

Metsäenergia

Toimittanut Pentti Hakkila



Metsäenergia

Toimittanut Pentti Hakkila

Metsäntutkimuslaitos — Metsänkasvatuksen tutkimusosasto

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422

Helsinki 1992

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Hakkila, P. (toim.) 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s. ISBN 951-40-1236-4. ISSN 0358-4283.

Metsäntutkimuslaitoksen metsänkasvatuksen tutkijoiden laatimassa katsauksessa tarkastellaan metsäenergian mahdollisuuksia ja merkitystä Suomessa. Perinteistä polttopuuta käytetään vain 4 milj. m³/a. Kun myös metsäteollisuuden kuori, jätepuu ja jäteliemi otetaan huomioon, puuperäisten polttoaineitten vuotuinen kokonaiskäyttö vastaa peräti 25 milj. m³ puuta. Metsäntutkimuslaitoksen inventointitiedot ja tutkimustulokset osoittavat, että edellisen lisäksi ainakin 10 milj. m³ pienpuuta ja päätehakkuualojen hakkuutähdettä on valjastettavissa vuosittain energian tuotantoon metsäteollisuuden raaka-ainehuollon vaarantumatta.

Näin suuri lisäys puun energiakäytössä säästäisi vuosittain fossiilipolttoaineita lähes 2 milj. öljytonnin edestä, vähentäisi vastaavasti ilmakehän hiilidioksidin ja rikkipäästöjä, nostaisi puuperäisen energian osuuden primaarienergian kokonaiskäytössä 14 %:sta 20 %:iin ja elvyttäisi maaseudun työllisyyttä yksinomaan puun hankintavaiheen osalta 6800 työvuodella. Pitkällä tähtäyksellä suurin hyöty koituisi kuitenkin metsien kestävyydelle ja metsätaloudelle, sillä pienpuun menekki antaisi mahdollisuuden hoitaa taimikot ja nuoret ensiharvennuskasvatukset ajallaan hyvän metsänhoidon edellyttämällä tavalla. Mikäli nuorten metsien harvennuksista pienikokoisen puun kysynnän puutteessa joudutaan luopumaan, metsätalouden nettotulot supistuvat, tulevien sukupolvien metsäperinnön tuottoarvo alentuu, luonnonpoistuman osuus kasvaa ja metsien elinvoimaisuus kärsii.

Avainsanat: metsäenergia, polttopuu, pienpuu, hakkuutähdet, harvennushakkuut.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hyväksynyt: Jari Parviainen, tutkimusjohtaja 18.8.1992.

Kirjoittajien yhteystiedot: *Pentti Hakkila, Kari Mielikäinen & Jari Parviainen*: Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki. Puhelin 90-857051. Fax 90-625308. *Ari Ferm*: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus. Puhelin 968-71161. Fax 968-71164.

Jakelu: Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki. Puhelin 90-857051. Fax 90-625308.

Gummerus Kirjapaino Oy
Jyväskylä 1992

Sisällys

Esipuhe	4
Yhdistelmä	5
1. Markkinakelvottoman puun ongelma	7
2. Puu Suomen energiataaseissa	9
3. Metsänkasvatuksen tavoitteiden muuttuminen	12
4. Metsiemme kasvu ja poistuma	13
41. Runkopuu	13
42. Latvusmassa	14
43. Hakkuun rakenteen vaikutus metsien tilaan	16
5. Metsiemme energiareservi	20
51. Teollisuuspuun ylijäämä	20
52. Markkinakelvoton pienpuu ja metsätähde	21
53. Energiapuun kasvattaminen luonnonvesakoissa	23
54. Energiapuun kasvattaminen viljelmillä	23
55. Metsätalouden energiapotentiaali	26
6. Metsäenergian käyttökohteet	28
61. Maatilat ja pientalot	28
62. Pienet hakelämpölaitokset	29
63. Suurteollisuus	31
7. Puun energiakäytön hyödyt	37
71. Metsien elinvoimaisuuden ja tuottokunnon ylläpitäminen ..	37
72. Työpaikoista elinvoimaa maaseudulle	39
73. Hiilidioksidipäästöjen sitominen	42
8. Korkea kustannustaso puun energiakäytön esteenä	45
81. Energiapuun hankintakustannukset	45
82. Energiapuun käyttöä edistäviä toimenpiteitä	47
Kirjallisuutta	51

Alkuvuodesta 1992 pienpuuongelma ja puun energiakäyttö nousivat jälleen yhtäkkisesti julkiseen keskusteluun. Käänteeseen keskeisiä syitä ovat metsien vajaakäyttö ja metsäteollisuuden syvä kustannuskriisi, joitten seurauksena ensiharvennusleimikot ovat jäämässä markkinakelvottomina hakkuutoiminnan ulkopuolelle. Puun korjuun koneellistumiskehitys sekä talouselämän lama ovat samaan aikaan kasvattaneet maaseudun työttömyyttä. Kun ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvu ja kasvihuoneilmaston kiihtyminen on tiedostettu yleisesti, metsäbiomassan energiakäyttö fossiilipolttoaineitten vaihtoehtona on saamassa osakseen ymmärtämystä ja kannatusta.

Mielipiteitten vaihto energiapolitiikan linjaratkaisuista ja samalla myös metsäenergian painoarvosta on ollut kesällä 1992 vilkasta. Erilaisten laskelmien lähtökohtana ovat usein Metsäntutkimuslaitoksen tutkimustulokset ja puuvarojen inventointitiedot, mutta niitä ei ole aina tulkittu oikein. Siksi on nähty tarpeelliseksi käyttää puheenvuoro metsätalouden mahdollisuuksista uusiutuvan energian tuottajana sekä biomassan energiakäytön merkityksestä ympäristölle, metsien elinvoimalle ja yhteiskunnalle. Metsäntutkimuslaitos haluaa tuoda esiin nimenomaan metsätalouden näkökulman.

Katsauksen kirjoittajina ovat Kannuksen tutkimusaseman johtaja Ari Ferm (luvut 53 ja 54), professori Kari Mielikäinen (luvut 3, 41, 43, 51 ja 71), tutkimusjohtaja Jari Parviainen (luku 73) sekä professori Pentti Hakkila (luvut 1, 2, 42, 52, 55, 6, 72 ja 8), joka viimeksi mainittu on myös julkaisun toimittaja. Kirjoittajat ovat saaneet Metsäntutkimuslaitoksessa arvokasta apua lukuisilta henkilöiltä, joista he haluavat aivan erityisesti kiittää Mauno Pesosta ja Markku Siitosta simulointilaskelmista, Matti Kannista piirroksista, Hannu Kalajaa valokuvista sekä Maija Tuuria konekirjoitus- ja toimitustyöstä.

Helsingissä, elokuussa 1992

Ari Ferm

Pentti Hakkila

Kari Mielikäinen

Jari Parviainen

Yhdistelmä

Suomessa käytetään energian tuottamiseen vuosittain 4 milj. m³ varsinaista polttopuuta sekä 21 milj. puukuutiometriä vastaava määrä metsäteollisuudessa jätteeksi jäänyttä kuorta, purua, muuta puujätettä ja selluteollisuuden jätelientä. Näin lähes puolet metsistämme korjatusta biomassasta päätyy lopulta energiakäyttöön. Puuperäisen energian osuus primaarienergian kokonaiskulutuksesta on Suomessa lähes 14 % eli enemmän kuin missään muussa teollistuneessa maassa maailmassa.

Metsävarojemme runsaus antaa mahdollisuuden puunkäytön tuntuvaan laajentamiseen nykytasolta. Runkopuun kasvu on 79 milj. m³ vuodessa mutta hakkuukertymä vain noin 50 milj. m³ ja kokonaispoistuma hakkuutähteet ja luontainen kuolleisuus mukaan lukien noin 55 milj. m³/a. Kun metsäteollisuus rakentaa uutta jalostuskapasiteettia kotimaahan vain hitaasti ja metsien kasvu edelleen paranee, runsaasti runkopuuta ja sen ohella myös latvussmassaa olisi käytettävissä energian tuottamiseen.

Metsien kasvun ja puun käytön epäsuhde on johtamassa tilanteeseen, jossa pienikokoinen harvennuspuu muuttuu pysyvästi markkinakelvottomaksi. Metsien kehitykselle keskeisen tärkeät taimikonhoito ja ensiharvennus uhkaavat jäädä kokonaan tekemättä. Silloin puuston järeyskehitys hidastuu, metsien elinvoima kärsii, luonnonpoistuma lisääntyy, puutavaralajirakenne muuttuu epädulliseen suuntaan, korjuun kustannukset kohoavat ja tulevien sukupolvien metsäperinnön tuottoarvo laskee.

Oikea-aikaisten harvennushakkuitten merkitys metsätaloudelle voidaan ennustaa vaihtoehtolaskelmilla, joissa Suomen metsistä hakataan 40-vuotisen suunnittelujakson aikana vuosittain joko 55 milj. m³ puutavaraa pelkästään päätehakkuin tai vaihtoehtoisesti 55 milj. m³ päätehakkuin ja lisäksi 10 milj. m³ harvennushakkuin. Harvennuksiin turvautuva toimintamalli lisää ja aikaistaa metsätalouden nettotuloja pysyvästi. Vaikka harvennushakkuut lisääisivät puutavarakertymää koko jaksolla yhteensä 400 milj. m³:llä, Suomen metsien tuottoarvo olisi vuonna 2030 harvennusten ansiosta kuitenkin 10–15 % korkeampi kuin yksipuolisessa päätehakkuvaihtoehdossa. Harvennushakkuitten vaihtoehto turvaa parhaiten metsien monimuotoisuuden ja pitkäjänteisen kestävyuden.

Kun kaikkea tarjolla olevaa puuta ei kyetä käyttämään metsäteollisuuden raaka-aineena, pienikokoisen puun menekki vaikeudet ja niistä aiheutuvat metsänhoidolliset ongelmat tulisi ratkaista puun energiakäytön avulla. Vuosittain olisi varmuudella tarjolla ainakin 10 milj. m³ ylimääräistä polttopuuta, josta esimerkiksi 7

milj. m³ koostuisi pääasiassa kokopuumenetelmin korjatuista pienistä rungoista oksineen ja 3 milj. m³ päätehakkuaaloille jäävästä neulasettomasta latvusmassasta ja hukkarunkopuusta. Tämän markkinakelvottoman puun talteenotto tuottaisi muun muassa seuraavia hyötyjä:

- taimikonhoitotyöt ja ensiharvennukset tulisivat tehdyiksi asianmukaisesti ja ajallaan. Metsät säilyisivät elinvoimaisina ja tuottavina. Kokopuuna korjuukaan ei vaaranna metsämaan ravinnetaloutta, kun neulasten poiskulkeutumista rajoitetaan
- fossiilipolttoaineitten käyttöä voitaisiin supistaa lähes 2 milj. öljytonnia vastaavalla määrällä ja nostaa energiankäytön kotimaisuusastetta kuudella prosenttiyksiköllä
- metsureille, koneenkuljettajille, koneyrittäjille, omatoimisille metsänomistajille ja työnjohdolle tarjoutuisi niin paljon lisätyötä, että se pelkästään puun hankinnan osalta vastaisi 6800 työvuotta. Rakenusvaiheen ja lämpölaitosten työt sekä välilliset kerrannaisvaikutukset huomioon ottaen uudet työtilaisuudet vastaisivat 15 000–20 000 työvuotta
- energiatalouden haitalliset päästöt ilmakehään supistuisivat merkittävästi, sillä kestäväällä pohjalla harjoitettu metsätalous sitoo puun poltossa vapautuneen hiilen takaisin uusiutuvaan biomassaan. Rikkiä on puubiomassassa vähän

Suomessa puun kilpailukyky fossiilipolttoaineitten vaihtoehtona on korkeista korjuukustannuksista ja kalliista laitosrakenteista johtuen kuitenkin heikko. Esimerkiksi Ruotsissa ja Tanskassa puupolttoaineitten kilpailuasema on ratkaisevasti parempi, sillä fossiilipolttoaineille on sälytetty raskaita haittamaksuja. Kun edellytykset metsäenergian käytön laajenemiselle ovat Suomessakin muutoin poikkeuksellisen hyvät, yhteiskunnan tulisi nykyistä määrätietoisemmin edistää puun energiakäyttöä sekä talous- ja yhteiskuntapoliittisilla ratkaisuilla että toisaalta pitkäjänteistä tutkimus- ja kehitystyötä tukemalla.

Siinäkin tapauksessa, että polttoaineitten kilpailutilanne yhteiskunnan toimenpiteitten tai kansainvälisen kehityksen seurauksena muuttuu puun energiakäyttöä suosivaksi, mainitun 10 milj. m³:n lisäkäytön löytäminen polttopuulle tulee olemaan vaikeaa ja vaatii energiatalouden pitkäjänteisyyden vuoksi runsaasti aikaa. Maatilat ja pientalot tuskin voivat lisätä polttopuun käyttöä yhteensä enempää kuin miljoonalla m³:llä vuodessa. Samoin pienten alueellisten hakelämpölaitosten lisäkäyttömahdollisuudet näyttävät parhaassakin tapauksessa jäävän alle miljoonan m³:n vuodessa. Muilta osin lisäkäyttö tulisi löytää metsä- tai muun suurteollisuuden piiristä, jolloin painopistettä olisi voimakkaasti siirrettävä lämmön tuotannosta sähkön tuotantoon. Toisena suurtuotannon kohteena saattaisi myöhemmin tulla kysymykseen ympäristöystävällisten nestemäisten polttoaineitten valmistaminen puubiomassasta liikenteen käyttöön.

1. Markkinakelvottoman puun ongelma

Kestävä, hyvä ja monimuotoinen metsänhoito on mahdollista vain oloissa, joissa laadukkaan ja järeän puun ohella myös heikkolaatuisella ja pienikokoisella puulla on kysyntää. Pienpuun riittämätön menekki muodostuu helposti järkipärisen metsänhoidon esteeksi (kuva 1).

Ongelmaan kiinnitettiin vakavaa huomiota jo 1930-luvulla, jolloin tehtiin komiteaehdotus järjestelmällisen pienpuututkimuksen käynnistämiseksi Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa koivu- ja mäntypinotavaran teollisen käytön vauhdittamiseksi. Suunnitelma ei kuitenkaan johtanut tulokseen, sillä sodan syttyessä metsänhoidon harjoittamiselta romahti pohja.

Kun Suomi 1950-luvulla sai mahdollisuuden elvyttää talouselämänsä ja ryhtyi kehittämään metsätaloutta, pienpuuongelma osoittautui jälleen metsänhoidon riippakiveksi. Perustettiin Pienpuualan Toimikunta tavoitteenaan havuohutpuun ja lehtipuisen pinotavaran polttoainekäytön edistäminen. Vuosikymmenen lopulla öljy alkoi kuitenkin syrjäyttää puupolttoaineita, jolloin ohjelmaa tarkistettiin siten, että pienpuun polton sijasta tavoitteeksi tuli käyttö raaka-aineena. Uusi teknologia mahdollistikin 1960-luvun alkupuolella myös koivun käytön kuituteollisuudessa. Ongelma näytti olevan väistymässä, ja toimikunta lakkautettiin.

Kiinnostus pienikokoiseen puuhun ja metsätähteeseen virisi uudelleen jo 1970-luvun alussa, jolloin metsäteollisuuden puun- tarve näytti ylittävän hakkuumahdollisuudet. Sen hetken ongelmana ei siis ollut heikkolaatuisen puun riittämätön menekki vaan päinvastoin lisäraaka-aineen löytäminen massa- ja levyteollisuudelle, jolle puupulan pelossa oli asetettu laajennusrajoituksia. Metsäntutkimuslaitoksen johdolla toteutettiin oksa-, latva-, kanto- ja juuripuun hyödyntämiseen tähdännyt yhteispohjoismainen tutkimusohjelma, jonka herättämien virikkeitten pohjalta Suomen ja Ruotsin metsäteollisuus toteutti mittavia kehityshankkeita. Kun runkopuun saatavuus alkoi tehostuneen metsänhoidon ansiosta pian jälleen parantua, pyrkimys heikkolaatuisen marginaaliraaka-aineen jalostuskäyttöön sai kuitenkin väistyä.

Pienpuun hyödyntämisen ongelmat tulivat jälleen ajankohtaisiksi 1970-luvun jälkipuoliskolla, sillä vajaatuottoisten lehtipuun- metsien uudistaminen ja toisaalta nuorten metsien ensiharvennuk-



Kuva 1. Pienpuun riittämätön menekki vaikeuttaa metsänhoitoa. Kasvun elvyttämiseksi nuoret kuuset tulisi vapauttaa harmaalepän varjostuksesta (kuva P. Hakilla).

set alkoivat kustannustason kohotessa vaikeutua. Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistettiin SITRAn ja Suomen Akatemian rahoituksella laaja tutkimushanke, jossa ensi kerran puun pieneen kokoon liittyvät teknis-taloudelliset ongelmat pyrittiin ratkaisemaan joukkokäsittelyllä kokopuuhaaketuksen kautta. Hanke joudutti pienikokoisen puun korjuu- ja käyttötekniikan kehitystä, mutta käyttömäärät jäivät edelleen vaatimattomiksi.

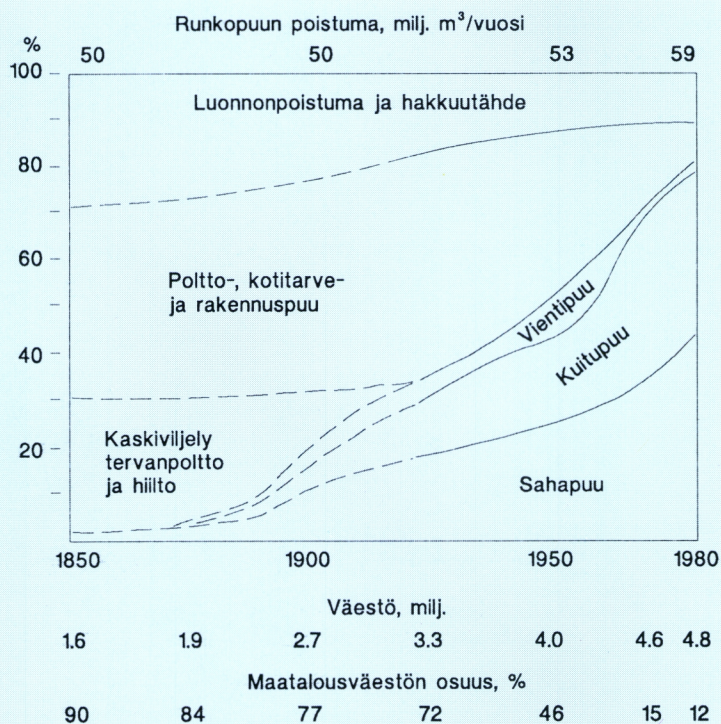
Vuosien 1973 ja 1979 energiakriisit paljastivat tuontiöljyyn nojautuvan energiataloutemme haavoittuvuuden. Valtioneuvoston vahvistaman energiapoliittisen ohjelman keskeisiksi tavoitteiksi tulivat energian säästö ja kotimaisuusasteen kasvattaminen. Metsäntutkimuslaitos käynnisti PERA-projektin, jolla pyrittiin edistämään kotimaisen energian tuottamista markkinakelvotonta pienpuuta hyödyntäen ja myös kasvattamalla biomassaa nimenomaan energiakäyttöön. Kun öljyn hinta 1980-luvun puolivälissä kääntyi laskuun ja teollisuuden raakapuun kysyntä toisaalta säilyi korkeana, pienpuuongelma menetti jälleen ajankohtaisuutensa ja tutkimuksenkin rahoitus ehtyi. Sen jälkeen metsäenergiatutkimus on elänyt Metsäntutkimuslaitoksessa säästöliekillä, mutta tuntuu muualla tapahtuvaan tutkimukseen on voitu säilyttää osallistamalla Kansainvälisen Energiajärjestön IEA:n bioenergiaohjelman yhteistutkimuksiin.

