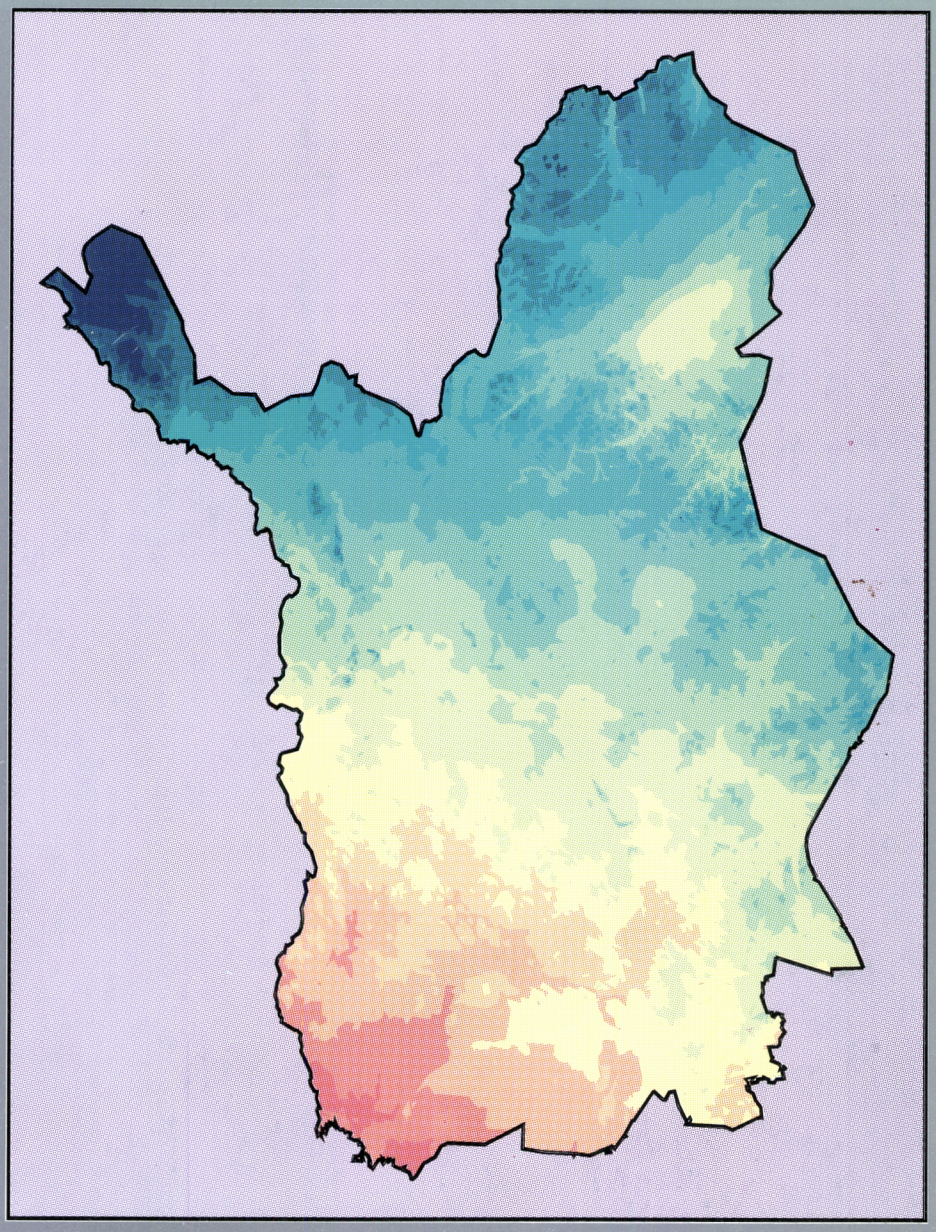


Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992

Ari Nikula, Martti Varmola & Marja-Lea Lahti (toim.)

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437

Kansikuva:
Lämpösumma 1980-luvulla keskimäärin. Mallitulostus
numeerisesta aineistosta mesoskaalaan (200 x 200 m).
Luokkien vaihteluväli 400 – 1 100 d.d.
Vesa Nivala & Aulis Ritari

Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992

Ari Nikula, Martti Varmola & Marja-Lea Lahti
(toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi 1992

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437

Nikula, Ari, Varmola, Martti & Lahti, Marja-Lea. 1992. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437. 162 s. ISBN 951-40-1256-9, ISSN 0358-4283.

Julkaisun artikkelit perustuvat Rovaniemen ja Kolarin tutkimuspäivien yhteydessä pidettyihin esitelmiin. Suurin osa artikkeleista voidaan jakaa kolmen pääotsikon alle; metsien terveydentila, metsien monikäyttö ja korkeiden alueiden metsien uudistaminen. Metsien terveydentilan artikkelit käsittelevät Itä-Lapin metsävaurioprojektin viimeisiä tuloksia, TCA:n esiintymistä Lapissa, jalostetun metsänviljelyaineiston versosurmakestävyyttä ja metsätuhojen tunnistusta asiantuntijajärjestelmien avulla. Metsien monikäytön artikkeleissa tarkastellaan monikäyttö- ja erämaatutkimuksen nykytilaa sekä Pallas-Ounastunturin kansallispuiston numeerista kasvillisuuskartoitusta. Korkeiden alueiden metsänuudistamista on tarkastettu aikaisempien tutkimusten perusteella ja tekemällä kehysmalli tutkimukselle paikkatietoaineistoja hyväksikäyttäen. Lisäksi on tarkasteltu hirvilaidunten tilaa Lapin kolmion alueella, ojituksen yhteydessä tehdyn hakkuun vaikutusta puuston tuotokseen ja kaukokartoituksen hyväksikäyttöä valtakunnan metsien inventoinnissa.

Avainsanat: tutkimuspäivät, metsätuhot, korkeat alueet, monikäyttö

Kirjoittajien yhteystiedot: Nikula, Ari, Varmola, Martti & Lahti, Marja-Lea: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 ROVANIEMI, puh. (960) 336411.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Hyväksynyt: Tutkimusaseman varajohtaja Timo Penttilä.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 ROVANIEMI, puh. (960) 336411.

ISBN 951-40-1256-9
ISSN 0358-4283

Lapin Painotuote Oy
Kemijärvi 1992

Sisällys

Lukijalle 4

Timo Helle & Pekka Nöjd
Poron laidunnuksen vaikutus männyn kasvuun ja kuntoon 5

Eero Mattila
Valtakunnan metsien inventointi ja kaukokartoitus 16

Kari Mikkola
Ajankohtaista Itä-Lapin metsävaurioprojektista 39

Kaarina Niska, John Derome, Antti-Jussi Lindroos & Pekka Välikangas
Metsikkösadanta Lapissa 43

Yrjö Norokorpi
Trikloorietikkahappo (TCA) ilmansaasteena ja sen esiintymisestä Lapin puissa 54

Seppo Ruotsalainen
Vaihtelu pohjoissuomalaisten plusmäntyjälkeläistöjen versosurmakestävyydessä 60

Hannu Saarenmaa, Jouni Väkevä & Jari Perttunen
Metsätuhojen tunnistaminen asiantuntijajärjestelmän avulla: tavoitteena uusi media 78

Ville Hallikainen
Näkökohtia Suomen erämaatutkimuksesta 90

Heikki Eeronheimo & Anna-Liisa Sippola
Pallas-Ounastunturin kansallispuiston numeerinen kasvillisuuskartta 102

Jussi Kuusipalo
Metsien monikäytön tutkimus ja sen kehitystavoitteet Metsäntutkimuslaitoksessa 112

Sauli Valkonen
Korkeiden alueiden metsänuudistamisongelmat aikaisempien tutkimusten valossa 125

Aulis Ritari & Mauri Timonen
Kehysmalli korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimuksen suuntaamiselle 133

Ari Nikula
Hirvilaidunten tila Lapin kolmion alueella taimikkoinventointien perusteella 143

Hannu Hökkä
Ojituksen yhteydessä tehdyn hakkuun vaikutus puuston kasvuun ja tuotokseen 151

Lukijalle

Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen ja Kolarin tutkimusasemien tutkimuspäiviä vietettiin pienen tauon jälkeen keväisissä merkeissä 19.–20.5.1992. Teemaksi ei tällä kerralla valittu yhtä ainoaa kattavaa aihetta, vaan esitelmät ryhmiteltiin kolmen pääotsikon alle; metsien terveydentilaan, metsien monikäyttöön ja korkeiden maiden metsänuudistamiseen. Nämä kaikki aiheet ovat sellaisia, jotka ovat viime vuosina olleet tehostetun tutkimuksen kohteina sekä Rovaniemen että osin myös Kolarin tutkimusasemilla ja kuvastavat yleisemminkin Metlan tutkimusstrategiaa Pohjois-Suomessa.

