötykäyttövelvoitteen.

Koska metsäenergian käytön lisäystä perustellaan sen ympäristöeduilla, *kestävyyden periaate tulee ottaa ohjenuoraksi myös tuhkatuotteen käsittelyssä*. Esimerkiksi ruotsalaiset laskelmat metsäenergian potentiaalista ja sen käytön ekologisista rajoitteista edellyttävät, että tuhkan kierrätyksestä huolehditaan (Hektor ym. 1995). Kun tuhka palautetaan luonnon kiertoon, ei ehkä kuitenkaan ole välttämätöntä, että ravinteet palautuvat tarkalleen juuri lähtöpaikkaansa, sillä esimerkiksi kangasmetsien kasvua säätelee ensisijaisesti typen saatavuus eivätkä niinkään tuhkassa olevat ravinteet. Tuhkalla ei ole saatu aikaan mainittavaa kasvunlisäystä kangasmetsissä (Mälkönen 1996). Sen sijaan typpirikkaat mutta muutoin vähäravinteiset rämeet ovat erityisen kiitollisia kohteita, joilla tuhkan lannoitusvaikutus on voimakas ja pitkäaikainen. Tai jos tuhka palautetaankin lähtöpaikkaansa esimerkiksi kangasmaan uudistushakkuualalle, ei liene tarkoituksenmukaista tehdä sitä ainakaan ennen kuin alalle on noussut riittävä puusto tuhkan ravinteita hyödyntämään. Kohteena voi met-samaan sijasta olla myös maatalousmaa.

*Metsätaloudessa puu- ja kuorituhan on siis todettu vaikuttavan tehokkaimmin typpirikkailla turvemaidella*, joilla kaliumia on niukasti ja hivenravinteiden puute ehkä aiheuttaa kasvuhäiriöitä. Ojitetuilla turvemaidella levitysmäärä on noin 5 t/ha. Maataloudessa tuhkan kalkitusvaikutus ja ravinteet voitaisiin hyödyntää happamuudesta kärsivillä mailla peltokasvien viljelyssä ja sitä kautta edelleen kotieläinten ja ihmisten ravinnon hivenainekoostumuksen tasapainottumisena, ellei kadmiumpitoisuus ylitä sallittua rajaa. Hivenravinnepitoisuuksilla ja kasvuhäiriöistä kärsivillä mailla tuhkaa voidaan pitää *terveyslannoitteena*.



*Kuva 32. Tuhkan levitystä koneyrittäjä Heikki Huuhan kehittämällä maataloustraktorisovitteisella laitteistolla. Pölyämisen rajoittaminen edellyttäisi tuhkan rakeistamista (kuva Pentti Hakkila).*

Puu- ja kuorituhkan *palauttaminen metsämaahan on vaikeampaa kuin pellolle*. Metsässä levityskoneelta edellytetään parempaa maastokelpoisuutta, ja työn tulee tapahtua puustoa ja maaperää vaurioittamatta. Metsään tuhka on levitettävä harvennushakkuissa 20—30 metrin välein avatuilta ajourilta käsin, ja levityskaistan on oltava vastaavasti yhtä leveä. Maataloudessa sen sijaan voidaan käyttää mitä tahansa kaistan leveyttä, ja työ voidaan tehdä kalkinlevityskalustolla tai jopa pelkästään taakse purkavalla maatalon yleislevittimellä. Kiitollisen ja teknisesti helpon levityskohteen tarjoavat metsitettävät suopellot, joilla ravinnetalous on joutunut epätasapainoon pitkään jatkuneen maanviljelyksen seurauksena.

Metsässä levittäminen tapahtuu tarkoituksenmukaisimmin *metsätraktorisovitteisilla lingoilla ja puhaltimilla* (kuva 32). Toinen vaihtoehto on *maastokuorma-autoon perustuva palautusjärjestelmä*, jossa sama koneyksikkö suorittaa sekä kuljetuksen käyttöpaikalle että levityksen ilman, että tuhkaa joudutaan välillä varastoimaan maahan. Koska tällaisen yleisajoneuvon maastokelpoisuus ei ole kuitenkaan metsätraktorin veroinen, toiminta rajoittuisi lähinnä pelloille ja helppokulkuisiin kangasmetsiin.

Jotta kierrätys mahdollistuisi, *tuhkan tuottajain tulisi kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin näkökohtiin:*

- Puun ja kuoren tuhka tulee pitää erillään fossiilisten polttoaineitten tuhkasta.
- Polttoaineena käytettävän puun ja kuoren hiekkapitoisuus ei saa olla korkea.
- Tuhkan tulee olla mahdollisimman täydellisesti palanutta.
- Tuhka ei saa olla sintraantunutta.
- Tuhka ei saa olla ajoneuvon kuormaushetkellä niin kuumaa, että siitä välivarastolla tai metsässä voisi aiheutua palovaara.
- Tuhkan jäädyttäminen ja pölynesto tulee toteuttaa mahdollisimman pienellä vesimäärällä.
- Tuhka tulee varastoida siten, että sen kuormaus käy pölyhaitatta ja joutuisasti.

Vaikkei palauttaminen sitä aivan välttämättä edellytäkään, on ryhdytty kehittämään kovettamiseen, puristamiseen tai granulointiin perustuvaa tuhkan *pelletöimisen ja rakeistamisen tekniikkaa* (Lauhanen 1996, Takalo 1996). Tämä aiheuttaa tietenkin kustannuksia, mutta rakeistettu tuhka on jauhemaista edullisempaa niin kuljetustilan tarpeen, työ- ja ympäristöhygienian, levityksen tasaisuuden, laitteitten häiriötömän toiminnan kuin pienten erien vähittäiskaupankin kannalta. Rakeistaminen myös hidastaa tuhkan liukenemistä ja vaimentaa suurten annosten yhtäkkistä pH-shokkivaikutusta ekosysteemissä.

Lämpölaitosten puu- ja kuorituhka kuuluu vuoden 1994 alusta voimaan astuneen lannoittelain piiriin silloinkin, kun tuhka luovutetaan käyttäjälle vastikkeetta. Sitä kutsutaan *maanparannustuhkaksi, jonka koostumuksesta tulee laatia tuoteseloste*. Siitä tulee selvittää tuhkan neutraloiva kyky sekä pääravinteitten, sivuravinteitten, hivenravinteitten ja raskasmetallien pitoisuudet.

## 8.4 Metsäenergia ja kasvihuoneilmiö

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus oli maapallon muinaisuudessa paljon nykyistä korkeampi. Kivihiilikaudella 250 miljoonaa vuotta sitten runsas hiilidioksidi pidatti tehokkaasti auringon säteilyä, ja ilmasto oli sen seurauksena lämmin ja kostea. Suotuisissa oloissa syntyi valtavasti biomassaa, jota ajan saatossa peittyi tulvamailla hiekkaan ja saveen ja hautautui luonnonmullistuksissa syvempiin maakerroksiin. Paineen alaisena biomassasta syntyi ruskohiiltä, kivihiiltä, öljyä ja maakaasua, joihin huomattava osuus ilmakehän alkuperäisistä hiilidioksidivaroista näin sitoutui. Elämä sopeutui ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden alenemiseen ja ilmaston hitaaseen muuttumiseen.