2. Puu Suomen energiataaseessa

Puun vuotuinen poistuma Suomen metsistä lienee jo viime vuosisadan puolivälissä noussut 50 milj. m³:iin eli lähelle nykyistä tasoaan. Rakenteeltaan poistuma oli perin erilainen kuin tämän päivän teollistuneessa Suomessa. Kotitarve-, rakennus- ja polttopuu kuluttivat yhteensä 40 % sekä tervanpoltto, hiilto ja kaskeaminen yhteensä 30 % kaikesta puusta. Luonnonpoistuma ja hakkuutähteet veivät nekin lähes 30 % poistumasta, mutta teollisuuspuun osuus oli vain 2 % (kuva 2). Nykyisin kiinteistöjen poltto- ja muun puun osuus on enää 7 % sekä luonnonpoistuman ja hakkuutähteen yhteensä 11 % kokonaispoistumasta. Kaikki loppu eli 82 % on teollisuuspuuta.

Energian tarve tyydytettiin aikaisemmin lähes kokonaisuudessaan puuta polttamalla. Vielä toisen maailmansodan kynnyksellä

Kuva 2. Runkopuun poistuma Suomen metsistä vuodesta 1850 lähtien (Kuusela 1984).

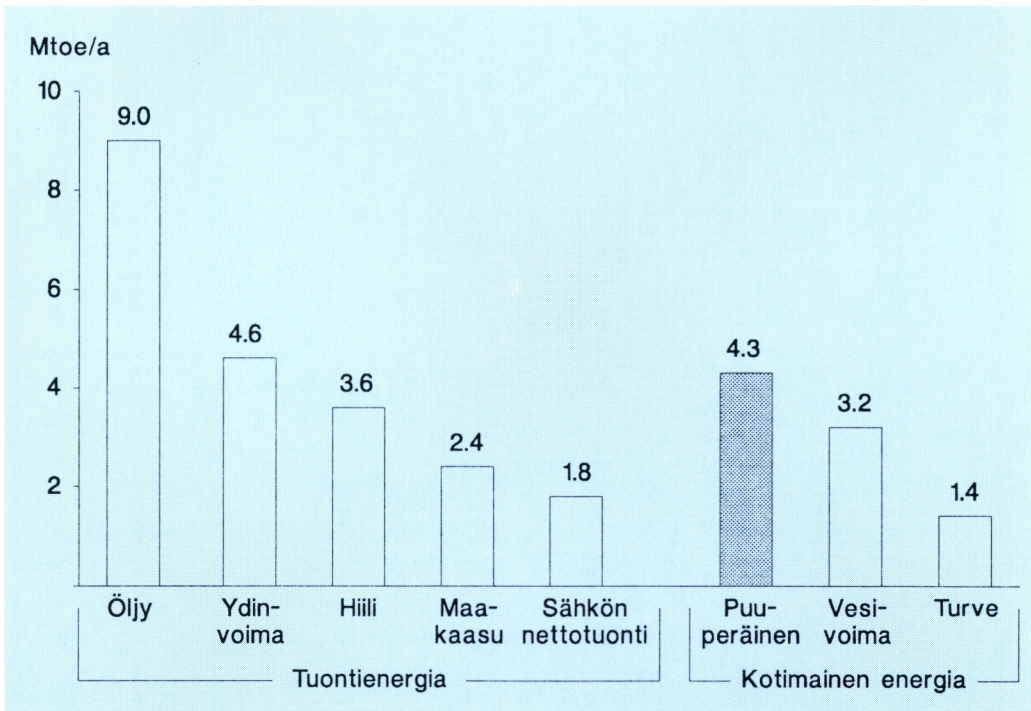


80 % primaarienergiasta kehitettiin puuperäisillä polttoaineilla, lähinnä halolla. Sodan aikana Suomi jäi pelkästään kotimaisen energian varaan, jolloin myös rauta- ja maantieliikenteen polttoaine oli otettava puusta. Halon kulutus nousi tuolloin 21 milj. m³:iin vuodessa.

Sotien jälkeen sekä teollisuuspuun että energian kulutus kasvoivat nopeasti, ja niin polttopuuta oli ryhdyttävä korvaamaan ulkomaisilla energialähteillä. Maamme energiaomavaraisuus kääntyi jyrkkään laskuun, mutta vielä vuonna 1960 primaarienergian kokonaiskulutuksesta 45 % tyydytettiin puuperäisillä polttoaineilla. Kun koivupinotavarastakin tuli kuituteollisuudelle kelvollista raaka-ainetta, puuperäisten polttoaineitten osuus supistui vuoteen 1970 mennessä 24 %:iin ja vuoteen 1980 mennessä edelleen 14 %:iin energian kokonaiskulutuksesta, millä tasolla se on edelleenkin.

Sen jälkeen kun yleismaailmallinen energiakriisi vuonna 1973 osoitti Suomen tulleen vaarallisen riippuvaiseksi tuontienergiasta, valtiovallan tavoitteena on ollut energian säästö ja kotimaisuusasteen kasvattaminen. Koska vesivoima on jo otettu käyttöön lähes kokonaisuudessaan, kotimaisuusastetta voidaan nostaa lähinnä puun ja turpeen käyttöä lisäämällä. Määrätietoisen kehitysohjelman tuloksena turpeesta onkin tullut kilpailukykyinen polttoaine, ja sen korjuumäärä on noussut vain 0,5 milj. m³:n tasolta vuonna 1970 jo 16 milj. m³:n tasolle vuonna 1990 vastaten energiasisällöltään 1,4 milj. öljytonnia eli lähes 5 % maamme energian kulutuksesta.

Kuva 3. Primaarienergian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 1991 (Energia-katsaus 1 1992).



sesta. Turpeen energiapotentiaali on Suomessa niin mittava, että suurtuotantoon soveltuvaksi luokitellun 300 000 ha:n suoalan 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 tulevaisuudessa uudelleen valjastaa turpeen tuotantoon.

Toinen kotimainen polttoaine, puu, sen sijaan on uusiutuva. Vaikka kansantalouden kannalta sinänsä olisi edullisinta käyttää mahdollisimman paljon puuta metsäteollisuuden raaka-aineeksi korkealuokkaisten vientituotteitten valmistamiseen, metsiin kuitenkin jää ylen määrin puuta, jolle ei ole näköpiirissä muuta käyttöä kuin poltto. Perinteistä polttopuuta käytetään nykyisin vain noin 4 milj. m³ vuodessa. Energiakäyttöön ohjautuva teollisuuden jätepuu, kuori ja jäteliemi sen sijaan vastaavat peräti 21 milj. m³ polttopuuta, joten puuperäisten polttoaineitten vuotuinen kokonaiskäyttö on puuksi muunnettuna noin 25 milj. m³. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastojen mukaan niillä tuotettiin vuonna 1991 yli 4 milj. öljytonnia vastaava energiamäärä eli 13–14 % energian kokonaiskulutuksesta (kuva 3). Yhä edelleen puuperäisten polttoaineitten suhteellinen merkitys on Suomessa suurempi kuin missään muussa teollistuneessa maassa.

3. Metsänkasvatuksen tavoitteiden muuttuminen

Vuosisadan vaihteessa metsämme olivat kaskeamisen ja tervanpolton sekä sahatukkien poimintahakkuitten jäljiltä heikossa tuotokunnossa. Vuoden 1928 yksityismetsälaki kielsi metsänhävityksen, mutta hakkuut kohdistuivat edelleen parhaimpiin puihin. Ylihakkuut ja puupula olivat yleisenä huolenaiheena.

Pelko metsien loppumisesta oli suuri vielä 1950-luvulla, sillä metsäteollisuus laajeni ja puun menekki oli hyvä. Kun metsätalouden kannattavuus kohentui, alettiin panostaa metsien hoitoon. Soita ojitettiin, vajaatuottoisia metsiköitä uudistettiin ja taimikoita hoidettiin. Harvennuksissa alettiin kiinnittää tarkempaa huomiota jätettävän puuston määrään ja laatuun.

Metsien hoidon tavoitteeksi tuli vähitellen ”mahdollisimman paljon, mahdollisimman arvokasta”. Pääasialliset keinot ovat uudistaminen viljellen, taimikoiden hoito ja harvennushakkuut tuotostutkimusten perusteella laadittuja malleja noudattaen. Taimikon hoidolla on varmistettu parhaiden puiden varttuminen laadukkaaksi käyttöpuuksi. Harvennuksilla on edistetty puiden järeystymistä ja aikaistettu hakkuutuloja. Ensiharvennuksista saatavaa pienikokoista puuta on subventoitu edullisempien leimikoiden kustannuksella.

Laadun ja määrän tavoitteluun liittyy koko maan puuhoitoa ajatellen tällä hetkellä kaksi näkyvää ongelmaa. Kun taimikoita kasvatetaan laadun vuoksi tiheinä, puusto on ensiharvennuksen koittaessa pienikokoista, ja korjuukustannukset muodostuvat korkeiksi. Voimakkaasti harvennetut varttuneemmat metsiköt puolestaan tuottavat järeätä puuta yli sahateollisuuden tarpeen. Viljavimmilla kasvupaikoilla kuusikoita saattaa jopa uhata ylijäreystyminen. Siksi huomattava osa perinteisestä tukkipuusta ohjautunee tulevaisuudessa paperin tekoon, jolloin pienikokoisen kuitupuun kysyntä supistuu vastaavasti.

Metsänkasvatuksen periaatteet muuttuvat tulevaisuudessa. Syyt ovat osaksi taloudellisia liittyen metsävarojen runsauteen, ja ne johtavat helposti kaavamaisiin ja nykyistä voimakkaampiin hakkuisiin. Toisaalta taas ympäristömuutokset, metsäluonnon suojeleminen, monimuotoisuuden ja elinvoimaisuuden säilyttäminen sekä monikäytön korostuminen luovat paineita päinvastaiseen suuntaan eli entistä pienpiirteisempään metsänhoitoon.

4. Metsiemme kasvu ja poistuma

41. Runkopuu

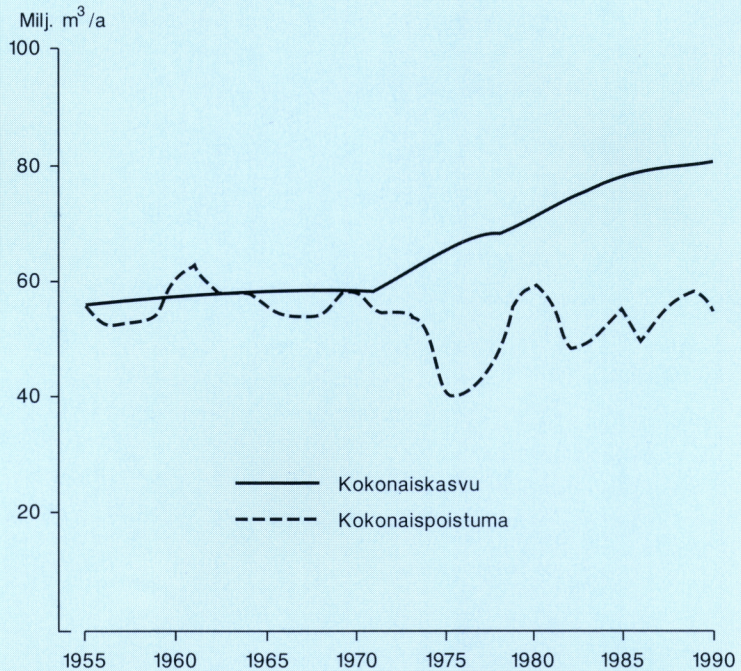
Maailman pitkäaikaisin tutkimuspohjainen tieto metsävarojen kehityksestä löytyy Suomesta. Ensimmäinen valtakunnan metsien inventointi valmistui Metsäntutkimuslaitoksessa professori, sittemmin akateemikko Yrjö Ilvessalon johdolla vuonna 1923. Nyt maamme metsiä arvioidaan jo kahdeksatta kertaa. Mittausten pääasiallinen kohde on kuorellinen runkopuu, joka jaotellaan puulajeittain tukkipuuhun, kuitupuuhun ja käyttöpuuksi kelpaamattomaan hukkupuuhun. Toiminnan laajuutta kuvaavat seuraavat yhtä inventointikierrosta edustavat luvut:

- 100 000 metsäistä koealaa
- 1 miljoona mitattua puuta
- 60 000 tarkkaan mitattavaa kasvukoepuuta
- 3000 toistuvasti mitattavaa pysyvää koealaa
- 40 mittaajaa vuosittain 5 kk:n ajan maastossa

Metsäinventoinnin menetelmissä on tapahtumassa käänteentekevä muutos. Aiemmin tiedot saatiin noin 10 vuoden välein useiden pitäjien kokoisia suuralueita edustavina. Lähivuosina satelliittikuvien ja tietokoneen muistissa oleva tarkka karttatieto maastomittausten rinnalla mahdollistaa puuston reaaliaikaisen, hehtaarikohtaisen seurannan koko Suomen alueella. Tiedot voidaan myös paikantaa.

Runkopuun kasvu oli 1920-luvulta aina 1960-luvun loppuun lähes vakio eli 55 milj. m³/a, mutta viime vuosikymmenien aikana se on kääntynyt voimakkaaseen nousuun. Tämänhetkinen runkopuun kokonaiskasvu, 79 milj. m³/a, on peräti 44 % korkeampi kuin 1950-luvulla (kuva 4). Pääsyyinä kasvun lisääntymiseen on metsien hoidon tehostuminen. Yksistään yli 5 milj. suohehtaarin ojituksen arvioidaan lisänneen kasvua noin 10 milj. m³/a. Ikärakenteen nuortuminen yli-ikäisten metsien uudistamisen myötä sekä varttuneiden metsien tihentyminen selittävät valtaosan muusta kasvun noususta. Lannoitus, ilmasta sataneena laskeutunut typpi sekä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousu lisäävät kasvua niinikään, mutta niiden vaikutus arvioidaan selvästi edellisiä pie-

Kuva 4. Runkopuun kasvun ja kokonaispoistuman kehittyminen Suomen metsissä vuosina 1955–1990. Kokonaispoistuma sisältää myös luonnonpoistuman ja tähteeksi jäävän hukkarunkopuun (Metsätilastollinen Vuosikirja 1989).



nemmäksi. Tulevien vuosikymmenien uhkana ovat saasteet, mutta pahimmassakin tapauksessa ne alkavat vaikuttaa puun riittävyteen vasta vuosikymmenien viipeellä.

Runkopuun kokonaispoistuma, joka vielä 30 vuotta sitten ajoittain ylitti kasvun, on tällä hetkellä yli 20 milj. m³ pienempi kuin vuotuinen kasvu. Puusto siis lisääntyy viidessä vuodessa 100 milj. m³:llä eli lähes kahden vuoden hakkuita vastaavalla määrällä.

Vaikka kokonaispoistuma on edelleenkin 1960-luvun tasolla, teollisuuden puunkäyttö on kuitenkin lisääntynyt viimeisten 30 vuoden aikana yli 50 %. Tämän ovat mahdollistaneet puun polton jyrkkä väheneminen, raakapuun viennin korvautuminen tuonnilla sekä saha- ja vaneriteollisuuden jätetuun hyödyntäminen kuitu- ja levyteollisuuden raaka-aineena. Tällä hetkellä puuta tuodaan vuosittain runsaat 5 milj. m³, josta valtaosa on Venäjän Karjalan koivukuitupuuta. Kaukaisimmat kuitupuuerät saapuvat Etelä-Amerikasta saakka.

42. Latvusmassa

Kun puuta käytetään yksinomaan teollisuuden raaka-aineeksi, vain runkopuulla on arvoa, ja korjuussa jää hakkuualalle suuria määriä latvuksien ja juurakoitten biomassaa. Niin pian kuin metsäbiomassa hyväksytään laajamittaisemmin energialähteeksi, mark-

kinoille tulee latvusmassaa sisältäviä puutavaralajeja, jollaisia voivat olla esimerkiksi pienet karsimattomat puut eli kokopuu, edellisistä katkotut karsimattomat pätkät eli osapuu, kokopuusta tai osapuusta tehty kokopuuhake sekä päätehakkuualoille jääneistä oksista ja markkinakelvottomasta runkopuusta tehty hakkuutähdehake.

Latvusmassan määrä ja koostumus vaihtelevat puulajista, puuston koosta, metsikön tiheydestä ja kehityshistoriasta, maantieteellisestä sijainnista ja puuston terveydentilasta riippuen. Runkopuun määrään suhteutettuna latvusmassaa on eniten kuusileimikossa, yleensä 150–200 kg mutta ääritapauksissa jopa 300 kg kuivamassaa rungon kuorellista kuutiometriä kohti. Männyllä latvusmassaa on 80–160 kg rungon kuutiometriä kohti eli oleellisesti vähemmän kuin kuusella mutta toisaalta kuitenkin enemmän kuin koivulla. Koska puut ovat Pohjois-Suomessa lyhyitä ja tyvekkäitä ja niitten elävä latvus suhteellisen pitkä, pohjoisessa on etenkin varttuneissa metsissä latvusmassaa runkopuuhun verrattuna enemmän kuin etelässä.

