

# **Etelä-Suomen energiapuuvarat**

Juha Malinen  
Mauno Pesonen



# **Etelä-Suomen energiapuuvarat**

Juha Malinen & Mauno Pesonen



METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 610  
METSÄNTUTKIMUSLAITOS — HELSINGIN TUTKIMUSKESKUS  
VANTAA 1996

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto

Malinen J. ja Pesonen M. 1996. Etelä-Suomen energiapuuvarat. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 610. 33 s. ISBN 951-40-1528-2. ISSN 0358-4283.

Tutkimuksessa selvitetään Etelä-Suomen energiapuuvarojen kehitystä seuraavan 40 vuoden aikana neljän hakkuuskenaarion pohjalta. Energiapuukertymien kehitystä tarkastellaan 45 ja 55 mk/MWh:n tuotantokustannustasoilla energiapuupotentiaalia, kestäviä hakkuumahdollisuuksia, metsänomistajien pitkän aikavälin hakkuuai-  
komuksia ja lamavuosien teollisuuden ainespuun hakkuita kuvaavissa skenaarioissa. Näiden lisäksi selvitetään karujen kankaiden ja soiden energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutus kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymiin.

Etelä-Suomen energiapuupotentiaaliksi arvioitiin 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla 3,6 milj. m<sup>3</sup>/a. Kestävien hakkuumahdollisuuksien mukainen energiapuukertymä oli 70 % energiapuupotentiaalista. Energiapuupotentiaali kohosi 8,8 milj. m<sup>3</sup>/a tuotantokustannustason noustessa 55 mk/MWh:aan, jolloin kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymä oli 51 % energiapuupotentiaalista. Metsänomistajien hakkuuaikomusten ja lamavuosien hakkuiden mukaiset energiapuukertymät olivat kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymää pienemmät, mikä johtui vähäisemmistä hakkuista.

Energiapuun korjuun rajoittaminen karuilta kankailta ja soilta pienentäisi laskelmien mukaan kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymää 22 %. Tämä merkitsisi korjuumahdollisuuksien pienenemistä miljoonalla kuutiometrillä vuodessa.

Koko Suomen kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymä oli 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla 5,8 milj. m<sup>3</sup>/a. Tämä vastaa Bioenergian tutkimusohjelman 1 Mtoe:n (ekvivalentti öljytonni) käyttöpotentiaalille 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla asettamaa tavoitetta.

Lähes kaikki energiapuu kertyi kuusivaltaisten päätehakkuukohteiden hakkuutähteistä. Ensiharvennusemetsäkohteiden korjuu teollisuuden ainespuun ja energiapuun integroidulla menetelmällä tai erilliskorjuuna eivät olleet kilpailukykyisiä perinteisen tavaralajikorjuun kanssa.

Avainsanat: energiapuu, energiapuuvarat, energiapuun korjuu, hakkuuskenario

Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Metsänhoitajankuja 6, 01301 Vantaa. Puhelin (09) 857 051. Telefax (09) 857 05 809.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 18.9.1996.

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki, puhelin (09) 857 05 721, telefax (09) 857 05 717.

# Sisällys

---

TIIVISTELMÄ .....	2
ESIPUHE .....	4
1 JOHDANTO .....	5
2 TUTKIMUSAINEISTO JA LASKENTAMENETELMÄ .....	9
2.1 Tutkimusaineisto .....	9
2.2 Laskentamenetelmä .....	9
2.3 Hakkuuskenaariot .....	14
3 ENERGIAPUUKERTYMÄT ERI HAKKUUSKENAARIOISSA .....	17
3.1 Energiapuukertymät 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla .....	17
3.2 Energiapuukertymät 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla .....	18
4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	21
4.1 Hakkuuskenaariot ja energiapuukertymät .....	21
4.2 Aineiston ja laskentamenetelmän luotettavuus .....	26
4.3 Johtopäätökset .....	28
KIRJALLISUUS .....	30
LIITE .....	33

# Esipuhe

---

Maamme hallituksen tekemän periaatepäätöksen mukaan bioenergian käyttöä tulisi lisätä vähintään neljänneksellä vuoteen 2005 mennessä. Biopolttoaineilla tuotettua energiaa tulisi tavoitteen mukaan kasvattaa noin 1,5 miljoonaa öljytonnia vastaavan energiamäärän verran. Tavoitteen saavuttamiseksi ja puuenergian kilpailukyvyyn parantamiseksi bioenergiaan liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä on lisätty.

Kuinka suuret energiapuuvarat ovat koko Suomessa ja varsinkin Etelä-Suomessa? Kuinka paljon energiapuuta olisi mahdollista saada markkinoille hiljaisina ja vilkkaina puukauppavuosina? Mitkä ovat kannattavimmat energiapuun korjuuketjut eri hakkuuskenaarioissa? Mitä ekologiset korjuurajoitteet vaikuttavat energiapuu-kertymiin?

Näihin kysymyksiin Metsäntutkimuslaitos pyrki vastaamaan kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittamassa tutkimuksessa. Tutkimus on osa Metsäntutkimuslaitoksen Puuvarojen käyttömahdollisuuksien tutkimusohjelman Puuvarojen käyttö ja potentiaaliset hakkuumahdollisuudet (PUUMA) -projektia.

Tutkimuksen ovat toteuttaneet MMM Juha Malinen ja MMM Mauno Pesonen. Erietyiset kiitokset ansaitsevat ylijohtaja Taisto Turunen ja ylitarkastaja Aimo Aalto KTM:n energiaosastolta, joiden myönteinen suhtautuminen mahdollisti tutkimuksen toteuttamisen. Kiitämme myös MMM Ari Keskimölää Metsätalouden kehittämisskeskus Tapiosta, MMM Antti Korpilahtea Metsäteho Oy:stä, MMM Tero Vesisenahoa VTT Energiasta sekä MMM Hannu Hirvelää, MMM Harri Hännistä, MMM Mikko Kurttilaa ja KTM Thomas Rimmliä Metsäntutkimuslaitoksesta, jotka antoivat arvokkaita kommentteja käsikirjoituksen viimeistelyvaiheessa.

Vantaalla perjantaina 13. syyskuuta 1996

Mauno Pesonen  
vastuututkija  
Metsäntutkimuslaitos

# 1 Johdanto

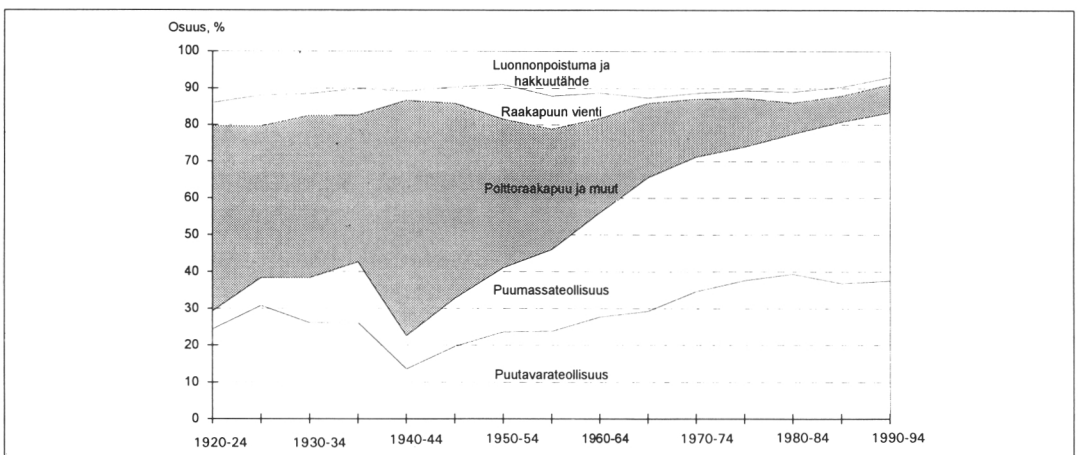
## *Puun energiakäyttö on vähentynyt*

Kotimaisesta raakapuusta käytettiin vielä 1950-luvun alussa suuri osa kiinteistöjen polttopuuna ja muussa ei-teollisessa käytössä (kuva 1) (Metsätilastollinen vuosikirja 1995). Teollisuuden osuus puunkäytöstä on kuitenkin kasvanut koko sotien jälkeisen ajan ja vuosina 1990-94 teollisuuden puunkäytön osuus koko hakkuupoistumasta oli 84 %. Kiinteistöjen polttopuun ja muun ei-teollisen käytön osuus oli tuolloin enää 8 %. Energiantuotannossa puuta käytetään nykyisin teollisuudessa, alue- ja kaukolämpölaitoksissa sekä kiinteistöissä lähinnä lämmön, mutta vähäisessä määrin myös sähkön tuotannossa yhdistetyissä lämpö- ja sähkövoimaloissa.

Energian kokonaiskulutus on lisääntynyt 1970-luvun alusta 65 %, mutta puulla tuotetun energian osuus on

kuitenkin vähentynyt (kuva 2). Puuperäisen energian osuus on ollut noin 15 % aina 1980-luvun alusta saakka (Energiakatsaus 2/1996). Pääosa puuperäisestä energiasta on lähtöisin metsäteollisuudesta, sillä huomattava osa metsäteollisuuden jätetuusta (kuori, puru, ligniinipitoinen jäteliemi) hyödynnetään energiantuotannossa. Peräti 40 % teollisuuden käyttämästä kuorellisesta raakapuusta päätyy lopulta polttoaineeksi (Hakkila 1992). Polttopuun merkitys pientalojen energialähteenä on edelleen huomattava. Vuonna 1994 raakapuuta käytettiin kiinteistöissä polttopuuna 4,6 milj. m<sup>3</sup> ja sen lisäksi jätetuuta 1,0 milj. m<sup>3</sup>, jotka yhdessä vastaavat Loviisan ydinvoimalan tuottamaa vuotuista energiamäärää (Salakari & Peltola 1995).

Kiinnostus puun energiakäyttöön on vaihdellut. Pienpuualan toimikunta pyrki jo 1950- ja 1960-luvuilla



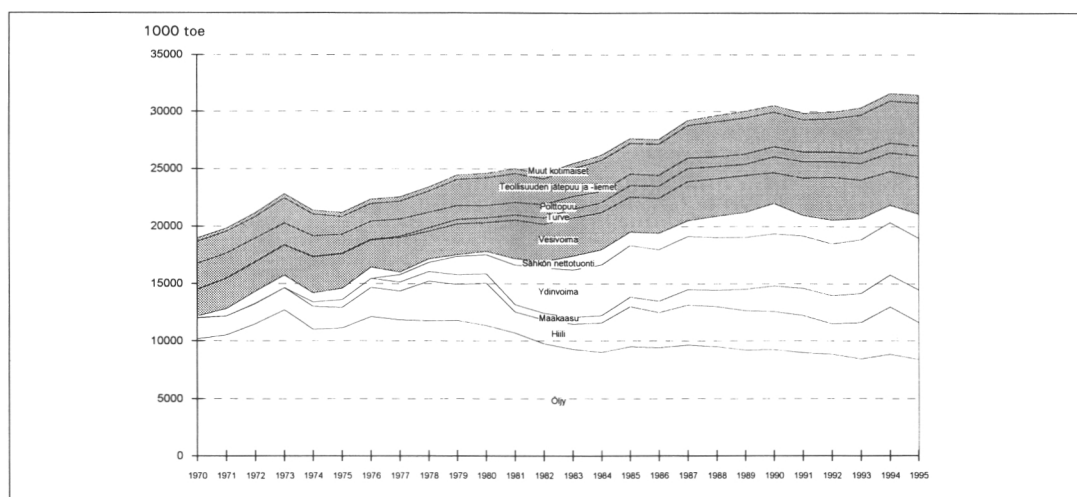
**Kuva 1** Kotimaisen raakapuun käyttö 5-vuotiskausittain vuosina 1920—94 (Metsätilastollinen vuosikirja 1995)

edistämään pienpuun polttokäyttöä. Kun metsäteollisuuden puuntarve näytti ylittävän hakkuumahdollisuudet 1970-luvun alussa, metsäteollisuuden kiinnostus pienpuuhun ja hakkuutähteeseen raaka-ainelähteenä lisääntyi. Tuolloin päähuolena oli metsäteollisuuden raaka-ainetarpeesta huolehtiminen energiakäytön ollessa takalalla. Nuorten metsien ensiharvennusten ja vajaatuottoisten metsien uudistamisen kustannusten noustessa 1970-luvun loppupuolella pienikokoisen puun korjuun ongelmia pyrittiin ratkaisemaan SITRAn ja Suomen Akatemian tutkimushankkeessa korjuu- ja käyttötekniikkaa kehittämällä. Samoihin aikoihin Metsätutkimuslaitoksen käynnistämässä PERA-projektissa pyrittiin öljyn hinnan nousun havahduttamana selvittämään mahdollisuuksia kotimaisen puuenergian tuottamisen ja käytön lisäämiseksi. Tämän jälkeen energiapuututkimus oli vähäisempää, kunnes vuonna 1993 KTM:n käynnistämässä Bioenergian tutkimus-

ohjelmassa on kotimaisen energian tuotantoa ja käyttöä pyritty jälleen edistämään tutkimus- ja kehitystyön avulla.