Kun ihminen ottaa energiakäyttöön maan uumeniin hautautunutta ruskohiiltä, kivihiiltä, öljyä ja maakaasua, tai maan pinnalle tuhansien vuosien kuluessa kasaantunutta turvetta, hän samalla purkaa hiilinieluja ja *vapauttaa hiiltä takaisin ilmakehään*. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden arvioidaan olleen ennen teollistumiske-

hitystä 280 miljoonasosaa, mutta tällä hetkellä se on jo 355 miljoonasosaa. Koska biosfäärin hiilidioksidivarasto on itse asiassa melko pieni, ihmisen aiheuttamat päästöt lisäävät sitä lähes puolen prosentin vuosivauhdilla (Kulmala 1966). Maapallon lämpötila kohoaa niin yhtäkkisesti, etteivät hidaskiertoiset metsät ehkä ehdi siihen sopeutua, varsinkin kun myös sade- ja tuuliolot saattavat muuttua radikaalisti ja äärevöityä. Muutosten vaikutusta Suomen ilmasto-oloihin on toistaiseksi mahdoton arvioida, sillä esimerkiksi Golfvirta saattaa muuttaa kulkuaan.

Tätä *kasvihuoneilmiöksi nimettyä kehitystä pidetään maapallon vakavimpana ympäristöuhkana*, ja sitä tulee mahdollisuuksien mukaan jarruttaa. Useimmat maailman valtiot allekirjoittivat Rio de Janeirossa vuonna 1992 pidetyssä Ympäristön ja Kehityksen konferenssissa ilmastopimuksen, joka edellyttää kasvihuoneilmiötä torjuvia toimenpiteitä myös Suomelta. Sopimus on suositusluontoinen, mutta se sitoo allekirjoittajavaltioita poliittisesti. Jotta ekosysteemit voisivat sopeutua ilmaston muutokseen luonnollisella tavalla ja kestävä taloudellinen kehitys samalla jatkua, tavoitteeksi on asetettu kasvihuonekaasujen päästöjen kasvun pysäyttäminen vuoteen 2000 mennessä ja päästötason palauttaminen vähitellen vuoden 1990 tasolle. Euroopan Unionin alkuperäinen tavoite oli tuon tason saavuttaminen jo vuoteen 2000 mennessä, mutta ote kunnianhimoisesta aikataulusta näyttää jo kirvonneen.

Kasvihuoneilmiön aiheuttaa ensisijaisesti fossiilipolttoaineitten käytön ja trooppisten metsien hävittämisen kautta vapautuva hiilidioksidi. Päästöjä syntyy poltossa mutta myös energiaraaka-aineen tuotannossa, jalostuksessa, kuljetuksessa ja varastoinnissa. Nämä *kasvihuonekaasut* voidaan laskennallisesti muuntaa vaikutukseltaan yhteismitallisiksi käyttäen mittasuurena sadan vuoden aikajaksolle laskettua *hiilidioksidiekvivalenttia* ( $CO_2$ -ekv), jolloin sekä kaasun kyky imeä lämpösäteilyä että sen elinkaari tulevat huomioon otetuiksi. Vuonna 1990 Suomen hiilidioksidipäästöt vastasivat 59 milj. t ja kaikkien kasvihuonekaasujen päästöt noin 80 milj. t hiilidioksidiekvivalenttia (Hiilidioksidi...1994):

Suomen kasvihuonekaasupäästöt  
milj. t  $CO_2$ -ekv vuonna 1990

Hiilidioksidi	58,6
Metaani	3
Typpioksiduuli	5,4
CFC-yhdisteet	9
Typen oksidit ( $NO_2$ )	2
Hiilimonoksidi	0,5
Haihtuvat hiilivedyt	2
Yhteensä	80,5

Kun 80 % kasvihuonekaasuista syntyy energian tuotannossa ja käytössä, rajoitusvaatimus kohdistuu nimenomaan energiatalouteen. Energian kulutus kasvaa kuitenkin taloudellisen kasvun myötä. Kauppa- ja teollisuusministeriön arvion mukaan energian tuotannon ja kulutuksen hiilidioksidipäästöt nousevat Suomessa vuoteen 2000 mennessä 78 milj. tonniin ja vuoteen 2010 mennessä 91 milj. tonniin, jos kansantalouden kasvuvauhti on 2,5 % vuodessa eikä energiapolitiikassa tapahdu pääs-

töjen rajoittamiseen johtavia muutoksia. Pääsyy kehitykseen on sähkönkulutuksen nopeassa kasvussa. Mutta *ilmastosopimus velvoittaa Suomen rajoittamaan kasvihuonekaasujen päästöt vuoden 1990 tasolle* ja kartuttamaan nielujen hiilivarastoja. Suipistusten toteuttaminen on äärimmäisen vaikeata, sillä energian tuotantorakenne on Suomessa vesi- ja ydinvoiman ja puuperäisten polttoaineitten suhteellisen suuren osuuden sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannon ansiosta hiilidioksidipäästöjen kanalta kansainvälisessä vertailussa nykyisinkin kohtuullisen säästeliäs.

Tehokas keino Suomen hiilitaseen parantamiseksi ja kasvihuoneilmiön hidastamiseksi on *hiilen varastoiminen metsiin* ja pitkäikäisiin puusta valmistettuihin tuotteisiin, sillä vihreät kasvit sitovat biomassaan ilmakehän hiilidioksidia ja auringon energiaa. Niin kauan kuin yhteyttäminen on voimakkaampaa kuin kasvien hengittäminen ja hajoaminen, *ekosysteemi toimii hiilinieluna*. Metsäekosysteemissä ilmakehän hiiltä varastoituu paitsi elävään puustoon ja pintakasvillisuuteen myös karikkeeseen, turpeeseen, humukseen ja kivennäismaan pintakerrokseen. Suomen metsä- ja suoekosysteemien hiilivarastot ovat 3,7 mrd t, mikä vastaa 13,4 mrd t hiilidioksidia (Hiilidioksidi...1994):

	Suomen metsä- ja suoekosysteemien hiilivarasto, mrd t
Puusto	0,80
Pintakasvillisuus	0,02
Kangasmaitten humuskerros ja pintamaa	0,94
Soitten turvekerros	1,90
Yhteensä	3,66

Latvus- ja juurimassa mukaan luettuina metsiemme puusto sitoo ilmasta vuosittain 98 milj. t hiilidioksidia, mikä itse asiassa ylittää kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt. Vuonna 1994, jolloin puutavaran menekki ja hakkuut olivat ennätyskellisen korkealla tasolla, *hakkuusäästö latvus- ja juuristomassoineen satoi 21 milj. t hiilidioksidia* eli vuoden 1990 sopimustasoon nähden 36 % kansantalouden hiilidioksidipäästöistä ja 26 % kaikista kasvihuonekaasujen päästöistä. Metsät siis tasa-painottavat hiilitasettamme hyvin merkittävästi, ja jo yksinomaan tästä syystä niiden kunto ja kasvu on pidettävä tehokkaan metsänhoidon avulla mahdollisimman korkeana.

