

# FOLIA FORESTALIA 624

ETSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1985

---

METSÄENERGIAN MAHDOLLISUUDET  
SUOMESSA  
PERA-projektin väliraportti

---

THE POTENTIAL OF FOREST ENERGY  
IN FINLAND  
Interim report of PERA project

---



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
*Address:* SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401  
*Phone:*

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

FOLIA FORESTALIA 624

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Pentti Hakkila (toim. — ed.)

METSÄENERGIAN MAHDOLLISUUDET SUOMESSA  
PERA-PROJEKTIN VÄLIRAPORTTI

The potential of forest energy in Finland  
Interim report of PERA project

*Approved on 14.6.1985*

HAKKILA, P. (toim.—ed.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. *Folia For.* 624:1—86.

Kotimaisten polttoaineiden käyttöä edistävä tutkimustoiminta jakaantuu Suomessa neljään lohkoon: Polttopuun tuotanto, polttoturpeen tuotanto, puun polttotekniikka ja turpeen polttotekniikka. Kolmen viimeksi mainitun lohkon tutkimus tapahtuu ensisijaisesti kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa Kotimaisten polttoaineiden laboratoriossa. Polttopuun tuotanto sen sijaan integroituu metsätalouteen, minkä vuoksi sitä koskeva tutkimus tapahtuu pääosiltaan maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa Metsätutkimuslaitoksessa.

Metsätutkimuslaitoksessa polttopuututkimuksista on muodostettu PERA-projekti, joka jakaantuu kolmeen erilliseen osaan. Osaprojekti A tutkii ja kehittää olemassa olevien pien- ja jätepuureservien teknis-taloudellista hyödyntämistä polttoaineena. Osaprojekti B tutkii mahdollisuuksia tuottaa polttopuuta luonnonvesakoissa metsänkasvatuksen pää- ja sivutuotteena. Osaprojekti C tutkii puubiomassan tuottamista voimaperäisesti hoidetuilla lehtipuuviljelmillä lyhyttä kiertoaikaa käyttäen.

PERA-projektin tuloksia on esitetty yhteensä 325 tutkimusjulkaisussa ja artikkelissa. Tämä raportti on yhteenveto projektin tutkimuksista vuosina 1978—1984. Lisäksi esitetään ehdotus jatkotutkimusohjelmasta vuosille 1986—1990.

Research for the promotion of the use of indigenous fuels in Finland is divided into four sectors: production of fuel wood, production of fuel peat, wood combustion and peat combustion. The three last mentioned research activities are carried out primarily at the Domestic Fuel Laboratory subordinated to the Ministry of Trade and Industry. The production of fuel wood is an integrated part of forestry and the research concerned is mainly carried out at the Finnish Forest Research Institute subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry.

The fuel wood studies at the Finnish Forest Research Institute are implemented in the PERA-project, which is divided into three subprojects. Subproject A examines and develops the techno-economic utilization for fuel of present small timber and logging residue reserves. Subproject B examines the possibilities of producing fuel wood as a main crop, or as a by-product of timber growing in natural coppice stands. Subproject C examines the production of wood biomass in intensively managed hardwood plantations in accordance with the principles of short rotation forestry.

Results of the PERA-project have been published in 325 research reports and articles. The present report is a summary of research activities between 1978 and 1984. A proposal for further research is presented for the period 1986 to 1990.

OCD 331+238+831.1+537  
ISBN 951-40-0704-2  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1985. Valtion painatuskeskus

# SISÄLLYS

1. PROJEKTIN TAUSTA .....	5
11. Puun energiakäytön kehittyminen Suomessa .....	5
12. Energiapolitiikan tavoite .....	5
13. Metsäenergian tuotantopotentiaali .....	6
14. PERA-projektin käynnistäminen .....	7
15. PERA-projektin tavoitteenasettelu .....	7
2. PIENPUUN JA METSÄTÄHTEEN KORJUU ENERGIÄKÄYTTÖÖN .....	8
21. Pienpuu- ja metsätähdereeservit .....	8
22. Energiapuun korjuutekniikka .....	11
23. Metsähakkeen polttoaineominaisuudet .....	18
24. Metsähakkeen hankintakustannukset .....	21
3. ENERGIAPUUN TALTEENOTTO METSÄEKOSYSTEEMIN KANNALTA .....	23
31. Energiapuun talteenoton liittyminen metsänhoitotöihin .....	23
32. Pienpuun korjuu metsien hoidossa .....	23
33. Hakkuutähteiden korjuu päätehakkuun yhteydessä .....	26
4. ENERGIAPUUN TUOTTAMINEN LUONNONVESAKOISSA .....	29
41. Luonnonvesakoiden tuotantopotentiaali .....	29
42. Vesametsien kasvatusta .....	30
43. Vesametsäkasvatuksen liiketaloudellinen edullisuus .....	41
5. ENERGIAPUUN TUOTTAMINEN VILJELMILLÄ .....	44
51. Energiaviljelmän kasvumalli .....	44
52. Energiaviljelmien puulajit ja -lajikkeet .....	45
53. Energiaviljelmien perustaminen ja hoito .....	46
54. Kiertoaika ja tuotos .....	53
55. Energiaviljelmien tuhot .....	55
56. Energiaviljelmien liiketalous .....	58
6. PUUN ENERGIÄKÄYTÖN LAAJENTAMISMAHDOLLISUUDET .....	60
61. Energiainvestointien suunnittelutilanne .....	60
62. Kotimaisten polttoaineiden käyttöä lisäävät investoinnit .....	62
63. Kotimaisten polttoaineiden valintaperusteet .....	64
64. Investointien kannattavuus ja hyötyjen jakautuminen kansantaloudessa .....	66
7. TUTKIMUKSEN JATKOTARVE VUOSINA 1986—1990 .....	70
71. Osaprojekti A: Olemassa olevien energiapuureservien hyödyntäminen .....	70
72. Osaprojekti B: Luonnonvesakat .....	72
73. Osaprojekti C: Energiaviljelmät .....	72
8. TIIVISTELMÄ .....	73
KIRJALLISUUS .....	77
PERA-projektin tutkimusjulkaisut .....	77
Muu viitekirjallisuus .....	81
SUMMARY .....	85

## ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistettiin vuonna 1978 puuta energian raaka-aineena tutkiva monitieteinen PERA-projekti. Alunperin vuosille 1978—1987 laadittu projektisuunnitelma edellyttää, että suunnitelmaa ja ohjelmaa tarkistetaan tutkimustoiminnan edistymisen myötä.

Projektin johtoryhmän puheenjohtajina ovat toimineet ylijohdaja Viljo Holopainen vuosina 1978—1980, ylijohdaja Olavi Huikari vuosina 1980—1983 sekä vuoden 1983 lopusta lähtien professori Pentti Hakkila. Vuoden 1985 kokoonpanossa johtoryhmään kuuluvat professori Pentti Hakkila (osaprojekti A:n päällikkö), professori Eero Paavilainen (osaprojekti B:n päällikkö), professori Erkki Lähde (osaprojekti C:n päällikkö) sekä professori Max. Hagman, professori Eino Mälkönen ja vt. professori Matti Palo. Johtoryhmän sihteerinä ja projektin koordinaattorina ovat toimineet MML Kalevi Karsisto 1978—1981, MMT Veli Pohjonen 1981—1984 sekä MH Tapio Hankala (oto.) vuoden 1984 lopusta alkaen.

Metsäntutkimuslaitoksessa PERA-projektiin osallistuu kahdeksan tutkimussuuntaa. Tutkimuksia tehdään myös tutkimusasemilla: Parkanossa, Muhoksella, Rovaniemellä, Suonenjoella, Joensuussa ja Kannuksessa. Erityisen keskeinen asema energiametsätutkimuksella on ollut Kannuksessa, minne huomattava osa tutkimuksista keskitettiin maa- ja metsätalousministeriön osoituksen mukaisesti heti projektin alkuvaiheessa. Metsäntutkimuslaitoksen ulkopuolisista yhteistyökumppaneista ovat tärkeimmät Joensuun yliopiston biologian laitos, Helsingin yliopiston yleisen mikrobiologian laitos, Oulun yliopiston kasvitieteen laitos sekä Työtehoseura.

PERA-projektin tutkimuksiin on osallistunut Metsäntutkimuslaitoksessa kaikkiaan noin 50 tutkijaa. Vuoden 1985 alussa 11 tutkijaa paneutui energiakysymyksiin lähes päätoimisesti. Myös eräät muut Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusaiheet palvelevat PERA-projektin tavoitteita, ja toisaalta taas PERA-projektin tutkimusohjelma liittyy monilta osiltaan läheisesti muuhun metsäntutkimukseen.

PERA-projektin tutkimustyö on tavoitteiltaan pitkäjänteistä, pääosaksi kenttäko-

keisiin perustuvaa puun kasvatus- ja korjuututkimusta. Projektin toimesta on perustettu tutkimusten alusta lähtien runsaasti kenttäkokeita, joiden kokonaismäärä on kenttäkauden 1984 päättyessä yli 200. Koealoja on kaikkiaan 3500 ja kokeiden kokonaispinta-ala yli 200 ha, josta kolme neljännestä perustuu luontaisten lehtipuustojen kasvattamiseen ja neljännes on viljelty nopeakasvuisilla lehtipuilla. Kenttäkokeet sijaitsevat pääosin Etelä- ja Keski-Suomessa, mutta kokeita on myös Lapissa. Hieskoivua sisältäviä kenttäkokeita on erityisesti Kannuksen ja Muhoksen tutkimusasemien vaikutusalueella.

PERA-projektin päätulokset ilmestyvät Metsäntutkimuslaitoksen omissa julkaisusarjoissa, mutta tuloksia on esitetty muissakin sarjoissa sekä ammatti- ja aikakauslehdissä. Varsinaisia julkaisuja, artikkeleita ja esitelmämönonisteita on PERA-projektissa ilmestynyt vuoden 1984 loppuun mennessä yhteensä 325.

Johtoryhmä on katsonut tarpeelliseksi koota PERA-projektin keskeiset tulokset tähän väliraporttiin. Samalla kun tarkastellaan tutkimuksen tuloksia arvioidaan myös tulevaa tutkimustarvetta, jonka pohjalta esitetään jatko-ohjelmaehdotus vuosille 1986—1990 (luku 7).

Väliraportin kirjoittamiseen ovat osallistuneet seuraavat tutkijat: luku 1: Veli Pohjonen, luku 2: Pentti Hakkila, luku 3: Eino Mälkönen, Erkki Annila ja Tauno Kallio, luku 4: Ari Ferm (41 ja 42), Anneli Kauppi, Päivi Rinne, Hanna-Leena Tela ja Anna Saarsalmi (42) sekä Yrjö Sevola (43), luku 5: Paavo Pelkonen (51 ja 53), Risto Sievänen (51), Anneli Viherä (52), Jyrki Hytönen ja Anna Saarsalmi (53), Pekka Rossi (53, 54 ja 55), Terttu Teivainen, Erkki Annila ja Raija-Liisa Petäistö (55) sekä Seppo Repo (56), luku 6: Tapio Hankala (61 ja 62) ja Mikko Toropainen (63 ja 64), luku 7: PERA-projektin johtoryhmä. Toimitustyön eri vaiheissa johtoryhmää ovat avustaneet MMT Veli Pohjonen, MH Pekka Rossi sekä toimittaja Seppo Oja.

Helsingissä huhtikuussa 1985

*PERA-projektin johtoryhmä*

# 1. PROJEKTIN TAUSTA

(Veli Pohjonen)

## 11. Puun energiakäytön kehittyminen Suomessa

Maamme energiatalous on muuttunut merkittävästi viime vuosikymmeninä. Sotien jälkeiselle kehitykselle oli luonteenomaista energian kokonaiskäytön voimakas lisääntyminen sekä tuontienergian osuuden nopea kasvu. Jyrkät hinnankorotukset kansainvälisillä raakaöljymarkkinoilla sekä öljyn saannin häiriöt vuosina 1973—74 sekä 1978—79 muuttivat kuitenkin kehityksen suunnan. Energian kokonaiskulutuksen kasvu tasaantui ja öljyn osuus kääntyi laskuun.

Primäärienergian kokonaiskulutus oli 10,5 Mtoe vuonna 1960. Vuoteen 1978 mennessä kulutus oli kasvanut yli kaksinkertaiseksi eli 23 Mtoe:iin. Kuluva vuosikymmenen alkupuolella se on pysytellyt 25 Mtoe:n tasolla.

Energian omavaraisuusaste oli vielä 1960-luvun alussa noin 60 % (kuva 1), mutta lasken jälkeen jatkuvasti ja saavutti pohjalukeman, 27 % vuonna 1978. Sen jälkeen omavaraisuus kääntyi valtiiovallan kotimaisen energian käyttöä edistävästä toimenpiteistä ja tuontienergian hintakehityksestä johtuen hienoiseen nousuun ja oli vuonna 1983 jo 32 % (Energiatilastot 1983).

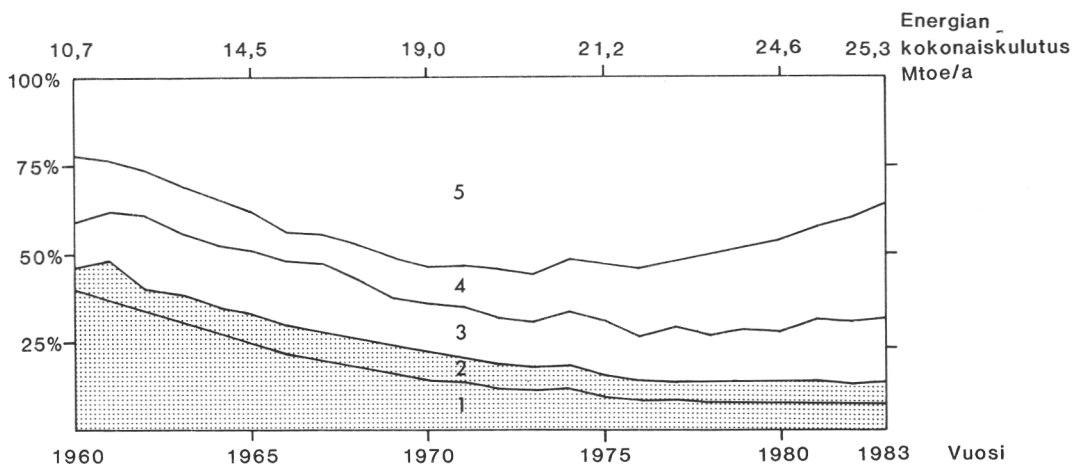
Puuperäisten polttoaineiden osuus energiantuotannosta on vakiintunut noin 14 %:n tasolle. Niihin sisältyy itse asiassa kolme erilaista energialähdettä. Varsinainen polttopuu, jonka tuotantoon ja käyttöön PERA-projektin toiminta lähinnä kohdistuu, sisältää halon ja hakkeen. Toinen lähde koostuu kuoresta, sahanpurusta ja muusta metsäteollisuuden jättepuusta. Kolmas puuperäinen energialähde on selluteollisuuden lähinnä ligniinistä koostuva jätelempi.

## 12. Energiapolitiikan tavoite

Valtioneuvosto on hyväksynyt energiapolitiikallamme kolme päätehtävää (Energiapolitiittinen ohjelma 1983):

- energiahuollon varmuuden turvaaminen,
- energian säästäväinen käyttö ja
- energiahuollon omavaraisuuden nostaminen.

Kotimaisen energian vuotuisen käytön arvioidaan ohjelmassa kohoavan nykyisestä 7,5 Mtoe:sta noin 10 Mtoe:n vuoteen 1995 mennessä, jolloin energiahuollon kotimaisuusaste olisi 32—35 %. Energiapolitiittisessa ohjelmassa



Kuva 1. Primäärienergian kokonaiskulutuksen jakautuminen energialähteittäin vuosina 1960—1983 (Energiatilastot 1983). 1 = polttopuu ja teollisuuden jättepuu, 2 = kemiallisen massateollisuuden musta- ja sulfiittilipeä, 3 = muut kotimaiset (vesivoima ja turve), 4 = muut ulkomaiset (hiili, maakaasu, ydinenergia ja tuontisähkö), 5 = öljy.



lisesti hyväkseen koko kasvukauden ajan. Tätä voidaan ohjata sekä puulajivalinnalla että erilaisin hoitotoimenpitein esimerkiksi kasvualustan ravinteisuutta ja kosteutta säätelemällä.

Nykyiset talousmetsämme sitovat 0,1—0,3 % kasvukauden aikana saapuvasta säteilyn kokonaismäärästä. Silti Suomen metsien vuosittainen puuaineksen kokonaistuotos vastaa energiasisällöltään noin 17 Mtoe (Energiametsätoimikunnan mietintö I 1979)

#### 14. PERA-projektin käynnistäminen

Energiapoliittisten tavoitteiden saavuttamiseksi valtio lisäsi energiatutkimuksen määrää ja rahoitusta 1970-luvun jälkipuoliskolla tuntuvasti. Painopiste siirrettiin ydintutkimuksesta energian säästämistä ja kotimaisten energialähteiden hyödyntämistä edistävään tutkimukseen. Puun ja turpeen käytön tutkiminen asetettiin keskeiselle sijalle.

Maa- ja metsätalousministeriö asetti 5.5. 1977 toimikunnan selvittämään ”mahdollisuudet erilaisten puulajien käyttämiseen energianlähteenä, mahdollisuudet alueiden käyttämiseen energianlähteenä käytettävän puun tuotantoon ja miten energianlähteenä käytettävän puun tuotantoa varten tarpeellisten metsien perustaminen ja kasvatus olisi järjestettävä, sekä selvityksen perusteella tekemään ehdotuksen tarvittavista toimenpiteistä.”

Energiametsätoimikunta jätti työstään kaksi mietintöä: Komiteamietintö 1979: 49 ja Komiteamietintö 1980: 50. Niissä ehdotettiin pienpuun ja metsätähteen polttoainekäyttöön ja energiapuun kasvattamiseen kohdistuvan metsäntutkimuksen pikaista tehostamista. Toimikunta teki lisäksi jo työskentelynsä aikana maa- ja metsätalousministeriölle sekä Metsäntutkimuslaitokselle useita ehdotuksia puun energiakäyttöä edistävän tutkimus- ja koetoiminnan organisoimisesta, suuntaamisesta ja rahoittamisesta.

Metsäntutkimuslaitokselle varattiin energiametsätoimikunnan esityksen pohjalta vuodesta 1978 lähtien määräraha alan tutkimus-, koe- ja kehittämistoimintaan valtion tulo- ja menoarvion momentille 30.76.28 (Metsätaloudelliset yhteistutkimukset). Määrärahalla käynnistettiin vuonna 1978 energiametsätoimikunnan suunnitelmien pohjalta puun käyttöä energialähteenä koskeva kol-

miosainen PERA-projekti, joka tutkii olemassa olevien polttopuubarjojen hyödyntämistä, energiapuun tuottamismahdollisuuksia perinteiseen puunkasvatukseen liittyen sekä biomassan tuottamista energiatarkoituksiin erikoisviljelmillä. Pääosa polttopuun tuotannon tutkimuksista tapahtuu maassamme edelleenkin maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa tämän määrärahan turvin. Sen sijaan polttoturpeen tuotannon sekä turpeen ja puun polton tutkimuksen jatkuvuus on turvattu kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa Kotimaisten polttoaineiden laboratoriossa.

#### 15. PERA-projektin tavoitteenasettelu

*Osaprojekti A* (pienpuu ja metsätähti) selvittää olemassa olevien polttopuureservien hyödyntämistä ja mahdollisuuksia lisätä pien- ja jätepuun energiakäyttöä maamme energiapoliittisessa ohjelmassa asetetun tavoitteen mukaisesti. Teknis-taloudellinen tutkimuskokonaisuus tukee samalla nuorten metsien metsänhoidolliseen käsittelyyn sekä metsäbiomassan yleiseen hyödyntämiseen liittyvää tutkimusta, joka lähivuosina palvelee myös esimerkiksi Metsä 2000-ohjelman tavoitteita.

Teknisissä tutkimuksissa kehitetään uusia pien- ja jätepuun korjuu- ja kuljetusmenetelmiä tavoitteena kustannustason alentaminen, työn tuottavuuden kohottaminen, biomassan talteenoton tehostaminen, puun polttoaineminaisuuksien parantaminen sekä ekologisesti terveitten toimintamallien kehittäminen. Tutkimukseen liittyy myös laite- ja menetelmäkehittely yhteistyössä koneenrakentajien ja metsätalouden harjoittajien kanssa.

Taloudellisilla tutkimuksilla selvitetään erityyppisten puuerien kansantaloudellista ja liiketaloudellista edullisuutta vaihtoehtoisissa käyttökohteissa. Tutkimusten lähtökohdaksi on jalostus- ja energiakäytön kilpailu korjattavissa olevasta puubiomassasta sekä toisaalta puun kilpailu energialähteenä muiden polttoaineitten kanssa.

*Osaprojektissa B* (luonnonvesakot) tutkitaan mahdollisuuksia tuottaa energiaksi käytettävää puuta metsänkasvatuksen pää- tai sivutuotteena perinteisin metsänhoidon menetelmin. Erityisesti tutkimuskohteena on

turvemaiden hieskoivikoiden kasvattaminen lyhyellä kiertojalla ja vesosta uudistaen.

*Osaprojektissa C* (energiaviljelmät) tutkitaan mahdollisuuksia tuottaa energiaksi käytettävää puubiomassaa tehokkaasti hoidetuilla lyhytkiertoviljelmillä. Tämä pitkälle tulevaisuuteen tähtäävä vaihtoehto vaatii

monipuolista perusteiden selvittämistä ja useiden eri tutkimusalojen yhteispanosta. Puulajien ja -lajikkeiden valinta, niiden rodullinen testaaminen, viljelymateriaalin tuottaminen, viljelmien perustaminen, viljelmien ravinnekysymykset ja hoito ovat tämän osaprojektin keskeisiä tavoitteita.

## 2. PIENPUUN JA METSÄTÄHTEEN KORJUU ENERGIÄKÄYTTÖÖN

(Pentti Hakkila)

### 2.1. Pienpuu- ja metsätähdereeservit

Puun energiakäytön tulee pitkällä tähtäyksellä perustua pääsääntöisesti sellaiseen pienpuun ja metsätähteen biomassaan, joka ei täytä teollisuuspuulle asetettuja läpimitta- ja laatuvaatimuksia (kuva 3). Näin siitäkin huolimatta, ettei lehtipuisen pinotavaran tarve juuri tällä hetkellä täysin vastaakaan suunnitteen mukaisia hakkuumahdollisuuksia.

Valtakunnallisen hakkuusuunnitteen mahdollistama runkopuun kertymä on 1980-luvun alkuvuosina ollut 60,4 milj. m<sup>3</sup>/a. Jos teollisuuden laatuvaatimukset täyttävää runkopuuta korjattaisiin tässä laajuudessa, metsään jäisi samanaikaisesti tähteinä alamittaisten runkojen, latvojen, oksien sekä kanto- ja juuripuun muodostama 42,6 milj. m<sup>3</sup>:n markkinakelvoton biomassareservi taulukon 1 mukaisesti.

Potentiaalisen metsäbiomassareservin polttoainekäyttö on ekologisista, teknisistä, taloudellisista ja markkinapoliittisista syistä täysimääräisenä tietenkin mahdottomuus. PERA-projektissa on suunnittelun lähtökohdaksi pyritty rajaamaan potentiaalisen biomassareservin teknisesti korjuukelpoinen osa, mutta sen määrittäminen on korjuuteknisten leimikkotietojen puutteellisuuden ja toisaalta polttoaineitten pitkäaikaisen hintakehityksen arvaamattomuuden vuoksi vaikeaa.

Taulukko 2, joka pohjautuu Metsäntutkimuslaitoksessa Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton puuvaraselvitystä varten tehtyyn laskelmaan, antaa kuvan teknisesti korjuukelpoisen biomassareservin suuruusluokasta ja leimikkotyypeistä. Laskentaperusteet on esitetty aiemmin (Hakkila 1978a).

Taulukko 1. Biomassan hakkuusuunnite.

Tavaralaji	Suunnite milj. m <sup>3</sup> /a
Markkinakelpoinen puutavara:	
Runkopuu	51,9
Runkojen kuori	8,5
Yhteensä	60,4
Markkinakelvoton biomassa:	
Oksat	22,3
Kanto- ja juuripuu	15,1
Alamittaiset puut ja latvat	5,2
Potentiaalinen reservi yhteensä	42,6
Suunnite yhteensä	103,0

Taulukko 2. Teknisesti korjuukelpoinen biomassareservi, joka ei täytä metsäteollisuuden raakapuun nykyisiä laatuvaatimuksia.

Tavaralaji	Teknisesti korjattavissa	
	Milj. m <sup>3</sup> /a	Milj. toe/a
Hakkuutähde viheraineetta	3,01	0,61
Kanto- ja juuripuu	2,42	0,48
Pienikokoiset puut oksineen:		
Taimikoista	3,26	0,58
Ensiharvennuseksistä	1,02	0,19
Vajaatuottoisista lehtimetsistä	5,54	1,01
Korjuukelpoinen reservi yhteensä	15,25	2,87

Korjuukelpoinen *hakkuutähde* koostuu avohakkuualoille tukki- ja pinopuun korjuussa jäävästä runkohukkapuusta ja oksista siten, että neulasia ei ole laskettu mukaan. Kun teollisuuden pinotavaran vähimmäislatvaläpimitta on havupuulla 6 cm ja lehtipuul-



Kuva 3. Ylitiheänä kasvanut nuori koivikko on edullinen metsähakkeen korjuukohde.

la 7 cm, jää jokaisesta rungosta hakkuutäh-  
teeksi vastaavasti keskimäärin 3—4 ja 5—8  
 $\text{dm}^3$ :n latvakappale, pienillä puilla hieman  
enemmänkin (vrt. Laasasenaho ja Snellman  
1983). Pääosa hakkuutähteestä on kuitenkin  
oksia, joita on eniten kuusivaltaisissa leimi-  
koissa. Korjuukelpoiseksi on taulukon 2 ver-  
raten ankarien leimikkovaatimusten puitteis-

sa luokiteltu itse asiassa vain 13,5 % potenti-  
aalisesta oksa- ja latvustähdemäärästä.

Korjuukelpoinen *kanto- ja juuripuu* koos-  
tuu niin ikään tiettyjen leimikkovaatimusten  
mukaisesti avohakkuualojen tukkipuitten  
kantoleikkauksen alapuolelle jäävistä osista.  
Mukaan ei ole hyväksytty alle 5 cm:n paksui-  
sia juurenosia. Korjuukelpoiseksi on luokitel-

tu 16,0 % suunnitetta vastaavasta potentiaalisesta kanto- ja juuripuureservistä.

*Taimikoitten raivauksista ja perkauksista* saatava puu on hyvin pienikokoista, ja siihen sekoittuu pinotavaran läpimittavaatimukset täyttävää puuta käytännössä vain vähän. Koko reservi on luokiteltu teknisesti korjuukelpoiseksi, mutta puitten pienen koon vuoksi kustannustekijät rajoittavat talteenoton käytännössä lähinnä hankintakauppoihin. Varteenotettavimpia korjuukohteita ovat yli-tiheinä varttuneet taimikot, joissa perkaustyöt ovat viivästyneet.

*Ensiharvennusemetsien* pienpuu on pääasiassa havupuuta, jossa on mukana runsaasti viherainetta. Teknisesti korjuukelpoiseksi biomassareserviksi on luokiteltu kokonaisuudessaan se osa ensiharvennusemetsien biomassasta, joka ei täytä pinopuun mittoja tai leimikkovaatimuksia. Metsiemme ikäluokkajakaumasta johtuen ensiharvennuspuiden määrä on lisääntymässä.

*Vajaatuottoisia lehtipuuvaltaisia metsiä* uudistettaessa saadaan perinteisen pinotavaran ohella runsaasti pienikokoista puuta, erityisesti koivua ja leppää. Tähän leimikkoryhmään on luettu lisäksi nuorilta kuusenistutusaloilta poistettava alamittainen lehtipuinen verhopuusto. Tavoitteena on uudistaa vajaan tuottoiset metsät lähinnä havupuulle mahdollisimman nopeasti, joten niiden tuottaman pienpuun määrän voidaan olettaa ajan myötä supistuvan.

Edellä kuvattu 15,3 milj. m<sup>3</sup>:n vuotuinen pienpuu- ja metsätähdemäärä muodostaa nykytilanteessa eräänlaisen korjuukelpoisen polttopuureservin. On kuitenkin huomattava, että osaa siitä voidaan kuituominaisuksiensa puolesta samanaikaisesti katsoa myös massa-, levy- ja kemian teollisuuden raaka-ainereserviksi. Niinpä Valtanen (1981) varaa taulukon 2 mukaisesta vuotuisesta polttopuureservistä 0,4 milj. m<sup>3</sup> ensiharvennuspuiden ja 2,2 milj. m<sup>3</sup> vajaatuottoisten metsien pienpuuta energiakäytön sijasta metsäteollisuuden jalostuskäyttöön soveltuvaksi reserviksi. Näitten kohteitten osalta saattaakin ajan myötä yleistyä käytäntö, jossa metsäteollisuus korjaa kaiken biomassan yhdessä erässä kokopuuhakkeena tai karsimattomina puunosina ja erottelee sen vasta käyttöpaikalla toisaalta kuituraaka-aineeksi sekä toisaalta kuori- ja neulaspuuainekseksi polttojakeeksi.

Myös Keskusmetsälautakunta Tapiossa on laskettu yksityismetsien alueellisia metsä-

taloussuunnitelmia hyväksi käyttäen piirimetsälautakunnittaiset polttopuureservit. Tältä pohjalta arvioiden koko maan yksityismetsien korjuukelpoiseksi polttopuureserviksi on ilman kanto- ja juuripuuta saatu 7,3 milj. m<sup>3</sup> (Ranta 1983). Korjuukelpoinen polttopuureservi on runkopuun kertymäsuunnitteeseen verrattuna erityisen suuri Pohjanmaalla, missä on runsaasti ojituksen tuloksena nousutta hieskoivuvaltaista pienpuustoa. Kaikki omistajaryhmät kattavaan Metsäntutkimuslaitoksen laskelmaan verrattuna määrä on suuruusluokaltaan sopusoinnussa, joskin hieman pienempi.

Metsähakkeen tuotantomäärät ovat kasvaneet huomattavasti 1970-luvun lopusta lähtien. Metsiemme tarjoamiin mahdollisuuksiin verrattuna käyttö on kuitenkin edelleen vaatimatonta. PERA-projektissa SIT-RAN myöntämällä lisärahoituksella tehdyn selvityksen mukaan käyttötilanne oli vuonna 1982 metsähaketyypeittäin seuraava (Hakkila 1984).

- Avohakkuualojen *hakkuutähdehaketta* ei vähäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta käytetty pientalouksien tai lämpölaitosten polttoaineena. Hyödyntämisen on viime vuosiin saakka estänyt hakkuutähteille soveltuvan hakkurikaluston puuttuminen, mutta vuonna 1982 markkinoillemme tuli uusia järeitä hakkuutähdehakureita ja -murskaimia. Niitten ansiosta hakkuutähdehake on korjuukustannuksiltaan jo muuta polttopuuta edullisempaa, mutta hankinta- ja polttoaineteknisistä syistä se soveltuu ja ohjautuu toistaiseksi lähinnä vain metsäteollisuuden omaan energiakäyttöön.
- *Kanto- ja juuripuun* polttoainekäyttö on korjuukustannusten kalleuden ja epäpuhtauksien aiheuttamien ongelmien vuoksi toistaiseksi kannattamatonta. Kysymyksen tulee vastaisuudessaakin vain raskas kalusto, joka soveltuu ensisijaisesti metsäteollisuusyritysten puunhankintaorganisaatioille. Polttoainekäytön vaihtoehtona kilpailee tulevaisuudessa myös jalostus kuituraaka-aineeksi sulfaattimassateollisuudessa. Uusiin ratkaisuihin perustuvien prototyypikoneitten kehittäminen on maassamme jonkin verran käynnissä, mutta kehitystyön korkeitten kustannusten vuoksi se on jäänyt PERA-projektissa vähäiseksi.
- *Pienikokoisesta puusta* valmistettua metsähaketta hankittiin, seassa ollut kuitupuuosuus mukaan lukien, vuonna 1982 poltto- ja raaka-aineeksi koko maassa yli 766 000 m<sup>3</sup>. Käyttö oli ainoastaan 4—6 % metsiemme vuotuisesta reservistä. Varsinaisten lämpölaitosten osuus oli siitä lähes 400 000 m<sup>3</sup>. Kun käytön määrä oli reserviin verrattuna vähäinen, metsähake voitiin korjata lyhyen kuljetusmatkan päästä käyttöpaikasta. Suurin osa metsälöistä jäi siis edelleen metsähakkeen hankintatoiminnan ulottumattomiin.

Pienpuun ja metsätähteen määrien arviointi leimikoittain, alueellisesti ja valtakunnallisestikin on perustietojen puutteellisuus-

den ja mittausteknisten ongelmien vuoksi edelleen vaikeaa, ja virhemarginaalit ovat oleellisesti suuremmat kuin muilla puutavaralajeilla. Kaikkien arvioitten mukaan metsähakkeen tuotantopotentiaali on joka tapauksessa moninkertainen nykykäyttöön verrattuna.

Arvioitten käyttökelpoisuuden parantamiseksi tarvitaan lisätutkimuksia erityisesti oksa- sekä kanto- ja juuripuun määristä sekä pienpuuleimikoitten korjuuteknisistä olosuhteista. Tähän tavoitteeseen tähdäten PERA-projekti käynnisti käytännön metsätalouden toivomuksesta kesällä 1984 osatutkimuksen, jolla pyritään yksinkertaistamaan oksamäärien arviointia muun muassa pystymittauksen yhteydessä. Tavoitteena on tiedosto, jonka avulla voidaan ennustaa saatavilla olevan oksabiomassan määrää ja koostumus ja samalla myös esimerkiksi ravinnetappioiden suuruus erilaisia karsintavaihtoehtoja käytettäessä.

## 22. Energiapuun korjuutekniikka

### *Pienikokoisen polttohakepuun teko ja ajo*

PERA-projekti kartoitti SITRAn lisähoituksen turvin metsähakkeen energia- ja raaka-ainekäytön laajuutta ja korjuutekniikkaa vuoden 1982 tasolla (Hakkila 1984). Kokonaiskäyttö, 766 000 m<sup>3</sup>, jakautui eri kohteisiin taulukon 3 mukaisesti.

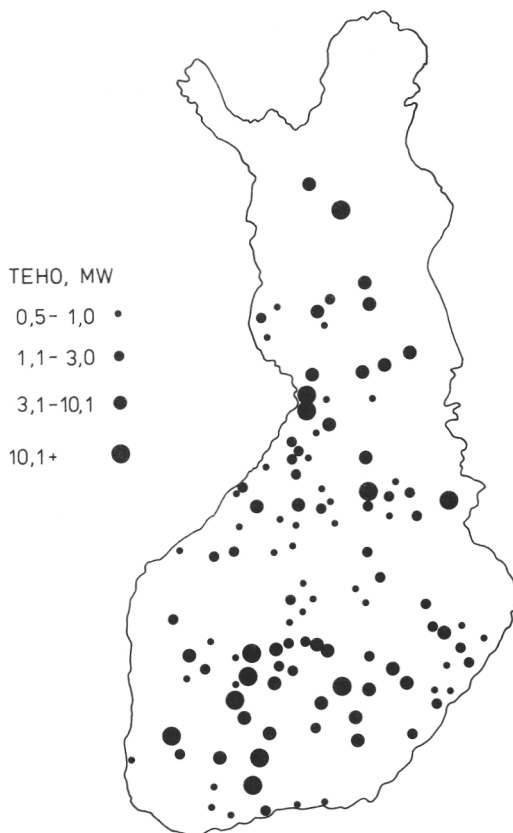
Maatilojen omassa käytössä hakepuut karsitaan käsittelyvaikeuksien vähentämiseksi yleensä rangoiksi, joskin myös kokopuu-haketusmenetelmää käytetään. Työ tehdään perinteisin menetelmin moottorisahalla tai vesurilla, ja rangat kuljetetaan haketuspaikalle maataloustraktorilla.

Keskisuurille yli 0,5 MW:n lämpölaitoksille, joista vuoden 1982 päättyessä käytti metsähaketta yhteensä 115 (kuva 4), polttohakepuu ostetaan puoliksi pysty- ja puoliksi hankintakaupoin. Puitten pienen koon vuoksi etukäteisleimaus tulee kohtuuttoman kalliiksi, minkä vuoksi poistettavien puitten valinta jätetään pystyleimikoissakin yleensä metsurin tehtäväksi. Metsurileimaus alentaa kokonaiskustannuksia ja lisää metsurin työmotivaatiota.

Pienpuun hakkuutyön tuottavuutta voidaan parantaa merkittävimmin siten, että luovutaan karsimisesta ja haketetaan puut

Taulukko 3. Metsähakkeen käyttö vuonna 1982.

Käyttökohde	Metsähakkeen käyttö	
	m <sup>3</sup> /1982	%
<b>Metsäteollisuuden jalostuskäyttö:</b>		
Lastulevyteollisuuden raaka-aineena	36 000	5,5
Massateollisuuden raaka-aineena	91 000	14,1
<b>Yhteensä</b>	<b>127 000</b>	<b>19,6</b>
<b>Metsäteollisuuden polttoainekäyttö:</b>		
Massateollisuudessa erotettu polttojäte	42 000	6,5
Varsinainen polttohake	84 000	13,1
<b>Yhteensä</b>	<b>126 000</b>	<b>19,6</b>
<b>Lämpölaitosten polttoainekäyttö:</b>		
Metsäteollisuuden toimittama hake	72 000	11,2
VAPON toimittama hake	123 000	19,0
Metsänhoitoyhdistysten toimittama hake	74 000	11,4
Muitten organisaatioitten toimittama hake	124 000	19,2
<b>Yhteensä</b>	<b>393 000</b>	<b>60,8</b>
Markkinahake yhteensä	646 000	100,0
Maatilojen ja muu pienikäyttö (arvio)	120 000	
<b>Metsähakkeen kokonaiskäyttö</b>	<b>766 000</b>	



Kuva 4. Metsähaketta polttavat yli 0,5 MW:n lämpölaitokset Suomessa vuoden 1982 päättyessä.

oksieneen. Tuolloin työn tuottavuus ja myös biomassakertymä kasvavat. Jos pienpuun oksat otettaisiin talteen kokonaisuudessaan, biomassakertymä nousisi koivulla 20—30, männyllä 25—35 ja kuusella jopa 50—60 % (vrt. Kanninen ym. 1979). Näin tarkka talteenotto ei ole kuitenkaan käytännössä tarkoituksenmukaista eikä edes mahdollista, vaan erityisesti viheraineesta varisee kokopuukorjuussakin merkittävä osa metsään. Tästä huolimatta korjuun metsämaalle aiheuttamat ravinnetappiot kasvavat ja saattavat vaatia vastatoimenpiteitä. Eräänä vaihtoehtona on kehitelty menetelmää puu- ja kuoriturhkan palauttamiseksi luonnon kiertoon (Hakkila ja Kalaja 1983) (kuva 5).

Metsäntutkimuslaitoksen työntutkimusohjelmaan sisältyvänä on yhteistyössä metsäteollisuuden kanssa kehitetty kokopuuna korjuuseen tähdäten pienpuun siirtely-kaatomenetelmä, jossa moottorisaha varustetaan pystyasennossa tehtävän kaatosahauksen mahdollistavalla kaatokahvalla (Lehtonen 1976). Metsuri voi puun katkaistuaan irrottaa ot-

teensa sahasta ja siirtää kaatuvaa puuta molemmin käsin muutaman metrin matkan sen liikevoimaa hyväksi käyttäen. Tämä oksineen korjattavan pienpuun kaatoon ja kasaukseen suunniteltu työtekniikka kasvattaa merkittävästi metsurityön tuottavuutta, mutta edellyttää ammattitaitoa ja kokemusta. Sitä käyttävät toistaiseksi lähinnä metsäteollisuuden palveluksessa työskentelevät koulutetut metsurit.

Pienpuun hakkuutyön tuottavuus vaihtelee korjuuoloista ja karsintavaatimuksista riippuen. Tuotokseen ja kustannuksiin vaikuttavia leimikkotekijöitä ovat ennen kaikkea puun koko, puulaji, oksaisuus, jäävän puuston tiheys, puutavarakertymä, maasto sekä lumipeite. Metsurin keskimääräinen päivätulos on urakkapalkalla tehdyissä töissä käytännössä seuraava (Hakkila 1984):

	Hakkuutyön tuottavuus, m <sup>3</sup> /päivä
Karsitun rangan teko	4,9
Kokopuun siirtely-kaato	9,8



Kuva 5. PERA-projektissa kehitellään menetelmiä puu- ja kuoriturhkan palauttamiseksi luonnon kiertoon. Kuvassa metsätraktorisoiviteinen tuhkanlevityslaitteisto.



Kuva 6. Pienikokoista harvennuspuuta saadaan vastaisuudessa runsaasti turvemailta, joitten kuljetusongelmiin projektin jatko-ohjelmassa kiinnitetään suurta huomiota.

Korjataan pienpuu sitten rankana tai kokopuuna, hakkuu tulisi sekä korjuuteknisistä syistä että toisaalta kuivumisen edistämiseksi tehdä kesäaikaan. Valtaosa polttohakepuusta kaadetaan huhti-lokakuussa puun kulun nopeuttamiseksi ja lämpöarvon parantamiseksi yleensä rasikuivatusta hyväksi käyttäen.

Hakepuu ajetaan metsästä tien varteen keskimäärin 2—3 kuukautta kaadon jälkeen. Hankintakaupoissa 66 % hakepuusta ajetaan maataloustraktorilla (Hakkila 1984). Karsimattoman kokopuun kuljetus edellyttää maataloustraktoriltakin yleensä kourakuormainta, jonka kehittälyöhön myös PERA-projekti on osallistunut.

Pääosa markkinoille tulevasta polttohakepuusta kuljetetaan vakiovarusteisella metsätraktorilla, jonka osuus on pystykaupoissa peräti 91 %. Maataloustraktorin kuorman koko on keskimäärin 3,6 m<sup>3</sup> ja päivätuotos 26 m<sup>3</sup>, kun taas metsätraktorilla luvut ovat vastaavasti 5,6 m<sup>3</sup> ja noin 50 m<sup>3</sup>.

Rangan ja kokopuun metsäkuljetuksen työtekniikka on jo vakiintunut, eikä siihen liity tavanomaisissa oloissa vakavia vaikeuksia, joskin kuljetustuotos pyrkii jäämään pienemmäksi kuin järeämmällä puutavaralla. Ongelman muodostavat kuitenkin heikosti kantavat turvemmat.



Kuva 7. PERA-projektissa kehitellään ympäristöystävällisiä korjuuketjuja suometsien harvennuksiin. Kuvassa kevyt Farmi Trac-telamaasturi seurantatutkimuksessa.

Koska pienpuun hakkuutarve on siirtymässä entistä painokkaammin ojitetuille turvemaille, myös PERA-projektin kehittäelyohjelmassa on vuodesta 1979 lähtien annettu merkittävä sija soitten pienpuun kuljetusongelmille. Ensimmäisenä osatyönä kehitettiin hydraulikuormain kevyeen telamaasturiin (Takalo ja Väyrynen 1982). Hydraulikuormaimella varustettuja kevyitä telamaastureita on tämän jälkeen tullut jo yleiseen käyttöön, ja tältä pohjalta näyttääkin olevan syntymässä uusia ympäristöystävällisiä ratkaisuja pienikokoisen harvennuspuun ympärivuotiselle ulosotolle tasaisilta suomalaisilta.

Suomaitten harvennuspuun korjuun kehittämisohjelmaa jatketaan osallistumalla uuden tehokkaamman telamaasturin sekä kotimaista maataloustraktoria peruskoneena käyttävän, uudentyypisillä suoteloilla varustetun turvemaitten erikoistraktorin kehittelyyn. Tärkeinä osatehtävinä ovat lisäksi käynnissä telamaastureitten teknis-operatiivinen seurantatutkimus sekä turvemaitten korjuuteknisten perustietojen kartoittaminen Keskusmetsälautakunta Tapion luovuttamien alueittaisten metsätaloussuunnittelmatietojen pohjalta (Eeronheimo 1984).

### *Pienikokoisen polttohakepuun haketus*

Metsähakkeen tuotannon keskeinen vaihe on haketus. Hakkurin ominaisuudet, teho ja sijoituspaikka määräävät pitkälti koko korjuuketjun toiminnan. Hakkurin aseman perusteella erotetaan palstahaketus, välivarastohaketus sekä keskustermiinaalilla tai käyttöpaikalla tapahtuva keskitetty haketus. Erikoistapauksen muodostavat lisäksi jatkuva-toimiset vesakkoharvesterit, jotka suorittavat samanaikaisesti sekä kaadon että haketuksen.

Maatiloilla haketus tehdään *keveillä maataloustraktorisovitteisilla hakkureilla*, joita Suomessa on yli 2 000. PERA-projekti on osallistunut sekä perinteisen laikkahakkurin (Kalaja ja Rantamaula 1982) että kartioruuviperiaatteeseen perustuvan palahakkurin (Hakkila ja Kalaja 1981) kehittelyyn (kuvat 8 ja 9). Erityistä huomiota on kiinnitetty pienhakkureitten voimankäytön tasaamiseen traktorin voiman ulosottoakseliin kohdistuvan rasituksen vähentämiseksi (Heikka ja Piirainen 1981). Maatilahakkureitten samoin kuin

klapikoneitten kehittäminen on laitojen välisen työnjaon puitteissa ollut ensisijaisesti kuitenkin Työteho-seura ry:n tehtävänä.

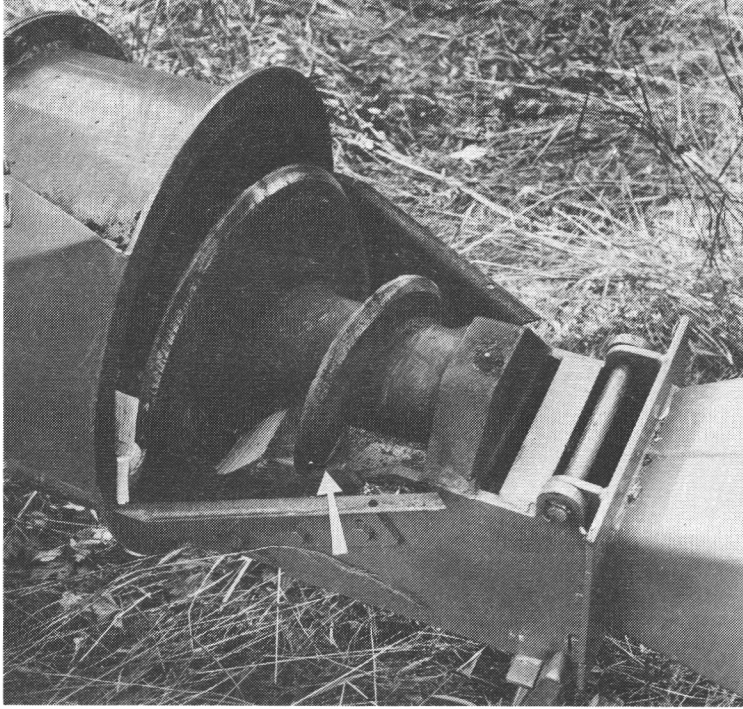
Hakeurakoitsijat käyttävät suurempia koneita, jotka on varustettu muun muassa hydraulisella pakkosyöttölaitteella ja kourakuormaimella. Peruskonetta lukuun ottamatta urakoitsijain hakkurikalusto on valmistettu lähes kokonaisuudessaan kotimaassa suomalaisia olosuhteita silmällä pitäen.

Pääosa urakoitsijain kalustosta on *keskiraskaita maataloustraktorikäyttöisiä hakkureita*, jotka maatilahakkureihin verrattuna vaativat voimakkaamman peruskoneen. Markkinoilla on myös metsätraktorisovitteisiä palstahakkureita sekä suuria tuotantomääriä varten rakennettuja autosovitteisiä varastohakkureita. Lisäksi on valmistettu muutama hinattava järeä varastohakkuri.

Hakeurakoitsijat tuottivat vuonna 1982 maataloustraktorikäyttöisillä hakkureilla lämpölaitoksille tarkoitettua metsähaketta noin 320 000 m<sup>3</sup>. PERA-projektin korjuututki-



Kuva 8. Vuoden 1982 päättyessä arvioitiin Suomessa olevan käytössä yli 2000 kevyttä maatilahakkuria.



Kuva 9. PERA-projekti on mukana kehittämässä palahakejärjestelmää, jossa suuripalainen hake valmistetaan kartioruuviperiaatteella toimivalla hakkurilla.

musohjelmassa urakoitsijain käyttöön tarkoitettuilla maataloustraktorisovitteisilla hakkureilla ja niihin perustuvilla työketjuilla on ollut tärkeä sija (Hovila 1981, Kalaja ja Rantamäula 1982, Hakkila 1984 (kuva 10)).

*Metsätraktorin päälle rakennetut hakkurit* toimivat pääsääntöisesti ajouralla ja haketuksen lisäksi suorittavat myös hakkeen metsäkuljetuksen. Ne on varustettu hakesäiliöllä, josta hake kipataan välivarastolla maahan laskettuun kuorma-auton vaihtolavaan. Tuntituotos nousee yhtä suureksi kuin vakiovarusteisella metsätraktorilla pelkässä kokopuun kuljetuksessa. Menetelmän etuna on vähäinen varastotilan tarve.

Metsätraktorisovitteisilla raskailla palstahakkureilla tuotettiin vuonna 1982 noin 25 000 m<sup>3</sup> kokopuuhaketta. Menetelmä on Suomen oloissa kilpailukykyinen helpohkossa maastossa, erityisesti mäntykankaitten ensiharvennuksissa. Sen sijaan se ei ole tarkoituksenmukainen pitkillä metsäkuljetusetäisyyksillä, vaikeassa maastossa eikä lumihaitan vuoksi talviajan palstahaketuksessa. Ka-

luston korkean hinnan vuoksi PERA-projekti ei ole osallistunut laitekehittelyyn, mutta se on suorittanut menetelmä- ja tuotostutkimuksia (Kalaja 1978 ja 1984a).