Puun laajamittaisen energiakäytön ongelmana on ollut puulla tuotetun energian korkea hinta. Toisaalta metsäteollisuuden puustamaksukyky on ollut energiatuotannon puustamaksukykyä huomattavasti parempi, mikä on ohjannut puuta teollisuuden raaka-aineeksi. Energiantuotannossa voidaan nykyisellä kustannus- ja hintatasolla hyödyntää lähinnä teollisuudelle kelpaamatonta puuraaka-ainetta kuten hakkuutähteitä.

Tietoa energiapuuvaroista tarvitaan päätöksenteon tueksi. Hallituksen joulukuussa 1995 tekemän periaatepäätöksen mukaan bioenergian käyttöä tulisi lisätä vähintään neljänneksellä vuoteen 2005 mennessä. Biopolttoaineilla tuotettua energiaa tulisi tavoitteen mukaan kasvattaa noin 1,5 miljoonaa öljytonnia vastaavan energiamäärän verran (Asplund ja Helynen 1995). Tavoitteen saavuttamiseksi ja puuenergian kilpailu-



**Kuva 2** Energian kokonaiskulutus energialähteittäin, 1000 toe (ekvivalentti öljytonni = 11,28 MWh) (Energiatilastot 1995).



kyvyn parantamiseksi bioenergiaan liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä on lisätty. Kehitystyötä on suunnattu mm. uusien energiapuun korjuumenetelmien kehittämiseen.

Koska energiapuun käyttöä aiotaan lisätä nykyisestä huomattavasti, maamme energiapuuvaroista tarvitaan sekä valtakunnallista että alueellista tietoa mm. puun energiakäytön strategiseen suunnitteluun, energialaitosinvestointien suunnitteluun ja korjuun operatiiviseen suunnitteluun. Energiapuuvarojen arviointimenetelmien kehittämiseen ei ole aiemmin katsottu olleen tarvetta, koska puuta on ajateltu olevan riittävästi metsäteollisuuden käytön ohella myös energiakäyttöön. Viime aikoina on kuitenkin esitetty muutamia energiapuuvarojen arviointimenetelmiä.

### *Energiapuuvarojen arviointimenetelmät*

Suomen energiapuuvaroja on arvioitu useiden eri komiteoiden toimeksiantosta 1980-luvun taitteessa (Polttopuukomitean mietintö, Energiapolitiikan neuvoston mietintö, Energiametsätöimikunnan mietinnöt I ja II). Mietinöissä esitetyt arviot ovat yleensä perustuneet valtakunnan metsien inventointitietoihin (VMI). Samoihin aikoihin on kehitetty ilmakuvatulkintaan ja maastoarviontiin perustuva menetelmä energiapuuvesiintymien paikallistamiseen ja energiapuun keskikuutiomäärän arvioimiseen (Tiihonen ja Virtanen 1982, 1983).

Energiapuuvaroja on arvioitu yksinkertaisilla pinta-alatietoihin ja keskimääräisiin energiapuukertymiin perustuvilla laskelmilla (esim. Ebeling 1994). Korjattavissa olevaa hakkuutähteen määrää on arvioitu selvittämällä vuosittain hakkuukoneella korjattavien kuusivaltaisten päätehakkuuleimikoiden pinta-ala, jonka jälkeen energiapuukertymä on johdettu keskimääräisten hakkuutähderytmiä ja korjuuseen soveltuvien kohteiden osuuksien arvioiden avulla.

Pohjois-Suomen energiapuuvaroja selvitetessä on sovellettu yksityismetsänomistajien metsätaloussuunnitelmien alueellisiin yhdistelmiin sekä valtion ja metsäyhtiöiden hakkuu- ja hoitosuunnitelmiin perustuvaa energiapuuvarojen arviointimenetelmää (Leiviskä ym. 1993). Potentiaaliset ja teknis-taloudelliset energiapuuvarat on selvitetty eri metsänomistajaryhmien hakkuusuunnitteisiin perustuen.

Mattila ja Keskimölo (1994) ovat esittäneet energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointimenetelmän, joka perustuu valtakunnan metsien inventointiaineiston (VMI) koealojen hakkuu- ja hoitoehdotuksiin. Laskelmassa metsämaa on jaettu ositteisiin puuston kehitysluokan, käsittelytarpeen ja metsänhoidollisen laadun mukaan. Ehdotettuja metsänkäsittelytoimenpiteitä toteutetaan kussakin ositteessa arvioidujen toteutumisosuuksien verran ja energiapuukertymä arvioidaan käsitteilyhetken päivitettyjen puustotietojen avulla. Energiapuukertymäarviota tehtäessä osa laskennallisesta energiapuupotentiaalista arviointiin jäävän korjuun ulkopuolelle ja osassa kohteita korkeat

korjuukustannukset rajoittivat korjuuta. Metsäkeskus TAPIOssa (nykyisin Metsätalouden kehittämiskeskus TAPIO) on kehitetty metsäsuunnitelmien kuviotietoja ja paikkatietoa hyödyntävä energiapuuvarojen laskentamenetelmä, jonka vahvuus on paikkaan sidotun tiedon käyttö (Pasanen ym. 1996). Energiapuun lähi- ja kaukokuljetuskustannukset voidaan ottaa huomioon energiapuun korjuun kannattavuuden arvioinnissa, joka määritetään korjuukustannusten ja energiapuusta käyttöpaikalla maksettavan hinnan perusteella. Menetelmän ongelmana on energiapuukertymätietojen ennustamisen vaikeus metsäsuunnitelman kuviotiedoista. Laskelmat tehdään yleensä metsäsuunnitelmien 10 vuoden suunnittelujakson ajalle ja menetelmä soveltuu siksi esim. lämpölaitoksen energiapuun hankinta-aluetta koskeviin suunnittelulaskelmiin. Suurempien alueiden energiapuuvara-arviot saadaan yleistämällä tuloksia laajemmalle alueelle.

Metsäntutkimuslaitoksen MELA-ohjelmistosta (Kilkki ja Siitonen 1976, Siitonen 1983, 1993, 1995, Kilkki 1987) on kehitetty energiapuuvarojen arviointiin soveltuva laskentamenetel-

mä (Mielikäinen ym. 1995). Metsien ja energiapuuvarojen kehitystä voidaan tarkastella ohjelmiston avulla pitkälle tulevaisuuteen. Menetelmä soveltuu sekä laajojen alueiden pitkän aikavälin laskelmiin että metsikkökohtaisiin ja lyhemmän aikavälin laskelmiin. Laskentamenetelmää on käytetty mm. Keski-Pohjanmaan energiapuuvaroja ja metsien kehitystä käsitelleessä tutkimuksessa (Mielikäinen ym. 1995), jonka pohjalta energiapuuvaraselvitys laajennettiin koskemaan Etelä-Suomea. Etelä-Suomea koskevan tutkimuksen tulokset esitetään tässä raportissa.

#### *Tutkimuksen tavoite*

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää

- 1 Etelä-Suomen energiapuukertymät neljässä hakkuuskenaariossa,
- 2 energiapuun hinnan vaikutus energiapuukertymiin ja
- 3 korjuurajoitteiden vaikutus energiapuukertymiin.

# 2 Tutkimusaineisto ja laskentamenetelmä

## 2.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistona olivat Etelä-Suomen valtakunnan metsien 8. inventoinnin koealoista muodostetut metsälautakunnittaiset laskenta-aineistot. Valtakunnan metsien 8. inventointi tehtiin Etelä-Suomessa vuosina 1986—92 (kuvat 3 ja 4, taulukko 1). Energiapuun korjuuseen soveltuvien metsien määrää voidaan arvioida metsälautakunnan puuston ikäluokka- ja puulajijakauman perusteella. Tulokset laskettiin kullekin metsälautakunnalle neljälle kymmenvuotiskaudelle. Laskenta-aineistoja ei päivitetty laskennallisesti nykyhetkeen, mikä on otettava huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

Metsälautakunnista tuli 1.3.1996 lähtien alueellisia metsäkeskuksia ja metsäkeskusten aluejako muuttui metsälautakuntajaosta organisaatiomuutoksen myötä. Tämän tutkimuksen

tulokset esitetään vanhan metsälautakuntajaon mukaisesti.

Valtakunnan metsien inventointiaineiston kertakoealat on ryhmitelty kasvupaikka-, puusto- ja toimenpite-tietojen perusteella mahdollisimman yhtenäisiin luokkiin. Ryhmittelyn tuloksena syntyneitä metsiköitä kuvaavia luokkia kutsutaan laskentayksiköiksi ja ne voivat siten koostua yhdestä tai useammasta koealasta. Yksi laskentayksikkö edustaa tiettyä osaa laskenta-alueen koko pinta-alasta. Etelä-Suomen aineistossa laskentayksiköitä oli yhteensä 6 582 kappaletta.