Valtionhallinnosta tuttu organisaatiouudistus tuli Metlassa voimaan kuluvan vuoden alussa. Pienipiirteisestä osastojaosta ja osastorajoista siirryttiin suurempiin yksiköihin, kolmeen tutkimusosastoon ja yleiseen osastoon. Kunkin tutkimusosaston johtoon nimitettiin tutkimusjohtaja ja muut professorit vapautettiin hallinnollisista tehtävistä tieteen tekoon. Koko tutkimushankejärjestelmä muutettiin siten, että entiset sirpalemaiset tutkimukset koottiin isommiksi kokonaisuuksiksi, ja näiden uusien hankkeiden, lukumäärältään 110, johtoon nimitettiin pääasiassa varttuneita tutkijoita, joilla on valta ja samalla vastuu hankkeestaan.

Entinen tutkimusaluehallinto, tutkimusalueet ja luonnonsuojelualueet yhdistettiin tutkimusasemiin. Uudistuksella pyritään siihen, että Metlan hallinnassa olevat maa-alueet palvelevat entistä paremmin tutkimusalueiden ottamista kohdealueeksi laadittaessa Metlaan uutta metsätalouden suunnittelujärjestelmää. Päätösvalta käytännön toimenpiteissä on siirretty Helsingistä tutkimusasemille ja tutkimusalueille.

Myös luonnonsuojelualueiden hallintaa on muutettu Lapissa. Pallas-Ounastunturin ja Pyhätunturin kansallispuistoille on nimitetty johtaja ja puistot on otettu tehostetun suunnittelun piiriin. Pallas-Ounastunturin kansallispuistossa tämä merkitsee mm. uuden runkosuunnitelman laatimista, jonka pohjana on mittava puiston käsittävä kasvillisuuskartoitus.

Rovaniemen tutkimusasema on uudistunut. Vuonna 1979 silloisen hoitokunnan ensimmäisen kerran julkituoma tutkimusaseman tilanahtaus on viimein poistunut ja teemme työtä uusissa marraskuussa 1991 valmistuneissa tiloissa. Myös muut edellytykset ovat parantuneet; asemalle on rakennettu toimiva lähiverkko työasemille ja mikroille ja laboratoriolaitteet on pääosin uusittu.

Ari Nikula Martti Varmola

Poron laidunnuksen vaikutus männyn kasvuun ja kuntoon

Timo Helle & Pekka Nöjd
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

Boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen kuiville kasvupaikoille on luonteenomaista poronjäkälien (*Cladonia sp.*) runsaus. Eri jäkälälajien keskinäiset runsaussuhteet, kokonaisbiomassa ja muun kasvillisuuden esiintyminen vaihtelevat jäkälikön sukkessiovaiheen mukaan (Ahti 1961). Kliimaks-vaiheen jäkälikössä valtalajina on palleroporonjäkälä (*C. stellaris*), joka saattaa peittää maanpinnan yhtenäisenä, jopa 20 cm:n vahvuisena mattona.

Pitkään jatkunut intensiivinen poron laidunnus pitää jäkälikön suhteellisen varhaisessa sukkessiovaiheessa, jossa valtalajeina ovat harmaa- (*C. rangiferina*) ja mietoporonjäkälä (*C. mitis*) (Ahti 1961). Suomen poronhoitoalueen kuivilla kankailla poronjäkälien peittävyys oli 1970-luvun lopulla keskimäärin 27 % ja pituus 11 mm (Mattila 1981). Jäkälien peittävyys oli vahvasti riippuvainen jäkälälaidunpinta-alaa kohti lasketusta porotiheydestä (Helle ym. 1990a). Porotiheydet ovat kasvaneet sen jälkeen, ja ennustettavissa ollut peittävyyden aleneminen on jo ehditty todentaa maastotutkimuksin osassa poronhoitoaluetta (Mattila 1988).

Poron laidunnuksen vaikutuksia puustoon on tutkittu systemaattisesti ainoastaan männyn taimikkotuhojen osalta (mm. Arnborg 1955, Bergan 1962, Kollström 1988, Helle & Moilanen 1992). Havainnot laidunnuksen muista vaikutuksista puustoon ovat hajanaisia ja osin ristiriitaisia. Brown & Mikola (1974) havaitsivat jäkäläuutteiden ehkäisevän männyn juuristosienen kehittymistä, millä perusteella he olettivat laidunnuksen parantavan männyn kasvuedellytyksiä. Kainuusta kesällä 1986 kerätty aineisto osoitti, että 13–24 -vuotiaat männyn taimet kasvoivat paremmin voimakkaasti laidunnetuilla kuin vähän laidunnetuilla uudistusaloilla (Helle & Moilanen 1992). Kanadalaisella mustakuusella sen sijaan jäkälän poistaminen aiheutti verson kasvun hidastumisen, joka oli seurausta maaperän lämpötilan kohoamisesta (mittauksia vain kesältä), kosteuden alenemisesta ja tärkeiden ravinteiden huuhtoutumisesta (Cowles 1982).

Periaatteessa poron laidunnus voi vaikuttaa mäntyjen kuntoon myös muilla tavoilla. Koskematon lumipeite on tunnetusti tehokas lämpöeriste (Keränen 1920). Porojen jäkälänkaivupaikoilla lumi kuitenkin kovet-

tuu (Pruitt 1979), ja osa maanpinnasta jää kokonaan vaille lumen antamaa suojaa seuraaviin lumisateisiin asti. Jalkanen (1990) sai aikaan lumen poistamisella pakkasvaurioita männyn juurissa, mikä ilmeni seuraavana kesänä neulasten kellastumisena. Koe jäljitteli kylmää ja vähälumista talvea 1986–1987 (Ritari 1990), jonka jälkeen männyillä todettiin eriasteisia neulasvaurioita sekä Suomen että Ruotsin Lapissa (Jalkanen 1990, Kullman 1990, Tikkanen & Raitio 1990). Suomessa vauriot keskittyvät kuiville kankaille, joille on tyypillistä ohut humuskerros sekä lyhyeksi ja harvaksi syöty jäkälä (Jalkanen 1990).

Jäkäläpeitteen ja poron laidunnuksen vaikutuksia maaperän lämpöja kosteusoloihin, ravinnekiertoon ja puustoon on ryhdytty tutkimaan Itä-Lapin metsävaurioprojektin yhteydessä. Tässä tutkimuksessa verrataan mäntyjen sädekasvua ja kuntoa laidunnetussa ja laiduntamattomassa jäkälikössä kolmella eri alueella Lapissa.

Aineisto ja menetelmät

Maastokoealat

Aineisto kerättiin Sallan Naruskalta, Sodankylän Raja-Joosepista ja Inarin Angelista kesällä 1991. Naruska kuuluu Sallan Pohjoiseen, Raja-Jooseppi Sodankylän Lapin ja Angeli Muotkatunturin paliskuntaan. Lähelle valtakunnan rajaa rakennetun porojen esteaidan ansiosta näiltä alueilta löytyy sekä laidunnettuja että kokonaan laidunnuksen ulkopuolelle jääneitä jäkäläkankaita. Naruskan ja Raja-Joosepin koealoilla nämä kankaat olivat *Calluna-Vaccinium-Cladina* -tyyppiä ja Angelissa *Uliginosum-Cladina* -tyyppiä (Oksanen & Ahti1982).

Naruskalla ja Raja-Joosepissa esteaita siirrettiin lähemmäksi valtakunnan rajaa koskemattomaan jäkälikköön 1970-luvun puolivälissä; laidunpuolen jäkälikkö kului nykyiselleen muutamassa vuodessa. Angelissa sekä laidunnetut ja laiduntamattomat koealat sijaitsevat vuonna 1953 rakennetun esteaidan ja valtakunnan rajan välissä. Aita ei ollut kuitenkaan täysin pitävä. Alueella esiintyi suhteellisen voimaperäistä laidunnusta 1970-luvun alussa. Sen jälkeen tässä tutkimuksessa laiduntamattomana kontrollina käytetty jäkälikkö on ollut suojattuna lisäaidoin. Alue, jolle laidunnetun jäkälikön koealat sijoitettiin, oli vasomistarhana 1983, mikä tunnetusti kuluttaa jäkälikköä.