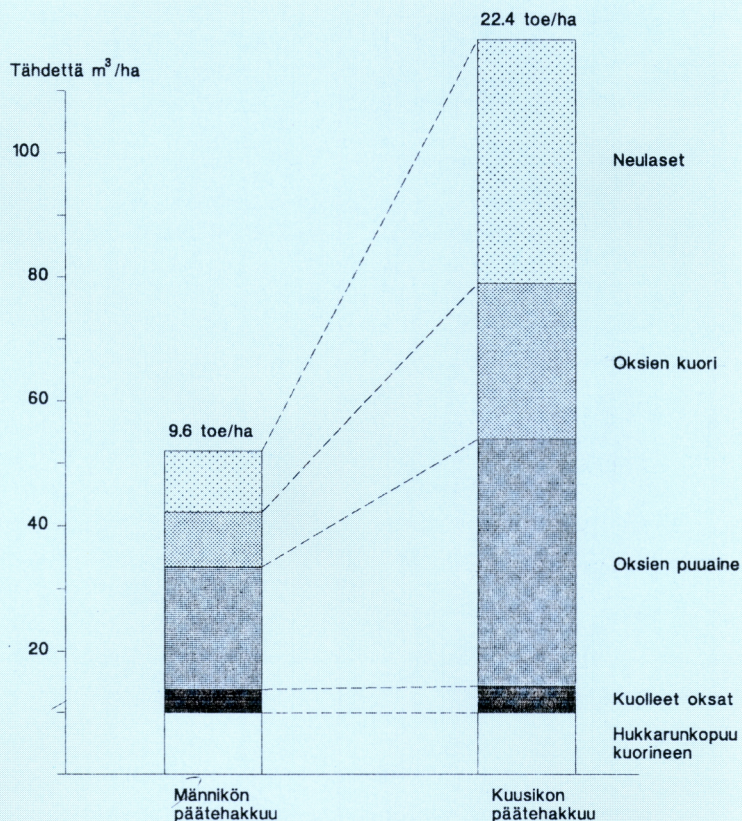
Latvusmassaa kertyy suhteellisesti eniten ensiharvennusleimikoista, joista poistettavat puut ovat kooltaan pieniä, elävän latvukosen osuus pitkä, lehtimassa runsas ja kuolleet alaoksat paljolti vielä karsiutumatta. Myöhäisissä harvennuksissa latvusmassan osuus on pienempi, sillä alaharvennusperiaatteen mukaan hakkuu kohdistuu selkeästi vallitun latvuskerroksen puihin. Varttuneen metsän päätehakkuussa latvusmassaa kertyy puitten järeytymisestä huolimatta taas runsaammin, kun myös tuuheat valitset puut joutuvat hakkuun kohteiksi. Seuraavat lukusarjat osoittavat latvukosen ja kuorellisen rungon kuivamassan suhteen Etelä-Suomessa:

	Ensiharvennusleimikot	Päätehakkuuleimikot
	Latvusmassa/runkomassa, %	
Männyksen oksat neulasineen	34	21
Kuusen oksat neulasineen	59	54
Koivun oksat lehdittä	21	16

Kun ensiharvennuksessa sovelletaan kokopuunakorjuun tekniikkaa ja poistettavan runkopuun määrä on tyypillisesti 40 m³/ha, on runkopuun ohella tarjolla latvusmassaa männikössä 14, kuusikossa 24 ja koivikossa 8 m³/ha. Vaikka osa latvusmassasta kokopuunakorjuussakin varisee kaadon ja kuljetuksen aikana pois, ainakin kaksi kolmannesta siitä on otettavissa talteen.

Päätehakkuuleimikoissa tähteen määrä on erityisesti kuusella suuri. Tähte koostuu pääosaksi latvusmassasta ja lisäksi jalostuskäyttöön kelvottomasta runkopuusta kuten latvakappaleista, hylkyölkistä ja alamittaisista puista. Puuston aikaisemmasta käsittelystä ja rakenteesta riippuen keskimäärin 4–5 % runkopuun kokonaismäärästä jää tähteeksi. Tyypilliselle päätehakkuualalle jää hakkuutähdettä männyllä yli 50 ja kuusella runsaasti yli 100

Kuva 5. Hoidetun männikön ja kuusikon päätehakuussa jäljelle jäävän hakkuutähteen määrä ja energisisältö Etelä-Suomessa, kun runkopuun poistuma on 200 m³/ha.



m³/ha. Sen energisisältö vastaa esimerkkitapauksessa 40 %:n kosteudessa männikössä 10 ja kuusikossa 22 öljytonnia hehtaarilla (kuva 5). Paikalleen jätettynä tähte vaikeuttaa liikkumista sekä uudistusalan muokkausta, kylvöä tai istutusta.

43. Hakkuun rakenteen vaikutus metsien tilaan

Metsien täysimääräinen kestävä hyödyntäminen merkitsee sitä, että talousmetsissä otetaan kaikki kasvava puusto käyttöön. Hakkuumahdollisuuksien vajaakäytöstä aiheutuva taloudellinen menetys rajoittuu lyhyellä tähtäyksellä metsänomistajan tulojen viivästymiseen, mutta pidemmän päälle puuston rakenne alkaa kehittyä epäedulliseen suuntaan. Kasvu hidastuu, luonnonpoistuma lisääntyy ja hakkuutulot alenevat.

Metsien hakkuumahdollisuudet ja käyttöaste vaihtelevat huomattavasti alueittain, puu- ja puutavaralajeittain sekä myös ajallisesti. Olkoonpa syy hakkuiden vähäisyyteen sitten tarjonnassa tai kysynnässä, käyttämättä jää herkimmin heikoimmin kannattava puutavara eli ensiharvennuspuu (kuva 6). Kun puun paksuus on



Kuva 6. Kun metsien kasvu ja puun tarjonta ylittävät käytön, ensiharvennusleimikot uhkaavat muuttua markkinakelvottomiksi (kuva E. Oksanen).

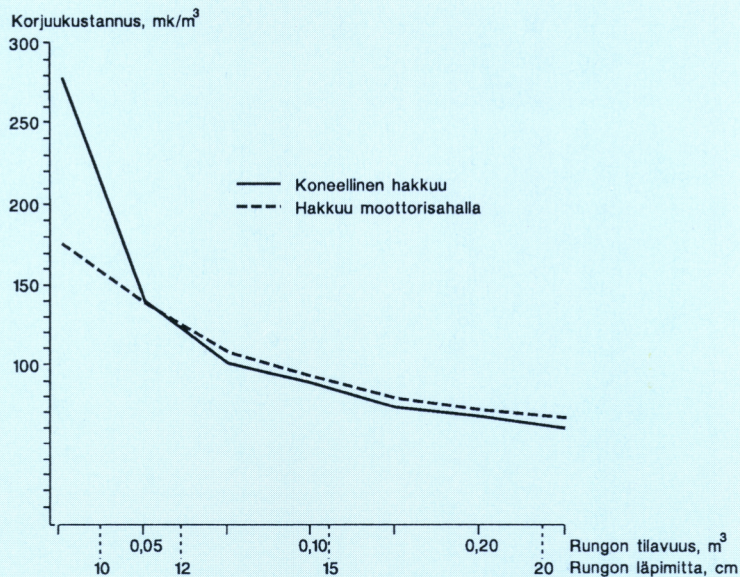
rinnankorkeudella alle 10–11 cm, korjuukustannukset pyrkivät nousemaan niin korkeiksi, ettei puutavaran arvo tehtaalla enää vastaa hakkuun ja kuljetuksen kustannuksia (kuva 7).

Metsänomistajan kannalta on tärkeitä, että kaikki markkinoille tarjottava puu käy kaupaksi. Muutoin häntä on vaikea motivoida panostamaan puun tuottamiseen. Tarjonnan ja kysynnän tasapainottamiseksi on joko lisättävä puunkäyttöä valtakunnan tasolla huomattavasti tai osan metsänomistajista on vapaaehtoisesti su-pistettava puun tarjontaa. Käytännössä ongelman ratkaisemiseen tarvittaneen molempia vaihtoehtoja.

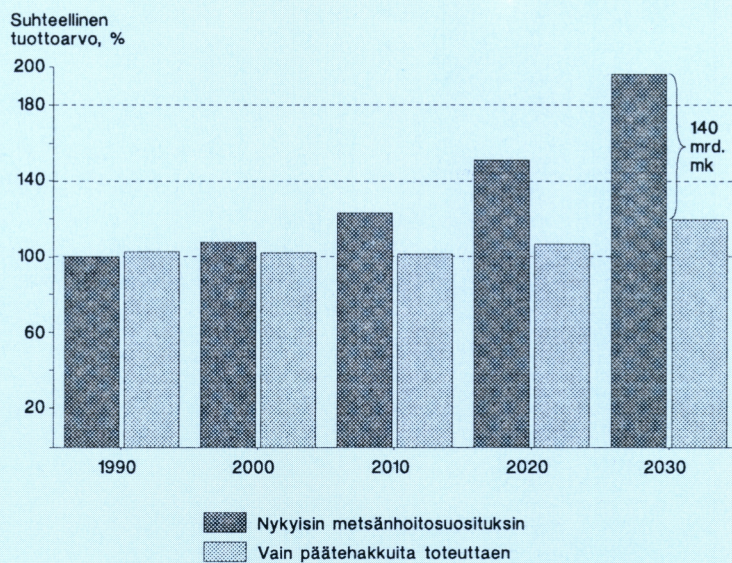
Helpoin tapa alentaa tuotantoa ja säästää kustannuksia on lyhyellä tähtäimellä metsänhoidon tasosta tinkiminen esimerkiksi uudistamisessa, taimikon hoidossa ja harvennuksissa. Menettely kustautuu kuitenkin vähitellen puusadon rakenteen heikentymisenä, korjuukustannusten kohoamisena sekä metsien kunnan rappeutumisenä. Entistä vapaampien markkinavoimien vallitessa nuorten ensiharvennusmetsiköiden hoito voidaan taata vain, kun metsien täysimääräinen hyödyntäminen on mahdollista.

Suomen metsien tulevan tuottokyvyn kannalta tilannetta valaisee simulointilaskelma, jossa hakkuukertymä oletetaan 55 milj. m³:ksi eli hieman nykyistä suuremmaksi. Simulointilaskelmassa toteutetaan kahta vaihtoehtoista hakkuuohjelmaa, joista kummankin tavoitteena on maksimoida metsien tuottoarvo eli vuoden 2030 jälkeen saatavat hakkuutulot. Nykyisiä metsänhoitosuosituksia noudattavassa metsänkäsittelyssä sovellettaisiin sekä harvennuksia että pätehakkuuta. Toisessa vaihtoehdossa sama määrä

Kuva 7. Rungon koon vaikutus korjuukustannuksiin kuusikon harvennuksessa käytettäessä miestyövaltaista ja täyskoneellistettua hakkuutekniikkaa. Puutavaran kustannusten varressa ilman kantohintaa (Harvennushakkuiden... 1992).

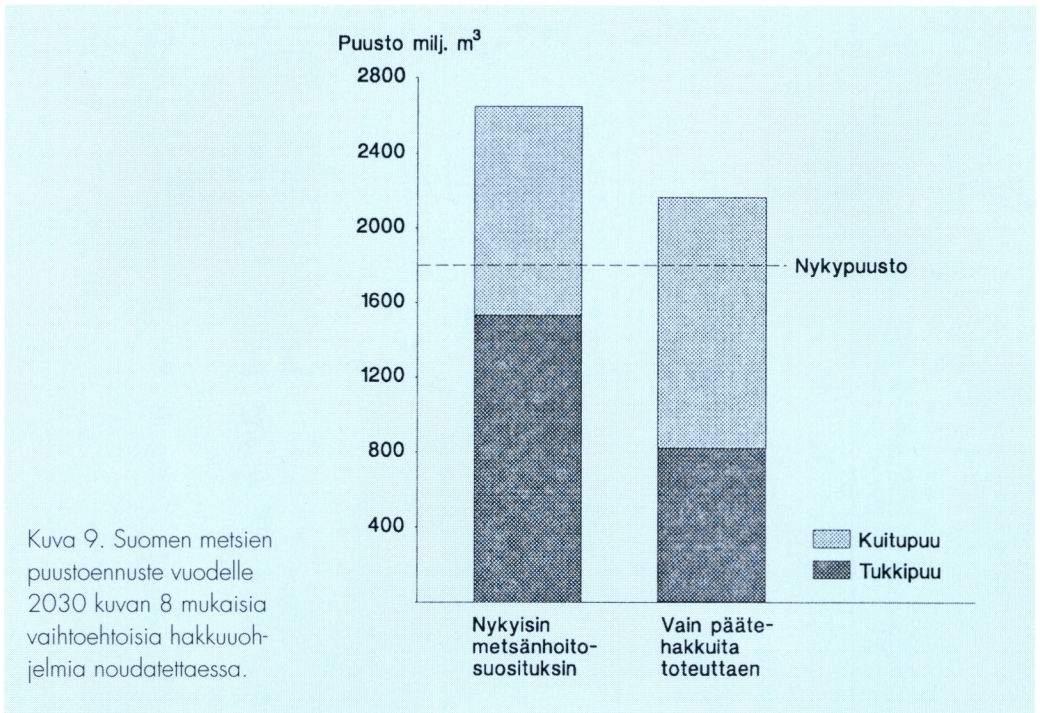


Kuva 8. Suomen metsien tuottoarvon kehittyminen vuosina 1990–2030 kahta hakkuuohjelmaa noudatettaessa. Vaihtoehtoina ovat nykyisiin metsänhoitosuosituksiin perustuva ohjelma sekä pelkästään päätehakkuita toteuttava ohjelma. Käyttöpuun kertymä on kummassakin tapauksessa koko suunnittelukauden ajan 55 milj. m³/a.



puuta korjattaisiin pelkästään päätehakkuita.

Laskelma osoittaa, että metsistämme on mahdollista hakata nykyisen suuruinen määrä puuta pitkälle tulevaisuuteen myös ilman harvennuksia. Aluksi harvennukset hylkäävän vaihtoehdon nettotulot olisivat jopa selvästi suuremmat, sillä päätehakkuita korjattava puu on harvennuspuuta järeämpää, mikä näkyy sekä hakattavan puun arvossa että korjuukustannuksissa. Vähitellen kuitenkin harventamattomuus alkaisi kostautua puuston lisäänty-



vänä kuolleisuutena, ylitheyden aiheuttamana järeytymisen hidastumisena ja korjuukustannusten kohoamisena. Tukkipuun määrä metsissämme laskisi 50 % ja puuston tuottoarvo yli 30 %. Vuonna 2030 metsävarojen arvo olisi nykyrahassa noin 140 miljardia markkaa alhaisempi, mikäli harvennuksia ei tehtäisi (kuva 8). Vuoteen 2030 mennessä harventamattomuus aiheuttaisi valtakunnan tasolla lähes 500 miljoonan kuutiometrin tuotostappion, joka nykytasolla vastaisi noin kymmenen vuoden hakkuupoistumaa (kuva 9).

5. Metsiemme energiareservi

51. Teollisuuspuun ylijäämä

Kotimaisen puun käyttö oli viime vuosikymmenen aikana vuosittain keskimäärin 50 milj. m³, josta teollisuuden osuus oli noin 43 milj. m³. Pitkän ajan puuntuotantolaskelmien mukaan Suomen metsien suurin kestävä kokonaishakkuumäärä on 1990-luvulla huomattavasti suurempi, 74 milj. m³/a (taulukko 1). Tästä 5,7 milj. m³ on runkohukkapuuta, joka pääasiassa koostuu hakattujen runkojen alle 6 cm:n latvaosista ja taimikonhoidossa maahan kaadetavista pienistä puista. Hakkuusuunnitteeseen sisältyy myös 2,8 milj. m³ rinnankorkeuslähimitaltaan alle 11 cm:n puuta, jonka korjuu teollisuuspuuksi ei ole nykykustannuksin kannattavaa. Koska teollisuus on äskettäin nostanut kuitupuun vähimmäisläpimitan 7 cm:iin, runkohukkapuun osuus on tosiasiasa suurempi ja alle 11 cm:n käyttöpuun osuus pienempi kuin taulukossa.

Hakkuusuunnitteesta on 37 milj. m³ eli puolet tukkipuuta. Sahateollisuus on parhaimmillaankin käyttänyt vain runsaat puolet tästä määrästä, ja viime vuosina sahatavaran tuotanto on supistunut. Tukkipuun runsaus nyt ja tulevaisuudessa sekä myös sahatavaran eurooppalainen kysyntä antavat mahdollisuuden sahatteollisuuden laajentamiseen, mutta siitäkin huolimatta huomattava osa järeästä puusta tulee ohjautumaan kuitupuuksi.

Taulukko 1. Suurimman kestävän vuotuisen hakkuumäärän arvio puulajeittain ja järeysluokittain 1990-luvulla. Hakkuumäärä = käyttöpuu + runkohukkapuu (Metsäntutkimuslaitoksen arkistotietoa).

Puun järeysluokka	Milj. m ³ /a	Mänty	Kuusi	Koivu	Haapa ja leppä	Kaikki puulajit
		%	%	%	%	%
Käyttöpuu:						
.... 10 cm	2,8	2,6	2,9	7,5	11,4	3,8
11–20 cm	16,5	17,6	22,5	33,4	31,6	22,3
21–30 cm	27,6	40,6	39,4	27,6	16,3	37,3
31 ... cm	21,4	34,1	30,7	13,2	12,9	28,9
Runkohukkapuu	5,7	5,1	4,5	18,3	27,8	7,7
Yhteensä, %		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Kaikki puu, milj. m ³ /a	74,0	32,7	27,6	11,0	2,7	
Tukkipuu, milj. m ³ /a	37,0	18,5	16,5	1,9	0,1	

Seuraavasta asetelmasta nähdään, miten tämä hakkuuohjelma vaikuttaisi Suomen metsävarojen kehitykseen. Vaikka hakkuupoistuma kohoaisi välittömästi 74 milj. m³:iin ja myöhemmin vielä lisää, 2030-luvulle mennessä vuosikasvu ylittäisi jo 100 milj. m³, ja hakkuupoistuma voitaisiin nostaa 88 milj. m³:iin.