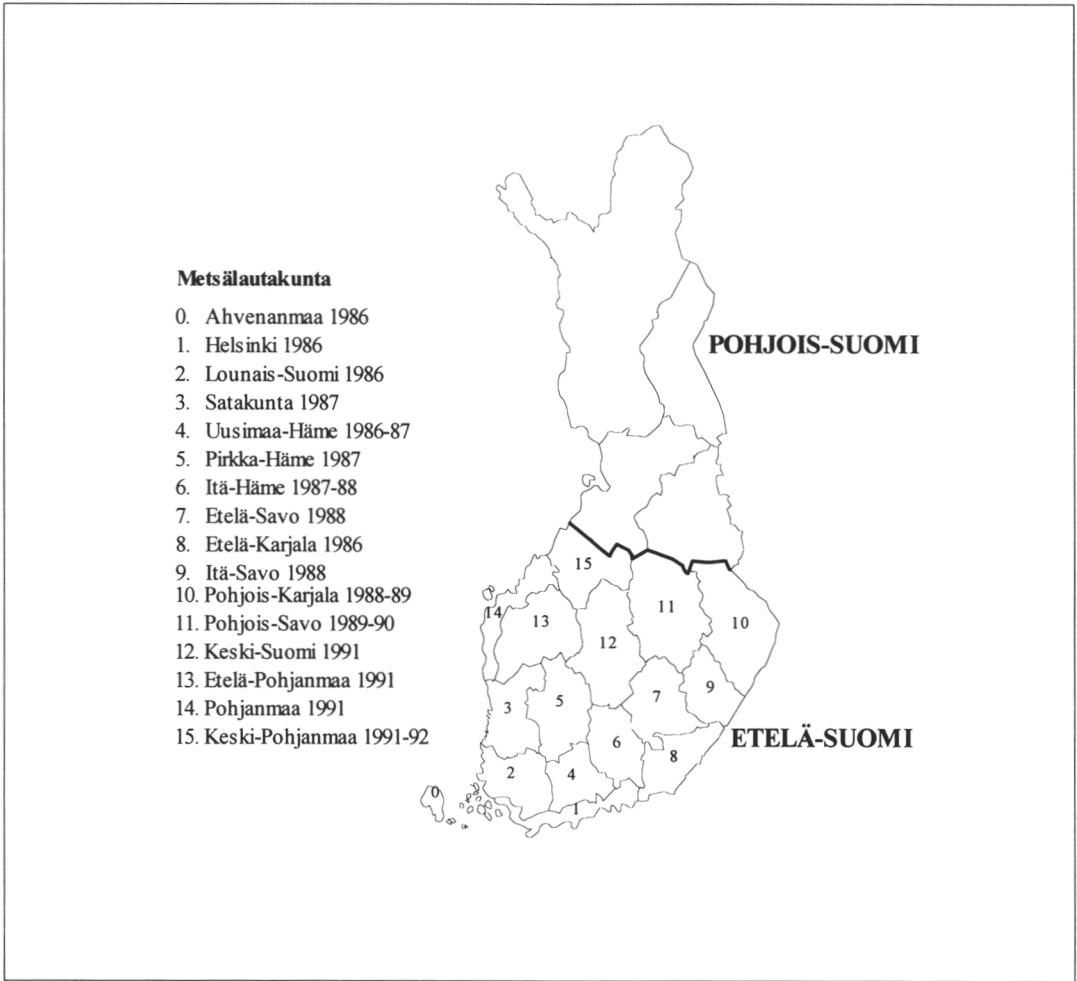
## 2.2 Laskentamenetelmä

### *Energia-MELA*

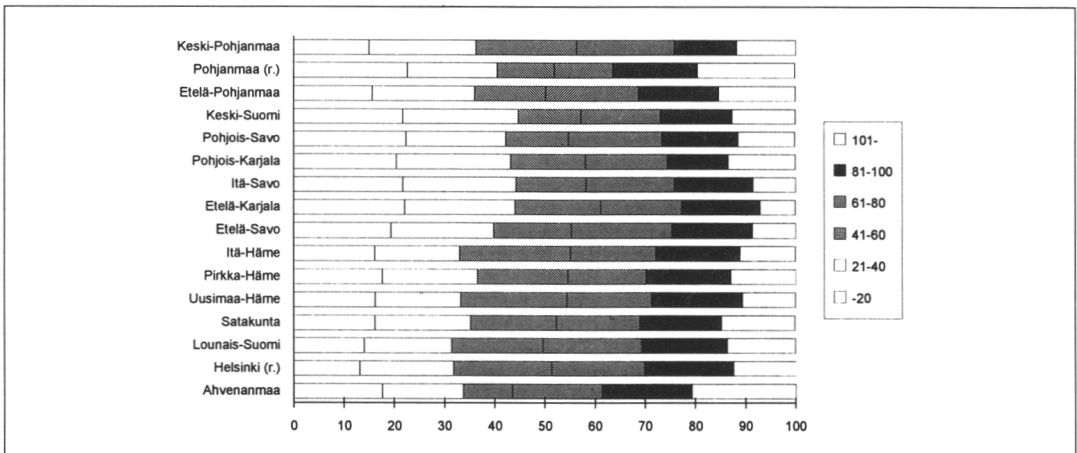
Tutkimustulokset laskettiin MELA-ohjelmistosta erityisesti energiapuulaskelmiin kehitetyllä ohjelmisto-

**Taulukko 1** Puuston tilavuus ja puulajien osuudet Etelä-Suomessa VMI8:n mukaan (Metsätalastollinen vuosikirja 1995).

	Inventointi	Koko puusto	Keskittilavuus	Mänty	Kuusi	Koivu	Muut lehtip.
		milj. m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /ha				
% tilavuudesta							
0 Ahvenanmaa	1986	9,8	126	55	25	13	8
1 Helsinki	1986	53,9	139	38	44	13	6
2 Lounais-Suomi	1986	68,2	128	45	43	10	3
3 Satakunta	1987	79,0	114	41	44	13	3
4 Uusimaa-Häme	1986-87	74,2	150	24	60	11	4
5 Pirikka-Häme	1987	99,4	127	32	54	12	3
6 Itä-Häme	1987-88	80,9	140	27	54	13	5
7 Etelä-Savo	1988	107,2	132	41	38	17	4
8 Etelä-Karjala	1986	76,9	121	44	41	12	4
9 Itä-Savo	1988	67,2	134	41	39	16	4
10 Pohjois-Karjala	1988-89	131,0	95	50	33	14	3
11 Pohjois-Savo	1989-90	147,0	111	31	50	15	5
12 Keski-Suomi	1991	137,0	111	40	44	13	3
13 Etelä-Pohjanmaa	1991	88,4	97	53	31	15	2
14 Pohjanmaa	1991	48,4	101	36	43	18	3
15 Keski-Pohjanmaa	1991-92	63,6	82	52	24	21	3
Etelä-Suomi	1986-92	1331,3	115	39	43	14	4



**Kuva 3** Tutkimusalueen metsälautakunnat ja metsien inventointivuodet (VMI8).



**Kuva 4** Etelä-Suomen metsien ikäluokkajakauma VMI8:n mukaan (Metsätilastollinen vuosikirja 1995).

versiolla (Mielikäinen ym. 1995). Simulointiin ja optimointiin perustuvassa menetelmässä laskentayksiköille tuotetaan automaattisesti vaihtoehtoisia metsänkäsittelyketjuja halutulle ajanjaksolle ja simuloituista käsittelyvaihtoehdoista valitaan lineaarisella optimoinnilla kullekin laskentayksikölle kokonaisuuden kannalta paras käsittelyketju. Puuston kehitystä (puiden kasvu, syntyminen ja kuoleminen) kuvataan mallien avulla (Ojansuu ym. 1991). Kasvupaikalle ja puustolle tehtäviä toimenpiteitä ohjataan erilaisten käsittelysääntöjen avulla. Ohjelma voi tuottaa yhdelle laskentayksikölle useita tuhansia vaihtoehtoisia käsittelyketjuja simulointiajasta ja käsittelysäännöistä riippuen. Energiapuun korjuu on Energia-MELAssa yhtenä metsänkäsittelyvaihtoehtona.

### *Energiapuun korjuuvaihtoehdot*

Perinteisen tavaralajikorjuun ohella tarkasteltiin energiapuun korjuuta kolmella eri menetelmällä, joissa korjattiin

sekä teollisuuden ainespuuta että energiapuuta tai pelkästään energiapuuta (kuva 5). Hakkuita simuloitaessa energiapuun korjuuvaihtoehdot olivat teollisuuden ainespuun korjuulle vaihtoehtoisia korjuutapoja. Esimerkiksi päätehakkukuusikoille tuotettiin sekä perinteinen tavaralajikorjuuvaihtoehto että tavaralajikorjuun ja hakkuu-tähteiden korjuun yhdistetty korjuuvaihtoehto. Tämä mahdollisti teollisuuden ainespuun ja energiapuun korjuun yhtäaikaisen tarkastelun. Tutkimuksessa käytetyt energiapuun korjuuvaihtoehdot olivat (ks. tarkemmin Mielikäinen ym. 1995)

- 1 hakkuutähteiden korjuu kuusivaltaisilta päätehakkualoilta,
- 2 teollisuuden ainespuun ja energiapuun integroitu korjuu mäntyvaltaisista ensiharvennusemetsästä ja
- 3 energiapuun erilliskorjuu ensiharvennusemetsästä.

Hakkuutähteiden korjuu kuusivaltaisilta päätehakkualoilta on osoittautunut lupaavimmaksi energiapuun korjuumenetelmäksi (Ebeling 1995, Lal-

		tukkipuu	kuitupuu	energiapuu	hukkapuu
ENSIHARVENNUSMETSÄ	TAVARALAJIKORJUU	-	x	-	x
	INTEGROITU KORJUU	-	x	x	x
	ERILLISKORJUU	-	-	x	x
PÄÄTEHAKKUUKUUSIKKO	TAVARALAJIKORJUU	x	x	-	x
	TAVARALAJIKORJUU + HAKKUUTÄHTEET	x	x	x	x

**Kuva 5** Ensiharvennuksista ja päätehakuista eri korjuutavoilla pääasiassa saatavat puutavaralajit.

lukka 1996, Sauranen ja Vesisenaho 1996), sillä kuusivaltaiset päätehakkuaalat ovat suuren hakkuutähdesaannon vuoksi muita edullisempia korjuukohteita. Korjuumenetelmässä hakkuutähteet korjataan erikoisvarusteisella metsätraktorilla hakkuukoneen muodostamista kasoista. Hakkuutähteiden saannoksi oletettiin laskelmissa 60 % hakkuutähteiden kokonaismäärästä. Ruotsissa käytännön korjuutoiminnassa saatujen kokemusten perusteella saanto on ollut noin 70 % (Larsson 1982), joten tutkimuksessa käytetty arvio oli tässä suhteessa varovainen.

Tutkimuksessa käytetty teollisuuden ainespuun ja energiapuun integroitu korjuuketju perustui ketjukarsintamenetelmään (Hakkila ja Kalaja 1993), josta odotetaan lähivuosina käytännön korjuuratkaisua ensiharvennusemetsien puunkorjuuseen (Asplund ja Helynen 1995, Lallukka 1996). Karsimaton, noin 5 m pituuteen ja 5 cm latvaläpimitaan korjattu osa-puu käsitellään karsinta-kuorinta-haketus-

yksiköllä, jolla saatava selluhake ja polttoon menevä energiaosite kuljetetaan käsittelyn jälkeen käyttöpaikalle. Korjuuvaihtoehto oli mahdollinen vain mäntyvaltaisissa metsiköissä, koska menetelmä vaatii muilla puulajeilla vielä kehitystä.

Energiapuun erilliskorjuu ei yleensä pysty kilpailemaan teollisuuden ainespuun korjuun kanssa, mutta se oli mukana tarkastelussa yhtenä vaihtoehtona. Erilliskorjuu voi tulla kyseeseen nuorissa kasvatusmetsissä, joissa kuitupuun osuus koko hakkuupoistumasta on pieni. Ensiharvennuksista korjattu osapuu haketetaan tien varressa ja kuljetetaan käyttöpaikalle. Ensiharvennuskohteesta korjattu puu hyödynnetään siis kokonaisuudessaan energiantuotannossa.

Ensiharvennusemetsällä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa metsikköä, jonka puuston rinnankorkeuskeskiläpimita on yli 8 cm, mutta keskipituus alle 13 m. Metsiköiden pääpuulaji määritetään kasvupaikan ja puulajin tilavuusosuuden perusteella. Energiapuu tar-

**Taulukko 2** Ensiharvennusten kokopuuhakkeen ja kuusivaltaisen päätehakkuaan hakkuutähdehakkeen kustannusrakenne. Työnjohto ja yleiskulut sisältyvät kuhunkin kustannustekijään.