*Autosovitteiset hakkurit* on suunniteltu välivarastokäyttöön siten, että hake siirretään suoraan kuorma-autoon, perävaunuun tai maahan laskettuun vaihtolavaan. Kuorma-auto toimii alustana ja antaa käyttövoiman kuormaimeen. Muitten toimintojen voimalllähteenä on joko tehokas erillismoottori tai kuorma-auton oma moottori. Kustannusten alentamiseksi peruskoneeksi valitaan yleensä käytetty, hyväkuntoinen kuorma-auto. Vuonna 1982 autohakkureilla valmistettiin metsähaketta energia- ja raaka-ainekäyttöön yhteensä noin 300 000 m<sup>3</sup>.

Autohakkurit ovat tehokkaita ja siirtyvät työmaalta toiselle joustavasti, minkä ansiosta järeimpien yksiköitten vuosikapasiteetti saattaa nousta jopa 40 000—50 000 m<sup>3</sup>:iin. Suuren kapasiteetin vuoksi autohakkuriurakoitsijat työskentelevät ensisijaisesti metsäteollisuudelle. Eräitä poikkeuksia lukuunottamat-



Kuva 10. Keskiraskailla maataloustraktorikäyttöisillä hakkureilla on tärkeä sija lämpölaitosten metsähakkeen hankinnassa ja myös projektin työntutkimuksissa.

ta (vrt. Salakari ym. 1978) autohakkureitten erillistutkimukset on tehty Metsätehossa, kun taas PERA-projektin tutkimusohjelma on suunnut autosovitteisia kokopuu hakkureita lähinnä laajempien kokonaisselvitysten osana (Hakkila ym. 1978, Hakkila 1978a ja 1984).

Edellä kuvattujen, käytännössä jo toimivien hakkurityyppien lisäksi PERA-projekti on osallistunut myös eräille muille toimintaperiaatteille perustuvien hakkuriratkaisujen kehittelyyn. Näistä mainittakoon kartiohakkurin ja *maastokuorma-auton muodostama haketusyksikkö*, jonka kehittelyn tavoitteena on mahdollistaa haketus ja kaukokuljetus samalla ajoneuvolla silloinkin, kun kaukokuljetusmatka ylittää maataloustraktorin taloudellisen toimintasäteen (Schildt 1982). Toinen ohjelmassa ollut erikoiskone on *jatkuvatoiminen vesakkoharvesteri*, jonka prototyypillä tehdyssä koesarjassa on kokeiltu myös suursäkkien käyttöä hakkeen kuljetuksessa (Hakkila ja Kalaja 1980c). Viimeksi mainitun koneen kehittäminen jatkuu tällä hetkellä Kanadassa osana maan kansallista met-

säenergiaohjelmaa. Tutkimusohjelmassa on etsitty ratkaisuja myös haketustyön ergonomisiin ongelmiin (Kurvinen ja Harstela 1980).

#### *Hakkuutähdehakkeen korjuu*

Oksabiomassaa saadaan talteen nykyisin kolmessa erilaisessa korjuuketjuvaihtoehdossa: pienpuun korjuu kokopuu hakkeena, kuitupuun korjuu karsimattomana osapuuna sekä avohakkuualoille jääneen markkinakelvottoman oksa- ja runkopuun korjuu muusta biomassasta erillään hakkuutähdehakkeena. Kestävää hakkuusuunnitetta vastaava potentiaalinen oksatähdemäärä on viheraine mukaan luettuna 22,3 milj. m<sup>3</sup>/a, josta teknisesti korjuukelpoiseksi on luokiteltu 2,4 milj. m<sup>3</sup>/a. Oksatähdepuun puupitoisuus on niin alhainen, että ainoastaan hyödyntäminen polttoaineena tulee toistaiseksi kysymykseen.

Pienpuusta tehdyn ranka- ja kokopuu hakkeen korjuuseen verrattuna hakkuutähdehakkeella on tiettyjä erityispiirteitä. Sen tal-

teenottoon ei useinkaan liity niitä metsänhoidollisia hyötytekijöitä, jotka parantavat pienpuuhakkeen korjuun kansan- ja metsätaloudellista edullisuutta (vrt. luku 31). Toiseksi hakkuutähdehake muistuttaa polttoain ominaisuuksiltaan usein enemmänkin jyrsin turvetta kuin varsinaista haketta (Immonen ja Seppälä 1984), mikä rajoittaa käyttömahdollisuuksia pienissä aluelämpölaitoksissa. Kolmanneksi hakkuutähdehakkeen korjuu tapahtuu lähes puhtaana konetyönä, minkä vuoksi sen työllistävä vaikutus on vähäisempi kuin pienpuuhakkeen. Neljäs ja ehkä tärkein ero kohdistuu hankintakustannuksiin, jotka metsurien puuttumisen vuoksi jäävät selvästi alhaisemmiksi kuin pienpuuhakkeella.

Hakkuutähdehaketta tehdään tällä hetkellä etupäässä monitoimikoneilla korjatuilla avohakkuualoilla, joilla oksat ovat koneellisen karsinnan jäljiltä jatkokäsittelyä helpottavissa kasoissa. Monitoimikoneilla korjataan vuosittain noin 4 milj. m<sup>3</sup> päätehakkuualojen runkokuuta, josta kuusen osuus on 70 %. Näissä monitoimikoneleimikoissa on oksabiomassaa laskettu olevan tarjolla jo tällä hetkellä 0,56 milj. m<sup>3</sup>/a (Energiapuun korjuu . . . 1984). Laajempi tuotanto edellyttäisi myös käsityönä korjattujen leimikoitten hyväksymistä, jolloin moottorisahakarsinnassa hajalleen jäänyt tähde tulisi ennen kuljetusta kasata esimerkiksi haarukakouralla varustetulla pientraktorilla tai metsätraktorin kuormaimen kouran tilalle asennetulla oksakouralla tai -haravalla. Tämä merkitsisi kuitenkin lisäkustannuksia.

Hakkuutähteen haketus tapahtuu Suomessa lähes yksinomaisesti välivarastolla, minne tavara voidaan kuljettaa vakiovarusteisella metsätraktorilla. Kuljetuksen tuotos kasvaa, kun tavanomaisen puutavarakouran tilalle vaihdetaan useapiikkinen oksakoura ja kuormatila suurennetaan esimerkiksi lisäpankoilla. Kuljetuksen päivätuotos on keskimääräisellä monitoimikonetyömaalla 50—60 m<sup>3</sup>.

Hakkuutähteen jatkokäsittely tapahtuu järeillä autosovitteisilla rumpuhakkureilla tai murskaimilla. Taloudellisuus edellyttää suurehkoja työmaita, hyvin suunniteltuja varastopaikkoja sekä lähes ympärivuotista toimintaa. Teräväteräisten hakkurien etuna on palakooltaan tasaisempi hake, mutta murskaimet kestävät oleellisesti paremmin hakkuutähteen mukaan joutuvia kiviä.

Koska hakkuutähteitä otetaan talteen etu-

päässä avohakkuualoilta, on myös palstahaketus varteenotettava vaihtoehto. Menetelmä ei ole meillä käytössä, mutta esimerkiksi Ruotsissa se on osoittautunut kilpailukykyiseksi. Kalusto on kuitenkin järeätä, minkä vuoksi kannattavuus edellyttää laajamittaista toimintaa.

Syöttöongelmien vuoksi hakkuutähteille ei ole toimintavarmaa maataloustraktorisoiviteista hakkurikalustoa, joka soveltuisi pienimittaiseen urakoitsijakäyttöön esimerkiksi aluelämpölaitosten haketoimituksia silmällä pitäen. Hakkurilta edellytettäisiin koneellista syöttöä, riittävän suurta syöttöaukkoa, tyydyttävää hakelaatua sekä kohtuullista kestävyttä kiviä vastaan. PERA-projekti on tukenut tähän tähtäävää kehitystyötä sekä palsta- että varastohaketuksen pohjalta (Kalaja ja Rantamäki 1982), mutta kone- ja menetelmäkehittelyä tarvitaan edelleen.

### 23. Metsähakkeen polttoaineminaisuudet

Metsähakkeen tärkeimmät lämpöarvo- ja laatutekijät ovat irtokuutiometrin kuivamassasisältö, kosteus sekä palakokojakauma. Ominaisuuksien epäsäännöllinen vaihtelu aiheuttaa vaikeuksia mittauksessa (vrt. Kanninen ym. 1979) (kuva 11), käsittelyjärjestelmien automatiikassa ja polttoprosessin säätelyssä sekä johtaa lämmityksen hyötysuhteen alenemiseen. Kun esimerkiksi palaturvetta käytettäessä tekniset ongelmat keskittyvät ensisijaisesti polttoprosessiin arinalla, hakkeen käytön vaikeudet liittyvät enemmänkin polttoaineen siirtelyyn vastaanottopaikalta kattilaan (vrt. Kalaja 1984b).

*Irtokuutiometrin kuivamassasisällön* tulee olla mahdollisimman korkea ja tasainen. Suuri kuivamassasisältö alentaa kuljetuskustannuksia etenkin pitkillä ajomatkoilla. Hakureitten väliset erot hakkeen tiiviydessä tulee ottaa huomioon haketuskäytössä ja hakkeen hinnoittelussa, jonka tulisi perustua ensisijaisesti hakkeesta saatavissa olevaan hyötyenergiaan.

Irtokuutiometrin kuivamassasisältö riippuu ensinnäkin *puun kuiva-tuoretiheydestä*, joka osoittaa kiintotilavuusyksikön kuivamassan (kg/m<sup>3</sup>). Tärkeimpien metsähakkeen raaka-ainelähteitten keskimääräinen kuiva-tuoretiheys on Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusten mukaan seuraava (Hakkila 1978a):



Kuva 11. Karsimattoman koko- ja osapuuraaka-aineen mittausingelmat vaikeuttavat uusien korjuumenetelmien käyttöönottoa ja luovat uutta tutkimustarvetta.

	Mänty	Kuusi	Koivu	Leppä
	Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>			
Halko, kuitupuu	390	385	490	360
Pienkokopuu	385	400	475	370
Hakkuutähde				
viheraineineen	395	425	..	..
Hakkuutähde				
viheraineetta	405	465	500	..

Myös *hakkeen tiivys*, joka osoittaa irtotilavuusyksikön ja kiintotilavuusyksikön kuivamassojen suhteen ( $m^3/i-m^3$ ) vaikuttaa irtokuutiometrin kuiva-ainesisältöön. Vaihtelua aiheuttavia tekijöitä ovat erityisesti puulaji, palakokojakauman tasaisuus, hakkurin puhallusvoima ja kuormaustapa sekä hakkeen kuljetuksen aiheuttama painuma (Uusvaara 1972 ja 1984, Kanninen ym. 1979).

Käytännössä yleisesti sovellettu tiivysluku 0,40 on liian karkea ja johtaa esimerkiksi puulajeittaisessa vertailussa harhaiseen, koivua suosivaan lopputulokseen. PERA-projektissa eri yhteyksissä kertyneitten aineistojen pohjalta voidaan toistaiseksi suositella

käytettäviksi seuraavia puulajeittaisia metsähakkeen tiivyslukuja, joita koskeva yksityiskohtainen tutkimus on käynnistetty kesällä 1984.

	Tiivys lämpö- laitoksessa, m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup>
Koivun kokopuuhake	0,39
Lepän kokopuuhake	0,46
Männyn kokopuuhake	0,43

Edellä esitettyjen alustavien kuiva-tuoretiheys- ja tiivyslukujen perusteella on laskettu yleisimpien kokopuuhakelajien keskimääräinen *kuivamassa ja lämpöarvo irtokuutiometriä kohti* (taulukko 4). On kuitenkin muistettava, että puutavarasta ja käsittelystä aiheutuva vaihtelu on suuri, kun mittayksikkönä on irtokuutiometri.

Puuaines on koivussa tiheämpää kuin muissa puulajeissamme. Puulajien väliset erot hakkeen tiivyydessä tasoittavat irtokuu-

tiometrin kuivapainoja kuitenkin merkittävästi. Erot kasvavan puun kosteudessa vaikuttavat samaan suuntaan, niin että vasta-kaadetusta puusta tehdyssä hakkeessa irtokuutiometrin tuorepainoerot ovat hyvin vähäisiä.

Irtokuutiometrin lämpöarvo on korkein koivulla, kuivahtaneessa (kosteus 40 %) keskimääräisessä kokopuuhakkeessa noin 900 kWh. Lepällä vastaava arvo on 820 kWh/i-m<sup>3</sup>, ja mänty asettuu koivun ja lepän väliin. Nämä keskiarvoluvut eivät ole kuitenkaan välttämättä luotettavia yksityistapauksissa, vaan oikeudenmukaiseen ja laadun parantamiseen kannustavaan hinnoitteluun voidaan päästä vain punnitukseen perustuvan mittauksen kautta. Tästä syystä PERA-projekti jatkaa tutkimuksia hakkurin ominaisuuksien ja erilaisesta raaka-aineesta tehdyn metsähakkeen välisistä riippuvuuksista.

Koska veden höyrystyminen kuluttaa energiaa, polttopuussa oleva *kosteus* alentaa tehollista lämpöarvoa. Mitä kosteampaa puu on, sitä alhaisempi on sen tehollinen lämpöarvo ja sitä pienempi osa tehollisesta lämpöarvosta saadaan todellisuudessa talteen, sillä kosteuden noustessa myös lämmityksen hyötysuhde heikkenee (kuva 12).

Tuoreen pienpuun ja metsätähteen kosteus vaihtelee muun muassa puulajista, puun koosta, kasvupaikasta, sääoloista ja vuodenaajoista riippuen. Erityisesti kun oksat otetaan mukaan, tuoreen polttohakepuun kosteus on ainakin pienten ja keskisuurten kattilain kannalta aina haitallisen korkea. Poikkeuksena saattaa olla joskus koivu, sillä koivurankojen kosteus voi kuivana kesänä olla jo tekohetkellä alle 40 %:n.

	Kaatotuoreen pienpuun kosteus, %
Koivu	40—50
Leppä	45—55
Mänty	50—60
Kuusi	50—60

Tehokkain ja taloudellisin vaihtoehto hakepuun kosteuden alentamiseksi on kesäaikainen rasiinkaato, jossa puut jätetään kaadon jälkeen hajalleen maahan tai siirtely-kaatoa käytettäessä muutaman puun kouraisutaakkoihin. Koivu saavuttaa tällä menetelmällä hyvissä olosuhteissa jopa alle 35 %:n kosteuden. Kuivuminen tapahtuu kesällä jo 2—4 viikossa.

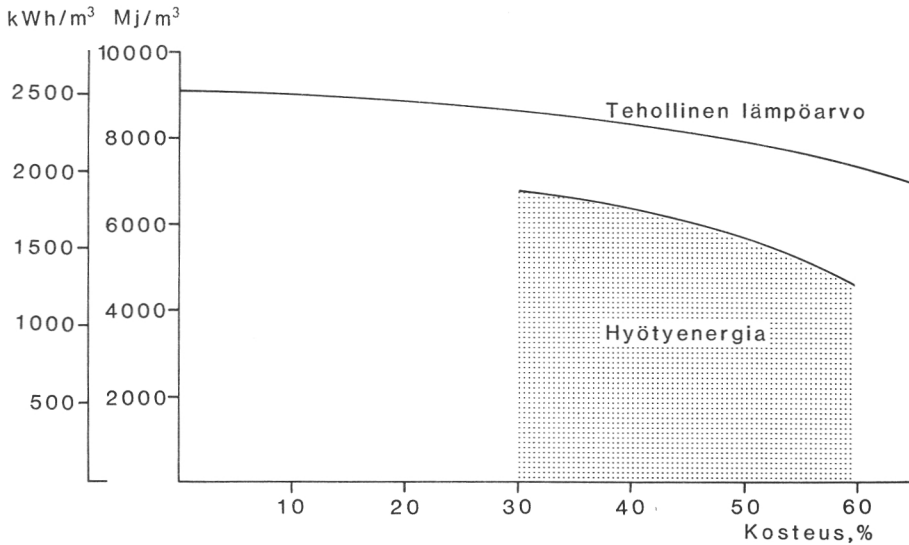
Taulukko 4. Kokopuuhakkeen irtokuutiometrin keskimääräinen lämpöarvo lämpölaitokseen toimitettuna.

Lämpöarvomuuttuja	Koivu	Leppä	Mänty
Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>	475	370	385
Hakkeen tiivys, m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup>	0,39	0,46	0,43
Kosteus kaatotuoreena, %	45	50	53
Hakkeen kuivamassa, kg/i-m <sup>3</sup>	185	170	165
Hakkeen kokonaismassa, kg/i-m <sup>3</sup>			
Kaatotuore hake	335	335	350
Kuivahtanut hake (40 %)	310	280	275
Hakkeen lämpöarvo, MJ/i-m <sup>3</sup>			
Kaatotuore hake	3 160	2 760	2 790
Kuivahtanut hake (40 %)	3 220	2 940	3 120
Hakkeen lämpöarvo, kWh/i-m <sup>3</sup>			
Kaatotuore hake	880	765	775
Kuivahtanut hake (40 %)	895	820	865

Vaikka kosteus on polttohakkeen ehkä tärkein laatuominaisuus ja vaikka se on myös hinnoitteluperuste monissa toimitussopimuksissa, sen kehittymistä ei useinkaan seurata riittävästi. Keskimääräisen kosteuden ohella myös kosteuden tasaisuudella on tärkeä merkitys, sillä epäsäännöllinen vaihtelu vaikeuttaa polton säätelyä ja johtaa hyötysuhteen alenemiseen.

Hakkeen kosteuteen liittyvistä PERA-projektin tutkimusaiheista mainittakoon pienpuun rasikuivatus (Simola ja Mäkelä 1976, Kärkkäinen 1981), hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta erilaisin varastointimenpitein (Uusvaara 1984) sekä hakkeen kuivattaminen (Nisula 1980, Nurmi 1984). Rasimenetelmä, metsäkuljetus riittävän aikaisessa vaiheessa, korkeat ja säännölliset varastopinot, kasojen kattaminen suojapeitteellä sekä lumen välttäminen haketuksessa riittävät pitämään kosteuden myös talvella turvallisesti 40 %:n alapuolella, jolloin metsähake voidaan polttaa lämpölaitoksia tyydyttävällä hyötysuhteella. Homepölyaltistus polttohaketta käsiteltäessä on myös ollut tutkimusten kohteena (Pellikka 1983, Pellikka ja Kotimaa 1983).

*Lämpölaitoksen toimintavarmuus* riippuu oleellisesti hakkeen käsittelyn ja syötön luotettavuudesta. Häiriöitten kannalta erityisen kriittisiä ovat hakkeen vastaanottolaitteet, siilot purkaimineen, kuljettimet sekä kattilan syöttölaitteet automatiikkoineen. Käsittelyjärjestelmien häiriöherkkyyden on usein seurausta tarpeettomasta monimutkaisuudesta tai väärästä mitoituksista, mutta se on toi-



Kuva 12. Metsähakkeen tehollisen lämpöarvon ja lämmityksessä talteen saatavan hyötyenergian määrän riippuvuus puun tuorepainosta lasketusta kosteudesta.

saalta yhdistettävissä myös hakkeen kehoon laatuun. Häiriöt liittyvät yleensä hakkeen kosteuden ja palakoon vaihteluun, ja ne johtavat päivystystarpeen ja varapolttoaineen käyttöosuuden kasvuun ja sitä tietä edelleen lisäkustannuksiin.

Niin kauan kuin polttoaine on moitteetonta, laitteet toimivat hyvin, mutta metsähaketta on tuskin mahdollista pitää varmuudella ahtaitten laatuvaatimusrajojen sisällä. Laite-suunnittelussa tuleekin varautua siihen, että laatuvaatimusten vastaisia hake-eriä esiintyy tilapäisesti. PERA-projektissa taas on toisaalta tavoitteena kehittää menetelmiä tasalaatuisen hakkeen tuottamiseksi heikostakin raaka-aineesta.

*Hakkeen palakoko* on ehkä kaikkein ongelmallisin tekijä laadun valvonnassa, varsinkin kun se ei ole kosteuden tavoin selväpiirteisesti mitattavissa. Laitosten kyky sietää hakkeen joukossa tikkuja vaihtelee huomattavasti. Heikosti varustettujen laitosten on pakko käyttää karsitusta rangasta tehtyä tasalaatuista haketta korkeammasta kustannustasosta huolimatta. Oikein suunniteltu syöttöjärjestelmä mahdollistaa myös kokopuuhakkeen häiriöttömän käytön.

Tikkujen, oksanpätkien ja suurten puukappaleitten runsaus riippuu suuresti hakkurista. Tärkeää on pitää huolta terien ja vastaterien säädöistä ja kunnosta sekä hakkuriin

mahdollisesti kuuluvasta kiinteästä seulasta, joka vähentää ylisuurten kappaleitten määrää merkittävästi.

#### 24. Metsähakkeen hankintakustannukset

Metsähakkeen hankintakustannukset vaihtelevat käytännössä laajoissa rajoissa. Syynä ovat erot leimikkotekijöissä, kuljetusetäisyyksissä, hankintaorganisaation tehokkuudessa, työvoiman ammattitaidossa, toiminnan laajuudessa ja koneitten työllisyysasteessa, työmenetelmissä ja hakkeen laadulle asetetuissa vaatimuksissa.

Kustannuksiin vaikuttaa suuresti pienpuitten karsiminen tai karsimatta jättäminen. Kokopuuhakkeen kustannukset ovat hakkuutyön korkeamman tuottavuuden sekä suoremman biomassakertymän ansiosta keskimäärin 10 % alemmat kuin rankahakkeen.

Pienkokoisista puista tehdyn metsähakkeen keskimääräinen kustannus oli vuoden 1982 päättyessä metsäteollisuuden korjaamalla työmailla taulukon 5 mukainen. Huomattakoon, että metsäteollisuuden kustannukset ovat hieman alhaisempia kuin muilla hankintaorganisaatioilla keskimäärin.

Pienpuuhakkeen käytön yleistymisen pääasiallinen este on vaihtoehtoihin lämmitys-

Taulukko 5. Metsäteollisuuden hankkiman ranka- ja kokopuuhakkeen kustannustaso vuoden 1982 lopussa (Hakkila 1984).

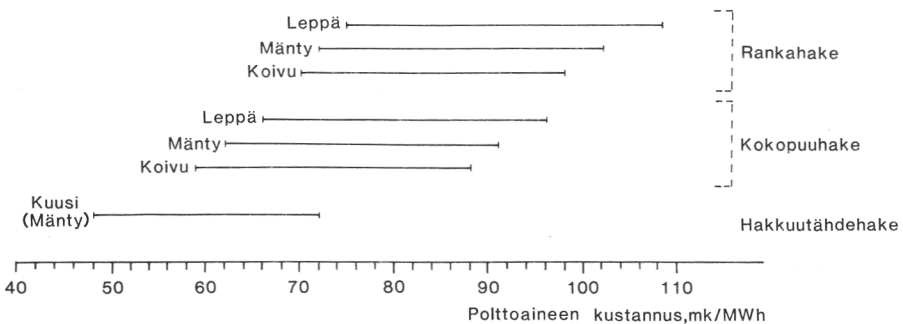
Kustannustekijä	Rankahake Kustannus mk/m <sup>3</sup>	Kokopuu- hake
Kantohinta	17	16
Hakepuun teko	55	40
Hakepuun ajo	21	22
Kustannus tien varressa	93	78
Haketus	27	27
Hakkeen ajo	26	26
Edelliset yhteensä	146	131
Työnjohto	16	16
Muut yleiskulut	4	4
Hankinta-ajan korko	6	5
Kaikki yhteensä	172	156

ratkaisuihin nähden korkea kustannustaso. Kustannusten alentamiseen tähtäävä tutkimustoiminta tulee kohdistaa hakkeen yksikkökustannusten ohella myös hakeirtokuutiometrin lämpöarvon sekä polton hyötysuhteen kohottamiseen. Tällä hetkellä kustannussäästöjä voidaan saada aikaan korjuuteknisesti edullisimpien leimikoiden valinnalla, hakkuutähdehakkeen osuutta lisäämällä, kokopuu-  
hakkeen käytön mahdollistavien laiteratkaisujen käyttöönotolla, hakkeen kosteutta alentamalla, korjuukaluston oikealla mitoittamisella sekä kaluston täystyöllisyydellä.

Kustannuksiltaan edullisempi hakkuutähdehake soveltuu käsittelyominaisuuksiensa vuoksi toistaiseksi lähinnä vain metsäteollisuuden suurten voimalain käyttöön. Kun lisäksi valmistaminenkin onnistuu kitkatta vain järeällä kalustolla, talteenotto rajoittuu toistaiseksi lähinnä suurille monitoimikonetyömaille. Hakkuutähdehakkeen kustannustaso ja -rakenne vuonna 1982 nähdään seuraavasta asetelmasta (vrt. Vehmas ym. 1983).

Kantohinta	6,80
Hakkuutähteen ajo	29,70
Kustannus tien varressa	36,50
Haketus	30,00
Hakkeen ajo	28,40
Edelliset yhteensä	94,90
Työnjohto	9,50
Muut yleiskulut	1,40
Korkokulut	2,50
Kaikki yhteensä	108,30

Kuva 13, joka perustuu lähes 60 hankintaorganisaation kustannustietoihin, osoittaa tärkeimpien metsähakelajien lämpöyksikköä kohti laskettujen kustannusten vaihdelleen vuoden 1982 päättyessä välillä 48—110 mk/MWh. Monitoimikoneilla korjattujen avohakkuualojen hakkuutähdehake on lähinnä hakkuuvaiheen kulujen puuttumisen ansiosta selvästi edullisempaa kuin pienpuuhake.



Kuva 13. Tärkeimpien metsähakelajien kustannustaso vuoden 1982 päättyessä lämpöyksikköä kohti laskettuna (Hakkila 1984).

### 3. ENERGIAPUUN TALTEENOTTO METSÄEKOSYSTEEMIN KANNALTA

(Eino Mälkönen, Erkki Annila ja Tauno Kallio)

#### 31. Energiapuun talteenoton liittyminen metsänhoitotöihin

Puun entistä tarkempaa talteenottoa perustellaan usein metsänhoitotöiden suorittamiseen vaikuttavilla teknis-taloudellisilla näkökohdilla. Perkauksen ja ensiharvennuksen tärkeimpiä tavoitteita ovat nuoren metsikön puulajikehityksen ohjaaminen ja riittävän kasvutilan turvaaminen kasvatettaville puille. Nämä metsikön hoitovaiheen toimenpiteet vaikuttavat siten ratkaisevasti niin puuston järeyshäilykseen kuin puun laatuun. Mikäli metsien hyvästä metsänhoidollisesta tilasta halutaan huolehtia, on edessä ensiharvennusten voimakas lisääminen.

Metsikön ensiharvennuksen ajankohtaan vaikuttavat lukuisat metsänkasvatuksen tavoitteet. Järeyden ja laadun kehitystä koskevat tavoitteet ovat toisilleen vastakkaisia: mitä varhemmin harvennetaan, sitä nopeampaa on järeytymisen, mutta sitä oksikkaammiksi kasvatettavat puut kehittyvät. Ensiharvennuksessa joka tapauksessa saadaan vain pieniläpimittaista puuta, jonka korjuussa kokopuun menetelmä saattaa tarjota välittömiä kustannussäästöjä.

Päätehakuun yhteydessä tehtävään hakkuutähteiden korjuuseen liittyy ekologisten tekijöiden ohella monia työtekniisiä näkökohtia. Päätehakuuvaiheessa kokopuun korjuu saattaisi tarjota mahdollisuuksia luontaisesti syntyneen taimiaineen säilyttämiseen ja hyödyntämiseen. Metsänviljelylle hakkuutähteistä ja kannoista aiheutuva haitta riippuu käytettävästä viljelymenetelmästä. Hakkuutähteiden ja kantojen korjuu helpottaa yleensä maanmuokkausta, parantaa muokkausjälkeä ja siten myös viljelytulosta. Seuraavan puusukupolven kehitys riippuu kuitenkin puun entistä tarkemman talteenoton ekologisista seurannaisvaikutuksista.

#### 32. Pienpuun korjuu metsien hoidossa

##### *Ravinnevarat*

Ravinteiden kierto on keskeisiä metsämaan puuntuotoskykyä ylläpitäviä tekijöitä. Arvioitaessa kokopuun korjuun seurannaisvaikutuksia voidaan pitää lähtökohtana tärkeimpien maan viljavuustekijöiden keskinäisiä suhteita erilaisilla kasvupaikoilla. Kuivilla kankailla, joilla veden puute on ensisijainen kasvua rajoittava tekijä, veden varastoituminen ja ravinteiden pidättyminen riippuvat ratkaisevasti maan orgaanisen aineen määrästä. Kuivahkoilla ja tuoreilla kankailla ravinteiden puute on useimmiten minimitekijänä. Viljavimmilla metsämailla puuston kasvu määräytyy sen sijaan lähinnä ilmastollisten edellytysten mukaisesti.

Seurannaisvaikutusten ilmenemisen kannalta on oma merkityksensä sillä, millainen on metsikön ravinnetarve puuston eri kehitysvaiheissa. Meidän oloissamme puuston ravinnetarve on suurimmillaan pian ensiharvennuksen jälkeen eli 30—50 v:n iällä kasvupaikan viljavuudesta riippuen (Mälkönen 1974). Näin ollen on ilmeistä, että jo suhteellisen pieni ravinteiden menetys tässä ikävaiheessa voi heikentää puuston tuotosta. Lisäksi on syytä korostaa, että hakkuutähteet sisältävät kaikkia puille tarpeellisia ravinteita likimain optimaalisissa suhteissa.

Harvennuskokeissa latvusto sisältää noin kolmanneksen puuston maanpäällisen osan biomassasta, mutta peräti kaksi kolmannesta puustoon sitoutuneista ravinteista (Mälkönen 1976). Harvennuskokeiden perusteella on käynyt ilmi, ettei suhteellisen voimakasaan harvennus vähennä sanottavasti runkopuun kokonaistuotosta. Tämä tulos on tulkittavissa siten, että kasvatettavaksi jätettävän puuston kasvun paraneminen on osittain seurausta hakkuutähteiden lannoitusvaikutuksesta.

PERA-projektissa on tähän mennessä saa-

tu ennakkotuloksia kahdeksasta ensiharvennuksen yhteydessä perustetusta kokeesta, joilla pyritään selvittämään kokopuun korjuun seurannaisvaikutuksia (Kukkola ja Mälkönen 1984). Mäntykokeiden kasvupaikka vaihtelee kuivasta tuoreeseen kankaaseen ja kuusikokeet ovat lehtomaisilla kankailla (taulukko 6). Hakkuutähteitä oli kuusikoissa noin kaksinkertainen määrä männiköihin verrattuna. Puulajien väliset erot ovat vielä korostuneemmat tarkasteltaessa hakkuutähteiden sisältämiä ravinnemääriä.

Kuvassa 14 on esitetty puuston tilavuuskasvu eri tavoin käsitellyillä koealoilla. Männiköissä hakkuutähteiden talteenottaminen, jättäminen paikoilleen tai niiden lisääminen ei vaikuttanut 5-vuotisen tutkimusjakson aikana puuston kasvuun. Kuusikoissa hakkuutähteiden jättämisellä on ollut merkitystä, joskin erojen tilastolliset todennäköisyydet ovat alhaisia. Kokeessa, jossa erot muodostuivat selvimmiksi, keskikasvut olivat seuraavat: Kokopuun korjuu 9,4, ainespuun korjuu 10,0 ja ainespuun korjuu, jossa koealalle levitettiin kaksinkertainen määrä hakkuutähteitä, 12,7 m<sup>3</sup>/ha/a. Koealoilla, joille

jätettiin hakkuutähteet, kasvu oli yleensä heikompi kuin koealoilla, jotka saivat vastaavan määrän ravinteita (N, P ja K) lannoitteina. On luonnollista, että lyhyellä aikajaksolla helpoliukoiset lannoitteet vaikuttavat selvemmin kuin hakkuutähteistä hitaasti vapautuvat ravinteet.

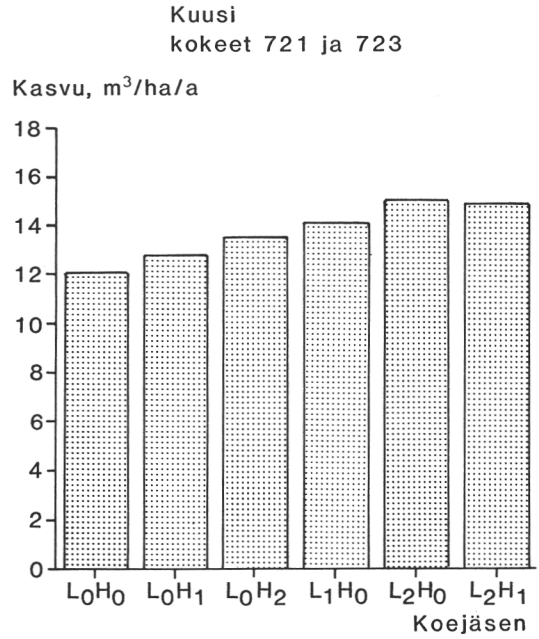
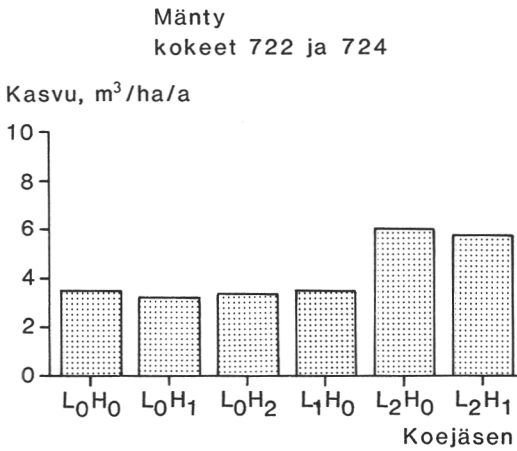
Muissakin Pohjoismaissa kokopuun korjuun vaikutuksesta puuntuotokseen ollaan vielä heikosti selvillä. Muutamat ruotsalaiset ja norjalaiset harvennuskokeet kuitenkin osoittavat samansuuntaisesti, että männiköiden ja kuusikoiden tilavuuskasvu heikkenee, kun harvennuspuu korjataan kokopuuna (Andersson 1983, Tveite 1983). Viljavuudeltaan keskinkertaisilla tai hyvillä mailla kasvun taantuma on ollut 7–11 % verrattuna perinteistä ainespuun korjuuta seuranneeseen kehitykseen. Maksimitapauksessa se on merkinnyt 1,5 m<sup>3</sup>/ha vuotuista kasvunmenetystä.

### Metsätuhot

Puun entistä tarkemman talteenoton vaikutukset metsissä vahinkoa aiheuttaviin sieniin ovat todennäköisesti varsin monitaho-

Taulukko 6. Kokopuun korjuun seurannaisvaikutusten selvittämiseksi ensiharvennusemetsiköihin perustettujen kokeiden yleistietoja sekä hakkuutähteiden ja niiden sisältämien ravinteiden määriä.

Koe	Tois-tojen lkm	Sijainti	Kasvu-paikka tyyppi	Poistuma, % ppa:sta	Puusto harvennuksen jälkeen			
					Runko-luku, kpl/ha	Ppa, m <sup>2</sup> /ha	Valta-pitusuus, m	Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha
<b>Mäntykokeet</b>								
720	3	Virrat	Khk	44,0	905	13,3	13,6	87
722	2	Rautavaara	Khk	33,6	693	13,4	15,2	99
724	3	Muhos	Kk	20,3	903	11,5	13,1	69
726	4	Rautavaara	Tuok	33,4	1 261	12,5	9,1	57
728	4	Paltamo	Kk	32,7	648	12,1	14,4	83
<b>Kuusikokeet</b>								
721	4	Parikkala	Lmk	34,7	1 106	24,7	16,9	189
723	2	Petäjävesi	Lmk	34,5	1 115	21,3	14,7	134
727	3	Janakkala	Lmk	35,3	721	24,6	20,5	221
Koe	Hakkuutähteiden kuivamassa, t/ha	Hakkuutähteiden ravinnemäärä, kg/ha						
		N	P	K	Ca			
<b>Mäntykokeet</b>								
720	7,6	22,2	2,8	12,0	13,9			
722	8,3	23,3	2,9	11,1	16,9			
724	8,0	21,2	2,7	10,7	18,4			
726	9,7	43,6	4,7	17,1	20,0			
728	7,7	34,1	3,3	12,7	15,7			
<b>Kuusikokeet</b>								
721	17,3	75,6	9,5	25,6	83,9			
723	15,3	56,7	8,2	19,9	51,8			
727	18,3	95,5	7,7	32,4	83,0			



Kuva 14. Puuston vuotuinen tilavuuskasvu harvennusta seuranneella viisivuotiskaudella. Koejäsenet:

- L<sub>0</sub>H<sub>0</sub> = Kokopuun korjuu
- L<sub>0</sub>H<sub>1</sub> = Perinteinen ainespuun korjuu
- L<sub>0</sub>H<sub>2</sub> = Kaksinkertainen hakkuutähdemäärä
- L<sub>1</sub>H<sub>0</sub> = Kokopuun korjuu ja korvaava lannoitus (NPK)
- L<sub>2</sub>H<sub>0</sub> = Kokopuun korjuu ja lannoitus; 900 kg/ha Y-lannosta (20—4—8)
- L<sub>2</sub>H<sub>1</sub> = Ainespuun korjuu ja lannoitus; 900 kg/ha Y-lannosta.

sia. Sienien lajiluku on suuri ja lajistossa tapahtuvat muutokset vaikuttavat sienien keskinäiseen kilpailuun. Hakkuutähteiden korjuu aiheuttaa puuta lahottavan sienilajiston yksipuolistumisen. Oletettavasti sen vaikutus on pääasiassa tuhoja lisäävä, koska monipuolisessa yhteisössä yhden tuhosisien on vaikea saada ylivaltaa.

Pieniläpimittaisen energiapuun korjuulla on ilmeisesti vain vähäisiä vaikutuksia tuhohyönteisten määriin. Jos esim. taimikko perataan ajallaan, ei ole kovinkaan suurta merkitystä sillä, korjataanko poistettava pienpuu vai jätetäänkö se paikalle. Mitä kookkaampaa taimikkoa käsitellään, sitä paremmin hyönteiset kykenevät lisääntymään kaadettussa puussa, jos se jätetään korjaamatta. Jos männyn taimikon käsittely viivästyy niin paljon, että poistettavien puiden tyvissä on kaarnaa, voivat kaarnakuoriaisiin kuuluvat ytimennävertäjät (*Tomicus piniperda*, *T. minor*) lisääntyä kaadettujen puiden tyviosissa sekä kannoissa ja aiheuttaa merkittäviä kasvaintuhoja jäljelle jääneessä puustossa

(Långström 1979). Maahan kaadettuja puita käyttävät lisääntymispaikkoinaan myös pikikarsäkkäät (*Pissodes*), jotka aikuisina voivat runsaina esiintyessään tappaa pieniä havupuun taimia.

Tärkein pieniläpimittaisessa kuudessa elävä tuhohyönteinen on kuusentähtikirjaaja (*Pityogenes chalcographus*) (Lekander 1972). Tämänkin lajin lisääntyminen aivan pienissä puissa on hyvin vähäistä, mutta jälkeläistuotos kasvaa nopeasti puun kantoläpimitan kohotessa suuremmaksi kuin 5 cm.

Kasvatushakkuiden yhteydessä syntyvissä hakkuutähteissä tuhohyönteisten lisääntyminen on jonkin verran runsaampaa kuin pieniläpimittaisessa energiapuussa. Edellä mainittujen lajien lisäksi on otettava huomioon kuudessa elävä kirjanpainaja (*Ips typographus*), joka kykenee jossain määrin lisääntymään latvuksessa. Hakkuutähteissä elävien hyönteisten lisääntyminen jää kuitenkin yleensä niin vähäiseksi, ettei siitä aiheudu olennaista vaaraa elävälle puustolle.

Metsälle vahingollisten hyönteisten lisääntyminen energiapuuksi soveltuvassa pienpuussa samoin kuin kasvatushakkuiden yhteydessä syntyvissä hakkuutähteissä on jokin vähäistä, mutta metsään jätetty kaadettu puu ylläpitää vuodesta toiseen tiettyä hyönteiskantaa, joka sopivan tilaisuuden tullen voi nopeasti kohota tuhoa aiheuttavaksi. Näin ollen sekä pienpuun että hakkuutähteidenkin korjuu kohottaa metsän hygieenistä tilaa vähentämällä tuhohyönteisten lisääntymismahdollisuuksia.

### 33. Hakkuutähteiden korjuu päätehakkuun yhteydessä

#### *Ravinnevarat*

Kun kokopuun korjuu tapahtuu päätehakkuun yhteydessä, on biomassan mukana poistuvien ravinnemäärien lisäksi kiinnitettävä erityisesti huomiota ravinteiden huuhtoutumisessa tapahtuviin muutoksiin. Parhaan käsityksen ravinteiden huuhtoutumisesta antaisivat pieniltä valuma-alueilta tehdyt mittaukset, mutta tällaisia kotimaisia tuloksia ei ole toistaiseksi käytettävissä.

Erilaisista päätehakkuumetsiköistä saatujen tulosten mukaan typen menetys on kokopuun korjuun takia 2—4-, fosforin 2—5-, kaliumin 1,5—3,5- ja kalsiumin 1,5—2,5-kertainen kuorellisen runkopuun korjuuseen verrattuna.

Keski-Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan päätehakkuu lisää valunnan hakkuun jälkeisenä vuonna jopa kaksinkertaiseksi (Rosén 1983). Hakkuu edistää myös ravinteiden vapautumista maassa. Ravinnepitoisuuksien kohoaminen hakkuualueelta valuvassa vedessä yhdessä valunnan määrän kasvun kanssa lisää useimpien ravinteiden huuhtoutumisen yli kaksinkertaiseksi vastaavaan metsikköön verrattuna.

Hakkuutähteiden korjaaminen näyttää vähentävän useimpien ravinteiden huuhtoutumista ainakin hakkuun jälkeisenä vuonna (Rosén 1983). Tarkasteltujen ravinteiden (N, Ca ja Mg) huuhtoutuminen kokopuuna korjatulla hakkuualueella oli 67—78 % siitä, mitä huuhtoutui perinteisen runkopuun korjuun jäljiltä. Suurempi huuhtoutuminen perinteisesti korjatulta hakkuualueelta tasoittaa jossain määrin kokopuun korjuun aiheuttamaa ravinteiden kokonaisenmenetystä. Ravinmenem-

tyksen vaikutusta kasvupaikan puuntuotuskykyyn ei kuitenkaan tältä pohjalta pystytä vielä arvioimaan.

Hakkuutähteiden korjuun merkityksestä taimien menestymiseen ei ole käytettävissä mainittavia kotimaisia tuloksia. Björkrothin (1983) Ruotsissa raportoimien tulosten mukaan pääpuulajeistamme erityisesti kuusi kasvaa paremmin hakkuutähteiden seassa. Hakkuutähteiden suotuisa vaikutus näyttäisi heikkenevän boniteetin muuttuessa viljavammaksi. Hyvin viljavilla mailla Björkroth odottaa puuston kasvun olevan 10 vuoden ajan parempi hakkuutähteissä kuin ilman niitä. Tämä vaikutus vastaa noin yhden vuoden kasvua. Karuimmilla mailla puiden pituuskasvu on hakkuutähteiden ansiosta 10—20 % suurempi vielä 15—20 vuotta istutuksen jälkeen.

Viitteitä hakkuutähteiden korjuun aiheuttaman taantuman kestosta saadaan Keski-Ruotsissa suoritetuista hajontakokeista (Staaf 1983). Avohakkuualueilla vihreät neulasetsat menettävät painostaan 15—30 % vuodessa ja ajan myötä hajoamisnopeus hidastuu. Kalium ja magnesium vapautuvat hakkuutähteistä melko nopeasti huuhtoutumalla, mutta typpi ja fosfori sen sijaan hitaasti. Tyypeä on todettu vapautuvan hakkuutähteiden neulasista runsaimmin 3—6 vuotta hakkuun jälkeen, ja 10 vuoden kuluttua mineralisoituminen neulasmateriaalista on jo ollut vähäistä. Oksat sisältävät vähemmän tyypeä ja fosforia kuin neulasetsat, mutta vapautuminen niistä tapahtuu pääasiassa vasta vuosikymmenen kuluttua hakkuusta.

Kokopuun korjuussa kasvupaikalta poistuvat ravinnemäärät ovat huomattavan suuria metsikön ravinnevaroihin verrattuna. Puuston kasvun kannalta voi typpi- ja fosforitilanne muodostua ratkaisevaksi, vaikka tyypeä tulee maahan ilman epäpuhtauksien mukana entistä enemmän.

Ravinteiden menetys edellyttäne jossain vaiheessa korvaavaa lannoitusta kasvun tason ylläpitämiseksi. Lannoituksen suomat kompensatiomahdollisuudet ovat todennäköisesti parhaat sellaisilla kasvupaikkatyypeillä, joilla nykyinenkin metsänlannoitus antaa hyvän kasvunlisäyksen.

Kuivilla kangasmailla biomassan tarkka talteenotto vähentää maan humusvaroja ja heikentää siten ilmeisesti myös maan vesitaloutta, minkä seurauksena voi olla pitkäaikainen puuntuotuskyvyn aleneminen.

Sienituhojen kannalta puun entistä tarkemman talteenoton yhteydessä on oleellista lähinnä se, korjataan kantoja ja juuria vai ei. Viime vuosikymmeninä metsätaloudessa on tapahtunut joulukko muutoksia, jotka todennäköisesti suosivat juurikääppää eli maan-nousemasientä (*Heterobasidion annosum*, *Fomes annosus*) ja siten lisäävät sen aiheuttamia tuhoja. Sienten leviämisen kannalta kesäkaadon jälkeiset kannot ovat keskeisessä asemassa (Kallio 1965). Sieni iskeytyy ilmateitse kantojen kaatopintoihin ja kannot tarjoavat vuosikymmeniksi kasvu- ja lisääntymisalustan sienelle.

Juurikääppää on torjuttu ulkomailla paljaaksihakkuuden yhteydessä korjaamalla puita juurineen. Esimerkiksi Englannissa sen on todettu olevan tehokkain keino juurikäävän saastuttamalle alueelle istutetun männyn taimikon suojaamiseksi (Greig ja Burdekin 1970). Vain kantojen korjuu on *Phlebiopsis gigantea* -vastasiemen käytön ohella oleellisesti vähentänyt männyn taimien kuolleisuutta. Vertailtaessa kantojen sekä kantojen ja kaadettujen puiden kemiallisia ja mekaanisia käsittelyjä juurikäävän torjumiseksi metsänuudistusalalla todettiin 11 vuotta istutuksen jälkeen taimista kuolleen kantojenostoalueella 20 % ja käsittelemättömällä alueella 54 %. Muulla tavalla käsiteltyjen alueiden luvut eivät sanottavasti poikenneet kontrollista.

Tanskassa on jo vuosisadan alussa suosittu kantojen nostoa juurikäävän saastuttamisissa havu- ja koivumetsissä avohakkuun jälkeen ennen uudistamista. Myöhemmin on tosin todettu, ettei kantojen nosto merkittävästi alentanut taimien kuolleisuutta eikä juurikäävän myöhempää iskeytymistä saastuneen kuusikon uudistusalalla, koska suuri osa juurista jäi maahan (Yde-Andersen 1970). Kantojen korjuu on todettu Ruotsissa tehokkaasti vähentäneen juurikäävän iskeytymistä toiseen kuusisukupolveen (Hypel 1977). Ratkaiseva merkitys onkin ilmeisesti sillä, miten tarkoin juuret onnistutaan poistamaan maasta.

Mesisieni (*Armillaria mellea*) elää yleisenä kaadettujen puiden kannoissa ja juurissa, joista se kasvattaa rihmastojänteitä. Ne säilyvät maassa vuosikausia ja voivat tartuttaa ja tappaa paikalle istutettuja tai kylvämällä syntyneitä männyn taimia. Mesisienen leviämisessä on olennaista sienien kyky iskeytyä maaperässä puiden juuriin rihmastoja ja

juuriyhteyksien välityksellä. Sairaiden puiden poisto ja kantojen nosto ovat vanhimpia mesisienen torjuntakeinoja.

Neuvostoliitossa suositetaan kantojen ja juurten nostoa käytännön toimenpiteeksi mesisienen torjunnassa. Kantojen ja yli 1 cm paksujen juurien nostamista ja välitöntä siirtoa hakkuualalta pidetään uudistumisen kannalta tärkeänä.

Kokopuun korjuun aiheuttama ravinteiden poistuminen metsästä asettaa suuret vaatimukset lannoitukselle: ravinnesuhteiden epätasapaino lisää sienituhoja.

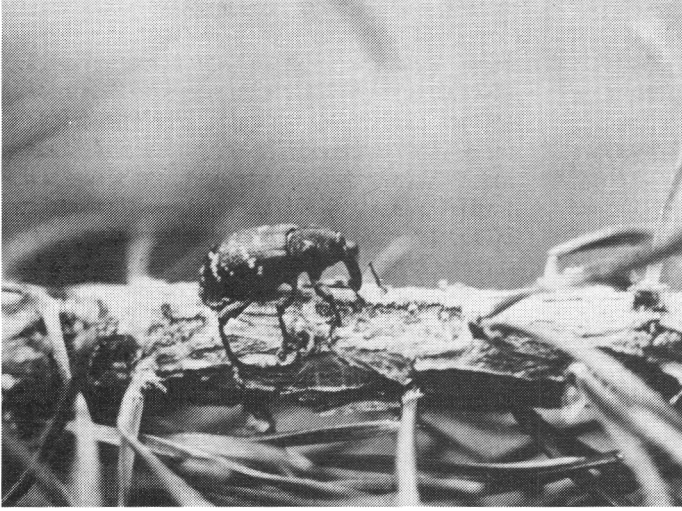
Päätihakkuun jälkeen hakkuualalle jäävässä hakkuutähteissä elää monia metsän tuhohyönteisiä. Kannoissa lisääntyvistä lajeista on tärkein tukkimiehentäi (*Hyllobius abietis*), joka aikuisena käyttää ravintonaan havupuun taimia (kuva 15) ja voi aiheuttaa huomattavaa vahinkoa istutustaimikoissa (Juutinen 1962). Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan yhdessä kannossa elää keskimäärin lähes 300 toukkaa, joista 40 % elää varsinaisessa kannossa ja 60 % juurissa (Skogsstyrelsen 1978).