Toinen rinnakkainen keino kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi on uusiutumattomien polttoaineitten korvaaminen uusiutuvilla, joista Suomen oloissa ylivoimaisesti tärkein on puubiomassa. Kun harjoitetaan kestävää metsätaloutta, niin että poistettu biomassa aina vähintäänkin korvautuu uudella eikä metsien hiilinieluun sitoutuneita hiilivarastoja pureta, *puun poltosta koituvat hiilidioksidin nettopäästöt jäävät varsin vähäisiksi*. Mukaan luettuna myös polttoaineen tuotannon ja kuljetuksen vaatima energia, joka esimerkiksi metsähakkeella on noin 2,6 % mutta hiilellä 5,7 % polttoaineen energia-arvosta, puubiomassan energiakäytön aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat kokonaisvaikutukseltaan vain 7 % hiilen energiakäytön vastaa-vista päästöistä (Ericson 1995).

Puun energiakäytön lisäystavoite nojautuu Suomessa biomassaan, joka jää teollisuuden raakapuun korjuun tai metsänhoitotöitten yhteydessä tähteenä metsään; taimikkoitten harvennuspuu, pienikokoinen ensiharvennuspuu, uudistushakkuitten tähde sekä muu heikkolaatuinen puu. Ellei tälle biomassalle ole energiakäyttöä, se hylätään hakkuutähteeksi ja hajoaa lahoamisprosessin kautta hiilidioksidiksi ja vedeksi. Jos se käytetään polttoaineena hiiltä, öljyä tai turvetta korvaamaan, puutähteen hajoaminen ja tähteeseen sitoutuneen hiilen kierto tosin kyllä nopeutuvat, mutta samalla vältytään pysyväisluonteisilta hiilidioksidipäästöiltä.

Euroopan Unionin tilastoviraston Eurostatin mukaan hiilidioksidipäästöt kasvoivat 1990-luvun alkupuoliskolla kaikista jäsenvaltioista toiseksi eniten Suomessa (Rai-vio 1996), ja Suomi ajautui yhä kauemmaksi tavoitteestaan palauttaa hiilidioksidipäästöt vuoden 1990 tasolle. Mutta jos 10 milj. m<sup>3</sup> nykyisin markkinakelvotonta biomassaa tulisi vuosittain ohjatuksi kivihiiltä ja öljyä korvaavaan energiatuotantoon, hiilidioksidipäästöt vähenisivät 7 milj. tonnia eli vuoden 2010 ennustetulla päästötasolla lähes 8 %. *Mikäli Suomi todella aikoo pitää kiinni kansainvälisestä ilmastosopimuksesta, metsäenergian lisäkäyttö on erittäin varteenotettava keino sitoumusta täytettäessä.*

# 9 Puun energiakäytön tuki

Metsäenergian käyttö tukee Suomen kansantaloutta. Se luo uusia työpaikkoja, edistää metsien hoitoa, säästää valuuttaa ja supistaa hiilidioksidipäästöjä. Ongelmana on kuitenkin korkea kustannustaso ja sen seurauksena riittämätön liiketaloudellinen kilpailukyky fossiilipolttoaineitten vaihtoehtona.

Kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen reaalikustannus on laite- ja menetelmäkehittelyn, koneellistamisen, logistiikan hioutumisen sekä kone- ja kuljetusyrittäjien kilpailuttamisen seurauksena kyllä alentunut merkittävästi, niin että hinta käyttöpaikalle toimitettuna on itse asiassa markkamääräisestäkin 10—15 % pienempi kuin 10 vuotta aikaisemmin. Vain karsitusta pienpuusta tehdyn rankahakkeen markkamääräinen kustannus on kohonnut, kun pienpuun karsintaa ei ole onnistuttu koneellistamaan kannattavalla tavalla. Kokopuu- ja hakkuutähdehakkeenkaan kilpailuasema ei ole kuitenkaan kohentunut, sillä myös vaihtoehtoisten polttoaineitten hinnat ovat pudonneet.

Metsähakkeen kustannukset muodostuvat korjuussa ja kuljetuksessa. Kustannuksiltaan edullisimmat hakkeen tuotantomenetelmät perustuvat tehokkaaseen talteenotto-, haketus- ja kuljetuskalustoon sekä huolellisesti suunniteltuun ja ohjattuun hankintalogistiikkaan. Tehokkuuden edellytyksenä kuitenkin on, että organisaation henkilökunnalle ja kalustolle voidaan järjestää korkea työllisyys, jolloin kiinteitten kustannusten rasitus jakautuu suurelle puumäärälle. Kustannusten alentamiseksi tarvitaan siis uusia käyttäjiä ja aivan erityisesti ympärivuotisia suurkäyttäjiä, jotka polttavat haketta säännöllisesti, eivät ainoastaan alennushinnalla saamiaan satunnaisia eriä. Käyttämättömien metsäenergiareservien laajamittainen hyödyntäminen edellyttäisi nimenomaan alkuvaiheessa taloudellisia tukitoimia, kunnes hankintaketjut käytännön toiminnassa kehittyvät ja hioutuvat kustannuksiltaan kilpailukykyisiksi.

## Energiaverotus

Polttohakkeen ekvivalenttihinna eli se ylin hinta, jolla hake vielä tuottaa kansantalouden kannalta yhtä hyvän kokonaistalouden tilan kuin halvempi tuontipolttoaine, voi laityyypistä riippuen olla hiilen hintaan verrattuna jopa yli kaksinkertainen (kuva 28). Yhteiskunnan siis kannattaa harjoittaa puupolttoaineita tukevaa energiapolitiikkaa ja pyrkiä tekemään polttohakkeesta myös liiketaloudellisesti houkutteleva vaihtoehto. Keskeinen keino on tällöin energiaverotus.

Polttoaineitten valmisteveroilla vaikutetaan vaihtoehtoisten energiaraaka-aineitten väliseen kilpailuasetelmaan. *Valmistevero koostuu fiskaalisesta perusverosta ja ympäristöperusteisesta lisäverosta*, joista jälkimmäinen määräytyy polttoaineen hiili- ja energiasisällön mukaan. Vuonna 1996 *hiilisisällön mukainen verokomponentti* on Suomessa 38,30 mk hiilidioksiditonnilta, mutta turve ja puu on vapautettu siitä. *Energiasisällön mukainen verokomponentti*, joka on kustannusvaikutuksiltaan pienempi, on 3,5 mk/MWh. Kun vero näin kohdistuu primaarienergiaan ja hukkaenergiakin verotetaan, se kannustaa samalla parantamaan energian tuotannon hyötysuhdetta.