	1995	2005	2015	2025	2035
Hakkuupoistuma, milj. m ³ /a	74,0	77,4	81,7	84,1	88,0
Kasvu, milj. m ³ /a	79,3	79,8	86,0	96,0	104,9

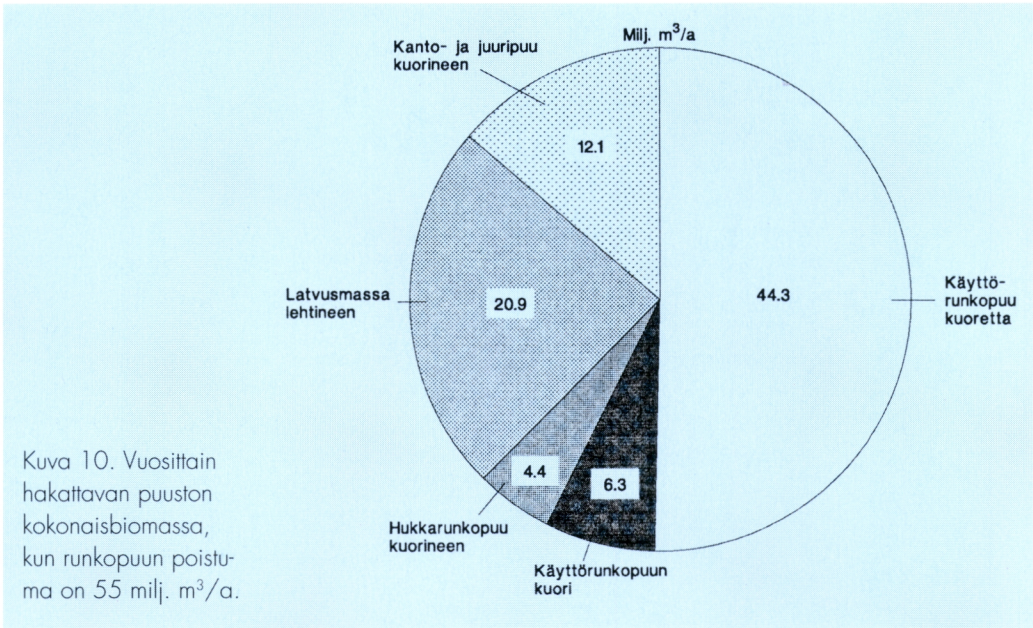
Valtakunnan metsien inventoinnin puuvaratietojen perusteella tehdyn laskelman toteutuminen luonnollisesti edellyttää, että esitetty puumäärä myös saataisiin metsästä markkinoille. Oletus ei ole realistinen siitäkään syytä, että kaikki metsänomistajat eivät ole valmiita suurimpaan kestävään hakkuumäärään. Keskimääräistä vähemmän käyttävät metsiään tutkimusten mukaan naismetsänomistajat, alle 10 ha:n pientilan omistajat sekä ne, jotka korostavat metsän virkistyskäyttöä.

Suomen metsistä on joka tapauksessa mahdollista hakata erittäin huomattava määrä puuta myös energiakäyttöön vaarantamatta metsätalouden kestävyyttä, teollisuuden puuhuoltoa, monikäyttöä tai ympäristön suojelua. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että mikäli teollisuuden kotimaisen käyttöpuun tarve säilyisi nykyisellään, teoreettisesti voitaisiin jopa kaikki suunnitteen mukaan hakattavat alle 21 cm:n rungot luovuttaa muuhun kuin jalostuskäyttöön. Alle 21 cm:n runkojen käyttöpuun ja hukkarunkopuun yhteismäärä on lähes 25 milj. m³ vastaten energiasisällöltään yli 4 milj. öljytonnia vuodessa.

52. Markkinakelvoton pienpuu ja metsätähte

Laatu- ja läpimittasyistä markkinakelvottomaksi luokiteltu pienpuu, runkohukkapuu ja oksat muodostavat metsiemme perinteisen energiareservin. Korjuutyömaille tähteksi jäävän latvusmassan, kanto- ja juuripuun sekä hukkarunkopuun määrä on hakkuitten nykytasolla 37 milj. m³/a (kuva 10). Sen energiasisältö on 7,0 milj. öljytonnia, mutta arvio on ymmärrettävä teoreettiseksi, sillä metsätähteen talteenotto on niin teknis-taloudellisista kuin ekologisistakin syistä näin laajana täysin mahdotonta. Esimerkiksi kanto- ja juuripuun talteenoton kustannukset ovat puun energia-arvoon nähden moninkertaiset.

Nykytilanteessa kun runkopuun hakkuupoistuma on 55 milj. m³/a, hakkuualoille jää 21 milj. m³ latvusmassaa, joka periaatteessa hyvin soveltuu polttoainekäyttöön. Sen lämpöarvo vastaa 3,9 milj. öljytonnia. Latvusmassan ja siihen sekoittuvan hukkarunkopuun talteenottomahdollisuudet ovat kuitenkin paljon pienemmät,



Kuva 10. Vuosittain hakattavan puuston kokonaisbiomassa, kun runkopuun poistuma on 55 milj. m³/a.

sillä käytännössä hakkuutähteen keruu on rajoitettava pätehakkuualoille, joilla työ voidaan koneellistaa.

Metsätutkimuslaitoksessa on tehty arvio sellaisesta hakkuutähteestä, joka teknisin ja ekologisin perustein voidaan korjuukelpoiseksi, vaikkei sen käyttöönotto nykytilanteessa ehkä olekaan kannattavaa. Koneitten siirtokustannusten kurissa pitämiseksi leimikon runkopuukertymän tulee olla vähimmäiskooltaan ainakin 300 mutta mieluummin 500 m³, ja esimerkiksi kivisyyden tai heikon kantavuuden vuoksi vaikeakulkuiset hakkuualat on jätettävä tähteitten keruun ulkopuolelle. Jotta tähteitten korjuu ei rasittaisi kohtuuttomasti metsämaan ravinnetasetta, talteenoton tulee lisäksi tapahtua viheraineetta, ja ekologisesti arimmat ravineköyhät kasvupaikat tulee jättää rauhaan. Olettaen, että korjuukohteiksi hyväksytyiltä aloilta saadaan talteen 65 % viheraineettomasta tähteestä, korjuukelpoisen hakkuutähteen määräksi saadaan 3,0 milj. m³/a vastaten lämpösisällöltään 0,6 milj. öljytonnia. Korostettakoon vielä, että näin laskettu arvio sisältää vain pätehakkuualoilta kerättävissä olevan latvusmassan ja hukkarunkopuun muodostaman tähteen mutta ei taimikonhoito- ja ensiharvennuskohdeista kokopuumenetelmin mahdollisesti korjattavaa karsimatonta pienpuuta, jonka mukana niinikään voidaan saada talteen latvusmassaa.

53. Energiapuun kasvattaminen luonnonvesakoissa

Vesametsätaloudessa metsä uudistetaan kannoista tai juurista syntyvien vesojen avulla. Menetelmän etuja ovat halvat kustannukset sekä lyhyt, alle 20 vuoden kiertoaika. Uudistamistavasta johtuen se soveltuu kuitenkin vain lehtipuille ja tuottaa etupäässä pienikoista puuta. Energiametsätoimikunta arvioi 1970-luvun lopussa, että peräti 750 000 ha:lla erilaisia metsä- ja joutomaita olisi mahdollista kasvattaa luontaisia, pääosin hieskoivun muodostamia vesametsiä energian lähteeksi.

Metsäntutkimuslaitoksessa ja Oulun yliopistossa 1980-luvulla tehdyn monipuolisen vesomisbiologisen tutkimuksen ja laajan kenttäkoetöiminnan perusteella koivun vesametsäkasvatusta ei ole kuitenkaan syytä suositella käytännön menetelmänä. Vesasilmuksen rakenteesta ja kehityksestä, juuriston kehityksestä sekä vesojen kasvutavasta ja tuhoalttiudesta johtuu, että koivumme eivät ole erityisen elinvoimaisia vesapuulajeja (kuva 11). Vesojen alkukehitys on hyvin vaaranalaista. Erityisesti jänisten, hirvien, peurojen ja porojen syönti tyrehtyttää helposti vesojen synnyn ja kasvun. Vesasyntyisten koivikoiden kehitys näyttää sitä paitsi hidastuvan aikaisemmin kuin siemensyntyisten. Sen sijaan harmaaleppä ja haavan vesametsäkasvatuksesta voidaan odottaa parempia tuloksia. Erityisesti harmaaleppä on osoittautunut hyväksi ja riskittömäksi vesojaksi, mutta näille puulajeille soveliaita kasvupaikkoja on verraten vähän.

Maatalouden ylituotanto-ongelmien vuoksi peltomaata on jäämässä pois viljelystä. Ylijäämäpeltoja metsitetään, siirretään ”non-food”-tuotantoon ja käytetään maisemointiin, mutta niitä jää myös suoranaisesti heitteille. Luontaisen metsittymisen seurauksena peltoheidot erityisesti Keski- ja Pohjois-Suomessa tuottavat jonkin verran energiapuuksi kelpavaa pajua, koivua ja harmaaleppää. Parhaimmillaan tällaisilta alueilta voidaan saada vesoista uudistuvaa energiapuuta 30–60 m³/ha ehkä joka kymmenes vuosi. Sijaintinsa kannalta peltoheidot ja maatalousmaahan rajoittuvat metsän reunavyöhykkeet ovat usein edullisia korjuukohteita.

54. Energiapuun kasvattaminen viljelmillä

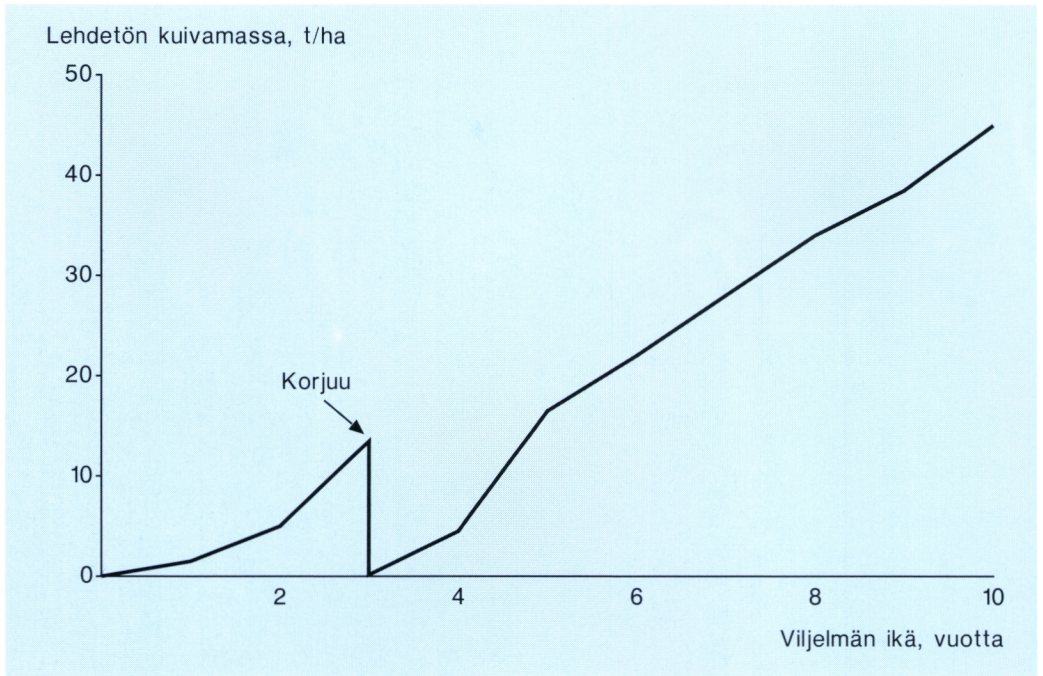
Lyhytkiertoviljelyssä käytetään voimaperäisiä tuotantomenetelmiä, jotka perustuvat vesoviin puulajeihin, suuriin kasvatustiheksiin ja lyhyisiin 4–6 vuoden kiertoaikoihin. Nykyisen tiedon perusteella viljelyyn soveltuvia lajeja ja lajikkeita voidaan löytää lähinnä pajujen ja mahdollisesti ehkä poppelien suvuista. Lyhytkiertoviljely tarjoaa mahdollisuuden siirtää peltoalaa energian tuotantoon ja siten supistaa maatalouden ylituotantoa.

Kuva 11. Pyyhkäisy-
elektronimikroskooppi-
kuva vesasilmuryhmäs-
tä koivun kannossa
(kuva A. Kauppi).



Lyhyen kiertoajan kasvatuksen perusteita on tutkittu Suomessa ja monissa muissa maissa melko kauan. Vanhimmat tutkimustulokset lyhytkiertoisien pajun tuotoksesta ja kasvatuksesta maassamme ovat jo 1910-luvulta. Erityisesti Ruotsissa mutta myös Suomessa niin sanotun energiapajun tutkimus oli erityisen aktiivista 1980-luvun alkupuolella, ja silloin saavutettujen tulosten ansiosta viljelmien perustamisen ja kasvatuksen menetelmät ovatkin varsin hyvin tiedossa. Ruotsissa on maataloustuotannosta vapautuneille pelloille perustettu valtion taloudellisella tuella jo 6300 ha energiapajuviljelmää, joista satoa on korjattu 250 ha:n alalta. Sen sijaan Suomessa tutkimus ei enää viime vuosina ole ollut kovin merkittävää, käytännön sovelluksista puhumattakaan.

Kasvatuskokeitten kehojen tulosten vuoksi on luovuttu ajatuksesta, että muuhun tuotantoon kelvottomia alueita, kuten vesijättömaita ja turvetuotantoalueiden pohjia, voitaisiin muuttaa tuottoisiksi energiapuun lyhytkiertoviljelmiksi. Kasvupaikkojen olisi oltava pikemminkin viljavia kivennäismaiden peltoja ja sijaittava suotuisissa ilmasto-oloissa. Ruotsissakin energiapajuviljelmät sijoittuvat lähinnä etelän viljaville peltomaille. Suomessa pajun lyhytkiertoviljely lienee mahdollista linjan Vaasa-Jyväskylä-Savonlinna eteläpuolella, missä tuottoisin laji on koripaju (*Salix viminalis*). Yleistämiskelpoisia tuotoslukuja ei ole käytettävissä, sillä tutkimukset on tehty suppeilla koelohjoilla ja osin epäedullisiksi osoittautuneilla lajikkeilla ja kasvupaikoilla. Korkeimmat julkaistut puubiomassan tuotosluvut liikkuvat tasolla 10–15 t/ha/a kuiva-ainetta, mutta keskimäärin tuotokset ovat jääneet merkittä-



Kuva 12. Esimerkki vesipajun kuivamassa-tuotoksesta 10 vuotta jatkuneessa kokeessa, jossa viljelmän hoito ei ole ollut erityisen tehokasta. Ensimmäinen sato korjattu 3 vuotta perustamisen jälkeen.

västi alhaisemmiksi (kuva 12). Käytännön viljelyksillä tuotos on lisäksi yleensä 10–50 % alhaisempi kuin samoilla menetelmillä ja samoissa oloissa hyvin hoidetuilla tutkimuksen koeruuduilla. Pitkäaikaisia, useita kiertoaikoja kattavia tuotostutkimuksia on maasamme tehty vähän.

Puubiomassan lyhytkiertoviljelyn taloudellisuuslaskelmat pohjautuvat vielä moniin epävarmoihin oletuksiin. Koska menetelmät ovat varsin voimaperäisiä, viljelyn vaatima energiapanos on korkea, kasvatusmenetelmistä ja erityisesti lannoituksen voimakkuudesta riippuen tuotettuun energiaan nähden ehkä 20–30 %. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että meidänkin ilmastoloissamme lyhytkiertoviljelyn tuotantopotentiaali voi olla hyvä, mutta tuottoisa viljelyala rajoittunee enintään joihinkin kymmeneen tuhansiin hehtaareihin. Mikäli lyhytkierroista puubiomassaa alettaisiin tuottaa käytännön mitassa, ongelmia olisi odotettavissa varsinkin:

- puulaji-, lajike- ja kloonivalinnassa
- pistokastuotannossa
- hoitomenetelmien voimaperäisyyden omaksumisessa (maan kunnotus, pintakasvillisuuden torjunta, lannoitus)
- viljelyvarmuudessa (talvenkestävyys, sienituhot, hirvituhot jne.)
- käyttäjien löytämisessä taloudellisen kuljetusetäisyyden sisällä viljelmiltä

Erityisesti pajulajien ja -kloonien valinta sekä jalostaminen on vielä varsin alussa. Paitsi perustutkimusta tarvitaan myös koko

tuotantoketjun käsittäviä käytännön demonstroitinkohteita, joiden toteutuksessa tutkimus on mukana. On myös huomattava, että käytännön viljelytoiminnan käynnistäminen ja opettelu tulevat vaatimaan paljon aikaa, ennen kuin laajamittainen tuotanto on mahdollista.

55. Metsätalouden energiapotentiaali

Suomen metsät tuottavat vuosittain 79 milj. m³ runkopuuta. Latvusmassa sekä kanto- ja juuripuu mukaan luettuina biomassatuotos on yhteensä 126 milj. m³ eli 51 milj. t kuiva-ainetta. Se vastaa energiasisällöltään 24 milj. öljytonnia. Vertailuna todettakoon, että vuonna 1991 maamme primaarienergian kokonaiskulutus vastasi yhteensä 30,3 milj. öljytonnia.

Metsäteollisuuden tulee luonnollisesti olla Suomessa ensisijainen puunkäyttäjä. Sillä on myös yliverlainen puustamaksukyky. Vielä viime vuosikymmenellä metsäteollisuus uskoi kykenevänsä jalostamaan kaiken markkinoille tulevan 6 cm:n latvaläpimitan täyttävän puutavaran. Siksi se suhtautui penseästi puun energia-käytön laajenemiseen, jonka se pelkäsi kasvattavan kuitupuun hintaa. Teollisuuden Metsänhoitajat r.y:n vuonna 1980 julkistaman kannanoton mukaan pienpuun käyttöä oli kyllä ”pyrittävä lisäämään nykyisestäään, mutta teollisuuden raaka-aineeksi soveltuvaa runkopuuta ei tule suunnitella polttotarkoituksiin. ...Teollisuuspuun siirtäminen energiapuuksi on kansantaloudellisesti kannattamatonta.”

Metsiemme kasvun kohentuessa ja kilpailun vientimarkkinoilla kiristyessä on kuitenkin jouduttu tilanteeseen, jossa metsäteollisuus vastoin aikaisempia kaavailuja on kykenemätön hyödyntämään kaikkea tarjolla olevaa puuraaka-ainetta. Yhä suurempi osuus kasvusta jää vaille teollista käyttöä seuraavista syistä:

- puuraaka-aine ei täytä kiristyviä laatu- tai mittavaatimuksia. Tähän luokkaan kuuluvat rinnankorkeusläpimitaltaan alle 9 cm:n puut, markkinakelpoisten runkojen alle 7 cm:n latvat, vikaisuusien vuoksi markkinakelvottomat rungonosat, oksat, juurakat sekä muut lehti-puut kuin koivu
- poistettava puusto täyttää laatuvaatimukset, mutta leimikko ei täytä korjuuteknisiä vaatimuksia. Syynä voivat olla esimerkiksi runkojen pieni koko tai riittämätön kertymä hehtaaria kohti, jolloin korjuukustannukset nousevat kannattamattoman korkeiksi. Jos kuitenkin sovelletaan kokopuunakorjuuta ja poistettavista puista tehdään polttohaketta, kertymä saattaa alamittaisten puitten ja latvusmassan kelpuuttamisen ansiosta paisua siinä määrin, että leimikko muuttuu korjuukelpoiseksi
- sekä puuston laatu että leimikkotekijät täyttävät vähimmäisvaatimukset, mutta puun tuotanto ylittää kysynnän. Erityisesti ensihar-

vennuspuu mutta myös muu harvennuspuu on tällöin vaikeasti markkinoitavissa, koska teollisuus kustannussyistä pyrkii tyydyttämään kuitupuun tarpeensa järeämmällä puulla

Kun suurimmaksi kestäväksi runkopuun hakkuumääräksi 1990-luvulla arvioidaan 74 milj. m³/a mutta todellinen hakkuukertymä jää keskimäärin 50 milj. m³:n tasolle, metsien vajaakäyttö on todella huomattava ja kansantaloutemme kannalta tuhlauksena. Kuten taulukossa 1 on edellä osoitettu, runkopuun vajaakäyttö on määrällisesti yhtä suuri kuin kaikkien suunnitteeseen sisältyvien, rinnankorkeusläpimitaltaan alle 21 cm:n runkojen ja hukkarunkopuun tilavuus yhteensä. On kuitenkin otettava huomioon, että metsänomistajat eivät ole valmiita markkinoimaan kaikkea tuotamaansa puuta, vaan osa siitä jää esimerkiksi virkistyskäytön ja suojelun vuoksi pysyvästi markkinoitettavaksi ulkopuolelle.