Kannoissa lisääntyvät myös juurinilurit (*Hylastes brunneus*, *H. cunicularius*), jotka elävät pääasiassa maan pintakerroksessa olevissa juurissa 25 cm:n syvyyteen saakka. Aikuisina nämäkin hyönteiset käyttävät ravintonaan havupuun taimia, joiden tyveen ja juuriin ne kaivavat käytäviä aiheuttaen taimikuolemia.

Pystynävertäjä (*Tomicus piniperda*) lisääntyä avohakkuualoilla pääasiassa suurten männynkantojen maanpäällisissä osissa. Kannot ovat kuitenkin yleensä niin lyhyitä, että pystynävertäjän lisääntyminen niissä jää vähäiseksi. Nämä kaarnakuoriaiset käyttävät lisääntymispaikkoina myös tyveysiä tai muuta hakkuualalle jäänyttä karkeakaarnaista puuta. Vaakanävertäjät (*Tomicus minor*) voivat lisääntyä hakkuualalle jäävässä männynlatvuksissa, mutta lisääntyminen ei yleensä ole kovin runsasta. Aikuisina molemmat lajit tuhoavat versoja elävissä männyissä aiheuttaen kasvutappioita.

Tuoreen puutavaran pahin tuholainen on tikaskuoriainen (*Trypodendron lineatum*), joka lisääntyy sekä kuusen että männyn kannoissa (Annala 1975).

Kuusimetsien vaarallisin tuhohyönteinen, kirjanpainaja (*Ips typographus*), tarvitsee lisääntyäkseen järeätä puutavaraa. Hakkuutähteissä se voi jonkin verran lisääntyä kuusen latvuksissa ja tyveysissä. Sen sijaan



Kuva 15. Merkittävin avohakkuu-aloilla lisääntyvistä hyönteisistä on tukkimiehentäi, joka vioittaa havupuiden taimia.

kuusentähtikirjaajalle (*Pityogenes chalcographus*) kuusen latvukset ovat erinomaisia lisääntymispaikkoja. Kuivina ja lämpiminä kesinä nämä hyönteiset voivat runsaina esiintyessään tappaa nuoria kuusia (Lekander 1972).

Hakkuutähteiden talteenotolla voidaan vähentää edellä mainittujen tuhohyönteisten lisääntymismahdollisuuksia. Mikäli kannot nostetaan ensimmäisenä hakkuun jälkeisenä kesänä, vähentyy tukkimiehentäin lisääntyminen 80 %:lla (Skogsstyrelsen 1978). Hyönteisen kehitysajan huomioon ottaen tulisi kannot nostaa Etelä- ja Keski-Suomessa viimeistään toisen kesän alussa. Kannot olisi kuljetettava välittömästi pois hakkuualalta tai sen läheisyydestä, sillä toukat voivat kehittyä nostetuissa kannoissa aikuisiksi ja siirtyä uudistusalalle. On myös todettu, että tukkimiehentäin tuhot voidaan vähentää puoleen keräämällä oksat ja latvukset pois hakkuualalta.

Jos kannot nostetaan ja kuljetetaan pois hakkuualalta jo ensimmäisenä kesänä keski-kesään mennessä, vähenevät juurinilurien, ytimennävertäjien ja tikaskuoriaisen lisääntymismahdollisuudet olennaisesti. Juurinilurien lisääntymistä ei voida täysin estää kantojen nostamisella, sillä käytännössä maahan jää melko paljon ohuita juuria, joissa nilurit kykenevät lisääntymään. Joka tapauksessa

kantojen nosto ensimmäisenä kesänä Etelä-Suomessa ja toisena kesänä Pohjois-Suomessa vähentää nilurien lisääntymismahdollisuuksia voimakkaasti.

Vaikka tuhohyönteisten lisääntyminen hakkuualalle jäävässä latvuksissa tuskin koskaan johtaakaan välittömiin tuhoihin hakkuualan läheisyydessä, voidaan latvuksien talteenotolla vähentää hyönteisten, ennen kaikkea vaakanävertäjän ja kuusentähtikirjaajan, lisääntymistä ja siten estää hyönteiskantojen nousu hakkuiden yhteydessä. Täten toimenpiteellä on tuhoja ennalta ehkäisevä vaikutus.

Hakkuutähteiden korjuun pitkäaikaisista vaikutuksista tuhohyönteisten määrään tiedetään hyvin vähän. Keski-Euroopassa kerättiin aikoinaan metsistä karikkeita käytettäväksi mm. kuivikkeina karjasuojissa. Myöhemmin todettiin hyönteisten aiheuttamia neulastuhoja tällaisissa metsiköissä yleisemmin kuin muualla (Klimetzek 1972). Tämän on arveltu johtuneen maan fysikaalisissa ominaisuuksissa ja ravinnesuhteissa tapahtuneista muutoksista. Tuhoalittiutta on voitu vähentää lannoituksella. Kun meillä mäntypistiäistuhot sattuvat tavallisesti kuivilla ja karuilla kangasmailla, voidaan hakkuutähteiden talteenoton olettaa lisäävän tuhojen esiintymismahdollisuuksia, mikäli siitä aiheutuvaa ravinteiden vähenemistä ei korvata.

## 4. ENERGIAPUUN TUOTTAMINEN LUONNONVESAKOISSA

(Ari Ferm 41 ja 42, Anneli Kauppi, Päivi Rinne, Hanna-Leena Tela ja Anna Saarsalmi 42, Yrjö Sevola 43)

### 41. Luonnonvesakoiden tuotantopotentiaali

Luonnonvesakoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä yleensä nuoria, tiheitä siemenestä tai vesoista syntyneitä lehtipuumetsiköitä. Vesametsäkasvatus on sellaisen metsätalouden harjoittamista, jossa uudistaminen tapahtuu kasvullista tietä vesojen avulla (Mikola 1942). Vesoista uudistamista on aikoinaan käytetty suomalaisessa metsätaloudessa enemmän kuin nykyisin (Heikinheimo 1915 ja 1947, Nordberg 1919, Mikola 1942). Myös tunturikoivuvyöhykkeellä koivun käyttö ja kasvatus perustuu suurelta osin vesametsäkasvatukseen.

PERA-projektin vesametsätutkimuksien maantieteellinen painopiste on ollut Keski- ja Pohjois-Suomessa, jossa pääosin sijaitsevat maamme turvemaat ja muut ajateltavissa olevat kasvupaikat. Lisäksi esimerkiksi polttohaketta käyttäviä aluelämpökeskuskuksia on eniten perustettu juuri sinne (ks. Hakki 1984).

Kannuksen ja Limingan kuntien energia-puuinventointien perusteella voidaan Pohjanmaan metsämaan pinta-alasta noin 3 %:n arvioida soveltuvan vesametsäkasvatukseen. Liperin ja Maaningan kunnissa Itä-Suomessa vastaavan osuuden arvioitiin olevan 2,5 %. Etelä-Suomessa osuus lienee huomattavasti alhaisempi. Karkeasti arvioiden Pohjanmaalta, Kainuusta ja osin Lapista löytyisi 220 000 ha vesametsäkasvatukseen soveltuvaa maata, Keski- ja Itä-Suomesta 100 000 ha ja Etelä-Suomesta 50 000 ha. Lisäksi esimerkiksi metsittyvät pellot, jotka eivät sisälly metsämaan pinta-alaan, ovat potentiaalisia kasvupaikkoja vesametsäkasvatukselle.

Vesametsäkasvatus ei sovi karuille eikä myöskään hyvin reheville kasvupaikoille. Suursara-ruohoisuustason suot ovat sopivia, samoin MT ja OMT kankaat. Kuitenkin eräät lajittuneet, karut maat, jos niiden pinnalla on ohut turvekerros, vesottuvat hyvin.

Yleensäkin ohutturpeisuus on vesomisen kannalta etu. Hyvin rehevillä kasvualustoilla kehittyä puuston poistamisen jälkeen runsas ruoho- ja heinäkasvillisuus, minkä seurauksena kannokko lahoaa nopeammin, vesoja syntyy heikommin ja ne kuolevat helposti. Lettojen ja eräiden muiden avosoiden koivikot vesovat heikohkosti samoin kuin karhunsammalmuuttumilla kasvavat puustot. Kulotetut ja myös muokatut tuoret maat vesottuvat hyvin. Erityisesti kepeat korpi- ja rämejuotit koivuttuvat hyvin.

Yleistäen voidaan sanoa, että vesametsäkasvatukseen soveltuvat alueet ovat usein pienialaisia, kosteahkoilla alustoilla sijaitsevia pääosin hieskoivun vallitsevia metsiköitä. Sensijaan harmaalepiköitä ja haavikoita tavataan kuivemmilla alustoilla, nekin pienialaisina. Suurempina kuvioina esimerkiksi hieskoivikoita tavataan entisillä järvenpohjilla, alavilla ranta- ja ojanvarsimailla, entisillä maatalousmailla, taajamien lähiympäristöissä sekä eräillä ojitetuilla soilla. Laajimmat lehtipuutiheiköt tunturikoivua lukuun ottamatta sijaitsevat Vaasan ja Tornionjoen välisellä kaistaleella, joka ulottuu noin 50—100 km rannikolta sisämaahan.

Tutkimusten tässä vaiheessa voidaan todeta, että useissa tapauksissa vesa- ja usein siemensyntyistenkin lehtipuutiheiköiden puubiomassan tuotokseksi sopivilla kasvupaikoilla on mitattu 3—5 t/ha/a (=6—10 m<sup>3</sup>/ha/a) 12—20 vuoden kiertokaudella. Tämä edellyttää häiriötöntä alkukehitystä ja vähintäänkin kohtalaisia kasvuoloja. Suurempiin tuotoksiin voitaneen päästä vain erikoistapauksissa. Mikäli vesametsien kasvatusalana pidetään aikaisemmin arvioitua 370 000 ha, vastaa 4 t/ha/a tuotospotentiaali energiatuotannossa 0,7 Mtoe/a.



- Maanpinnan rajan vaikutus vesomistulokseen; valon vaikutus silmujen puhkeamiseen ja juurten syntyy
- Katkaisukorkeuden vaikutus vesomiseen
- Silmujen karsinnan ja kantoon jätettyjen oksien käsittelyn vaikutus vesomiseen
- Lisättyjen hormonien vaikutus vesomiseen
- Lahon eteneminen kannoista vesoihin ja erilaisten lahontorjunta-aineiden vaikutus
- Fenoleiden määrän muutokset kaadon jälkeen.

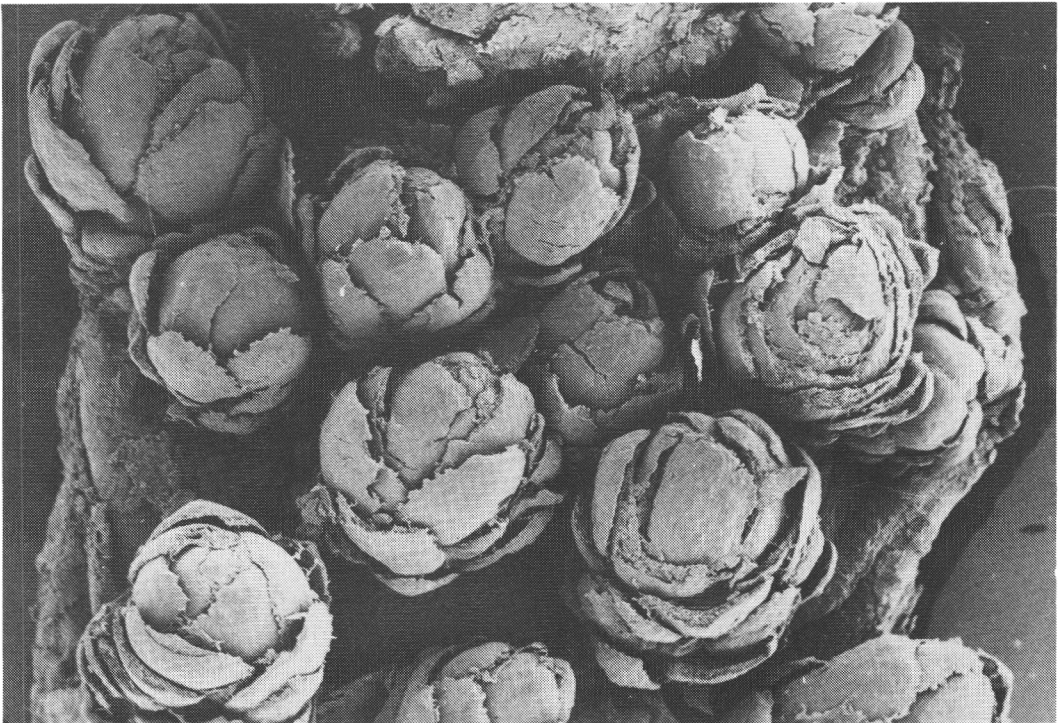
Koivun vesat saavat alkunsa leposilmuista, joita on jo aivan pienen taimen tyvellä. Yksi- ja kaksivuotiaiden hies- ja rauduskoivujen taimissa leposilmuja on muutamia. Taimen kasvaessa silmujen määrä näyttää jatkuvasti lisääntyvän haarautumisten kautta. Aikuisessa puussa silmuja on jopa satoja.

Vanhojen kantojen heikohko vesomistulos ei useinkaan johdu silmujen puutteesta vaan sijainnista tiiviisti vieretysten silmuryhmissä (kuva 18). Silmuja on maanpinnan alapuolella huomattavasti enemmän kuin maanpinnan yläpuolella. Kun koivun taimessa maanpinnan alapuolella normaalisti sijaitsevat silmut paljastettiin valolle, oli vesomisprosentti huomattavasti suurempi kuin normaalisti.

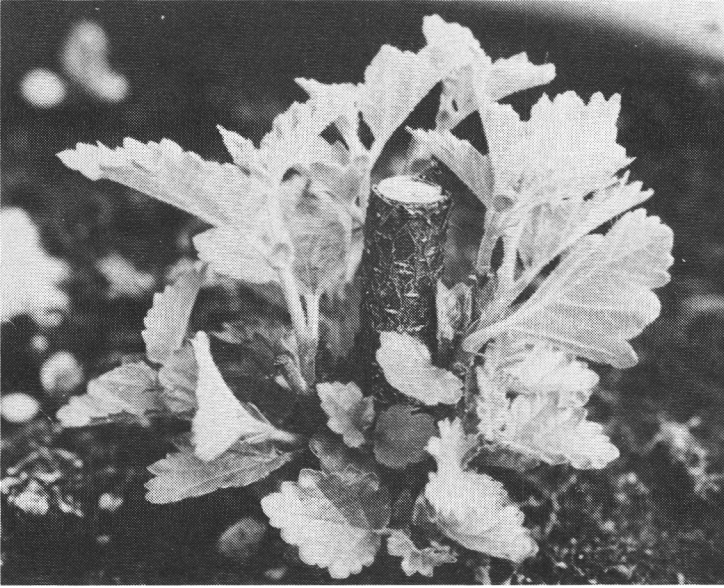
Vaikka luonnossa kantojen vesomiskyvyssä havaittiin suurta vaihtelua yksilöstä toiseen, koivun taimet vesoivat kasvihuoneoloissa lähes poikkeuksetta. Silmujen puhkeamista voitiin vielä lisätä hormonikäsittelyllä. Vesojen määrä ei näyttänyt vähentyvän edes vesotettaessa kolmesti peräkkäin saman kasvukauden aikana (kuva 19). Toistuvat vesotukset hidastivat kuitenkin vesojen kasvua ja juuriston kehitystä.

Tähänastinen työ on ollut lähinnä esitutkimuksen luonteista. Sillä on pyritty kartoittamaan vesomisen peruskysymyksiä. Vesomiseen liittyvien biologisten tekijöiden tutkimustarve on tällä hetkellä eri puolilla maailmaa suuri. Kansainvälisessä energiajärjestössä IEA:ssa on aloitettu vuonna 1984 tutkimusyhteistyö vesomiseen liittyvistä kysymyksistä. Osallistujamaina projektissa ovat Suomi, USA ja Kanada. Projektin on suunniteltu kestävän vuoteen 1987 saakka.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi vesomiseen saattavat vaikuttaa kasvupaikka, hakkuutapa, kaatoajankohta ja -väline, puunkä, kannonläpimitta ja -korkeus, silmujen



Kuva 18. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva silmuryhmästä koivun kannossa.



Kuva 19. Kasvihuoneessa kolmesti saman kasvukauden aikana vesotettu hieskoivu.

puhkeamishetken sääolot, eläin- tai tulvatuhot, muun kasvillisuuden kilpailu jne. Erityisesti on syytä korostaa kasvupaikan vaikutusta, sillä elinvoimaisetkaan puustot eivät aina tuota kunnollisia vesoja esimerkiksi karhunsammalmuuttumilla tai hyvin ruohoisilla alustoilla.

Eräiden tulosten mukaan kaatoajankohta ei vaikuta kovinkaan paljon hieskoivun vesomiseen (esim. Ferm ja Issakainen 1981). Kuitenkin vesametsäkasvatuksen koekentiltä on toisaalta havaintoja, että kesä-heinäkuussa tehty kaato on selvästi vähentänyt vesomista hieskoivullakin. Kesäaikaisen kaaton on todettu heikentävän useimpien puulajien vesomista (esim. Heikinheimo 1930, DeBell ja Alford 1972, Cremer 1973, Anderson 1979). Vesomisen kasvukautista vaihtelua on useissa yhteyksissä yritetty selittää ravintovarojen riittävyydellä, mutta eräät havainnot viittaavat siihen, että näin ei välttämättä ole asian laita (ks. Blake 1981). Kyse saattaa pikemminkin olla hormonien ja kasvuaineiden muodostumisesta sekä jakautumisesta kannossa.

#### *Vesa- ja siemensyntyisten puiden kasvuerot*

Vesojen morfologia, vesitalous ja kasvun rytmikka poikkeavat selvästi siemensyntyisistä puista (esim. Blake 1980 ja 1981). Vesat

kasvat ensimmäisinä vuosinaan yleensä selvästi nopeammin kuin siementaimet. Nopeaa kasvua auttaa ns. vapaa kasvumalli, jolle on luonteenomaista useat, 1—3 viikkoa kestävä erittäin nopean kasvun jaksot (esim. Johnson 1979). Vesoilla on käytössään emopuun juuristo ja lisäksi mahdollisesti eräillä hormoneilla on vaikutusta nopeaan alkukasvuun.

Kannuksessa mitattiin vuosina 1982 ja 1983 eri ikäisten vesa- ja siemensyntyisten hieskoivujen pituuskasvua ja sen kestoa. Vesa-ilmujen hitaan puhkeamisen vuoksi ensimmäisen kasvukauden vesat aloittivat pituuskasvunsa 110—140 dd-yksikköä myöhemmin kuin vanhemmat vesat ja siemensyntyiset koivut mutta kasvoivat sitten niitä kauemmin ja voimakkaammin. Aloitusviive oli ajassa noin 20 päivää.

Kun verrattiin nuorten hieskoivujen vuotuista pituuskasvua kehittyivät ensimmäisen kasvukauden vesat selvästi nopeimmin. Tämän jälkeen seurasivat järjestyksessä toista ja kolmatta vuottaan kasvavat vesat. Siemensyntyisillä hieskoivuilla järjestys oli kuta-kuinkin päinvastainen: nopeimmin kasvoivat kolmatta ja neljättä vuotta kasvavat taimet ja hitaimmin ensimmäistä ja toista vuotta kasvavat.

Samanlaisia tuloksia koivulle on saanut Usoltsev (1978) Neuvostoliitossa. Hänen tut-

kimuksensa perusteella on piirretty kuva 20, missä esitetään vesa- ja siemensyntyisten koivujen pituuskasvun kehitys. Vesasyntyisten koivujen pituuskasvu on suurimmillaan yhden vuoden iällä, heikkenee hitaasti noin 15 vuoden iälle ja laskee sen jälkeen jyrkästi. Siemensyntyisten pituuskasvun malli on muodoltaan jyrkkä parabeli, jonka huippu saavutetaan noin 5 vuoden iällä.

#### Vesomistulos ja vesojen alkukehitys

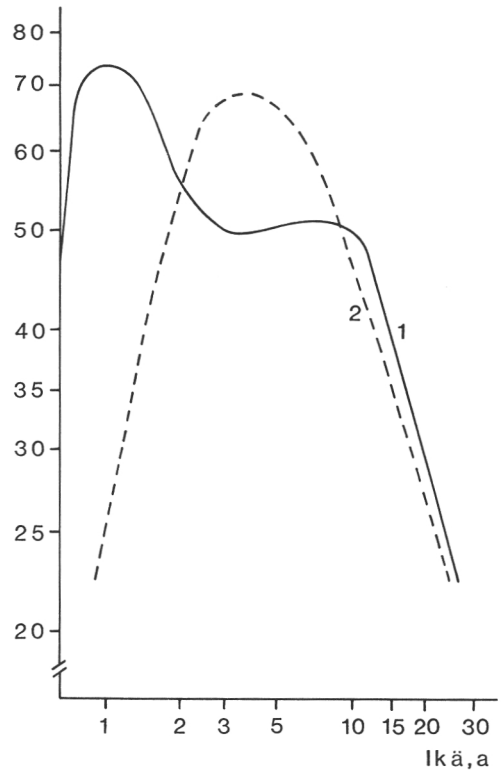
Osa kannoista ei veso. Syynä voivat olla epäedulliset sääsuhteet, huono silmutilanne, fysiologiset häiriöt jne. Useimmiten vesomiskyky heikkenee puun ikääntyessä. Kuvassa 21 on esitetty erään vesametsän kasvatuskokeen vesomattomien hies- ja rauduskoivun kantojen osuus läpimittaluokittain.

Ei tiedetä varmuudella, mistä vesomiskyvyn heikkeneminen puun iän ja koon kasvaessa johtuu, mutta ainakin neljä olettamusta on esitettävissä: 1) Puiden ikääntyessä suvulinen lisääntyminen korostuu ja mm. siemenen tuottaminen heikentää silmuja. 2) Vesomiselle tarpeellisten hormonien määrä vähenee puun tyvessä. 3) Puun vanhetessa kuori ja muut mekaaniset esteet puun tyvellä vaikeuttavat silmujen kasvua ja puhkeamista. 4) Vanhempien puiden kannoissa vesojen ja kannon väliset yhteydet ravinnon ja veden kulun suhteen saattavat muodostua hankaliksi.

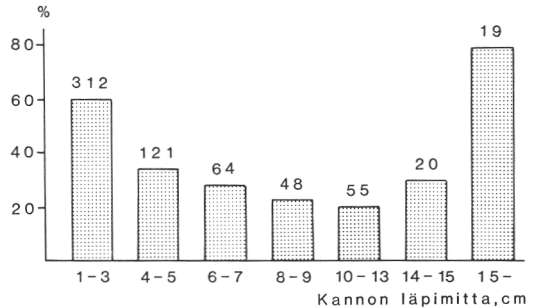
Mitataanpa tulosta vesojen lukumäärällä, pisimmällä vesalla kantoa kohti tai vesojen keskipituudella, vesomistulos paranee puun koon kasvaessa mutta vain tiettyyn rajaan asti. Tuo raja mahdollisesti vaihtelee kasvuloistakin riippuen, mutta kannon läpimittaluokissa 1—3 cm ja taas yli 10—12 cm vesomistulos näyttää olevan heikompi kuin näiden rajojen välisellä alueella. Etenkin raudus- mutta myös hieskoivulla vesomattomien kantojen osuus lisääntyy jyrkästi yli 10—15 cm:n kannoissa (esim. Leikola ja Mustanoja 1961). Toisaalta taas metsikoissa, joissa on erikoisia puita, pienimmät puut kuuluvat vallituihin ja ovat siten elinvoimaltaan jo heikentyneitä. Jos isot puut onnistuvat kaadon jälkeen tuottamaan vesoja, nämä vesat saattavat olla hyvinkin elinvoimaisia.

Yleisen käsityksen mukaan rauduskoivu vesoo hieskoivua huonommin (vrt. Mikola 1942, Leikola ja Mustanoja 1961). Entiseltä turvetuotantoalueelta saatujen alustavien tu-

Pituuskasvu, cm/a



Kuva 20. Vesa- ja siemensyntyisten koivujen vuotuisen pituuskasvun kehitys (1 = vesasyntyiset, 2 = siemensyntyiset).



Kuva 21. Vesomattomien koivunkantojen osuus kannon läpimitasta riippuen. Pylvään yläpuolella läpimittaluokan havaintojen lukumäärä.

lostien pohjalta tuo käsitys näyttää pitävän paikkansa vain osittain. Rauduskoivun vesomiskyky mahdollisesti heikkenee puun koon kasvaessa huomattavasti jyrkemmin kuin hieskoivun, ehkä kuoren vahvistumisen vuoksi. Myös vesojen määrä kantoa kohti

näyttää olevan jonkin verran alhaisempi kuin hieskoivulla mutta vesojen kasvu on ollut kutakuinkin yhtä hyvä kummallakin puulajilla.

Vesojen määrä kantoa kohti on vaihdellut eri koelueilla keskimäärin kahdesta kymmeneen. Kuvassa 22 on esitetty erästä laajasta vesainventoinnista hies- ja rauduskoivun kantojen jakautuminen vesojen lukumäärän mukaan. Joukossa on runsaasti kantoja, joissa on yli 20 vesaa. Vesojen määrä kantoa kohti vähenee alkuvuosina melko jyrkästi tasaantuen sitten 2—4 vesan tasolle (kuva 23).

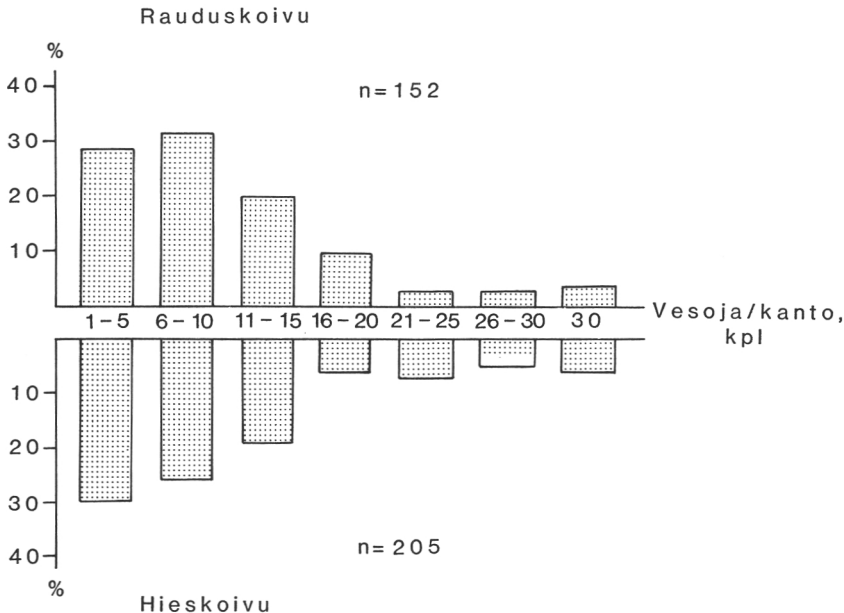
Hyvin tärkeitä vesametsän kehitykselle on vesojen suhde emopuun kantoon. Lähellä oleva emokannon juuri, tai jopa koko juuristo voi jäädä eloon toimien vesan hyväksi, mutta vesa voi myös jäädä ilman juuriyhetyksiä ja kuolla kannon mukana. Vesa voi myös kasvattaa kokonaan oman juuriston. Juuristossa oleva laho saattaa hidastaa vanhojen juurten käyttöönottoa ja toisaalta kannosta vesaan etenevä laho saattaa katkaista juuriyhetydet. Eräillä puulajeilla on todettu osan juurista kuolevan välittömästi kaadon jälkeen. Todennäköisyys sille, että vesa saa käyttöönsä vain osan emokannon juuristoa on sitä suurempi, mitä alempana kannossa vesa on syntynyt (Mikola 1942, Fayle 1982).

Vesan ja emokannon sekä sen juuriston välisten yhteyksien säilymistä ja vesojen kehityksen riippuvuutta näistä yhteyksistä ei tunneta tarkkaan. Vesat eivät aivan ensimmäisinä vuosinaan pystyne kasvattamaan riittävästi omia juuria vaan ovat emopuun juurten varassa, jolloin mahdollisuudet häiriöille ovat suuret. Toisaalta erikoinen juuri-versosuhde saattaa osittain selittää vesojen kiihkeän kasvun.

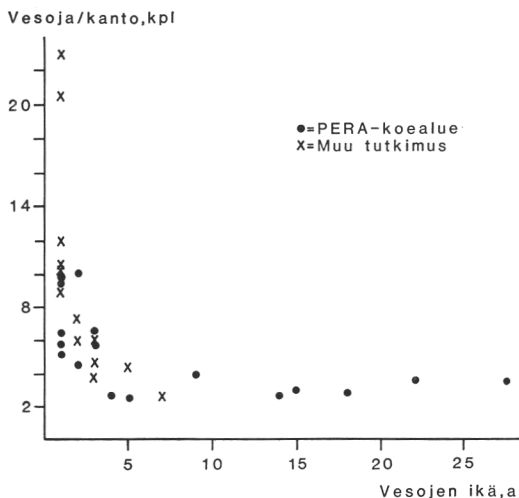
Pohjois-Karjalassa tehdyssä PERA-tutkimuksella oli 10—20-vuotiailla hieskoivun vesoilla emokannon juurten osuus keskimäärin 14 % juurten poikkileikkauspinnasta eli vesat olivat enimmäkseen omillaan toimeentulevia. Vaihtelu oli kuitenkin hyvin suurta, ja eräät koeput olivat vielä täysin emopuun juurista riippuvaisia.

#### *Metsikkötunnusten kehitys*

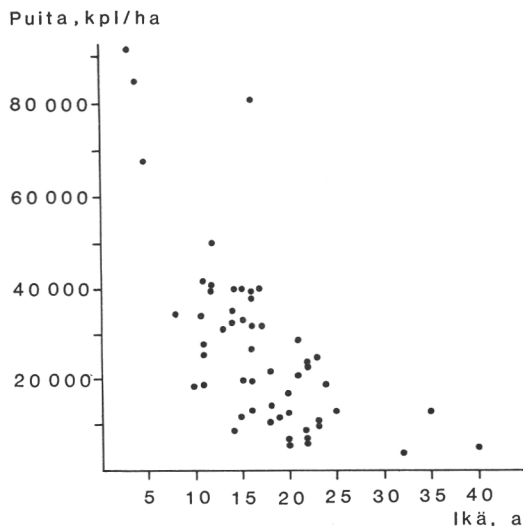
Jos emopuuston tiheys on tarpeeksi suuri, vesoja syntyy yleensä runsaasti. PERA-projektin koelajoilla vesojen lukumäärä on ensimmäisen kasvukauden jälkeen ollut 75 000—250 000 kpl/ha, kun emopuuston tiheys on ollut yli 7 500 kpl/ha. Vesojen määrä vähenee ajan myötä mutta on vielä viiden vuoden kuluttua yli 50 000 kpl/ha.



Kuva 22. Hies- ja rauduskoivun kantojen jakautuminen vesojen lukumäärän mukaan.



Kuva 23. Elävien vesojen lukumäärä kantoa kohti kaadosta kuluneesta ajasta riippuen.



Kuva 24. Elävien puiden runkoluku eri-ikäisissä koivutiheiköissä.

Voimakkaan itseharvenemisen vuoksi koivutiheikön puiden runkoluku vähenee kuvan 24 esittämällä tavalla. Vastaavasti pieniä kuolleita puita voi 15—20-vuotiaissa hieskoivutiheiköissä olla jopa 10 000—20 000 kpl/ha. Siemensyntyisistä taimista saadaan yleensä täydennystä vesametsän jo runsaaseen taimilukuun. Taulukossa 7 on esitetty siementaimien määrä hyvin nuorissa tiheiköissä.

Kasvualustasta riippuu, kuinka paljon kehityskelpoista siementaimiainesta vesametsään syntyy. Esimerkiksi eräät entiset turvetuotantoalueet taimettuvat erinomaisesti (vrt. Kauristo 1981). Taulukon 7 ensimmäisen alueen suuri siementaimimäärä onkin laskettu ensiseltä turvetuotantoalueelta Kihniön Aitonevalta. Siementaimien esiintymisessä saattaa olla hyvin suurta vaihtelua samallakin alueella.

Eri tutkimusten mukaan koivuvesakot kasvavat 0,5—1,0 m ensimmäisenä kasvukautenaan. Vesojen suhteelliset kokoerot samassa metsikössä ovat ensimmäisten vuosien ajan suuria (kuva 25). Jo tässä vaiheessa kilpailu kasvutekijöistä on ankaraa. Jonkin ajan kuluttua alkavassa itseharvenemisvaiheessa pienimmät vesat kuolevat, jolloin valta- ja keskipituuden suhteellinen ero supistuu. Vallittuihin vesoihin kohdistuvan sivusuuntaisen varjostuksen lisäksi valtavesoja hyödyttää usein edullinen asema emopuun kanton ja juuristoon nähden.

Taulukko 7. Yli 10 cm:n pituisten siementaimien määrä nuorissa koivutiheiköissä.

Paikkakunta	Ikä a	Vesoja, kpl/ha	Siementaimia, kpl/ha	Siementaimien osuus, %
Kihniö	2	76 000	75 000	50
Muhos	3	93 000	1 000	2
Muhos	4	98 000	3 900	4
Muhos	4	84 000	16 600	17
Nivala	5	60 000	14 500	19

Vesakoiden kasvu jatkuu nopeana noin kymmenen vuoden ajan, minkä jälkeen se vähitellen hidastuu. Eräiden hieskoivikon runkoanalyysien mukaan vesojen pituuskasvu oli seuraava:

	Ikä, a			
	1—5	6—10	11—15	16—20
5-vuotisjakson pituuskasvu, m	2,58	2,51	2,19	1,90
Koepuita, kpl	60	54	42	11

Vesasyntyinen koivu saavuttaa sopivilla kasvupaikoilla 8 metrin keskipituuden 16 vuoden ikään mennessä (kuva 26). Valtapituuden kehityskäyrä on 2—3 metriä korkeammalla tasolla.

Ei ole yhdentekevää, tarkastellaanko sie-

men- tai vesasyntyistä metsikköä. Wahlström (1976) havaitsi, että rauduksen vesat saavuttivat rinnankorkeuden keskimäärin kahdessa tai kolmessa vuodessa, kun siemensyntyisillä puilla aikaa kului 7—10 vuotta. Lukkalan (1946) mukaan korpimaiden siemensyntyisillä koivuilla kesti rinnankorkeuden saavuttaminen 8—10 vuotta. Vesasyntyiset tervalepät olivat 10-vuotiaina neljänneksen pitempiä kuin siemensyntyiset, ja ero tasoittui vasta 30 vuoden iällä (Rubcov 1969). Johnson (1979) toteaaakin, että vesasyntyisten metsiköiden pituusbonitointiin ei voida käyttää siemensyntyisille puustoille tehtyjä käyriä.

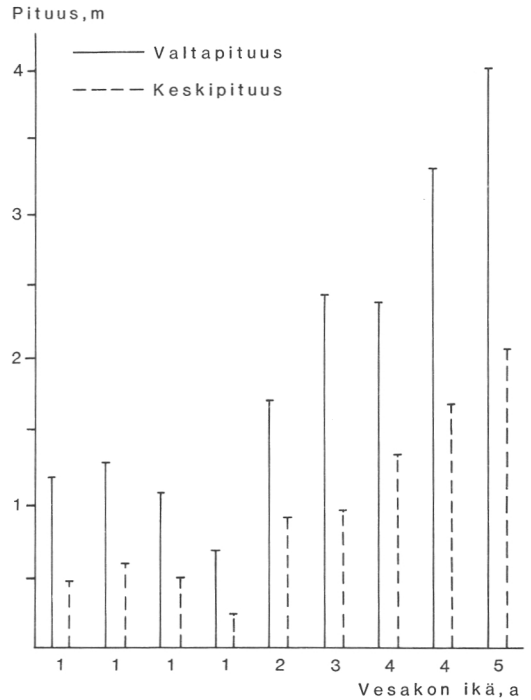
Aiemmin mainitun vesasyntyisten koivujen runkoanalyysitutkimuksen mukaan vesat ylittävät 6 cm:n kuorettoman läpimitan 20-vuotiaina. Noin 15 vuoden ikäisinä näyttävät valtapuut kasvavan paksuutta huomattavasti enemmän kuin muiden latvuskerroksien vesat. Tähän saattaa olla syynä metsiköiden sulkeutuminen tuossa vaiheessa sekä itseharvenemisen aiheuttama kilpailuvaikutus. Hieskoivun vesojen paksuuskehitys oli seuraava.

	Ikä, a			
	1—5	6—10	11—15	16—20
5-vuotisjakson sädekasvu kuoretta, mm	12,1	17,0	16,2	17,7
Koepuita, kpl	51	47	44	12

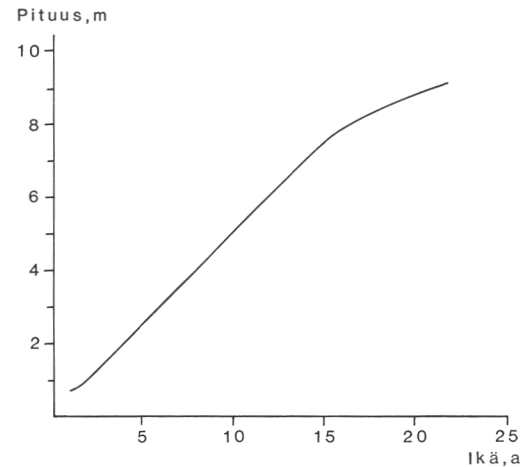
Hieskoivutiheikköjen pohjapinta-ala saattaa olla erittäin suuri (kuva 27). PERA-aineistossa pohjapinta-ala oli 10-vuotiaissa metsiköissä keskimäärin 21,0 ja 20-vuotiaissa 24,2 m<sup>2</sup>/ha. Suuren runkoluvun vuoksi pohjapinta-ala voi olla yli 30 m<sup>2</sup>/ha jo ennen kuin metsikkö on viisitoistavuotias. Vertailuna mainittakoon, että Y. ja M. Ilvessalon (1975) mukaan hiesvaltaisissa koivumetsiköissä pohjapinta-ala on esimerkiksi OMT:llä korkeimmillaankin 80—90 vuoden iällä alle 25 m<sup>2</sup>/ha. Suuret pohjapinta-alat ovat osoituksena ko. kasvupaikkojen suuresta tuotantopotentialista, joka on mahdollista saada käyttöön jo hyvin nuorella iällä.

### Biomassatuotos

Alkuvuodet ovat ratkaisevan tärkeitä vesametsien kehitykselle. Jo vähäisetkin tuhot ja ympäristöhäiriöt heikentävät vesojen elintoimintoja ja vähentävät tuotosta. Biologiset tuhot ja säätekijät vaikuttanevat alkukehitykseen huomattavasti voimakkaammin kuin



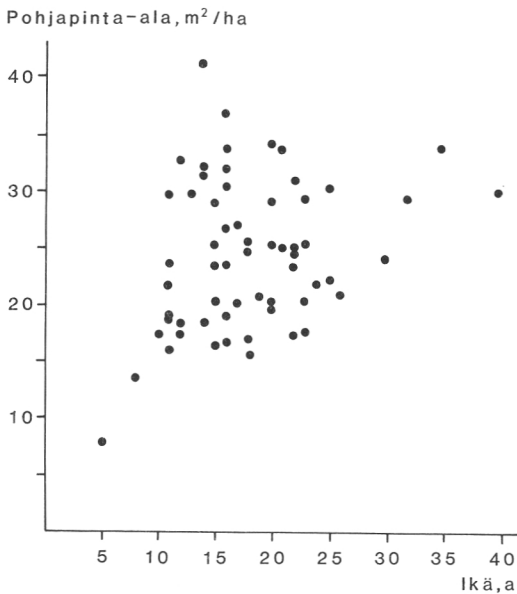
Kuva 25. Koivun vesojen valta- ja keskipituus 1—5-vuotiaissa vesakoissa.



Kuva 26. Vesasyntyisen hieskoivikon keskipituuden kehitys.

ensivuotensa hitaammin kasvaviin siementaimiin. Jos vesomisvoima menetetään tässä vaiheessa, vesat eivät kasva siementaimia nopeammin. Kriittisimpiä ovat ensimmäinen ja ehkä 2—3 seuraavaa kasvukautta.

Vesametsien ja lehtipuutiheikköjen biomas-



Kuva 27. Hieskoivutihekköjen pohjapinta-alan kehitys.

satuotoksesta ovat alustavia tuloksia esittäneet Issakainen (1980), Paavilainen (1981), Björklund ja Ferm (1982), Ferm ym. (1982), Ferm ja Kaunisto (1983) sekä Tahvanainen ym. (1984). Vesametsien kehitystä on myös verrattu perinteisiin tuotossarjoihin (Björklund ja Ferm 1982).

Hieskoivuaineisto, jonka perusteella seuraava tuotostarkastelu tehdään, on mitattu Keski- ja Pohjois-Suomesta. Osa metsiköistä (30 kpl) on Issakaisen (1980) aineistosta ja osa (33 kpl) myöhemmin mitattuja hieskoivutiheiköitä (Ferm, julkaisematon). Kasvupaikkana oli useimmiten turvemaa ja metsiköt olivat voittopuolisesti vesasyntyisiä. Metsiköiden tuli täyttää potentiaalisen vesametsäkasvatuksen ehdot: runkoluku yli 10 000 kpl/ha, riittävän nuori ikä, vesitalous kätitelemättömiä metsiköitä ei paria poikkeusta lukuun ottamatta löytynyt, mikä heikentää kehityksen suunnan arvioimista. Issakaisen aineistossa, joka edustanee eräänlaista huipputuotostasoa, hieskoivupuustot olivat keski-ikänsä nuorempia (taulukko 8) ja kasvupaikat viljavampia kuin Fermin aineistossa. Jälkimmäinen lienee edustavampi hieskoivutihekköjen kehityksen keskimääräiskuvausta ajatellen.

Hieskoivutihekköiden runkopuun kuiva-

Taulukko 8. Hieskoivun tuotosaineistojen keskimääräiset metsikkökustannukset.

	Ikä, a	Runkoja, kpl/ha	D <sub>1,3</sub> , cm	H, m	Ppa, m <sup>3</sup> /ha
Issakaisen (1980) aineisto	16	44 500	4,4	6,4	26,2
Fermin aineisto	20	21 700	6,1	7,4	21,7

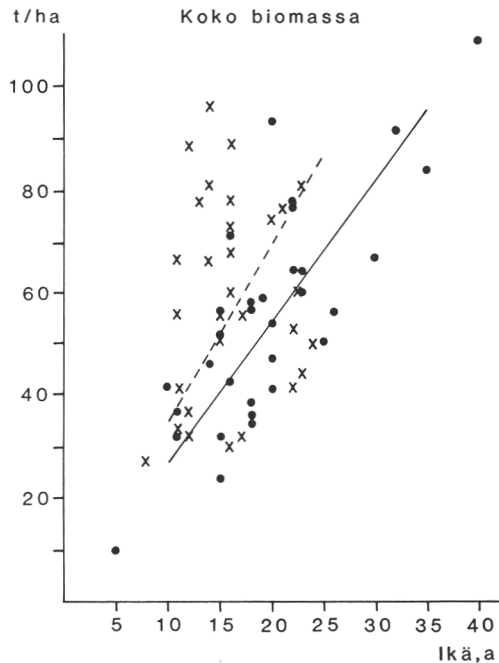
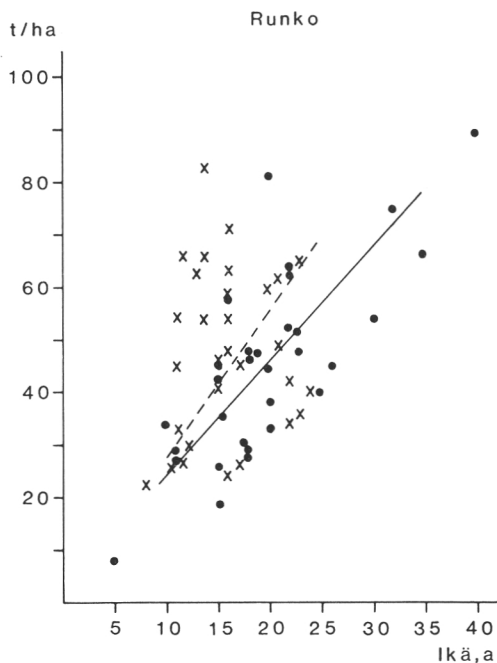
massa on 15-vuoden iällä Issakaisen aineistossa lähes 50 t/ha ja Fermin aineistossa 36 t/ha. Koska vesametsäkasvatus perustuu kokopuunakorjuuseen, on runkopuun kuivamassaan lisättävä vielä oksien kuivamassa. Se on tutkituissa koivutihekköissä ollut 19—23 % kokonaisuudesta (kuva 28).

Energiapuutuotantoa ja yleensäkin puuta massana jalostavaa käyttöä varten on mielekästä esittää tuotosluvut kuivamassoina, mutta verrattaessa vesametsäkasvatusta esimerkiksi ainespuukasvatukseen on myös runkotilavuuden kehitystä hahmoteltava. Tutkimusmetsiköiden runkotilavuus saavuttaa tason 100 m<sup>3</sup>/ha Issakaisen aineistossa 15 ja Fermin aineistossa 22 vuoden iässä (kuva 29).

Runko- ja kokonaisuuden vuotuinen tuotos näyttää kulminoituvan 12—15-vuoden iällä, jolloin kokonaisuuden tuotos on Issakaisen aineistossa 4,5 ja Fermin aineistossa 3 t/ha (kuva 30). Runkotilavuutena ilmaisten suurimmat keskimääräiset tuotokset ovat vastaavasti 7,5 ja 4,5 m<sup>3</sup>/ha/a. Koska mitaustuloksia yli 20-vuotiaista metsiköistä ei ole vielä riittävästi käytettävissä, on kasvun taantumisen ajankohtaan suhtauduttava varoen.

Yleisesti ottaen näyttää suurin tuotos saavutettavan metsiköissä, joissa elävien puiden runkoluku on yli 25 000 kpl/ha, pohjapinta-ala yli 30 m<sup>2</sup>/ha, keskiläpimitta 4—6 cm sekä keskipituus 6—8 m.

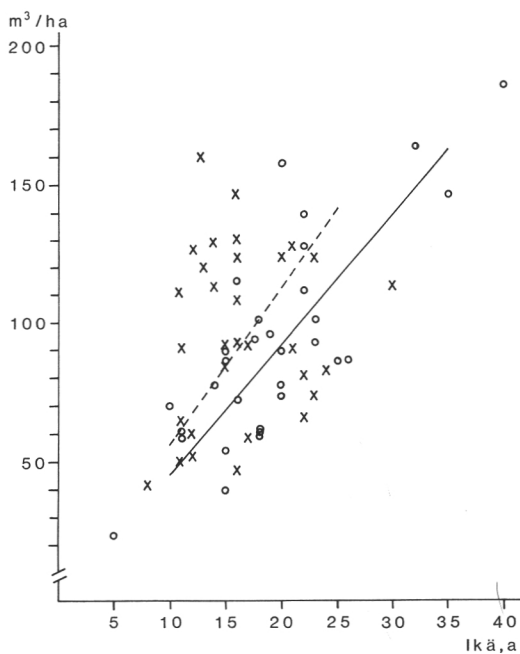
Vaikka koivu on valopuulaji ja nuorena hyvin nopeakasvuinen, ei alle 20-vuotiaiden koivikoiden katsota soveltuvan vielä markkinahakkuisiin. Kasvu- ja tuotossarjoissa esitetään tuskin mitään tunnuksia alle 20—30-vuotiaille koivikoille. Käytettävissä olevien kehityssarjojen mukaan hiesvaltaisten metsiköiden keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu kulminoituu kasvupaikasta riippuen 65—80 vuoden iässä, jolloin se on 4,1—5,5 m<sup>3</sup>/ha/a (Koivisto 1957, Y. ja M. Ilvessalo 1975, Saramäki 1977). Vuotuinen tilavuuskasvu kulminoituu noin kaksikymmentä vuotta aikaisemmin.



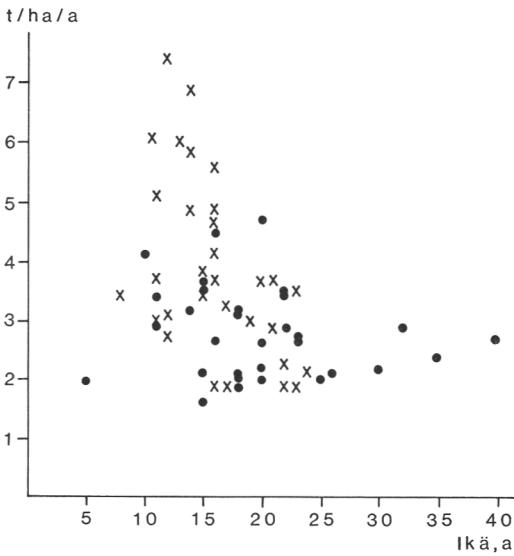
Kuva 28. Hieskoivutihekköjen rungon ja puun koko maanpäällisen osan biomassin kehitys Issakaisen (1980, katkoviiva) ja Fermin (julkaisematon, yhtenäinen viiva) aineistojen mukaan.

Myös amerikkalaista haapaa on esitetty kasvatettavaksi vesametsinä 10–20 vuoden kiertoaajalla (Einspahr ja Benson 1968). Perala (1973) päättelee, että jos vuotuinen tuotos maksimoidaan, ei alle 20 vuoden kiertoaika tule kysymykseen. Kuitenkin Pollardin (1972) mukaan tiheät haapavesakot saattavat saavuttaa maksimaalisen vuotuisen tuotoksen jo muutamassa vuodessa. Hockerin (1982) tulokset tukevat Pollardin havaintoja. Hyvin lyhyet kiertoaajat eivät kuitenkaan soveltune haavan juurivesatalouteen (Berry ja Stiel 1978, Perala 1973).