Maastomittaukset

Kullakin alueella aidan kummallekin puolelle rajattiin kolme ympyräkoealaa. Koealojen säde oli 10 metriä lukuun ottamatta osaa Raja-Joosepin koealoista, joilla käytettiin 5 metrin sädettä puuston tiheydes-

tä johtuen. Koealat valittiin subjektiivisesti tavoitteena saada vertailtaviksi puustoltaan mahdollisimman samanlaiset koealat. Jokaiselta ympyräkoealalta tehtiin kasvillisuusanalyysi yhdeksältä 0,25 m^2:n ruudulta. Näistä arvioitiin eri kasvilajien peittävyysprosentit sekä mitattiin porojäkälien pituus (kuollut tyviosa mukaan lukien) ja humuksen paksuus. Jäkäläpeitettä kuvattiin myös jäkäläkentän tilavuutena (l/m^2), joka laskettiin kertomalla peittävyysprosentti jäkälän pituudella.

Kasvu- ja kuntotutkimuksen koepuiksi valittiin kaikki koealojen männyt, joiden rinnankorkeusläpimitta oli vähintään 7,5 cm. Koepuista mitattiin pituus, elävän latvuksen alaraja ja kuoren paksuus. Koepuut kairattiin 1,3 metrin korkeudelta koealan säteen suuntaisesti. Mittaustulokset tallennettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-laskentaohjelmiston mittauslomakkeelle (Heinonen 1981). Syyskuussa 1991 koepuista arvioitiin harsuuntumisaste ja määritettiin neulasvuosikertojen lukumäärä ala- ja yläoksille erikseen (Manual on methodologies... 1986).

Aineiston jatkokäsittely

Koepuiden lustonleveydet mitattiin lustomikroskoopilla 1/100 mm:n tarkkuudella. Jokaisen koepuun lustonleveyksistä piirrettiin diagrammi Metsäntutkimuslaitoksen KIND-ohjelmiston avulla (Timonen 1987). Piirroksia apuna käyttäen lustosarjat tarkastettiin manuaalisesti. Tarkastus pohjautui merkkivuosiin ts. poikkeuksellisen suotuisiin ja epäsuotuisiin kasvukausiin (Scweingruber 1988). Jos lustosarjassa havaittiin virheitä, kairanlastu mitattiin uudelleen.

Laskentamenetelmät

Koemetsiköiden laidunnetut ja laiduntamattomat koealat (3 + 3) yhdistettiin kasvutuloksia laskettaessa laskentaositteiksi. Molemmille ositteille laskettiin vuotuiset keskimääräiset lustonleveydet ja keskimääräiset kasvuindeksit. Indeksien laskennassa tavoitteena oli poistaa lustosarjoista puun iän vaikutus lustonleveyksiin. Tässä käytettiin apuna mallia, joka kuvaa kasvuprosentin vaihtelua puun iän funktiona:

$$\ln(I_{it}) = b_0 + b_1 \times \ln(T_{it} - 1), \text{ missä}$$

I_{it} = puun i sädekasvuprosentti vuonna t
T_{it} = puun i ikä vuonna t
b_0, b_1 = mallin parametrejä.

Mallin parametrien estimointiin käytettiin havaintoja, joiden rinnankorkeusikä oli 10–80 vuotta. Käytetyt havainnot olivat vuosilta 1910–1980.

Vertaamalla yksittäisen puun vuotuista kasvuprosenttia mallilla laskettuun arvoon saatiin yksittäisen puun kasvuindeksit. Kyseessä on siis suhdeluku, joka vertaa yksittäisen puun kasvua tiettynä kalenterivuonna aineiston puiden keskimääräiseen kasvunopeuteen. Laskentaositteen indeksit laskettiin yksittäisten puiden indeksien keskiarvona.

Kasvunvaihteluanalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä KIND-ohjelmistolla (Timonen 1987).

Tulokset

Kasvipeiteanalyysit

Kasvipeiteanalyysien tulokset on esitetty taulukossa 1. Laidunnettujen koealojen poronjäkälien peittävyydet ja pituudet kuvaavat varsin hyvin itä-lappilaista tai inarilaista kuivien kankaiden keskimääräistä porolaidunta (Mattila 1981, 1988, Helle ym. 1990b). Ero laiduntamattomaan jäkälikköön oli erittäin selvä kaikilla koealoilla. Tilavuudella ilmaistuna ero oli pienimmillään viisinkertainen (Angeli) ja suurimmillaan 17-kertainen (Naruska). Tilavuuksien erotus oli kuitenkin absoluuttisesti suurin Raja-Joosepissa, missä laiduntamaton jäkälikkö edusti tyypillistä kliimaks-vaihetta; tämä ilmeni myös varpujen niukkuutena.

Humus oli paksuin Angelissa ja ohuin Naruskalla, jossa se oli laidunnetuilla koealoilla merkitsevästi ohuempi kuin laiduntamattomilla koealoilla. Johtuuko ero laidunnuksesta, jää kuitenkin epäselväksi.

Sädekasvu

Laidunnettujen ja laiduntamattomien koealojen vertailukelpoisuutta arvioitiin tarkastelemalla koealaryhmien tärkeimpiä puustotunnuksia (taulukko 2). Naruskan laidunnetuilla koealoilla puusto oli järeämpää kuin laiduntamattomilla, alhaisemmasta keski-iästä huolimatta. Raja-Joosepin koealoilla oli havaittavissa kaksi, osin jopa kolme latvuskerrosta. Koealoilla esiintyi runsaasti hyvin pienikokoista puustoa, joten keskiläpimitan aritmeettinen keskiarvo ei kuvaa vallitsevan latvuskerroksen puustoa kovin hyvin; laidunnettujen koealojen puusto näytti kuitenkin olevan hivenen järeämpää kuin laiduntamattomien. Angelissa koealojen väliset erot olivat vähäisiä.

Kuvassa 1 on esitetty keskimääräiset lustonleveydet ja kasvuindeksit kunkin koemetsikön laidunnetuille ja laiduntamattomille koealoille. Kasvuindeksikuvaan on merkitty tarkastelun helpottamiseksi tasoa 100 vastaava suora, joka kuvaa aineiston puiden keskimääräistä kasvua (iän funktiona).

Taulukko 1. Tutkittujen koealojen kasvillisuustunnukset ($\bar{x} \pm$ S.D.). I = laidunnettu ja II = laiduntamaton. Otoskoko 9. Erojen merkitsevyys testattu t-testillä.

	Naruska			Raja-Jooseppi			Angeli		
	I	II	p	I	II	p	I	II	p
Peittävyys %:									
Poronjäkälät	19 ± 7	57 ± 17	<0,001	38 ± 12	82 ± 14	<0,001	31 ± 11	50 ± 22	<0,001
Sammalet	13 ± 20	7 ± 9	0,199	1 ± 1	1 ± 1	0,127	3 ± 5	1 ± 3	0,211
Varvut	14 ± 13	23 ± 13	0,012	27 ± 17	17 ± 17	0,010	28 ± 16	29 ± 2	0,941
Poronjäkälien pituus, mm	16 ± 12	75 ± 22	<0,001	27 ± 8	148 ± 20	<0,001	27 ± 10	73 ± 18	<0,001
Poronjäkälien tilavuus, l/m²	1 ± 1	17 ± 7	<0,001	4 ± 2	50 ± 13	<0,001	3 ± 2	15 ± 9	<0,001
Humuksen paksuus, mm	10 ± 7	18 ± 9	<0,001	20 ± 13	16 ± 14	0,302	36 ± 25	41 ± 22	0,470

Taulukko 2. Tutkittujen mäntyjen keski-iät ja keskiläpimitat sekä metsiköiden valtapituudet. N = tutkittujen puiden lukumäärä.