Kustannustekijä	Kokopuuhake Kustannusrakenne, %	Hakkuutähdehake
Kantohinta	-	-
Hakkuu	39	3
Metsäkuljetus	24	31
Kustannus tien varressa	63	34
Haketus	20	37
Kaukokuljetus	17	29
Yhteensä	100	100

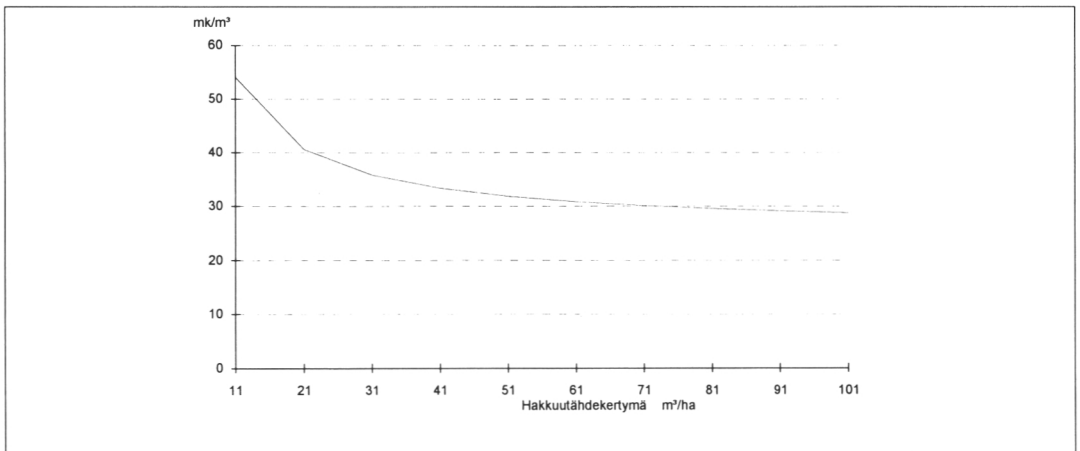
koittaa tässä tutkimuksessa päätehakkuualojen hakkuutähteistä, ensiharvennusten oksa- ja kuoritähteestä (integroituu korjuu) tai ensiharvennuspusta (erilliskorjuu) tehtyä haketta. Perinteinen kiinteistöjen polttopuu (halko, pilke ja polttoranka) ei kuulu tämän tutkimuksen aihepiiriin, koska sen käyttö laajamittaisessa energiantuotannossa ei ole mahdollista.

Laskentaohjelmiston energiapuun hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannusmallit päivitettiin vastaamaan nykyistä kustannustasoa (taulukko 2, kuva 6). Energiapuun hakkuu ensiharvennuksissa oletettiin tehtävän miestyönä siirtelykaatona (Metsäpalkkarakenteen... 1995). Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuusmallin taso korjattiin Vesisenahon (1994) tutkimuksen mukaiseksi. Kustannusmalleissa keskimääräisenä energiapuun metsäkuljetusmatkana oli 250 metriä ja keskimääräisenä leimikon kokona 2 hehtaaria.

### *Energiapuun korjuun kannattavuus*

Tarkastelun tuotantokustannustasoiksi (energiapuun hinta käyttöpaikalla) valittiin Bioenergian tutkimusohjelman tavoitteena oleva puupolttoaineen 45 mk/MWh tuotantokustannustaso ja nyky menetelmin hyvin saavutettavissa oleva 55 mk/MWh tuotantokustannustaso (esim. Sauranen ja Vesisenaho 1996). Nämä vastaavat noin 90 ja 110 mk/m<sup>3</sup>. Energiapuusta tien varressa maksettava hinta saadaan vähentämällä käyttöpaikan hinnasta energiapuun haketuksen tai murskauksen ja kaukokuljetuksen kustannukset (kuva 7). Energiapuun tienvarsihintoja laskettaessa hakkeen kaukokuljetusmatkaksi oletettiin 40 kilometriä ja energiapuukertymän tehollinen lämpöarvo laskettiin olettaen hakkeen kosteudeksi 50 %. Energiapuun tienvarsihinnat määritettiin korjuutavoittain.

Energiapuun tienvarsihinta tarkoittaa hintaa, jonka metsänomistaja saa tien varteen toimittamastaan ener-



**Kuva 6** Tutkimuksessa käytetyn hakkuutähteen metsäkuljetusmallin kustannukset hakkuutähdetymän suhteen, kun metsäkuljetusmatka on 250 m.

giapuusta. Tienvarsihinnan tulisi kattaa energiapuun hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannukset sekä kantohintaodotuksen. Energiapuulle ei laskelmissa annettu kantohintaa, mutta tienvarsihinnan ja korjuukustannusten erotus voidaan ymmärtää energiapuulle muodostuvaksi kantohinnaksi (kuva 7), joka vaihtelee tämän vuoksi kohteesta toiseen. Energiapuun korjuu katsottiin laskelmissa kannattavaksi, jos energiapuu saatiin korjattua käyttöpaikalle laskelmissa käytetyillä tuotantokustannustasoilla.

## 2.3 Hakkuuskenaariot

Energiapuukertymiä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa neljän hakkuuskenaariopohjalta. Hakkuuskenaarioilla kuvattiin metsävarojen hyödyntämisen astetta. Laskelmat tehtiin 40 vuoden ajalle ja laskentajakso jaettiin neljään

kymmenvuotiskauteen. Hakkuuskenaariot olivat:

- I Energiapuupotentiaali
- II Kestävien hakkuumahdollisuuksien hakkuiden taso
- III Potentiaalisten hakkuumahdollisuuksien hakkuiden taso
- IV Lamavuosien hakkuut

### *Skenaario I (energiapuupotentiaali)*

Skenaario I kuvasi suurinta kannattavasti korjattavissa olevaa energiapuun määrää eli energiapuupotentiaalia. Energiapuupotentiaali selvitettiin maksimoimalla ensimmäisen kymmenvuotiskauden energiapuukertymiä. Energiapuun korjuu katsottiin kannattavaksi, jos energiapuu saatiin korjattua käyttöpaikalle laskelmissa käytetyillä energiapuun hinnoilla. Puuntuotannon kestävyys otettiin huomioon seuraavien rajoitteiden avulla:

<p>Hakkeesta käyttöpaikalla maksettava hinta - hakkeen kaukokuljetuskustannukset (40 km) - energiapuun haketuksen tai murskauksen kustannukset</p> <hr/> <p><b>Energiapuun hinta tien varressa</b> - energiapuun korjuukustannukset (hakkuu ja metsäkuljetus)</p> <hr/> <p><b>Kantohinta</b></p>
--

**Kuva 7** Energiapuun tienvarsi- ja kantohinnan muodostuminen.



- energiapuukertymien tuli olla tasaiset tai nousevat
- teollisuuden ainespuun hakkuukertymien, tukkikertymien ja nettotulojen tuli olla tasaiset tai nousevat
- uudistamis-pinta-alojen tuli olla laskentajakson aikana tasaiset
- puuston tilavuuden, tienvarsiarvon ja tuottoarvon tuli laskentajakson lopussa olla vähintään alkutilanteen mukainen

### *Skenaario II (kestävät hakkuumahdollisuudet)*

Skenaario II kuvasi metsien kestäviä hakkuumahdollisuuksia. Se laskettiin maksimoimalla metsistä tulevaisuudessa saatavia nettotuloja. Puuntuotanto-ohjelman rajoitteita olivat lisäksi

- nettotulojen, hakkuukertymän ja energiapuukertymän tasaisuus tai kasvu laskentajaksona,
- uudistamis-pinta-alojen tasaisuus laskentajaksona sekä
- puuston tukkitilavuuden ja arvon säilyminen laskentakauden lopussa vähintään alkutilanteen suuruisena.

### *Skenaario III (potentiaaliset hakkuumahdollisuudet)*

Skenaario III kuvasi metsänomistajien pitkän aikavälin hakkuuaikomuksia. Yksityismetsänomistajien potentiaaliset hakkuumahdollisuudet laskettiin metsälautakunnittain Pesosen (1995)

esittämällä menetelmällä, josta poiketen maksimoitiin metsistä saatavia nettotuloja kantorahatulojen sijaan, jotta teollisuuden ainespuun ja energiapuun korjuuvaihtoehdot saatiin vertailukelpoisiksi. Koska energiapuulla ei ollut laskelmissa kiinteää kantohintaa, energiapuun korjuusta ei syntynyt kantorahatuloja (tavalarajin määrä \* kiinteä kantohinta). Nettotulot (tienvarsitulot - korjuukustannukset) kuvasivat tässä tapauksessa paremmin korjuuvaihtoehtojen edullisuutta. Laskenta-aineistolle tuotettiin viisi puuntuotantostrategiaa, jotka erosivat toisistaan hakkuuiden ajoituksen ja määrän suhteen. Kullekin puuntuotantostrategialle laskettiin tämän jälkeen keskimääräiset vuotuiset hakkuukertymät (tukki-, kuitu- ja energiapuu) eri kymmenvuotiskausille ja potentiaaliset hakkuumahdollisuudet saatiin kertomalla keskimääräiset vuotuiset hakkuukertymät puuntuotantostrategioiden pinta-alaosuksilla. Yksityismetsänomistajien puuntuotantostrategia-avainnat (ei hakkuita, säästö, kestävyys, rahoitus, kaikki pois) selvitettiin Pesosen ym. (1995) tutkimuksessa ja muiden omistajaryhmien (metsähallitus, yhtiöt ja muut omistajaryhmät) oletettiin noudattavan kestävyysstrategiaa (vrt. kestävien hakkuumahdollisuuksien laskenta).

### *Skenaario IV (lamavuosien hakkuut)*

Skenaario IV perustui vuoden 1991 teollisuuden ainespuun (tukki- ja kuitupuu) hakkuumääriin. Hakkuut olivat tuolloin vähäisiä mm. huonon met-

säteollisuustuotteiden kysynnän vuoksi. Puuntuotanto-ohjelmaa valittaessa tavoitemuuttujana käytettiin 4 % alkutuottoarvoa, joka tarkoittaa tulevaisuudessa saatavien nettotulojen nykyhetken diskontattua arvoa. Puuntuotanto-ohjelman rajoitteina käytettiin lisäksi

- vuoden 1991 mukaisia teollisuuden ainespuun hakkuukertymiä,
- vuoden 1991 mukaisia uudistamispinta-aloja,
- metsistä saatavien nettotulojen tasaisuutta,
- energiapuukertymien tasaisuutta tai kasvua sekä

- puuston tilavuuden, tienvarsiarvon ja tuottoarvon säilymistä vähintään alkutilanteen mukaisena.

#### *Energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutus energiapuukertymiin*

Näiden lisäksi selvitettiin karujen kasvupaikkojen ja soiden energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutus energiapuukertymiin kestäviä hakkuumahdollisuuksia kuvaavassa vaihtoehdossa. Tuotantokustannustasona oli tässä tarkastelussa 55 mk/MWh. Energiapuun korjuun rajoittaminen karuilta kasvupaikoilta voi olla tarpeen metsämaan ravinnetasapainon ylläpitämiseksi, minkä vuoksi herkimät kasvupaikat voi olla syytä jättää korjuutoiminnan ulkopuolelle.

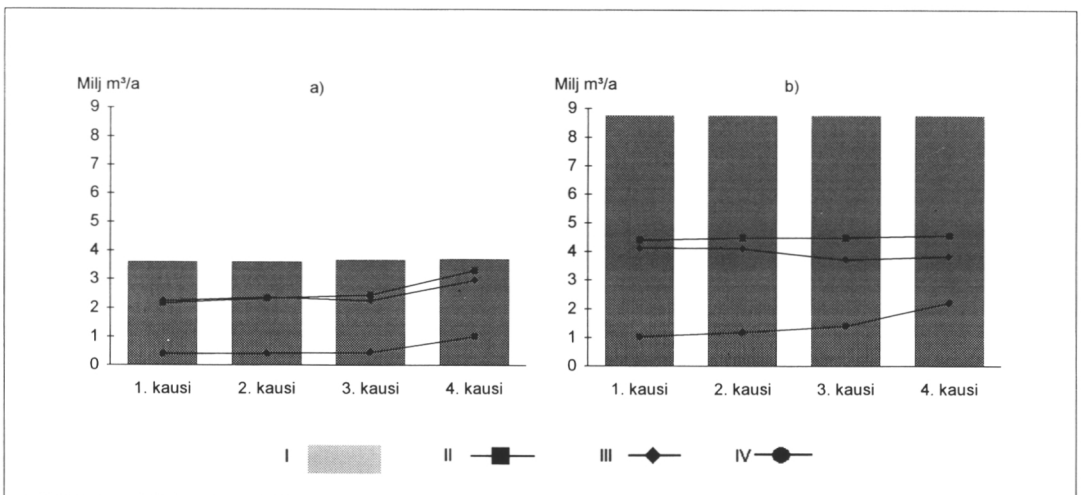
# 3 Energiapuukertymät eri hakkuuskenaarioissa

## 3.1 Energiapuukertymät 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla

Etelä-Suomen energiapuupotentiaali oli seuraavien 40 vuoden aikana 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla 3,6 milj. m<sup>3</sup>/a (kuva 8a, liite). Ensiharvennuksissa energiapuuta saatiin korjattua käyttöpaikalle kannattavasti vain integroituna korjuuna. Energiapuun erilliskorjuun kustannukset käyttöpaikalla olivat liian korkeat, joten ensiharvennuspuun korjuu pelkästään energiapuuksi ei ollut liiketaloudellisesti kannattavaa. Energiapuupotentiaalista 59 % kertyi integroidusta korjuusta ja loput hakkuutähteiden korjuusta. Pääosa energiapuusta oli korjuutavoista johtuen latvusmassaa. Runkopuun osuus kertymästä vaihteli 19–44 %:n

välillä. Energiapuukertymän energiasisältö oli keskimäärin 7,3 TWh/a.