Mitkä sitten ovat ne tekijät, jotka mahdollistavat biomassin nopean kasautumisen kvantunlaisissa metsiköissä? Kasvupaikkojen hyvyydellä on luonnollisesti vaikutuksensa tuotokseen. Useimmiten myös puuston vesa-syntyisyys on syynä nopeaan kehitykseen ja suuri runkoluku lisää yhteyttävää lehtialaa. Suuren tuotoksen saavuttaminen lyhyehköllä kiertoaajalla edellyttääkin suurta puuston tiheyttä (ks. Pearce 1981), mikä voi nostaa nuoren puuston tuotoksen jopa kymmenkertaiseksi keskimääräiseen verrattuna ja olla yhtä tärkeä tuotostekijä kuin kasvupaikan



Kuva 29. Hieskoivutihekköjen runkotilavuuden kehitys Issakaisen (1980, katkoviiva) ja Fermin (julkaisematon, yhtenäinen viiva) aineistojen mukaan.



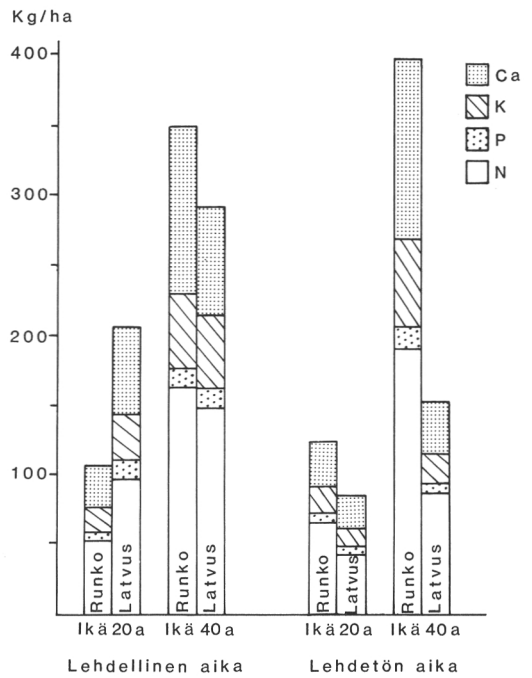
Kuva 30. Hieskoivutihekköjen vuotuinen kuivamassan tuotos Issakaisen (1980, ristit) ja Fermin (julkaisematon, ympyrät) aineistojen mukaan.

laatu (ks. esim. Smith ja DeBell 1974). Tiheyden lisääntyminen kasvattaa myös runkopuun tuotoksen suhteellista osuutta biomassan kokonaistuotoksesta (esim. Tadaki ym. 1961, Satoo 1966, Smith 1973, Nygren 1981). Peralan (1973) mukaan haapavesakon tuotos lisääntyi aina 80 000 vesan hehtaari-tiheyteen saakka.

#### Vesametsien ravinnetalous

Luonnontilaisten vesakoiden ravinnetaloutta selvittelevät tutkimukset ovat Suomessa keskittyneet yli 20-vuotiaisiin metsiköihin. Lähinnä on tutkittu biomassan jakautumista, vuotuista kokonaistuotosta ja siihen sitoutuneita ravinnemääriä (Mälkönen ja Saarsalmi 1982). Samalla on pyritty arvioimaan, miten eri vuodenaikoina suoritettu kokopuun korjuu vaikuttaa ravinteiden menetykseen.

Seurannaisvaikutusten kannalta on oma merkityksensä sillä, missä puuston kehitysvaiheessa korjuu tapahtuu. Lehdellisenä aikana elävien oksien ja lehtien muodostaman latvuston osuus oli 20-vuotiaassa hieskoivikossa noin neljännes puuston biomassasta, mutta latvustoon oli sitoutunut likimain kaksinkertainen määrä ravinteita runkoon verrattuna (kuva 31). Sen sijaan 40-vuotiaassa



Kuva 31. Hieskoivikon kuorelliseen runkopuuhun ja latvustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä lehdellisenä ja lehdettömänä aikana.

hieskoivikossa latvuston osuus puuston biomassasta oli lehdellisenä aikana vain runsaat 10 %, jolloin typpi, fosfori ja kalium olivat jakautuneet melko tasan rungon ja latvuston kesken. Rungoissa oli kuitenkin kaksinkertainen määrä kalsiumia latvuksiin verrattuna. Mitä nuorempana puusto siis korjataan, sitä suurempi on ravinteiden menetys biomassayksikköä kohti.

Sekä lehdellisenä että lehdettömänä aikana pääravinteiden osuus 40-vuotiaan hieskoivikon maanpäällisestä biomassasta on noin 0,5 %. Sen sijaan 20-vuotiaan hiesmetsikön biomassasta oli pääravinteita lehdettömänä aikana 0,6 ja lehdellisenä 0,8 %. Ravinteiden kannalta näyttääkin vesametsien kokopuunakorjuussa lehtien jättämisellä kasvupaikalle olevan suurin merkitys lyhyehköä kiertoaikaa käytettäessä.

Vuotuisen kehitysrytmiin liittyvän puun sisäisen ravinnekierroksen vuoksi korjuun ajankohdan merkitys on ravinnemenetyksen kannalta erityisesti vanhemmissa metsiköissä vähäinen. Ilmeisesti nuoret nopeakasvuiset vesat siirtävät syksyllä ravinteita lehdistä puun

muihin osiin suhteellisesti huomattavasti vähemmän kuin vanhemmat. Mitä vanhemmista puista on kysymys, sitä suurempi osuus ravinteista säilyy sisäisessä kierrossa.

### *Vesametsien käsittely*

Ojien perkauksen lisäksi ei luontaisissa vesametsissä tarvita yleensä muita hoitotoimenpiteitä. Valoa vaativina eivät lehtipuume pysty uudistumaan ja vesomaan tiheän metsän aluskasvustona, joten paljaaksihakkuu on ensisijainen vaihtoehto vesametsiä uudistettaessa. On kuitenkin havaintoja hyvästä vesomistuloksesta myös silloin, kun 15—25-vuotias hieskoivikko on harvennettu jättämällä vain 700—800 runkoa hehtaarille järeytymään kuitu- tai vaneripuiksi. Tällaista vesametsän ja pitemmän kiertoajan metsän yhteiskasvatusta samalla alueella on esimerkiksi Etelä- ja Keski-Euroopassa harjoitettu jo vuosisatoja (Mittelwald, coppice-with-standards).

Mikäli lyhytkiertoinen vesametsä kasvatetaan pelkästään energiapuuksi, sitä ei ole syytä harventaa. Erään harvennetun (2 400 kpl/ha) haapavesakon tuotos oli 7 ja 11 ikävuoden välillä noin kolmanneksen pienempi kuin harventamattoman (20 000 kpl/ha) (Hocker 1982). Vesaryhmien harventamista yhteen tai kahteen valtavesaan ei yleensä suositella tehtäväksi ainakaan poppeleilla (Davidson 1983).

### *Vesametsien puuraaka-aine*

Vesametsien sekä muiden vastaavien tiheikköjen puusto on hyvin pienikokoista. Vielä 15 vuoden iässä on runkoluku yli 25 000 kpl/ha, eikä keskiläpimitta juuri ylitä 6 cm. Kuoren osuus on pienikokoisten puiden kuivamassasta suuri, esimerkiksi koivu-tiheiköissä keskimäärin hieman yli 20 % (Björklund ja Ferm 1982).

Kuiva-tuoretiheys on tärkeimpiä tekijöitä arvioitaessa puuaineen kelpoisuutta energiakäyttöön. Jo yksivuotiaiden hieskoivujen vesojen puuaineen tiheys on yli 420 kg/m<sup>3</sup> (Bhat ym. 1981). Eri tutkimusten mukaan hieskoivun puuaineen tiheys on 10—25 ikävuoden välillä noin 450 kg/m<sup>3</sup> ja kuorellisen runkopuun hivenen suurempikin (esim. Hakila 1979, Björklund ja Ferm 1982). Vaikka koivupuun tiheys on merkittävän suuri jo nuorissa puissa on sen kasvaminen iän myötä

syytä ottaa huomioon kiertoaikaa määritetäessä. Mainittakoon vielä, että pienikokoinen koivu on pienikokoiseen harmaaleppään verrattuna huomattavasti tiheämpää. Ero kuiva-tuoretiheydessä on 90—100 kg/m<sup>3</sup> eli noin 30 % (Björklund ja Ferm 1982).

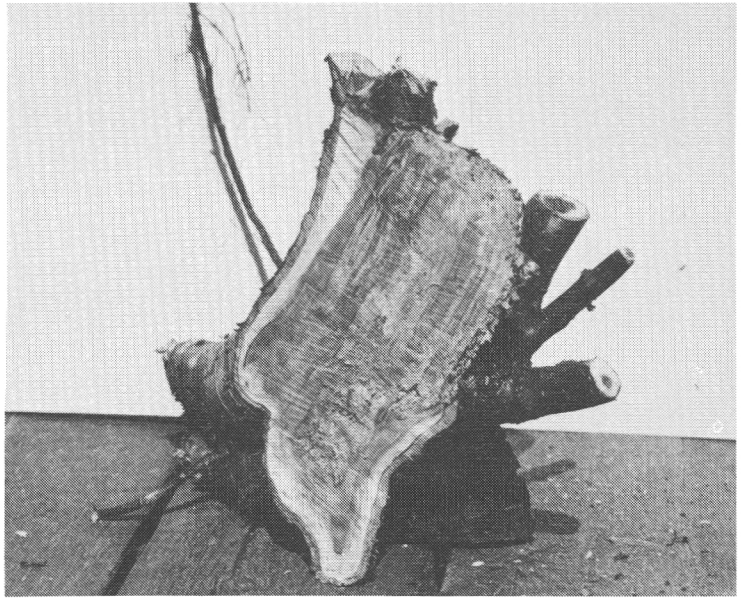
### *Vesametsien tuhot*

Nuoret vesat ovat hyvin maittavaa ravintoa poroille, hirville ja erityisesti jäniksille. Kaikkein kriittisintä aikaa ovat vesasilmuten puhkeamisen jälkeiset pari kuukautta eli toukokuun lopun ja heinäkuun välinen ajanjakso. Tänä aikana varsinkin jänis katkoo ja syö vesoja jättäen kantaan muutaman senttimetrin pituiset tyngät. Saman kasvukauden aikana syntyy yleensä vielä pienten jälkivesojen muodostama toinen sukupolvi, mutta sen kasvu ei ole enää yhtä hyvä kuin ensimmäisen, ja myös sen vesoilla on suuri uhka tulla syödyksi. Eläintuhot sattuvat yleensä vesojen kiivaimman kasvun vaiheessa, jolloin juurten kehitys pysähtyy, kun yhteyttävä koneisto poistetaan.

Hirvien ja jänisten aiheuttamia tuhoja on ollut lähes kaikilla vesametsäkasvatuksen koekentillä. Paikoin ne ovat vioittaneet myös leppää. Muutamalla alueella on jänisten takia vesominen tyrehtynyt kokonaan. Eräät kasvatusalueet ovat säilyneet vain aitauksen avulla.

PERA-kokeiden aikana on Pohjanmaalla ja Lapissa ollut erityisen vankka hirvi- ja jäniskanta. Hirvi ei aiheuttane metsille merkittävää vahinkoa, jos kannan vahvuus on keskimäärin yksi yksilö tuhatta hehtaaria kohti (Feklistov ja Belozarov 1981). Alueilla, joilla vesametsän kasvatusta lähinnä voisi tulla kysymykseen, hirvikanta on ollut kuitenkin vähintään nelin- ja jopa kymmenkertainen. Käytännön mitassa toimittaessa ei hirviä ja jäniksiä vastaan ole toistaiseksi muita keinoja kuin eläinkantojen voimakas rajoittaminen.

Viime aikoina on eri puolilla maailmaa selvitelty, miten kasvin kemiallinen rakenne ja sen muutokset suojaavat sitä kasvinsyöjiltä. Puolustusaineita kutsutaan sekundääriyhdisteiksi, mihin ryhmään kuuluvat mm. puuvartisille kasveille tyypilliset fenolit ja terpeenit. Vallitsevana olettamuksenahan on tällä hetkellä, että esimerkiksi hirvet ja jänikset pyrkivät minimoimaan näiden haitallisten aineiden määrää ravinnossaan (ks. Haukioja ym. 1983, Jokinen 1983). Toisaalta on todet-



Kuva 32. Lahon leviäminen kannosta vesoihin.

tu vesojen sekundääriyhdisteiden pitoisuuden vähenevän iän mukana ja selvän pudotuksen tapahtuvan neljän tai viiden vuoden iällä, jolloin vesakot jo yleensä ovat saavuttaneet turvallisen pituuden.

Juuri syntyneissä vesoissa kuiva-aineen ja eläimille haitallisten aineiden pitoisuudet ovat hyvin alhaisia. Kenttäkokeissa jänis- ja hirvituhojen määrä onkin tuona aikana ollut suurin.

Eläinten lisäksi on vesakoissa tuhoa aiheuttanut koivunruoste (*Melampsorium betulinum*), joka yleensä ei luontaisissa koivikoissamme tuota merkittäviä tuhoja. Sen sijaan koivun taimitarhakasvatuksessa se on ollut joskus vaikea ongelma. Kesällä 1983 oli ainakin koivulla, eräillä pajuilla, pihlajalla ja kuusella runsaasti erilaisia ruosteita. Laajoilla alueilla Pohjanmaata koivun kasvukausi loppui ikäänkuin kesken ruosteen aiheuttaman lehtien kellastumisen ja putoamisen vuoksi. Eräällä hieskoivun vesakasvatuskoealalla kuoli suuri joukko edellisenä kesänä syntyneitä vesaryhmiä ilmeisesti ruosteen seurausvaikutuksena aiheutuneen paleltumisen vuoksi.

Vesasyntyisiä puita pidetään yleisesti erityisen lahoalttiina (kuva 32). On kuitenkin osoitettu, etteivät vesasyntyiset haavikot ole lahovikaisempia kuin muulla tavoin synty-

neet. Pohjois-Karjalassa tehdyn PERA-selvityksen mukaan (Ferm ja Nevalainen, julkaisematon) oli 54 %:lla 242:sta vesasyntyisestä hieskoepuusta (6—18 vuotta) jonkinlaista lahoa. Lahon läpimitta tai korkeus ei ollut kovin suuri.

#### 43. Vesametsäkasvatuksen liiketaloudellinen edullisuus

Vesametsäkasvatuksen edullisuutta tarkastellaan metsänomistajan näkökulmasta vertaamalla vesametsäkasvatuksesta saatavien nettotulojen nykyarvoja ainespuun kasvatuksesta saatavien nettotulojen nykyarvoihin. Oletetaan että isännällä on aikaa, taitoa ja puunkorjuukalustoa, niin että hän voi myydä puuta myös omana hankintanaan.

Oletetaan keski- tai pohjoispohjalainen mustikkaturvekangas tai saman viljavuustason muuttuma, jolla kasvaa 15-vuotias tiheähkö hieskoivikko. Kuviolla on vain puunkasvatukseen liittyviä vaihtoehtoja. Tarkastellaan seuraavia vaihtoehtoja:

##### a) Vesametsäkasvatust:

Metsikkö kaadetaan, myyntiin saadaan 40 m<sup>3</sup>/ha kokopuuhaaketta. Kannot vesovat: 15 vuoden kuluttua myydään 80 m<sup>3</sup>/ha kokopuuhaaketta; kannot ve-

sovat, ja jälleen 15 vuoden kuluttua myydään 60 m<sup>3</sup>/ha. Kannot eivät enää veso riittävän hyvin, vaan uusi hieskoivikko on perustettava istuttaen; 20 vuoden kuluttua se voidaan hakata (50 m<sup>3</sup>/ha) kannokoksi, joka vesoo jne.

- b) Männikön kasvatust: Metsikkö kaadetaan, myyntiin saadaan 40 m<sup>3</sup>/ha kokopuuhaketta. Vesomisen ehkäisy, muokkaus ja männyn istutus, perkaukset 7 ja 13 vuoden kuluttua. Harvennushakkuu 55 vuoden iällä, kertymä tukkipuuta 3 m<sup>3</sup>/ha ja kuitupuuta 51 m<sup>3</sup>/ha. Päätehakkuu 90 vuoden iällä, kertymä tukkipuuta 239 ja kuitupuuta 79 m<sup>3</sup>/ha. Kuvio istutetaan uudelleen männylle.
- c) Kasvatus edelleen ainespuuksi, kaksi harvennusta: Perkaus-harvennus heti, ei myyntipuuta. Harvennukset 40 ja 50 vuoden iällä: koivukuitua 30 ja 44 m<sup>3</sup>/ha vastaavasti. Päätehakkuussa 65 vuoden iällä kertyy koivukuitupuuta 200 m<sup>3</sup>/ha. Sen jälkeen männikön kasvatus mallin b mukaan.
- d) Kasvatus edelleen ainespuuksi, ei harvennuksia: Kuten c, mutta ilman harvennuksia koivikkovaiheessa. Päätehakkuussa 65 vuoden iällä kertyy koivukuitupuuta 273 m<sup>3</sup>/ha.

Hieskoivikoiden kasvatusmallit ovat Saramäen (1977) mukaiset. Istutusmännikön malli on Vuokilalta ja Väliaholta (1980):  $H_{100}=21$ , kiertoaika 90 vuotta, yksi harvennus jossa poistosadannes on 30. Puutavaralajien yksikköhintojen määrittämiseksi laskettiin Keski- ja Pohjoispohjanmaan piirimetsälautakunnille jakson 1978/79—1983/84 keskimääräiset reaaliset (inflatoituidet tukkuhinta-indeksiä käyttäen 1984 elokuun rahan arvoon) hankinta- ja kantohinnat. Laskelmissa käytettiin näiden kahden piirimetsälautakunnan hintojen keskiarvoja seuraavasti:

	hankintahinta	kantohinta
	mk/m <sup>3</sup>	
mäntytukki	215	185
mäntykuitupuu	147	84
koivukuitupuu	125	62

Yksikkökantohintoihin sovellettiin käytävältä osin hakkuukauden 1984/85 hintasuositussopimuksen yksikköhinnan korjauksia. Koivuhakkeen hankintahintana käytettiin 95 ja kantohintana 27 mk/m<sup>3</sup> (vrt. Hakkila 1984). Vaikka hinnat ovat vuodelta 1982, niitä pidettiin sellaisinaan käyppinä myös vuodelle 1984.

Metsikön kasvatusvaihtoehdoissa esiintyvät metsänhoitotyöt ovat vesomisen ehkäisy, maanmuokkaus, istutus ja taimikon perkausharvennus. Kustannustasoa määritettäessä tukea on haettu Metsätalostollisessa vuosikirjassa julkaistuista, yksityismetsien metsähoidon yksikkökustannuksista. Istutuksen on arvioitu maksavan 1100 mk/1000 tainta

Taulukko 9. Metsänhoitotöiden suoritusajankohdat (vuosia tarkasteluhetkestä) ja yksikkökustannukset (mk/ha).

Vaihtoehto	Vesomisen ehkäisy	Muokkaus	Istutus	Perkaus
Vesametsäkasvatus	30/400	30/700	30/6 000	
Männikön kasvatus	0/800	0/700	0/2 200	7/700 13/700
Kasvatus edelleen				0/1 300

männyllä ja 1500 mk/1000 tainta hieskoivulla. Taulukkoon 9 on koottu tiedot kunkin vaihtoehdon metsänhoitotöiden suoritusajankohdista (vuosia tarkasteluajankohdasta) ja kiinteistä yksikkökustannuksista.

Laskelmat ulottuvat "ikuisuuteen" asti, ts. tuotantosuunnan oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi jatkuvan samanlaisena loputtomasti. Vertailu, jossa vaihtoehtojen kiertoajat ovat hyvin eripituisia, johtaisi muutoin monimutkaisiin oletuksiin.

Nettotulojen nykyarvolla tarkoitetaan puutavaran myyntitulojen nykyarvon ja metsänhoitomenojen nykyarvon erotusta.

Hallintoon ja puutavaran myyntiin liittyviä kustannuksia ja metsäveroja ei yksinkertaisuuden vuoksi oteta huomioon. Niiden voi olettaa olevan suurinpiirtein samansuuruisia vaihtoehdosta riippumatta.

Mihin järjestykseen vaihtoehdot käytetyn kriteerin mukaan asettuvat, riippuu laskentakorkokannasta ja siitä, onko kyse hankinta- vai kantohinnoista. Yksinkertaisuuden vuoksi hankintahintoja on käytetty sellaisinaan kuvaamaan metsänomistajan saamaa kantorahan ja työtuloneton (ennen veroja) summaa. Tosiasiallinen nettotulotas on tietysti hieman alempi. Vaihtoehtojen välillä on tässä suhteessa eroja, mutta ne ovat tuskin edullisuusjärjestyksen kannalta merkittäviä (vrt. Hämäläinen 1973b). Korjuukalustoksi voidaan kaikissa vaihtoehdoissa olettaa moottorisaha ja maataloustraktori kuormaimella varustettuine peräkärriineen.

Laskelmien tulokset nettotulojen nykyarvon mukaisina edullisuusjärjestyksinä on koottu taulukkoon 10. Siinä esitetään laskentakorkokannoilla 2, 4 ja 6 saadut tulokset. Vaihtoehdot ovat vasemmalla järjestyksessä, joka useimmiten vastaa edullisuusjärjestystä eri laskentakorkokannoilla.

Taulukko 10. Metsikön kasvatusvaihtoehtojen edullisuusjärjestys nettotulojen nykyarvon mukaan: järjestysluku ja suhteellinen edullisuus, kun edullisin = 100. Suluissa nettotulojen nykyarvo (mk/ha) edullisimmassa vaihtoehdossa.

Vaihtoehto	Laskentakorkokanta, %					
	2		4		6	
	Laskelma hankintahinnoin					
Vesametsäkasvatus	3.	84	1.	100	1.	100
				(8 987)	(7 168)	
Kasv. edelleen, 2 harv.	1.	100	2.	54	2.	21
		(17 175)				
Kasv. edelleen, ei harv.	2.	90	3.	37	3.	5
Männikön kasvatus	4.	83	4.	21	4.	
	Laskelma kantohinnoin					
Kasv. edelleen, 2 harv.	1.	100	1.	100		
		(8 664)		(1 570)		
Kasv. edelleen, ei harv.	2.	94	2.	62		
Vesametsäkasvatus	4.		3.	47	1.	100
					(1 102)	
Männikön kasvatus	3.	89	4.			

Vertailusuhdelukuja ei ole merkitty tapauksissa, joissa nettotulojen nykyarvo oli negatiivinen. Kantohinnoin laskettuna vaihtoehdot eivät siis yleensä "kestä" 6 prosentin laskentakorkokantaa. Muista poiketen vesametsäkasvatuksen tulos tässä paranee korkokannan noustessa ja ylittää ainoana positiiviseen nettotulojen nykyarvoon 6 %:n korolla. Tämä johtuu siitä, että siinä ainoana vaihtoehtona on heti alussa tuloja enemmän kuin menoja.

Hankintahinnoin tehtyjen laskelmien mukaan vaihtoehdoista vesametsäkasvatus antaa parhaan tuloksen korkokannalla 4 % ja suhteessa muihin vielä paremman tuloksen korkokannalla 6 %. Mainittakoon, että jo myös laskentakorkokannalla 3 % vesametsäkasvatus on edullisin vaihtoehto.

Kun laskelmat tehdään kantohinnoin, vesametsävaihtoehto putoaa loppupäähän alle 6 %:n korkokannalla laskien. Selvästi edullisimmaksi tulee hieskoivikon edelleenkasvatus erityisesti, kun tehdään harvennushakkuita.

Laskentakorkokanta on ratkaiseva tekijä (metsätaloudellisten investointien problematiikasta, ks. Hämäläinen 1973a). Männikön kasvatusvaihtoehdossa sisäinen korko on hieman alle 3 % ilman hieskoivikosta alussa saatavaa tuloa. Normaalein ainespuun kasvatustavoittein harjoitettava metsätalous tuottaa kysymyksessä olevalla maantieteellisellä alueella 2—3 %:n sisäisen koron (Hämäläinen 1982, Kilkki 1982). Tätä tasoa selvästi

korkeamman laskentakorkokannan käyttö merkitsee sellaisen toimintamallin valintaa, jossa tuotantoon sidotun puuston määrätaso on alhainen, ellei sitten luovuta metsätaloudesta kokonaan (Hämäläinen 1973a). Vesametsäkasvatus on juuri tällainen poikkeuksellinen vaihtoehto.

Nykyarvojen laskentamenettely sisältää oletuksen, että hakkuutulot ovat välittömästi uudelleeninvestoitavissa laskentakorkokantaan. Kun laskentakorkokanta on korkea, tämä oletamus saattaa olla epärealistinen. Vaihtoehtoisista sijoitustistakin, kuten korkeakorkoisista pankkitalletuksista ja valtion obligaatioista, on viime vuosikymmeninä saanut reaalista korkoa vain aika ajoin (Hämäläinen 1982, s. 40). Aivan viime vuosina inflaatio on kylläkin laskenut voimakkaasti.

Esitettyihin laskelmiin sisältyy tietysti paljon epävarmuutta. Vesametsäkasvatuksesta ei ole käytännön kokemuksia. Metsäntutkimuslaitoksen kokeetkin ovat vasta enintään 5 vuotta vanhoja. Vesomisen vaihtelu on kuitenkin voitu todeta hyvin suureksi.

Vesomisen onnistuminen kaksi kertaa peräkkäin on tietysti vieläkin epävarmempaa. Kokopuukorjuu saattaisi ennen pitkää vaatia lannoittamista, mitä tässä ei kuitenkaan ole otettu mukaan. Oikarisen ja Pyykkösen (1981) mukaan hieskoivikon lannoitusreaktio on kyllä aika vähäinen. Saramäen (1981) mukaan lyhytkiertokasvatukseen ryhdyttäessä metsikkö olisi aluksi perustettava viljellen. Sillä tavalla laskien vesametsävaihtoehto tulisi aina huonoimmaksi, jos muut vaihtoehdot pysyvät ennallaan. Käytetyllä istutuskustannuksella 6000 mk/ha kahden vesasyntyisen sukupolven jälkeen, ei vielä saada perustetuksi uutta koivutiheikköä. Tässä oletetaan, että muokattuun maahan syntyy myös luontaisesti runsaasti taimia.

Luvun 42 mukaan vesametsäkasvatus ei vaadi metsänhoidollisia panoksia päätehakkuihin lisäksi. Tällä olettamuksella vesametsävaihtoehto olisi tietenkin tässä laskettua edullisempi, ja sijoittuisi ykköstilalle kantohinnoin 4 %:n laskentakorkokannalla (vrt. taulukko 10). Paitsi tuotokseen, myös koivuhakkeen hintaan liittyy epävarmuutta. Koivuhakkeesta on ylitarjontaa nykyään (Hakkila 1984) ja ennusteen mukaan vielä ensi vuosikymmenelläkin (Ekono Oy 1983), joten ei ole varmaa, että metsänomistaja saisi hakkeensa myydyksi tässä käytetyin hinnoin.

Muita, suoraan tutkimuksista otettuja kasvatusmalleja voidaan tietysti pitää luotet-

tavampina. On syytä kuitenkin todeta, että Keltikangas ja Seppälä (1977) ovat esittäneet turvemaiden hakkuin käsittelyille hieskoivikoille kehityssarjan, jossa puuston tilavuus-taso on 25 % alempi kuin Saramäellä (1977).

Kun kummatkin hieskoivikon edelleen-kasvatusvaihtoehdot lasketaan Keltikankaan ja Seppälän tuotoslukujen perusteella, edullisuusjärjestys muuttuu (vrt. taulukko 10). Hankintahinnoin laskettaessa vesametsäkasvatus on tällöin niukasti paras jo 2 %:n korkokannalla. Kantohinnoin laskettaessa männikön kasvatus nousee kakkossijalle, kun laskentakorkokanta on 2. Kun laskentakorkokanta on 4, vesametsäkasvatus nousee toiseksi. Toisaalta Seppälän ja Keltikankaan mukaan (1978) ojitusalueiden hieskoivikoiden alle syntyy usein havupuutaimikko, mutta tätä mahdollisuutta ei nyt tehdyissä laskelmissa ole kuitenkaan otettu huomioon.

Laskelmat ovat hypoteettisia ja esimerkinomaisia, joten päätelmien teossa on oltava hyvin varovainen. Niinpä Saramäen (1977 ja

1981) sekä Keltikankaan ja Seppälän (1977) mukaan riukuasteen hieskoivikko kannattaa mieluiten kasvattaa ainespuuksi. Joka tapauksessa on selvää, että ollakseen ainespuun kasvatusta kannattavampaa, metsänomistajan on saatava vesametsäkasvatuksesta myös hankintatuloa.

Vesametsäkasvatukseen liittyvät riskit ovat sekä tuotoksen että hakkeesta saatavan hinnan osalta selvästi suuremmat kuin ainespuun kasvatuksessa. Vesametsäkasvatus jäänee marginaaliseksi erikoistapaukseksi. Tulevaisuudessa tilanne voi tietysti olla toisenlainen. Metsälöitä on hyvin monenlaisia, ja metsänomistajat tietysti tekevät päätöksensä omista lähtökohdistaan. Erityisen korkean tuottovaatimuksen asettava metsänomistaja voi joillakin kuviolla vesametsätaloutta harjoittaa, jos se kehitteillä olevan metsälain mukaan tulee erikoistapauksissa sallituksi vaihtoehdoksi (Metsätaloustieteiden osamietintö II 1981, s. 117).

## 5. ENERGIAPUUN TUOTTAMINEN VILJELMILLÄ

(Paavo Pelkonen 51 ja 53, Risto Sievänen 51, Anneli Viherä 52, Jyrki Hytönen ja Anna Saarsalmi 53, Pekka Rossi 53, 54 ja 55, Terttu Teivainen, Erkki Annila ja Raija-Liisa Petäistö 55, Seppo Repo 56)

### 51. Energiaviljelmän kasvumalli

Biomassan tuotos riippuu säteilyn, lämpötilan ja muiden ulkoisten tekijöiden lisäksi myös energiakasvien ominaisuuksista. Kasvien yhteyttämistehoa, satoindeksiä ja rakennetta voidaan mitata käyttäen niitä kuvaavia tunnuslukuja eli parametrejä. Näiden tekijöiden vaikutusten kuvaaminen on kuitenkin vaikeaa.

Ympäristötekijöiden ja kasvien kasvuominaisuuksien analysointia varten voidaan laatia kasvumalli. Energiaviljelmälle on laadittu yksinkertaistettu malli, jossa auringon säteily ja lämpötila ovat ainoat tuotokseen vaikuttavat ulkoiset tekijät. Tärkeimmät kasvien kasvutekijät on kuvattu mallissa varsin tarkasti omilla parametreillään (Sievänen 1983).

Mallilla voidaan ennustaa kasvua ja tutkia eri tekijöiden vaikutuksia. Erityisen hyödyl-

linen malli on tutkittaessa tekijöitä, joiden vaikutusten mittaaminen on vaikeaa. Tällainen tekijä on esimerkiksi alkukesän halla. Tuotospotentiaali maan eri osissa voidaan mallin avulla laskea hyötysuhteen avulla säteilysummasta. Laskemisessa on käytetty kuvan 2 mukaisia auringon säteilyn ja lämpötilan päivittäisiä arvoja.

Puun kuiva-ainetuotos, kg/m <sup>2</sup> /a		
Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä
1,56	1,40	0,89

Luvussa 13 esitettyihin säteilysummaan perustuviin satoihin verrattuna ovat mallin avulla laskettujen satojen erot paikkakuntien välillä suurempia. Malli näet ottaa huomioon pohjoiseen siirryttäessä epäedullisemmiksi muuttuvat lämpöolot. Tulokset on laskettu

käyttämällä mallissa *Salix* cv. *Aquatica*-kasvustosta mainittuja parametrisarvoja. Muilla energiakasveilla parametrit ja sadot voivat olla erilaisia, mutta suhteelliset erot pysyvät karkeasti ottaen asetelman mukaisina.

## 52. Energiaviljelmien puulajit ja -lajikkeet

### *Kotimainen materiaali*

Energiaviljelmien puulajeilta edellytetään nopeata kasvua erityisesti nuorella iällä, kykyä kasvaa tiheässä asennossa, hyvää vesomiskykyä sekä kasvitautien, tuholaisten ja ilmastollisten vaarojen kestävyyttä. Energiaviljelmän perustamista helpottaa huomattavasti, mikäli puulajia voidaan lisätä pistokkaista (vrt. Leikola 1976). Kotimaisista puulajeistamme pajut (*Salix*), lepät (*Alnus*), haapa (*Populus tremula*) sekä hieskoivu (*Betula pubescens*) täyttävät parhaiten energiapuulle asetetut vaatimukset.

PERA-projektissa tehty energiapuulajien ja -lajikkeiden tutkimus on tähän mennessä keskittynyt lähinnä pajuihin. Kiinnostus pajujen jalostamiseen heräsi 1970-luvun alkupuolella. Jalostus aloitettiin kotimaisen aineiston valinnalla. Vuosina 1978 ja 1979 valittiin eri puolilta maata me vesojen pituuskasvun perusteella 900 pajukloonina, jotka rekisteröitiin ja tallennettiin kokoelmiin.

Kloonien keräystä seurasi testaus tarkoituksena parhaiden kloonien löytäminen laajasta lähtöaineistosta ja ensiasteen valinta jatkojalostusta varten. Kloonit on arvosteltu biomassan tuotoksen mukaan. Lisäksi on tarkkailtu kloonien fenologiaa ja alttiutta taudeille ja eläintuhoille. Keräyksissä saaduista klooneista on löydetty parikymmentä lupaavaa seuraavista lajeista: *Salix caprea*, *S. cinerea*, *S. fragilis*, *S. myrsinifolia*, *S. pentandra*, *S. phylicifolia* ja *S. triandra*. Kokeet ovat kuitenkin pieniä rivikokeita, joten hehtaarikohtaisten tuotoslukujen ennustaminen niiden perusteella on epävarmaa.

Kotimaiset pajut ovat ilmastoomme hyvin sopeutuneita ja vähemmän alttiita paleltumiselle kuin ulkomaiset. Osaksi juuri aikaisen talveutumisen vuoksi luonnonvaraiset pajumme ovat biomassan tuotoskyvyltään kuitenkin huomattavasti ulkomaisia lajeja heikompia. Kotimaisen materiaalin keräys ja ensiasteen valinta voidaan katsoa loppuun saatetuksi PERA-projektissa. Luonnonvarais-

ten klooniemme testaukseen keskittynyt toiminta tulee jatkossa kohdistaa risteytysjalostukseen ja uusien hybridien kokeiluun.

Tervaleppä (*Alnus glutinosa*) ja harmaaleppä (*Alnus incana*) ovat myös huomionarvoisia energiapuuvaihtoehtoja, koska ne pystyvät sitomaan juurinystryöissään ilmakehän typpeä. Leppiä on vaikea lisätä pistokkaista, mikä vaikeuttaa niiden viljelyä. Ilmastollisen kestävyytensä ja voimakkaan vesomisensa ansiosta harmaaleppä sopii lyhytkiertopuuksi tervaleppää paremmin.

Haapa (*Populus tremula*) soveltuisi nopean kasvunsa ja runsaan vesatuottonsa ansiosta myös lyhytkiertopuuksi. Se tarvitsee kuitenkin runsaasti valoa sekä viljavan kasvupaikan. Energiagametsätutkimuksissa haavan kasvatus on jäänyt vähälle huomiolle. Aiemmin kotimaista haapaa on käytetty hybridihaavan risteytysjalostuksessa.

Kotimaisista koivuistamme hies (*Betula pubescens*) sopii nopeakasvuiseksi ja voimakkaasti vesovana hyvin lyhyellä kiertoajalla kasvatettavaksi.

### *Ulkomainen materiaali*

Ulkomaisten pajulajien kasvatusta kokeiltiin Suomessa jo tämän vuosisadan alkupuolella, jolloin pajuja viljeltiin korinpunonta-teollisuuden tarpeisiin. Tuon ajan kokeissa mainitaan käytetty mm. seuraavia lajeja ja hybridejä: *Salix viminalis*, *S. triandra*, *S. purpurea*, *S. acutifolia*, *S. alba*, *S. rubra*, *S. cv. Americana* ja *S. x alopecuroides*.

Koripajuteollisuuden käyttämät lajit ovat nopeakasvuisia ja voimakkaasti vesovia. Osa niistä vaikuttaa lupaavalt myös energiapajuina. Eniten toiveita ovat herättäneet koripaju (*Salix viminalis*) sekä vesipajuksi Suomessa nimitetty *Salix* cv. *Aquatica*. Vesipaju on tanskalainen, todennäköisesti luonnossa itsestään syntynyt hybridi, joka tuotiin maahan kokeiltavaksi 1950-luvun alussa. Se juurtuu helposti pistokkaista ja on hyvin satoisa (Pohjonen 1974). Talvenkestävyydeltään vesipajua parempi on vannepaju (*Salix x dasyclados*). Hopeapajun (*Salix alba*) eri alalajit ja risteymät ovat tuotokseltaan hyviä. Suomessa hopeapajua on kasvatettu vain koriste puuna.

Monet Etelä- ja Keski-Euroopassa, jopa Etelä-Ruotsissakin hyvin menestyvät nopeakasvuiset kloonit eivät talvehdi maassamme kunnolla. Jokatalvinen vesojen paleltuminen alentaa tuotosta. Heikosti talveutuvien al-

kuperien kasvattaminen ei ole kannattavaa ainakaan usean vuoden kiertoaajalla (Elo & Hagman 1981).

Poppelit (*Populus*) ovat nopeakasvuisia puulajeja, joita on jo kauan kasvatettu lyhyttä kiertoaikaa käyttäen. Ne tuottavat runsaasti puuta kuitenkin vain viljavalla maalla tai lannoitettuina. Suomessa ulkomaisia poppeleita on kasvatettu lähinnä koristepeuna. Niiden menestyminen maassamme riippuu suuresti alkuperävalinnasta. Poppelit ovat alttiita bakteeri- ja sienitaudeille sekä jänisten, hirvien ja myyrien tuhoille.

### *Jalostus ja lajikkeet*

Pajujen kaksikotisuus ja runsas siementuotanto ovat huomattavia etuja risteytysjalostuksessa. Siementaimet kukkivat usein jo muutaman vuoden ikäisinä, joten useitakin sukupolvia käsittävät risteytysohjelmat edistyvät nopeasti. Hyvän lähtökohdan risteytysjalostuksessa tapahtuvalle ominaisuuksien yhdistelylle tarjoavat pajun suvun laaja lajienvälinen ja -sisäinen geneettinen vaihtelu ja eri lajien taipumus risteytyä helposti keskenään (Malmivaara ym. 1971). Luonnossa ovat yleisimpiä risteymät saman tai lähes saman polyploidiatason lajien kesken. Risteymät tuottavat yleensä itämiskykyistä siementä ja voivat risteytyä edelleen puhtaisten lajien tai toisten risteymien kanssa. On kehitetty jopa 14 eri lajin risteymiä (Jalas 1965).

Jalostettavuudeltaan pajut muistuttavat läheisesti poppeleita, joita on jalostettu määrätietoisesti jo vuosikymmeniä. Poppelin jalostuksen erinomaiset tulokset antavat aihetta olettaa, että myös pajujen kasvua, laatua ja kestävyyttä voidaan nopeasti parantaa ja kehittää (Malmivaara ym. 1971). Kotimaisen ja pohjoisamerikkalaisen haavan hybridi (*Populus tremula* x *tremuloides*) on hyvä esimerkki voimakkaasti heteroottisesta lajiristeymästä. Risteyttämällä toisilleen kaukaista sukua olevia lajeja voidaan ehkä pajullakin saada aikaan heteroosia, ts. jälkeläisten suurta elinvoimaisuutta vanhempaislajeihin nähden.

Pajun jalostus on aikaisemmin tähdännyt puumaisten lajien runkomuodon parantamiseen. Energiapajujen jalostuksen tavoitteeksi tulee kuitenkin biomassatuotoksen lisääminen. Monokulttuureina kasvatettavia energia-puuviljelmää silmällä pitäen korostuu myös resistenssijalostuksen merkitys. Pajuilla esiintyvä selvä ja laaja kasvupaikkavaatimusten

erilaistuminen tarjoaa myös hyvän lähtökohdan ekotyypijalostukselle.

Pajujen risteytystekniikan kehittäminen ja jalostus aloitettiin PERA-projektissa vuonna 1980. Lähtökohdalla oli hybridihaavan risteytysmenetelmä, josta oli paljon kokemuksia jo ennestään. Pajuja voidaan haavan tapaan risteyttää kasvihuoneissa haluttuna ajankohtana kevättalvella käyttäen emopuista leikattuja oksia. Hyötöön otetut risteytysoksat kasvattavat vesiastioissa kasvihuoneessa yleensä juuret, joiden turvin siementen kehittyminen on mahdollista. Ennen risteytysten aloittamista oli tarpeen selvittää useiden pajukloonien kukkimisen ja siementen kehittymisen aikataulu sekä sen riippuvuus ympäristöoloista. Käytännönläheisten selvitysten tuloksena on syntynyt kohtalaisen luotettava menetelmä yleisimpien pajulajien ja -lajikkeiden risteyttämiseen.

Risteytysohjelmien ensisijaisena tavoitteena on ollut kirjallisuudesta tunnettujen hyväkasvuisten hybridien tuottaminen. Toinen tavoite on ollut nopeakasvuisten eteläisten lajikkeiden talvenkestävyyden parantaminen risteyttämällä niitä kotimaisten kestävien lajien kanssa. Risteytyksissä on käytetty mm. seuraavia lajeja ja hybridejä: *Salix* cv. *Aquatica*, *S. x dasyclados*, *S. fragilis*, *S. myrsinifolia*, *S. pentandra*, *S. phyllicifolia*, *S. purpurea*, *S. schwerini*, *S. x smithiana*, *S. triandra* ja *S. viminalis*. Syntyneistä yhdistelmistä ovat nopeakasvuisimpia olleet *S. viminalis* x *caprea*, *S. viminalis* x cv. *Aquatica* sekä *S. viminalis* x *smithiana*. Aiemmin tiedossa olleiden hyvien kloonien tilalle ei kuitenkaan ole löydetty oleellisesti tuottoisampia.

Uusia yhdistelmiä kannattaa kokeilla edelleen hankkimalla materiaalia myös ulkomailta. Samoin tulisi jatkaa jalosteiden monistusta ja testausta erilaisissa ympäristöissä.

## **53. Energiaviljelmien perustaminen ja hoito**

### *Kasvupaikat*

Energiaviljelmän kasvupaikan tulee olla viljava, hyvin vettä ja ravinteita pidättävä. Useimmilla viljeltävillä puulajeilla on lisäksi korkea pH-vaatimus. Maan tulee säilyä kosteana läpi koko kasvukauden, koska energiaviljelyn puulajit vaativat runsaasti vettä. Eriytyisen tärkeää riittävä kosteus on juurtumisvaiheessa oleville pistokkaille. Toisaalta kor-

kea, seisova pohjavesi aiheuttaa vajauksen maan happipitoisuuteen, mikä haittaa sekä juurtumista että myöhempää kasvua. Myöskin savimailla menestyminen on ollut heikkoa. Kasvupaikan on sijaittava edullisesti ja oltava tasainen ja kivetön, jotta koneellinen perustaminen, hoito ja korjuu voitaisiin järjestää tehokkaasti.

Energiametsätoimikunta piti ravinteikkaita soita typen luontaisen runsauden vuoksi sopivina energiaviljelyyn (Energiametsätoimikunnan mietintö I 1979) Lyhyt kasvukausi ja hallaisuus ovat kuitenkin toisaalta kaikkien turvemaiden varjopuolia (Leikola 1976, Hytönen 1982). Suot eivät yleensä sovellu myöskään rauduskoivun kasvatukseen, ja luontaisesti kivennäismailla viihtyvien pajulajien menestymisestä soilla tiedetään vielä kovin vähän. Ruotsissa kokeillaan voimaperäistä energiaviljelyä soilla laajassa mitassa (esim. Eden 1983).

Turpeentuotantosuo, joita vuoteen 2000 mennessä lasketaan vapautuvan 50 000 ha (Ferm ja Kaunisto 1983), soveltuvat monien viljelyteknisten ominaisuuksiensa puolesta intensiiviseen biomassan tuotantoon. Näille alueille jäljelle jääneelle turvekerrokselle on ominaista

- hyvä maatuneisuus
- korkea typpipitoisuus
- alhainen kivennäisravinnepitoisuus
- happamuus ja
- vaihteleva paksuus.

Turpeen typpivarastot ovat melko hyvät, sillä 10 cm:n paksuisessa turpeen pintakerroksessa on tyyppiä 1000—6000 kg/ha (Kaunisto 1982). Tosin se on pääosin sitoutuneena orgaaniseen ainekseen eikä siten ole kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Pohjamaan ominaisuuksista on melko vähän tietoja, mutta ilmeisesti hienojen lajitteiden osuus on melko suuri (Kaunisto 1982), mikä merkitsee myös kivennäisravinteiden runsautta.

Pellonvaraussopimuksin maatalosutuotannon ulkopuolelle jääneet pellot saattaisivat tulla kysymykseen energiametsien kasvatuksessa. Vuonna 1984 oli maatilahallituksen ilmoituksen mukaan pellonvaraussopimuksia voimassa 36 000 kpl pinta-alaltaan 240 000 ha. Tästä alasta 20 000 ha oli metsitetty. Viimeiset sopimukset päättyivät vuonna 1989. Varaussopimusten piirissä olevat pellot ovat kuitenkin usein pienialaisia, sijaitsevat syrjäisillä paikoilla tai soveltuvat liiallisen kivisyden, märkyden tai muun syyn vuoksi

viljelyyn huonosti. Energiametsienkään kasvatus tuskin olisi kannattavaa ainakaan huonoimmilla maataloustuotannosta jääneillä pelloilla.

### *Viljelymateriaali ja sen tuottaminen*

Energiaviljelmiä voidaan perustaa joko kylvämällä, siemensyntyisillä taimilla, pistokkailla tai pistokastaimilla. Valintaan vaikuttavat puulajin ominaisuuksien lisäksi kasvupaikka ja kustannustekijät. Useimmat paju- ja poppelilajit juurtuvat helposti pistokkaista suoraan kasvupaikalle istutettuina. Pajun ja poppeleiden lyhytkiertoviljelyssä onkin edullista käyttää juurruttamattomia pistokkaita niiden alhaisten tuotanto- ja istutuskustannusten vuoksi. Myös viljelyn koneellistaminen on pistokkaita käytettäessä helpompaa kuin taimilla (Harstela ja Tervo 1981 ja 1983).

Emopuun ikä ja fysiologinen tila vaikuttavat suuresti pistokkaiden juurtuvuuteen. Mitä nuoremmasta puuyksilöstä pistokkaat otetaan, sitä paremmin ne juurtuvat. Kannosta vesovat puut voidaan pitää nuoruusvaiheessa leikkaamalla uudet vesat pistokkainkaksi säännöllisesti. Parhaat pistokkaat saadaan yhden vuoden ikäisistä vesoista (vrt. Allen ja McComb 1956). Sirén ja Sivertsson (1976) suosittavat 2—3 vuoden ikäisestä materiaalista valmistettuja pistokkaita.

Pistokkaat leikataan yleensä talvilevon aikana lehtien varisemisen ja keväisen kasvun alkamisen välillä. Talvenkestävillä lajeilla ei pistokkaiden tekoajankohdalla liene suurta merkitystä juurtumisen kannalta (Sirén ja Sivertsson 1976), mutta heikommin talvenkestävillä klooneilla on syksy ja alkutalvi sopiva ajankohta (Rossi 1981). Vesat voivat voittua talven kovissa pakkasissa, mikä alentaa juurtuvuutta (kuva 33). Keskitalvella paksu lumipeite vaikeuttaa vesojen korjuuta. Tehtäessä pistokkaat vasta maalishuhtikuussa lyhenee ongelmia tuottava varastointi huomattavasti.

Pistokkaiden vähimmäisläpimittana pidetään lyijykynän paksuutta. Tätä kookkaammilla pistokkailla on kuitenkin suuremmat vesi- ja ravintoainetarastot käytettävissään juurtumiseen (esim. Hesmer 1951).

Pistokkaan pituus määräytyy pitkälti maan kosteusolojen mukaan. Kosteaan maakerrokseen ulottuvat pistokkaat juurtuvat varmimmin (Chmelar 1974). Pitkät yli 40 cm:n pistokkaat myös kasvavat paremmin

kuin lyhyet (Sirén ja Sivertsson 1976, Rossi 1981) (kuva 34). Koska viljelmiä tulee perustaa vain riittävän kosteille maille, käytetään Suomessa 20 cm pitkiä pistokkaita. Pituuden kasvaessa tästä huomattavasti vaikeutuu istutus.

Vanhassa paju- ja poppelikirjallisuudessa neuvotaan pistokkaat varastoimaan tyvipäät alaspäin viileässä ja kosteassa paikassa pakkaselta suojattuina. PERA-projektin kokeissa ei säilytysasennon kuitenkaan havaittu vaikuttavan juurtuvuuteen (Rossi 1981, vrt. Chmelar 1974). Säilytyslämpötilat  $+2^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$  ja  $-15^{\circ}\text{C}$  antoivat yhtä korkean juurtuvuuden (99–100 %) kuin maakellarikin, jossa lämpötila vaihtelee (Rossi 1981). Säilytysaika voi olla jopa 10 kuukautta ilman juurtuvuuden laskua (Chmelar 1974). Koneellisesti jäädytetyt kylmävarastot ovat suositeltavia, sillä niissä eivät sään vaihtelut aiheuta yllätyksiä. Pistokkaat voidaan säilyttää muovi- tai paperisäkeissä tai laatikoissa.

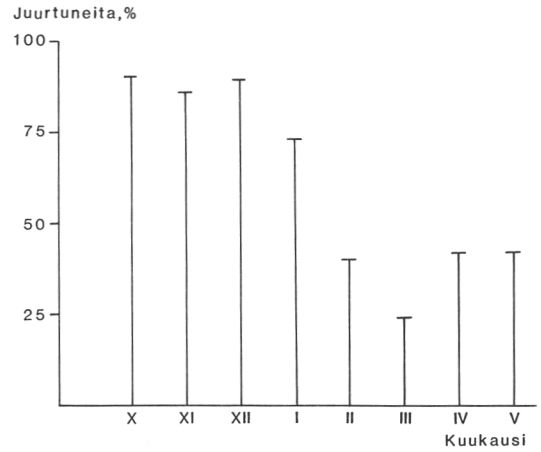
Pistokasviljelmä voidaan perustaa ja hoitaa samoin menetelmin kuin varsinainen energiaviljelmäkin. Yksivuotiaista vesoista saatujen pistokkaiden lukumäärä on ollut peltoviljelmillä 100–150 (Heino 1984) ja taimitarhalla jopa 200–300 kpl/m<sup>2</sup>/a (Rossi 1983). Kasvihuoneessa voidaan pistokkaita tuottaa nopeammin kuin avomaalla.