Metsikkö	N	Rinnan-korkeusikä	Keskiläpimitta (aritmeettinen)	Valtapituus H_{100}
Naruska				
Laiduntamaton	39	48	9,6	11,4
Laidunnettu	39	43	11,1	11,7
Raja-Jooseppi				
Laiduntamaton	62	105	7,8	8,5
Laidunnettu	62	109	9,9	8,5
Angeli				
Laiduntamaton	31	39	8,1	12,8
Laidunnettu	31	39	8,6	12,2

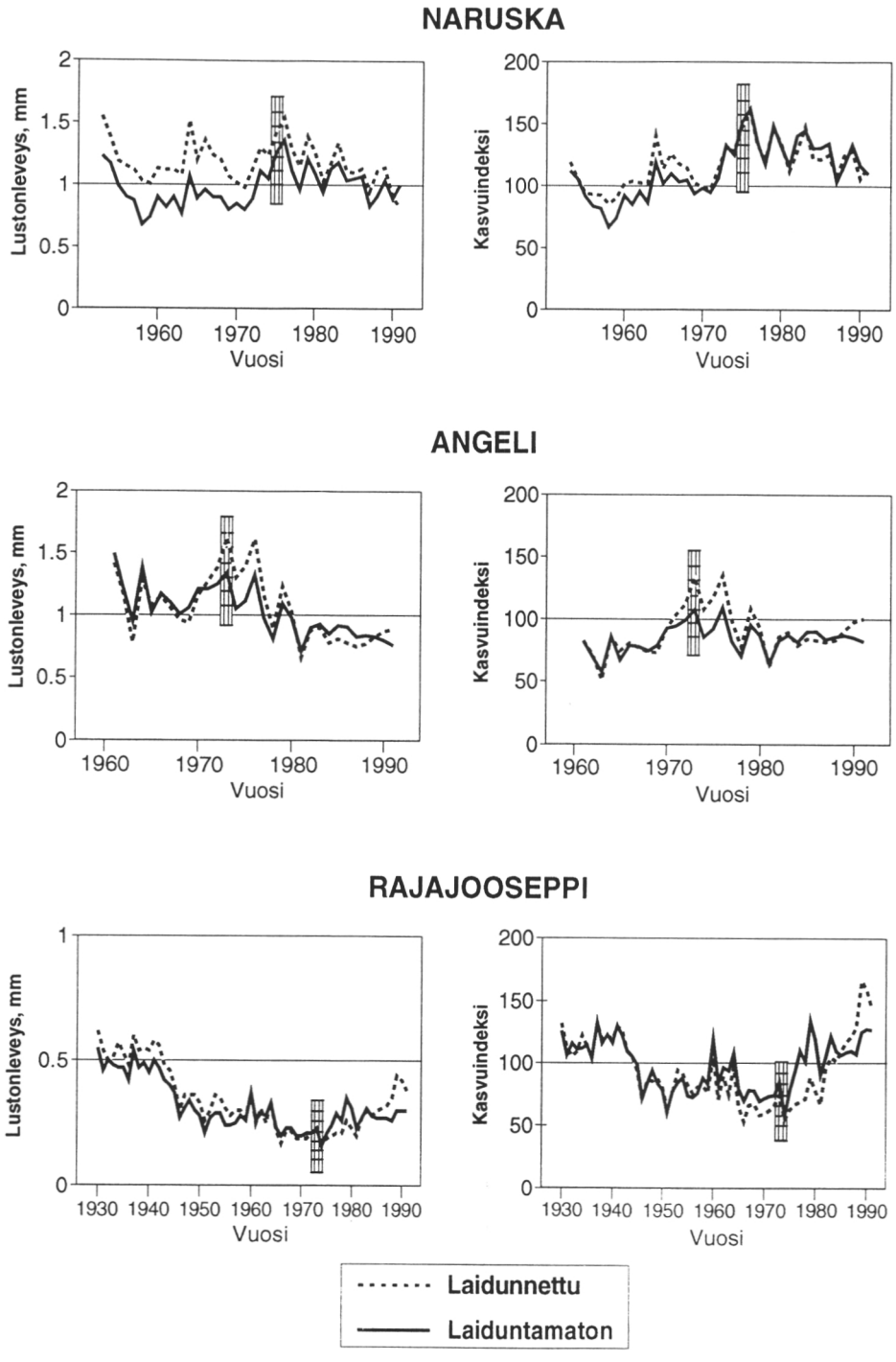
Naruskalla ja Angelissa laidunnettujen ja laiduntamattomien koealojen sädekasvut olivat hyvin samankaltaisia. Naruskan tuloksissa tulee selvästi esiin kasvuindeksien merkitys eri ositteiden vertailussa. Sädekasvujen perusteella laiduntamattomien koealojen puiden kasvu näyttäisi olleen heikompaa jo ennen vuotta 1975, mikä viittaisi boniteettieroihin vertailtavien koealojen välillä. Kun kasvuindeksin sisältämä ikäkorjaus otetaan huomioon, ositteiden väliset kasvuerot pienenevät merkittävästi.

Raja-Joosepissa kasvut olivat hyvin samanlaisia esteaidan rakentamiseen asti. Sen jälkeen kasvut ovat poikenneet toisistaan: silmiinpistävin ero on laidunnettujen koealojen puiden voimakas kasvu 1980-luvun lopulla.

Harsuuntuminen ja neulasvuosikerrat

Tutkituista puista luokiteltiin harsuuntumattomiksi (harsuuntumisaste 0) Naruskalla 92 %, Raja-Joosepissa 66 % ja Angelissa 81 %. X^2-testit osoittivat, että harsuuntumisessa ei ollut merkitseviä eroja laidunnettujen ja laiduntamattomien koealojen välillä millään alueella (Naruska: $X^2 = 0{,}421$, df = 2, p = 0,810; Raja-Jooseppi: $X^2 = 9{,}743$, df = 7, p = 0,204; Angeli: $X^2 = 9{,}098$, df = 6, p = 0,168).

Mäntyjen yläoksissa oli keskimäärin 4,3–5,4 ja alaoksissa 4,2–4,8 neulasvuosikertaa (taulukko 3). Naruskalla ja Angelissa laidunnettujen ja laiduntamattomien koealojen keskiarvot eivät poikenneet toisistaan. Raja-Joosepissa sen sijaan neulasvuosikertoja oli laidunnetulla alueella merkitsevästi enemmän.



Kuva 1. Lustonleveydet ja kasvuindeksit koealoilla. Poroaidan rakentamisvuosi merkitty pylväällä. Tutkittujen puiden lukumäärä esitetty taulukossa 2.

Taulukko 3. Neulasvuosikertojen lukumäärä tutkituilla koealoilla. N = tutkittujen puiden lukumäärä. Erojen merkitsevyys testattu t-testillä.

Metsikkö	Alaoksat			Yläoksat		
	N	$\bar{x} \pm$ S.D.	p	N	$\bar{x} \pm$ S.D.	p
Naruska						
Laidunnettu	32	4,6 ± 0,7		34	4,9 ± 0,5	
			0,867			0,222
Laiduntamaton	32	4,5 ± 0,6		32	4,7 ± 0,5	
Raja-Jooseppi						
Laidunnettu	38	4,7 ± 0,7		38	5,2 ± 0,5	
			<0,001			<0,001
Laiduntamaton	40	4,1 ± 0,9		40	4,3 ± 1,0	
Angeli						
Laidunnettu	40	4,8 ± 1,0		40	5,4 ± 1,3	
			0,200			0,561
Laiduntamaton	38	4,6 ± 1,4		38	5,0 ± 1,6	

Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa selvitettiin sädekasvun, harsuuntumisen ja neulasvuosikertojen lukumäärän avulla poron laidunnuksen mahdollista vaikutusta mäntyjen kasvuun ja kuntoon. Harsuuntumista ja neulasvuosikertojen lukumäärää on käytetty puiden yleisen terveydentilan indikaattoreina erityisesti ilmansaastetutkimuksissa (Jukola-Sulonen ym. 1990). Harsuuntumiseen ja neulasvuosikertojen selvään vähenemiseen voivat olla syynä myös epäedulliset sääolot (Jalkanen & Kurkela 1990a, 1990b, Jukola-Sulonen ym. 1990, Kullman 1990). Jos poron laidunnuksesta koituu männyille ylimääräistä stressiä, sen pitäisi tulla esiin laidunnettujen ja laiduntamattomien koemetsiköiden vertailussa.

Harsuuntumisasteessa tällaisia eroja ei löytynyt miltään alueelta. Sen sijaan ilmeni, että Raja-Joosepissa laidunnettujen koealojen männyt olivat kasvaneet viime vuosina laiduntamattomia nopeammin ja että niissä oli myös useampia neulasvuosikertoja. Lukuunottamatta tilanteita, joissa jäljellä on vain muutama neulasvuosikerta, neulasvuosikertojen käyttö kunnon indikaattorina näyttää ongelmalliselta (Jalkanen & Kurkela 1990a, Jukola-Sulonen ym. 1990). Jos neulasvuosikertojen lukumäärä heijastaa neulasbiomassan määrää, tässä työssä todettu neulasvuosikertojen lukumäärän ja kasvun välinen yhteys olisi ymmärrettävissä.