Energiakäyttöön on joka tapauksessa tarjolla huomattavan paljon runkopuuta ja latvusmassaa, jolle ei ole näköpiirissä kysyntää kuituteollisuuden laajenemisen kautta. Teollisuuden raaka-ainehuoltoa vaarantamatta voitaisiin energiakäyttöön ohjata vuosittain esimerkiksi 3 milj. m³ päätehakkuualoilta kerättävää latvusmassaa ja runkohukkapuuta, 2 milj. m³ rinnankorkeusläpimitaltaan alle 11 cm:n puuta oksineen sekä 5 milj. m³ kuitupuun mitat täyttävää puuta ensiharvennusleimikoista ja muista harvennuskohteista. Tämän vaikeasti markkinoitavan puun hyötykäyttö tukisi järkipäisen metsänhoidon harjoittamista siinä määrin, että laadukkaan teollisuuspuun tuotanto tulevaisuudessa sen ansiosta vain lisääntyisi. Arviota voitaneen luonnehtia varovaiseksi, mutta jo tämä 10 milj. m³:n puureservikin vastaa energiasisällöltään 1,9 milj. öljytonnia eli 6 % primaarienergian kokonaiskulutuksestamme. Hakkuumahdollisuudet ja nuorten metsien harvennustarve lisääntyvät lähivuosisikymmeninä edelleen, todennäköisesti nopeammin kuin teollisuuden raaka-ainekäyttö.

Jo pelkästään metsänhoidollisista syistä olisi siis metsissämme seisova suuri energiapuureservi saatava liikkeelle. Tällä hetkellä puubiomassan tuottaminen viljelmillä energiaksi ei ole taloudellisesti varteenotettava vaihtoehto. Tulevaisuudessa energiaviljelmät voivat kuitenkin täydentää metsiemme energiatuotantoa. Maataloustuotannosta vapautuneiden peltojen käyttäminen lyhytkiertopuun kasvatukseen kiinnostaa viljelijöitä, vaikka tuotantoon soveltuva pinta-ala onkin pienempi kuin 1980-luvulla oletettiin. Ilmasto-olomme ja yhteiskunnan asenteet voivat muuttua puubiomassan energiaviljelylle otollisemmiksi kasvihuoneilmaston vaikutuksesta. Energiaviljelmiä koskevaa tutkimusta on siis syytä jatkaa myöhempiä tarpeita silmälläpitäen.

6. Metsäenergian käyttökohteet

61. Maatilat ja pientalot

Polttopuun markkinahinta muodostuu pääasiassa korjuun ja kuljetuksen työpalkoista sekä niihin liittyvistä veroista ja veroluontoisista maksuista. Koska maatiloaloissa työt tehdään omin voimin ja omalla kalustolla, polttopuun korjuukustannukset jäävät alhaisiksi. Puun edullisuutta parantavat vielä kaukokuljetuskustannusten puuttuminen, varastotilojen väljyys sekä toiminnan tuottama metsänhoidollinen hyöty. Myös monet maatilatalouden ulkopuoliset pientalonomistajat hankkivat haja-asutusalueilla polttopuuta oma-toimisesti. Suomessa on kaikkiaan 283 000 pinta-alaltaan vähintään 5 ha:n metsälöä, joista omistaja voi saada polttopuuta. Vähemmän kuin 10 % pientalouksien polttopuusta hankitaan kaupallisten välittäjien kautta.

Edullisuudestaan huolimatta polttopuun kokonaiskäytön arvioidaan pudonneen maatiloilla puoleen vuoden 1970 tasolta. Syynä on paitsi puulämmityksen työläisyys sähkö- ja öljylämmitykseen verrattuna paljolta myös maatilojen lämmitysenergian kokonaiskulutuksen alentuminen lämpöeristysten paranemisen, lämmitystekniikan tehostumisen ja tilakuolemien myötä. Rakennus- ja asuntokantatilaston mukaan 300 000 taloa eli 35 % kaikista pientaloista lämmitetään nykyisin pääasiassa puulla joko uuni- tai keskuslämmitystä käyttäen. Maatila-asunnoista, jotka ovat merkittävä osa edellä mainittua pientalokantaa, kaksi kolmannesta turvautuu ensisijaisesti puulämmitykseen.

Kiinteistöjen puunkäyttö on tilastoitu puutteellisesti. Metsätilastollisessa vuosikirjassa kiinteistöjen polttopuun käytöksi on arvioitu 3,2 milj. m³ vuodessa. Työtehoseuran kyselytutkimuksen mukaan taas pientalot käyttivät vuonna 1987 polttopuuta yhteensä 4,9 milj. m³, mistä maatilojen osuus oli 60 %. Valtaosa siitä oli halkoa ja pilkepuuta, 10 % jätepuuta lähinnä rakennuksista ja 6 % haketta (kuva 13).

Sähkö syrjäyttää puuta pientalojen lämmityksessä. Työtehoseuran mukaan vuonna 1990 enää tuskin 10 % uusista pientaloista valitsi ensisijaisesti puulämmityksen. Mutta vaikka puu menetti suosiotaan pääasiallisena lämmön lähteenä, se säilytti uusissakin pientaloissa asemansa toissijaisena vaihtoehtona. Sähkölämmi-

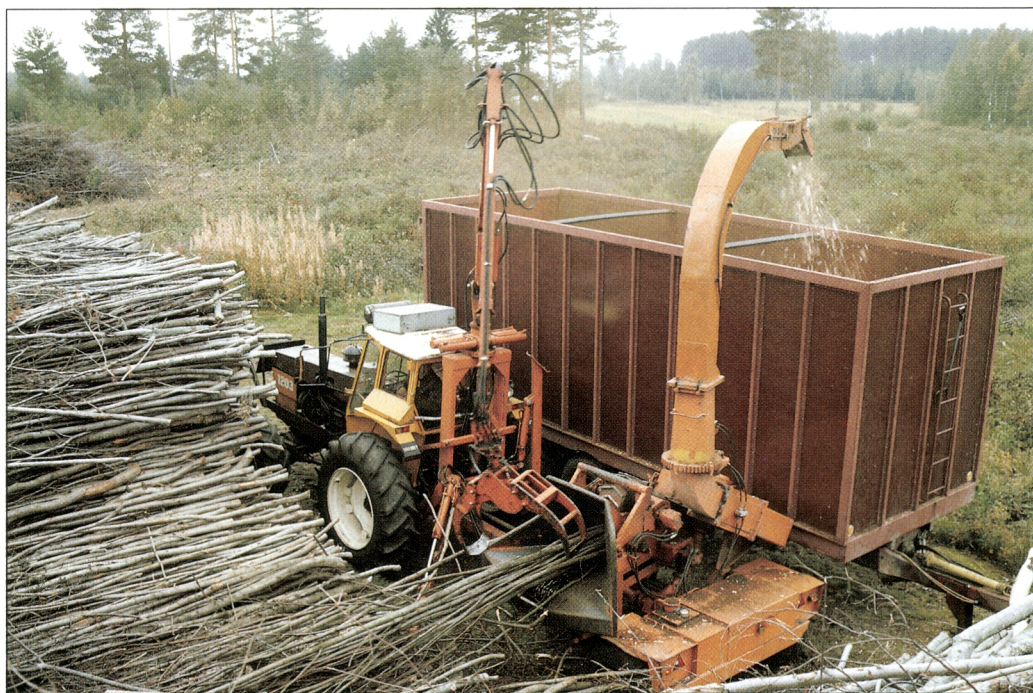


Kuva 13. Pääosa mautilojen ja pientalojen polttopuusta käytetään edelleen perinteiseen tapaan pilkkeenä (kuva H. Kalaja).

tystä tukemaan ja varmistamaan näet rakennettiin varsin usein myös puulla lämpiävä tulisija. Haja-asutusalueitten pientalojen puunkäyttöä olisi siis mahdollista lisätä ilman uusia laiteinvestointejakin, kunhan vain pientalojen noin miljoona tulisijaa otettaisiin tehokkaampaan käyttöön. Pientalojen kokonaiskäytön mahdollinen kasvu tapahtuisi muissa kohteissa kuin mautiloilla, sillä tilakuolemien jatkuessa mautilojen polttopuun käyttö tuskin enää kääntyy nousuun. Pientalojen käyttö ei hevin voi kasvaa kuin enintään miljoonalla kuutiometrillä vuodessa. Tämäkään ei toteutune ilman merkittäviä muutoksia energian hintasuhteissa tai saatavuudessa.

62. Pienet hakelämpölaitokset

Maaseututaajamissa on lukuisia pieniä lämpölaitoksia, jotka huolehtivat suurehkon rakennuksen, rakennusryhmän tai kokonaisen asuinalueen talojen lämmityksestä ja lämpimän veden jakelusta sekä eräissä tapauksissa myös prosessihöyryn tuottamisesta. Mikäli ne käyttävät energialähteenään puuta, polttoaineen käsittelyn automatisointi edellyttää, että puu poltetaan hakkeena (kuva 14). Vaikka tällaisten lämpölaitosten polttopuu saadaankin yleensä lähiympäristöstä vain 15–20 km:n säteeltä, niiden toiminnalla saattaa ainakin paikallisesti olla suuri merkitys sekä metsätaloudellisesti että maisemakuvan kannalta.



Kuva 14. Pienen hake-
lämpölaitoksen poltto-
aine saadaan yleensä
oman kunnan alueelta
maataloustraktoriso-
vitteista kalustoa käyttä-
en (kuva H. Kalaja).

Ensimmäiset hakeämpölaitokset perustettiin Suomeen 1950-luvun jälkipuoliskolla. Vuonna 1978 varsinaista metsähaketta polttavia laitoksia oli toiminnassa 10 kappaletta, kun puunjalostusteollisuuden jätetuun polttoa ei oteta huomioon. Ne palvelivat etupäässä puolustusvoimain varuskuntia, ja niiden hakehuollosta vastasi VAPO. Kun sitten toisen energiakriisin aikana tuontien energian saatavuus tilapäisesti vaikeutui ja fossiilipolttoaineitten hinnat jälleen nousivat rajusti, valtiolta alkoi suosia kotimaisten energialähteitten käyttöönottoa muun muassa investointiavustuksin. Tässä tilanteessa maahamme rakennettiin muutaman vuoden sisällä yli 100 pientä hakeämpölaitosta.

Metsäntutkimuslaitoksen selvityksen mukaan Suomessa oli vuoden 1982 päättyessä toiminnassa 102 kooltaan 0,5–10,0 MW:n ja 13 yli 10 MW:n lämpölaitosta, joitten pää- tai sivupolttoaineena oli metsähake. Joukossa oli 60 kunnallista aluelämpölaitosta, 17 varuskuntaa, 10 oppilaitosta, 9 teollisuuslaitosta, 5 sairaalaa sekä lisäksi meijereitä, tutkimuslaitoksia ja puutarhoja. Alle 10 MW:n laitosten yhteisteho oli 230 MW. Vuosina 1983 ja 1984 otettiin vielä käyttöön muutama uusi laitos, kunnes sitten öljyn hinnan aleneminen sammutti rakentamisaallon. Lukumäärä oli tuolloin suurempi kuin missään muussa maassa maailmassa.

Hakeämpölaitoksia ilmestyi eniten Pohjois- ja Keski-Pohjanmaalle, mikä selittyy ojitusalueitten pienikokoisen koivupuun runsaudella. Myös Jyväskylän ja Joensuun seuduille perustettiin joukko hakeämpölaitoksia. Lounais-Suomessa niiden käyttöönottoa sen sijaan hillitsivät vähäisemmät pienpuuvarat ja tuontihiilen edulli-

nen hinta, Etelä-Pohjanmaalla turpeen hyvä kilpailukyky sekä Lapissa ja Kainuussa taas asutuksen harvuus.

Vuonna 1982 lämpölaitokset polttivat 393 000 m³ pienpuusta tehtyä metsähaketta. Useimmat niistä käyttivät hakkeen ohella myös muita polttoaineita. Hakkeen käytön lisäämisen esteenä oli yleensä korkea hinta, joissakin tapauksissa myös hakkeen epätydyttävä ja epäsäännöllisesti vaihteleva laatu. Vain viidennes 115 laitoksesta käytti haketta niin paljon, ettei kulutusta silloisella lämmöntuotantotasolla olisi enää voitu lisätä.

Hakelaitosten kannattavuutta rasittivat korkeat investointikustannukset, polttopuun korkea hinta sekä alhainen käyttöaste. Vajaakäytön syynä olivat tuleviin tarpeisiin varattu ylimitoitus, kesäkauden vähäinen lämmöntarve sekä sisäanjovaiheen tekniset ongelmat. Metsähakkeen keskimääräinen vuosikäyttö oli vain 1310 m³ laitokskapasiteetin megawattia kohti, mikä vastasi 2850 tunnin huippukäyttöä vuodessa.

Hakelaitokset on varmuussyistä varustettu käyttämään myös vaihtoehtoisia polttoaineita. Hintasuhteitten muututtua useat niistä ovatkin luopuneet puun poltosta ja liiketaloudellisista syistä ainakin toistaiseksi siirtyneet monipolttokattilassaan öljyyn tai turpeeseen. Suomen Kunnallisliiton keväällä 1991 tekemässä jäsenkyselyssä, johon vastasi runsaat puolet pienistä kunnallisista lämpölaitoksista, vain 17 laitosta eli 27 % vastauslomakkeen palauttaneista ilmoitti pääpolttoaineekseen hakkeen. Kun kunnallisten hakelaitosten lukumäärä oli vuonna 1982 ollut kuitenkin kaikkiaan 60, käyttäjien määrä näyttää supistuneen suuresti. Nykyisin hakkeen kokonaiskäyttö jäänee kunnallisissa laitoksissa vuositasolla alle 100 000 m³:n.

Viime vuosikymmenen alun nopea kasvu kuitenkin osoittaa, että Suomessa on sijaa suurellekin määrälle kunnallisia ja yksityisiä hakelämpölaitoksia, jotka hankkivat hakkeen lähiympäristöstään. Metsäntutkimuslaitoksen selvitykset osoittavat, että metsähakkeen käyttö voitaisiin nykyistenkin laitosten puitteissa moninkertaistaa, jos hakkeen hintarajoite ei olisi esteenä. Jos hakelämpölaitosten yhteisteho olisi tulevaisuudessa vaikkapa 500 MW ja huippukäyttöaika keskimäärin 3 500 h/a, niiden puuntarve nousisi 800 000–900 000 m³:iin vuodessa. Toistaiseksi ei yksikään tällainen laitos tuota sähköä, mutta kuluvan vuoden lopulla käynnistyy Kuhmossa Suomen ensimmäinen sekä sähköä että lämpöä tuottava pieni kombivoimala, jonka polttoaineena on puu.

63. Suurteollisuus

Metsäteollisuutemme käyttää vuosittain noin 50 milj. m³ kotimaasta hankittua tai ulkomailta tuotua raakapuuta. Osa siitä jää päätuotetta valmistettaessa tähteeksi ja ohjautuu lopulta energian tuotantoon. Puuperäisten polttoaineitten käyttö metsäteollisuus-

dessa nähdään seuraavasta asetelmasta, jossa kaikki tähteet on muunnettu puukuutiometreiksi energiasisältönsä perusteella:

	Milj. m ³ /a
– Kuori, keskimäärin 10 % raakapuusta	5,0
– Puru, 11 % sahapuusta. Siitä polttoon 35 %	0,7
– Selluteollisuuden ligniinipitoinen jäteliemi, 51 % puuaineesta	14,3
– Teollisuuden muu jätepuu	1,0
– Yhteensä teollisuusjätettä energiakäyttöön	21,0

Peräti 40 % teollisuuden koti- ja ulkomaisesta kuorellisesta raakapuusta päätyy siis polttoaineeksi. Pääosa teollisuuden puuperäisestä energiasta saadaan kemiallisen metsäteollisuuden jäteliemestä, jonka tärkein komponentti on sellun keitossa liukeneva ligniini. Ligniinin energiasisältö on puun muihin rakennusaineesiin nähden korkea 25–26 MJ/kg, kun esimerkiksi selluloosan vastaava arvo on 17–18 MJ/kg.

Metsäteollisuuden vuosittain tuottama puuperäinen energia vastaa noin 3,2 milj. öljytonnia eli 11 % Suomen primaarienergian kokonaiskulutuksesta. Pääosa energiasta kehitetään suurissa 15–150 MW:n kattiloissa. Saatu höyry ja sähkö jäävät yleensä metsäteollisuuden sisäiseen käyttöön. Sulfaattimassatehdas, milloin siihen ei liity paperitehdasta, saattaa olla myös nettoenergian tuottaja.

On syytä panna merkille, että metsäteollisuus kehittää puuperäisen energiansa tehdaslaitoksiin kerääntyvistä tähteistä mutta ei sitä vastoin varta vasten hankitusta polttopuusta. Metsäteollisuudella on kuitenkin valmis hankintaorganisaatio ja korkea tekninen tietotaito, jotka voidaan valjastaa myös pienpuun ja metsätähteen hyödyntämiseen, mikäli puuperäisen energian tuotantoa päätetään laajentaa yritys- tai kansantaloudellisista tai esimerkiksi ympäristösyistä. Esteenä ovat paitsi korkeat korjuukustannukset myös teollisuuden pelko kuitupuun kantohinnan kohoamisesta laajenevan energiakäytön seurauksena. Integroimalla aines- ja energiapuun korjuu voidaan kuitenkin erityisesti pienpuuvaltaisissa leimikoissa saavuttaa kohoavan tuottavuuden kautta rationalisointi-hyötyjä ja sitä tietä jossain määrin alentaa kustannuksia. Seuraavat kokopuunakorjuun periaatteeseen tukeutuvat vaihtoehdot tulevat kysymykseen energiapuun korjuuratkaisuina teollisuudessa:

1. *Kokopuuhakemenetelmä* (kuva 15). Viime vuosikymmenen alkupuolella kokopuuhakkeen käyttö oli metsäteollisuudessa suurimmillaan 150 000–200 000 m³/a, josta kolme neljännestä oli lasvulevyjen ja sulfaattimassan raaka-ainetta ja yksi neljännes siitä seuloen erotettua polttoainetta. Nykyisessä puuntarjontatilanteessa Suomen metsäteollisuus ei enää katso tarkoituksenmukaiseksi käyttää kokopuuhaketta.