Suurien pistokasmäärien valmistamisessa on vannesaha käytännöllinen katkaisulaite. Pistokkaiden tuottamisen työvaiheita ja kustannuksia taimitarhalla ovat tarkastelleet Harstela ja Tervo (1983) saaden pistokkaan hinnaksi tutkimusajankohtana 14,5 penniä.

Pajujen ja poppeleiden lisäksi muitakin lehtipuita on saatu juurtumaan pistokkaista. Hybridileppä (*Alnus incana* x *glutinosa*) on hormonikäsittelyjen avulla juurtunut 94 %:sti. Raudus- ja hieskoivu sekä terva- ja harmaaleppä ovat juurtuneet lähes yhtä hyvin (Tervonen 1981). Massatuotantoon menetelmästä ei kuitenkaan vielä ole. Biotekniikalla saattaa olla sovellutuksia myös energiapuiden viljelymateriaalin tuotannossa. Ala on vielä kehitysvaiheessa, mutta in vitro -solukoviljelmät ovat mahdollisesti käyttökelpoisia jo lähitulevaisuudessa (Ho 1983).

### Viljelmän perustaminen

Koeviljelmät ovat osoittaneet, että tehokas rikkakasvien hävittäminen ennen viljelyä on edellytys yhtenäisen ja tuottavan kasvuston



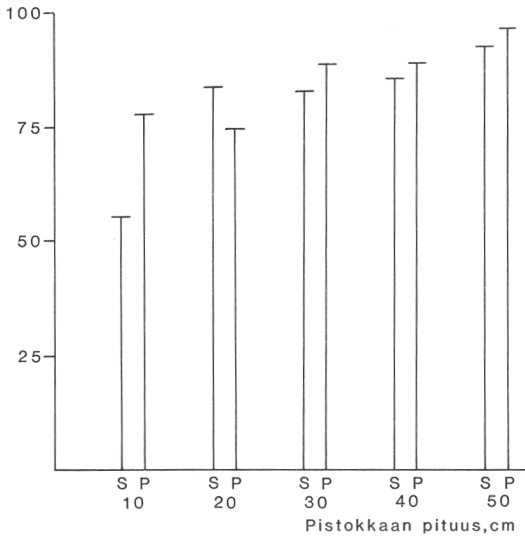
Kuva 33. Eri kuukausina tehtyjen vesipajun pistokkaiden juurtuminen seuraavana kesänä taimitarhalla

vakiintumiselle. Rikkakasvit kilpailevat viljeltyjen kasvien kanssa vedestä, ravinteista ja valosta. Ne tarjoavat myös myyrille sopivat elinolosuhteet. Vanhoilla pelloilla rikkakasvit ovat aina ongelmana, kun taas vasta turpeenostosta vapautuneilla alueilla rikkakasveja ei ole. Tehokkaaksi monivuotisten rikkakasvien hävittämismenetelmäksi on osoittautunut lehdistä juuristoon kulkeutuvien herbisidien käyttö viljelyä edeltävänä vuonna. Rikkakasvien kuoltua herbisidien levityksen jälkeen maa kynnetään syksyllä.

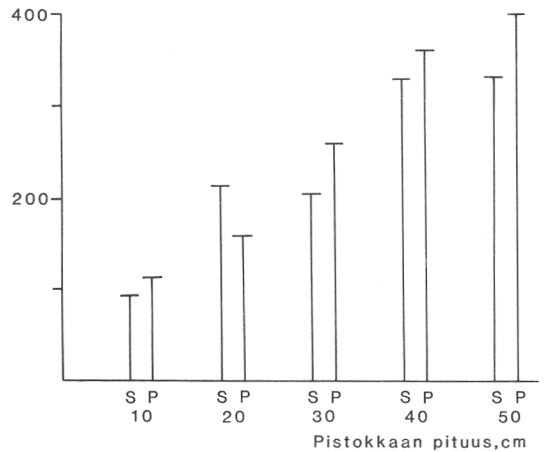
Maan fysikaalisia ominaisuuksia parannetaan viljelykeväänä muokkaamalla. Etenkin entisillä turpeen tuotantoaloilla maan ilmaisuus paranee, lämpötila kohoaa ja mikrobitoiminta vilkastuu turpeen ja kivennäismaan sekottuessa. Viljelyn yhteydessä voidaan käyttää maan kautta vaikuttavia herbisidejä yksivuotisten rikkakasvien torjuntaan. Pieniltä koaloilta on saatu lupaavia tuloksia kloritamidin ja simatsiinin käytöstä (Rossi 1983). Laajoilta pinta-aloilta kokemukset herbisidien käytöstä ovat viljelyn yhteydessä toistaiseksi vähäisiä.

Ilman torjunta-aineita tapahtuvasta viljelystä on Suomessa melko vähän kokemuksia. Ruotsissa koeviljelmät on pääasiallisesti perustettu ilman kemiallisia rikkakasvien torjunta-aineita. Suomessa saadut kokemukset osoittavat, että täysin mekaaniset menetelmät ovat kalliimpia kuin kemialliset tai kemiallisten ja mekaanisten menetelmien yhdistelmät. Haraus ja jyrskintä on turpeen suorit-

Juurtuneita,%



Tuotos, g/m<sup>2</sup>



Kuva 34. Eripituisten pajun (S) ja poppelin (P) pistokkaiden juurtuminen ja tuotos pakettipellolla ilman kastelua pistokkaan pituudesta riippuen. Kuvassa on pajun toisen ja poppelin sekä ensimmäisen että toisen kasvukauden tuotos.

taa useita kertoja kasvukauden aikana, sillä vanhalla peltomaalla toistuva maan käsittely nostaa pintaan jatkuvasti uusia itämättömiä siemeniä. Mekaanisia menetelmiä on toistaiseksi kehitetty vähän.

Täysin ilman torjunta-aineita voidaan viljelmän perustaminen aloittaa monivuotisella kesannoinnilla. Traktorivetoinen hara vaikuttaa koeviljelmiltä saatujen kokemusten perusteella tehokkaalta. Käsiharoin suoritettu mekaaninen torjunta tulee kustannussyistä kysymykseen vain pienillä koe- tai pistokasviljelmillä. Energiaviljelmien hoitoon tarkoitettuja mekaanisia rikkakasvien torjuntamenetelmiä kehitetään ja testataan parhaillaan.

Herbisidikäsittelyt viljelyn yhteydessä ovat kustannuksiltaan edullisia ja varmistavat viljelyn onnistumisen. Kemiallisten torjunta-aineiden käyttö on tekniikan osalta samanlaista energiapuiden ja peltokasvien viljelyssä. Suotuisissa olosuhteissa pystyy lyhyellä kiertoaajalla kasvatettava viljelämä estämään varjostuksellaan rikkakasvien kasvun lähes kokonaan jo vuoden kuluttua perustamisesta, jolloin herbisidejä tarvitaan vain viljelmän perustamisvaiheessa. Siten herbisidejä käytetään energiaviljelmillä pinta-alayksikköä kohti vain murto-osa maatalouden vastavasta, sillä viljelämä saattaa säilyä elinvoimai-

senä ja tuottavana kymmeniä vuosia.

Pistokkaat tai siementaimet voidaan istuttaa hyvin muokattuun rikkaruohottomaan maahan käsin tai koneellisesti. Istuttaminen käsin on hidasta ja kallista, koska pistokkaita tai taimia tarvitaan jopa 20 000—50 000 kpl/ha. PERA-projektin puitteissa on kehitelty ja kokeiltu kahta toimintaperiaatteiltaan erilaista pistokkaiden istutuslaitetta. Vanhempi laitteisto on sovellutus yleisesti taimitarhoilla käytettävästä paljasjuuritaimien koulintakoneesta. Toiseen istutuskoneeseen voidaan syöttää joko edeltäkäsinkin katkottuja sopivan mittaisia pistokkaita tai kokonaisia pajun tai poppelin versoja, jotka laite katkoo pistokkaiksi istuttamisen yhteydessä. Prototyypin istutusnopeus hyvissä olosuhteissa on ollut 3500—4100 pistokasta/h istutusrivinä kohti. Kokonaisia versoja käytettäessä kaksi henkilöä istuttaa kolmea istutusrivinä (kuva 35). Taimia ja valmiiksi katkottuja pistokkaita istutettaessa tarvitaan istuttaja jokaista riviä kohti. Erilaisten istutusmenetelmien tuoksia ja kustannuksia ovat vertailleet Hars-tela ja Tervo (1983). Pistokkaiden juurtumisesta ja myöhemmästä menestymisestä on kerätty aineistoja. Ensimmäisten kokemusten mukaan kone soveltuu myös paakutaimien istutukseen.



Kuva 35. Suomenjoen tutkimusasemalla kehitetty istutuskone, joka katkoo pajunvesat pistokkaiksi istutuksen yhteydessä.

Ennen istutusta pistokkaita liotetaan vedessä tyvet alaspäin 1—2 vuorokautta juurtumisen nopeuttamiseksi (vrt. Eden 1981). Muutenkin tulee huolehtia siitä, että pistokkaat eivät kuivu ennen istuttamista.

Varsinkin pajut juurtuvat jopa vaakasuorassa asennossa (Chmelar 1974). Turvetuotannosta vapautuneella suolla tehdyn kokeen mukaan vaakastutus näyttää kuitenkin olevan epävarma viljelmän perustamistapa kuivumisvaaran vuoksi (Hytönen 1983a). Riittävän kosteuden turvaamiseksi pistokkaat pyritäänkin istuttamaan pystysuoraan.

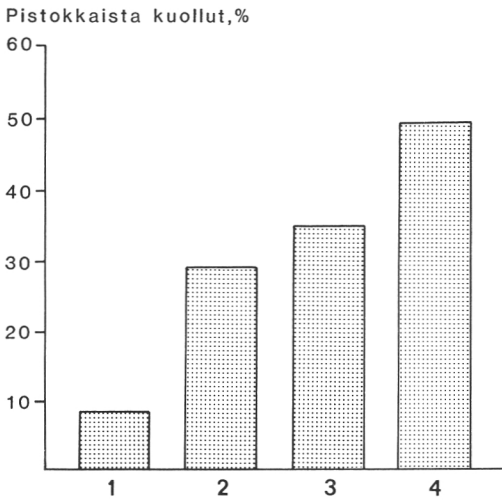
#### *Energiaviljelmien ravinne- ja vesitalous*

Pajun on todettu vaativan korkeata (5—6) pH:ta (Ericsson ja Lindsjö 1981). Sen sijaan mm. leppä ei ole yhtä vaateliias. Pajun kasvatusturvemailla edellyttää siten joko kalkitsemista tai tuhkalannoitusta sekä turpeen pH:n nostamiseksi että myös turpeeseen sitoutuneen typen mineralisaation edistämiseksi. Turve on voimakkaasti puskuroitunutta, joten maanparannusaineiden käyttömäärien

on oltava melko suuria. Maanparannusaineet on sekoitettava turpeeseen niin, että pH nousee koko juuristokerroksessa. Puuntuha sisältää typpeä lukuun ottamatta kaikkia kasvin tarvitsemia ravinteita ja sillä on kalkkiin verrattava neutraloiva vaikutus. Turvetuhkan neutraloiva vaikutus on sen sijaan vain 12 % kalkkikivijauheen vastaavasta vaikutuksesta (Saarela 1982), mistä syystä turvetuhkan käyttömäärien on oltava suuria, ainakin 50 t/ha (Lumme ym. 1984).

Nopeakasvuisten energiaviljelmien lannoitustarve on moninkertainen tavanomaisiin puustoihin verrattuna. Osa ravinteista voi huuhtoutua, osa sitoutua maahan kasveille käyttökelvottomaan muotoon ja osa tuestä haihtua denitrifikaation johdosta. Tästä syystä ei riitä, että selvitetään ainoastaan lannoituksen vaikutusta biomassan tuotokseen, vaan tarvitaan myös entistä tarkempaa tietoa ravinteiden kierrosta ekosysteemissä.

Lannoiteita käytettiin jo viljeltäessä pajua koriteollisuutta varten (Schmidt 1935, Gruner 1947, Tapio 1965). Energiametsäviljelyn myötä on pajun lannoitus otettu tarkemman tutkimuksen kohteeksi.



Kuva 36. Vesipajun pistokkaiden kuolleisuus eri tavoin lannoitetuilla koeruuduilla ensimmäisen kasvukauden jälkeen.

- 1 = Urea 216 kg/ha (N 100 kg/ha)  
Suo—PK 500 kg/ha
- 2 = Urea 216 kg/ha (N 100 kg/ha)  
Suo—PK 1 000 kg/ha
- 3 = Urea 432 kg/ha (N 200 kg/ha)  
Suo—PK 1 000 kg/ha
- 4 = Urea 648 kg/ha (N 300 kg/ha)  
Suo—PK 1 500 kg/ha

Pajukokeissa on lannoituksen vaikutus jäänyt ensimmäisenä kasvukautena vähäiseksi (Hytönen 1982). Suuret lannoitemäärät saattavat olla jopa haitallisia juurtuville pistokkaille ja lisätä kuolleisuutta (kuva 36).

Ravinteiden kiertoa vesipajukasvustossa

seurattiin 8:lla kooltaan 34 m<sup>2</sup>:n koealalla, joista 4 oli lysimetrikoealoja (Saarsalmi 1984). Koe kesti yhteensä viisi vuotta. Toisesta vuodesta lähtien pajun kuiva-ainetuotos vaihteli välillä 0,8—1,4 kg/m<sup>2</sup>/a. Karikkeessa tuli vuosittain maahan 25—45 % pajukasvustoon sitoutuneesta typestä, 20—40 % fosforista, 30—40 % magnesiumista ja 40—60 % kalsiumista. Huuhtoutuneiden ravinteiden määrä oli pieni. Pelkästään sadeveden mukana pajut saivat tyypeä, fosforia, kaliumia, kuparia ja mangaania enemmän kuin huuhtoutui.

Turvetuotannosta vapautuneilla alueilla joudutaan lannoitukseen kiinnittämään enemmän huomiota kuin kivennäismailla. Ainakin vesipaju vaatii kalkituksen lisäksi NPK- ja mahdollisesti myös hivenlannoituksen. Kalkituilla mutta lannoittamattomilla koealoilla pajut ovat kuolleet (Hytönen 1982, 1984a ja b). Erityisesti lannoitelajin merkitys on tullut selvästi esille, sillä helppoliukoinen superfosfaatti NPK-lannoituksen osana on antanut jopa moninkertaisen sadon muihin fosforilannoitteisiin verrattuna (Hytönen 1984a ja b).

Pohjosen (1980a) mukaan turvetuotannon jättömaalla kasvavalla pajuviljelmällä, jonka keskimääräinen sato on 12 t/ha, tarvittaisiin vuosittain lannoitetyyppiä 90 kg/ha korvaamaan sadonkorjuussa poistuneet ravinteet. Kun huuhtoutuminen ja ravinteiden sitoutuminen maahan otetaan huomioon, lannoitustarve olisi vuosittain 100—150 kg/ha tyypeä ja tuhkaa 1000—2000 kg/ha. Taulukon 11 mukaan ravinteita tarvittaisiin menetyksen korvaamiseen huomattavasti suurempi määrä. Typen tarve olisi 190 kg/ha, fosforin 19 kg/ha ja kaliumin 78 kg/ha, mikäli sato

Taulukko 11. Männyn, hieskoivun, harmaalepän ja vesipajujen ravinteiden käyttö tuotettua biomassatonta kohti viheraine mukaan luettuna.

Puulaji	Typpi	Ravinne			Lähde
		Fosfori kg/tonni kuiva-ainetta	Kalium	Kalsium	
Mänty	4,5	0,5	2,3	1,8	Mälkönen 1974
Hieskoivu	9,7	0,7	3,8	4,9	Mälkönen 1977
Harmaaleppä <sup>1)</sup>	16,5	1,1	5,4	6,0	Mälkönen & Saarsalmi 1984
Vesipaju <sup>2)</sup>	16,0	1,1	6,5		Hytönen 1984b
Vesipaju <sup>2)</sup> (ilman lehtiä)	10,6	1,3	4,1		— ” —
Vesipaju <sup>2)</sup>	12,4	1,9	13,6	4,8	Saarsalmi 1984

<sup>1)</sup> Kasvupaikka OMT-OMaT

<sup>2)</sup> NPK+hivenainelannoitus

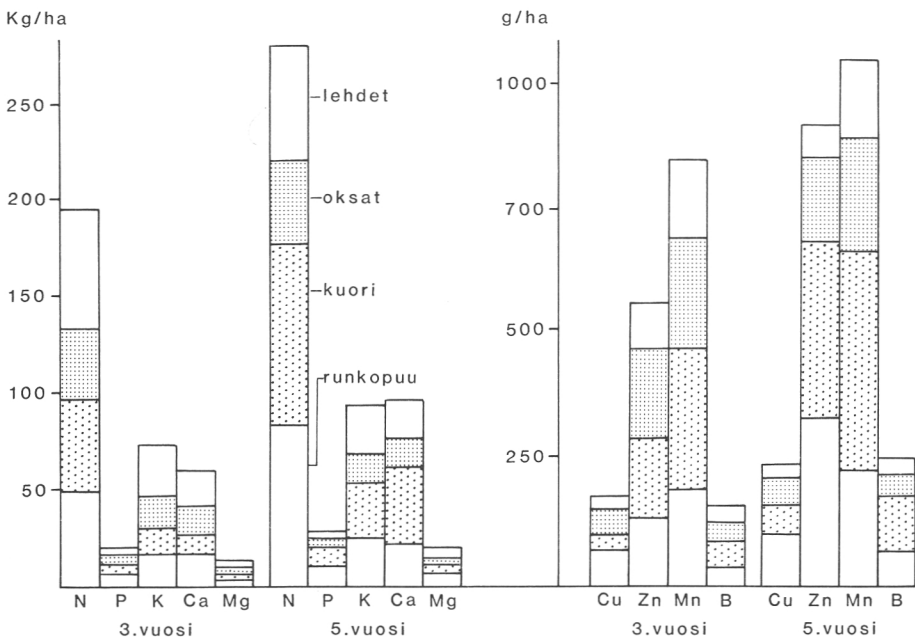
olisi 12 t/ha ja korjattaisiin lehtineen. Todellinen lannoitustarve saattaa olla vieläkin suurempi, koska pajut käyttävät vain osan aneetuista ravinteista. Toisaalta turpeen typen mineralisoituminen pienentää lannoitustarvetta. Kuitenkin runsastyyppisenkin suonpohjan turpeesta näyttää alkuvaiheessa mineralisoituvan pajun tarpeisiin riittävästi typpeä vain erikoisolosuhteissa (Kaunisto 1983). Suonpohjan turpeissa niukasti olevan fosforin ja kaliumin tarve on pajulla moninkertainen mäntyyn ja koivuun verrattuna. Kotimaiset pajulajit saattavat intensiivisessä lyhytkiertoviljelyssä käyttää ravinteita yhtä paljon kuin ulkomaiset pajutkin (Lumme ym. 1984).

Leppä kykenee käyttämään hyväkseen ilmakehän vapaata typpeä, ja sen lehtikarike parantaa maata. Merkittävä osa energiaviljelmien ravinnetaloutta kivennäismaalla selvittelevästä tutkimuksesta onkin kohdistunut harmaaleppään. Lähtökohtana on leppän kasvattaminen ilman kallista typpilannoitusta ja muiden ravinteiden antaminen puutuhkan mukana. Samoin on haluttu selvittää, pystytäänkö muiden mahdollisten energiapuulajien typen tarve ainakin osaksi tyydyttämään kasvattamalla niitä leppän kanssa sekakasvustona.

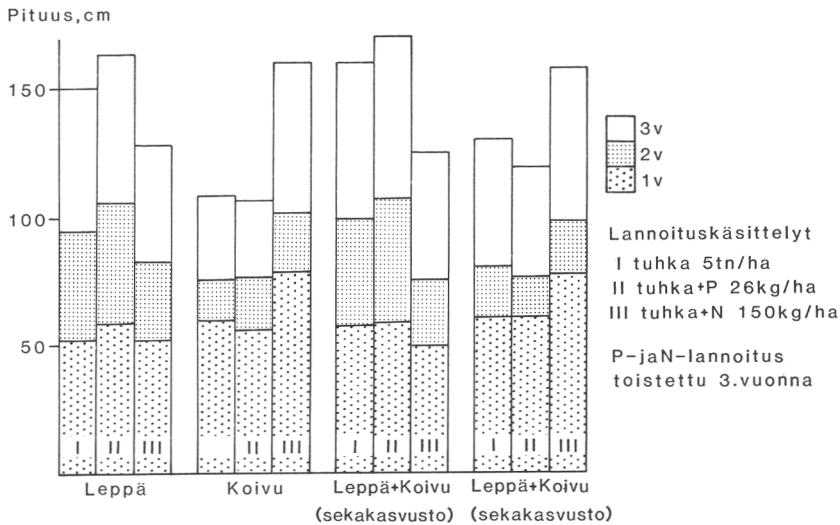
Harmaaleppän ravinnetarpeesta on toistaiseksi vähän tietoja. Vuotuinen pääravinnetarve (kg/t kuivamassaa) luontaisesti syntyneissä 35-vuotiaissa lepikoissa on esitetty taulukossa 11.

Viljavalle kivennäismaan pellolle perustetulle ja pelkällä tuhalla lannoitetulle harmaaleppäviljelmällä oli kuiva-ainetta aarin koaloilla 3 vuoden kuluttua istutuksesta 1,6 ja 5 vuoden kuluttua 3,0 kg/m<sup>2</sup> (Saarsalmi ym. 1983). Typpilannoitus ei vaikuttanut biomassatuotukseen. Fosfori- ja molybdeenilannoitus lisäsi alussa biomassatuotosta jonkin verran, mutta ei merkittävästi. Puustoon 3 ja 5 vuoden jälkeen istutuksesta sitoutuneet ravinteet esitetään kuvassa 37. Valtaosa lehtiin sitoutuneista ravinteista tuli vuosittain lehtikarikkeesta maahan. Sateesta maahan tulleet ravinteet korvasivat valtaosan huuhtoutuneista.

Lannoituksen vaikutusta rauduskoivun ja leppän kasvuun on tutkittu kivennäismaan pellolla. Lepällä on fosfori lisännyt kasvua, mutta typpi sen sijaan vähentänyt (kuva 38). Koivun kasvua typpi on lisännyt. Kokeen perusteella näyttää siltä, että koivun typen tarve voidaan ainakin osittain tyydyttää kasvatamalla leppää ja koivua sekakasvustona.



Kuva 37. Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrät 3 ja 5 vuoden kuluttua istutuksesta leppäviljelmällä.



Kuva 38. Puiden keskipituus 1, 2 ja 3 vuoden kuluttua istutuksesta leppä-koivuviljelmällä eri lannoituskäsittelyjen jälkeen.

Eri puulajien ravinnetarve vaihtelee. Vesipaju käyttää typpeä, fosforia ja kaliumia tuotettua biomassatonna kohti enemmän kuin mänty ja koivu mutta hieman vähemmän kuin leppä (taulukko 11).

Energiaviljelmien kastelutarpeeseen on toistaiseksi kiinnitetty vain vähäistä huomiota. Vesipajun veden kulutusta seurattiin kenttöolosuhteissa lysimetrikokeen avulla. Pajuja kasteltiin tarvittaessa. Viiden tutkimusvuoden aikana paju käytti tuotettua kuiva-ainekiloa kohti keskimäärin 350 l vettä, kun kuiva-ainetuotos oli vähintään 0,9 kg/m<sup>2</sup> (Saarsalmi 1984).

Koripajun veden kulutusta on tutkittu kasvihuoneessa astiakokein (Kaunisto 1983). Biomassatuotoksen ollessa yli 1,2 kg/m<sup>2</sup> pajut kuluttivat 250—350 l vettä tuotettua kuiva-ainekiloa kohti.

Harmaalepän veden kulutusta on seurattu lysimetrikokeen avulla (Saarsalmi ym. 1983). Leppäviljelmä sai vettä ainoastaan sateena. Kesä-lokakuussa kasvusto käytti kaiken kokeelle tulleen veden. Pitkinä kuivina jaksoina lepät eivät sanottavasti kärsineet veden puutteesta.

Ruotsissa useimmat koeviljelmät on varustettu kastelulaittein. Keinokastelun etuna viljelmän vedentarpeen tyydyttämisen lisäksi on mahdollisuus tarkasti säädeltyyn liuoslannoitukseen. Ravinteet voidaan antaa viljelmälle tarpeen mukaan, jolloin vältetään ravinteiden huuhtoutumisesta aiheutuvia ympäristö-

haittoja. Energiaviljelmien kastelu on nykyisellä tekniikalla kuitenkin kustannussyistä kannattamatonta.

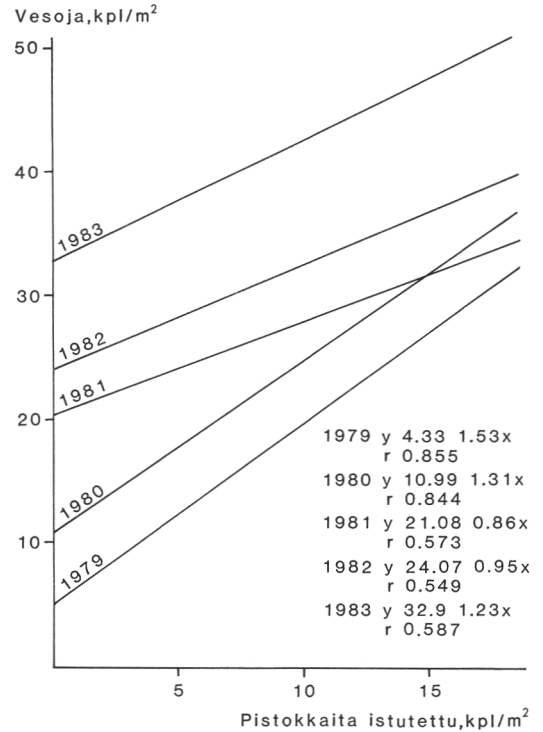
#### 54. Kiertoaika ja tuotos

Koripunonnan raaka-ainetta tuottavassa pajunkasvatuksessa pidettiin yhden vuoden kiertoaikaa sopivimpana (esim. Nordberg 1930). Sekä Suomessa että Ruotsissa 1970-luvun alussa käynnistetyissä pienialaisissa pajun lyhytkiertoviljelykokeissa saavutettiin heti alussa korkeita yhden vuoden tuotoslukuja. Tanskalainen vesipaju (*Salix cv. Aquatica*) tuotti erittäin tiheään istutettuna napapiirin tuntumassa jo istutuskesänä 1 kg/m<sup>2</sup> kuiva-ainetta ilman lehtiä (vrt. Pohjonen 1974). Korkein yhden vuoden kuiva-ainetuotos, 3,2 kg/m<sup>2</sup> ilman lehtiä, on raportoitu Ruotsista (Sirén ja Sivertsson 1976). Suomenjoella ovat parhaat 4 m<sup>2</sup>:n koeruudut tuottaneet taimitarhalla 2,5 kg/m<sup>2</sup>/a kuiva-ainetta ilman lehtiä tuotoksen ollessa yhtenäisellä 60 m<sup>2</sup>:n alalla 1,6 kg/m<sup>2</sup>/a. Kasteltujen ja lannoitetujen koeruutujen parhaat sadot ylittävät perinteisen metsänkasvatuksen tuotosluvut moninkertaisesti ja ovat jopa parempia kuin teoreettisiin laskelmiin perustuvat arviot.

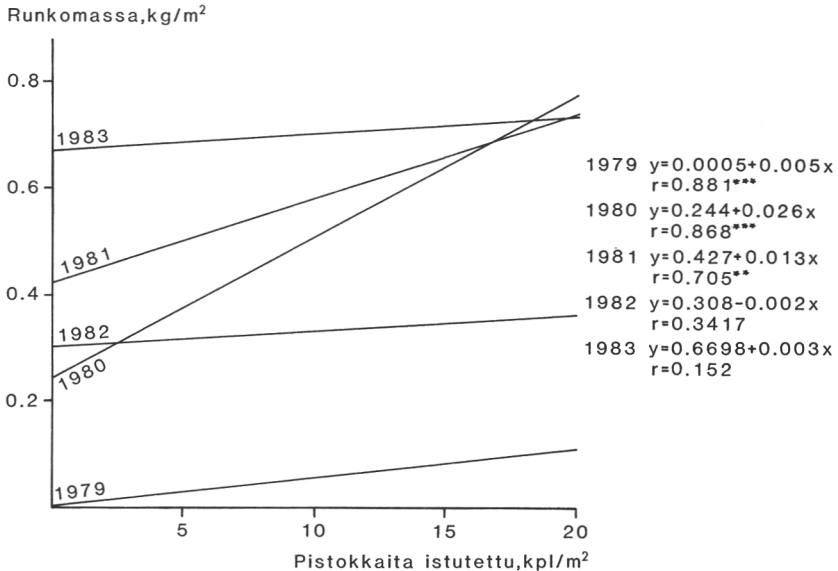
Laajoilla pinta-aloilla ei kuitenkaan ole mahdollista toteuttaa yhtä intensiivistä vilje-

lyä kuin taimitarhalla, eikä koetoiminnassa-kaan ole pystytty ennakoimaan kaikkia mahdollisia vaikeuksia. Kun kenttäkokeiden perustamisvaiheen ongelmista on selvitty eikä koe ole joutunut vakavan tuhon kohteeksi, ovat vesipajun sadot olleet turvetuotannosta vapautuneille alueille perustetuilla 100—225 m<sup>2</sup>:n koelaloilla parhaimmillaan suuruusluokkaa 1 kg/m<sup>2</sup>/a yhden vuoden kiertoaikaa käytettäessä. Samoissa kokeissa monien lannoituskäsittelyjen sadot ovat olleet 1 kg/m<sup>2</sup>/2a (Hytönen 1984a ja b). Kivennäismaan pellolla mitattiin sekä vesipajun tuotokseksi 1600 m<sup>2</sup>:n alalta että koripajun tuotokseksi 225 m<sup>2</sup>:n alalta 0,9 kg/m<sup>2</sup>/a toisena vuonna istutuksen jälkeen (Rossi 1982).

Ilmeisesti juuri vuosittainen sadonkorjuu heikentää pajujen elinvoimaa eniten, mutta Hytösen alustavien tulosten mukaan vesojen lukumäärä kasvaa ainakin viidenteen sadonkorjuuseen saakka yhden vuoden kiertoaikaa käytettäessä (kuva 39). Näin ollen istutustiheyden vaikutus sadon määrään heikkenee ja lähes katoaa jo parin sadonkorjuun jälkeen (kuva 40). Yhden vuoden kiertoaikaa on käytetty jopa 20 vuotta ilman mainittavaa vesomiskyvyn heikkenemistä (Anderson ym. 1983), ja jopa 50 vuotta pidetään mahdollisena (Stott 1956). Tiedot vuotta pitempien



Kuva 39. Pajun vesojen lukumäärän kehitys viitenä ensimmäisenä kasvukautena eri istutustiheyksiä käytettäessä. Vesat on leikattu vuosittain.



Kuva 40. Pajun vuotuisen tuotoksen kehitys viitenä ensimmäisenä kasvukautena eri istutustiheyksiä käytettäessä. Vesat on leikattu vuosittain.

kiertoaikojen vaikutuksesta vesomiskyvyn säilymiseen ovat niukempia. Ulkomaisten arvioiden mukaan myös 2 vuoden välein korjattu pajuviljelmä säilyy elinvoimaisena ainakin 20, jopa 40—50 vuotta (Rossi 1980).

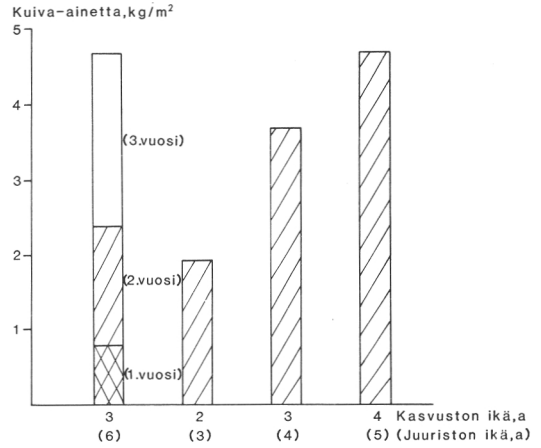
Energiapuuviljely on esitetty jaettavaksi kahteen kiertoaikaryhmään kloonien talvehitimiskyvyn mukaan (Pohjonen ym. 1980). Talvenkestäviä kloonieja kasvatetaan 2—5 vuoden ja kloonieja, joiden vesat paletuvat, 1 vuoden kiertoaikaa käyttäen. Ensin mainitut voivat käyttää myös alkukesän runsaan säteilyn hyväkseen, koska ne saavuttavat nopeasti runsaan lehtipinta-alan yhteyttämistä varten. Talventuminen tosin vähentää niiden energian sidontaa syksyllä. Yhden vuoden kiertoajalla kasvatettavat pajut taas säilyttävät lehensä ja jatkavat yhteyttämistä myöhään syksyyn.

Ensimmäisissä yhtä vuotta pitempiä kiertoaikoja koskevissa alustavissa kokeissa onkin todettu, ettei vuotuinen tuotos ainakaan laske sadonkorjuuta seuraavan kasvukauden jälkeen. Vesipaju tuotti Suonenjoen taimitarhalla 3 vuoden kiertoajalla 1,6 kg/m<sup>2</sup>/a kuiva-ainetta vuotuisen tuotoksen kasvaessa vuosi vuodelta (kuva 41, Rossi 1984). Kivennäismaan pellolla sijaitsevilta 350 m<sup>2</sup>:n aloilta mitattiin sekä 3 että 4 vuoden kiertoajan tuotokseksi 1,2 kg/m<sup>2</sup>/a (kuva 41). Samansuuntaisia tuloksia pieniltä ruuduilta on raportoitu myös Ruotsista (Energiskogsodling 1983) ja Iso-Britanniasta (Stott ym. 1982).

Vesipajun talvenkestävyys on Keski-Suomessa epävarmaa, mutta myös varmasti talvenkestävät Pohjois-Ruotsista kotoisin olevat *Salix pentandra*- ja *S. caprea x nigricans*-kloonit ovat Suonenjoella tuottaneet hyvin. Tämän 240 m<sup>2</sup>:n koealan 13 kloonin keskiarvo 4 vuoden kiertoajalla oli 0,8 kg/m<sup>2</sup>/a kuiva-ainetta ilman lehtiä. Heikoin kloonit tuotti 0,45 kg/m<sup>2</sup>/a ja paras 1,5 kg/m<sup>2</sup>/a.

Usean vuoden kiertoaikoja käytettäessä korjuukustannukset jäävät alhaisemmiksi kuin yhden vuoden välein tapahtuvassa korjuussa. Vesojen järeytyessä sadon käsittely helpottuu. Yhden vuoden kiertoaikaa ei siten voida pitää tavoiteltavana kuin ehkä erikoistapauksissa.

Kiertoaikakysymystä sivuaa myös viljelmän lannoituksen tekninen toteutus. Suuriin tuotoksiin pääsemiseksi viljelmää on lannoitettava paitsi korjuun jälkeen myös kiertoajan kuluessa. Sadonkorjuuta seuraavan kasvukauden alussa lannoitus onnistuu kannon yli. Myöhemmin ratkaisuja voivat olla



Kuva 41. Kolmivuotiaan vesipajukasvuston puun kuiva-ainetuotos taimitarhalla eri vuosina sekä eri-ikäisten kasvustojen tuotokset kivennäismaan pellolla. Sulkeisiin on merkitty keskimääräinen vuotuinen tuotos.

lentolevitys tai maasta käsin tapahtuva levitys ajouria myöten. Tällöin lannoite puhalletaan sivulta kasvuston sisään keväällä ennen pajujen lehden puhkeamista.

## 55. Energiaviljelmien tuhot

### Nisäkästuhot

Puuvartisia kasveja ravinnokeeseen käyttäviä nisäkkäitä ovat Suomessa hirvi, valkohäntäpeura, kuusi-peura, metsäkauris, metsäpeura, poro, metsäjänis, rusakko, peltomyyrä, kenttämyyrä, lapinmyyrä, metsämyyrä, harmaakuvemyyrä ja punamyyrä. Koska energiaviljelmiä ei vielä ole käytännön mitta-kaavassa, ei ole myöskään todellista tietoa eri nisäkäslajien mahdollisesti aiheuttamien tuhojen taloudellisesta merkityksestä. Tuho-riskiä voidaan arvioida välillisesti eri lajien käyttämien ravintokasvien, levinneisyyden ja yleisyyden perusteella. Vain myyrien osalta on tehty tutkimuksia energiaviljelmien koealoilla ja lajistolla.

Metsäjänis ja rusakko saavat kesä kautena ravintonsa heinä- ja ruoholajistosta. Talvella ne turvautuvat puuvartisien kasveihin, joista niille kelpaavat mm. haapa, pihlaja, koivu, useat pajut ja jopa harmaaleppä. Pahimmat

jyrsintävahingot tulevat helmi-maaliskuussa. Koska syönti kohdistuu versojen lumenpääliisiin osiin, viljelmät eivät tuhoutu täydellisesti. Jänikset ovat joskus kaulanneet koeviljelmän pajut perusteellisesti.

Hirvi syö lehtipuiden taimista mieluummin haapaa, pihlajaa ja pajuja. Isompia puita se katkoo tai kuorii. Taloudellisesti merkittäviä vahinkoja se aiheuttaa nykyisin koivun ja männyn taimikoissa. Energiapuuviljelmää hirvi saattaa ruveta suosimaan laidunalueenaan, jolloin tuotos voi jäädä vähäiseksi. Pajukoikeilla hirvet ovat vierailleet kesällä vaikeuttaneen jopa kokeiden perustamista. Vahinkoja ne ovat aiheuttaneet myös syksyisin katkoen latvoja ja vahingoittaen kuorta sekä silmuja (Rossi 1982).

Myyrien runsas esiintyminen toistuu samalla alueella keskimäärin 3—4 vuoden välein (Teivainen 1979a, 1981, 1984). Pohjois-Suomessa huippujen väli on yleensä pitempi kuin Etelä-Suomessa. Myyräkannan vaihtelun mukaisesti tuhoriskit ja tuhoriskialueet vaihtelevat vuosittain kuitenkin siten, että peräkkäisten syklien tuhoakertymä ja myös tuhoriski on suurin Pohjois- ja Itä-Suomessa ja vähenee kohti rannikkoa. Lyhytkiertoviljelyn kenttäkokeissa tuoreita vioituksia syntyi huippukesää edeltävänä talvena, huippukesänä ja huippukesän jälkeisenä talvena. Pahimmat vioitukset tulivat tämän jakson jälkipuoliskolla aikana, jolloin myyräkanta oli jyrkässä laskussa (Teivainen ja Jukola-Sulonen 1984).

Eri myyrälajeilla ja lajiryhmillä on jossain määrin spesifinen tapansa käsitellä tainta. Niiden tuhot kohdistuvat taimien juuristoon ja runkoon aina latvaa myöten. Lajien levinneisyyden, esiintymisyleisyyden ja vioitusten vaikeusasteen perusteella energiametsien tuholaisina pahimmat lajit ovat vesimyyrä, lapinmyyrä ja peltomyyrä, joiden jäljiltä viljelmä voi ainakin joiltakin osin täysin tuhoutua (vrt. Korhonen ja Teivainen 1982, Teivainen ja Jukola-Sulonen 1984).

Tietoja rauduskoivulla suoritettujen metsitysten myyrätuhoista voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa ennakolta energiaviljelmien tuhoja. Vuosina 1971—1980 istutettiin rauduskoivua noin 30 000 ha:lle. Tiedustelujen mukaan näistä 7,4 % kärsi myyrävioituksista keskimääräisen tuhoasteen ollessa 43 %. Tuhoutunut taimikkopinta-ala oli siten yhteensä lähes 1100 ha (Teivainen 1982, 1984).

Kenttäkokeissa monet poppelit olivat koivua huomattavasti alttiimpia myyrätuhoille.

Ruokintakokeiden mukaan tuhoalttiimpien ryhmään voidaan lukea myös useimmat viljelykokeissa mukana olevat nopeakasvuiset pajut (Teivainen 1979b). Jokseenkin yhtä tuhoalttiita tai vähän tuhoalttiimpia kuin koivu olivat *Populus tremuloides* x *tremula* ja *P. balsamifera* f. *elongata*. Rauduskoivua kestävämpiä lajeja olivat *Populus tristis*, *Betula pubescens*, *Alnus incana* x *glutinosa* ja *Alnus incana* (Teivainen ja Jukola-Sulonen 1984).

On ilmeistä, että herkempien lajien ollessa kysymyksessä tulevat myyrätuhot olemaan suurempia kuin koivulla. Energiaviljelmien perustaminen rauduskoivua tuhoalttiimpia puulajeja käyttäen tulee pahimmilla tuhoriskialueilla Pohjois-Suomessa olemaan erittäin vaikeaa. Tuhojen ehkäisyn kannalta tulisi tarkoin ottaa huomioon alueellinen ja istutus-akohtainen myyrätuhoriski. Totaalisen kemiallisen heinäntorjunnan todettiin estävän peltomyyräpopulaation kehittymisen istutus-alalle (Teivainen ja Jukola-Sulonen 1984). Erityistä huomiota tulisi kiinnittää myös puulajivalintaan. Esim. Uudessa-Seelannissa yritetään jalostaa nopeakasvuisia ja samalla kitkeränmakuisia pajuhybridejä, jotka eivät kelpaa tuhoeläimille (van Kraayenoord 1984).

### Hyönteistuhot

Koska energiaviljelmillä kasvatettavilla puulajeilla on ollut aikaisemmin vain vähäistä metsätaloudellista merkitystä, on niiden hyönteistuhoja tutkittu suhteellisen vähän. Kokemukseen perustuvaa tietoa on niukalti käytettävissä, sillä energiapuuviljelmät ovat vielä nuoria.

Ruotsissa tehdyn selvityksen mukaan lehtituholaisista tärkein laji on isohaavanlehtikuoriainen (*Melasoma populi*), joka syö lehtiä sekä aikuisena että toukkana. Keskipikesällä kuoriutuvat aikuiset syövät erityisesti versojen kärjissä sijaitsevia nuoria lehtiä ja aiheuttavat versojen kuihtumista. Laji aiheuttaa samanlaista vahinkoa myös pajulle.

Energiaviljelmillä saattavat tuhoa tehdä myös lehdenkalvajat (*Phyllodecta*), joiden toukat syövät pajujen, poppeleiden ja haavan lehtien alapintaa ja aikuiset yläpintaa niin, että vain lehtisuonet jäävät jäljelle. Tuhot aiheuttavat kasvatappioita.

Ruotsissa vahingollisimmaksi hyönteiseksi energiapajuviljelmillä on osoittautunut äkämäsäskiin kuuluva *Rhabdophaga terminalis*. Säski munii lehtisilmuun, jonka toukat tu-

hoavat vähitellen. Mikäli muninta tapahtuu päätesilmuun, seuraa siitä pituuskasvun häiriytyminen ja verson pensastuminen. Lajilla on useita sukupolvia kesässä, joten vioituksia ilmenee koko kasvukauden. Sääskelle alttiiksi on toistaiseksi todettu vain halava (*Salix fragilis*) ja hopeapaju (*Salix alba*). Hopeapajun kokeilusta energiaviljelyssä onkin Ruotsissa luovuttu kokonaan (Christersson 1982).

Lehtiä syövästä pistiäislajeista on tärkein pajupistiäinen (*Pteronidae salicis*), jonka toukat syövät joskus pajut lehdettömiksi. Yhtenäississä kasvustoissa saattaa kanta nousta poikkeuksellisen suureksi.

Viljelmien vanhetessa voivat myös juurissa ja rungossa elävät hyönteiset aiheuttaa taloudellisesti merkittäviä tuhoja. Monissa lehtipuissa elävä ruohokaskas (*Cicadella viridis*) munii kuoreen viiltämiinsä taskuihin ja mikäli viiltoja on runsaasti, voi runko kuivua (Juutinen ym. 1976). Tähän ryhmään kuuluvia hyönteisiä ovat myös äkämähaapsanen (*Saperda populnea*) ja runkohaapsanen (*Saperda carcharias*) sekä kaksi lasisiipilajia (*Paranthrene tabaniformis*, *Synanthedon sphecoformis*), jotka saattavat merkittävästi vähentää viljelmien tuotosta (Löyttyniemi ja Rousi 1979).

Viime vuosina on tehty joitain havaintoja myös nilassa elävien miinaajakärpästen (*Dendromyza*) esiintymisestä energiapajujen rungoissa. Yleensä näitä hyönteisiä ei pidetä kasvun kannalta tärkeinä, mutta runsaina esiintyessään ne voivat vaikeuttaa ravinteiden kulkua nilassa.

### Sienituhot

Pajuviljelmien sienitaudeista on lähinnä vain ulkomaiseen kirjallisuuteen pohjautuvaa tietoa (mm. Pohjakallio 1963) *Melampsora*-ruostesieniä lukuunottamatta, joista tutkimustyö on aloitettu. Ne aiheuttavat ainakin nyt vakavimmat sienituhot koaloilla. Niiden tiedetään vähentävän satoa, alentavan talveentumiskykyä ja yleensä heikentävän elinvoimaisuutta sekä lisäävän alttiutta muille tuhoille. Voimakkaan ruosteen oletetaan olleen syynä jopa eräiden koalueiden tuhoutumiseen. Ruostetutkimus voidaan jakaa osaluokkiin: pajulla esiintyvien *Melampsora*-lajien lukumäärän ja yleisyyden selvittäminen, ruosteiden kasvuvaatimusten selvittäminen ja torjuntatoimenpiteiden kehittäminen.

Ruostelajit tunnistetaan morfologisten tuntomerkkien ja isäntäkasvien perusteella.

Ruostesienet ovat erikoistuneet tiettyihin lajeihin ja jopa tiettyjen lajien variaatioihin. Li-ro (1908) pitää todennäköisenä 11 *Melampsora*-lajin esiintymistä Suomessa pajuissa. Tilaan on voinut kuitenkin muuttua, koska maahan on tuotu uusia pajulajeja. Niiden mukana on saattanut kulkeutua myös uusia *Melampsora*-lajeja. Asiaa selvitetään seuraamalla ruosteiden esiintymistä eri pajulajeilla. Ruosteisista lehdistä on tehty mikrotomileikkeitä ja näistä mitattu morfologisia tunnuksia. Jatkossa tulisi selvittää eri ruostekantojen isäntäkasvit.

*Melampsora*-ruosteiden kasvuvaatimusten selvittämiseksi mitataan ruosteisten ja terveiden lehtien fotosynteesiä ja respiraatiota. Pyrkimyksenä on tutkia ympäristötekijöiden ja isäntäkasvien ontogeenisten tekijöiden (lehtien ja versojen ikä) merkitystä ruostetuhon voimakkuuteen.

Torjuntatoimenpiteitä kehitellään tutkimusten tulosten pohjalta viljelytekniisten mahdollisuuksien mukaan. Pitkällä tähtäyksellä voi paras ratkaisu ruosteen torjunnassa olla sama, mihin *Melampsora*-ruosteiden tutkijat ovat päätyneet poppeleiden suhteen: on tuotettava uusia klooneja ja hybridejä, joiden kestävyys testataan tiettyjä ruostekantoja ja myös luonnosta kerättyjen ruostekantojen seoksia vastaan. Kestävästä valitaan parhaat viljelyyn. Uusia klooneja tulisi olla saatavilla muutaman vuoden väliajoin, jotta mahdollisten uusien ruostekantojen tuhoavaikutus ei ennätä tulla suureksi (Heather ym. 1980).

### Hallatuhot

Lähes kaikessa laajamittaisessa kasvinviljelyssä on löydetty ratkaisut biotoisten tuhojen torjumiseksi. Tämä lienee mahdollista myös energiapuuviljelyn kohdalla. Vaikka tietyillä kasvupaikkatyypeillä tutkimusten edetessä saavutetaan hyviä tuotoksia, saattavat abioottiset tekijät vaikeuttaa energiapuuviljelyn laajenemista. Maa-alueista, joilla energiametsätoimikunta katsoi olevan mahdollista harjoittaa energiapuuviljelyä (Energiametsätoimikunnan mietintö I 1979), ei osa ehkä sovellu parhaalla mahdollisella tavalla kyseiseen tarkoitukseen.

Biomassan tuotosta saattaa varsinkin turvemaiden alentaa alavasta sijainnista ja turpeen huonosta lämmönjohtokyvystä johtuva hallaisuus. Puuvartiset kasvit, jotka talvella kestävät  $-40^{\circ}\text{C}$ :n pakkasen, voivat kasvu-

kauden aikana palettua jo  $-2^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa.

Peltoviljelyksille hallavahinkoja sattuu erityisesti soistuneella vähäjärvisellä Pohjanmaalla (Valmari 1965). Oulun eteläpuolella sijaitseville entisille turpeentuotantoalueille sekä myös Pohjois-Savossa alaville pakettipelloille perustetuilla koalueilla on joka vuosi ollut jonkinasteisia hallavaurioita.

Lievissä alkukesän halleissa kasvupiste tuhoutuu, minkä seurauksena pituuskasvu keskeytyy ja vesa yleensä haaroittuu. Monivuotisia kiertoaikoja käytettäessä kasvupisteet ovat aivan kiertoajan alkua lukuunottamatta korkeammalla, jolloin ne saattavat olla turvassa. Etenkin syksyllä hallavauriot saattavat tuhota lehtiruosteen (*Melampsora*) heikentämän yksivuotisen pajukasvuston.

Pajujen versonkärkien vähäinen paletuminen talvella on hyvin tavallista. Vakavilta pakkasvaurioilta voidaan välttyä oikealla laji- ja kloonivalinnalla, jolla voitaneen vaikuttaa myös hallavaurioiden syntymiseen. Parhaiten vaurioilta välttyvät myöhään kasvunsa aloittavat ja varhain talventuvat kloonit. Niiden kasvujakso jää kuitenkin lyhyeksi ja tuotos alhaiseksi.