Raja-Joosepin laidunnettujen koealojen nopeampi kasvu lienee seurausta joko poron lannoitusvaikutuksesta tai siitä, että maaperän lämpöolot kasvukauden aikana ovat edullisemmat siellä, missä jäkälää on vähän. Alustavat tulokset viittaavat jälkimmäiseen selitysvaihtoehtoon. Kershaw & Field (1975) havaitsivat, että jäkäläpeitteen poisto nosti kesällä maanpinnan lämpötilaa useilla asteilla. Raition (1990) mukaan männyn juurten kunto oli parempi lämpimässä (+20 °C) kuin viileässä (+10 °C) maassa, ja ero heijastui myös verson kasvuun. Se, että kasvueroja löytyi vain Raja-Joosepista voi selittyä sillä, että siellä laiduntamattomien koealojen jäkäläpeite oli selvästi tiheämpi ja paksumpi kuin Naruskalla ja Angelissa.

Pakkastalven 1987 vaikutukset näkyivät kasvun lievänä heikkenemisenä Naruskan koealalla, joka sijaitsee lähellä kesällä 1987 havaittujen neulasvaurioiden esiintymisaluetta (Tikkanen & Raitio 1990). Kasvun taantuma on kuitenkin samaa suuruusluokkaa sekä laidunnetuilla että laiduntamattomilla koealoilla. Muissa koemetsiköissä vuosi 1987 ei erotu lustosarjoista poikkeuksellisen epäedullisena kasvukautena.

Tulosten yleistettävyyttä koko poronhoitoaluetta koskeviksi rajoittaa aineiston niukkuuden lisäksi se, että koealoja ei voitu sijoittaa kesän 1987 neulasvaurioalueelle Keski- ja Lounais-Lappiin. Alueelta ei löydy vertailukohtana välttämättömiä laiduntamattomia jäkälikköjä. Neulasvaurioalue ei ulottunut kuitenkaan idässä eikä etelässä poronhoitoalueen rajaan asti. Tämä viittaa vahvasti siihen, että laidunnettujen kankaiden niukka jäkäläpeite ei voi olla varsinaisella neulasvaurioalueellakaan ensisijainen syy taimikoiden kellastumiseen kesällä 1987. Neulasvaurioalueellakin varttuneiden mäntyjen kasvu jäi kesällä 1987 keskimääräistä alhaisemmaksi, mutta yhtä heikkoja kasvukausia on esiintynyt usein aikaisemminkin (Nöjd 1992).

Kirjallisuus

Ahti, T. 1961. Taxonomic studies on reindeer lichens (Cladonia, subg. Cladina). Annales Botanici Societatis "Vanamo" 32. 160 s.

Arnborg, T. 1955. Skador på tallplantor inom ett starkt renbetat område i Hede socken. Norrlands Skogvårdsförbunds Tidskrift 25: 363–387.

Bergan, J. 1962. Reinskader på den naturlige gjenvekst av furu i Pasvik. Tidskrift for Skogsbruk 70(3): 175–193.

Brown, T. & Mikola, P. 1974. The influence of fruticose soil lichens upon the mycorrhizae and seedling growth of forest trees. Seloste: Jäkälien vaikutuksesta puiden mykoritsoihin ja taimien kasvuun. Acta Forestalia Fennica 141. 23 s.

Cowles, S. 1982. Preliminary results investigating the effects of lichen ground cover on the growth of black spruce. Naturalistic Canadien 109: 573–581.

Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. Moniste. 38 s.

Helle, T. & Moilanen, H. 1992. The effects of reindeer grazing on natural regeneration of Scots pine. Scandinavian Journal of Forest Research (submitted).

— , Kilpelä, S.-S. & Aikio, P. 1990a. Lichen ranges, animal densities and production in Finnish reindeer management. Julkaisussa: Rehbinder, C., Eriksson, O. & Skjenneberg, S. (toim.). Proceedings of the 5th International Reindeer/Caribou Symposium. Rangifer, Special Issue 3: 115–121.
— , Aspi, J. & Kilpelä, S.-S. 1990b. The effects of stand characteristics on reindeer lichens and range use by semi-domesticated reindeer. Rangifer, Special Issue No. 3: 107–114.
Jalkanen, R. 1990. Root cold stress causing a premature yellowing of oldest Scots pine needles. Julkaisussa: Merril, W. & Ostry, M. E. (toim.). Recent research on foliage diseases. Conference preceedings, USDA Forest Service, General Tecnical Report WO-56: 34–37.
— & Kurkela, T. 1990a. Needle retention, age, shedding and budget, and growth of Scots pine between 1985 and 1988. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin. s. 691–697.
— & Kurkela, T. 1990b. Revealing past needle retention in Pinus spp. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 481–485.
Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkola, K. & Salemaa, M. 1990. The vitality of conifers in Finland 1986–1988. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin. s. 523–560.
Kershaw, K. A. & Field, G.-F. 1975. Studies on lichen-dominated systems. XV. The temperature and humidity profiles in a Cladonia alpestris mat. Canadian Journal of Botany 53: 2614–2620.
Keränen, J. 1920. Über die Temperatur des Bodens und der Schneedecke in Sodankylä nach Beobachtungen mit Thermoelementen. Finska Vetenskapsakademi Annales, Ser. A 13. 200 s.
Kollström, R. E. S. 1988. Reindeer husbandry and forestry in Pasvik. Conflicts caused by common land use. Ökoforsk rapport 10. 34 s.
Kullman, L. 1990. Recent natural decline of Swedish mountane forests – review. Julkaisussa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia. Nordic Council of Ministers. Nord 2: 146–156.
Manual on metodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 1986. (Revised 1989). United Nations Environment Programme and Economic Commission for Europe. 97 s.
Mattila, E. 1981. Survey of reindeer winter ranges as a part of the Finnish National Forest Inventory in 1976–1978. Seloste: Porojen talvilaitumien arviointi osana valtakunnan metsien inventointia Suomessa 1976–1978. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99. 74 s.
— 1988. Suomen poronhoitoalueen talvilaitumet. Summary: The winter ranges of the Finnish reindeer management area. Folia Forestalia 713. 53 s.
Nöjd, P. 1992. Männyn kasvunvaihtelu Itä-Lapin metsävaurio-projektin eteläisillä koealalinjoilla – alustavia tuloksia. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 206–214.
Oksanen, J. & Ahti, T. 1982. Lichen-rich pine forest vegetation in Finland. Annales Botanici Fennici 19: 275–301.
Pruitt, W. O. Jr. 1979. A numerical "Snow Index" for reindeer (Rangifer tarandus) winter ecology (Mammalia, Cervidae). Annales Zoologi Fennici 8: 385–289.
Raitio, H. 1990. Decline of young Scots pines in a dry heath forest. Acta Universitatis Ouluensis, Series A, Scientiae Rerum Naturalium 216. 40 s.
Ritari, A. 1990. Temperature, snow and soil frost conditions in northern Finland during winter 1986–1987 viewed against a longer recording period. Julkaisussa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia. Nordic Council of Ministers. Nord 2: 44–52.

Schweingruber, F. 1988. Tree rings – basics and applications of dendrochronology. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. 276 s.

Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990. On the occurrence and causes of needle loss observed in northern Finland in 1987. Julkaisussa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia. Nordic Council of Ministers. Nord 2: 157–168.

Timonen, M. 1987. Kasvunvaihtelun määrittäminen. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste nro 7. 30 s.

Valtakunnan metsien inventointi ja kaukokartoitus

Eero Mattila
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Inventoinnin tehtävä ja tulosten merkitys

Valtakunnan metsien inventoinnit aloitettiin Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa 1920-luvun alussa. Inventoinnin tarkoitus on tuottaa luotettavaa tietoa metsävaroista suuraluetasolla metsä- ja puutaloutta koskevan päätöksenteon tueksi. Suomessa inventointi on aina tehty systemaattisen otoksen avulla. Tuloksen tilastollinen tarkkuus eri aluetasoilla voidaan ilmaista keskivirheenä. Taulukossa 1 esitetään eräitä esimerkkejä valtakunnan metsien seitsemännestä inventoinnista 1977–1984 (Kuusela & Salminen 1980, 1983, Kuusela ym. 1986, Mattila 1986). Menetelmä oli kaksivaiheinen ilmakuva- ja maasto-otanta Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakunnissa. Muualla käytettiin pelkkää maasto-otantaa.