Kuva 15. Tehokkaimmat kokopuuhakkeen korjuuketjut rakentuvat Suomessa autosovitteisten hakkurien ympärille (kuva H. Kalaja).

Jos metsäteollisuuden pienpuusta valmistama hake käytetään kokonaisuudessaan polttoaineeksi, kustannukset nousevat esimerkiksi raskaaseen polttoöljyyn verrattuna kannattamattoman korkeiksi. Yhdysvalloissa, Kanadassa, Ruotsissa ja Suomessa on jo pitkään kehitetty lajittelutekniikkaa, jolla maksukykyisempi keittojäte voitaisiin erotella kokopuuhakkeesta ja sitä tietä keventää energijakeeseen kohdistuvia kustannuksia. Lajittelulaitosten ongelmiksi ovat osoittautuneet korkeat kustannukset, suurtuotantoon riittämätön kapasiteetti, hakepalasten jauhaantuminen keiton kannalta epäedulliseksi neulahakkeeksi sekä keittohakkeeseen jäävät epäpuhtaudet tai vaihtoehtoisesti liiallinen puuhukka. Parin viime vuoden aikana kuituteollisuuden laatuvaatimusten kiristymiseen. Suomessa VTT:n poltto- ja lämpötekniikan laboratorio kehittää kokopuuhakkeen puhdistustekniikkaa lähtökohtanaan tummien kuoripalasten erottaminen vaaleasta puuaineksesta värieroja hyväksi käyttäen.

2. *Osapuumenetelmä* (kuva 16). Kun kokopuuhakemenetelmän kompastuskivenä on kuitujakeen ja energijakeen erottaminen hakkeesta, osapuumenetelmässä ongelma pyritään ratkaisemaan suorittamalla erottaminen jo ennen haketusta. Ensiharvennuspuu toimitetaan massatehtaalte oksineen noin viisimetrisinä puunosina, jotka samanaikaisesti sekä karsitaan että kuoritaan pyörivässä rummussa tavanomaisen kuitupuun seassa. Hakettaminen tapahtuu vasta rumpukäsittelyn jälkeen. Menetelmä toimii teknisesti hyvin, mutta senkin rajoitteena ovat ensiharvennuspuun korkeat hankintakustannukset sekä suurehko puuhävikki ohuitten pölkkyjen murtuessa rummussa järeämpien rutistuksessa ja ajautuessa siitä syystä osittain oksa- ja kuorijätteen mukana polttoaineeksi. Osapuumenetelmä on



Kuva 16. Osapuume-
netelmässä pienikoi-
nen ensiharvennuspui-
tuodaan sulfaattimas-
satehtaalteille karsimatta-
mana. Puutavara
siirretään nosturilla
pyörivään rumpuun,
jossa oksista ja kuores-
ta koostuva polttojäte
erotetaan kuidutukseen
ohjautuvasta puhtaasta
runkopuusta (kuva H.
Kalaja).

- verraten yleinen Ruotsissa, missä sitä käyttäen tuotettiin 1980-luvun lopulla vuosittain noin 1 milj. m³ kuitupuuhaketta ja sivutuotteena 350 000 tuoretonta polttoainetta. Sitä on sovellettu ensiharvennuspui-
korjuussa jossain määrin myös Suomessa, lähinnä Veitsiluoto
Osakeyhtiössä. Kuitupuun ylitarjontatilanteessa metsäteollisuus kui-
tenkin mieluummin suuntaa ostonsa puustoltaan järeämpiin leimi-
koihin. Silloin puutavara on korjattavissa ykstioteharvestereilla pe-
rinteinä karsittuina tavaralajeina.
3. *Ketjukarsintamenetelmä.* Osapuume-
netelmän kanssa rinnakkainen
ratkaisu on ketjukarsintamenetelmä, jossa pienten puitten samanai-
kainen joukkokarsinta ja -kuorinta tapahtuu tienvarsivarastossa tai
keskusasemalla teräsketjuilla piiskaamalla. Käsittelyn läpäissyt puh-
das kuitupuuta voidaan hakettaa samalla syöttölinjalla suoraan kuor-
ma-auton lavalle. Pohjois-Amerikassa on käytössä jo yli 200 järeätä
koneyksikköä, mutta Euroopassa menetelmä on toistaiseksi miltei
tuntematon. Pertti Szepaniak Oy hankki vuonna 1991 Yhdysvallois-
ta karsinta-kuorinta-haketusyksikön, josta Enso-Gutzeit Oy:n ensi-
harvennuskoneissa saadut kokemukset ovat varsin rohkaisevia. Metsä-
varastolla toimiessaan kone vaatii kuitenkin suuria keskitetty-
jä työmaita, joita yksityismetsistä on vaikea löytää. Kaivataan siis
myös kevyempää kalustoa. Eräs ratkaisu saattaisi olla yksityismetsi-
en pienten puuerien piiskakäsittely keskitetysti puutavaraterminaa-
lilla.
 4. *Hakkuutähdehakemenetelmä* (kuva 17). Hakkuukoneitten päätehak-
kuualoille jättämä latvusmassa ja hukkarunkopuu voidaan kerätä
kuomatraktoreilla tien varteen ja työstää siellä terävin leikkaavin



Kuva 17. Avohakkuu-aloilta kerätystä latvusmassasta ja siihen sekoituneesta hukkarunkopuusta valmistettu hakkuutähdehake on kustannuksiltaan edullisempaa kuin pienistä puista tehty kokopuu-hake, mutta sen talteenotto edellyttää suuria työmaita (kuva H. Kalaja).

terin hakkeeksi tai tylsin iskevin terin murskeeksi. Koska metsurin työpanosta ei tässä tapauksessa tarvita, kustannukset jäävät alhaisemmiksi kuin kokonaisista pienistä puista tehdyllä polttohakkeella. Metsäteollisuus hankki hakkuutähdehakea 1980-luvun alkupuolella hyvin tuloksin, kunnes öljyn hinnan lasku vei pohjan toiminnan kannattavuudelta. Ruotsissa hakkuutähdehake on kuitenkin edelleen säilyttänyt kilpailukyönsä, koska häittäverot kohottavat siellä fossiilipolttoaineitten hintaa. Mikäli Suomen metsäteollisuus jälleen ryhtyy hankkimaan biomassaa pelkästään polttoaineeksi, juuri hakkuutähdehake lienee kilpailukyöisän vaihtoehto. Sen käyttöön ei kuitenkaan liity erityisen merkittäviä metsänhoidollisia etuja, eikä siitä laadullisista syistä ole erotettavissa pientäkään osaa arvokkaampaan jalostuskäyttöön.

Esitetyt ratkaisut tarjoavat vankan lähtökohdan metsäenergian hyödyntämiselle suurteollisuudessa, mikäli polttoaineitten hintasuhteet esimerkiksi kansainvälisten markkinahäiriöitten tai häittäverojen säätämisen seurauksena kääntyvät puuta suosiviksi. Uusi-en käyttökohteitten löytyminen kuitenkin näyttää vaativan, että painopistettä siirretään höyryn ja lämmön tuotannosta sähkön tuotantoon. Tämä edellyttää, että perinteisten höyryturbiinivoimaloitten sijasta rakennetaan kaasutuskombiivoimaloita, joissa suu-rempi osuus polttoaineen energiasta voidaan muuntaa sähköksi. Tällöin polttoaine ensin kaasutetaan paineen alaisena, puhdistettu kuuma kaasu johdetaan sähköturbiiniin, ja kuumalla jätekaasulla tuotetaan lopuksi vielä höyryä teollisuuden prosessikäyttöön tai

lämmitykseen. Menetelmä näyttää antavan poltossa korkean hyötysuhteen ja lisää merkittävästi sähkön osuutta yhdistetyssä tuotannossa. Suomessa tekniikkaa kehitetään VTT:n polttoainetekniikan laboratorion ja teollisuuden yhteistyönä. Mikäli tutkimus etenee toivotulla tavalla, kaasukombivoimaloihin perustuva sähkön tuotanto saattaa kasvattaa metsäbiomassan energiakäyttöä Suomessa paljonkin. Tekniikan käyttöönotto lienee mahdollista aikaisintaan kuluvan vuosikymmenen lopulla.

Toinen mahdollinen tulevaisuuden käyttökohde metsäbiomassalle on kaasumaisten ja nestemäisten polttoaineitten tuottaminen lähinnä termokemiallisin tai biokemiallisin menetelmin. Tekniikan kehitys oli erityisen voimakasta 1970-luvun energiakriisin jälkeisessä tilanteessa mutta hiipui kaikkialla maailmassa öljytuotteitten hintojen laskiessa. Viime vuosina tutkimus on alkanut jälleen elpyä ympäristöongelmien vauhdittamana. Mielenkiintoisimpia vaihtoehtoja ovat metanolin valmistaminen biomassan kaasutustuotteista sekä etanolin valmistaminen hydrolyysin ja sokerituotteitten käymisen avulla. Kumpaakin tuotetta voidaan käyttää ajoneuvoissa yksinomaisena tai seospolttoaineena bensiiniä korvaamaan. Amerikkalaisten laskelmien mukaan metsäbiomassan nesteytyksessä olisi kilpailukykyisin ratkaisu 100 000 tonnia etanolia vuodessa tuottava laitos, mutta senkin jalostama polttoaine on toistaiseksi aivan liian kallista. Maapallon öljyvarojen ehtyessä ja öljytuotteitten hintojen kohotessa sekä toisaalta ympäristösyistä metsäbiomassasta tuotettujen nestemäisten polttoaineitten mahdollisuudet kasvavat tulevaisuudessa. Suomessa lienee kuitenkin lähempänä toteutumista etanolipolttoaineen valmistaminen viljasta, jolloin kimmokkeena on maatalouden ylituotanto-ongelmien ratkaiseminen. Jo tällä hetkellä käytetään Yhdysvalloissa ylijäämämaissaista ja Brasiliassa sokeriruokojätteestä valmistettua etanolia huomattavia määriä bensiinin seosaineena.

7. Puun energiakäytön hyödyt

71. Metsien elinvoimaisuuden ja tuottokunnon ylläpitäminen

Puun käytön lisäämistä puoltavat Suomessa paitsi taloudelliset myös metsänhoidolliset syyt. Hakkuiden juuttuminen 1980-luvulla vakiintuneelle tasolle, jolla hakkuupoistuma on 55 milj. m³/a ja talteen otetun käyttöpuun määrä 50 milj. m³/a, merkitsee harvennusrästien kasaantumista. Taimikonhoidon ja harvennusten viivästyminen ja laiminlyönti näkyvät metsien tihentymisenä ja puuston järeyskehityksen hidastumisena sekä puu- ja puutavaralajisuhteiden muuttumisena korjuukustannusten ja jalostuskäytön kannalta epäedulliseen suuntaan.

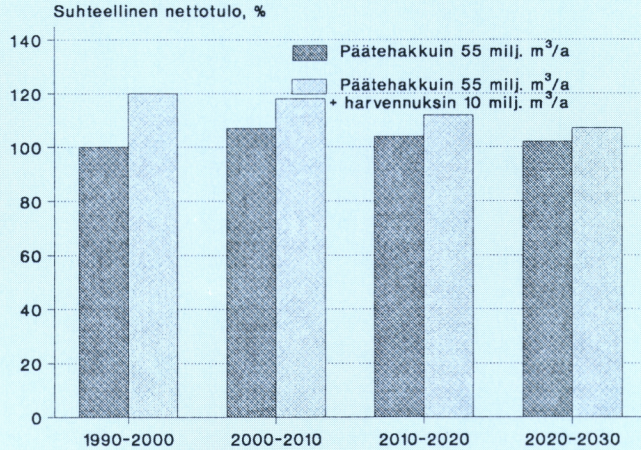
Kuvissa 18, 19 ja 20 verrataan edellä luvussa 43 esitettyä pelkkiin avohakkuisiin perustuvaa käsittelyohjelmaa vaihtoehtoon, jossa metsistä hakataan lisäksi myös 10 milj. m³ harvennuspuuta vuodessa. Molemmissa ohjelmissa metsät uudistetaan päätehakkuun jälkeen samalla tavoin ja syntyvät taimikot hoidetaan. Simulointilaskelman hakkuuohjelmien lopullisena tavoitteena on osoitettujen korjuumäärien puitteissa maksimoida puuston tuottoarvo vuonna 2030 eli luovuttaa metsäperintö tuleville sukupolville mahdollisimman tuottavana.

Jälkimmäisessä vaihtoehdossa, jossa vuotuista hakkuumäärää lisätään harvennuksin 10 milj. m³:llä, metsätalouden välittömät nettotulot kasvavat suunnittelujakson alkukaudella 20 % ja loppukaudella 5–10 % (kuva 18). Tulolisäyksen laantuminen johtuu siitä, että molemmissa ohjelmissa pyritään muodostamaan vuodelle 2030 mahdollisimman arvokas puusto.

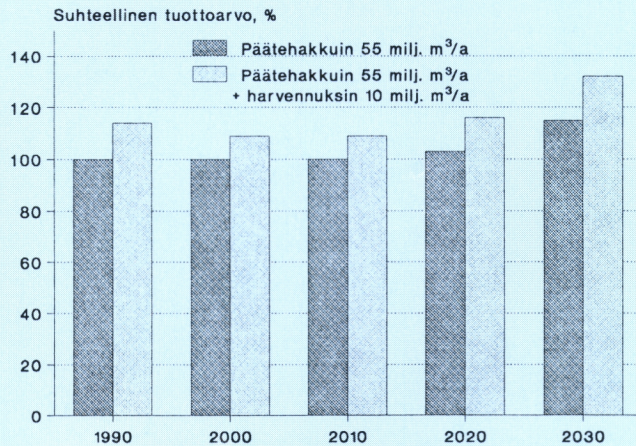
Molemmat hakkuuohjelmat ovat varovaisia ja kasvattavat puuston tuottoarvoa jatkuvasti. Harvennuksia käyttävässä hakkuuohjelmassa tuottoarvo on koko ajan 10–15 % korkeampi kuin yksipuolisessa päätehakkuuvaihtoehdossa siitäkin huolimatta, että puuta hakataan enemmän. Harvennushakkuut ovat hyödyksi siis siinäkin tapauksessa, että harvennuspuu poltettaisiin tai jopa lyötäisiin maahan (kuva 19).

Kuva 20 osoittaa metsikön tiheydestä aiheutuvan puuston luontaisen kuolleisuuden eli luonnonpoistuman kummassakin käsitteilyvaihtoehdossa. Harvennuksista luopuminen lähes kolminker-

Kuva 18. Suomen metsien suhteellisen nettotulon kehittyminen vuoteen 2030 mennessä sovellettaessa kahta vaihtoehtoista hakkuuohjelmaa: toisessa korjataan vuosittain 55 milj. m³ puuta yksinomaan päätehakkuista, toisessa edellisen lisäksi myös 10 milj. m³ harvennuksista.



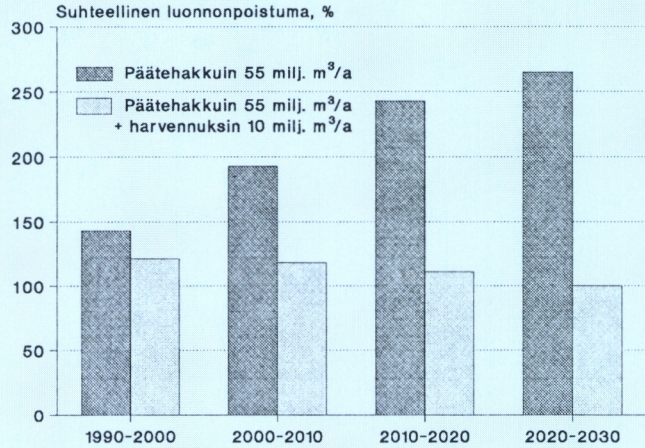
Kuva 19. Suomen metsien suhteellisen tuottoarvon kehittyminen vuoteen 2030 mennessä sovellettaessa kuvan 18 kahta vaihtoehtoista hakkuuohjelmaa.



taistaisi luonnonpoistuman vuoteen 2030 mennessä. Harventamattomissa metsissä on odotettavissa myös lisääntyviä hyönteistuhoja, jotka eivät ole kuvassa mukana.

Taimikon hoito ja ensiharvennukset ovat metsien terveyden ja tulevan tuottokyvyn kannalta keskeisen tärkeitä. Erityisen välttämättömiä ovat ensiharvennukset koivikoissa ja männiköissä, joissa niiden viivästyminen johtaa vihreän latvuksen liialliseen tyypistymiseen ja sen seurauksena kasvun ennenaikaiseen taantumiseen sekä lumi- ja hyönteistuhojen riskin lisääntymiseen. Metsätehon mukaan 1990-luvulla tulisi hakata ensiharvennuksin käyttöpuuta 4 milj. m³/a. Kokopuutekniikkaa sovellettaessa kertymä olisi almittaisen runkopuun ja latvusmassan talteenoton ansiosta yli 5

Kuva 20. Metsien tiheyden aiheuttaman luonnonpoistuman kehittymisen vuoteen 2030 mennessä sovellettaessa kuvan 18 kahta vaihtoehtoista hakkuuohjelmaa.



milj. m³/a. Metsiemme ikäluokkajakaumasta johtuen ensiharvennustarve tulee edelleen lisääntymään.

Koivikoista ovat ongelmallisimpia soiden hieskoivikot, jotka ensiharvennusvaiheessa ovat usein ryhmittäisiä ja tästä syystä paikoin vajaapuustoisia. Hieskoivikoitten tuleva kehitys ja myöhempien hakkuitten kannattavuus edellyttävät oikeaan aikaan toteutettua ensiharvennusta, vaikkei toimenpide sellaisenaan ehkä tuotakaan välittömiä tuloja (kuva 21). Teollisuuden mittavaatiemukset täyttävää käyttöpuuta kertyisi ehkä niukalti, mutta energiapuuta saadaan 30–90 m³/ha.