## 56. Energiaviljelmien liiketalous

Energiaviljelmien etuja ovat perinteiseen puuntuotantoon verrattuna korkea biomassatuotos, koneellisten menetelmien käyttömahdollisuus sekä lyhyt kiertoaika. Haittoja ovat mm. monokulttuureille ominainen tuhoalttius ja lajikkeiden heikko talvenkestävyys. Epävarmuustekijöiden runsaus yhdistettynä suhteellisen korkeaan panosvaatimukseen tuotantoa aloitettaessa ja harjoitettaessa koetaan varmasti myös haittana.

Maavarojen kohdentuminen energiaviljelmien ja perinteisen maa- ja metsätalouden kesken riippuu vaihtoehtoisten käyttömuotojen yksityistaloudellisesta tuloksesta ja siitä, kuinka toivottavaa maan käyttö kyseiseen tarkoitukseen on kansantalouden kannalta. Energian hintakehityksestä riippuu, tuleeko energiaviljely kilpailemaan osin samoista maavaroista perinteisen maa- ja metsätalouksikäytön kanssa. Yleisessä muodossa energiaviljelyn mahdollisuuksia voidaan kuvata vaihtoehtoiskustannuksen käsitteen avulla. Valintatilanteessa oleva maanomistaja päätyy energiaviljelyyn harkinnan kohteena ole-

valla maa-alalla, jos seuraava yhtälö on voimassa.

$$(1) \quad TR_1 > NTR_v + TC_1$$

$TR_1$  = energiaviljelyn kokonaistulo/ha/aikayksikkö  
 $NTR_v$  = vaihtoehtoisten maankäyttömuotojen nettotulo/ha/aikayksikkö  
 $TC_1$  = energiaviljelyn kustannukset/ha/aikayksikkö

Resurssien kohdentumisoptimi saavutetaan neoklassisen talusteorian mukaan silloin, kun tuotannon tekijöiden rajatuottavuus on sama kaikessa tuotantotoiminnassa. Maata siis siirtyy energiaviljelyn piiriin, jos siitä saatava maan korko on suurempi kuin samalta alalta saatava maan korko parhaassa vaihtoehtoisessa käytössä. Siirtymistä jatkuu niin kauan, kunnes mahdollisista käyttövaihtoehtoista saatava korko on yhtä suuri.

Maankäytön optimaalisen kohdentumisen toteutuminen edellyttää kuitenkin täydellisen kilpailun mallin ehtojen täyttymistä, mikä ei ole realistista. Todellisuudessa mm. valtiovalta ja eri etujärjestöt vaikuttavat merkittävällä tavalla tuotteiden ja tuotannon tekijöiden hinnanmuodostukseen ja sitä kautta toiminnan kannattavuuteen. Energiaviljelmien hyödyt ja haitat sekä tuotot ja kustannukset muodostuvat myös erilaisiksi, jos edullisuutta tarkastellaan yksityistalouden tai yhteiskunnan kannalta.

Pelkästään taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna kysymys on yksityistalouden osalta maankäytön vaihtoehtojen liiketaloudellisesta edullisuudesta. Yksityisen maanomistajan kohdalla maankäyttöpäätöksiin ja niiden toteuttamiseen tai toteuttamatta jättämiseen voivat vaikuttaa myös aivan muut kuin taloudelliset tekijät (vrt. Selby 1980). Toimintavaihtoehtojen vertailu on kuitenkin mahdollista vain, jos tiedetään mihin päämääriin päätöksentekijä pyrkii. Tässä oletetaan, että maankäyttöpäätöksiä ohjaa maankäytön vaihtoehtojen liiketaloudellinen edullisuus ja viime kädessä maanomistajan pyrkimys mahdollisimman suureen hyötyyn.

Maalle saatava taloudellinen tulos tietyissä tuotantotoiminnassa ratkeaa sen perusteella, mikä on kyseisessä käytössä siltä saatavien tuottojen ja kustannusten erotus. Tähän asti energiaviljelmien tutkimus on kuitenkin paljolti keskittynyt tuotantoprosessiin: viljelmän perustamisen sekä kasvatukseen ja hoidon selvittämiseen. Koeviljelmiä on perustettu yhteensä noin 40 hehtaarin verran, mistä yli

puolet on suota. Tuotos- ja kustannustiedon vähäisyyden vuoksi energiaviljelmien liiketaloudellinen tutkimus on ollut lähinnä teoreettista. Energiaviljelmien edullisuustarkastelun luotettavuus ja yleistämiskelpoisuus edellyttävät riittävän pitkä-aikaista ja laaja-alaista tuotos-, kustannus- ja hinta-aineistoa, jota alan tutkimus ei ole vielä riittävästi ehtinyt tuottamaan. Tämän vuoksi ei vielä voida esittää numeerista tietoa energiaviljelmien liiketaloudellisesta kannattavuudesta, vaan keskitytään edullisuustarkastelun yleiseen esittelyyn.

Kaikkien todellisuudessa esiintyvien ilmiöiden sisällyttäminen edullisuustarkasteluun ei ole mahdollista. Energiaviljelyn tarkastelua voidaan kuitenkin helpottaa yksinkertaistamalla todellisuutta ja käyttämällä hyväksi malleja, joilla voidaan esittää keskeiset taloudelliseen tulokseen vaikuttavat tekijät ja niiden vuorovaikutussuhteet.

Lyhytkiertopuun tuotantoprosessissa voidaan erottaa seuraavat vaiheet:

- viljelmän perustaminen
- kasvatus ja hoito
- korjuu
- varastointi
- markkinointi

Jokaiseen edellä esitettyyn vaiheeseen on hankittava tarpeelliset tuotannontekijät, joiden vaikutusta tuotantoon voidaan kuvata tuotantofunktiolla. Jos oletetaan, että tuotetaan vain yhtä tuotetta, biomassaa, voidaan tuotantofunktio yleisessä muodossa kirjoittaa:

$$(2) \quad Q = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

jossa  $Q$  = biomassan määrä  
 $X_j$  = tuotannontekijä

Energiaviljelmien tuotos pinta-alayksikköä kohden riippuu eri tuotantopanoksista kuten viljelylajikkeesta, maaperän vesi- ja ravinnetalouden säätelystä (kastelu/kuivatus, lannoitus), tuhojen torjuntatoimista, korjuutekniikasta, ammattitaidosta jne. Tuotantoprosessia kuvaava tuotantofunktio muodostuu siten helposti varsin monimutkaiseksi. Nykyinen tieto eri tuotantovaihtoehtojen tarvitsemien panosten vaikutuksesta onkin vielä kaukana tarvittavasta tarkkuustasosta, jotta tuotantofunktio voitaisiin matemaattisesti määrittää. Kasvatustutkimuksissa biomassan tuotos on vaihdellut voimakkaasti (ks. luku 54).

Tuotantotoiminnan edullisuuden tarkastelu edellyttää myös kustannustekijöiden määrittämistä. Energiaviljelyn vaihtoehdoissa syntyviä kustannuksia voidaan kuvata yleisessä muodossa seuraavasti:

$$(3) \quad C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \dots X_n$$

jossa  $C$  = tuotantokustannukset  
 $X_1$  = kasvupaikan valmistamisen kustannukset  
 $X_2$  = istutuskuustannukset  
 $X_3$  = kasvatus- ja hoitokustannukset  
 $X_4$  = korjuukustannukset  
 $X_5$  = kuljetuskustannukset  
 $X_n$  = muut kustannukset (esim. pääoma-, suunnittelu-, varastointi- ja markkinointikustannukset)

Kun tarvittava kustannusinformaatio on saatu koottua, voidaan sen perusteella määrittää eri tuotantovaihtoehdoista syntyvät kustannukset. Kustannukset ovatkin määritettävissä varsin helposti ja luotettavasti.

Toimittaessa taloudellisuus-periaatteen mukaan toiminnan minimitaso voidaan määrittää esimerkiksi nykyarvomenetelmällä seuraavasti:

$$TDR - TDC > 0$$

eli diskontattujen kokonaistuottojen (TDR) ja diskontattujen kokonaiskustannusten (TDC) erotuksen tulee olla vähintään nolla (ks. Honko 1973; vrt. myös Rose 1976). Jos erotus on nolla, vastaa käytetty korkokanta sisäistä korkokantaa.

Kun energiaviljelmää tarkastellaan itsenäisenä tuotantoyksikkönä (yrityksenä), sen jatkuvuus edellä esitetyllä tasolla toimiessaan on turvattu, koska se pystyy suoriutumaan kaikista maksuistaan. Jos yritys pitää kyseiseen tuotantotoimintaan ryhtymisen edellytyksenä voiton saamista ja oman pääoman kartuttamista, on tuottojen ylitettävä toiminnasta aiheutuvat kustannukset.

Energiaviljelmien edullisuuden määrittäminen edellyttää tuotanto- ja kustannusfunktioiden lisäksi myös tuotteen hinnan ja siten tuottofunktion määrittämistä. Olemassa oleva tieto ei vielä edusta käytännön tuotantotoiminnassa saatuja kokemuksia. Tiedetään esimerkiksi liian vähän kyseisellä menetelmällä tuotetun puun polttoaineominaisuuksista ja sen polttoainekäyttöön liittyvistä muista tekijöistä, kuten varastoinnista, kuivauksesta jne. Tuotteen markkinat ovat vasta syntyneessä, joten tuotteella ei ole markkinahintaa.

Tuotoksesta ja tuotannon arvosta ei ole vielä riittävästi empiiristä tietoa, mutta edullisuutta voitaisiin kuitenkin selvittää kasvatusten menetelmän vaatimien toimenpiteiden aiheuttamien kustannusten pohjalta edellä mainittuun nykyarvomenettelyyn perustuen: määritetään se tuottotaso, joka täytyy saavuttaa, jotta toiminta olisi kannattavaa. Tämän pohjalta voitaisiin taas laskea kannattavuuden edellyttämä tuotostaso erilaisin oletuksin. Kannattavuuden edellyttämä tuottotaso voitaisiin määrittää käyttäen Faustmannin maankorkoteoriaa (ks. Holopainen 1976), pitääen kustannukset, laskentakorkokanta ja kiertoaika tunnettuina.

Tuotos-, kustannus- ja hintatietojen vähydestä johtuen energiaviljelyn liiketaloudellista edullisuutta on toistaiseksi voitu tarkastella vain teoreettisesti. Esimerkinomais-

ten empiiristen selvitysten mukaan energiaviljely olisi mahdollinen maankäyttövaihtoehto lähinnä turpeen tuotannosta vapautuneilla soilla ja viljelemättömillä pelloilla (Eden 1981, Lilleberg 1981).

Turvemaiden energiaviljelmillä tuotetun pajuhakkeen polttoainehinnaksi on Oulun yliopistossa tehdyissä laskelmissa saatu tuotantovaihtoehdosta riippuen 50—105 mk/MWh pääoman tuottovaatimusten ollessa 10 % (Huusko ja Kiukaanniemi 1981 ja 1983). Tämän mukaan energiaviljelmillä tuotetun polttoaineen hinta olisi polttoöljyä edullisempaa mutta turvetta kalliimpaa. Tutkimukset ovat kuitenkin varsin suppeita ja rajoitteisia ja laskelmiin sisältyy runsaasti oletuksia, joten niiden tuloksiin on syytä suhtautua hyvin varauksellisesti.

## 6. PUUN ENERGIÄKÄYTÖN LAAJENTAMISMAHDOLLISUUDET

(Tapio Hankala 61 ja 62, Mikko Toropainen 63 ja 64)

### 61. Energiainvestointien suunnittelutilanne

Energian käytön tehostaminen ja suhteellisesti halvempien energiapanosten käyttöön-otto edellyttävät usein investointeja. Rationaalinen talousyksikkö valitsee energiaratkaisunsa eri vaihtoehtoista aiheutuvien maksuvirtojen perusteella. Tarkastelun kannalta relevantit maksuvirrat riippuvat näkökulmasta ja päätöksentekotasosta. Maksuvirtojen laajuus-, arvostus- ja jaksotusongelma saa osittain eri sisällön edettäessä mikrotasolta laajempaan energiapoliittiseen päätöksentekoon. Luvussa 6 tarkastellaan energiavaihtoehtoja aluksi yksityistalouden kannalta ja laajennetaan sitten tarkastelua julkis- ja kansantaloudellisen edullisuuden arviointiin.

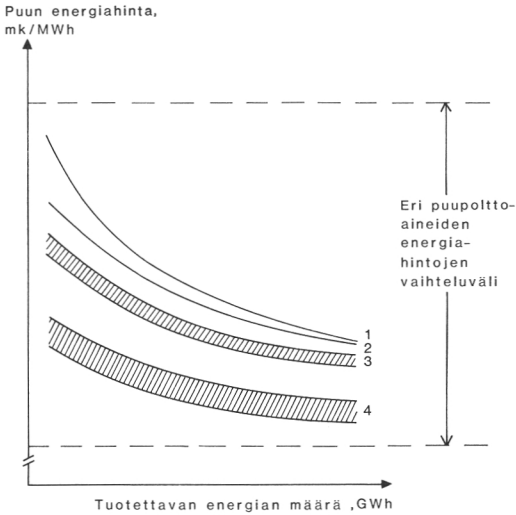
Kotimaisten polttoaineiden käyttöä lisääviä energian tuotannon korvaus- ja uusinvestointeja on viime vuosina tehty lähinnä tehdasteollisuudessa, alue- ja kaukolämmön tuotannossa sekä pienimuotoisempina maataloudessa. Varsinkin metsäteollisuus ja maatilat ovat jo ennestään suuria puun energiakäyttäjiä. Investoijat poikkeavat toisistaan investointien koon, energialaatu- ja tuotan-

totekniikan ja polttoaineitten suhteen. Näiden ryhmien käyttämistä puupolttoaineista vain osa hankitaan markkinoilta.

Vaihtoehtojen vertailu perustuu tuotetun energian kustannuksiin ja/tai ostettavan energian hintaan. Samanhintaisenkin energian tapauksessa kustannusten rakenne saattaa tuntuvasti poiketa eri vaihtoehtoissa, sillä polttoaineiden käsittely- ja energian tuotantotekniikka heijastuvat investointien hankintameno- ja kiinteisiin käyttökustannuksiin. Polttoaineiden energiahintojen erot ilmenevät tuotannon muuttuvissa kustannuksissa.

Energiatekniikan valinta merkitsee samalla päätöstä käytettävistä energialähteistä. Viime vuosina on kaikissa energiantuotannon kokoluokissa yleistynyt monipuolinen tuotantotekniikka, joka mahdollistaa useiden energialähteiden vuorottaisen tai samanaikaisen käytön. Energian tuotantokapasiteetin hankintameno on tällöin yleensä korkeampi kuin yhden energialähteen varaan rakentavassa investoinnissa, mutta etuna on parempi sopeutuminen energialähteiden hintojen kehitykseen.

Pysyväisluontoiseksi arvioitu polttoainei-



Kuva 42. Puun energiahinnan kilpailukyvyyn arviointi energiainvestoinnin suunnittelussa. Numeroiden selitykset tekstissä.

den suhteellisten hintojen muutos on usein korvausinvestointien suunnittelun käynnistävä tekijä. Samalla hintamuutokset ovat viime vuosina lisänneet tarjolla olevien energiavaihtoehtojen määrää uusinvestointienkin suunnittelutilanteessa. Polttoaineiden energiahinnat eivät anna vielä investointipäätöksiin riittävää tietoa vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksestä. Kotimaisten polttoaineiden käytön suunnittelussa on usein ongelmana edustavien markkinahintojen puuttuminen varsinkin puun osalta. Ongelmana on tällöin määrittellä puulle enimmäishinta, jolla puun energiakäyttö on yksityistaloudellisesti edullista, kun muut energiatuotannon kustannuserät tunnetaan.

Investoinnin suunnittelutilannetta voidaan havainnollistaa kuvalla 42, joka kuvaa tärkeimpien kustannustekijöiden ja investoinnin koon vaikutusta puun kilpailukykyiseen energiahintaan. Puupolttoaineiden energiahintojen vaihtelu on laajaa. Korkeimmat energiahinnat puupolttoaineista ovat halolla ja eräillä hakelajeilla ja alimmat metsäteollisuuden puuperäisillä jätteillä.

Suunniteltavan tuotannon kasvaessa voidaan käyttää energiahinnaltaan halvempia polttoaineita, ja vaihtoehtojen määrä lisääntyy. Suurimmissa energian tuotantoyksiköissä vain osa puupolttoaineista on nykyisin hinnaltaan kilpailukykyisiä. Toisaalta kaik-

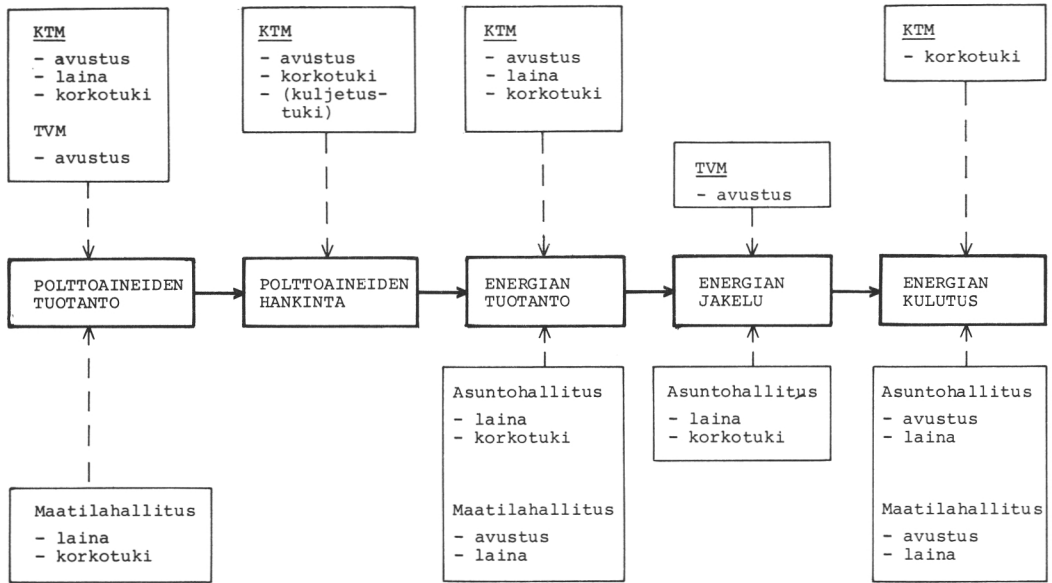
kien varsinkin energiahinnaltaan halvempien puupolttoaineiden käyttö ei ole teknisesti mahdollista pienimmissä yksiköissä. Käyrä 1 kuvaa kussakin kokoluokassa edullisimman puulle vaihtoehtoisen polttoaineen energiahintaa. Mikäli energian tuotannon kiinteät kustannukset, tuotannon tekninen tehokkuus ja tuotantomäärät ovat vaihtoehdoissa yhtä suuret voidaan valinta suorittaa käyrän 1 energiahinnan perusteella. Puuta käyttävässä energian tuotantokapasiteetissa kiinteät käyttökustannukset ja investoinnin hankintameno ovat kuitenkin yleensä korkeammat kuin tuontipolttoaineita tai sähköä käytettäessä. Puun ja muiden kotimaisten vaihtoehtojen väliset kustannuserot ovat yleensä edellistä pienemmät. Myös eri vaihtoehtojen energiantuotannon teknisessä tehokkuudessa esiintyy vuosiyötysuhteeseen heijastuvia eroja. Nämä erot tulee ottaa huomioon puupolttoaineen kilpailukykyisen energiahinnan arvioinnissa. Tavallisimmin siis puun energiahinnan tulee olla selvästi alempi kuin vertailupolttoaineella.

Käyrä 2 kuvaa vuosiyötysuhde-erojen vaikutusta puupolttoaineiden energiahintoihin. Erot ovat suurimmillaan pienissä tuotantoyksiköissä. Kiinteiden käyttökustannuserojen vaikutus puun energiahintaan on kaavamaisesti esitetty viivoitetun käyrän 3 avulla. Käyttökustannuksiin on puuvaihtoehdossa saatavissa energiapoliittista tukea eräissä tapauksissa energiapuun kasausavustuksena. Viivoitus kuvaa avustuksen vaikutusta puun energiahintaan.

Puuta käyttävän energiainvestoinnin hankintameno saattaa olla moninkertainen hankintamenoilta edullisimpaan vaihtoehtoon verrattuna. Kotimaisia energialähteitä käytävien energiainvestointien hankintameno on kuitenkin eräissä tapauksissa saatavissa julkista rahoitustukea. Vaihtoehtojen hankintamenojen eron ja mahdollisen julkisen tuen vaikutus on esitetty viivoitetun käyrän 4 avulla.

Kuvan 42 käyrästä havainnollistaa tärkeimpien kustannuserien vaikutusta puupolttoaineiden kilpailukykyiseen energiahintaan. Tapauskohtaiset erot riippuvat kulloinkin tarkasteltavista vaihtoehdoista.

Kuvassa 43 on esitetty kotimaisten energialähteiden käytön edistämiseen kohdistettu julkinen tuki, jolla pyritään toivottuihin vaihtoehtoihin parantamalla niiden valinnan edullisuutta. Tuki suuntautuu pääasiassa investointien hankintameno ja vähäisem-



Kuva 43. Kotimaisen energian käytön edistämiseen suunnatun julkisen tuen kohdistuminen (Julkinen energiaraioitus 1983).

mässä määrin käyttökustannuksiin. Muodosta riippuen tuki joko parantaa investointien kannattavuutta tai helpottaa rahoituksen järjestämistä. Investoivan talousyksikön kannalta tuki on annettu tekijä, joka vaikuttaa tarjolla olevien vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen laskentatilanteessa. Puun kuten yleensäkin kotimaisten energialähteiden kannalta keskeistä on energian tuotantokapasiteetin uusimiseen tähtäävä tuki.

## 62. Kotimaisten polttoaineiden käyttöä lisäävät investoinnit

Kotimaisten polttoaineiden käyttöä ovat viime vuosina lisänneet lähinnä teollisuuden, yhdyskuntien ja maatilojen energiainvestoinnit. Tapahtuneen muutoksen arvioimista vaikeuttaa yhtenäisen tiedonkeräysjärjestelmän puuttuminen. Kauppa- ja teollisuusministeriöltä annettiin lain 164/1979 perusteella kotimaisten polttoaineiden käyttöä lisäävää investointiavustusta kevääseen 1983 mennessä 548 hankkeeseen, joista avustus myönnettiin 450 teollisuuden ja yhdyskuntien energiantuotantoinvestoinnille (taulukko 12).

Kaksi kolmasosaa avustetuista hankkeista kuului tehdasteollisuuden ja yksi kolmasosa

Taulukko 12. Lain 164/1979 perusteella avustetut energiainvestoinnit kevääseen 1983 mennessä.

Läni	Kpl	Investoinnin koko, milj. mk. Keskiarvo	Mediaani	Polttoaineiden käyttö, GWh
Uudenmaan	21	1,785	0,638	480
Turun ja Porin	49	4,590	0,340	1 740
Hämeen	46	11,953	0,300	2 340
Kymen	21	4,825	0,255	960
Mikkelin	21	3,745	1,500	730
Pohjois-Karjalan	29	1,939	0,693	480
Kuopion	25	11,846	0,700	1 960
Keski-Suomen	41	14,217	0,375	2 280
Vaasan	113	2,598	0,100	1 280
Oulun	68	2,272	0,445	970
Lapin	16	11,773	0,670	930
Kaikki	450			14 150

yhdyskuntien päätoimialaan. Teollisuuden toimialoista hankkeita oli eniten metsäteollisuudessa ja myös metalli- ja konepaja- sekä elintarviketeollisuudessa. Avustettujen hankkeiden kokojakauma oli vino, kuten keskiarvo- ja mediaani-investoinnit osoittavat. Vaihteluväli oli 0,017—540 milj. mk. Avustetuista investoinneista 68 % oli kooltaan alle 1 milj. mk, 22 % oli kooltaan 1—5 milj. mk ja 10 % yli 5 milj. mk.

Avustettujen hankkeiden suunniteltu polttoaineiden käyttö oli 14 150 GWh/a. Korvattavien tuontipolttoaineiden osuus oli 12 500 GWh/a, josta oli raskasta polttoöljyä 70, hiiltä 18, kevyttä polttoöljyä 7 ja maakaasua 5 %.

Ilman avustusta jääneissä 98 hankkeessa oli hakemusten mukaan vastaavasti suunniteltu käytettävän polttoaineita 2100 GWh/a. Korvattavien tuontipolttoaineiden määrä oli 1960 GWh/a hiilen osuuden ollessa 51, raskaan polttoöljyn 39 ja kevyen polttoöljyn 10 %. Myös hyläytyistä hankkeista suuri osa todennäköisesti toteutetaan, sillä yleisimmät hylkäysperusteet olivat etukäteen hyväksi arvioitu kannattavuus (44 kpl) tai se, että hankkeen toteuttaminen oli aloitettu ennen hakemusten käsittelyä (45 kpl).

Hankkeiden polttoainekäyttö jakaantui suunnitelmien mukaan seuraavasti.

	Avustetut hankkeet	Avustamatta jääneet hankkeet
	Polttoainejakauma, %	
Turve	53	56
Puupolttoaineet	30	33
Muut kotimaiset	2	2
Tuontipolttoaineet	15	9
Yhteensä	100	100

Avustettujen ja ilman avustusta jääneiden hankkeiden suunniteltu kotimaisten polttoaineiden lisäyspotentiaali ilmenee taulukosta 13.

Suunnitelmien toteutuessa turpeen käyttö nousisi lähes kolminkertaiseksi vuoteen 1979 verrattuna ja saavuttaisi 1980-luvun alun enätyskorjuumäärien tason. Voimakkainta turpeen käytön kasvu on yhdyskuntien energiahuollossa, mutta myös tehdasteollisuuden kotimaisten polttoaineiden käyttöpotentiaalilin kasvusta 45 % on suunniteltu turpeelle.

Puupolttoaineiden käytön lisäys painottuu metsäteollisuusyrityksiin, jotka lisäävät oman puujätteensä käyttöä. Näissä yrityksissä suunniteltiin käytettävän lähes 80 % koko aineiston puuperäisistä polttoaineista. Myös yhdyskunnat lisäävät puunkäyttöä muuta teollisuutta enemmän energian tuotannossa. Hakkeen käytön kasvu on suurinta juuri yhdyskuntien lämmöntuotannossa.

Hakemustietojen puitteissa rajanveto puujätteen ja hakkeen välillä oli eräissä tapauksissa ongelmallinen, joten ei voitu selvittää, mikä osuus käytöstä on suunniteltu metsähakkeelle. Milloin hakemuksessa oli ilmoitet-

Taulukko 13. Hankkeiden suunniteltu kotimaisten polttoaineiden käyttö, GWh/a.

Polttoaine	Metsä-	Koko	Yhdys-	Yhteensä
	teollisuus	teollisuus	kunnat	
Polttoaineen käyttö, GWh/a				
Turve	2 350	3 420	5 270	8 690
Kuori	2 200	2 220	190	2 410
Puru	570	620	270	890
Puujäte	740	760	20	780
Hake	200	250	450	700
Jäteliemet	230	230	—	230
Muut kotimaiset	20	170	80	250
Kaikki kotimaiset	6 310	7 670	6 280	13 950

tu useita vaihtoehtoisia polttoaineita tai annettu niiden vaihteluvälit, päädyttiin keskiarvotietojen käyttöön. Luotettavammin aineisto kuvaakin kotimaisten polttoaineiden käytössä suunnitellun muutospotentialin tasoa kuin polttoainejakaumaa, johon vaikuttaa myös polttoaineiden hintasuhteiden kehitys. Hintakehityksen merkitys polttoainevalinnoissa tulee korostumaan entisestään, kun energian tuotantokapasiteetin monipuolistuminen lisää valintamahdollisuuksia.

Energian tuotantokapasiteetti on hitaasti sopeutumassa viimeisen kymmenen vuoden aikana tapahtuneisiin energiamarkkinoiden muutoksiin. Aineiston hankkeet muodostavat energiapolitiittisesti merkittävän osan tästä muutospotentialista aikana, jolloin energian käyttö kasvaa hitaasti. Hankkeiden polttoaineiden suunniteltu käyttö 16 250 GWh/a on lähes 6 % koko maan nykyisestä primaarienergian käytöstä.

Investointien toteuttaminen suunnitelmien mukaan edesauttaisi tuntuvasti energian tuotannon omavaraisuusasteelle asetetun 32—35 %:n tavoitteen saavuttamista. Aineistosta laskettiin hankkeista aiheutuva kotimaisuusasteen muutos olettaen, että ne toteutetaan suunnitelmien mukaan eikä energian tuotannossa tapahdu muita muutoksia kuin näistä investoinneista aiheutuvat. Kotimaisuusaste riippuu siitä, miten hankkeet jakautuvat korvaus- ja uusinvestointeihin. Mikäli kaikki hankkeet tulkitaan uusinvestoinneiksi, nousee kotimaisuusaste näiden seurauksena 3,4 prosenttiyksikköä ja korvausinvestointien tulokinnassa 5,0 prosenttiyksikköä ennen investointeja vallinneesta vuoden 1978 tasosta, joka oli 26,9 %. Tuontipolttoaineiden käyttömäärien väheneminen investointien jälkeen tulee kuitenkin jäämään pienemmäksi kuin tässä esitetty korvattavien polttoaineiden

määrä. Tämä johtuu edellä mainitusta investointien jakautumisesta uusinvestointeihin ja korvausinvestointeihin, mitä ei pystytty selvittämään. Aineiston uusinvestointien korvattavien tuontipolttoaineiden osalta on itse asiassa kyse toteutumatta jäävästä tuontienergian käytön kasvusta.

Energiantuotanto on yleisen taloudellisen aktiviteetin ja väestön tavoin keskittynyt maan eteläisiin lääneihin. Alueen energian tuotannon volyymi ja rakenne rajoittavat jatkossakin puun energiakäytön kasvua voimakkaammin kuin polttopuuvarat. Puupolttoaineiden taloudellisesti heikko kuljetettavuus ja polttopuun muuta puunkorjuuta heikompi tuottavuus korostavatkin polttopuun alueellisen kysynnän merkitystä. Pääsääntöisesti kotimaisten polttoaineiden osuus energian tuotannossa on korkein primaarienergian käytöltään pienissä lääneissä. Aineiston hankkeet tulevat toteutuessaan voimistamaan näitä läänien välisiä eroja.

Ei ole kuitenkaan ollut vielä mahdollista arvioida suunnitelmien toteutumista, johon on vaikuttanut energiamarkkinoiden kehitys 1980-luvun alkupuoliskolla. Osa hankkeista on edelleen toteuttamisvaiheessa. Lisäksi kauppa- ja teollisuusministeriö avustaa edelleen uusia hankkeita lain 164/1979 perusteella. Toteutuneiden muutosten arviointi edellyttääkin syvällisempää seurantaa jatkossa. Kokemuksien hyödyntämiseksi tulisi PERA-projektin jatko-ohjelmassa tutkia investointien toteutumista, niiden kannattavuutta, polttoainemuutosten pysyvyyttä ja puun käyttöä.

### 63. Kotimaisten polttoaineiden valintaperusteet

PERA-projektissa tutkittiin osaksi kauppa- ja teollisuusministeriön rahoituksella kotimaisten polttoaineiden valintaperusteita ja tehtyjen investointien kannattavuutta aineistolla, johon kuului 49 kauppa- ja teollisuusministeriön avustamaa yli 0,5 MW:n alue- lämpölaitosta. Kaikki laitokset olivat aloittaneet toimintansa vuoden 1982 alkuun mennessä (Toropainen 1984a).

Investoinnin toteuttaja oli 40 tapauksessa kunta ja 9 tapauksessa osakeyhtiö, jossa kunnalla oli osake-enemmistö. Hankkeiden mediaaniteho oli 1,6 MW ja vaihteluväli 0,5—40,0 MW. Investoinnit lisäsivät kattila-

tehoa yhteensä 196 MW kokonaiskustannusten ollessa 126 milj. mk ilman verkostoa. Summasta katettiin kauppa- ja teollisuusministeriön avustuksilla 17,5 ja muilla investointiavustuksilla 4,3 %. Pääpolttoaineen mukaan laitokset jakautuivat seuraavasti:

Pääpolttoaine	Laitoksia, kpl
Metsähake	30
Palaturve	10
Teollisuuden jätepuu	6
Jyrsinturve	2
Halot	1

Investointipäätösten perusteita arvioitiin pisteyttämällä vaihtoehdot seuraavasti:

— erittäin tärkeä	+ 3
— tärkeä	+ 2
— vaikutti jossain määrin	+ 1
— ei vaikuttanut ollenkaan	0
— vaikeutti päätöksen syntymistä	- 2

Tärkeimmiksi tekijöiksi vaihtoehtojen saamien pistekeskisarvojen perusteella muodostuivat:

1. Kotimaisten polttoaineiden saannin varmuus	2,4
2. Avustuksen vaikutus rahoituksen järjestämiseen	2,1
3. Kotimaisia polttoaineita suosiva suuntaus	2,1
4. Avustuksen vaikutus kannattavuuteen	2,0
5. Pysyvä työllistävä vaikutus	1,7

Kotimaisten polttoaineiden saannin varmuus oli kunnissa koettu tärkeimmäksi investointipäätöksen syntyyn vaikuttaneeksi tekijäksi myös esitutkimuksessa (Toropainen 1982). Yleinen kotimaisia polttoaineita suosiva suuntaus toisaalta synnytti investointi-idean ja toisaalta helpotti sen läpivientiä kunnallisessa päätöksenteossa. Avustuksen kannattavuus- ja rahoitusvaikutukset arvostettiin yhtä tärkeiksi. Työllistävän vaikutuksen painotus riippui siitä, kuinka suuri osuus polttoaineista saatiin oman kunnan alueelta.

Vastaaajien odotuksia kotimaisten polttoaineiden jatkuvasta saannista kilpailukykyiseen hintaan mitattiin pisteyttämällä varmuusasteet seuraavasti:

— täysin varmaa	+ 2
— melko varmaa	+ 1
— ei osaa sanoa	0
— melko epävarmaa	- 1
— täysin epävarmaa	- 2

Yleensä vastaajat odottivat kotimaisia polttoaineita saatavan kilpailukykyiseen hin-

taan jatkossakin. Poikkeuksen muodostivat yli 1 MW:n hakelaitokset. Osittain tämä selittyi sillä, että pienet hakelaitokset saivat vuonna 1982 käyttämästään hakkeesta 58 % kunnan omistamista metsistä mutta suuremmat ainoastaan 22 %. Turve ja teollisuuden jätepuu taas ovat nykyisten hintasuhteiden vallitessa ostohaketta kilpailukykyisempiä polttoaineita.

Pääpolttoaine	Laitoksen kokonaisteho, MW	Pistemäärien keskiarvo
Hake	≤ 1	1,1
Hake	> 1	0,6
Muu	≤ 2	1,1
Muu	> 2	1,2
Kaikki		0,9

Tulokset saattavat viitata myös hakepuun hankintakustannuksia jyrkästi nostavan saatavuusrajan lähestymiseen joillakin alueilla. Tätä oletusta tukee myös se, että Pohjois-Suomessa hakkeen jatkuvaa saantia kilpailukykyiseen hintaan pidettiin varmempana kuin muualla. Yli 1 MW:n hakelaitosten antamat pisteet olivat Pohjois-Suomessa 1,0 ja muualla maassa 0,4.

Investointipäätöksen syntymistä vaikeutaneina tekijöinä mainittiin:

	Laitoksia, kpl
— kotimaisten polttoaineiden käytön hankaluus	8
— liiketaloudellinen kannattamattomuus	4
— rahalaitoslainojen saatavuus	3
— oman rahoituksen riittämättömyys	3
— kotimaisten polttoaineiden käytön ympäristövaikutukset	3

Investoijien oman ilmoituksen mukaan hankkeista olisi ilman avustuksia toteutettu suunnitellun aikataulun mukaisina 28 % ja rahoitusjärjestelyjen takia lykkääntyneinä 33 %. Toteutumatta olisi jäänyt 39 % investoinneista. Avustukset siis vaikuttivat 72 %:iin investoinneista joko tekemällä niiden toteuttamisen mahdolliseksi tai ainakin nopeuttamalla toteutumista. Liiketaloustieteellisen tutkimuslaitoksen selvityksen (Energiainvestointituen . . . 1983) mukaan avustuksilla oli vastaavia vaikutuksia 47 %:ssa teollisuusyritysten kotimaisten polttoaineiden käyttöä lisäävistä investoinneista. Avustusten vaikutavuus oli siis kunnissa selvästi suurempi kuin teollisuudessa. Tulos on varsin luonol-

linen, sillä teollisuudessa käytetään paljon omaa jätepolttainetta, joka on yleensä kustannuksiltaan edullisempaa.

Avustukset helpottivat hankkeiden rahoituksen järjestymistä huomattavasti. Avustukset kattoivat 21,8 % investointikustannusten kokonaissummasta ja 36,0 % valinnan kannalta ratkaisevista kotimaista polttoainetta käyttävän laitoksen ja tuontipolttainetta käyttävän vertailulaitoksen investointikustannusten erotuksesta. Lainat huomioon ottaen kattoi kuntien ulkopuolisen julkisen vallan rahoitusosuus investointikustannuksista 52,6 % ja investointikustannusten erotuksista 88,5 %.

Investoinnin toteuttajilta kysyttiin myös, minkä tukivaihtoehdon vastaajat todennäköisesti olisivat valinneet, jos tukea olisi kullekin hakijalle myönnetty vain yhden tukimuodon kautta ja myöntämismenettely olisi kaikissa tapauksissa ollut samanlainen. Lainamuotoisen tuen asetti etusijalle 52 % vastaajista, 28 % olisi valinnut joko 10 %:n investointiavustuksen tai 7 %:n investointiavustuksen ja siihen liittyen kunnan energiahuollon kokonaissuunnitelman valtion maksamana. Hankkeista 20 % olisi annetuilla ehdoilla jäänyt kannattamattomina toteuttamatta, näissä tapauksissa voidaan tulkita preferoidun yli 10 %:n avustusta. Siten avustusmuodoista tukea preferoivien osuudeksi tulee yhteensä 48 %.

Lainamuotoinen tuki oli siis hieman suositumpaa. Tulos sopii hyvin yhteen sen kanssa, mitä edellä todettiin avustuksen vaikutuksesta hankkeen rahoituksen järjestymiseen ja kannattavuuden paranemiseen. Liiketaloustieteellinen tutkimuslaitos totesi selvityksessään, että kaksi kolmasosaa teollisuusyrityksistä näki parhaaksi tukimuodoksi investointiavustuksen.

Kunnat tekevät energiainvestointeja koskevat päätöksensä osittain eri perusteilla kuin teollisuusyritykset. Kun metsäteollisuusyritykset pitivät tärkeimpänä myönteisen investointipäätöksen syntymiseen vaikuttaneena tekijänä kustannussäästöjä, investointilaskelmin selvitettyjen kustannussäästöjen (ilman valtion avustusta) arvioitiin kunnissa vaikuttaneen vain "jossain määrin", tärkeysjärjestyksessä se oli yhdentenätoista. Suhteellisten hintojen muutoksen vaikutus näkyy siinä, että kaksi vuotta aikaisemmin tehdyssä esitutkimuksessa kunnat sijoittivat kustannussäästöt neljänneksi tärkeimmäksi tekijäksi.

#### 64. Investointien kannattavuus ja hyötöjen jakautuminen kansantaloudessa

Tehtyjen investointien kannattavuutta tarkasteltiin kunnallisen liikelaitoksen ja alue-  
lämmön kuluttajien, kunnallistalouden, koko  
kunnan, valtiontalouden ja koko kansanta-  
louden näkökulmista (Toropainen 1984b).  
Kaikkia alkuperäisen aineiston investointeja  
ei voitu ottaa mukaan kannattavuusanalyysi-  
in. Karsiutumisen pääsyyinä olivat aikai-  
semmin hankitut kattilat ja rakennukset, joi-  
den kustannuksia ja rahoitusta ei voitu kai-  
kissa tapauksissa selvittää. Analyysin 32 alue-  
lämpökeskusta jakautuivat kotimaisen pää-  
polttoaineen mukaan seuraavasti:

Pääpolttoaine	Laitoksia, kpl
Metsähake	20
Palaturve	6
Teollisuuden jätepuu	4
Jyrsinturve	2

Tutkimusmenetelminä käytettiin korolli-  
sen takaisinmaksuajan menetelmää ja kus-  
tannus-hyötöanalyysia. Takaisinmaksutarkas-  
telussa laskettiin, kuinka nopeasti kustannus-  
säästöillä ja muilla nettohyödyillä kyetään  
kattamaan kotimaista polttoainetta käyttä-  
vän laitoksen investointikustannusten ja ras-  
kaalla polttoöljyllä toimivan vertailulaitok-  
sen investointikustannusten erotus 10 %:n  
korkokustannus mukaan lukien. Kannatta-  
viksi valinnoiksi tulkittiin korkeintaan 2  
MW:n laitoksista ne, joissa takaisinmaksuai-  
ka oli enintään 10 vuotta ja suuremmista lai-  
toksista ne, joissa takaisinmaksuaika oli  
enintään 15 vuotta. Kuluttajien aluelämpö-  
verkkoon liittyminen ei tapahdu yhdellä ker-  
taa. Yleensä lämpökeskuksen käyttöönotosta  
kuluu tietty aika, ennen kuin lämpöverkko  
saavuttaa lopullisen laajuutensa. Tänä aika-  
na lämpökeskuksen käytön tehokkuus nou-  
see. Takaisinmaksuaika laskettiin olettaen,  
että vuoden 1982 käytön taso edusti verkon  
rakentamisajan keskimääräistä tilannetta ja  
että toisaalta verkon täyttä laajuutta vastaa-  
va käytön taso säilyy, kunnes laitos korva-  
taan uudella.

##### *Kunnallisen liikelaitoksen kannattavuus*

Kunnallisen liikelaitoksen tavoitteeksi ole-  
tettiin tuottaa lämpöä mahdollisimman ta-  
loudellisesti tavoittelematta kuitenkaan voit-

toa. Lämmöntuotannon juoksevilla kustan-  
nuksissa (=lämmöntuotantokustannukset  
miinus pääomakustannukset) saavutettavil-  
la säästöillä on silti kyettävä kattamaan val-  
linnan takia sitoutunut lisäpääoma eli inves-  
tointikustannusten erotus kohtuulliseksi kat-  
sotun ajan kuluessa.

Korkeintaan 1 MW:n hakelaitoksista 33 %  
osoittautui kannattaviksi valinnoiksi. Yhteise-  
nä piirteenä näissä tapauksissa oli, että hake-  
keesta valtaosa saatiin lähellä sijaitsevista  
kunnan omistamista metsistä ja hake oli sel-  
västi keskimääräistä halvempaa. Suuremmis-  
ta hakelaitoksista 45 % tulkittiin kannatta-  
viksi. Näissäkin tapauksissa hake oli keski-  
määräistä halvempaa. Lisäksi hakekattilo-  
iden huipun käyttöaika oli keskimääräistä  
korkeampi ja/tai yksikköinvestointikustan-  
nukset olivat keskimääräistä alemmat. Kor-  
keintaan 2 MW:n jätepuu- ja turvelaitoksista  
67 % oli kannattavia valintoja. Kannattamat-  
tomiksikin tulkituissa tapauksissa tosin saa-  
vutettiin käyttökustannusten säästöjä, mutta  
takaisinmaksuaikavaatimus ei täyttynyt, kun  
säästöt olivat pienet ja yksikköinvestointi-  
kustannukset selvästi keskimääräisiä korke-  
ammat. Suuremmat jätepuu- ja turvelaitokset  
osoittautuivat kaikki kannattaviksi valin-  
noiksi.

Kaikista valinnoista 56 % todettiin siis  
kunnallisen liikelaitoksen näkökulmasta kan-  
nattaviksi. Esitutkimuksessa taas 88 % integ-  
roitumattomien metsäteollisuusyritysten  
hankkeista tulkittiin liiketaloudellisesti kan-  
nattaviksi.

Tutkimuksessa tarkasteltiin vielä hypoteet-  
tisesti, mitä olisi tapahtunut, jos avustusten  
kohdentaminen olisi voitu optimoida varmis-  
tamalla hankkeen liiketaloudellinen kannat-  
tavuus kussakin tapauksessa mahdollisim-  
man pienellä julkisella tuella. Kannattaviksi  
odotetuille hankkeille avustusta ei siis olisi  
myönnetty lainkaan, kun taas kannattamat-  
tomiksi odotetuille hankkeille avustusta olisi  
voitu tarpeen mukaan lisätä niin, että ne oli-  
sivat saavuttaneet sovelletun kannattavuusra-  
jan. Kannattavuustarkastelu tapahtui sillä  
käytön tasolla, jonka aluelämpökeskusten  
odotetaan saavuttavan verkkojen lopullisessa  
laajuudessa. Investointiavustuksia olisi tuol-  
loin tarvittu kertamenona 3,7 Mmk eli 16,3  
% toteutuneita vähemmän polttopuun kor-  
juuavustusten säilyessä toteutuvaksi odote-  
tulla tasolla. Polttopuun korjuuavustusten  
tehokas kohdentaminen puolestaan tarkoita-  
isi 1,5 Mmk:n eli 35,7 %:n lisäystä toteutu-

vaksi odotettuun vuotuisen avustussummaan investointiavustusten ollessa toteutu-neella tasollaan.

Avustusten vaikuttavuus kuntien investoinneissa on siis ollut hyvä ja parempi kuin teollisuuden investoinneissa. Kuntien ulko-puolisen julkisen rahoitusosuuden lisäämistä ei kuitenkaan voitu pitää perusteltuna. Sen sijaan painopisteen muuttaminen sekä tuki-kohteiden että tukimuotojen välillä katsottiin mahdolliseksi. Tällöin voidaan rahoitustu-keen tarvittavia varoja jopa säästää ja tuen vaikuttavuutta parantaa.

### *Kunnallistaloudellinen kannattavuus*

Kunnallistaloudellista näkökulmaa sovel-lettaessa käyttökustannusten säästöihin lisä-ttiin työllisyyden nettomuutosten tuottamat oman kunnan verotulojen nettolisäykset ja kunnan metsänhoitokustannusten nettosääs-töt. Eniten nämä alensivat pienten hakelai-tosten ja vähiten suurten jätepuu- ja turvelai-tosten yksikkökäyttökustannuksia. Hakkeen hankinnan työllistävä nettovaikutus /MWh on suurempi kuin turpeen hankinnan. Teolli-suuden jätepuun hankinnan työllistävä net-tovaikutus taas on nollan suuruinen. Pienet hakelaitokset saivat jotakuinkin kaiken käyt-tämänsä hakkeen oman kunnan alueelta, kun taas aineiston suuret turvelaitokset toivat turpeen muista kunnista. Lisäksi on muistet-tava, että polttoainetta toimittavien hankin-taketjujen tuottavuus oli alhainen. Investointikustannusten erotuksesta vähennettiin vielä laitoksen rakentamisaikaiset oman kunnan verotulojen nettolisäykset.

Tästä näkökulmasta 44 % korkeintaan 1 MW:n hakelaitoksista, 45 % suuremmista hakelaitoksista, 83 % korkeintaan 2 MW:n jätepuu- ja turvelaitoksista sekä kaikki suu-remmat jätepuu- ja turvelaitokset tulkittiin kannattaviksi valinnoiksi.

### *Koko kunnan näkökulma*

Tarkasteltaessa polttoainevalintojen kan-nattavuutta koko kunnan näkökulmasta käyttökustannusten säästöjen ja kunnallista-louden nettohyötyjen summaan lisättiin vielä oman kunnan jäsenten työtulojen nettoli-säykset, metsänhoitokustannusten nettosääs-töt sekä kantorahatulojen ja turvesoiden vuokrauksesta saatavien tulojen nettolisäyk-set. Hakkeen ja jätepuun käytöstä ei katsottu

syntyneen maan tai raaka-aineen käytön vaihtoehtoiskustannuksia.

Suon käyttö turpeen tuotantoon sen sijaan aiheuttaa vaihtoehtoiskustannuksia, mutta ne oletettiin katettavan laskelmista pois jäte-tyillä varauserrillä. Lisäksi on muistettava, et-tä turpeella saattaa tulevaisuudessa olla muu-takin käyttöä tai sen arvo polttoaineena muiden uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyessä saattaa olla sen verran korkea, ettei sen polttoainekäyttö olisi ehkä vielä nykytilanteessa tarkoituksenmukaista. Tätä mah-dollisuutta ei kuitenkaan voitu ottaa laskel-missa rahamääräisenä huomioon. Rahamää-räisiksi ei ollut mahdollista muuntaa myös-kään kotimaisen polttoaineen valinnasta koi-tuvia ympäristövaikutuksia, mutta ne oletet-tiin ei-negatiivisiksi. Rakentamisaikaiset kun-nan jäsenten nettohyödyt vähennettiin inves-tointikustannuksista.

Kaikki pienet hakelaitokset, 91 % suu-remmista hakelaitoksista, 83 % pienistä jäte-puu- ja turvelaitoksista sekä kaikki suuret jä-tepuu- ja turvelaitokset tulkittiin kannatta-viksi valinnoiksi koko kunnan näkökulmas-ta. Kannattamattomiksikin tulkituissa ta-pauksissa käyttökustannusten säästöjen sekä kunnallistalouden ja kunnan jäsenten netto-hyötyjen summa oli positiivinen, mutta ta-kaisnimaksun aikavaatimus ei täyttynyt. Näis-sä tapauksissa polttoaine oli selvästi keski-määräistä kalliimpaa, yksikköinvestointikus-tannukset keskimääräisiä korkeammat ja toiminnan alkuvaiheessa käytettiin runsaasti myös raskasta polttoöljyä.

### *Valtionaloudellinen kannattavuus*

Viimeisenä osana takaisnimaksuanalyyisis-sä tarkasteltiin investointiavustuksiin käytet-tyjen varojen palautumista valtiontaloudelle työllisyys- ym. nettohyötyjen kautta. Las-kelmissa otettiin huomioon työllisyyden ko-hentumisesta koituvat verotulojen nettoli-säykset ja työttömyysturvan nettosäästöt sekä raskaan polttoöljyn hintaan sisältyvien verojen ja maksujen nettomenetykset oletta-en kuitenkin, että varmuusvarastoinnin tar-peen vähenemisen tuottamat säästöt ovat yh-tä suuret kuin varmuusvarastointimaksun menetykset.