Kestäviä hakkuumahdollisuuksia kuvaavassa vaihtoehdossa energiapuuta voitiin korjata ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 2,2 milj. m<sup>3</sup>/a, josta energiapuukertymä kasvoi yli miljoonalla kuutiometrillä neljännelle kymmenvuotiskaudelle tultaessa (kuva 8a, liite). Kertymän energiasisältö oli keskimäärin 5,3 TWh/a. Metsänomistajien hakkuuaikomuksia kuvaavassa vaihtoehdossa koko laskentajakson keskimääräinen energiapuukertymä oli hiukan pienempi kuin kestäviä hakkuumahdollisuuksia kuvaavassa vaihtoehdossa. Lamavuosien mukaisten hakkuuiden energiapuukertymät olivat viidesosan kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymistä. Vaihtoehdon neljännen kauden energiapuukertymä oli kaksinkertainen kolmeen ensimmäiseen kauteen verrattuna,



**Kuva 8** Hakkuuskenaarioiden energiapuukertymät kymmenvuotiskausittain a) 45 mk/MWh ja b) 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla.

vaikka teollisuuden ainespuun hakkuut säilyivätkin samalla tasolla koko tarkastelujakson ajan. Viimeisellä kymmenvuotiskaudella korjataan paljon myös energiapuun korjuuseen soveltuvia kohteita. Lamavuosien hakkuiden vaihtoehdossa kertymän energiasisältö vaihteli eri kausilla 0,8—2,1 TWh/a.

Energiapuukertymä koostui kestäviä hakkuumahdollisuuksia, potentiaalisia hakkuumahdollisuuksia ja lamavuosien hakkuuta kuvaavissa vaihtoehdoissa lähes yksinomaan päätehakkuaalojen hakkuutähteistä. Energiapuunkorjuu ensiharvennuksista ei ollut kannattavaa ja sitä oli vain muutamia tuhansia hehtaareja metsänomistajien hakkuuaikomuksia kuvaavassa vaihtoehdossa (taulukko 3). Runkopuun osuus energiapuukertymästä oli yleensä 5—10 % lopun ollessa latvusmassaa (liite). Energiapuukertymästä 80—90 % oli kuusta päätehakkuaalojen hakkuutähteen korjuun suuresta osuudesta johtuen. Muiden puulajien osuus energiapuukertymästä oli yhteensä vain 10—20 %. Energiapuun korjuumah-

dollisuudet ( $m^3/ha/a$ ) olivat keskimääräistä paremmat Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen ja Itä-Savon metsälautakuntien alueella (taulukko 4). Kuusi-valtaisia uudistamisvaiheessa olevia metsiä on näissä metsälautakunnissa paljon.

### 3.2 Energiapuukertymät 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla

Energiapuupotentiaali kohosi 8,8 milj.  $m^3/a$ :iin tuotantokustannustason noustessa 55 mk/MWh:aan (kuva 8b, liite). Energiapuukertymän energiasisältö oli 17,5 TWh/a. Energiapuun korjuu oli kannattavaa hakkuutähteen korjuun ja integroidun korjuun lisäksi vähäisessä määrin myös erilliskorjuuna. Integroidun korjuun osuus energiapuukertymästä oli koko laskentajaksolla keskimäärin 25 %, erilliskorjuun 2 % ja hakkuutähteen korjuun 73 %. Runko-

**Taulukko 3** Energiapuun korjuupinta-alat (1000 ha/a) korjuutavoittain eri skenaarioissa a) 45 mk/MWh ja b) 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla.

Skenaario	Integroitu korjuu	Erilliskorjuu	Hakkuutähteen korjuu
		45 mk/MWh	
a)			
I Energiapuupotentiaali	99	0	25
II Kestävät hakkuumahdollisuudet	0	0	33
III Potentiaaliset hakkuumahdollisuudet	1	4	30
IV Lamavuosien hakkuut	0	0	6
	55 mk/MWh		
b)			
I Energiapuupotentiaali	122	7	77
II Kestävät hakkuumahdollisuudet	0	1	60
III Potentiaaliset hakkuumahdollisuudet	1	4	51
IV Lamavuosien hakkuut	0	0	16

**Taulukko 4** Koko laskentajakson keskimääräiset energiapuukertymät metsälautakunnittain (m<sup>3</sup>/ha/a ja 1000 m<sup>3</sup>/a) eri skenaarioissa a) 45 mk/MWh ja b) 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla. Kunkin skenaarion kolme suurinta energiapuukertymää on lihavoitu.

a)	45 mk/MWh							
	Metsälautakunta							
	Skenaario							
	I		II		III		IV	
	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a
0 Ahvenanmaa	0,31	28	0,15	14	0,12	11	0,01	1
1 Helsinki	0,30	129	<b>0,35</b>	<b>148</b>	0,31	133	0,04	19
2 Lounais-Suomi	0,11	60	0,23	132	0,20	111	0,02	13
3 Satakunta	0,27	197	0,21	149	0,19	138	0,00	0
4 Uusimaa-Häme	0,20	101	<b>0,37</b>	<b>188</b>	<b>0,36</b>	<b>182</b>	<b>0,21</b>	<b>108</b>
5 Pirkka-Häme	0,34	268	<b>0,44</b>	<b>347</b>	<b>0,39</b>	<b>306</b>	0,03	22
6 Itä-Häme	0,21	125	0,27	158	0,26	150	<b>0,15</b>	<b>91</b>
7 Etelä-Savo	0,25	207	0,31	259	0,28	235	0,03	26
8 Etelä-Karjala	0,28	184	0,27	176	0,25	159	0,07	43
9 Itä-Savo	<b>0,49</b>	<b>251</b>	0,33	170	<b>0,32</b>	<b>166</b>	0,06	32
10 Pohjois-Karjala	0,30	431	0,11	165	0,12	177	0,03	40
11 Pohjois-Savo	<b>0,42</b>	<b>565</b>	0,22	299	0,22	302	<b>0,11</b>	<b>147</b>
12 Keski-Suomi	<b>0,35</b>	<b>449</b>	0,17	221	0,18	222	0,00	3
13 Etelä-Pohjanmaa	0,26	252	0,05	48	0,07	67	0,01	13
14 Pohjanmaa	0,21	105	0,11	53	0,11	55	0,02	12
15 Keski-Pohjanmaa	0,35	293	0,04	37	0,05	43	0,01	4
<b>Keskim. / Yht.</b>	<b>0,30</b>	<b>3647</b>	<b>0,21</b>	<b>2564</b>	<b>0,20</b>	<b>2458</b>	<b>0,05</b>	<b>575</b>

b)	55 mk/MWh							
	Metsälautakunta							
	Skenaario							
	I		II		III		IV	
	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /ha/a	1000 m <sup>3</sup> /a
0 Ahvenanmaa	0,51	47	0,23	21	0,20	18	0,08	8
1 Helsinki	<b>0,95</b>	<b>404</b>	<b>0,57</b>	<b>242</b>	<b>0,49</b>	<b>208</b>	0,12	52
2 Lounais-Suomi	0,68	381	0,42	236	0,35	197	0,07	39
3 Satakunta	0,73	525	0,40	291	0,35	252	0,11	80
4 Uusimaa-Häme	<b>1,07</b>	<b>544</b>	<b>0,76</b>	<b>385</b>	<b>0,64</b>	<b>323</b>	<b>0,26</b>	<b>133</b>
5 Pirkka-Häme	<b>0,98</b>	<b>782</b>	<b>0,65</b>	<b>519</b>	<b>0,57</b>	<b>451</b>	<b>0,19</b>	<b>152</b>
6 Itä-Häme	0,91	533	0,43	249	0,38	222	<b>0,24</b>	<b>141</b>
7 Etelä-Savo	0,72	592	0,46	383	0,41	337	0,07	61
8 Etelä-Karjala	0,81	525	0,43	280	0,36	233	0,13	82
9 Itä-Savo	0,76	389	0,49	251	0,47	241	0,11	57
10 Pohjois-Karjala	0,56	808	0,21	308	0,19	279	0,10	139
11 Pohjois-Savo	0,80	1088	0,38	512	0,35	478	0,18	246
12 Keski-Suomi	0,71	903	0,30	385	0,27	336	0,12	148
13 Etelä-Pohjanmaa	0,52	508	0,18	180	0,15	152	0,07	67
14 Pohjanmaa	0,67	333	0,36	178	0,30	150	0,08	41
15 Keski-Pohjanmaa	0,47	396	0,07	61	0,08	72	0,02	19
<b>Keskim. / Yht.</b>	<b>0,72</b>	<b>8758</b>	<b>0,37</b>	<b>4481</b>	<b>0,33</b>	<b>3950</b>	<b>0,12</b>	<b>1463</b>

puun osuus energiapuukertymästä vaihteli 18—38 %:n välillä.

Energiapuun hinnan kohoaminen 55 mk/MWh:aan merkitsi karkeasti ottaen energiapuukertymien kaksinkertaistamista 45 mk/MWh tuotantokustannustasoon verrattuna (kuva 8b, liite). Kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymä oli keskimäärin 4,5 milj. m<sup>3</sup>/a ja se oli tasainen koko tarkastelujakson ajan. Kertymän energiasisältö oli 9,2 TWh/a. Metsänomistajien hakkuuainkomusten mukainen energiapuukertymä oli 4,0 milj. m<sup>3</sup>/a ja kertymän energiasisältö oli vastaavasti 8,1 TWh/a. Lamavuosien hakkuiden energiapuukertymä oli noin neljäsosa kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymästä viimeistä kautta lukuunottamatta, jolloin se oli noin puolet siitä.

Energiapuukertymä saatiin kestävien hakkuumahdollisuuksien, potentiaalisten hakkuumahdollisuuksien ja lamavuosien hakkuiden mukaisissa skenaarioissa pääosin päätehakkuaalojen hakkuutähteistä myös 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla (taulukko 3).

Runkopuun ja latvusmassan osuudet sekä eri puulajien osuudet energiapuukertymästä olivat vastaavat kuin 45 mk/MWh hinnalla (liite). Energiapuun korjuumahdollisuudet olivat keskimääräistä paremmat Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen ja Helsingin metsälautakuntien alueella (taulukko 4).

Energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutusta kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymään tarkasteltiin tuotantokustannustasolla 55 mk/MWh. Tätä varten tehtiin kestäviä hakkuumahdollisuuksia vastaava laskelma, jossa energiapuun korjuu ei ollut mahdollista soilta eikä kuivia kankaita karummilta kasvupaikoilta. Laskeksen tulosta verrattiin kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymään. Annettu rajoite pienensi energiapuukertymää viidenneksen (taulukko 5), mikä merkitsi korjuumahdollisuuksiin noin 1 milj. m<sup>3</sup>/a vähennystä. Korjuurajoitteiden vaikutus energiapuukertymään oli samaa suuruusluokkaa kaikilla kymmenvuotiskausilla.

**Taulukko 5** Karujen kasvupaikkojen energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutus kestävien hakkuumahdollisuuksien (II) energiapuukertymiin kymmenvuotiskausittain.