Uusiutuvuutensa ja vähärikkisyytensä perusteella puu on kokonaan vapautettu energiaveroista. Sen kilpailuaseman on uskottu kohentuvan Euroopan Unionin ympäristöperusteisen energiaverotuksen kiristymisen myötä. Vastoin odotuksia kehitys näyttää kuitenkin olevan kääntymässä päinvastaiseen suuntaan:

- Euroopan Unionin aikaisemmin hahmottelema fossiilipolttoaineitten vero, jonka oli tarkoitus nousta 10 dollariin öljytynnyriltä vuonna 2000, näyttää jäävän toteutumatta.
- Kun Suomi vuoden 1995 alussa liittyi Euroopan Unioniin, puupolttoaineille liikevaihtoverotuksessa aikaisemmin myönnetty alkutuotevähennys poistettiin. Polttopuukin asetettiin 22 %:n arvonlisäveron alaiseksi, ja vain murto-osa kustannusten noususta kompensoitiin muuta kautta. Tämä luonnollisesti horjutti metsäenergian kilpailuasemaa, etenkin kun turpeen vastaavasti saama kompensatio oli tuntuvampi.
- Jotta kotimaassa tuotettu sähkö saatettaisiin tasavertaiseen verotuskohteluun ulkomailta tuodun verottoman sähkön kanssa, energiaverotusta valmistellut hallituksen työryhmä teki lokakuussa 1996 esityksen kaikkien polttoaine- ja tuotantoverojen poistamiseksi sähkön tuotannolta ja siirtymiseksi yleiseen sähköveroon, jonka suuruus ei riipu energialähteen ympäristöystävällisyydestä. Sähkön yleinen kulutusvero olisi 1,8 p/kWh, minkä lisäksi kotitaloudet ja maatalous maksaisivat sähköveron korotuksena 1,2 p/kWh. Muutos heikentäisi metsäenergian kilpailuasemaa sähkön tuotannossa, kun ympäristöystävällisyydestä aikaisemmin koitunut verotusetu menettää merkityksensä.

Saman esityksen mukaan poistettaisiin myös lämmöntuotannon energiaverot ja raskaan polttoöljyn perusvero. Ne korvattaisiin korotetulla hiilidioksidiverolla, joka nousisi 38,30 mk:sta 70 mk:aan hiilidioksiditonnia kohti. Turvetta ei verotettaisi tältä pohjalta, vaan sen vero olisi 4,20 mk/MWh. Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa käytettyjen eri polttoaineitten jakaminen sähkölle ja lämmölle tapahtuisi laitoksen oman ilmoituksen mukaan. Sähkön tuotannossa puupolttoaineet joutuisivat niin ollen kilpailemaan verottoman kivihiilen kanssa.

Ellei puupolttoaineitten ympäristöystävällisyyttä vastaisuudessa enää hyvitetä, mahdollisuudet keventää sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä metsäenergian avulla kärsivät. Jos ympäristökuormituksen kustannusrasitteet tulevaisuudessa kohdistetaan sähkön tuottajan sijasta sähkön kuluttajaan, kehitys kääntyy nurinkuriseksi. Energiaverotuksen painopisteen siirtyessä polttoaineesta sähkön kulutukseen esimerkiksi lauhdesähkön tuotannossa kokonaan hukkaan joutuva 60 %:n energiaosuus vapautuu verosta, kun sen sijaan vastapainesähkön tuotannossa talteenotettava lämpöenergia tulee veronalaiseksi. Verotusjärjestelmä ei tuolloin enää palkitse sähköntuotannossa syntyvän jätelämmön hyödyntämistä kaukolämpönä.

Verotuksen taso ja eri polttoaineitten verotuskohtelu vaihtelevat maittain. Lämmöntuotannon ympäristöperusteiset energiaverot ovat Tanskassa kymmenkertaiset, Ruotsissa seitsenkertaiset ja Norjassakin yli kaksinkertaiset Suomeen verrattuina (Malaska ym. 1996).

Taulukko 10. Ruotsin energiaverot vuoden 1996 päättyessä. Kruunun kurssiksi oletettu SEK=0,70 mk.

	Teollisuus			Muut käyttäjät			
	Hiili- vero	Rikki- vero	Yh- teensä Polttoainevero, mk/MWh	Yleinen vero	Hiili- vero	Rikki- vero	Yh- teensä
Kevyt öljy (<0,1% S)	19	-	19	46	75	-	121
Raskas öljy (0,4% S)	19	5	24	42	69	7	118
Hiili (0,5% S)	21	14	35	26	85	14	125
Maakaasu	13	-	13	14	51	-	65
Turve (0,2% S)	-	11	11	-	-	11	11
Puu	-	-	-	-	-	-	-

Lämmön tuotantoon käytettävien fossiilipolttoaineitten ympäristöperusteinen verotus on Ruotsissa erittäin ankara (taulukko 10). Vero koostuu kolmesta komponentista: yleinen energiavero, hiilidioksidivero ja rikkivero. Kun puu on uusiutuvuutensa ja puhtautensa ansiosta verosta vapaa, sen energiakäyttö lämmityslaitoksissa on kasvanut nopeasti ja se on lisännyt markkinaosuuttaan fossiilipolttoaineitten vaihtoehtona. Investoinnit uusiutuviin raaka-aineisiin perustuvaan lämmöntuotantoon ovat Ruotsissa ilmeisen kannattavia. Järjestelmä ei kuitenkaan suosi sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, joskin lämpöön kohdistuvaa veroa alennetaan yhteistuotannossa. Vuoden 1996 päättyessä vastaavat verot olivat Suomessa käyttötarkoituksesta riippumatta kevyellä polttoöljyllä 18,0 mk/MWh, raskaalla polttoöljyllä 16,4 mk/MWh, hiilellä 16,3 mk/MWh ja turpeella 3,5 mk/MWh.

#### Polttopuun hankinnan suora tuki

Taimikoitten ja nuorten metsien hoitoon myönnetään *pinta-alaperusteista metsänparannustukea*. Sen perimmäisiä tavoitteita ovat teollisuuspuun tuotannon edistäminen parantamalla metsikön metsänhoidollista tilaa sekä koneellisen korjuun mahdollistaminen myöhemmin suoritettavassa ensiharvennuksessa. Tuki on riippumaton puun talteenotosta eikä siis velvoita puun korjuuseen.