Kannattavaksi avustuksen myöntäminen tulkittiin niissä tapauksissa, joissa avustukset 4 %:n korkoineen palautuvat valtiolle enin-tään 15 vuodessa. Avustuksista vähennettiin rakentamisaikaiset valtion nettohyödyt. Polt-

topuun korjuuavustukset oletettiin siirtymävaiheen tilapäiseksi tukimuodoksi eikä niitä siten otettu laskelmassa huomioon. Niissä tapauksissa, joissa investointi olisi vastaajan ilmoituksen mukaan toteutettu suunnitellun aikataulun mukaisesti ilman avustustakin, avustuksen myöntäminen tulkittiin valtion talouden kannalta tarpeettomana aina kannattamattomaksi.

Avustusta ei olisi tarvittu 28 %:ssa tapauksista, ja 25 %:ssa palautumisaika oli yli 15 vuotta. Toteutuneiden avustusten myöntäminen todettiin valtiontaloudellisesti kannattavaksi siis 47 %:ssa tapauksista. Eniten kannattavia tapauksia, 67 %, oli pienten hakelaitosten ryhmässä. Suuremmissa hakelaitoksissa tämä osuus oli 55 % ja pienissä jättepuu- ja turvelaitoksissa 50 %. Suurempien jättepuu- ja turvelaitosten ryhmässä avustuksen myöntäminen ei näin tarkastellen kannattanut yhdessäkään tapauksessa.

Investointiavustusten myöntämisen kannattavuutta tarkasteltiin myös toisesta näkökulmasta. Tällöin lähdettiin siitä, että valtiontaloudellisesta kannattavuudesta riippumatta riittää, kun avustettava hanke on kansantaloudellisesti kannattava ja sen kannattavuus kunnan näkökulmasta on sen verran heikko, ettei hanketta toteutettaisi tai sen toteuttaminen lykkääntyisi ilman avustusta. Tämän ehdon täytti 69 % investoinneista.

### *Kansantaloudellinen kannattavuus*

Kustannus-hyötyanalyttisessä tarkastelussa sovelletun periaatteen mukaan valinta on kansantaloudellisesti kannattava, jos sen tuottamat kansantalouden nettohyödyt ovat positiiviset, jolloin hyötyjä saavat voivat ainakin periaatteessa maksaa haittoja kärsiville täyden kompensaation ja säilyttää omat nettohyötynsä edelleen positiivisina. Hyötyjen saajat ryhmiteltiin viiteen ryhmään; alueämmön kuluttajat, oma kunta taloudenpitäjänä, oman kunnan muut jäsenet, valtiontalous sisältäen sosiaaliturvarahastot sekä muut kunnat jäsenineen. Analyysissa tarkasteltiin valintojen kullekin ryhmälle tuottamia nettohyötyjä sekä näiden summaa eli koko kansantalouden vuotuisia nettohyötyjä. Valinnoista koituvat nettohyödyt laskettiin vähentämällä kotimaista polttoainetta käyttävän laitoksen tuottamista nettohyödyistä raskasta polttoöljyä käyttävän vertailulaitoksen tuottamat nettohyödyt.

Kustannus-hyötyanalyysia varten laskettiin vuotuiset nettohyödyt saajaryhmittäin. Aluelämmön kuluttajien nettohyötyjä laskettaessa oletettiin lämmöntuotantokustannusten säästöjen investointikustannusten annuiteetilla vähennettynä siirtyvän kokonaisuudessaan aluelämmön kuluttajien hyväksi, koska kyseessä on kunnallinen liikelaitos. Kunnallistalouden, oman kunnan muiden jäsenten sekä muiden kuntien ja niiden jäsenten vuotuisiin nettohyötyihin luettiin edellä esitetyt hyötyerät. Valtiontalouden vuotuisia nettohyötyjä vähentävänä eränä otettiin huomioon investointiavustuksen annuiteetti. Muukaan otettiin myös hyödyt niistä laitoksista, jotka eivät avustusta tarvitse. Kansantalouden vuotuiset nettohyödyt ovat yhtä kuin eri hyödynsaajaryhmien vuotuisien nettohyötyjen summa. Polttoainevalinta on tällöin kansantaloudellisesti kannattava, jos summa on positiivinen.

Jos kunnat olisivat kotimaisen polttoaineen sijasta valinneet raskaan polttoöljyn aineiston aluelämpökeseuksissa käytettäväksi, kansantalous olisi menettänyt verkkojen rakentamisaikana 18,1 Mmk:n ja verkkojen valmistuttua 29,0 Mmk:n vuotuiset nettohyödyt muiden kansantalouksien hyväksi. Vain yksi laitos todettiin kansantaloudellisesti kannattamattomaksi. Tässä yli 1 MW:n hakelaitoksessa kalliista polttoaineesta, korkeista investointikustannuksista ja ylimitoituksesta johtuvat aluelämmön kuluttajien tappiot ovat niin suuret, etteivät muut kansantalouden nettohyödyt riitä niitä kattamaan.

Polttoainevalinnoista eri ryhmille koituvat keskimääräiset vuotuiset nettohyödyt tuotettua lämpöyksikköä kohti vuoden 1982 hintatasolla esitetään taulukossa 14. Keskimääräisessä tapauksessa hakelaitos tuottaa aluelämmön kuluttajille tappiota mutta muille hyödynsaajaryhmille positiivisia nettohyötyjä. Laitoksen tehon ja ennen kaikkea käytön tehokkuuden kasvaessa kuluttajien asema paranee. Suuri jättepuu- tai turvelaitos tuottaa puolestaan valtiontaloudelle tappiota mutta muille hyödynsaajaryhmille positiivisia nettohyötyjä.

Tutkimuksessa kartoitettiin vielä keinoja, joilla voitaisiin huolehtia siitä, että myös käytännössä kaikkien hyödynsaajaryhmien nettohyödyt ovat ei-negatiiviset ja vähintään yhden ryhmän nettohyödyt positiiviset.

Niissä tapauksissa, joissa kunnallistaloudelliset nettohyödyt ovat itseisarvoltaan yhtä

Taulukko 14. Polttoainevalinnoista kansantaloudelle koituvat keskimääräiset vuotuiset nettohyödyt tuotettua lämpöyksikköä kohti hyödynsaajaryhmän, pääpolttoaineen ja kokonaistehon mukaan.

Pääpolttoaine	Teho, MW	Laitoksia kpl	Aluelämmön kuluttajat	Hyödyn saaja			Yhteensä
				Oma kunta ja sen muut jäsenet	Valtion-talous	Muut kunnat ja niiden jäsenet	
Nettohyödyt, mk/MWh							
Verkkojen rakentamisaikana							
Hake	≤ 1	9	- 34,60	+ 77,80	+ 19,60	+ 0,40	+ 63,20
Hake	> 1	11	- 23,60	+ 46,00	+ 3,80	+ 4,20	+ 30,40
Muu	≤ 2	6	+ 3,80	+ 16,60	+ 2,00	+ 2,10	+ 24,50
Muu	> 2	6	+ 29,70	+ 8,10	- 2,50	+ 5,00	+ 40,30
Kaikki		32	- 11,50	+ 42,40	+ 6,70	+ 2,90	+ 40,50
Verkkojen valmistuttua							
Hake	≤ 1	9	- 11,10	+ 77,20	+ 20,60	+ 0,50	+ 87,20
Hake	> 1	11	- 6,70	+ 58,20	+ 8,20	+ 5,70	+ 65,40
Muu	≤ 2	6	+ 25,50	+ 12,70	+ 0,80	+ 3,90	+ 42,90
Muu	> 2	5	+ 41,20	+ 5,70	- 3,60	+ 6,00	+ 49,30
Kaikki		31	+ 6,00	+ 46,40	+ 8,50	+ 3,90	+ 64,80

suuret tai suuremmat kuin aluelämmön kuluttajien tappioiden itseisarvo, aluelämmön kuluttajien tappiot voidaan korottaa nollan suuruiseksi jo kunnan sisällä perimällä lämmöstä tuotantokustannusten edellyttämä alempi hinta. Erotus voidaan maksaa kunnallistaloudellisista nettohyödyistä. Kunnan muiden jäsenten nettohyödyt pysyvät edelleen positiivisina, joten valinta on myös kansantaloudellisesti perusteltua ellei valtiontaloudelle koidu tappioita. Elleivät kunnallistaloudelliset nettohyödyt riitä täyden kompensoinnin maksamiseen, on ainoa kunnan sisäinen mahdollisuus jo toimivissa laitoksissa pyrkiä alentamaan lämmöntuotantokustannuksia etenkin suurinta komponenttia eli polttoainekustannuksia alentamalla. Uutta laitosta suunniteltaessa on myös tärkeää kiinnittää huomiota mitoitukseen, sillä tutkimuksessa todettiin ylimitoitusta esiintyvän yleisesti.

Tietoa avustusten vaikuttavuudesta voidaan käyttää hyväksi uusia laitoksia suunniteltaessa. Avustuksia voidaan myöntää vähemmän niille hankkeille, joiden nykykäytännön mukaisilla avustuksilla odotetaan tuottavan aluelämmön kuluttajille positiivisia nettohyödyitä mutta valtiontaloudelle tappioita. Tämä mahdollistaa toisaalta avustusten lisäämisen niille hankkeille, joiden odotetaan tuottavan aluelämmön kuluttajille tappiota mutta valtiontaloudelle positiivisia nettohyödyitä. Myös aineistoon kuuluneet kunnat nä-

kevät painopisteen muuttamisen mahdolliseksi sekä tukimuotojen että tukikohteiden välillä tuen vaikuttavuuden siitä kärsimättä (Toropainen 1984a). Tuloksia hyödynnettäessä tulee muistaa seuraavat yleistämistä koskevat varaukset:

- Tulokset koskevat kuntien pääasiassa pienehköjä aluelämpöinvestointeja. Kehitettyä kannattavuuden laskentamallia voidaan tosin soveltaa suunniteltaessa ja tarkkailtaessa muitakin energiainvestointeja.
- Aineisto oli lukumääräisesti pieni.
- Kotimaisten polttoaineiden käyttöä lisäävistä investoinneista aloitetaan ensiksi suurimpien ja kannattavimpien toteuttaminen.
- Investointien kannattavuus muuttuu suhteellisten hintojen muuttuessa. Ei ole syytä olettaa, että polttoaineiden hintasuhteet pysyisivät vakioina. Myös kotimaisten polttoaineiden korjuu- ja käyttötekniikka sekä hankintaorganisaatiot kehittyvät.
- Tutkimuksessa tarkasteltiin kotimaisten polttoaineiden valinnan kannattavuutta verrattuna raskaaseen polttoöljyyn. Eri kotimaisia polttoaineita ei verrattu toisiinsa eikä aluelämmitystä kiinteistökohtaiseen järjestelmään.
- Tutkimus perustui laitosten ensimmäisiin, monesti ongelmallisiin käyttövuosiin. On syytä tarkastella samojen laitosten tilannetta uudelleen esimerkiksi 4–5 vuoden kuluttua käyttöönotosta.
- Kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymiselle on olemassa määrällisten, teknisten ja taloudellisten tekijöiden määräämä, ajassa ja paikassa liukuva yläraja.

Monia tärkeitä kysymyksiä on vielä vastausta vailla. Edellä viitattiin siihen, että joillakin alueilla saatetaan jo lähestyä hakepuun hankintakustannuksia nostavaa saatavuusra-

jaa. On siis kehitettävä menetelmät, joiden avulla voidaan luotettavasti ja helposti arvioida tiettyjen hintasuhteiden ja tietyn tekniikan tason vallitessa taloudellisesti saatavissa olevat kotimaisten polttoaineiden määrät

alueittain ja polttoaineittain. Energiaa koskevat valinnat vaikuttavat myös aluetalouteen, ja energiapolitiittiset toimenpiteet ovat myös alue- ja työvoimapolitiittisia.

## 7. TUTKIMUKSEN JATKOTARVE VUOSINA 1986—1990

Pien- ja jätetuun energiakäyttö on saavuttanut pysyvän aseman maamme metsä- ja puutaloudessa. Sekä energiaomavaraisuutemme lisäämisen että metsänhoidollisten syitten vuoksi on välttämätöntä, että sitä edistävä ja tukeva tutkimustyö voi vastaisuudessa jatkua suhdanteista ja energian hintakehityksen heilahteluista riippumatta.

Energiatutkimuksen rahoitusta lisättiin viime vuosikymmenen lopulla, ja sen painotusta siirrettiin energiapolitiikkamme tavoitteiden mukaisesti kotimaisiin polttoaineisiin. Kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuuteen perustettiin lähinnä puu- ja turvepolttoaineiden käytön ja polttoturpeen tuotannon tutkimista varten Jyväskylään Kotimaisten polttoaineiden laboratorio, jossa tutkimuksen häiriötön jatkuvuus on turvattu. Polttopuun tuotannon osalta tutkimus on sen sijaan keskitetty paljolta maa- ja metsätalousministeriön alaisuuteen ensisijaisesti Metsäntutkimuslaitokseen, missä se aiheen pitkäjänteisyydestä huolimatta tapahtuu projektiluonteisena.

### 71. Osaprojekti A: Olemassa olevien energiapuureservien hyödyntäminen

Olemassa olevien pien- ja jätetuureserviemme hyödyntämiseen tähtäävät PERA-projektin tekniset, taloudelliset ja ekologiset tutkimukset edistävät paitsi puun energiakäyttöä samanaikaisesti myös pienpuun hyödyntämistä metsäteollisuuden jalostustarkoituksiin, puun korjuumenetelmien yleistä kehittämistä sekä metsänhoito-ohjelmiamme toteuttamista. Lähivuosien tutkimus- ja kehitysohjelma on tarkoitettu edistämään myös

nuorten metsien hoitoa, vajaatuoitoisten lehtipuuvaltaisten metsiköitten uudistamista ja ojitettujen turvemaitten ensiharvennuksia. Näin se palvelee myös vastikään valmistunutta Metsä 2000 -ohjelmaa, jossa huonolaatuisen lehtipuun ja metsätähteen käytön lisäämistä pidetään puuntuotantotavoitteiden saavuttamisen kannalta hyvin tärkeänä. Osaprojektin tutkimuksilla on myös työllisyyspoliittinen merkitys, sillä esimerkiksi lämpölaitosten metsähakkeen käyttö loi vuonna 1982 jo 565 metsäpään vuosityöpaikkaa ja sai samalla ilman lisäkustannuksia aikaan nuorten metsien perkauksen tai harvennuksen noin 10 000 ha:n alalla. Polttopuureserviemme käyttöönottoon tähtäävä tutkimus kytkeytyy siis läheisesti muuhun teknis-taloudelliseen metsäntutkimukseen, ja tarve sen jatkumisesta pitkäjänteisenä myös Metsäntutkimuslaitoksessa on ilmeinen.

Vuosien 1986—1990 *korjuututkimusten* tavoitteeksi asetetaan edelleen markkinakelvottoman biomassan talteenoton tehostaminen, korjuutyön keventäminen ja sen tuottavuuden lisääminen, polttohakkeen hankintakustannusten alentaminen, puun polttoaineominaisuuksien parantaminen sekä samalla kotimaisen metsäkoneteollisuuden edistäminen. Projektia jatkettaessa tulee Metsä 2000 ohjelman suositusten mukaisesti kiinnittää lisääntyvää huomiota myös korjuumenetelmien ekologiseen kelpoisuuteen, kuten suometsien harvennuksiin soveltuviin kone- ja menetelmäratkaisuihin sekä kokopuunakorjuuseen liittyviin ravinnemenetyksiin. Esi-merkkeinä ajankohtaisesta tutkimustarpeesta ovat seuraavat aiheet.

— Talteen saatavan oksabiomassan määrän leimikoittainen arviointi erilaisille korjuuketju- ja karsinta-

vaihtoehdolle esimerkiksi kokopuuhaketus- tai osapuunmenetelmiä käytettäessä. Tietoja tarvitaan puutavaran hinnoittelussa ja mittauksessa sekä toisaalta ravinnetappioiden selvittämiseksi uusia menetelmiä kehitettäessä ja käyttöön otettaessa.

- Pienpuun kuljetusmenetelmien kehittäminen erityisesti ojitusalueitten nuorissa harvennusmetsissä, joitten koivuvaltainen puusato on huomattavalta osaltaan pienikokoista energiapuuta. Tutkimuskohteita ovat suometsien korjuuteknisten olosuhteitten kartoittaminen sekä ympärivuotiseen toimintaan soveltuvien, pintapaineeltaan kevyitten telamaastureitten ja muitten ajoneuvojen laite- ja työmenetelmäkehittäminen.
- Rangan ja kokopuun haketusmenetelmien kehittäminen sekä isännänlinjan että järeämmän linjan toimintoja varten. Kehitystavoitteita ovat esimerkiksi toimintavarmuuden parantaminen syöttöongelmia vähentämällä, hakkurin peruskoneeseen kohdistuvan rasituksen keventäminen, työn ergonominen helpottaminen pöly-, melu- ja heiluntaongelmia poistamalla sekä hakkeen laadun parantaminen. Eräänä kehitysvaihtoehtona tavanomaisen hienohakkeen rinnalla on karkeampi palahake.
- Avohakkuualueitten oksatähteen hyödyntäminen. Jotta hakkuutähdettä voitaisiin metsäteollisuuden suurien voimaloitten lisäksi hyödyntää myös alue- lämpölaitosten polttoaineena, nykyisten järeitten hakkuutähddehakkureitten ja -murskaimien rinnalle tulee kehittää myös kevyempää kalustoa kiinnittäen erityistä huomiota tuotteen poltto- ja käsittelyominaisuuksien yleiseen parantamiseen. Jotta hakkuutähteitten talteenotto kävisi monitoimikonetyömaitten lisäksi mahdolliseksi myös moottorisahatyömailla, tulee kehittää menetelmiä levälleen jääneitten hakkuutähteitten kasaamiseksi metsätraktori- kuljetusta silmällä pitäen.
- Kanto- ja juuripuun korjuumenetelmien kehittäminen rinnakkaista poltto- ja kuitukäyttöä varten. Keskeinen kehityskohde on raaka-aineen paloittelu ja alustava puhdistaminen väliarastolla ennen kaukokuljetusta, jotta kannattava hankintatoiminta voitaisiin ulottaa mahdollisimman laajalle alueelle käyttöpiirteen ympärillä.
- Harvennusleimikoitten kuitupuun korjuuseen tarkoitettun osapuunmenetelmän kehittäminen kuituraaka-aineen ja energiapuun samanaikaiseksi talteenottamiseksi massateollisuuden tarpeisiin. Kehityskohteita ovat ennen kaikkea karsimattoman puutavaran lähi- ja kaukokuljetus sekä mittaus.
- Polttohakkeen laadun parantaminen lämpöarvon, lämmityksen hyötysuhteen sekä käsittelylaitteitten toimintavarmuuden parantamiseksi. Tutkimuskohteita ovat esimerkiksi polttohakepuun ja hakkeen kuivattaminen sekä hakkeen palakokojakauden ja kuutiometripainojen tasottaminen hakkureita ja siirrettäviä seuralaitteita kehittämällä.
- Metsähakkeen lajittelemenetelmien kehittäminen käyttöpaikalla tai keskusasemalla sijaitsevilla seulonta- tai muilla laitteilla kuituraaka-aineeksi soveltuvan hakejakeen erottamiseksi heikkolaatuisemmasta polttojakeesta.

*Tehostetusta biomassan talteenotosta metsäekosysteemille aiheutuvien seurannaisvaikutusten tutkiminen* on ollut toistaiseksi riittämätöntä ja lyhytjänteistä. Kokopuunakorjuun vaikutusta ensiharvennusmetsiköissä sel-

vitellään yhteispohjoismaisena hankkeena, mutta kenttäkoeaineisto ei ole läheskään riittävä maanperän viljavuusongelmien sekä metsätuho- ja tuotoskysymysten selvittämiseksi, vaan pitkäaikaista seuranta- edellyttäviä kokeita tulee perustaa lisää. Samoin myös päätehakkuualan biomassatähteen korjuuta tulisi selvittää viljavuus-, tuho- ja uudistustekijöiden, puuntuotoksen sekä metsän muihin käyttömuotoihin liittyvien seurannaisvaikutusten osalta.

Ekologisten vaikutusten tutkimisessa tarvittavien metsikkömittausten kokeiden perustaminen vaatii huomattavan rahoituksen. Tästä syystä eri osatekijöiden tutkiminen tulisi perustua yhteisille koekentille, joilla voitaisiin käyttää hyväksi samoja perusmittauksia. Tällainen järjestely edistäisi myös osaongelmien syy-seuraussuhteiden selvittämistä ja helpottaisi synteesin tekemistä osatuloksista.

Mahdollisuudet *taloudellisten tutkimusten* tekemiseen ovat 1980-luvun jälkipuoliskolla paremmat kuin aikaisemmin. Usean vuoden mittainen kokeilu- ja sisäänajovaihe on näet päättynyt monilla lämpölaitoksilla, ja toiminta on vakiintunut. Keskeisiä tutkimuskohteita ovat seuraavat.

- Kokemuksia kotimaisten polttoaineitten käyttöön liittyvistä investoinneista voidaan hyödyntää lähivuosina entistä tehokkaammin esimerkiksi erityyppisten hankkeitten kannattavuutta vertailtaessa, puun energiakäytön pysyvyyttä arvioitaessa sekä aluetaloudellisia kehitysvaihtoehtoja tutkittaessa.
- Energiapuun hankinnan osalta tulee teknisen kone- ja menetelmäkehittelyn lisäksi panostaa myös taloudellisiin selvityksiin. Osa- ja kokopuunmenetelmien yleistyessä tarvitaan tutkimuksia erilaisten biomassalähteitten käyttöpotentiaalista ja edullisimmasta käytötavasta puuraaka-aineen ja energialajien hintojen vaihdella. Tarkastelukulmana voi olla yrityksen sisäinen optimointi energia- ja jalostuskäytön välillä tai optimointi metsäteollisuuden ja energian tuottajien välillä.
- Jatkotutkimuksissa tulee myös selvittää lämpölaitosten polttopuun käytön lisääntymisen vaikutusta korjuukohteiden ja -kustannusten ajalliseen muutokseen. Tarkastelu tulisi tehdä markkinahintaisella työvoimalla ja koneilla korjattavan polttopuun hankintakustannusten ja polttopuuta käyttävien lämpölaitosten kannattavuuden ajallisten muutosten perusteella. Lisäksi tulisi selvittää vaihtoehtoiskustannusten hinnoittelun mahdollisuuksia ja vaikutuksia polttopuun hankintakustannuksiin.
- Energiapuun hakkuiden vakiinnuttua erällä alueilla voidaan käynnistää energiapuun toimittajien hakuikäyttyymiseen ja energiapuun saatavuuden alueellisiin eroihin liittyviä tutkimuksia.
- Tutkimuksia energiapuun hankinnan taloudellisesta merkityksestä metsänkasvatukseen ja käytön kannalta tulee jatkaa koko kasvatus-, hankinta- ja käyttöketjun kannattavuuden selvittämiseksi muuttuvissa olosuhteissa.

## 72. Osaprojekti B: Luonnonvesakot

*Vesametsäkasvatukseen* soveltuvaksi kokonaisalaksi on PERA-projektissa arvioitu 370 000 ha. Käytettäessä 12—20 vuoden kiertoaikojä voitanee päästä keskimäärin 4 t/ha/a kuiva-ainetuotokseen, jolloin kysymyksessä oleva maa-ala voisi tuottaa vuosittain 0,7 Mtoe vastaavan määrän biomassaa. Luontaisesti syntyneen lehtipuutiheikön kasvattaminen energiapuuksi saattaa olla kannattava vaihtoehto, jos lähistöllä on puuta energiatuotannossa käyttäviä laitoksia.

Kaiken lyhytkiertoisien puunkasvatuksen keskeinen tekijä on vesomisilmio, jonka tutkimus PERA-projektissa on ollut toistaiseksi lähinnä peruskysymysten kartoittamista. Jatkok tutkimusten tavoitteena on selvittää vesomisilmiötä morfologisten, fysiologisten ja ekologisten tekijöiden avulla. Tältä pohjalta pyritään etsimään keinoja vesomiskyvyn säilyttämiseksi vielä useiden kiertoaikojen jälkeen. Ohjelma auttaa epäsuorasti myös perinteistä metsänhoitoa etsittäessä keinoja vesomisen torjumiseksi.

Vesametsätutkimuksissa tulee ensisijaisesti saattaa päätökseen laajat kenttäkokeet, joista saadaan tietoa siemen- ja vesasyntyisten lehtipuun kasvatuksesta ja tuotoksesta sekä niihin vaikuttavista riskitekijöistä. Esimerkiksi puuston kasvutekijät, puulajidynamiikka sekä mittausmenetelmät vaativat perinteiseen metsäntutkimukseen nähden huomattavia lisäselvityksiä, kun tavoitteeksi asetetaan tuottaa mahdollisimman paljon biomassaa lyhyehköllä kiertoaikalla.

Luotettavien ja yleistämiskelpoisten taloudellisten selvitysten tekeminen on mahdollista vasta, kun vesametsäkasvatuksen kustannukset ja tuotokset voidaan tarkkaan arvioida. Vesametsien korjuun erityiskysymykset eivät ole ajankohtaisia vuosien 1986—1990 ohjelmakaudella.

*Energiapuun tuottaminen ainespuun kasvatuksen yhteydessä* kohottamalla taimikon kasvatustiheyttä tai suosimalla lehtipuusekoitusta havupuun kasvatuksen alkuvaiheissa mahdollistaa metsämaan puuntuotuskyvyn entistä tehokkaamman hyödyntämisen. Esimerkiksi nostamalla mustikkatyypin männikön kasvatustiheyttä 1 700 taimesta 5 000 taimen kohoaa runkopuun tuotos ensiharvennukseen mennessä Etelä-Suomessa keskimäärin 60 m<sup>3</sup>/ha ja Pohjois-Suomessa ehkä puolet siitä. Korkeasta kasvatustiheydestä aiheutuva puuston järeytymisen hidas-

tuminen saataneen takaisin tukkipuun korkean laadun ansiosta.

Havupuutaimikon ja lehtipuusekoituksen optimitiheyden löytäminen sahapuun laadun ja energiapuun tuotoksen kannalta edellyttää eri uudistamistavoilla ja maankäsittelymenetelmillä syntyvien taimitiheyksien ja kustannusten selvittämisen lisäksi myös runsaasti ekologista tutkimusta.

## 73. Osaprojekti C: Energiaviljelmät

Energiapuun tuottaminen viljelmillä on PERA-projektin tutkimuskohteista pitkäjänteisin. Lyhytkiertoinen energiapuuviljely on kaikkialla maailmassa vasta tutkimusvaiheessa, joten yleistämiskelpoisten tulosten saaminen käytännön viljelmiltä edellyttää vielä runsaasti tutkimusta.

Energiapuuviljelyyn mahdollisesti soveltuvilla kasvupaikoilla on etenkin perustamisvaiheessa omat erityisongelmansa. Esimerkiksi rikkakasvien torjunnasta maataloustuotannosta pois jätetyllä pellolla on niukasti tutkimustietoa, ja entisten turvetuotantoalojen jäljelle jääneeseen turvekerrokseen sitoutuneen orgaanisen tyypin saattaminen kasveille käyttökelpoiseen muotoon on avainkysymys turvemaidella.

Energiaviljelmillä tutkittujen puulajien valinta on toistaiseksi määräänyt lähinnä materiaalin saatavuuden perusteella. Jatko-ohjelman tärkeimpiä tehtäviä ovat eri kasvupaikoille sopivien puulajien löytäminen tai kehittäminen sekä oikeiden kasvatustiheyksien, hoitotoimenpiteiden ja tuottoisimpien kiertoaikojen selvittäminen. Nykyisten puulajien rinnalla kokeiltaviksi tulee tuottaa nopeakasvuisten ulkomaisten ja kestävien kotimaisten pajukloonien risteytysyhdistelmiä. Lisämateriaalia risteytyksiin on syytä hankkia myös ulkomailta. Aloitettuja selvityksiä koivujen, leppien ja pajujen kestävydestä, tuotoksesta, ravinnetarpeesta ja vesitaloudesta eri kasvupaikoilla maamme eri osissa tulee jatkaa ja syventää. Tutkimuksissa on syytä varautua viime vuosina ilmenneisiin bioottisiin tuhoihin ja niiden torjumiseen.

Energiapuuviljelmien tuottaman polttoaineen korjuu ja käyttö eivät tule ajankohtaisiksi niin läheisessä tulevaisuudessa, että niiden tutkimiseen olisi merkittävää tarvetta 1980-luvun jälkipuoliskolla.



tettu luontaisten lehtipuustojen kasvatuksen tutkimiseksi ja yksi neljännes on viljelty nopeakasvuilla lehtipuilla.

### *Olemassa olevat energiapuureservit*

Teknisesti korjuukelpoisen pienpuun ja metsätähteen muodostama polttopuupotentiaali on 15,2 milj. m<sup>3</sup>/a. Tämä potentiaali koostuu hakkuutähteestä, kanto- ja juuri-puusta sekä taimikoiden, ensiharvennusmet-sien ja vajaatuoittoisten lehtipuumetsien pien-puusta. Vuonna 1982 metsähaketta käytettiin polttoaineena 0,6 milj. m<sup>3</sup> ja metsäteollisuuden raaka-aineena 0,1 milj. m<sup>3</sup>. Metsähakkeen hankinta on luonut noin 600 uutta metsäpään vuosityöpaikkaa.

Metsähakelajien kustannukset käyttöpai-kalle toimitettuna vaihtelivat vuoden 1982 tasossa välillä 48—110 mk/MWh hakkuutähdehakkeen ollessa halvinta ja rankahakkeen kalleinta. Teollisuuden puujätteiden energiainnat asetuttavat mainitun vaihteluvälin alarajan tuntumaan.

Polttopuun korjuututkimuksissa selvitel-lään korjuun tekniikkaa, tuottavuutta, hakkeen mittausta, metsähakkeen ominaisuuksia, hakkeen laadun parantamismahdollisuuksia ja hankintakustannusten muodostumista. Projekti on osallistunut korjuumenetelmien ja -koneiden sekä tuhkan luonnon kiertoon palauttamisen menetelmien kehittämiseen.

Vuosina 1980—1983 toteutetut energiain-vestoinnit mahdollistavat kotimaisten poltto-aineiden käytön lisäämisen 14 TWh/a, josta teollisuuden puujätteiden ja metsähakkeen osuudeksi on suunniteltu 36 %. Puun käyttö lisääntyy lähinnä perinteisillä aloilla metsäteollisuudessa ja maataloilla sekä uutena käyttöalueena keskitetyssä lämmöntuotannossa. Energiapoliittinen tuki on selvästi edistänyt puun energiakäytön kasvua ja parantanut hankkeiden kannattavuutta investoijan kan-nalta. Aluelämpölaitoksille annettu tuki on osoittautunut useimmiten perustelluksi myös laajemmasta kunnallistaloudellisesta, koko kunnan, valtiontalouden tai koko kansanta-louden näkökulmasta. Tuen kohdentamises-sa ja käytettävissä tukimuodoissa on edelleen kehittämismahdollisuuksia sekä energiapoliitiikan tavoitteiden että investoijien kannalta.

Pienpuun ja metsätähteen talteenotolla on myös metsänhoidollisia tavoitteita, kuten va-jaatuoittoisten lehtipuumetsien uudistaminen, nuoren metsikön puulajikehityksen ohjaami-

nen ja kasvutilan turvaaminen tai päätehak-kuun jälkeen uuden puusukupolven syntymisen edistäminen. Kokopuukorjuu näyttää toisaalta alentavan lievästi ensiharvennus-metsiköiden kasvua harvennuksen jälkeisellä 5-vuotiskaudella. Päätehakuumetsiköissä ty-pen, fosforin, kaliumin ja kalsiumin menetys kokopuun korjuussa on 1,5—5-kertainen pe-rinteiseen puunkorjuuseen verrattuna, mikäli puubiomassa poistetaan metsästä täydellises-ti. Ravinnetaloutta tarkasteltaessa on toisaal-ta otettava huomioon myös huuhtoutumisen vaikutus, joka saattaa tasoitaa korjuumenetelmien välisiä eroja. Puubiomassan talteen-oton pitkäaikaisvaikutukset ravinnetalou-teen, puun tuotokseen sekä sieni- ja hyönteis-tuhoihin tunnetaan vielä heikosti.

### *Luonnonvesakot*

Vesametsien tuotantoon soveltuvat alueet ovat viljavuudeltaan keskitasoa, kosteahkoja, usein pienialaisia pääosin hieskoivun vallit-semia metsiköitä. Koivun tuotokseksi on ko-keissa mitattu oksat mukaan lukien 3—5 t/ha/a kuiva-ainetta (6—10 m<sup>3</sup>/ha/a) 12—20 vuoden kiertoajalla. Kuivamassan tuotos kulminoituu 12—15 vuoden iällä. Yleisesti ottaen näyttää suurin tuotos saavutettavan metsiköissä, joissa elävien puiden runkoluku on yli 25 000 kpl/ha, pohjapinta-ala 30 m<sup>2</sup>/ha, keskiläpimitta 4—6 cm ja keskipituus 6—8 m.

Vesametsätutkimus on toistaiseksi keskit-tynyt vesomiseen vaikuttavien tekijöiden sel-vittämiseen, mikä edellyttää biologista perus-tutkimusta. Vesojen morfologia, vesitalous ja kasvurytmi poikkeavat siemensyntyisistä puista. Vesomiskyky heikkenee puun iän ja koon kasvaessa ollen koivulla parhaimmillaan kan-non läpimittaluokassa 3—10 cm. Vaihtelu on kuitenkin laajaa. Vesa- ja siemensyntyisten taimien lukumäärä saattaa alussa olla jopa yli 250 000 kpl/ha väheten voimakkaan itseharvenemisen johdosta nopeasti. Runkoluku 15—20 vuoden iässä on kokeissa ollut 5 000—45 000 kpl/ha ja pohjapinta-ala yli 20 m<sup>2</sup>/ha.

Ravinne menetysten minimoimiseksi vesa-metsien kokopuukorjuu tulisi tehdä lehdet-tömänä aikana. Mikäli lyhytkiertoinen vesa-metsä kasvatetaan polttopuuksi, sitä ei ole syytä harventaa. Vesametsien tuhoista yleisimpiä ovat jänis- ja hirvituhot sekä koivun-ruoste.

Vesametsäkasvatuksen liiketaloudellisen edullisuuden vertaamista perinteiseen puunkasvatukseen vaikeuttaa tuotos-, kustannus- ja hinta-aineiston suppeus. Alustavien laskelmien valossa vesametsäkasvatus jäänee marginaaliseksi maankäyttömuodoksi, johon toistaiseksi liittyy institutionaalisiaakin rajoituksia.

### *Energiaviljelmät*

Energiaviljelmien tutkimuksessa on keskitetty pääasiassa koti- ja ulkomaisen pajumateriaalin testaamiseen ja valintaan jatkojalostukseen kloonien biomassatuotosta, teknologiaa ja tuhoalltiutta tarkastelemalla. Risteytysjalostuksella ja uusien hybridien kokeilulla pyritään parantamaan pajujen kasvua, laatua ja kestävyyttä.

Energiaviljelmän kasvupaikan tulee olla viljava, hyvin vettä läpäisevä ja ravinteita sisältävä sekä maan pH-arvon tulee olla korkea. Lisäksi viljelmien koneellinen perustaminen, hoito ja korjuu edellyttävät edullista sijaintia, maanpinnan tasaisuutta ja vähäivisyyttä. Korkeat vaatimukset rajaavat voimakkaasti potentiaalista pinta-alaa; lähinnä kyseeseen tulee osa entisistä turpeentuotantolueista ja pelloista.

Viljelmää perustettaessa maan fysikaalisia ominaisuuksia parannetaan muokkaamalla. Perustettaessa on edullisinta käyttää juurruttamattomia pistokkaita, joita varten PERA-projektissa on kehitetty istutuskone. Varsinkin vanhoilla pelloilla on tehokas rikkakasvien torjunta perustamisen yhteydessä tarpeen. Herbisidien käyttö viljelmillä jää kuitenkin vähäisemmäksi pinta-alayksikköä kohti kuin maataloudessa. Turvemaiilla kalkitus tai tuhkalannoitus ovat yleensä tarpeen ennen istutusta. Kasvatusvaiheessa lannoitus-tarve on viljelmillä moninkertainen tavanomaiseen puunkasvatukseen verrattuna etenkin turvemaiilla. Kivennäismaiden energiaviljelmillä on tutkittu harmaalepän ravinnetarvetta ja typen sidontaprosessia.

Kiertoaikaa ja tuotosta on selvitelty sekä viljelykoealojen että kirjallisuuden perusteella. Kiertoaikaan vaikuttavat erot pajukloonien talvenkestävyydessä. Yhden vuoden kiertoajalla kuiva-ainetuotos on pienillä koealoilla vaihdellut välillä 0,4—2,5 kg/m<sup>2</sup>/a, ellei tuhoja ole sattunut. Kiertoaajan määrittelyssä on keskeistä myös lajikkeiden vesomiskyky. Viljelmiin liittyvien eläin- ja sienituho-

jen riskeistä on toistaiseksi niukasti tietoa toiminnan pienimuotoisuudesta ja lyhyestä koeajasta johtuen. Suurimmat tuhot ovat tähän asti olleet hallan aiheuttamia.

Viljelyn liiketaloudellisen edullisuuden arviointi on yleistettävällä tasolla vielä vaikeaa tuotokseen sekä tuotantopanosten ja tuotteen hintaan liittyvän epävarmuuden vuoksi. Viljelmien korkeat kasvupaikkavaatimukset ja tuotannon harjoittamisen korkea pääoma-tarve yhdessä tuottoihin liittyvän riskin kanssa kuitenkin ovat voimakkaita yleistymisen rajoitteita.

### *Tutkimusten jatkotarve*

Koska energiapolitiikka ja sitä tukeva tutkimus ovat luonteeltaan pitkäjänteisiä, energiapuun tuotannon tutkimisen jatkuvuus tulee voida turvata polttoaineiden hintakehi-tyksestä riippumatta, niin kuin jatkuvuus on turvattu myös kauppa- ja teollisuusministeriön alaisissa kotimaisten polttoaineiden tutkimuksen lohkoissa sekä toisaalta esimerkiksi Ruotsin paljon laajemmista polttopuun tuotannon tutkimuksissa.

Raportissa esitetään tutkimusten jatkotarve osaprojekteittain vuosille 1986—1990. Osaprojektin A korjuututkimusten tavoitteena on puubiomassan talteenoton tehostaminen, korjuutyön keventäminen ja tuottavuuden parantaminen, metsähakkeen hankintakustannusten alentaminen, puun polttoaine-ominaisuuksien parantaminen sekä kotimaisen metsäkoneteollisuuden edistäminen. Tehostetun puubiomassan talteenoton vaikutuksia metsäekosysteemiin tutkitaan sekä kokopuuna tapahtuvan korjuun että pääte-hakkuiden metsätähteen osalta. Näillä tutkimuksilla selvitetään kokopuunkäytön vai- kutuksia maaperän viljavuuteen, puun tuotokseen, metsän uudistamiseen, metsätuhoihin ja metsän muihin käyttömuotoihin. Lähivuosien tutkimusohjelmassa on tärkeä sija myös ojitusalueitten pienpuuvaltaisten harvennismetsien puunkorjuumenetelmien kehittämällä. Osaprojektin A taloudellisista tutkimuksista keskeisiä tutkimusaiheita ovat puun energiakäyttöinvestointien kannattavuus, aluetaloudelliset kehitysvaikutukset, metsähakkeen edullisimmat käyttömuodot, metsähakkeen hankinnan talous ja polttopuun toimittajien hakkuukäyttäytyminen. Osaprojekti A palvelee näin myös vastikään valmistunutta Metsä 2000-ohjelmaa.

Osaprojektin B jatkotutkimuksissa pyritään selvittämään vesomisilmiötä morfologisten, fysiologisten ja ekologisten tekijöiden avulla. Tältä pohjalta pyritään etsimään keinoja vesomiskyvyn säilyttämiseksi, mutta ohjelma auttaa toisaalta epäsuorasti myös perinteistä metsänhoitoa vesomisen torjunnan tutkimisessa. Jatko-ohjelmassa on tavoitteena tutkia myös sahatukkien laadun parantamisen ja polttopuun tuotannon lisäämisen yhteensovittamista nykyistä tiheämpien taimiston kasvatusasentojen avulla. Tärkeätä on saattaa päätökseen laajat kenttäkokeet, joista saadaan tietoa siemen- ja vesasyntyisten lehtipuumetsien kehityksestä ja tuotoksesta sekä kasvatuksen riskitekijöistä. Samalla vesametsien taloudellisen tutkimuksen

edellytykset paranevat.

Osaprojektin C jatko-ohjelman tärkeimpiä tehtäviä ovat eri kasvupaikoille sopivien lyhytkiertopuulajien löytäminen tai kehittäminen sekä kasvatustiheyksien, hoitotoimenpiteiden ja kiertoaikojen selvittäminen. Nykyisten puulajien rinnalla tulisi voida kokeilla nopeakasvuisten ulkomaisten ja kestävien kotimaisten pajukloonien risteytysyhdistelmiä. Koivujen, leppien ja pajujen kestävyyttä, tuotosta, ravinnetarvetta ja vesitaloutta eri kasvupaikoilla ja maamme eri osissa selvittävien kenttäkokeitten loppuun saattaminen tulee turvata. Tutkimuksissa tulee varautua viime vuosina ilmenneisiin biottiin tuhoihin ja niiden torjumiseen.

## KIRJALLISUUS

### PERA-projektin tutkimusjulkaisut

- Bhat, K.M., Ferm, A. & Kärkkäinen, M. 1981. On the properties of one-year shoots of *Betula pubescens* Ehrh. and *Salix* spp. Seloste: Hieskoivun ja pajun yksivuotisten vesojen ominaisuuksista. *Silva Fenn.* 15(1):18—22.
- Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassassa ja tekniset ominaisuudet. Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500:1—37.
- Eeronheimo, O. 1981. Metsähakkeen hankinta ja käyttö metsäteollisuudessa. Summary: Delivery and use of forest chips in forest industry. *Folia For.* 471:1—15.
- 1982. Tapio-kuormainharvesteri maataloustraktorissa. Summary: Farm tractor mounted Tapio tree harvesting head. *Folia For.* 506:1—12.
- 1984. Turvemaiilla hakattavaa. *Metsälehti* 20:20.
- Elo, K. & Hagman, M. 1981. Eräiden keskieuropaalaisten pajukloonien menestyminen Punkaharjulla 1974—1980. Summary: Development of a number of different European *Salix* clones at Punkaharju 1974—1980. PERA-symposio 3.—4.3.1981, kokousesitelmät. Moniste Metsäntutkimuslaitoksessa. s. 375—389.
- Ferm, A. 1983. Tuloksia koivun kasvatustiheyskokeesta sekä männyn ja koivun sekakasvatuskokeesta turvemaiilla. Kannuksen metsäntutkimuspäivän 15.9.1983 esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantaja 120:13—17.
- & Hytönen, J. 1984. Säilytyksen vaikutus kosteusnäytteeseen puun kuivamassan määrityksessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantaja 132:1—16.
- & Issakainen, J. 1981. Kaatoajankohdan ja kaatotavan vaikutus hieskoivun vesomiseen turvemaiilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantaja 33:1—13.
- & Issakainen, J. 1982. Energieholz aus Niederwald und das PERA-Project. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 1982:27—28.
- & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. *Folia For.* 558:1—32.
- , Kauppi, A. & Rinne, P. 1982. The potential of birch for biomass production. IEA Forestry Planning Group B — Growth and Production. Report JAB-34:1—67.
- , Kauppi, A. & Rinne, P. 1983. Developing the coppicing potential of selected hardwoods in biomass energy production. — Project proposal PPB-12. IEA Forestry Planning Group B — Growth and Production. Quebec, Canada. 5 s.
- & Nevalainen, S. 1985. Turvemaiden nuorten hiesvesametsien laheisuudesta Pohjois-Karjalassa. Käsikirjoitus.
- Hakkila, P. 1978a. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. *Folia For.* 342:1—38.
- 1978b. Harvesting residual wood for energy. Recent developments in Finland. Seminar on Energy Aspects of the Forest Industries. Tim/Sem 7/R. 18, ECE Timber Committee, Udine, 8 s.
- 1981. Wood for energy in Finland. *Forest Products Journal.* 31(1):10—13.
- 1982. Harvesting of wood for energy in Finland. IEA, Forestry Energy Committee, Planning Group C. Newbridge, Ireland. 10 s.
- 1982. La madera como fuente de energia en Finlandia. *Technologia Forestal Finlandesa.* Universidad politecnica de Madrid. Escuela tecnica superior de ingenieros de montes. Ciudad Universitaria. Madrid. 8 s.
- 1982. National bioenergy research programme in Finland. Bioenergy Research Activities in Denmark, Finland, Norway and Sweden. Bioenergy Conference, October 13, 1982 at Vetre, Norway. Proceedings. s. 16—24.
- 1982. Production, harvesting and handling of wood for energy production in Finland. Seminar on Wood and Peat for energy production at World Bank. March 11, 1982. 10 s.
- 1982. Schwach- und Restholz als Energieträger in Finnland. Forschungs-Ergebnisse der Finnischen Forstlichen Forschungsanstalt. Sonderdruck aus *Allgemeine Forst Zeitschrift*: 25—26.
- 1984. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Seloste: Metsähake lämpöläitosten polttoaineena Suomessa. *Folia For.* 586:1—62.
- & Heikka, T. 1982. Reducing forest biomass losses in Finland. ECE Seminar on Reducing Forest Biomass Losses in Logging Operations. December 8—11.1982. Moscow. 11 s.
- & Kalaja, H. 1980a. Leikkuuhakkuri polttohakkeen korjuukoneena. Työtehoseuran metsätiedotus 11: 2—4.
- & Kalaja, H. 1980b. Polttopuun korjuu Pallarin leikkuuhakkurilla. Metsäntutkimuslaitos. Metsätietologian tutkimusosaston moniste 1:1—33.
- & Kalaja, H. 1980c. Harvesting fuel chips with Pallari swath harvester. Seloste: Polttopuun korjuu Pallarin leikkuuhakkurilla. *Folia For.* 418:1—24.
- & Kalaja, H. 1981. KOPO palahakejärjestelmä. Summary: KOPO block chip system. *Folia For.* 467:1—24.
- & Kalaja, H. 1982. Hakeketjujen toimivuus ja kustannukset. Esitutkimus. SITRA, tutkimusraportti 14:1—24.
- & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuoriturhan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. *Folia For.* 552:1—37.
- & Wójcik, T. 1980. Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland. Seloste: Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa. *Folia For.* 433:1—29.