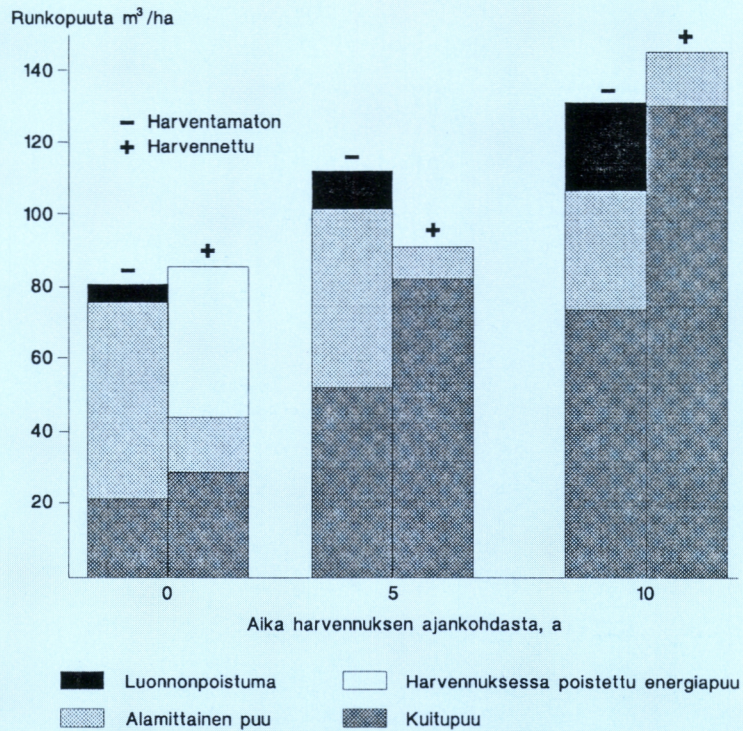
Pienpuun energiakäyttö lisää mahdollisuuksia sekapuuston suosimiseen metsikön alkuvuosikymmeninä, millä on suuri merkitys metsämaan ja metsien terveydelle, puuntuotokselle ja suomalaiselle maisemalle. Pienpuun menekin puute taas päinvastoin lisää taloudellista painetta lehtipuun poistamiseen jo taimikkovaiheessa.

72. Työpaikoista elinvoimaa maaseudulle

Kun metsään tähteeksi jäävästä pien- ja jättepuusta valmistetaan markkinakelpoista polttopuuta, luodaan maatalouden harjoittajien, metsureitten ja koneyritysten kipeästi kaipaamia työtilaisuuksia (kuva 22). Näin vahvistetaan maaseudun elinvoimaa aikana, jolloin maa- ja metsätalouden työpaikat ovat hälyttävästi hupenemassa.

Metsähakkeen vaatima työpanos riippuu leimikkotekijöistä, työmenetelmistä, kalustosta sekä tuotetun hakkeen ominaisuuksista. Esimerkiksi karsittujen rankojen teko vaatii metsurilta kokopuuraaka-aineeseen verrattuna kaksinkertaisen työpanoksen. Pääte-

Kuva 21. Nuoren hieskoivikon puuston kehittyminen ensiharvennusta seuraavalla 10-vuotiskaudella. Harvennuksessa poistettu runkopuuta 43 m³/ha.



hakuualojen tähteen talteenotto taas ei edellytä metsurityötä lainkaan. Samoissa leimikko-oloissa urakkapalkalla työskentelevä vakinainen ammattimetsuri yltää keskimäärin suurempaan tuottavuuteen kuin tilapäisesti omatoimista hankintatyötä tekevä metsänomistaja. Työllisyshankkeissa korjuun tuottavuus on alhainen tekijäin puutteellisen ammattitaidon ja motivaation sekä usein myös epäsuotuisien talviolosuhteitten vuoksi. Konetyössä tuottavuus kasvaa, kun kalusto järeytyy ja leimikkotekijät kohentuvat.

Taulukossa 2 esitetään hakepuun hankinnan keskimääräisiä työmenekkilukuja, joitten avulla voidaan arvioida pien- ja jätteen polttoainekäytön työllistävää vaikutusta. Keskiarvoluvut ovat peräisin erilaisista leimikko- ja kuljetusoloista, joten ne eivät ole täysin vertailukelpoisia menetelmien tehokkuuden kuvaajina. Koska metsäteollisuus on viime aikoina tuntuvasti kiristänyt kuitupuun laadulle ja vähimmäiskoolle sekä ostokelpoisen leimikon korjuuteknisille ominaisuuksille asettamia vaatimuksia, energiapuukohteiksi on tarjoutumassa entistä puustoisempia leimikoita. Tämä johtaa tuottavuuden hienoiseen nousuun.

Leimikoittaisista ja menetelmäkohtaisista tuottavuuseroista johdetaan, että hakepuun korjuun työllistävästä vaikutuksesta esiintyy toisistaan paljonkin poikkeavia arvioita. Taulukossa 3 on esimerkinomaisesti laskettu hankinnasta syntyvät työtillaisuudet, jos hak-

Taulukko 2. Hakepuun hankinnan keskimääräisiä työmenekkilukuja pienpuuleimikoissa.

Työvaihe	Työmenetelmä	Työmenekki	
		päiviä/m ³	päiviä/MWh
Hakepuun teko	Hankintatyö, rankana	0,285	0,141
	Metsurityö, kokopuuna	0,102	0,050
Hakepuun ajo	Hankintatyö, maataloustraktori	0,050	0,025
	Urakoitsijatyö, metsätraktori	0,022	0,011
Haketus	Urakoitsijatyö:		
	Kevyt hakkuri	0,038	0,019
	Keskiraskas hakkuri	0,025	0,012
Hakkeen ajo	Raskas hakkuri	0,010	0,005
	Urakoitsijatyö:		
	Maataloustraktori	0,035	0,017
Suunnittelu ja valvonta	Täysperävaunuauto	0,020	0,010
	Työnjohto pystykaupoissa	0,025	0,012

Taulukko 3. Arvio polttohakkeen hankinnan työllistävistä vaikutuksista, jos käyttö on 10 milj. m³ vuodessa.

Työvaihe	Kokopuu		Hakkuutähde pystykaupoin 3 milj. m ³ /a	Yhteensä 10 milj. m ³ /a
	hankinta- kaupoin 2 milj. m ³ /a	pystykaupoin 5 milj. m ³ /a		
Työvuosia				
Hakepuun teko	1220	2200	–	3420
Hakepuun ajo	400	470	300	1170
Haketus	210	210	160	580
Hakkeen ajo	300	430	270	1000
Työnjohto	80	430	120	630
Koko ketju	2210	3740	850	6800

keen käyttö on 10 milj. m³ vuodessa. Lähtökohtana on malli, jossa metsänomistajat toimittavat omatoimisesti tien varteen 2 milj. m³ kokopuuraaka-ainetta ja ostajain puunhankintaorganisaatiot korjaavat 5 milj. m³ kokopuuhaketta pystyleimikoista ja 3 milj. m³ hakkuutähdehaketta päätehakkuualoilta.

Työllisyysvaikutus riippuu siis leimikoista ja korjuumenetelmistä. Esimerkin mukaisella rakenteella 10 milj. m³:n vuosikäyttö loisi 6800 välitöntä vuosityöpaikkaa vastaavan työmäärän. Vaikka polttohakkeen hankinta kokonaisuutena on ympärivuotista toimintaa, tarjoutuvat työtilaisuudet eivät kuitenkaan yleensä olisi ympärivuotisia. Hakepuun teko näet painottuu kesäaikaan, metsä-



Kuva 22. Energiapuun korjuu elvyttää maaseudun työllisyyttä (kuva H. Kalaja).

kuljetus loppukesään tai syksyyn sekä haketus ja hakkeen kuljetus pienten lämpölaitosten osalta voimakkaasti loka-huhtikuulle. Suurkäyttöpaikoissa työt jakautuvat tasaisemmin kaikille vuodenaajoille.

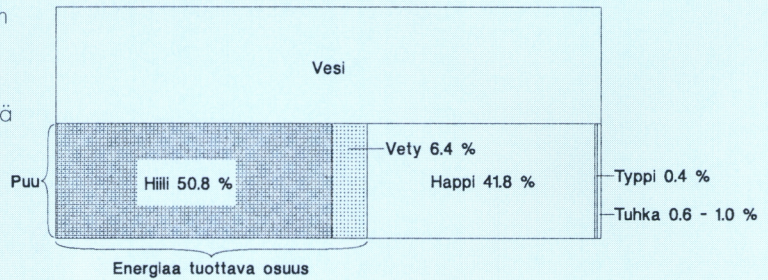
Kuten kaikki taloudellinen toiminta, polttihakkeenkin hankinta luo yhteiskuntaan myös muita työpaikkoja: pysyvät työpaikat lämpölaitoksissa sekä laitosten ja koneitten rakentamisen synnyttämät työpaikat. Työllistävä vaikutus kertautuu lisäksi välillisinä työpaikkoina, joitten määrä arvioidaan laitosten rakennusvaiheen osalta 0,9-kertaiseksi ja pysyvien työpaikkojen osalta 1,3-kertaiseksi.

73. Hiilidioksidipäästöjen sitominen

Kasvihuonekaasujen päästöt olivat Suomessa vuonna 1988 hiilidioksidiksi muunnettuna yhteensä 95 milj. t. Siitä varsinaiset hiilidioksidipäästöt olivat 54 milj. t, metaanipäästöt 7 milj. t, typpioksiduulipäästöt 7 milj. t ja CFC-yhdisteet 14 milj. t. Välillisesti kasvihuoneilmioon vaikuttavat päästöt (typen oksidit, hiilimonoksidi, hiilivedyt) olivat lisäksi 13 milj. t. Hiilidioksidipäästöistä 98 % syntyi muiden kuin puuperäisten polttoaineiden käytöstä energian tuotannossa.

Metsiemme puuston biomassaan on sitoutunut hiiltä lähes 800 milj. t, pintakasvillisuuteen 10 milj. t, maaperään 60 cm:n syvy-

Kuva 23. Puubiomassan kemiallinen koostumus. Poltossa vapautuva energia saadaan hiilestä ja vedystä.



teen saakka 2800 milj. t eli metsiin siis yhteensä 3610 milj. t. Hiili jakautuu puuston eri osiin ja maahan seuraavasti, kun laskenta-perusteena hiilen osuudeksi oletetaan 51 % puun kuivamassasta (kuva 23) ja puun kuivamassaksi männyllä 405 kg/m³, kuusella 385 kg/m³ sekä lehtipuulla 476 kg/m³.

	Hiiltä tonnia/hehtaari
Puusto:	
kuorellinen runkopuu	17,2
oksat	5,2
neulaset ja lehdet	3,4
juuret	8,6
Yhteensä	34,4
Pintakasvillisuus	0,5
Maa (60 cm:n kerros):	
kangasmaa	55,5
turvemaa	300,0

Yhteyttäessään vettä ja ilmakehän hiilidioksidia puu tuottaa biomassaa ja sitoo siihen auringon energiaa. Puuta poltettaessa energia vapautuu, ja vesihöyry ja hiilidioksidi palautuvat ilmakehään. Samalla syntyy vähäisessä määrin myös typpioksiduulia, metaania, rikkiä ja kiinteitä hiukkasia. Kansainvälisessä käytännössä puun poltossa vapautuvan hiilidioksidin ei katsota aiheuttavan nettopäästöjä ilmakehään, kun metsätaloutta harjoitetaan kestäväällä pohjalla. Puuhun sitoutuu yhteyttämisessä sama määrä hiilidioksidia kuin poltettaessa tai puun luonnollisessa lahoamisessa vapautuu. Kasvihuoneilmiö siis hidastuu, kun fossiilipolttoaineita korvataan uusiutuvalla biomassalla. Muihin polttoaineisiin verrattuna myös puun rikkipitoisuus on hyvin pieni. Nykyaikaisella poltto- ja puhdistustekniikalla haitalliset päästöt voidaan ainakin suurissa laitoksissa poistaa lähes täysin.

Puuvarojen kasvu ja kiertojen pitkittäminen ovat lisänneet metsiimme varastoituneen hiilen määrää. Itse asiassa yli puolet fossiilisista polttoaineista Suomessa vapautuneesta hiilidioksidista on viimeisten vuosikymmenien aikana sitoutunut puustoon.

Vuotuinen sidonta on ollut keskimäärin 9 milj. t hiiltä vastaten ilmakehässä 33 milj. t hiilidioksidia. Hyvä metsänhoito ja kasvua pienemmät hakkuut ovat siis jarruttaneet kasvihuoneilmiön kehittymistä.

Pitkäaikaisen hiilitaseen kannalta on tärkeätä säilyttää metsät elinvoimaisina ja puuvarat runsaina. Mikäli metsien kasvusta nykyisten hakkuitten lisäksi käytetään energian tuotantoon vielä 10 milj. m³ vuodessa, metsien terveydentilan voidaan odottaa säilyvän hyvänä ja kasvun samalla paranevan siinä määrin, että metsätalouden hiilitase hakkuitten lisääntymisestä huolimatta säilyy nykyisellä edullisella tasolla.

8. Korkea kustannustaso puun energiakäytön esteenä

81. Energiapuun hankintakustannukset

Vaikka nykyisin vain murto-osa puuperäisistä polttoaineista koostuu hakkeesta, todella merkittävä käytön lisäys lienee teknisesti mahdollinen vain hakemuotoisena massa-artikkelina. Siitä syystä energiapuun kustannustarkastelu kohdistetaan tässä nimenomaan hakkeeseen. Viime vuosikymmenen alkupuolella, jolloin hake oli vielä verraten kilpailukykyistä, sen keskimääräinen kustannus oli Metsäntutkimuslaitoksen laajan kyselytutkimuksen mukaan käyttöpaikalla seuraava:

Hakelaji	Kustannus lämpölaitoksella		
	mk/m ³	mk/i-m ³	mk/MWh
Rankahake	180	72	85
Kokopuuhake	160	64	75
Hakkuutähdehake	110	44	52

Kattavuudeltaan vastaavaa tutkimustietoa tämän hetken keskimääräisistä kustannuksista ei ole, mutta muutokset näyttävät jääneen hämmästyttävän pieniksi. Tekniikan ja työmenetelmän kehittyminen sekä teollisuuspuun hintatason aleneminen ovat kompensoineet kustannustason yleisen nousun, eikä hakkeen hinta ole juurikaan kohonnut. Kun öljyn hinta on samaan aikaan kuitenkin romahtanut, hakkeen kilpailuasema on vakaasta kustannustasosta huolimatta vaikeutunut viime vuosikymmenen puolivälin jälkeen.

Hakkeen kustannusten vaihteluväli on laaja. Siihen vaikuttavat muun muassa leimikkotekijät, työvoiman ammattitaito, koneitten työllisyys, kuljetusetäisyydet, polttopuusta maksetut kantohinnat, toiminnan laajuus, organisaation tehokkuus sekä tuotetun hakkeen lämpöarvo, kosteus ja muut laatuominaisuudet. Kun etsitään mahdollisuuksia kustannusten alentamiselle, on eri työvaiheitten ja tekijäin osuudet kokonaiskustannuksista tunnettava. Ne nähdään taulukosta 4, jossa kantohinnaksi on oletettu kokopuuhakkeella 8 mk/m³ ja hakkuutähdehakkeella 4 mk/m³.

Kokopuuhakkeen suurin yksittäinen kustannustekijä on hakepuun teko eli kaato ja kasaus, jotka riippuvat suuresti leimikko-

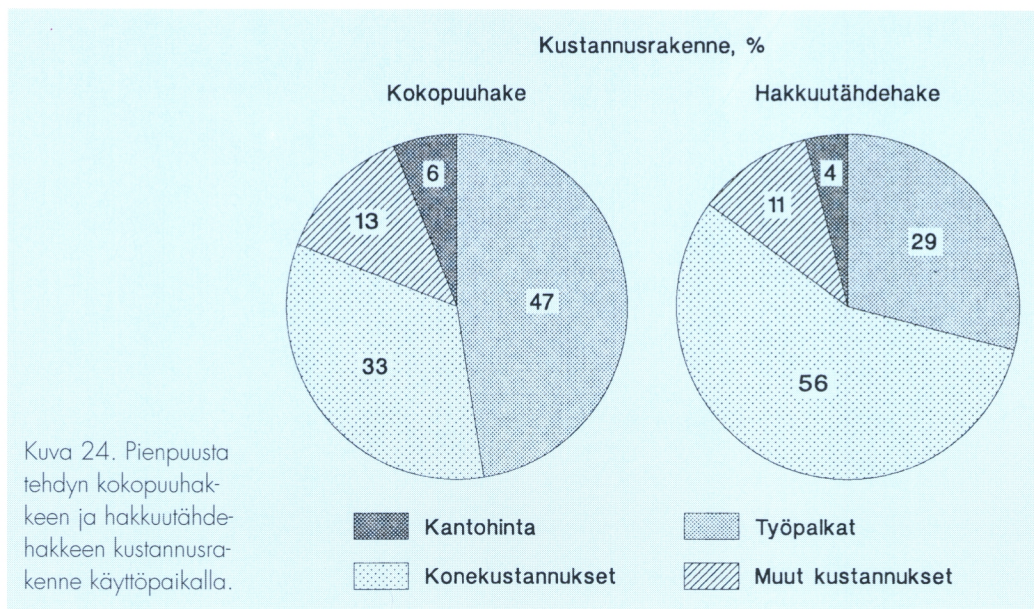
Taulukko 4. Kokopuuhakkeen ja hakkuutähdehakkeen kustannusrakenne käyttöpaikalla.

Kustannustekijä	Kokopuuhake	Hakkuutähdehake
	Kustannusrakenne, %	
Kantohinta	6	4
Hakepuun teko	30	–
Hakepuun metsäkuljetus	15	29
Kustannus tien varressa	51	33
Haketus	18	29
Hakkeen kuljetus	18	27
Edelliset yhteensä	87	89
Korkokulut	3	2
Työnjohto ja yleiskulut	10	9
Kaikki yhteensä	100	100

tekijöistä. Kustannuksia nostavat puitten pieni koko, työtä haittaava risukko, vaikea maasto, lumi, vähäinen kertymä pinta-alayksikköä kohti, leimikon pieni koko sekä taitamaton suunnittelu. Jos polttoaineen syötön helpottamiseksi on kokopuuhakkeen sijasta tehtävä palakokojakaumaltaan tasaisempaa rankahaketta ja puut on sen vuoksi karsittava, leimikkotekijäin merkitys korostuu edelleen. Sen sijaan päätehakkuualueiden hakkuutähteelle ei tässä vaiheessa kerry kustannuksia lainkaan, koska hakkuukoneitten jälkeensä jättämä latvusmassa ja hukkarunkopuu ovat sellaisenaan valmiita kerättäviksi kuormatraktorilla tien varteen.