Otantajärjestelyn ollessa sama suhteellinen keskivirhe on yleensä sitä pienempi, mitä suurempaa pinta-alaa tai tilavuutta arvioidaan. Näytteen kasvaessa suhteellinen keskivirhe pienenee hidastuvasti. Samasta menetelmästä huolimatta Perä-Lapin ja Etelä-Lapin virhetunnuslukuja ei voi verrata keskenään. Tämä johtuu erilaisesta maasto-otantatiheydestä ja alueellisista erikoispiirteistä.

Keskivirheen avulla voidaan laskea ns. luottamusväli, jonka sisällä oikea arvo tietyllä todennäköisyydellä on. Esimerkiksi Koillis-Suomen metsälautakunnan alueella metsämaan pinta-alan arvion absoluuttinen keskivirhe on 22 600 ha (1,3 % arviosta). Todellinen ala silloin on 68 %:n todennäköisyydellä välillä 1 702 300–1 747 500 ha (arvio -/+ abs. keskivirhe). Yleensä halutaan tietää 95 %:n luottamusväli (arvio -/+ kaksi keskivirhettä), joka esimerkkitapauksessa on 1,68–1,77 milj. ha. Vastaava väli metsämaan puuston tilavuudelle Koillis-Suomessa on 77,6–87,7 milj. m^3.

Valtakunnan metsien inventoinnin tulosten käyttäjän tulisi olla tietoinen niihin liittyvästä otantavirheestä varsinkin taloudellisia päätöksiä tehtäessä. Voidaan laskea riski sille, että oikea arvo on jotakin päätöksenteon kannalta tärkeätä kynnysarvoa pienempi tai suurempi. Esimerkiksi Koillis-Suomessa on 2–3 %:n todennäköisyys sille, että todellisuudessa metsämaata onkin vähemmän kuin 1,68 milj. ha. Vastaava riskiraja metsämaan puuston tilavuudelle on 77,6 milj. m^3. Käytännössä metsä- ja puutalouden päätöksenteko nojautuu varovaisuus-

periaatteen mukaisesti inventointituloksia hieman alempiin lukuihin. 25 %:n alariskirajalla Koillis-Suomen tunnusluvut ovat 1,71 milj. ha metsämaata ja 81,1 milj. m^3 puustoa metsämaalla.

Inventointitulosten luotettavuuteen vaikuttavat myös mittaus- ja luokitusvirheet. Näytteen suuruuden johdosta satunnaisilla virheillä ei ole merkitystä. Systemaattiset virheet eivät riipu näytekoosta, joten niitä erityisesti yritetään välttää näytteen keruun yhteydessä. Systemaattisten virheiden selvittäminen jälkikäteen on hankalaa. Ruotsissa puuston tilavuusarvion havaittiin olevan noin 1 % liian pieni (Daamen 1980). Suomessa puustomittauksia valvotaan työn kestäessä jatkuvin tarkistusmittauksin. Sellaista vertailututkimusta kuin Ruotsissa ei meillä ole tehty, mutta puuston aliarvio on todennäköisempi kuin yliarvio.

Taulukko 1. Metsämaan alan ja metsämaan puuston tilavuuden arviot ja arvioiden prosentuaaliset keskivirheet valtakunnan metsien 7. inventoinnissa 1977–1984 eräissä osa-alueissa.

Metsälautakunta/ Alue/Kunta	Maa-ala	Metsämaata	Puuston tilavuus	sA%	sV%
	1000 ha		milj. m^3	%	
Helsinki (ruots.)	657	348	39,0	3,2	4,2
Uusimaa-Häme	795	494	62,1	2,9	3,6
Keski-Pohjanmaa	1 094	735	47,8	2,7	3,6
Pirkka-Häme	1 043	790	91,1	1,7	2,6
Etelä-Pohjanmaa	1 453	934	75,9	2,1	2,9
Keski-Suomi	1 531	1 271	125,8	1,0	2,1
Koillis-Suomi	2 567	1 725	82,6	1,3	3,0
Lappi	7 239	3 586	175,4	1,3	2,1
Pohjois-Suomi [1]	14 390	8 575	460,6	0,7	1,3
Etelä-Suomi	16 074	11 490	1 163,1	0,5	0,8
Koko maa	30 464	20 065	1 623,7	0,4	0,7
Pello	168	129	7,3	5,0	10,2
Pelkosenniemi	183	115	4,9	7,0	11,2
Posio	310	215	11,4	3,4	8,6
Ranua	347	217	8,2	3,9	8,0
Savukoski	642	439	20,6	2,4	5,5
Rovaniemi	754	542	25,2	2,1	5,1
Perä-Lappi [2]	2 839	737	45,0	4,3	5,2
Lappi, eteläosa [3]	4 400	2 849	130,4	1,1	2,3
Lappi ja Koillis-Suomi	9 830	5 311	258,0	0,9	1,8

1) Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakunnat
2) Utsjoki, Inari ja Enontekiö
3) Lapin metsälautakunta ilman Perä-Lappia

Maaluokan määritys on ensimmäinen luokitustehtävä inventoinnin koealoilla. Rajanveto metsämaan ja kitumaan välillä on aiheuttanut paljon keskustelua Lapissa. Metsähallituksen kuvioarvioinneista saatu metsämaan ala on selvästi pienempi kuin inventoinnin arvio (esim. Varmola 1988, s. 122). Tähän vaikuttanevat yhdessä menetelmäero, luokituksen soveltamisero ja luokitusvirheet. Luokituksen vaikeus näkyy myös inventoinnin aikasarjassa (Mattila 1989, s. 56).

Puuntuotannon rajoitukset ovat osoittautuneet ongelmaksi Lapissa inventointitulosten käytännön soveltamisen kannalta. Uusien rajoitusten päivittäminen inventointitiedostoon on hankalaa. Tämä kuitenkin tehtiin Lapin Metsä 2000 -ohjelmaa laadittaessa 1980-luvun lopulla. Koillis-Suomen käytännön talousmetsien metsämaan pinta-alaksi ja metsämaan puuston tilavuudeksi arvioitiin tuolloin 1,45 milj. ha ja 66,9 milj. m^3. Arvioiden suhteellisista keskivirheistä (1,4 % ja 3,2 %) johdetut 25 %:n alariskirajat olivat 1,42 milj. ha ja 65,6 milj. m^3.

Vertaamalla kahden peräkkäisen inventoinnin tuloksia saadaan käsitys keskeisten tase-erien luotettavuudesta. Koillis-Suomen metsälautakunnan alueella saatiin kokonaispuustolle seuraava tulos inventointijaksolla 1976–1983 (Kuusela & Salminen 1991, s. 49):

Arvioitu alkupuusto 1976 (6. inventointi)	86,8	milj. m^3
Jakson kasvu (7. inventointi)	+ 15,6	"
Jakson poistuma (poistumatutkimus)	- 13,9	"
Laskennallinen loppupuusto 1983	= 88,5	"
Arvioitu loppupuusto 1983 (7. inventointi)	88,1	"

Loppupuustojen erotus on suhteellisena 0,5 %. Tässä vertailussa Koillis-Suomi on lautakunnista paras ja yhtä hyvä kuin koko Suomi. Kaikki tase-erät ovat satunnaismuuttujia, joten saatu hyvä erotustulos voi olla sattuma. Poistumaan sisältyy luonnonpoistuma, joka arvioidaan inventoinnissa. Jakson kasvuun sisältyy myös poistuman kasvu, jonka suuruus riippuu hakkuiden rakenteesta ja ajoittumisesta.

Ilmakuvien käyttö inventoinnissa

Inventointien alkaessa 1920-luvulla ilmavalokuvauksen käyttömahdollisuuksia metsänarvioinnissa vasta arvailtiin (Fabritius 1922). Jo varhain todettiin ilmakuvien potentiaalinen merkitys metsätalouskarttojen valmistuksessa (Aro 1934, Kytönen & Tuura 1937, Sarvas 1938, 1945). Metsävero- ja metsätalouskarttojen valmistus ilmakuvapohjalta yleistyi sotien jälkeen. Kuvioarvioinnin käytännön toteutus ilmakuvien avulla vakiintui 1950-luvun loppuun mennessä lähinnä metsähallituksen Perä-Pohjolan metsissä saatujen kokemusten perusteella (Heikkerö 1948, Olenius 1951, Linnamies 1954, Setälä 1955). 1950-luvulla alkoi

myös metsällisen ilmakuvatekniikan perusteiden luonti (Ilvessalo 1950, Linnamies 1951, Nyyssönen 1955, Kuusela 1955a, 1955b, 1959). Väri- ja vääräväri kuvien kokeilu alkoi 1960-luvulla (Finne 1966, Vainio 1968, Peltola 1969). Tuolloin myös osoitettiin ilmakuvien tehokkaan käytön edellytykset kaksivaiheiseen otantaan perustuvassa metsän inventoinnissa (Nyyssönen & Poso 1962, Nyyssönen ym. 1968, Poso ym. 1968).