Valtion metsänparannusvaroista voidaan maksaa *energiapuun korjuutukea*. Puu tulee käyttää energian tuotantoon, eikä se saa täyttää teollisuuden ainespuun mitta- ja laatuvaatimuksia. Metsikön tulee täyttää ns. nuoren metsän kunnostuskohteelle asetetut vaatimukset, ja puuerän tulee olla vähintään 10 m<sup>3</sup>. Vuonna 1995 korjuutukea myönnettiin runsaat 9 milj. mk, joka kohdistui 370 000 m<sup>3</sup>:iin markkinakelvotonta pienpuuta. Tukea saaneen polttopuun käyttökohteista ei ole tarkkaa tietoa, mutta pääosa lienee jäänyt maatalojen omaan käyttöön ja vähäisempi osa ohjautunut kaupalliseen lämmöntuotantoon. Tuki ei siis riipu käyttö- vaan leimikkokohteesta, eikä sitä myönnetä esimerkiksi uudistushakkuualoilta korjattavalle hakkuutähdehakkeelle. Vuonna 1996 energiapuun korjuutuen suuruus oli 25 mk/m<sup>3</sup> eli noin 12 mk/MWh, ja sitä voidaan muuttaa maa- ja metsätalousministeriön päätöksellä. Kun metsänpa-

rannuslaki muuttuu vuonna 1997 kestävänsä metsätalouden rahoituslaiksi, korjuutukseen tehtäneiden tarkistuksia, ja rahoitusvyöhykkeitten määrä vähenee.

*Työllisyystuen avulla on mahdollista työllistää nuorten metsien hoidossa ammattitaitoista työväkeä. Tuki ei välttämättä riipu siitä, otetaanko nuorista metsistä poistettava pienpuu energiakäyttöön vai jätetäänkö se metsään tähteksi. Mikäli puu otetaan talteen, voidaan maksaa myös korjuutukea samoin perustein kuin metsänparannusvaroista. Energiaverotusta valmistellut hallituksen työryhmä on esittänyt uuden työryhmän asettamista tehtävänä selvittää työllisyystuen käyttömahdollisuuksia energiapuun korjuussa.*

### Energia-alan investointituki

Kauppa- ja teollisuusministeriö myöntää *tukea energia-alan kehittämis- ja investointihankkeisiin*, jotka edistävät energian säästöä, energian käytön tehostamista ja uusiutuvan energian käyttöä, vähentävät energian tuotannon ja käytön ympäristöhaittoja tai muutoin edistävät energiahuollon varmuutta ja monipuolisuutta.

Kehittämishankkeissa tuen enimmäisosuus on 50 %. Uusiutuvan energian tehokkaaseen käyttöön ja tuotantoon liittyvissä samoin kuin energian tuotannon ja käytön ympäristöhaittoja vähentävissä investointihankkeissa tuen enimmäisosuus on 30 %. Muissa uutta ympäristömyönteistä teknologiaa edistävissä hankkeissa tukiosuus voi olla 25 %. EU-jäsenyyden myötä on mahdollista saada rakennerahasto-ohjelmien kautta alueille energiahuollon varmuutta ja monipuolisuutta edistäviin hankkeisiin tukea 25 %.

Hyväksyttäviä kustannuksia ovat tuen tarkoituksen kannalta tarpeellisiksi katsotut hankintamenot, kuten rakennus-, kone- ja laitemenot sekä muutos- ja korjaustöistä aiheutuvat menot. Investointiin liittyville maahankinnoille ja vuokratulle käyttöomaisuudelle voidaan myös myöntää tukea. Mainittuihin tarkoituksiin on vuodelle 1996 varattu kaikille energialähteille yhteinen 60 milj. mk:n määräraha.

### Kansallinen bioenergian tutkimusohjelma

Vuonna 1993 Suomessa käynnistettiin 8 energiateknologian tutkimusohjelmaa. Yksi niistä on bioenergian tutkimusohjelma, joka toteutetaan vuosina 1993-1998. Tutkimusohjelman tavoitteena on lisätä bioenergian käyttöä. Rahoitus on ollut vuosittain noin 50 milj. mk, josta puolet on tullut valtiolta ja puolet yrityksiltä. Valtion rahoitus on maksettu ensisijaisesti kauppa- ja teollisuusministeriön mutta osaksi myös maa- ja metsätalousministeriön kautta.

Ohjelma jakaantuu neljään osaan: puupolttainetuotanto, turvetuotanto, bioenergian käyttö sekä biomassan jalostus. Keskeisessä asemassa on puupolttaineteitten tuotantomenetelmien kehittäminen siten, että alle 100 km:n etäisyydeltä hankitun metsähakkeen kustannus käyttöpaikalle toimitettuna putoaa suurasiakkailta tasolle 45 mk/MWh. Kehitettävällä tekniikalla tulisi olla vähintään 1 milj. toe:n eli 11 TWh:n käyttöpotentiaali vuodessa.

Ohjelma jakaantuu tutkimuslaitoshankkeisiin, yrityshankkeisiin sekä demonstraatiohankkeisiin. Tutkimuslaitoshankkeisiin tarkoitettu valtion rahoitus myönnetään

TEKESin kautta. Vuonna 1993 oli käynnissä 50 ja vuonna 1994 yhteensä 60 hanketta, joista miltei puolet kohdistui puupolttoaineitten tuotantoon. Hankkeitten tuloksia kuvataan muun muassa Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirjassa sekä kolmesti vuodessa ilmestyvässä tiedotuslehdessä. Tutkimusohjelmaa koordinoi Jyväskylän Teknologikeskus Oy.

### Kansainvälinen yhteistyö

IEA (International Energy Agency) edistää kansainvälistä tutkimusyhteistyötä ja tiedon vaihtoa energia-alalla. Yhteistyö on maitten välistä ja tapahtuu neljässä aiheryhmässä: fossiilipolttoaineet, uudistuva energia, loppukäyttö ja ydinenergia. Vuonna 1978 käynnistettiin metsäenergian erityisohjelma, joka vuonna 1986 laajeni bioenergian ohjelmaksi. Sen tärkeimmät yhteistyöaiheet ovat biomassan tuotanto, korjuu, jakelu ja käyttö, biopolttoaineitten jalostus sekä yhteiskuntajätteen käyttö energian tuotantoon. Perinteisen metsäenergian rinnalla ohjelmassa ovat myös lyhytkiertopuun tuotanto ja maatalouden energiakasvit. Tavoitteena on lähinnä tiedon välittäminen eikä varsinaisesti tutkimuksen rahoittaminen. Ohjelma hankkeistetaan kolmivuotisjaksoin. IEA:ssa Suomea edustavat VTT Energia ja Metsäntutkimuslaitos.