Vaikka puutavaran teko yleisesti ottaen on siirtymässä metsurilta koneelle, pienikokoisten puitten hakkuu on sekä kustannusten että laadullisen tuloksen suhteen edelleen edullisinta ihmistyönä. Kun energiapuun yleensä korjataan nuorista metsistä, joissa puitten runkoluku on suuri ja koneitten työskentely siitä syystä hankalaa, ei energiapuun hakkuun koneellistaminen ole vielä toistaiseksi näköpiirissä. Kuva 24 osoittaa, että lähes puolet kokopuuhakkeen kokonaiskustannuksista koituu metsurin, koneenkuljettajien ja työnjohdon välittömistä ja välillisistä palkkakustannuksista ja kolmannes koneitten pääoma-, huolto-, korjaus- ja polttoainekustannuksista. Hakkuutähdehakeella konekustannusten osuus on suurempi ja työpalkkojen pienempi. Jakauman tunteminen helpottaa työllisyysvaikutuksen, verokertymän sekä kustannuskehityksen ennakoimista.

Mikäli energiapuun korjuu liukuu vastaisuudessa nykyisistä leimikkokohteistaan enemmän ensiharvennusmetsiin, korjuukustannukset alentuvat puun järeytymisen myötä. Toisaalta on kui-



Kuva 24. Pienpuusta tehdyn kokopuuhakkeen ja hakkuutähdehakkeen kustannusrakenne käyttöpaikalla.

tenkin ilmeistä, että silloin myös metsänomistajan kantohintaodotukset kohoavat. Siksi leimikkosiirtymä tuskin ainakaan toistaiseksi vaikuttaa kovin merkittävästi hakkeen loppuhintaan.

Jotta hake olisi Suomessa liiketaloudellisesti kilpailukykyistä vaihtoehtoisiin polttoaineisiin verrattuna, sen kustannus ei saisi kesän 1992 tilanteessa ylittää käyttöpaikalla tasoa 45–55 mk/MWh eli 90–120 mk/m³. Koivulla hinta voi puukuutiometrin suuremman lämpösisällön ansiosta olla keskimääräistä korkeampi, kun taas lepällä sen on oltava vastaavasti alhaisempi.

82. Energiapuun käyttöä edistäviä toimenpiteitä

Pienpuun laajamittainen polttoainekäyttö helpottaisi ongelmalliseksi muodostunutta nuorten metsien hoitoa, edistäisi ympäristön suojelua ja loisi maaseudulle uusia työtilaisuuksia. Kansan- ja kunnantaloudellisista eduistaan huolimatta metsäenergian hyödyntäminen on kuitenkin viime vuosina pikemminkin taantunut kuin edistynyt, sillä puun liiketaloudellinen kilpailukyky fossiilipolttoaineitten vaihtoehtona on nykyisten hintasuhteitten vallitessa heikko. Ellei yhteiskunta ryhdy konkreettisiin toimenpiteisiin pienpuun polttoainekäytön edistämiseksi, polttopuun korjuu hiiptää edelleen.

Puun epäedullinen kilpailuasema johtuu paljolta siitä, että kiinteitä polttoaineita käyttävien laitosten investointikustannukset ovat öljylaitoksiin nähden viisin- tai jopa kuusinkertaiset. Erityisesti polttoainevarastojen, kuljettimien, tulipesien sekä savukaasujen

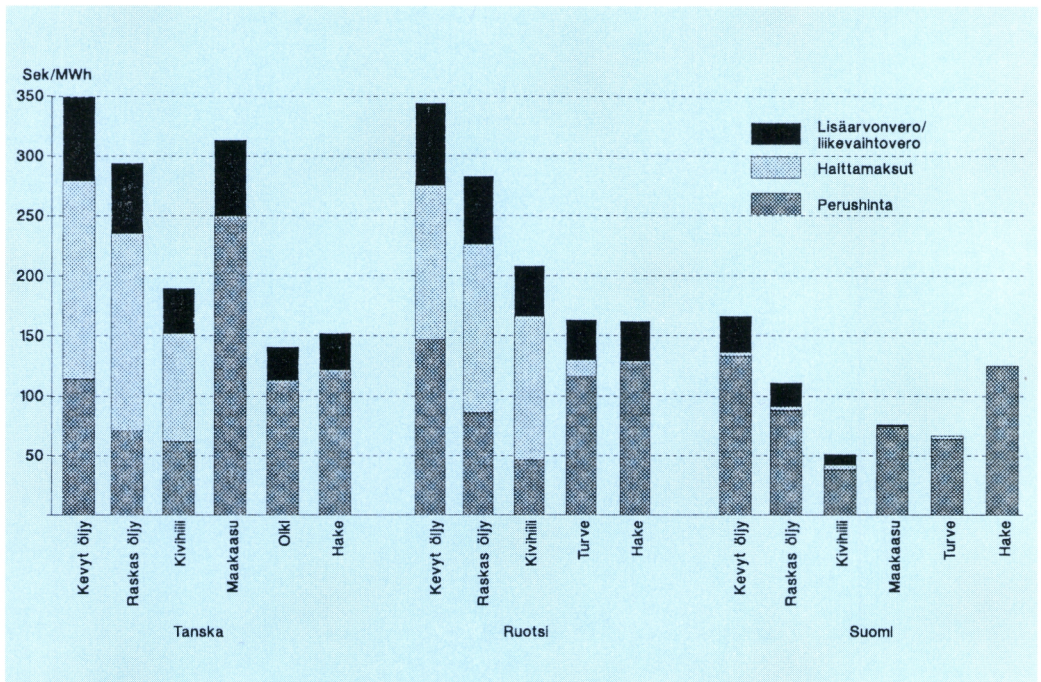
ja tuhkan käsittelylaitteitten kustannukset ovat raskaat. Korkea korkotaso rasittaa nimenomaan puuta polttavia laitoksia. Kun lämpölaitosten puustamaksukyky ei vastaa hakkeen hankintakustannuksia, ne käyttävät puun sijasta muita polttoaineita.

Teollisuuden ainespuun kustannuksia on alennettu 1990-luvulla huomattavasti laskemalla kantohintaa, tehostamalla korjuuta, välttämällä ensiharvennuksia, supistamalla puutavaravarastoja sekä keventämällä organisaatiota. Polttopuun osalta nämä mahdollisuudet ovat varsin rajalliset, sillä kantohinta on jo nykyisinkin vain nimellinen, eikä kallista miestyötä puitten pienen koon vuoksi juurikaan voida eliminoida koneellistamalla. Jos polttopuun korjuumäärät kuitenkin moninkertaistuisivat ja käyttö käynnistyisi myös suurissa laitoksissa, mahdollisuuksia kustannustason alentamiseen avautuisi seuraavista syistä: voitaisiin käyttää tehokkaita korjuuketjuja, toiminta muuttuisi ympärivuotiseksi, koneitten vuotuinen käyttötuntimäärä kasvaisi, hakkeen laatuvaatimuksia voitaisiin lieventää esimerkiksi palakokojakauman ja kosteuden suhteen. Polttopuun hankinta voitaisiin myös integroida entistä kiinteämmin ainespuun hankintaan. Nämä keinot eivät kuitenkaan yksinään voi tuoda ratkaisua hakkeen kustannusongelmaan.

Polttopuu on vapautettu Suomessa liikevaihtoverosta alkutuotevähennyksen kautta, mutta siitä huolimatta merkittävä osa polttopuun kustannuksista koostuu korjuukoneitten liikevaihtoverosta sekä ennen kaikkea työpalkkoja rasittavista veroista ja veroluontoisista maksuista. Suunnitteilla oleva siirtyminen liikevaihtoverosta arvonlisäveroon vuoden 1994 alussa saattaa johtaa EY:n direktiiviä myötäillen alkutuotevähennyksen poistamiseen. Tuolloin markkinapolttihakkeen kustannukset nousisivat 18 % ja puulla tuotetun lämmön kokonaiskustannukset noin 10 %. Ellei korotusta kompensoida täysimääräisesti esimerkiksi ympäristönsuojelullisin tai muin perustein, pohja pienpuun polttoainekäytöltä romahtaa kokonaan.

Ruotsissa ja Tanskassa hakkeen kilpailukyky on ratkaisevasti parempi kuin Suomessa. Hakkeen kustannukset eivät sinänsä ole alhaisemmat kuin Suomessa, mutta kilpailevien polttoaineitten kustannukset sen sijaan ovat, kun kysymyksessä on lämmön tuotanto (kuva 25). Naapurimaissamme on asetettu polttoöljyn ja kivihiilen rasitteeksi lämpöä tuottaessa CO₂-, SO₂- ja NO_x-päästöjen perusteella korkeita haittamaksuja, ja myös lisäarvonvero rasittaa polttopuuta vähemmän kuin fossiilipolttoaineita. Ruotsissa energiapuuta hankitaan jopa yli 100 km:n etäisyydeltä, ja myös metsäteollisuus osallistuu aktiivisesti polttopuun hankintaan. Jos haittamaksut poistettaisiin, hakkeen polttoainekäyttö kävisi myös Ruotsissa ja Tanskassa välittömästi kannattamattomaksi.

Suomessa öljyyn ja kivihiileen kohdistuvat haittamaksut ovat lämmöntuotannossakin mitättömän pienet. Nykyisessä taloudellisessa tilanteessa tuskin onkaan mahdollista nostaa lämmityspolttaineitten hintaa niin paljon kuin ympäristöhaitat näyttäisivät



Kuva 25. Lämmön tuotantoon käytettävien polttoaineitten hintarakenne tammikuussa 1992 Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa (Nordvärme 1992).

edellyttävän. Kansainvälinen sopimus hiilidioksidipäästöjen rajoittamisesta ja EY:n suunnittelema fossiilipolttoaineitten saastevero, joka kohoaisi asteittain vuoteen 2000 mennessä 10 dollariin öljytynnyriä kohti, saattavat kyllä pitkällä tähtäyksellä tuoda helpotusta puun asemaan.

Kotimaista polttoainetta käyttäville lämpölaitoksille voidaan jo nykyisinkin maksaa investointitukea, joka kattaa laitoksen rakentamiskustannuksista 25 % ja kokonaan uutta tekniikkaa käyttöön otettaessa jopa 50 %. Tukea tulisi voida myöntää vastaavasti myös polttopuun korjauseen investoiville koneyrityksille.

Paitsi investointitukea tarvitaan myös käyttötukea, jota tulisi voida myöntää esimerkiksi työllisyys- tai ilmansuojeluperusteiden sekä uusille että jo toimiville laitoksille. Polttopuun korjuuta voitaisiin tukea metsänparannusvaroista maksettavilla avustuksilla, polttopuun hankintatyön verovapaudella tai ottamalla metsäverotuksessa käyttöön ensiharvennusvähennyksen kaltainen energia- ja puuvähennys. Kauppa- ja teollisuusministeriön asettama työryhmä on laatimassa mietintöä tukimahdollisuuksista.

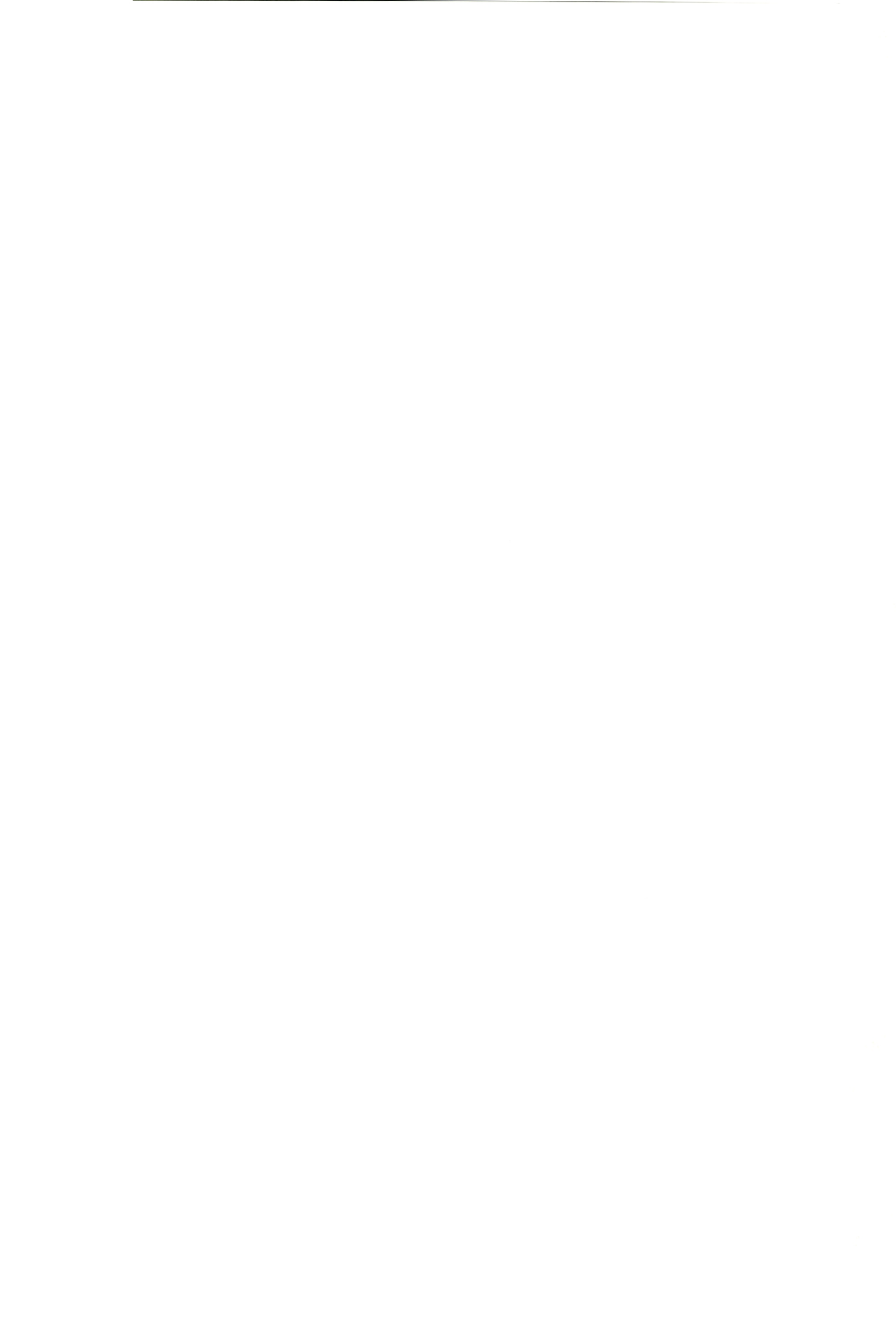
Kun tavoitteena on metsäenergian tarjoamien mahdollisuuksien hyödyntäminen, tuotekehittelyn ja pitkäjänteisen tutkimuksen merkitys on suuri. Erityisesti Ruotsiin verrattuna metsäenergiatutkimuksen rahoitus on Suomessa vaatimattomalla tasolla. Rahoitus jaetaan ensisijaisesti kauppa- ja teollisuusministeriön kautta. Maa- ja metsätalousministeriössä, jonka alaisuuteen metsien hoidon sekä puun kasvatuksen ja korjuun tutkimus perinteisesti keskittyy, metsäenergiatutkimuksen rahoitus on ollut viime vuosina vähäis-

tä. Osa metsäenergiatutkimuksen rahoituksesta kanavoitaneen tulevaisuudessa EY:n kautta.

Valtioneuvoston keväällä 1992 eduskunnalle antamassa energiapoliittisessa selonteossa korostetaan energiatutkimuksen ja tutkimusohjelmien merkitystä energiapoliittisten tavoitteitten saavuttamiseksi. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatutkimustyöryhmän keväällä 1992 jättämässä mietinnössä painotetaan Suomessa jo olevien osaamiskeskusten keskeistä asemaa pitkäjänteisen tutkimuksen asiantuntijoina ja jatkuvuuden turvaajina. Osaamiskeskuksia ovat polttopuun tuotannon sekä poltto- ja ainespuun integroidun hankinnan osalta ennen kaikkea Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho, Helsingin yliopisto ja Joensuun yliopisto sekä maatilatalouden energiakysymysten osalta Työtehoseura. Puun polton ja biomassan jatkojalostuksen osaamiskeskukset taas ovat VTT:ssa ja Teknillisessä korkeakoulussa. Kun tavoitteena on hyödyntää metsäenergian Suomen metsä- ja kansantaloudelle sekä ympäristön suojelulle tarjoamat mittavat mahdollisuudet, riittäväällä ja vakaalla tutkimusrahoituksella on keskeisen tärkeä merkitys.

Lukijalle korostettakoon, että silloinkin kun kysymyksessä on hakkeen muotoon saatettu puu, tilavuus ilmoitetaan kiintokuutiometreinä ja sen lyhenteenä on SI-järjestelmän mukaisesti m³. Milloin poikkeuksellisesti tarkoitetaan hakkeen irtokuutiometriä, sen lyhenteenä on i-m³.

- Bioenergiaselvitys — taustaa tutkimusohjelmaesitykselle. 1992. VTT, poltto-
ainetekniikan laboratorio. 18 s.
- Energiakatsaus 1. 1992. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. 42 s.
- Energiametsätoimikunnan mietintö I. 1979. Komiteamietintö 49/1979. 111 s.
- Energiapuun käyttömahdollisuuksista. 1980. Metsänhoitaja 30(7): 3.
- Energiatutkimus 1993–1998. 1992. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energia-
osasto. Mietintöjä C:29. 81 s.
- Hakkila, P. 1984. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Metsähake
lämpölaitosten polttoaineena Suomessa. Folia Forestalia 586. 62 s.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Folia Forestalia 342. 38 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Crown mass of trees at the
harvesting phase. Folia Forestalia 773. 24 s.
- Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot. 1992.
Maa- ja metsätalousministeriö. 121 s.
- Hiilidioksiditoimikunnan mietintö. 1991. Komiteamietintö 21/1991. 111 s.
- Immonen, K. & Seppälä, R. 1984. Poltopuun ja palaturpeen alueittainen tuotan-
to, jakelu ja käyttö. SITRA. Sarja B nro 76. 164 s.
- Kuusela, K. 1984. Timber utilization and the potential of forest energy in Finland
with reference to the IEA member countries. IEA/ENFOR Joint Report 7.
31 s.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja
latvan katkaisuläpimitasta. Folia Forestalia 233. 20 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1989. 1990. Folia Forestalia 760. 246 s.
- Nordvärme. 1992. Bränsle- och energiavgifter i Norden. Bulletin April/1992. 5 s.
- Suomen Kunnallisliitto. 1991. Tietoja pienistä lämpölaitoksista vuodelta 1990.
Helsinki. 33 s.
- Talonrakennustilastot vuosilta 1982–1990. [Yhdeksän eri julkaisua v:lta 1983–
1991.] Tilastokeskus. SVT: XVIII C.
- Toropainen, M. 1982. Kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymisen kannatta-
vuus ja julkinen rahoitustuki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 54.
111 s.
- Tuomi, S. 1992. Poltopuun käyttö pientaloissa ja maatiloilla. Työtehosteuran
metsätiedote 1. 5 s.





Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422

ISBN 951-40-1236-4

ISSN 0358-4283