	Energiapuu, 1000 m <sup>3</sup> /a			
	1. kausi	2. kausi	3. kausi	4. kausi
Ilman rajoitteita	4401	4476	4484	4563
Rajoittein	3381	3452	3486	3586
Vaikutus, 1000 m <sup>3</sup> /a	1020	1024	998	977
Vaikutus, %	-23	-23	-22	-21

## 4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

### 4.1 Hakkuuskenaariot ja energiapuukertymät

*Hakkuuskenaariot kuvasivat metsien hyödyntämisen astetta*

Tutkimuksen energiapuupotentiaalia (I), kestäviä hakkuumahdollisuuksia (II) ja lamavuosien hakkuuta (IV) kuvaavilla hakkuuskenaarioilla selvitetiin energiapuun korjuumahdollisuuksien rajoja. Energiapuupotentiaalia laskettaessa maksimoitiin energiapuukertymiä, minkä vuoksi hakkuut kohdentuivat kohteisiin, joista saatiin energiapuuta. Tämän vuoksi teollisuuden ainespuun hakkuukertymät olivat tässä laskelmassa kestävien ja potentiaalisten hakkuumahdollisuuksien kertymiä alhaisemmat. Metsänomistajien pitkän aikavälin hakkuu-aikomuksia (III) kuvaavien puuntuotantostrategiavalintojen ajateltiin säilyvän samoina koko 40 vuoden tarkastelujakson ajan ja potentiaaliset hakkuumahdollisuudet laskettiin syksyn 1994 metsänomistajien käsitysten ja aikomusten perusteella (Pesonen ym. 1995). Kestäviä hakkuumahdollisuuksia ja metsänomistajien hakkuu-aikomuksia kuvaavien vaihtoehtojen energiapuukertymät olivat lähes samansuuruiset, koska valtaosa yksityismetsänomistajista ilmoitti puuntuotantostrategiakseen kestävyysstrategian, jota myös muiden kuin yksityismetsänomistajien oletettiin noudattavan.

Tehdyissä laskelmissa energiapuukertymien tuli olla tasaiset tai nousevat, koska energiapuun saatavuuden tulee olla turvattu myös tulevaisuudessa. Vastaavia kestävyysrajoitteita käytettiin laskelmissa myös mm. hakkuukertymille ja nettotuloille puuntuotannon jatkuvuuden turvaamiseksi. Energiapuukertymien ohella puuvarojen kehityksessä, teollisuuden ainespuun kertymissä ja nettotuloissa havaittava nouseva trendi johtui osittain asetetuista optimointirajoitteista, mutta kehityskulkuun vaikutti tämän lisäksi oleellisesti myös laskenta-alueen puuston määrä ja rakenne.

*Energiapuupotentiaali aiempiin selvityksiin verrattuna*

Suurin kannattavasti korjattavissa oleva energiapuun määrä eli energiapuupotentiaali oli 45 mk/MWh ( $90 \text{ mk/m}^3$ ) tuotantokustannustasolla noin 3,6 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$  ja se kohosi noin 8,8 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$  tuotantokustannustason noustessa 55 mk/MWh:aan ( $110 \text{ mk/m}^3$ ). Energiapuun tuotantokustannustason 10 mk/MWh (noin  $20 \text{ mk/m}^3$ ) nousu lisäsi energiapuupotentiaalin siten yli kaksinkertaiseksi 45 mk/MWh tuotantokustannustasoon verrattuna. Energiapuupotentiaalin herkkyyden tuotantokustannusten muutokselle johtui hakkuutahteen korjuumahdollisuuksien huomattavasta lisääntymisestä.

Nykykorjuumenetelmien mahdollistaman pättehakkuukuusikoiden hak-

kuutähdepotentiaalin on arvioitu olevan koko Suomessa hieman yli 8 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$  (45 mk/MWh) ja sen on arviotu lisääntyvän noin 3—4 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$ , jos energiapuun korjuu integroidaan tehokkaammin teollisuuden ainespuun korjuuseen (Lallukka 1996). Tässä tutkimuksessa Etelä-Suomen hakkuutähdepotentiaaliksi arvioitiin 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla 1,5 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$  ja 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla 6,4 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$ . Etelä-Suomen hakkuutähdepotentiaalit erosivat näissä selvityksissä 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla huomattavasti, mutta tämän tutkimuksen mukaan hakkuutähdepotentiaali kuitenkin nelinkertaistui tuotantokustannustason noustessa 45 mk/MWh:sta 55 mk/MWh:aan. Esitettyjen hakkuutähdepotentiaalien erot selittyivät hakkuutähteiden korjuukustannusmallien ja laskentamenetelmien eroista.

Koko Suomen ensiharvennusmetsien energiapuupotentiaaliksi on arvioitu 5,5 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$  (45 mk/MWh) uusien korjuumenetelmien ansiosta (Lallukka 1996, Vesterlin 1996). Tästä integroiduilla menetelmillä tuotetun männyn osuudeksi on arvioitu 2,0 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$  ja erilliskorjuun osuudeksi 1,2 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$ . Tässä tutkimuksessa Etelä-Suomen mäntyvaltaisten ensiharvennusmetsien energiapuupotentiaaliksi arvioitiin vastaavalla tuotantokustannustasolla 2,0 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$ , joten esitetyt luvut vastaavat hyvin toisiaan. Ensiharvennusmetsien erilliskorjuun energiapuupotentiaaliksi arvioitiin 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla 0,22 milj.  $\text{m}^3/\text{a}$ . Energiapuun erilliskorjuu kohdistuu yleensä varttuneen

taimikon ja ensiharvennusmetsän rajoilla oleviin kohteisiin. Energiapuun erilliskorjuuta varttuneista taimikoista ei tarkasteltu tässä tutkimuksessa lainkaan ja erilliskorjuun kustannukset ensiharvennuksista kohosivat helposti liian suuriksi, jotta niistä saatu energiapuun olisi saatu käyttöpaikalle laskelmissa käytetyillä hinnoilla. Lisäksi näissä laskelmissa ei otettu huomioon metsänparannusrahoituksen mahdollisuutta energiapuun erilliskorjuussa.

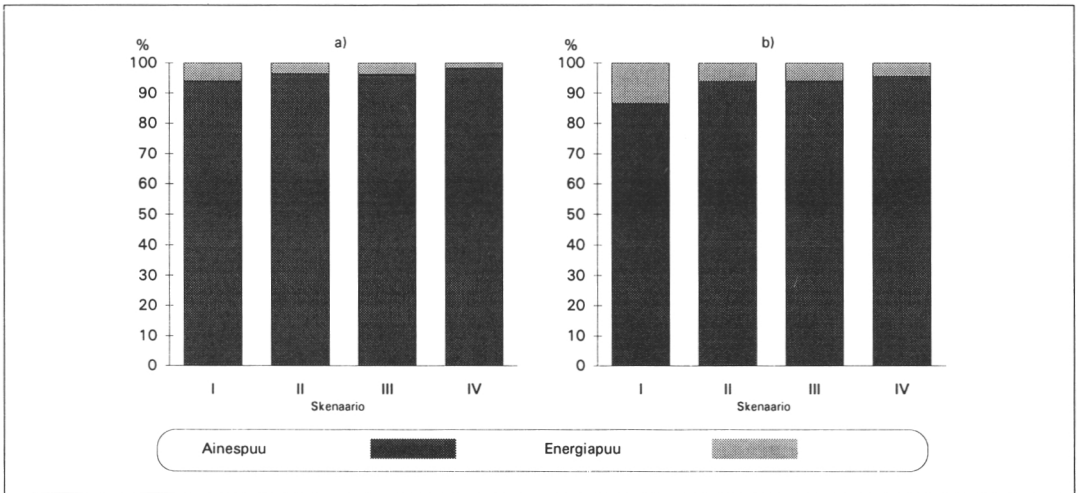
*Teollisuuden ainespuun korjuun yhteydessä energiapuupotentiaalista oli hyödynnettävissä 50—89 %*

Energiapuukertymä vaihteli 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla kestävien hakkuumahdollisuuksien mukaisessa vaihtoehdossa 60—89 % energiapuupotentiaalista ja 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla se oli noin puolet siitä. Metsänomistajien hakkuuaikomuksia ja lamavuosien hakkuuta kuvaavissa vaihtoehdoissa energiapuupotentiaalin hyödyntämisaste jäi alhaisemmalle tasolle vähäisemmistä hakkuista johtuen. Hakkuut kohdentuivat eri kohteisiin, kun teollisuuden ainespuun kertymä otettiin laskelmissa huomioon.

*Energiapuun osuus koko hakkuukertymästä oli 2—14 %*

Tuotantokustannustasolla 45 mk/MWh keskimääräinen energiapuun osuus koko hakkuukertymästä vaihteli 2—6 %:n välillä eri skenaarioissa (kuva 9).





**Kuva 9** Energiapuun osuus hakkuukertymästä eri skenaarioissa a) 45 mk/MWh ja b) 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla.

Keskimääräinen energiapuun osuus hakkuukertymästä kasvoi 5—14 %:n välille, kun tuotantokustannustaso nousi 55 mk/MWh:aan. Energiapuun osuus jäi siis varsin alhaiseksi koko hakkuukertymään verrattuna energiapuukertymää maksimoivaa vaihtoehtoa (energiapuupotentiaali) lukuunottamatta. Energiapuukertymän osuus pieneni teollisuuden ainespuun hakuiden vähentyessä. Jos hakkuut ovat kestäviä hakkuumahdollisuuksia vähäisempiä, niiden kohdentuminen erilaisiin leimikoihin vaikuttaa kuitenkin huomattavasti energiapuun korjuumahdollisuuksiin.

#### *Energiapuun korjuurajoitteiden vaikutus oli huomattava*

Energiapuun korjuun rajoittaminen voi olla sekä puu-, kertymä- että korjuuteknisistä näkökohdista ja kasvupaikan ekologian kannalta perusteltu (Hakkila

ym. 1996). Tehtyjen laskelmien mukaan energiapuun korjuun rajoittaminen soilta ja kuivia kankaita karummilta kasvupaikoilta vaikutti kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymiin 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla 1,0 milj. m<sup>3</sup>/a. Tämä oli noin viidesosa ilman rajoitteita lasketusta energiapuukertymästä. Korjuun rajoittamisen vaikutus lienee kuitenkin tätä pienempi, jos hakkuut eivät ole kestävien hakkuumahdollisuuksien tasolla, sillä tällöin teollisuuden ainespuun hakkuut kohdentuvat kannattavampiin kohteisiin ja korjuuseen tulee korjuuolosuhteiltaan hyviä kohteita myös energiapuun korjuun kannalta.

Soiden ja kuivaa kangasta karumpien kankaiden osuus metsä- ja kitumaan pinta-alasta oli metsälautakuntien 0—9 alueella 25 % (Salminen 1993) ja energiapuun korjuun rajoittamisen vaikutus energiapuukertymään oli näiden metsälautakuntien alueella vastaavasti noin 18 %. Vaikutus

energiapuukertymään oli suhteessa pienempi kuin näiden maiden osuus metsä- ja kitumaan pinta-alasta. Tämä johtui karujen maiden ja soiden pienestä hehtaarikohtaisesta energiapuukertymästä.

### *Kestävien hakkuumahdollisuuksien energiapuukertymän energiasisältö oli 1,04 Mtoe*

Kestävien hakkuumahdollisuuksien mukaisessa vaihtoehdossa energiapuukertymä vastasi energiasisällöltään 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla 0,47 Mtoe:a ja 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla vastaavasti 0,82 Mtoe:a. Kahden pohjoisimman metsälautakunnan alueen energiapuukertymä oli Keskimölön ja Malisen (1996) kestäviä hakkuumahdollisuuksia lähinnä vastaavan laskelman mukaan 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla noin  $0,14 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$ , mikä vastaa koko Pohjois-Suomeen yleistettynä 1,25 milj.  $\text{m}^3$  vuotuista energiapuukertymää. Pohjois-Suomen energiapuukertymän energiasisältö on tämän perusteella noin 0,22 Mtoe:a.