Euroopan Unioni käynnisti vuonna 1993 ALTENER-ohjelman, joka tähtää uusiutuvan energian käytön kehittämiseen yhteisön alueella sekä toisaalta kaupallisten tuotteitten, laitteitten ja palvelujen lisäämiseen sekä yhteisön alueella että sen ulkopuolella. Ohjelma kattaa seuraavat energialähteet: biopolttoaineet, geoterminen energia, pienvesivoima, aurinkoenergia ja tuulienergia. Erityistavoitteena on vähentää vuosittaisia hiilidioksidipäästöjä 180 milj. tonnia vuoteen 2005 mennessä. Tähän pyritään edistämällä uudistuvan energian markkinoita ja niiden yhdentymistä EU:n sisäisiin energiemarkkinoihin, koulutuksella, tiedotuksella sekä yhteistyöllä yhteisön ulkopuolisten maitten kanssa. Päästöjen vähentämiseksi tavoitteen edellyttämällä tavalla pyritään uusiutuvan energian osuus yhteisön alueella nostamaan nykyisen 4 %:n tasolta 8 %:iin, uusiutuvaan energiaan perustuva sähkön tuotanto kolminkertaistamaan ja biopolttoaineitten markkinaosuus nostamaan 5 %:iin ajoneuvojen kokonaiskulutuksesta vuoteen 2005 mennessä.

ALTENER-ohjelma kattaa vuodet 1993—1997. Sen kokonaisrahoitus on 40 milj. ECUa. Määrärahalta edistetään koulutus-, neuvonta ja tiedotustoimintaa sekä selvitys- ja pilothankkeita. Sen sijaan perustutkimus ja investointituki eivät sisälly ohjelmaan. Hanke-esitykset toimitetaan yhteisölle kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston kautta.

JOULE-THERMIE-ohjelma on EU:n energiateknologian tutkimusohjelma, joka tähtää taloudellisesti järkevien ja ympäristöystävällisten energiavaihtoehtojen kehittämiseen. Yli puolet varoista käytetään demonstraatiohankkeisiin. Meneillään oleva vuosien 1994—98 ohjelma jakaantuu seuraaviin aiheisiin: energiastategia, energian tarkoituksenmukainen käyttö, uudistuvat energialähteet, fossiiliset polttoaineet ja energiateknologian edistäminen. Demonstraatioprojekteja valmistellaan Suomessa kauppa- ja teollisuusministeriössä.

# 10 Puuenergia ry — Träenergi rf

Vaikka puun energiakäytön kansan- ja ympäristötaloudelliset edut tunnetaan ja tunnustetaan, puun näkökulma pyrkii energiapoliittisia päätöksiä tehtäessä yhä edelleen jäämään taka-alalle. Esimerkiksi turpeella, öljyllä ja ydinenergialla on päätöksiä valmisteltaessa aina tukenaan järjestäytynyt puolestapuhuja, mutta puulta tämä tuki on puuttunut. Tästä syystä useat metsäalan keskeiset järjestöt tekivät vuonna 1994 päätöksen puuenergian asiaa ajavan aattellisen yhdistyksen perustamisesta.

*Puuenergia ry - Träenergi rf* perustettiin 19.8.1994 ja hyväksyttiin yhdistysrekisteriin 30.5.1995. Jäseninä on yrityksiä, yhteisöjä ja yksityisiä henkilöitä. Perustajajäseniä ovat Biowatti Oy, Koneyrittäjien Liitto ry, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry, Metsähallitus, Metsäkeskus Tapio, Metsäteollisuus ry, Pellervo-Seura ry ja Skogscentralen Skogskultur. Metsäkeskus Tapio ja Skogscentralen Skogskultur yhdistyivät vuonna 1996 Metsätalouden kehittämiskeskus Tapioksi. Vuoden 1995 päättyessä yritys- ja yhteisöjäseniä oli kaikkiaan 27 ja henkilöjäseniä 100.

Yhdistyksen ohjenuorana on metsiemme tuottaman puubiomassan tarkka hyväksikäyttö. Jos nyt metsään jäävälle puulle tai teollisuuden jätetuulle ei ole kannattavampaa raaka-ainekäyttöä, se on mielekästä hyödyntää energian tuotannossa. Biomassaa talteen otettaessa on kuitenkin noudatettava metsien kestävän käytön periaatteita, eikä monimuotoisuutta tule vaarantaa.

Puuenergiayhdistyksen tavoitteena on saattaa eri intressiryhmät yhteen keskustelemaan energiapuun tuotannon ja käytön ongelmista ja alan yleisestä edistämisestä. Yhdistys pyrkii ottamaan tasapuolisesti huomioon kaikki puuenergian tuottaja- ja käyttäjäryhmät ja niiden tarpeet ja valvoo alan liikkeenharjoittamiseen liittyviä yleisiä ja yhteisiä etuja. Tavoitteensa toteuttamiseksi yhdistys seuraa ja ennakoii kehitystä ja keskustelee alan viranomaisten ja järjestöjen kanssa puuenergian kannalta positiivisten ratkaisujen löytämiseksi.

Yhdistys toimii kontaktina puuenergiayrittäjien ja valtiovallan välillä tavoitteena uudistuvan puuenergian käytön edistäminen. Keskeisinä valtionhallinnon päätöksentekijöinä nähdään tällöin kauppa- ja teollisuusministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, valtiovarainministeriö, ympäristöministeriö sekä työvoimaministeriö.

Yhdistys ylläpitää yhteyksiä viranomaisiin ja alan järjestöihin, avustaa ja neuvoo jäsenkuntaansa puuenergiaan liittyvissä asioissa, järjestää tiedotus- ja koulutustilaisuuksia sekä edistää puuenergiaa koskevaa tutkimusta ja tutkimustulosten levittämistä käytäntöön. Syksyllä 1996 ilmestyy ensimmäisen kerran yhdistyksen julkaisema aikakauslehti Puuenergia, joka jaetaan 5000 kappaleen painoksena valituille kohderyhmille toistaiseksi maksutta.

Käsillä oleva, yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa laadittu katsaus metsäenergian nykykäytöstä ja tulevaisuuden mahdollisuuksista liittyy Puuenergia ry:n tavoitteeseen tuottaa, koota ja välittää alan viimeisintä tietoa jäsenkunnalleen, päätöksentekijöille ja muille intressiryhmille.