Ennakkokuviointiin ja maastotarkistuksiin perustuva kuvioittainen arviointi ei käytännössä ole muuttunut paljoakaan 1950-luvulta. Uudet kuvamateriaalit ja kustannussuhteiden kehitys kuvatulkintaa suosiviksi ovat kuitenkin luoneet tutkimustarpeita. 1970-luvun lopulla todettiin eräässä kokeessa, että pelkkä kuvatulkinta ilman maastotarkistuksia voi olla lähes yhtä luotettava kuin tavanomainen kuvioittainen arviointi maastotarkistuksin (Poso 1979). Kuvioiden sisäisestä vaihtelusta johtuen kuviotunnusten arviointitarkkuus on huono, mikä puoltaisi kuvio- ja metsikkökäsitteiden erottamista metsätalouden suunnittelussa ja järjestelyssä (Poso 1983).

Tiihonen & Virtanen tutkivat ilmakuva- ja maastoarvioinnin perusteita sekä energiapuun arvioinnissa (1982) että metsätaloussuunnitelman teossa (1983). Menetelmien lähtökohtana ovat tilauskuvaukset ja tavanomaista suurempi mittakaava tulkinnassa. Tutkijoiden mielestä pelkkä kuvatulkinta voi eräissä tapauksissa olla riittävän luotettava metsätalouden suunnittelussa.

Ilmakuvatulkinnan tarkoitus on vähentää kallista maastotyötä. Tulkinnan ja maastotietojen välinen korrelaatio riippuu filmistä ja mittakaavasta, jotka vaikuttavat ilmakuvakustannuksiin. Kaksivaiheisessa otannassa tulkintakoealan ja maastokoealan kustannuseron on oltava niin suuri, että inventoinnin tarkkuustavoite on mahdollista saavuttaa halvemmalla kuin pelkkää maasto-otantaa käytettäessä. Tulkinnan ja maastotyön optimaalinen yhdistelmä joko minimoi kustannukset tarkkuustavoitteen ollessa kiinteä tai maksimoi tarkkuuden budjetin ollessa kiinteä.

Metsätilan inventoinnissa voidaan käyttää kuvioittaista arviointia tai koealaotantaa. Poso (1969) kokeili kaksivaiheista otantaa pienellä (15 ha) ja suurella (180 ha) tilalla Suonenjoella. Pelkkään maasto-otantaan verrattuna kaksivaiheinen otanta säästi ajassa 50 %. Vertailua kuvioittaisen arvioinnin kanssa ei esitetty.

Kaksivaiheista otantaa käytettiin metsäninventoinnissa USA:ssa jo 1950-luvun alussa (Bickford 1952). Suomen olosuhteisiin kehitettiin sovellus, jota erään työvaiheen perusteella kutsutaan ryhmitysmenetelmäksi (Poso 1972). Sitä käytettiin valtakunnan metsien 5. inventoinnissa Perä-Lapissa (Poso & Kujala 1971) ja 6. inventoinnissa Etelä-Lapissa (Poso & Kujala 1978). Perä-Lapin maastonäyte uusittiin 7. inventoinnissa 1978, mutta vanhaa ilmakuvanäytettä hyödynnettiin sellaisenaan (Mattila & Kujala 1980). Näissä inventoinneissa maastokoealat valittiin tulkinnan perusteella ja maastonäytetiheys oli eri tul-

kintaositteissa erilainen. Maastonäytteen valintatavasta johtuen sitä ei yksin voitu käyttää tulosten laskentaan millään aluetasolla.

Kaksivaiheista otantaa kokeiltiin 6. inventoinnissa myös Lounais-Suomen saaristossa vuonna 1971 (Nyrhinen 1976). Maastonäyte oli rakenteellisesti sama kuin koko lohkoinventointialueella. Koe toi esiin systemaattisesta maastonäytteestä koituvia etuja ja haittoja näytteiden yhdistämisessä.

Etelä-Lapissa sekä ilmakuva- että maastonäyte olivat systemaattisia 7. inventoinnissa 1980-luvun alussa (Mattila 1985). Kun maastonäytteen valinta ei riippunut tulkintatiedoista, tulkinnan ja maastotyön ajallinen järjestys oli vapaa. Tämä mm. sallii ilmakuvanäytteen kasvattamisen jälkikäteen, jos se otantavirheen alentamiseksi on tarpeen. Ajallisen joustavuuden lisäksi tuli mahdolliseksi laskea alustavia inventointituloksia suuraluetasolla pelkän maastonäytteen perusteella.

Metsämaan alan ja metsämaan puuston tilavuuden suhteelliset keskivirheet Koillis-Suomen maastonäytteessä olivat 2,4 % ja 5,0 %. Olisi tarvittu noin kolminkertainen maastonäyte, jotta tarkkuus olisi ollut yhtä hyvä kuin se oli kaksivaiheista ilmakuva- ja maasto-otantaa käyttäen. 1980-luvun alkupuolen kustannussuhteilla menetelmävalinta oli hyvin edullinen, vaikka otantajärjestely ei todennäköisesti ollut optimaalinen (Mattila 1985, s. 85). Etelä-Lapin 7. inventoinnin näytteen rakenteeseen vaikuttivat paljon jo 6. inventoinnissa tehdyt ratkaisut.

Kun verrataan metsämaan pinta-aloja ja saavutettua tarkkuutta (taulukko 1), näyttää siltä, että Etelä-Lapissa on kuntatasolla päästy tarkempaan tulokseen kuin Etelä-Suomessa metsälautakuntatasolla. Puuston osalta vertailua vaikeuttaa puuston alhainen keskitilavuus metsämaalla Lapin olosuhteissa. Puuston kokonaistilavuuden perusteella Koillis-Suomea voidaan verrata lähinnä Etelä-Pohjanmaahan ja Pirkka-Hämeeseen. Virheen arviointitarkkuus huomioon ottaen puuston suhteellinen keskivirhe näissä metsälautakunnissa on samaa suuruusluokkaa. Voitaneen olettaa, että pienemmissä osa-alueissa ilmakuvatulkinnan edut korostuvat myös puuston määrän arvioinnissa.

Tarkkuuteen vaikuttavat myös arviointikohteen tilajärjestys ja hajonta. Näiden ominaisuuksien osalta Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakunnat ovat vaikeita. Tehokas ratkaisu ongelmaan on ilmakuvatulkinta.

Keskeinen tavoite Etelä-Lapissa oli tulosten käyttökelpoisuuden lisääminen kunta- ja omistajaryhmätasolla. Tulkintanäytettä lisättiin ja hajautettiin 6. inventoinnista selvästi. Näytteiden käsittelyä varten muodostettiin 15 osa-aluetta, joista 12 koostui yhdestä kunnasta (Mattila 1986, s. 7). Ilmakuva- ja maastotietoja yhdistettäessä osa-aluerajoja ei rikottu, joten kunkin osa-alueen tulokset perustuvat vain ko. alueella kerättyyn näytteeseen. Kun tätä periaatetta sovellettiin omistajaryhmittäin, yksityisiä talousmetsiä koskevat tulokset voitiin laskea 12 osa-alueelle ja metsähallituksen talousmetsiä koskevat tulokset 10 osa-alueelle.

Kaukokartoitusta ilmakuvien muodossa on nyt hyödynnetty valtakunnan metsien inventoinnissa kahden vuosikymmenen ajan noin kolmasosalla Suomen pinta-alasta. Materiaali on saatu Topografikunnan korkeakuvauksista, jotka tehdään mittakaavaan 1 : 60 000 noin kymmenen vuoden välein. Tulkinta on tehty mustavalkoisilta oikaistuilta stereopareilta mittakaavassa 1 : 50 000. Tämän mittakaavamuutoksen avulla saadaan suurin hyöty taskustereoskoopin suurennuskyvystä samalla kuitenkin säilyttäen kuvien käsiteltävyys sekä sisällä että maastossa. Kuvamateriaali oli pääosin pankromaattista mustavalkoista, jolla erotuskyky oli noin 10 metriä. 1980-luvun alussa materiaali muuttui mustavalkoinfraksi erotuskyvyn parantuessa samalla 2–5 metriin. Tulkinta tehtiin pääosin taskustereoskoopilla ja osin Topcon peilistereoskoopilla, mutta maastotyössä käytettiin taskustereoskooppia. Koealat paikallistettiin maastossa kuvien perusteella, koska maastomittaukset on tehtävä samalta paikalta kuin ilmakuvatulkinta, jotta menetelmän potentiaalinen hyöty realisoituisi kokonaan.