Bioenergian tutkimusohjelman tavoitteena on metsäenergian noin 1 Mtoe:n käyttöpotentiaali 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla. Tavoitteena oleva käyttöpotentiaali näyttää olevan tehtyjen laskelmien perusteella mahdollinen 55 mk/MWh tuotantokustannustasolla. Tämä edellyttää kuitenkin viime vuosien toteutuneita hakkuumääriä suurempia hakkuuta ja metsänomistajien myönteistä suhtautumista energiapuun tuotantoon. Energiapuun

korjuukustannusten on myös alennuttava, jotta 1 Mtoe:n käyttöpotentiaaliin päästään 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla.

### *Suurin osa energiapuusta kertyi hakkuutähteiden korjuusta*

Tutkimuksessa keskityttiin tarkastelemaan energiapuun korjuuketjuja, jotka toimivat jo käytännössä tai joiden kehitystyö on niin pitkällä, että ne ovat lähellä kaupallista vaihetta. Kuusen ja koivun ensiharvennusten integroiduissa korjuuketjuissa tarvitaan vielä kehitystyötä, minkä vuoksi ne jätettiin pois tarkastelusta. Korjuuketjujen rajauksen vuoksi osa mahdollisista energiapuun lähteistä jää laskelmien ulkopuolelle.

Tuotantokustannustasolla 45 mk/MWh 59 % energiapuupotentiaalista (skenaario I) kertyi mäntyvaltaisista ensiharvennusemetsistä integroidulla korjuumenetelmällä. Integroidun korjuun suuri osuus hakkuutähteiden korjuuseen ja energiapuun erilliskorjuuseen verrattuna selittyi sillä, että energiapuukertymiä maksimoitaessa ensiharvennusemänniköille valittiin aina integroitu korjuutapa. Energiapuulle ei kohdennettu hakkuun ja metsäkuljetuksen kustannuksia, koska se saatiin menetelmässä sivutuotteena. Tuotantokustannustasolla 55 mk/MWh noin 71 % energiapuupotentiaalista saatiin päätehakkuualueiden hakkuutähteistä ja 29 % ensiharvennusemetsistä, koska entistä suurempi osa päätehakkuualueiden hakkuutähteistä tuli kannattavan korjuutoiminnan piiriin. Energiapuun eril-

liskorjuun osuus ensiharvennusmetsien energiapuun korjuusta oli molemmilla tuotantokustannustasoilla hyvin pieni. Hakkuutähteiden energiapuupotentiaali oli selvästi suurin ja korjuukustannusten aletessa yhä suurempi osa hakkuutähdepotentiaalista voitiin saadaan hyödynnettäväksi.

Kun teollisuuden ainespuun hakkuut otettiin huomioon (skenaariot II–IV), energiapuukertymä muodostui lähes yksinomaan kuusivaltaisten päätehakkuualojen hakkuutähteistä. Hakkuutähteiden korjuu kuusivaltaisilta päätehakkuualoilta on jo käytännössä osoittautumassa lupaavaksi korjuumenetelmäksi. Hakkuutähteiden käyttöä energiantuotannossa helpottaa myös se, ettei niillä ole kilpailevia käyttökohteita hakkuualan lannoitusvaikutusta lukuunottamatta. Ensiharvennuksista energiapuuta ei kertynyt juuri lainkaan laskelmissa käytetyillä energiapuun hinnoilla. Integroidun korjuun osuuden pieneneminen verrattuna energiapuupotentiaalia kuvaavaan laskelmaan selittyi sillä, että kaikkia ensiharvennusmänniköitä ei harvennettu, kun teollisuuden ainespuun hakkuut otettiin huomioon ja toisaalta sillä, että korjuu tavaralajeina oli tehdyissä laskelmissa lähes aina integroitua korjuuta edullisempaa. Kaiken kannattavasti korjattavissa olevan energiapuun korjuu ei siis välttämättä ole järkevää teollisuuden ainespuun korjuun yhteydessä, sillä eri korjuumenetelmien edullisuussuhteet ratkaisevat korjuumenetelmien keskinäisen kannattavuuden. Ensiharvennuksissa korjuu tavaralajeina voi selluhakkeen erilaisen saannon vuoksi olla kannattavampaa integ-

roidun korjuun sijaan, vaikka energiapuu saataisiinkin integroidulla korjuumenetelmällä kilpailukykyiseen hintaan käyttöpaikalle. Energiapuun erilliskorjuu ei pystynyt laskelmissa käytetyillä energiapuun hinnoilla kilpailemaan tavaralajikorjuun kanssa.

### *Energiapuun korjuun metsänhoidollinen hyöty*

Tutkimuksessa energiapuun korjuun kannattavuutta tarkasteltiin puhtaasti liiketaloudellisesti. Metsänomistajille tehdyissä kyselyissä (Kukkonen 1993) on selvinnyt, että energiapuusta saatava puhdas taloudellinen tuotto on harvoille metsänomistajille tärkein tekijä energiapuun korjuussa ja että energiapuun korjuuseen liittyvät metsänhoidolliset hyödyt ovat monille metsänomistajille tuloja tärkeämpiä.

Pienikokoisen puun hyödyntäminen energiantuotannossa on järkevä vaihtoehto, jos puulle ei löydy muuta käyttöä. Nuoren metsikön harventaminen sen tulevan kehityksen turvaamiseksi voi olla tarpeen ja korjatun puun ohjaaminen energiakäyttöön voi olla kannattava vaihtoehto varsinkin, jos kuitupuukertymä on vähäinen koko hakkuupoistumaan verrattuna ja metsänomistaja tekee työn itse. Hakkuutähteiden korjuu helpottaa uudistamistyötä ja nopeuttaa uuden puuston alkukehitystä. Energiapuun korjuulla voi olla myönteisiä vaikutuksia myös metsän virkistysarvoon ja maisemaan. Tarkka puunkorjuu voi toisaalta heikentää metsämaan ravinnetaloutta, mutta sovellettavilla korjuutekniikoilla

voidaan kuitenkin vaikuttaa metsään jäävän ravinnerikkaan latvusmassan määrään. Käytännön korjuutoiminnassa osa latvusmassasta jää joka tapauksessa metsään.

## 4.2 Aineiston ja laskentamenetelmän luotettavuus

*Aineisto kuvasi kuitupuun mitat täyttävän puuston hyvin*

Tutkimuksessa käytettiin valtakunnan metsien 8. inventoinnin koelatiedoista muodostettua laskenta-aineistoa. Relaskooppikoealoilta kerätty aineisto kuvasi teollisuuden ainespuun mitat täyttävän puuston edustavasti, mutta tätä pienemmän puuston kuvaus oli epätarkempaa. Teollisuuden ainespuuta pienemmällä puustolla oli kuitenkin vain vähäinen merkitys tämän tutkimuksen tulosten luotettavuuteen, sillä energiapuun korjuu oli sidoksissa teollisuuden ainespuun korjuuseen ja siten vähintään kuitupuun mitat täyttävään puustoon.

Kehitysluokaltaan varttuneen taimikon ja ensiharvennusmetsän rajoilla olevilla metsiköillä, joissa on paljon juuri kuitupuun mitat täyttäviä ja kuitupuuta hiukan pienempiä puita, voi kuitenkin olla merkitystä energiapuuna. Myös varttuneiden kasvatusmetsien ja uudistamisvaiheessa olevien metsien alikasvospuustot voivat olla hyödynnettävissä energiapuuna, mikä edellyttää kuitenkin sopivaa korjuuteknologiaa erityisesti varttuneiden

kasvatusmetsien harvennuksissa. Teollisuuden ainespuuta pienemmän puuston kuvausta laskenta-aineistossa on jatkossa parannettava entistä kattavampien laskelmien mahdollistamiseksi.

*Laskentamenetelmän luotettavuus riippuu malleista*

Malleihin perustuvan laskentamenetelmän tulosten luotettavuus riippuu laskenta-aineiston ohella käytettävien mallien luotettavuudesta (Ojansuu ym. 1991, Siitonen 1993). Eri tavoin käsiteltyjen metsien puuston kehitysenusteiden tulee olla luotettavia varsinkin pitkän aikavälin ennusteita tehtäessä. Laskelmissa käytetyt hinnat ja metsänkäsittelyn kustannukset tulee myös ottaa huomioon tulosten tulkinnaissa. Energiapuun korjuuseen liittyvien mallien osalta ongelmana on malleihin perustuvan menetelmän kannalta tietojen hajanaisuus, sillä laajoja käytännön korjuutoiminnasta saatuja seurantatietoja ja tutkimustuloksia ei energiapuun korjuusta vielä ole. Yksittäisissä leimikoissa tehtyjen tutkimusten tuloksia joudutaan yleistämään. Laskentamenetelmästä johtuen leimikoiden koko sekä metsä- ja kaukokuljetusmatkat joudutaan ottamaan laskennassa huomioon keskimääräisinä.

Laskentamenetelmässä käytetyt hakkuutähteiden korjuun kustannus- ja kertymämallit kuvaavat nykyisiä korjuumenetelmiä. Hakkuutähteiden metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuusmalli oli varovainen ja käytetyn kustannusmallin kustannukset olivat Saurasen

ja Vesisenahon (1996) esittämiä kustannuksia korkeammat. Ero oli laskelmissa käytetyllä metsäkuljetusmatkalla noin  $5 \text{ mk/m}^3$ . Hakkuutähdekertymää laskettaessa käytettyyn hakkuutähteen talteensaantoprosenttiin päästään korjuuseen hyvin soveltuvissa kohteissa helposti. Talteensaannon paraneminen pienentää myös korjuukustannuksia.

Ensiharvennusten integroidussa korjuuketjussa ja energiapuun erilliskorjuussa hakkuu oletettiin tehtävän miestyönä siirtelykaatona. Hakkuun kustannusmallit laadittiin hakkuutyön yksikköpalkkojen perusteella (Metsäpalkkarakenteen... 1995). Perinteisen tavaralajihakkuun kustannukset laskettiin MELAn kustannusmalleilla, jotka antavat juuri ensiharvennuspuuston koon saavuttaneiden kohteiden hakkuukustannuksille lievän aliarvion. Lisäksi karsimattoman puun metsäkuljetus on karsitun puun metsäkuljetusta kalliimpaa. Tavaralajikorjuu osoittautuikin laskelmissa lähes poikkeuksetta integroitua korjuuta ja erilliskorjuuta edullisemmaksi. Jos menetelmien keskinäinen edullisuus muuttuu ja menetelmät kehittyvät myös muille puulajeille soveltuviksi, voidaan integroiduilla menetelmillä korjattavissa olevaa energiapuupotentiaalia hyödyntää. Energiapuun erilliskorjuu voi tulla kyseeseen kohteissa, joissa kuitupuukertymä on pieni, mutta energiapuuksi kelpaavaa pienikokoista puustoa on paljon ja korjuuseen on mahdollista saada metsänparannusrahoitusta.

Ensiharvennusten integroidut korjuumenetelmät eivät vielä ole laajassa käytössä lähinnä sellujakeen korkean kuoripitoisuuden takia. Tutkimuksessa käytetty ketjukarsintamenetelmään perustuva integroitu korjuumenetelmä on osoittautunut kehityskelpoiseksi ja siitä odotetaan lähiaikoina käytännössä sovellettavaa korjuumenetelmää (Lallukka 1996). Menetelmän raaka-ainetase perustui näissä laskelmissa Hakkilan ja Kalajan (1993) tutkimukseen, jonka tulokset yleistettiin koskemaan kaikkia mäntyvaltaisia ensiharvennusleimikoita. Tutkimuksen tulokset ovat osittain vanhentuneet menetelmäkehityksen myötä (Hakkila ym. 1996), millä ei kuitenkaan ole ratkaisevaa merkitystä esitettyihin tuloksiin.