- Harstela, P. 1981. Ergonomic aspects of harvesting and using wood for energy. Proceedings in ECE/ILO/FAO Seminar in Ottawa 21.—25.9.1981.
- & Tervo, L. 1981. Ennakkotuloksia pistokkaiden istutuksesta auraavilla istutuskoneilla ja käsin. Abstract: Preliminary results on the planting of cuttings by machine and manually. Suomenjoe tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 26:1—16.
- & Tervo, L. 1982. Technical and cost factors in production of cuttings for energy plantations in nurseries. IEA/FE, PGB-PGC Joint Meeting 11.10.1982. Esitelmämoniste. 15 s.
- & Tervo, L. 1983. Technical and cost factors in the production of cuttings for energy plantations in nurseries. Proceedings of a workshop held by the IEA Forestry Energy Programme on October 11, 1982 at Vetre, Norway. Swedish University of Agricultural Sciences. Dept. of Oper. Eff. Internal Report 229:12—26.
- Heikka, T. 1982. Pienhakkurit kuormittavat traktoriat. Työtehoseuran metsätiedotus 8:1—4.
- 1983. Tapio-kuormainharvesteri — koneellista puunkorjuuta pienellä pääomalla. Työtehoseuran Metsätiedotus 1:1—4.
- & Piirainen, K. 1981. Pienhakkureiden voimankäyttö. Summary: Power consumption of small chippers. Folia For. 496:1—22.
- & Soramäki, A. 1983. HS-500 HDK hakkuutähdehakkuri. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 84:1—18.
- Heino, E. 1984. 4H-kerholaisten vesipajuviljelmien menestyminen ja pistokassaanto. PERA-projektin työmonisteita 5:1—14.
- & Pohjonen, V. 1980. Koripaju (*Salix viminalis*) ja sen käytöstä ja esiintymisestä Suomessa. Dendrologian Seuran Tiedotuksia 11(3):96—103.
- Heinonen, J. & Ferm, A. 1983. Aboveground woody biomass sampling and estimation in dense birch coppice stands. In "Problems in forest Biomass mensuration, and growth and yield studies". I.U.F.R.O. S4 01.00 meeting in Orleans (France) on October 3.—7.1983. 8 s.
- Holmberg, A. & Sievänen, R. 1980. Simulation of biomass production of plant stands. SIMS, Scandinavian Simulation Society, Annual Meeting 19—21 May 1980. 8 s.
- Hovila, P. 1981. TT 1000 TU ja TT 1000 TS kokopuuhaakurit. Summary: TT 1000 TU and TT 1000 TS whole-tree chippers. Folia For. 480:1—19.
- Hytönen, J. 1982. Istutusihyiden ja lannoituksen vaikutus vesipajun (*Salix cv. aquatica*) kuiva-ainetuotokseen ja kasvuston kehitykseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 70:67—77.
- 1983a. Vaaka- ja pystyistutuksen vertailua pajunkasvatuksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 98:1—14.
- 1983b. Lyhytkiertoviljely turveteotannosta vapautuneilla suonpohjilla. Turveteollisuus 2/1983.
- 1984a. Suitability of various phosphorus and nitrogen fertilizers for fertilizing willow stands of cut-over peatlands. BioEnergy 84, Göteborg, Sweden, June 18—21, 1984. 5 s.
- 1984b. Energiapajujen lannoituksesta entisillä turveteotantolueilla. Abstract: The fertilization of energy willow plantations growing on worked-out extraction fields. Suo 35(4—5):114—118.
- & Ferm, A. 1984. Vesipajujen vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. Abstract: On the technical properties of *Salix 'Aquatica'* sprouts. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 163:1—20.
- Issakainen, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotoskyvystä. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusseman tiedonantoja 18:37—43.
- Jaatinen, E. 1978. Puu energian lähteenä Suomessa. KOP:n taloudellinen katsaus 4:43—55.
- 1978. Materials and energy flows in Finnish forestry and forest industries. A special invited paper to the 8th World Forestry Congress. Jakarta, Indonesia, 16—28 October 1978. 21 s.
- 1978. Materials and energy accounting and the Finnish forest and timber economy. Seloste: Materiaali- ja energiatilinpito sekä Suomen metsä- ja puutalous. Commun. Inst. For. Fenn. 95(3):1—80.
- 1979. Puun taloudellinen kilpailukyky energian lähteenä. KOP:n taloudellinen katsaus 4:27—35.
- 1980. Wood biomass as an energy source in Finland. J. For. 9:562—563, 566—567.
- Juntunen, M-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 62:1—17.
- 1983. Lannoitetuhka pölyä. Teho 3:26—28.
- Kalaja, H. 1978. Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakkurilla. Summary: Harvesting small-sized wood with the TT 1000 F terrain chipper. Folia For. 374:1—27.
- 1984a. An example of terrain chipping system in first commercial thinning. Lyhennelmä: Esimerkki ensiharvennuspuun korjuusta palstahaketusmenetelmällä. Folia For. 584:1—18.
- 1984b. Varastointi- ja siirtolaitteiden toimintahäiriöt metsähaketta käyttävissä lämpölaitoksissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 166:1—24.
- & Rantamäki, J. 1982. Junkkari laikkahakkurit. Summary: Junkkari disc chippers. Folia For. 513:1—19.
- Kanninen, K. 1980. Pienikokoisen lehtipuun pinomittaus rankana ja kokopuuna. Metsäntutkimuslaitos. Metsätieteologian tutkimusosaston julkaisu 3:1—27.
- , Uusvaara, O. & Valonen, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-tree raw-material. Folia For. 403:1—53.
- Karsisto, K. 1980. Vesametsän kasvat. Työtehoseuran metsätiedotus 12:1—4.
- Kaunisto, S. 1982. Afforestation of peat cut-away areas in Finland. Proc. Int. Symp. IPS commissions IV and II, Minsk 1982:144—153.
- 1983. Koripajun (*Salix viminalis*) biomassatuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa. Summary: Biomass production of *Salix viminalis* and its nutrient and water consumption on differently fertilized peats in greenhouse. Folia For. 551:1—34.
- Korhonen, K.-M. & Teivainen, T. 1982. Water vole (*Arvicola terrestris* L.) at an energy willow cultivation on a former peat harvesting area. Abstracts of the first conference on basic energy research in Finland, 8.—9.11.1982. Espoo.
- Kurvinen, P. & Harstela, P. 1980. Haketustyön ergonomia ja työn järjestely. Summary: Ergonomics and work organizing of chipping work. Folia For. 437:1—25.
- Kärkkäinen, M. 1981. Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet. Summary: Foundations of leaf-seasoning and other drying methods of fuelwood. Folia For. 459:1—15.
- Lappi, J. & Smolander, H. 1984. Integration of the hyperbolic radiation response function of photo-

- synthesis. *Photosynthetica* 8(3):402—410.
- Lilleberg, R. 1980. Lyhytkiertopuun tuotantomahdollisuudet. Laudatur-työ Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella. 63 s.
- Moilanen, M. & Oikarinen, M. 1980. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmaalla. *Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja* 19:1—16.
- Mälkönen, E. & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivun biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. *Folia For.* 534:1—17.
- Nisula, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Summary: Aspects of the drying of fuel chips. *Folia For.* 440:1—14.
- Nurmi, A. & Vapaavuori, E. 1982. Chlorophyll-protein complexes in *Salix* sp. "Aquatica Gigantea" under strong and weak light I. Spectral characterization of the chlorophyll-protein complexes. *Plant and Cell Physiol.* 23(5):85—90.
- Nurmi, J. 1984. Polttohakkeen kuivaus traktorikontissa. Summary: Drying of fuel chips in the tractor containers. *Teho* 3:24—26.
- Näsi, M. 1983. Leaf protein production from energy willow leaves. *J. Sci. Agr. Soc. Finl.* 55:155—162.
- & Pohjonen, V. 1981. Green fodder from energy forest farming. *J. Sci. Agr. Soc. Finl.* 53:161—167.
- Ollila, M. & Toropainen, M. 1982. Kotimaista polttoainetta käyttävien suurkiinteistöjen ja aluelämpökeskusten kannattavuus ja siihen vaikuttavat tekijät. KTM ja SITRA, Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti N:o 13:1—86.
- Paavilainen, E. 1981. Biomass yields and management of natural coppice stands. IEA. Planning Group "B". Technical Report NE 19:1—50.
- & Ferm, A. 1981. Biomass yields and management of natural coppice stands. Supplement. IEA-Planning Group B. Moniste.
- Palo, M.S., Hankala, T., Lilleberg, R. & Toropainen, M. 1982. Energy potential of wood biomass in Finland. In Midgaard (ed.) *Proc. Scandinavian Society of Forest Economics*. April 14—16, 1982. Ustaoset, Norway. s. 128—139.
- Pelkonen, P. 1983. Ecological effects of the intensive harvesting of fuel wood. Finnish-Austria Workshop on Energy from Wood. Vienna, November 14—16, 1983. Moniste. 9 s.
- 1984. Temperature response of electrical impedance in poplar cuttings: A preliminary concept. *Seloste: Poppelipistokkaiden impedanssin riippuvuus lämpötilasta*. Alustava malli. *Folia For.* 604:1—7.
- Pellikka, M. 1983. Homepölyaltistus polttohakkeen käsittelyn yhteydessä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 81:1—76.
- & Kotimaa, M. 1983. Polttohakkeen käsittelystä aiheutuva ilman homepölypitoisuus sekä siihen vaikuttavat tekijät. Summary: The mould dust concentration caused by the handling of fuel chips and its modifying factors. *Folia For.* 563:1—18.
- Petäistö, R.-L. 1983. Melampsora-rust in willow plantations in Finland. Nordic graduate course in plant pathology 1983. Resistance against plant pathogens. Honne, Biri 10.—17. November 1983. s. 71—74.
- Pohjonen, V. 1980a. Energiapajujen viljelystä vanhoilla turvetuotantoalueilla. *Suo* 31 (1):7—9.
- 1980b. Energiametsät ja energiaviljely. Tutkimus ja tekniikka 2—3:28—32.
- 1980c. Energy willow farming on old peat industry areas. Proceedings of the 6th International Peat Congress, Duluth, Minnesota, USA. August, 17—23. s. 439—440.
- 1982. Energiekrise, Waldwirtschaft und Sonnenenergie. Sonderdruck aus *Allgemeine Forst Zeitschrift*: 23—24.
- 1983. Suomalainen energiämetsätutkimus ja kansainvälinen yhteistyö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 120:21—23.
- 1983. Growth, harvesting and processing of wood fuel in Finland. Proceedings of IGT Symposium "Energy from Biomass and Wastes VII". January 24—28, 1983, Lake Buena Vista, Florida. s. 235—263.
- 1983. Impact of energy developments on the forestry and forest products sector in Finland. FAO/ECE. T11/EFC/AC.2/1. Ad hoc meeting on the impact of energy developments on the forestry and forest products sector. Geneva, 2—4 May 1983. 12 s.
- 1983. Short-rotation forestry. Proc. of the Finnish Austrian Workshop on Energy from wood. 14.—16. November 1983, Vienna. s. 35—65.
- & Näsi, M. 1983. Wet biomass as animal weed. — Fodder as a by-product from energy forest. Forestry Energy Agreement. International Energy Agency. Programme Group B — Biomass Growth and Production. Report No. 1:1—22.
- , Kauppi, P., Pelkonen, P. & Sirén, G. 1980. Biotic solar energy — La biomasse. Le bois et les économies d'énergie: 7—15.
- Rantamäki, J. 1981. Hakuutähteitten haketus kevyellä kalustolla. Summary: Chipping of logging residues with light-weight equipment. *Folia For.* 498:1—24.
- Rossi, P. 1979. Paju- ja poppelipistokkaiden juurtuminen. Tuloksia vuoden 1976 juurruttamiskokeista. *Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koegasman tiedonantoja* 26:1—10.
- 1979. Paju- ja poppelipistokkaiden juurruttaminen taimitarhalla. Kirjallisuuteen ja havaintoihin perustuvat ohjeet. *Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koegasman tiedonantoja* 27:1—10.
- 1980. Lyhytkiertoviljelyn puulajien lisääminen ja viljely. *Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koegasman tiedonantoja* 36:23—31.
- 1981. Energiapajun pistokkaiden teko, varastointi ja istutus. Summary: Preparation, storage and planting of energy willow cuttings. PERA-symposium 3.—4.3.1981, kokoussitelmät. Moniste *Metsäntutkimuslaitoksessa* s. 308—321.
- 1982. Hirvien aiheuttamat satomenetykset pajuviljelmällä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 76: 1—12.
- 1983. Biological aspects in the production of cuttings for energy plantations. Proceedings of a workshop held by the IEA Forestry Energy Programme on October 11, 1982 at Vetre, Norway. Swedish University of Agricultural Sciences. Dept. of Oper. Eff. Internal Report 229:56—66.
- 1984. Rotation in the energy willow husbandry. In: Kokkonen, V. (Ed.). Abstracts of the second conference on basic energy research in Finland. s. 45.
- Saarsalmi, A. 1983. Vesipajun, *Salix 'Aquatica gigantea'* biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö kenttäkokeissa. *Lisensiaattityö*. Helsingin Yliopiston kasvitieteen laitos. 61 s.
- 1984. Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and

- nutrient and water consumption in *Salix* "Aquatica Gigantea" plantation. *Folia For.* 602:1—29.
- , Palmgren, K. & Levula, T. 1983. Viljelyepikon alkukehitys ja biomassaan sitoutuneiden ravinteiden määrä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 107:1—33.
- Salakari, M., Kalaja, H. & Salo, E. 1978. Väliarastohakketus prototyypihakkureilla *Algol* monikäyttöhakuri, TT 1500 ja TT 1500 L. Metsäntutkimuslaitos. Metsäteknologian tutkimusosaston moniste 3:1—42.
- , Kalaja, H. & Salo, E. 1979. Pienkokopuun kaukokuljetus. Kuormaa tiivistävän prototyypilaitteiston kokeilu. Metsäntutkimuslaitos. Metsäteknologian tutkimusosaston moniste 5:1—52.
- Schildt, J. 1982. Unimog kuorma-autoon perustuva polttohakkeen hankintajärjestelmä. Summary: Producing fuel chips with Unimog truck. *Folia For.* 519:1—23.
- Sievänen, R. 1980. A preliminary simulation model for annual photosynthetic production and growth in a short rotation plantation. Seloste: Alustava lyhytkiertoviljelmän vuotuisen fotosynteesin tuotoksen ja kasvun simulointimalli. *Folia For.* 424:1—11.
- 1983. Growth model for mini-rotation plantations. *Commun. Inst. For. Fenn.* 117:1—41.
- , Hari, P. & Pelkonen, P. 1984. A model for the effect of photosynthate allocation on growth of a plant considering soil nitrogen. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen matemaattisella tutkimusosastolla.
- Siira, J., Heino, E. & Pohjonen, V. 1981. Harvinainen jokipaju (*Salix triandra*) — tulvarantojen vaeltaja. *Dendrologian Seuran Tiedotuksia* 12(1):11—20.
- & Tahvanainen J. (toim.) 1984. Lietelannoitus energiapuun kasvatuksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 138:1—42.
- Smolander, H. & Lappi, J. 1984. The interactive effect of water stress and temperature on the CO<sub>2</sub> response photosynthesis in *Salix*. *Silva Fenn.* 18(2):133—139.
- Tahvanainen, J., Huttunen, P., Viljanen, M-L, Siira, J. & Issakainen, J. 1984. Lietelannoitetun vesametsän tuotoksesta ensimmäisen kasvukauden aikana. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 138:30—42.
- Takalo, S. & Myllymäki, T. 1984. Honda-puutarhaktori kuormajoukonsoissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 161:1—34.
- Teivainen, T. 1978. Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan. Summary: Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments. *Folia For.* 339:1—12.
- 1979a. Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus pelto-myyrälle (*Microtus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan. Summary: Palatability of some cultivated willows to field voles (*Microtus agrestis* L.) in feeding trials. *Folia For.* 415:1—7.
- & Jukola-Sulonen, E.-L. 1984. Lyhytkiertoalet-pelto-myyrän elinympäristönä. Summary: Short rotation areas as a habitat for the field vole (*Microtus agrestis* L.). (Käsikirjoitus).
- Tiihonen, P. 1979. Studies carried out in Kannus (1978—79) on the amount and distribution of energy forests. The Forest Research Institute. Dept. of Forest Mensuration. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 10 s.
- & Virtanen, J. 1982. Koetuloksia ilmakuvien käytöstä energiapuun arvioinnissa Kannuksessa v. 1979—80. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 66:1—24.
- & Virtanen, J. 1983. Koetuloksia ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa v. 1980—82. Summary: Possibilities of using aerial photographs in the estimation of energy wood resources in Ostrobothnia and Northern Savo in 1980—82. *Folia For.* 567:1—18.
- Tikkanen, E. 1982. Energiapajujen viljelyohjeet turpeen-tuotannosta vapautuneille soille. Tarkennetut ohjeet. — Oulun yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Monistesarja N:o 32:1—27.
- Toropainen, M. 1981. Kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymisen välittömät työllisyysvaikutukset. Työtehoseuran metsätiedotus 11(339).
- 1981. Substituting domestic fuels for imported fuels: The direct effects on employment. *Scand. For. Econ.* 24.
- 1982. Kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymisen kannattavuus ja julkinen rahoitustuki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 54:1—112.
- 1984a. Valtion avustukset kuntien aluelämpöinvestoinneissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 131. 79 s. + liitt. 10 s.
- 1984b. Aluelämpölaitosten polttoainevalintojen kannattavuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 162. 117 s. + liitt. 10 s.
- Vapaavuori, E. & Nurmi, A. 1982. Chlorophyll-protein complexes in *Salix* sp. "Aquatica Gigantea" under strong and weak light II. Effect of water stress on the chlorophyll-protein complexes and chloroplast ultrastructure. *Plant and Cell Physiol.* 23(5):791—801.
- , Nurmi, A. & Korpilahti, E. 1983. Effect of water stress on rate of photosynthesis, transpiration and chloroplast ultrastructure in willow leaves. Proc. of a conference held at Diepenbeek, Belgium, 22—27 August 1982:151—152.
- , Korpilahti, E. & Nurmi, A. 1984. Photosynthesis rate in willow leaves during water stress and changes in the chloroplast ultrastructure with special reference to crystal inclusions. *J. Exp. Bot.* 35:306—321.
- Weber, A., Nurmiaho-Lassila, E-L. & Sundman, V. 1983. Nitrogen fixation by alder. Workshop on the Nordic problems in energy forestry. Suonenjoki Res. Sta. 3.—4.3.1983. Moniste.

## Muu viitekirjallisuus

- Allen, R.M. & McComb, A.L. 1956. Rooting of cottonwood cuttings. Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture, Southern Forest Experiment Station. Occasional Bulletin. 151:1—10.
- Anderson, H.W. 1979. Poplar farming. In Poplar research management and utilization in Canada. (Fayle, D.C.F., Zsuffa, L. & Anderson, H.W. eds). Ont. Nat. Res. For. Res. Inf. Paper No 102. 10 s.
- Anderson, S.O., Papadopol, C.S. & Zsuffa, L. 1983. Wood energy plantations in temperate climates. Forest Ecology and Management 6(1983):281—306.
- Andersson, S-O. 1983. Helträdsutnyttjande vid gallring och dess effekt på trädens tillväxt. Skogsfakta 1:18—23.
- Annala, E. 1975. Effect of felling date of trees on the attack density and flight activity of *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col., Scolytidae). Commun. Inst. For. Fenn. 86(6):1—17.
- Berry, A.B. & Stiell, W.M. 1978. Effect of rotation length on productivity of aspen sucker stands. For. Chr. 265—267.
- Björkroth, G. 1983. Hyggesavfall och barrträdens tillväxt. Skogsfakta 1:15—17.
- Blake, T.J. 1980. Effects of coppicing on growth rates, stomatal characteristics and water relations in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Aust. J. Plant Physiol. 7:81—87.
- 1981. Growth-related problems of aging and senescence in fast growing trees grown on short rotations. IEA Report. NE 21:1—43.
- Chmelar, J. 1974. Propagation of willows by cuttings. New Zealand Journal of Forestry Science 4(2): 185—190.
- Christersson, L. 1982. Energiskogen och den grymma verkligheten. Forskning och Framsteg 7:7—11.
- Cremer, K.W. 1973. Ability of *Eucalyptus regnans* and associated evergreen hardwoods to recover from cutting or complete defoliation in different seasons. Aust. For. Res. 6:9—22.
- Davidson, W.H. 1983. Hybrid poplar sprout clumps: Thinning does not improve development. J. For. 81(10):662—663.
- DeBell, D.S. & Alford, L.P. 1972. Sprouting characteristics and cutting practices evaluated for cottonwood. Tree Planters Notes 23:1—3.
- Eden, P. (toim.) 1981. Energiskogsbruk. Resultat, utvecklingsläge och förutsättningar. Nämnden för energiproduktionsforskning, NE 1981:8. 105 s.
- (toim.) 1983. Energiskog. Storförsök Domän, etapp 2. Nämnden för energiproduktionsforskning. Falun. 99 s.
- Einspahr, D.W. & Benson, M.K. 1968. Management of aspen on 10- to 20-year rotations. J. For. 66:557—560.
- Ekono Oy. 1983. Kotimaisten polttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaali. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiasasto. Sarja D23:1—37.
- Energiapoliittinen ohjelma. 1983. Hyväksytty valtioneuvostossa 24.2.1983. Helsinki 34 s.
- Energiainvestointituen vaikutus yrityksen päätöksentekoon, 1983. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiasasto. Sarja B:25.
- Energiämetsätoimikunnan mietintö I. Komiteamietintö 1979:49.
- Energiämetsätoimikunnan mietintö II. Komiteamietintö 1980:50.
- Energiapuun korjuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä. Summary: Harvesting of energy wood in connection with the harvesting of industrial roundwood. 1984. Metsätehon tiedotus 383:1—35.
- Energiatilasto 1983. Suomen virallinen tilasto XLII:1. Energiskogsodling. 1983. Projektresultat. Nämnden för energiproduktionsforskning, NE 1983:11. 255 s.
- Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Projekt energiskogsodling, Teknisk Rapport 11:1—7.
- Fayle, D.C.F. 1982. Root growth and development in relation to coppice management. IEA, Report on JAB-23 to PG'B'. Oslo. 5 s.
- Feklistov, P.A. & Belozero, A.V. 1981. [Silvicultural evaluation of damage to forests by elk]. Lesnoi Z. 3:130—132.
- Greig, B.J. & Burdekin, D.A. 1970. Control and eradication of *Fomes Annosus* in Great Britain. Proc. Third Internat. Confer. on *Fomes Annosus*. s. 21—32.
- Gruner, A. 1947. Der Korbweidenbau, Anbau und Verwertung. 48 s. Berlin-Charlottenburg.
- Hakkila, P. 1979. Wood density and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot Commun. Inst. For. Fenn. 96(3):1—59.
- 1984. Metsähakkeen hankinta lämpöläitosten polttoaineeksi. SITRA, Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti 33:1—121.
- , Leikola, M. & Salakari, M. 1978. Pienpuuston kasvatus, talteenotto ja käyttö. Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin loppuraportti. SITRA, sarja B 46:1—159.
- Haukioja, E., Huopalahti, R., Kotiaho, J. & Nygren, K. 1983. Millaisia männynntaimia hirvi suosii? Summary. Suomen Riista 30:22—27.
- Heather, W.A., Chandrashekar, M. & Sharma, J.K. 1980. Forms and degrees of resistance in "*Populus*" spp. the "*Melampsora*" leaf rusts occurring in Australasia. Aust. For. 43:52—57.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. Acta For. Fenn. 4:1—264, 1—149, 1—59.
- 1930. Kaatoajankohdan vaikutus lehtipuiden vesojen syntyyn ja kasvuun. Tapio. s. 113—117.
- 1947. Metsien luontainen uudistaminen. Tapio. Kolmas painos. 95 s.
- Hesmer, H. 1951. Das Pappelbuch. Verlag des Deutschen Pappelvereins. Bonn.
- Ho, R.H. 1983. Wood energy plantations, the state of art and the potential of biotechnology in forest tree improvement. Forestry Energy Agreement. International Energy Agency. Programme Group B. Report 2(1983):1—30.
- Hocker, H.W.Jr. 1982. Effects of thinning on biomass growth in young *Populus tremuloides* plots. Can. J. For. Res. 12(4):731—737.
- Holopainen, V. 1976. Metsätalouden liikeoppi. Otava. Keuruu. 232 s.
- Honko, J. 1973. Investointien suunnittelu ja tarkkailu. WSOY. Porvoo. 263 s.
- Huusko, A. & Kiukaanniemi, E. 1981. Turvetuotannon jäätömaiden eräiden hyödyntämisvaihtoehtojen kar-

- kea kannattavuusvertailu. Pohjois-Suomen tutki-  
muslaitos, moniste 15. Oulu.
- 1983. Energiapajuhakkeen tuotantokustannusjakau-  
ma turpeentuotannosta vapautuneilla soilla.  
Pohjois-Suomen tutkimuslaitos, moniste 35. Oulu.  
26 s.
- Hyppele, A. 1977. Rottröta och stubbrytning. PHU,  
rapport nr. 60.
- Hämäläinen, J. 1973a. Profitability comparisons in  
timber growing: underlying models and empirical  
applications. *Commun. Inst. For. Fenn.* 77(4):1—  
178.
- 1973b. Contribution profit analysis for fully regula-  
ted forest and its empirical application. *Seloste:*  
Normaalimetsän katetuottoanalyysi ja sen empiiri-  
nen sovellutus. *Commun. Inst. For. Fenn.* 80(1):  
1—47.
- 1982. Metsä sijoituskohteena. PTT Katsaus 2.  
Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos.
- Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit  
metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn  
valossa. Summary: The forest types of Finland in  
the light of natural development and yield capacity  
of forest stands. *Acta For. Fenn.* 144:1—101.
- Immonen, K. & Seppälä, R. 1984. Polttopuun ja  
palaturpeen alueittainen tuotanto, jakelu ja käyttö.  
SITRA, sarja B 76:1—164.
- Jalas, J. (toim.) 1965. Suuri kasvikirja II. 893 s.  
Helsinki. Otava.
- Johnson, P.S. 1979. Shoot elongation of black oak and  
white oak sprouts. *Can. J. For. Res.* 9(4):489—494.
- Jokinen, M. 1983. Kasvien kemiallisen koostumuksen  
vaikutus jänisten ravinnonvalintaan — katsaus  
ravintoekologian uusimpiin tutkimustuloksiin.  
Summary. *Suomen Riista* 30:51—59.
- Julkinen energiarahoitus 1983. Kauppa- ja teollisuusmi-  
nisteriö, energiaosasto. 28 s.
- Juutinen, P. 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymi-  
sestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-  
Suomessa. *Commun. Inst. For. Fenn.* 54(5):1—80.
- , Kurkela, T. & Lilja, S. 1976. Ruohokaskas,  
*Cicadella viridis* (L.), lehtipuun taimien vioittajana  
sekä vioittusten sienisaastunna. Summary: *Cicadella*  
*viridis* (L.) wounding of hardwood samplings and  
infection of wounds by pathogenic fungi. *Folia For.*  
284:1—12.
- Kallio, T. 1965. Tutkimuksia maannousemasienden  
leviämisiologiasta ja torjuntamahdollisuuksista  
Suomessa. Summary: Studies on the biology of  
distribution and possibilities to control *Fomes*  
*annosus* in Southern Finland. *Acta For. Fenn.*  
78:1—21.
- Kaunisto, S. 1981. Rauduskoivun (*Betula pendula*) ja  
hieskoivun (*Betula pubescens*) luontainen uudistumi-  
nen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella  
Kihniön Aitonevalla. Summary: Natural regenera-  
tion of *Betula pendula* and *B. pubescens* on peat  
cut-away area. *Suo* 32(3):53—60.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden  
hieskoivikoiden kasvatusta taloudellisenä vaihtoehto-  
na. Summary: The economics of growing birch  
stands on drained peatlands. *Silva Fenn.* 11(1):49—  
68.
- Keränen, J. 1942. Lämpötila ja lämpötila maatalous-  
ilmastollisina tekijöinä Suomessa. Deutsches Referat:  
Wärmehaushalt und Temperatur als agrarkli-  
matologische Faktoren in Finnland. *Terra* 54(1—  
2):132—151.
- Kilikki, P. 1982. Timber management planning. Third  
edition. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen  
laitoksen tiedonantoja 12:1—161.
- Klimetzek, D. 1972. Die Zeitfolge von Übervermeh-  
rungen nadelfressender Kiefernraupen in der Pfalz  
seit 1810 und die Ursachen ihres Rückganges in  
neuerer Zeit. *Z. Angew. Ent.* 71:414—428.
- Koivisto, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja  
hieskoivikoiden kehityksestä. Helsingin yliopiston  
metsänarvioimistieteen laitos. Moniste. 158 s.
- Kolki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen läm-  
pöoloista kaudelta 1931—1960. Liite Suomen me-  
teorologiseen vuosikirjaan 1965. Tables and maps  
of temperature in Finland during 1931—1960.  
Supplement to the Meteorological Yearbook of Fin-  
land, 1965.
- van Kraayenoord, C.W.S. 1984. National report on  
activities related to poplar and willow cultivation,  
period: 1980—1983. New Zealand National Poplar  
Commission. XVII Session of the International  
Poplar Commission, Ottawa, Canada, October  
1984. 61 s.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1984. Tuotostappioita  
kokopuun korjuusta? *Metsä ja Puu* 3:4—6.
- Laasasenaho, J. & Snellman, C.-G. 1983. Männyn,  
kuusen ja koivun tilavuustalukat. Metsätutki-  
muslaitoksen tiedonantoja 113:1—91.
- Lehtonen, E. 1976. Pienuun kaato moottori- ja rai-  
vaussahoihin perustavilla laitteilla. Summary: Fell-  
ing of small-sized trees with felling devices based on  
the chain saw and clearing saw. *Folia For.* 261:1—  
27.
- Leikola, M. 1976. Näkökohtia lyhytkiertoviljelmä ja  
-kokeita perustettaessa. Metsänviljelyn koeesaman  
tiedonantoja 15:1—20.
- & Mustanoja, K. 1961. Koivun kantojen vesominen.  
Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotie-  
teen laitos.
- Lekander, B. 1972. Den sextandade. Ytterligare ett  
bekymmer för svenskt skogsbruk. *Skogen* 59:239—  
241.
- Lilleberg, R. 1981. Lyhytkiertopuun tuotanto maankäy-  
tön vaihtoehtona. Helsingin yliopiston maankäytön  
ekonomian laitos, gradu-työ.
- Liro, J.I. 1908. Finlands rostsampar. Helsinki. 642 s.
- Lukkala, O. 1946. Korpimetsien luontainen uudistami-  
nen. Referat: Die natürliche Verjüngung der  
Bruchwälder. *Commun. Inst. For. Fenn.* 34(3):1—  
150.
- Lumme, I., Tikkanen, E., Huusko, A. & Kiukaanniemi,  
E. 1984. Pajujen lyhytkiertoviljelyn biologiasta ja  
viljelyn kannattavuudesta turpeentuotannosta pois-  
tuneella suolla Limingan Hirvinevalla. Oulun yli-  
opisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos, sarja C, n:o  
54:1—79.
- Långström, B. 1979. Märgborrnarnas förökning i  
röjningsavfall av tall och kronskadegörelse på  
kvarstående träd. SLU. Skogsentomologiska rap-  
porter 1:1—52.
- Löyttyniemi, K. & Rousi, M. 1979. Lehtipuutaimistojen  
hyönteistuhoista. Summary: On insect damage in  
young deciduous stands. *Folia For.* 384:1—12.
- Malmivaara, E., Mikola, J. & Palmberg, C. 1971. Pajujen  
mahdollisuudet metsäpuiden jalostuksessa. Summary: The possibilities of willows in forest tree  
breeding. *Silva Fenn.* 5(1):11—19.
- Metsätalousoikeuden osamietintö II. Komiteamietintö  
1981:67. 323 s.
- Mikola, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsän-  
hoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die  
Ausschlagsbildung bei der Birke und ihre forstliche  
Bedeutung. *Acta For. Fenn.* 50(3):1—102.

- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84(5):1—87.
- 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. *Silva Fenn.* 10:157—164.
- 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku erässä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn.* 91(5):1—35.
- & Saarsalmi, A. 1984. Lepikon biomassan tuotos ja ravinnetarve. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosastolla.
- Nordberg, S. 1919. Pajun viljelys ja sen edellytykset meillä. *Kansanvalistusseuran Käsiteollisuuskirjasto* 24. 58 s.
- 1930. Pajun viljelys. *Maa ja metsä IV, Metsätalous* 2, s. 526—539. Porvoo.
- Nygren, M. 1981. Valon vaikutus koivutaimikon latvuston rakenteeseen ja kasvuun. *Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos.* 59 s.
- Oikarinen, M. & Pyykkönen, J. 1981. Harvennukseen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla. Summary: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtilus spruce swamp in Ostrobothnia. *Folia For.* 48:6:1—15.
- Pearce, M.L. 1981. Coppiced trees as energy crops. In *Energy from Biomass* (Palz et al. eds.). 1st E.C. Conference. Applied Science Publishers. Ltd. s. 110—117.
- Perala, D.A. 1973. Stand equations for estimating aerial biomass, net productivity and stem survival of young aspen suckers good sites. *Can. J. For. Res.* 3(2):288—292.
- Pohjakallio, O. 1963. Kasvipatologia II. Tarttuvat kasvitaudit. Porvoo — Helsinki. 375 s.
- Pohjonen, V. 1974. Istutustihedyn vaikutus eräiden lyhytkiertoviljelyn puulajien ensimmäisen vuoden saatoon ja pituuskasvuun. Summary: Effect of spacing on the first year yield and height increment in some species undergoing short rotation culture. *Silva Fenn.* 8(2):115—127.
- Pollard, D.F.W. 1972. Above-ground dry matter production in three stands of trembling aspen. *Can. J. For. Res.* 2:27—33.
- Ranta, R. 1983. Puuta riittää energiaksi. *Tapio* 3:5—6.
- Rose, D.W. 1976. Economic investigations of intensive silvicultural systems. *Iowa State J. Res.* 50(3), Ames. Iowa.
- Rosén, K. 1983. Inverkan av helträdsutnyttjande på mängden tillgänglig växtnäring och betydelsen för markens produktionsförmåga. *Skogsfakta* 1:3—9.
- Rossi, V. 1976. Auringon säteilyn mittauksien tuloksia Suomessa 1958 . . . 1967. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, Nide 69—70, osa 4, 1969—1970.
- Rubcov, V.I. 1969. (The growth and quality at *Alnus glutinosa* of seedling and coppice origin in a *Urtica-Alnetum* type). *Lesn. Z.* 12(6):141—142.
- Saarela, I. 1982. Tuhka maanparantajana. *Pellervo* 2:32—35.
- Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in Northern Central Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91(2):1—59.
- 1981. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla ja Kainuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonanto- ja 3:1—37.
- Satoo, T. 1966. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems. *Misc. Inform. Tokyo Univ. Forests* 16:1—15.
- Schmidt, H. 1935. *Zucht und Anbau von Korbweiden.* 50 s. Berlin.
- Selby, J.A. 1980. Field afforestation in Finland and its regional variations. *Commun. Inst. For. Fenn.* 99(1):1—126. Helsinki.
- Seppälä, K. & Keltikangas, M. 1978. Alikasvostaimistot Pohjanmaan ojitusalueiden hieskoivikoissa. Summary: Occurrence of understorey seedlings in drained *Betula pubescens* stands in Ostrobothnia. *Suo* 29(1):11—16.
- Simola, P. & Mäkelä, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. *Folia For.* 27:3:1—18.
- Sirén, G. & Sivertsson, E. 1976. Vegetativ förmering av norrländska *Salix*-hybrider. *Inst. för skogsförnygring, Skogshögskolan. Rapp. och uppsatser* 80: 1—80.
- Skogsstyrelsen. 1978. Om skydd mot insektsskador på skogsplanter (snyttbaggeutredningen). Stockholm. 161 s.
- Smith, J.H.G. 1973. Biomass of some young red alder stands. In *IUFRO biomass studies* (Young, H.E. ed.). Univ. of Maine, Orono. S. 399—410.
- & DeBell, D.S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. *Can. J. For. Res.* 4(3):335—340.
- StAAF, H. 1983. Negativa effekter buffras. Information från Projekt Skogsenergi 1:17—18. SLU.
- Stott, K.G. 1956. Cultivation and uses of basket willows. *Quarterly Journal of Forestry* 50(2):103—112.
- , Parfitt, R.I., McElroy, G. & Abernethy, W. 1982. Productivity of coppice willow in biomass trials in UK. Second EC Energy from Biomass Conference, Berlin 20.—23.9.1982. 7 s.
- Tadaki, Y., Shidei, T., Sagasegawa, T. & Ogino, K. 1961. Estimation of standing crop and some analyses on productivity of young birch stand (*Betula plataphylla*). Studies on productive structure of forest (II). *J. Jap. For. Soc.* 43(1):19—26.
- Takalo, S. & Väyrynen, S. 1982. Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa. Summary: Terri light crawler in timber transport. *Folia For.* 53:8: 1—21.
- Tapio, E. 1965. Pajun viljely ja sen mahdollisuudet Suomessa. *Konekirjoite Helsingin Yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksella.* 33 s.
- Teivainen, T. 1979b. Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuudistusaluilla ja metsitetyillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76. Abstract: Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76. *Folia For.* 38:7: 1—23.
- 1981. Geographic trends in voles in Finland in the years 1973—80. Tiivistelmä: Myyrätuhojen esiintymisalueen siirtyminen Suomessa vuosina 1973—80. Herbivore-plant interactions at northern latitudes. A symposium workshop at Kevo, Finland, 14—18 September 1981. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 21: 1—18.
- 1982. Metsäpuiden taimien myyrätuhot vuonna 1980/81 ja taimien tuhoriskialueet. Abstract: Vole damage to forest seedlings in 1980/81 and areas susceptible to seedlings damage. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 41: 1—14.
- 1984. Vole damage in Finland. *Proceedings of a*

- Conference on The Organisation and Practice of Vertebrate Pest Control. Elvetham Hall, England. s. 573—587.
- Tervonen, A. 1981. Kokemuksia lehtipuiden pistokaslisäyksestä Haapastensyrjässä. Summary: Experiments in vegetative propagation by cuttings of broadleaf trees at Haapastensyrjä. Metsänjalostussäätiö. Tiedote 3:1—8.
- Tveite, B. 1983. Heiltretynning — fare for tillverksttap. Aktuelt fra Statens fagtjeneste for landbruket 3:98—105.
- Usoltsev, V.A. 1978. [Growth regularities of birch (*Betula*) coppice and seed origin]. Ezhemeslachnyi nouchnyi zhurnal kazakn S.S.R. Ministerstvo sel'skogo Khoziaistva no 6:87—93.
- Uusvaara, O. 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of saw mill chips. Commun. Inst. For. Fenn. 75(4):1—55.
- 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. SITRA, Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti 35:1—44.
- Wahlström, C-G. 1976. Björkstubbkotten bättre än sitt rykte? Skogen 3:84—86.
- Valtanen, H. 1981. Teollisuuden ainespuun hankinnan yhteydessä sekä prosessissa syntyvät polttopuureservit. SITRA, Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti 5:1—33.
- Valmari, A. 1965. On night frost research in Finland. Selostus: Suomessa suoritetusta hallantutkimuksesta. Acta Agr. Fenn. 107:191—214.
- Vehmas, T., Hakala, T. & Ritala, P. 1983. Hakuu-tähdehakkeen korjuutekniikka ja ominaisuudet. SITRA, Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti 23:1—95.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2):1—271.
- Yde-Andersen, A. 1970. Fomes Annosus in conifer stands of first and second rotation. Proc. Third Internat. Confer. on Fomes annosus. s. 137—148.

*Total of 268 references*

## SUMMARY

### The Potential of Forest Energy in Finland

#### Interim report of PERA project

Studies on the production and use of indigenous fuels were intensified in the late 1970's in accordance with the objectives of the Energy Policy Programme in Finland. Accordingly, in 1978 the Finnish Forest Research Institute launched the PERA project to investigate the energy potential of Finnish forests. The present report summarizes the research findings of the project so far and outlines the research requirements for the period 1986—1990.

The PERA project is divided into three subprojects. Subproject A investigates the techno-economic possibilities of utilizing unmerchantable reserves of small-sized trees and logging residues as fuel and the impacts of effective recovery of biomass on the forest ecosystem. Subproject B investigates the possibilities of growing fuel wood as a main crop or as a by-product of timber growing in natural hardwood coppices. Subproject C investigates the possibilities of producing wood biomass in intensively managed hardwood plantations using fast-growing species and short rotation.

As to topics, objectives, methods and time span of research, studies on forest energy are an integrated part of traditional forest research. More than 200 permanent field experiments have been established so far and the number of sample plots is 3 500. Three quarters of the total area of experiments of over 200 hectares are reserved for coppice studies of natural hardwood stands. The rest of the area consists of experiments on short rotation forestry in plantations.

The studies on the existing small-tree and logging residue reserves indicate that the technically harvestable fuel wood potential is 15,2 million m<sup>3</sup>/a consisting of slash, stump and root wood and small-sized trees of sapling stands, of first commercial thinnings and of poorly productive hardwood stands. In 1982 the consumption of forest chips from these new sources was as fuel 0,6 million m<sup>3</sup> and as raw material in forest industries 0,1 million m<sup>3</sup>. The forest chip procurement created employment opportunities of about 600 man-years.

Fuel wood harvesting studies of the subproject deal with techniques, productivity, measuring, improvement of the quality of chips and procurement costs. The project has contributed to the development of harvesting machinery and methods as well as techniques of recycling wood and bark ash.

The cost level of forest chips varied in 1982 between 48—110 FIM/MWh, slash chips being the cheapest and chips made of delimited stems being the most expensive forest chip assortment. Energy prices of industrial woodwastes are below and around the cost level of the cheapest forest chips.

Investments in energy production capacity in the 1980's made it possible to increase the use of indigenous

fuels by 14 TWh/a, of which 36 % are planned for woodbased fuels. The use of residual wood is increasing mainly among the traditional users, especially in forest industries and farms; in addition, district heating plants are new users of fuel chips. Energy investment subsidies from the State have clearly promoted the increase of woodbased energy and improved the profitability of investment projects. Energy investment subsidies for construction of district heating plants also proved to be motivated in most cases by wider perspectives of economics of communities or state finances or the economy as a whole. The direction and forms of subsidies could be further developed to better match both the objectives of energy policy and investors.

Harvesting small-sized trees and slash has also silvicultural objectives, such as the regeneration of poorly productive hardwood stands, regulating and directing the tree species development in young stands, promoting growth by spacing or promoting regeneration after final felling. On the other hand, as a result of increasing loss of nutrients, whole tree harvesting may slightly reduce the increment of young stands after the first commercial thinning. The loss of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in final fellings in whole tree harvesting is 1,5 to 5 times that of the traditional stem wood method if all biomass is to be removed completely in harvesting. On the other hand, leaching of nutrients must be taken into account when different harvesting methods are compared. This may smooth the differences of the loss of nutrients between harvesting methods. Knowledge of the long-term effects of harvesting on the cycling of nutrients, timber production and fungus and insect damages is still inadequate.

The studies on coppice forestry have so far mainly focused on the factors explaining the coppicing phenomenon which calls for basic biological research. The morphology, water use and growth rhythm of sprouts and seedling plants differ from each other. Young and small-sized trees coppice better than older and larger ones. The best sprouting was achieved by white birch (*Betula pubescens*) and silver birch (*Betula pendula*) at stump diameter class 3 to 10 cm. Yet, the variation in sprout formation was large. The number of sprouts and seedling plants may in the beginning be 250 000/ha and reduces rapidly owing to strong self-thinning. The stem number in the experiments has varied between 5 000 — 45 000/ha at the age of 15 to 20 years, and the basal area has been over 20 m<sup>2</sup>/ha.

Areas best suitable for coppice forestry are characterized by medium level fertility and moderate moisture content of the soil. Potential production areas are often small, white birch dominated peatland stands. The biomass production of white birch measured in the

experiments has been 3 to 5 t/ha/a dry matter (6—10 m<sup>3</sup>/ha/a) twigs and branches included in 12 to 20 year rotation. The annual biomass production seems to culminate between the age of 12 to 15 years. The highest biomass yield is achieved in the birch stands of over 25 000 living trees/ha, the basal area over 30 m<sup>2</sup>/ha, breast height diameter 4 to 6 cm and mean height 6 to 8 m.

Whole tree harvesting in coppice forestry should be carried out during the leafless period to minimize the loss of nutrients. Hare, moose and birch rust (*Melampsorium betulinum*) are the most common causes of damage in coppice forestry.

Profitability comparisons between coppice forestry and traditional timber growing alternatives cannot be generalized so far because of the lack of a concise data base concerning the biomass yield, cost and product price. Preliminary calculations show that coppice forestry will most likely remain a marginal land use with institutional restrictions.

**The studies in energy plantation forestry** have mainly focused on testing domestic and foreign willow species and on the selection of material for further breeding using the biomass production, phenology and resistance properties of different clones as the principal criteria. The objective of crossing and testing of hybrids is to improve the growth, quality and resistance of willows.

The energy plantation substrate should be fertile, permeable to water, retentive to nutrients and have a high pH. The mechanization of the establishment, plantation management and harvesting impose high prerequisites on the location and site. The high demands severely restrict the potential area, so that in the first place, energy plantations can be only considered on peat cut-over areas and partly on abandoned fields.

The physical properties of soil are improved by soil preparation when establishing the plantation. Planting unrooted cuttings is the most economical way to establish the energy plantation. This work can be done by a tractor-mounted planting machine. Effective weed killing methods are needed when establishing the plantation especially on old abandoned fields. Liming or ash fertilizations are generally needed on peat lands before planting. The fertilization requirements are higher in energy plantation than in conventional timber growing during the production stage, especially on peat land. The need of nutrients, and the fixation of nitrogen by grey alder (*Alnus incana*) on mineral soil have also been studied.

The rotation is dependent on the frost hardness of the willow clones. If no damages have occurred the dry matter production has been 0,9—2,5 kg/m<sup>2</sup>/a in small scale experiments using a rotation of one year. Knowledge on animal and fungus damage in plantations is sparse at present owing to the small scale of the operations and the short period of experimentation. Hitherto frost damage has been the most serious

drawback in sample plots.

The evaluation of the profitability of energy plantations involves many uncertainties as to biomass production, input and product prices. High prerequisites concerning the production site, the high amount of capital involved in the production and the risks on the revenue strongly constrain the enlargement of energy willow plantation operations for the time being.

**The objectives of further research** for the period 1986 to 1990 are presented by subprojects. In subproject A the objective of harvesting studies is to increase the efficiency of biomass recovery, to lighten harvesting work, to raise the productivity and reliability of the procurement system and to improve the quality of fuel wood. The impact of effective wood harvesting on the forest ecosystem is examined in connection with harvesting of whole trees or slash. These studies focus on the possible changes of soil fertility, future timber production, forest regeneration and damage to the forest, as well as on the multiple use of forests. High priority is given to the development of harvesting methods appropriate to drained peatlands and young thinning stands. Economic studies in subproject A deal with the profitability of energy investments, impacts on regional economic development, optimal usage of forest chips, the economics of forest chip procurement and on the market behavior of the sellers of fuel wood. Subproject A also serves the objectives of the Forest 2000 Programme which is aimed to increase the production and availability of industrial timber in Finland.

In subproject B further research is needed to determine the connection between the coppicing phenomenon and morphological, physiological and ecological factors. This work lays the foundation for the search for the means to sustain the ability to coppice, but the programme will also be of help in studying silvicultural problems in the prevention of coppicing. The possibilities to improve the quality of saw-timber and increase the production of fuel wood simultaneously by using high stocking densities in the early development stage are to be studied. Furthermore, it is important to complete the field experiments on the development and yield of coppice stands and the risk factors involved in growing. At the same time, these investigations will provide more reliable data for economic comparisons.

The main tasks in further research in subproject C are to develop and select proper species for short rotation forestry and to clarify spacing, management measures and rotation problems. In addition to the current material fast growing Finnish and foreign willow clones must be cross bred for testing. The ongoing field experiments in different parts of the country on resistance, biomass production, consumption of nutrients and hydrology of birch, alder and willow species should be completed. The biotic risks in plantations must be taken into account in further research work.





ODC 331+238+831.1+537  
ISBN 951-40-0704-2  
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. (ed.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. Folia For. 624:1—86.

The fuel wood studies at the Finnish Forest Research Institute are implemented in the PERA project. Subproject A examines and develops the techno-economic utilization for fuel of present small timber and logging residue reserves. Subproject B examines the possibilities of producing additional fuel wood in natural coppice stands. Subproject C examines the production of wood biomass in intensively managed hardwood plantations in accordance with the principles of short rotation forestry.

The report is a summary of research activities of the PERA project between 1978 and 1984. A proposal for further research is presented for the period 1986 to 1990.

Correspondence: Mr. Tapio Hankala, The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ODC 331+238+831.1+537  
ISBN 951-40-0704-2  
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. (ed.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. Folia For. 624:1—86.

The fuel wood studies at the Finnish Forest Research Institute are implemented in the PERA project. Subproject A examines and develops the techno-economic utilization for fuel of present small timber and logging residue reserves. Subproject B examines the possibilities of producing additional fuel wood in natural coppice stands. Subproject C examines the production of wood biomass in intensively managed hardwood plantations in accordance with the principles of short rotation forestry.

The report is a summary of research activities of the PERA project between 1978 and 1984. A proposal for further research is presented for the period 1986 to 1990.

Correspondence: Mr. Tapio Hankala, The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

*Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).*

Nimi  
Name \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Osoite  
Address \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



Metsäntutkimuslaitos  
Kirjasto/Library  
Unioninkatu 40 A  
SF-00170 Helsinki 17  
FINLAND

Folia Forestalia \_\_\_\_\_

Communications Instituti Forestalis Fenniae \_\_\_\_\_

Huomautuksia \_\_\_\_\_

Remarks \_\_\_\_\_

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoasema  
*Punkaharju Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koasema  
*Ojajoki Experimental Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi 30, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu 10, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* Valtakatu 18  
69100 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 610 Repo, Tapani, Mela, Martti & Valtanen, Jukka: Männynversosyöväälle alttiiden ja vastustuskykyisten taimi-alkuperien erottaminen neulasten ominaisimpedanssin mittauksella.  
Separation of susceptible and resistant provenances of Scots pine to *Gremmeniella abietina* by specific needle impedance.

1985

- No 611 Raitio, Hannu: Yksivuotiaiden avomaalla kasvatettujen paljasjuuristen männyntaimien kasvuhäiriön oireet ja esiintyminen.  
Symptoms and occurrence of a growth disturbance in one-year-old, bare-rooted Scots pine seedlings raised in the open.
- No 612 Långström, Bo: Tukkimiehentäin aiheuttamat tuhot Suomessa vuosina 1970—1971. Yhteispohjoismaisen tutkimuksen Suomea koskevat tulokset.  
Damage caused by *Hylobius abietis* in Finland in the years 1970—1971. Results from the Finnish part of a joint Nordic study.
- No 613 Ferm, Ari & Markkola, Annamari: Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu.  
Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season.
- No 614 Hytönen, Jyrki: Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos.  
Leafless above-ground biomass production of *Salix 'Aquatica'* fertilized with industrial sludge.
- No 615 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella.  
Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory.
- No 616 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen, ilman lämpösumman ja eräiden kasvualustan ominaisuuksien vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun turvemailla.  
Effect of fertilization, temperature sum and some peat properties on the height growth of young pine sapling stands on peatlands.
- No 617 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun suomensäät vuosina 1951—1983.  
Peatland forests in Keski-Pohjanmaa, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1951—1983.
- No 618 Lipas, Erkki: Kasvupaikan puuntuotuskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla.  
Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties.
- No 619 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemailla.  
Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on peatlands.
- No 620 Metsätalastollinen vuosikirja 1984.  
Yearbook of Forest Statistics, 1984.
- No 621 Salo, Kauko: Luonnonmarjojen ja sienten poiminta Suomussalmella ja eräissä Pohjois-Karjalan kunnissa.  
Wild-berry and edible-mushroom picking in Suomussalmi and in some North Karelian communes, Eastern Finland.
- No 622 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkiin, lehtipuutukkiin, mäntypylväiden ja ratapölkkyaihoiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista.  
Skogsforskningsinstitutets beslut gällande enhetsvolymtal för användning vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 623 Hämäläinen, Jouko, Paavilainen, Eero, Salminen, Olli & Heinonen, Riitta: Tuloksia ojitettujen korpikuusi-koiden lannoituksesta.  
The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands.
- No 624 Hakki, Pentti (toim.-ed.): Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti.  
The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project.
- No 625 Kaunisto, Seppo & Päivänen, Juhani: Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemailla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.  
Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review.
- No 626 Repo, Seppo & Löyttyneemi, Kari: Lähiympäristön vaikutus männyn viljelytaimikon hirvivahinkoalttiuteen.  
The effect of immediate environment on moose (*Alces alces*) damage in young Scots pine plantations.
- No 627 Rikala, Risto: Paakkutaimien kastelutarpeen määrittäminen haihdunnan perusteella.  
Estimating the water requirements of containerized seedlings on the basis of evapotranspiration.
- No 628 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö.  
Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation.
- No 629 Moilanen, Mikko: Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla ojitetuilla rämeillä.  
Effect of thinning and fertilization on the growth of birch (*Betula pubescens*) on the drained mires with thin peatlayer.
- No 630 Aarnio, Jukka: Suomensiköiden kasvatuksen yksityistaloudellinen edullisuus.  
The profitability of timber growing on peatlands from the standpoint of the private forest owner.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communications Institutit Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomoneisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341

ISBN 951-40-0704-2  
ISSN 0015-5543