# Kirjallisuutta

- Asikainen, A. 1995. Discrete-event system simulation of mechanized wood-harvesting systems. University of Joensuu, Faculty of Forestry, Research Notes 38. 86 s.
- Askåterföringssystem. Tekniker och möjligheter. 1994. NUTEK. R: 3. 44 s.
- Biaudet, E., Filatov, T., Hassi, S., Pietikäinen, S., Tiusanen, P. & Vanhanen, M. 1996. Energiapolitiikka irti kannusteloukusta. Kestävän kehityksen energiavisio. 9 s.
- Bioenergian käyttökkenaariot vuosille 2000-2025. 1993. VTT, poltto- ja lämpötekniikan laboratorio. Jyväskylä. 42 s.
- Bramryd, T. 1985. Torv- och vedaska som gödselmedel. Effekter på produktion, näringsbalans och tungmetallupptag. Naturvårdsverket. Miljökonsekvenser 30. 83 s.
- Brunberg, B. 1994. Bioenergia-ohjelman "Puupolttoaineiden tuotantotekniikan" seurantaryhmän kokous Jyväskylässä 19.1.1994. Esitelmä.
- Danielsson, B-O. & Hektor, B. 1992. Biobränslens sysselsättningseffekter. Sveriges Lantbruksuniversitet. SIMS. Uppsatser 45. 31 s.
- Elovirta, P. 1995. Metsäsektorin työmarkkinoiden rakennemuutos. Julkaisussa: Palo, M. & Elovirta, P. (Toim.) Työtä metsästä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 562: 47-53.
- Energia ja päästöt. 1996. Tilastokeskus. Ympäristö 1996: 2. 135 s.
- Energiakatsaus 1/1996. 1996. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Energiatuotannon kokonaispäästöt Suomessa. 1988. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja D:162. 50 s.
- Ericson, S.-O. 1995. Fördomar om skogsbränslen kom på skam. Kretsloppsperspektiv. Metodikseminariet "Energi och kretslopp": 14—15. Stockholm.
- Flyktman, M. 1996. Biopolttoaineiden kilpailukyky kiinteistöjen lämmityksessä. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 12. 100 s.
- Förädlade trädbränslen 1995. 1995. NUTEK. R:28. 64 s.
- Hakkila, P. 1984. Metsähakkeen hankinta lämpölaitosten polttoaineeksi. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti 33. SITRA. 121 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.
- Hakkila, P. (toim.). 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Hakkila, P. 1995. Puun energiakäyttö ja työllisyys. Julkaisussa: Palo, M. & Elovirta, P. (Toim.) Työtä metsästä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 562: 55—63.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Folia Forestalia 552. 37 s.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. 1993. Ketjukarsinta ensiharvennusmännikön korjuuratkaisuna. Folia Forestalia 803. 31 s.
- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuituja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 99 s.
- Hartikainen, T. 1996. Massahake-demonstraatiolaitoksen seuranta. Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 205—211.

- Hektor, B., Lönner, G. & Parikka, M. 1995. Trädbränslepotential I Sverige på 2000-talet. Ett uppdrag för Energikommissionen. Sveriges Lantbruksuniversitet. SIMS Serien Utredningar 17. 44 s.
- Hiidilioksiditoimikunta II:n mietintö. 1994. Komiteamietintö 2. 145 s.
- Hillring, B. 1996. Price trends for wood fuels in Sweden. European Bioenergy Conference, Copenhagen. 5 s.
- Hooli, A., Kuitto, P.-J. & Ranta, T. 1996. Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa ja integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 167—178.
- Jaakkola, S. 1994. Optimismi leviää konetyöaloille. Koneyrittäjä 8: 12—13.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E., Tveite, B. & Möller, G. 1996. Growth response of coniferous stands to whole-tree harvesting in early thinnings. Scandinavian Journal of Forest Research 11:50—59.
- Jääskeläinen, M. 1995. Syöttölaitteelliset pilkontakoneet polttopuun valmistuksessa. Työtehoseuran metsätiedote 4. 4 s.
- Kahala, M. 1984. Osapuunakorjuu eteläsuomalaisissa harvennusestusolosuhteissa. Metsätehon katsaus 386. 19 s.
- Kaivola, A. 1993. Suomen eteläpuoliskon taimikoiden ominaisuudet ja taimikonhoidon koneellistamismahdollisuudet. Työtehoseuran monisteita 9(27). 53 s.
- Kalaja, H. 1978. Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakkurilla. Folia Forestalia 374. 27 s.
- Kara, M. 1996. Politikointi vienyt risunkeräyslinjalle. Haastattelu Kauppalehdessä 14.3.1996.
- Kollmann, F. 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe I. Springer. Berlin. 1050 s.
- Kosunen, P. & Leino, P. 1995. Biopolttoaineiden kilpailukyky sähkön ja lämmön tuotannossa. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 99. 152 s.
- Kubin, E. 1977. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in northern Finland (64°28'N). Acta Forestalia Fennica 155. 40 s.
- Kuitto, P.-J. & Rieppo, K. 1993. Peterson Pacific DDC 500 ketju-karsinta-kuorinta-haketusyksikkö ensiharvennuspuiden hankinnassa. Metsätehon katsaus 3. 8 s.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1993. Hakkuutähteiden merkitys harvennusestusoiden kasvulle. Konekirjoite. 10 s.
- Kulmala, A. 1966. Energiantuotanto ja ilmastonmuutos. Moniste. 8 s.
- Lauhanen, R. 1996. Rakeistetun tuhkan ongelmat ja mahdollisuudet metsätaloudessa - kirjallisuustarkastelu. METLA, Kannuksen tutkimusasema. Moniste. 18 s.
- Leikola, M. 1974. Hakkuutähteiden vaikutus taimien syntyyn ja alkukehitykseen. Julkaisussa: Hakila, P. (toim.). Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset. Folia Forestalia 210: 7—10.
- Leinonen, A. 1996. Puutuhkan käyttö metsien lannoitteena ja sen ympäristövaikutukset. Kirjallisuusselvitys. Keski-Suomen Ympäristökeskuksen julkaisu 10. 36 s.
- Lilleberg, R. 1995. Joukkokäsittelyharvesterin kehittäminen. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotanto: 85—91.
- Lilleberg, R. 1996. Pienpuun keräilykaatoon perustuvan harvennuskoneen kehittäminen.

- Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 125—133.
- Luonnonläheinen metsänhoito. Metsänhoitosuosituksset. 1994. Metsäkeskus Tapio. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6. 71 s.
- Lönner, G. 1995. Trävarubaserad industri i Sverige - ett framtidskenario. Mitthögskolans rapportserie 1995: 10. 50 s.
- Malaska, P., Luukkanen, J., Vehmas, J. & Kaivo-oja, J. 1996. Ympäristöperusteinen energiaverotus. Pohjoismaisia vertailuja ja suomalaisen keskustelun arviointia. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 39. 92 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1995. 1995. Metsäntutkimuslaitos. 354 s.
- Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J. 1995. Energiapuu osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.
- Mutikainen, A. 1994. Polttopuun pilkontalaitteet vuonna 1994. Työtehoseuran metsätiedote 6. 6 s.
- Mäenpää, I. & Männistö, J. 1995. Bioenergian yhteiskuntataloudelliset vaikutukset. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 111. 106 s.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 84.5. 87 s.
- Mälkönen, E. 1996. Tuhka kangasmetsien lannoitteena. Julkaisussa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 599: 21—26.
- Naturvårdsverket. 1983. Miljöeffekter av ved- och torvförbränning. *Meddelande snv pm* 1708. 232 s.
- Nousiainen, I. & Vesisenaho, T. 1996. Polttoaineen tuottaminen kokopuujuontomennelmällä. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 213—226.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. *AFF* 236. 30 s.
- Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. *Folia Forestalia* 2: 113—121.
- Nykvist, N. & Rosén, K. 1984. Effect of clear-felling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. *Forest Ecology and Management* 11: 157—169.
- Palo, M. & Elovirta, P. 1995. Lisää työtä metsästä, unelma vai mahdollisuus. Julkaisussa: Palo, M. & Elovirta, P. (Toim.) Työtä metsästä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 562: 5—9.
- Peltola, A. & Tuomi, S. 1996. Polttopuun käyttö pientaloissa. Työtehoseuran Metsätiedote 1. 4 s.
- Prisblad för biobränslen, torv mm. 1996. NUTEK 1. 2 s.
- Puun energiakäyttö. 1993. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Työryhmän mietintö. Mietintöjä C:33. 113 s.
- Puuvaraselvitys 1976. 1976. Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto. Moniste. 104 s. Ei julkinen.
- Raivio, J. 1996. Suomen hiilidioksidipäästöt kasvoivat toiseksi eniten EU:ssa. *Helsingin Sanomat* 25.4.1996, s. A5.
- Rieppo, K., Hakkila, P. & Aho, V.-J. 1996. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu

- tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma: Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 145—161.
- Rieppo, K., Poikela, A., Hakkila, P. & Aho, V.-J. 1995. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketju-karsinta-kuorintatekniikalla. Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1994, osa I. Puupolttoaineiden tuotanto: 189—205.
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash - a consequence of modern harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 21—29.
- Ryynänen, S. 1993. Polttopuulla lisäansioita metsänomistajille. Työtehoseuran metsätiedote 11. 4 s.
- Saari, E. 1934. Puun käyttö Suomessa. Metsätieteellisen Tutkimuslaitoksen Julkaisuja 14.1. 334 s.
- Saksa, T. & Auvinen, P. 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 265—274.
- Salakari, M. & Peltola, A. 1995. Pientalojen polttopuun käyttö lämmityskaudella 1992/1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 566. 36 s.
- Silfverberg, K. 1996. Tuhkalannoitteen laatuvaatimukset. Julkaisussa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 599: 9—13.
- Sipilä, K. 1991. Kasvihuoneilmion torjunta keskeisimpiä haasteita. *Energia* 5:14—18.
- Solmio, H., Tuomi, S. & Valkonen, J. 1995. Opas lämpöyrittäjille. Työtehoseuran julkaisuja 346. 47 s.
- StAAF, H. & Olsson, B. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 305—310.
- Stén, K. 1995. Hakeharvesterin kehitys. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma: Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotanto: 93—102.
- Takalo, S. 1996. Tuhka ja puhdistamoliete rakeiksi. Julkaisussa: Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 599: 35—37.
- Toropainen, M. 1984. Aluelämpölaitosten polttoainevalintojen kannattavuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 162. 117 s.
- Verkasalo, E. 1992. Forest industry as a producer and consumer of wood-based energy in Finland. *Silva Fennica* 26(2): 123—131.
- Vesterlin, V. 1996. Energiapuutarat ja niiden hyödyntämisedellytykset. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma, Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. s. 75—83.
- Wihersaari, M. 1996. Biopolttoaineet ja ympäristö. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 17. 164 s.

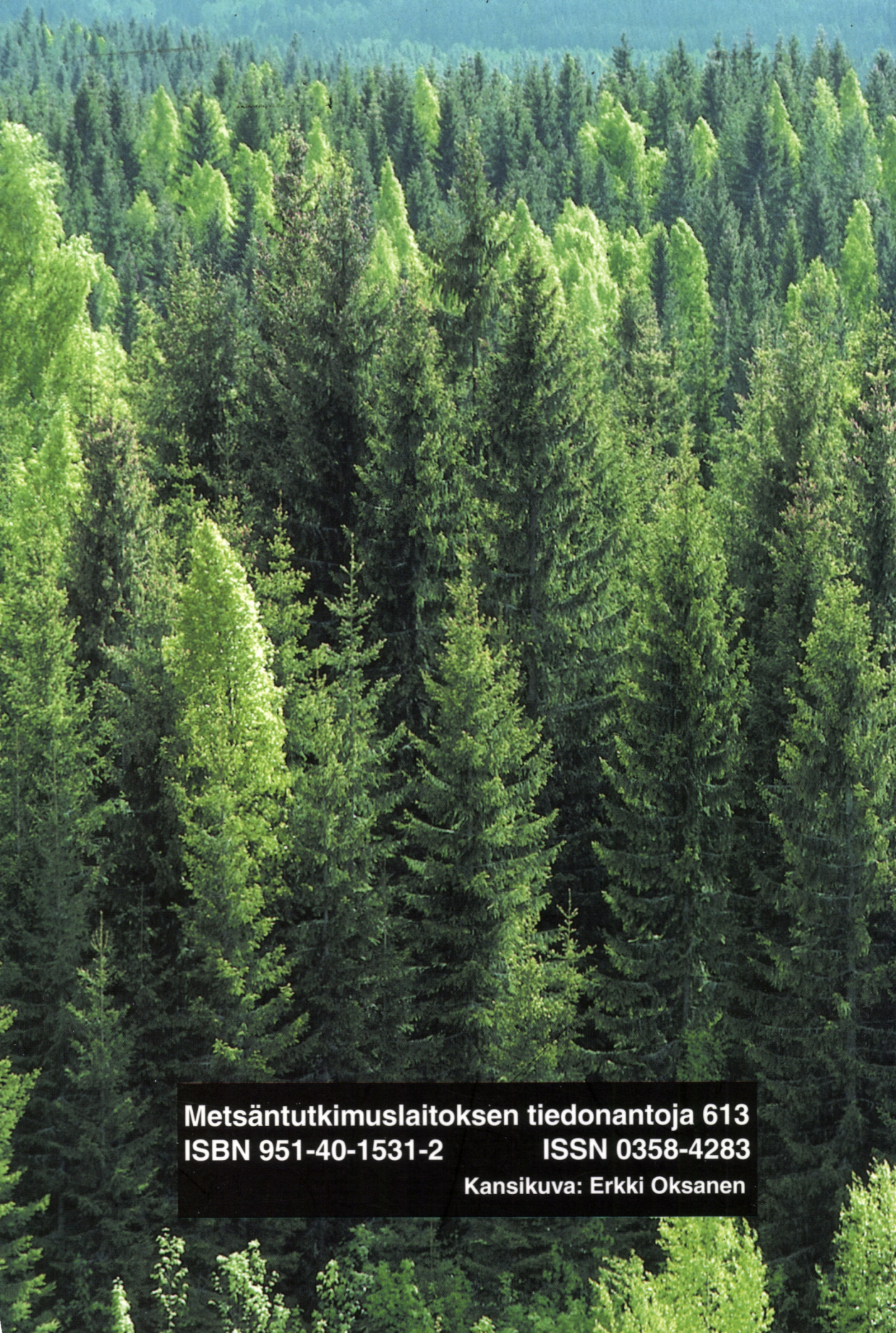
Gummerus Kirjapaino Oy  
Jyväskylä 1996











**Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613**  
**ISBN 951-40-1531-2**      **ISSN 0358-4283**

**Kansikuva: Erkki Oksanen**