Sovellettujen kustannusmallien vaikutusta tuloksiin kuvastaa nyt Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueelle laskettujen tulosten vertaaminen aiemmin (Mielikäinen ym. 1995) samalle alueelle tehtyihin laskelmiin. Nyt laskettujen tulosten mukaan energiapuukertymä oli  $45 \text{ mk/MWh}$  tuotantokustannustasolla kolmasosa aiemmin lasketusta (verrattu skenaariota I ja ohjelmaa 2). Ero johtuu sekä kustannusmallien että laskentaperusteiden eroista. Integroitu korjuu ei nyt tehdyissä laskelmissa ollut kilpailukykyinen tavaralajikorjuun kanssa kuten aiemmissa laskelmissa, mikä selitti suuren osan energiapuukertymien eroista. Myös hakkuutähteen korjuukustannukset olivat nyt tehdyissä laskelmissa hie-man aiempaa korkeammat.

## 4.3 Johtopäätökset

- 1 Etelä-Suomen energiapuupotentiaali on 3,6—8,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa 45—55 mk/MWh:n tuotantokustannustasolla, mikä vastaa 90—110 markan kuutiometrihintaa energiapuun käyttöpaikalla. Energiapuupotentiaaliin kuuluu kaikki ko. tuotantokustannustasolla liiketaloudellisesti kannattavasti korjattavissa oleva energiapuun määrä. Kestävien hakkuumahdollisuuksien mukainen energiapuukertymä on alhaisemmalla tuotantokustannustasolla 70 % ja korkeammalla 51 % energiapuupotentiaalista.
- 2 Etelä-Suomen energiapuupotentiaalilin energiasisältö on 0,65—1,55 Mtoe:a, mikä vastaa 1,0—2,5 Loviisan kokoisen ydinvoimalan vuoden energiatuotantoa.
- 3 Koko Suomen kestävien hakkuumahdollisuuksien mukainen energiapuukertymä on 55 mk/MWh:n tuotantokustannustasolla 5,8 milj. m<sup>3</sup>/a, mikä vastaa 1,5 Loviisan kokoisen ydinvoimalan vuoden energiatuotantoa. Tämä vastaa Bioenergian tutkimusohjelman puupolttoaineen käyttöpotentiaalille (45 mk/MWh) asettamaa tavoitetta.
- 4 Kuusivaltaisten pätehakkuiden hakkuutähteet olivat suurin energiapuulähde. Myös ensiharvennusmetsissä oli mittava määrä hyödynnettävissä olevaa metsäenergiaa, mutta ensiharvennusmetsien korjuu

ei ollut tämän tutkimuksen perusteella integroidulla korjuumenetelmällä eikä erilliskorjuuna kannattavaa. Korjuumenetelmien kehityksessä voi myös ensiharvennusmetsien energiapuupotentiaali olla hyödynnettävissä.

- 5 Energiapuun korjuun rajoittaminen kuivia kankaita karummilta kangasmailta ja soilta pienensi energiapuukertymiä keskimäärin noin 22 %. Vaikutus lienee tätä pienempi, jos hakkuut ovat kestäviä hakkuumahdollisuuksia alhaisemmalla tasolla hakkuiden erilaisen kohdentumisen vuoksi.

Tutkimus osoitti energiapuusta käyttöpaikalla maksettavan hinnan olevan edelleen energiapuun korjuumahdollisuuksia eniten rajoittava tekijä. Tutkimus- ja kehitystyötä tarvitaan, jotta metsiemme energiapuutarat saadaan hyödynnettäviksi. Metsänomistajien suhtautuminen energiapuun tuotantoon tulisi selvittää, jotta energiapuun myyntihalukkuudesta saataisiin nykyistä parempi kuva ja markkinoille todellisuudessa tulevan energiapuun määrä voitaisiin paremmin arvioida. Myös energiapuun käyttömahdollisuudet tulisi selvittää.

Energiapuuhun kohdistuvat tuet ja verotus vaikuttavat puulla tuotetun energian edullisuuteen muihin energiamuotoihin verrattuna. Energiapuun kaatoon, kasaukseen ja kuljetukseen taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuskohteista on myönnetty tukea metsänparannusvaroista. Hallituksen vuoden 1996 aikana esittelemä

energiaverotuksen muutos huonontaisi puun ja turpeen kilpailukykyä entistään fossiilisiin polttoaineisiin nähden.

Puuhun perustuvan energian käyttöä voidaan perustella energian kotimaisuudella ja ympäristöystävällisyydellä.

- Asplund, D. & Helynen, S. 1995. Bioenergian tutkimusohjelman sisältö, keskeiset tulokset vuonna 1994 ja näkymät vuodelle 1995. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 6. Vuosikirja 1994. Osa I. Puupolttoaineiden tuotanto. s. 9–26.
- Ebeling, J. 1994. Puunkorjuumenetelmien kehittäminen energia-puun korjuuta varten. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 3. Vuosikirja 1993. Osa I. Puupolttoaineiden tuotanto. s. 183–191.
- . 1995. Hakkuutähteiden hyödyntäminen koneellisilta avohakkuu-alueilta. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 6. Vuosikirja 1994. Osa I. Puupolttoaineiden tuotanto. s. 147–157.
- Energiakatsaus 2/1996. 1996. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energia-osasto. 32 s.
- Hakkila, P. (toim.). 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- & Kalaja, H. 1993. Ketjukarsinta ensiharvennumännikön korjuuratkaisuna. *Folia Forestalia* 803. 31 s.
- , Kalaja, H. & Saranpää, P. 1996. Etelä-Suomen ensiharvennumänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s.
- Keskimölä, A. & Malinen, J. 1996. Lapin metsänkayttöskenaarioiden energiapuukertymät. Käsikirjoitus.
- Kilkki, P. 1987. Timber management planning. 2nd edition. Silva Carelica. 159 s.
- & Siitonen, M. 1976. Principles of a forest information system. XVI IUFRO World Congress, Division IV. Proceedings. s. 154–163.
- Kukkonen, T. 1993. Metsästä energiaa — tutkimus puun energiakäytöstä. Helsingin Yliopisto. Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. Tutkimus- ja kehittämistoiminta. 113 s.
- Lallukka, H. 1996. Metsäteollisuuden näkemyksiä Bioenergian tutkimusohjelmaan ja puunhankintaan. Puhe Bioenergian tutkimusohjelman vuosiseminaarissa 16.4.1996. Bioenergian tutkimusohjelma. Tiedotuslehti 1/96. 42 s.
- Larsson, M. 1982. Skotning av trädrester efter avverkning med skördare. Forskningstiftelse Skogsarbeten resultat Nr. 26. 4 s.
- Leiviskä, V., Ahonen, A. & Kiukaan-niemi, E. 1993. Pohjois-Suomen energiapuuvarat. Oulun Yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 1993:95. 31 s.
- Metsäpalkkarakenteen uudistaminen. 1995. Metsäpalkkauksen kehittäminen. Projektiryhmä 1.10.1995. Koulutusaineisto. IV painos. 45 s.



- Metsätilastollinen vuosikirja 1995. 1995. Maa- ja metsätalous 1995:5. 354 s.
- Mattila, E. & Keskimölä, A. 1994. Energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointi metsän hakkuu- ja hoitoehdotusten perusteella. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 534. 52 s.
- Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J. 1995. Energiapuu osana metsänkasvustusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) — Metsä 2000 versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.
- Pasanen, K., Vesterlin, V., Keskimölä, A., Soimasuo, J. & Tokola, T. 1996. Alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä. Käsikirjoitus.
- Pesonen, M. 1995. Non-Industrial Private Landowners' Choices of Timber Management Strategies and Potential Allowable Cut: Case of Pohjois-Savo. Acta Forestalia Fennica 247. 31 s.
- , Malinen, J., Kettunen, A. 1995. Yksityismetsänomistajien puuntuotantostراتيجiat ja potentiaaliset hakkuumahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 583. 61 s.
- Salminen, S. 1993. Eteläisimmän Suomen metsävarat 1986—1988. Folia Forestalia 825. 111 s.
- Salakari, M. & Peltola, A. 1995. Pientalojen polttopuun käyttö lämmityskaudella 1992/93. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 566. 40 s.
- Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system based on data from the Finnish national forest inventory. Proceedings of the IUFRO subject group 4.02 meeting in Finland, September 5—9, 1983. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management. Research Notes 17. s. 195—207.
- . 1993. Experiences in the use of forest management planning models. Silva Fennica 27. s. 167—178.
- . 1995. The MELA System as a forestry modelling framework. Lesnictvi Forestry. Volume 41, No 4. s. 173—178.
- Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1996. Hakkuutähteen hankinta — nykytekniikka ja toteutus. VTT Energia. 45 s.
- Tiihonen, P. & Virtanen, J. 1982. Koetuloksia ilmakuvienväytöstä energiapuun arvioinnissa Kannuksessa v. 1979—80. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 66. 24 s.
- . 1983. Koetuloksia ilmakuvienväytömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja

Pohjois-Savossa v. 1980—82. Folia Forestalia 567. 18 s.

Vesisenaho, T. 1994. Hakkuutähteen korjuututkimus Äänekoskella. Väli­raportti. 21 s.

Vesterlin, V. 1996. Energiapuun tuotantomahdollisuudet yksityismetsissä. Teho-lehti 1/1996. s. 23–26.

# Liite

Hakkuuskenaarioiden energiapuukertymät, energiasisältö ja energiapuukertymän jakautuminen ositteisiin eri skenaarioissa ja tuotantokustannustasoilla.

Skenaario		1. kausi	2. kausi	3. kausi	4. kausi	keskim.
	a)	45 mk/MWh				
<b>I</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	3605	3605	3675	3702	3647
Energiapuupotentiaali	<i>Runkopuuta, %</i>	44	26	19	21	28
	<i>Latvusmassaa, %</i>	56	74	81	79	73
	Energiasisältö, TWh/a	6,98	7,22	7,45	7,47	7,28
<b>II</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	2170	2334	2446	3307	2564
Kestävät	<i>Runkopuuta, %</i>	5	6	9	11	8
hakkuu-	<i>Latvusmassaa, %</i>	95	94	91	89	92
mahdollisuudet	Energiasisältö, TWh/a	4,46	4,81	5,05	6,85	5,29
<b>III</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	2249	2368	2255	2961	2458
Potentiaaliset	<i>Runkopuuta, %</i>	6	10	18	19	13
hakkuu-	<i>Latvusmassaa, %</i>	94	90	82	81	87
mahdollisuudet	Energiasisältö, TWh/a	4,63	4,87	4,61	6,06	5,04
<b>IV</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	404	422	457	1016	575
Lamavuosien	<i>Runkopuuta, %</i>	5	5	3	5	5
hakkuut	<i>Latvusmassaa, %</i>	95	95	97	95	96
	Energiasisältö, TWh/a	0,83	0,88	0,94	2,10	1,19
	b)	55 mk/MWh				
<b>I</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	8758	8758	8758	8758	8758
Energiapuupotentiaali	<i>Runkopuuta, %</i>	18	30	34	38	30
	<i>Latvusmassaa, %</i>	82	70	66	62	70
	Energiasisältö, TWh/a	17,76	17,46	17,48	17,29	17,50
<b>II</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	4401	4476	4484	4563	4481
Kestävät	<i>Runkopuuta, %</i>	6	7	9	15	9
hakkuu-	<i>Latvusmassaa, %</i>	94	93	91	85	91
mahdollisuudet	Energiasisältö, TWh/a	9,05	9,22	9,24	9,47	9,24
<b>III</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	4133	4107	3723	3837	3950
Potentiaaliset	<i>Runkopuuta, %</i>	6	9	13	20	12
hakkuu-	<i>Latvusmassaa, %</i>	94	91	87	80	88
mahdollisuudet	Energiasisältö, TWh/a	8,50	8,45	7,63	7,90	8,12
<b>IV</b>	Energiapuuta, 1000 m <sup>3</sup> /a	1032	1188	1411	2219	1463
Lamavuosien	<i>Runkopuuta, %</i>	6	6	5	6	6
hakkuut	<i>Latvusmassaa, %</i>	94	94	95	94	94
	Energiasisältö, TWh/a	2,12	2,45	2,91	4,57	3,01











ISBN 951-40-1528-2  
ISSN 0358-4283