Käytännön syistä materiaali- ja välineratkaisut olivat suhteellisen yksinkertaisia. Näin kuitenkin kustannussuhde ilmakuva- ja maastokoealan välillä muodostui sellaiseksi, että inventointimenetelmä oli tehokas Lapin olosuhteissa.

Suuralueella ilmakuvien laatu ja ikä vaihtelevat. Tässä suhteessa korkeakuvaus on ollut paras saatavilla oleva materiaali. Esimerkiksi valtakunnan metsien 6. inventoinnissa Etelä-Lapissa kuvauksen ja maastotyön välinen aika oli keskimäärin lähes neljä vuotta (Mattila 1983, s. 131). Ei ole syytä olettaa, että tilanne olisi ollut olennaisesti erilainen 7. inventoinnissa. Kuvien ikä huonontaa tulosten tilastollista tarkkuutta, mutta ei tee tuloksia harhaisiksi. Kuvauksen ja maastotyön välillä tapahtuneet muutokset, erityisesti uudistushakkuut, lisäävät otantavirhettä, koska tulkinnan ja maastotiedon välinen korrelaatio huononee. Tämä voidaan eliminoita joko lisäämällä tulkintaa tai, kuten Perä-Lapissa tehtiin 1978 (Mattila & Kujala 1980), lisäämällä maastonäytettä.

Inventoinnit alkoivat myös Ruotsissa ja Norjassa 1920-luvulla. Siitä huolimatta, tai ehkä juuri pitkän perinteen vuoksi, näissä maissa on tähän saakka käytetty pelkkää maastoarviointia. Ruotsissa tehokkuutta tavoitellaan ottamalla mahdollisimman hyvin tilajärjestys huomioon näytteen rakenteessa. Optimointia varten maa jaetaan viiteen vyöhykkeeseen (Hägglund 1985, s. 15). Muutosten seuraamiseksi osa lohkoista perustettiin pysyviksi vuosina 1983–1987 ja ne mitataan uudestaan vuosina 1988–1992.

Uusia inventointimaita Euroopassa ovat Sveitsi ja entinen Länsi-Saksa, joissa mitattiin systemaattinen maastokoealaverkko ensimmäistä kertaa 1980-luvulla (Brändli 1988, Lohner 1990). Ainakin Sveitsissä inventointia on tarkoitus jatkaa menetelmällä, jossa hyödynnetään pysyvien koealojen uusintamittausta (Köhl 1990). Itävallassa systemaattisia otantainventointeja on tehty 30 vuotta. Pysyvien koealojen

verkko perustettiin siellä 1980-luvun alussa ja se mitattiin uudestaan 1980-luvun lopulla (Haszprunar & Niebauer 1988). Kuten esimerkit osoittavat, systemaattinen yksinkertainen maasto-otanta ja pysyvät koealat ovat avainasemassa Keski-Euroopan valtiollisissa metsäninventoinneissa. Uudet metsätuhot ja niiden luoma seurantatarve ovat ilmeisesti osaltaan vaikuttaneet menetelmäratkaisuihin. Esimerkkinä kaksivaiheisesta otantamenettelystä Euroopassa voidaan mainita Espanjan ensimmäinen valtakunnan metsien inventointi 1964–1973 (Martinez 1973).

USA:ssa ja Kanadassa inventointiperinne on nuorempi kuin Skandinavian maissa. Suuret pinta-alat ja aloitusvaiheen parempi tekninen ja tiedollinen perusta johtivat alun alkaen erilaiseen lähestymistapaan. Tyypillinen piirre Pohjois-Amerikan metsäninventoinnissa on kaukokartoituksen, lähinnä ilmakuvien hyväksikäyttö. Kuitenkin USA:n ja Kanadan menetelmissä on selviä eroavaisuuksia, joiden vähentämiseksi maat ovat ryhtyneet yhteistyöhön 1980-luvulla (Schreuder & Bonnor 1987).

Alusta alkaen USA:ssa on perustettu pysyviä koealoja, joiden tehokkuus muutosten arvioinnissa on ylivoimainen verrattuna kertakoealoihin (Ware & Cunia 1962). Kansallismetsien pinta-alatiedot perustuvat kuvioarviointiin. Muualla sovelletaan kaksivaiheista luokitettua otantaa (Bickford 1952), jossa ensimmäisessä vaiheessa yleensä käytetään keski- tai pienimittakaavaisia ilmakuvia. Kaliforniassa ilmakuvat on korvattu Landsat-satelliittikuvilla. Alaskassa on käytössä nelivaiheinen satelliittikuviin, ilmakuviin ja maasto-otantaan perustuva menetelmä (LaBau & Winterberger 1988).

Kanadassa ei ole valtakunnan metsien inventointia pohjoismaisessa merkityksessä. Provinssit omistavat metsistä 80 %. Kuvioarvioinnit aloitettiin provinsseissa ja territorioissa liittovaltion tuella 1950-luvun alussa. Ilmakuvien mittakaava kartoituksessa on 1 : 15 000–1 : 40 000. Tarkemmat puustotiedot hankitaan koealaotannalla. Näiden arviointien yhteenvetoja on tehty noin viiden vuoden välein 1960-luvulta lähtien. Yhteenvetoinventointeja tekee Forestry Canada. Nykyisin tulokset esitetään 100 neliökilometrin ruuduissa, joita Kanadan alueella on yli 39 000 kpl. Kanadan metsäammattilaisten mielestä inventointitilaston luotettavuudessa ja ajantasaisuudessa on toivomisen varaa (Whidden 1991).

Suomalaisia metsäalan satelliittikuvatutkimuksia

Varsinaisten luonnonvarasatelliittien kausi alkoi, kun USA lähetti ERTS-1 -satelliitin maata kiertävälle polaariselle radalle vuonna 1972. Tästä alkoi Landsat-sarja, jonka kaksi viimeistä satelliittia (4 ja 5) ovat tällä hetkellä toiminnassa. Jo vuonna 1970 Suomessa tutkittiin suuralueen puuston arviointia Essa 8 -sääsatelliittikuvan avulla (Kuusela & Poso 1970). Tutkimusalueena oli koko Etelä-Suomi jaettuna 46 osa-

alueeseen. Lähinnä kuvan tummuusarvojen perusteella ennustettujen keskitilavuuksien todettiin korreloivan hyvin 5. inventoinnissa arvioitujen keskitilavuuksien kanssa. Satelliittikuvien suurimman potentiaalisen hyödyn arveltiin olevan kaksi- tai monivaiheisessa otannassa (Kuusela & Poso 1973). Ilmakuvakoealojen luokituksessa voitiin alentaa luokkien sisäistä varianssia ERTS-1 -kuvan neljän kanavan säteilyarvojen avulla (Kuusela & Poso 1975). Satelliittikuvan ei katsottu voivan syrjäyttää ilmakuvaa metsänarvioinnissa ilman selvää radiometrisen ja geometrisen laadun parannusta.

Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa aloitettiin satelliittikuvien sovellustutkimusprojekti vuonna 1974 (Jaakkola 1976). Myös lentokoneesta toimivan keilaimen käyttömahdollisuuksia tutkittiin (Kilpelä ym. 1978). Tavoitteena oli kehittää käytäntöä palvelevia menetelmiä maa- ja metsätalouden, geologian ja hydrologian tarpeisiin. Painopistealueina metsätaloudessa pidettiin puuston automaattista luokitusta ja ojitusalueiden ja SO_2-metsävaurioalueiden seurantaa. Oli mahdollista tuottaa teemakarttoja, joiden avulla katsottiin voitavan tehostaa alueellista luonnonvarojen käytön suunnittelua ja metsävarojen inventointia.

Satelliittikuvan käyttökelpoisuuteen vaikuttavat spatiaalinen, spektrinen ja radiometrinen erotuskyky. Spatiaalinen erotuskyky ilmaisee laskennallisesti määräytyvän pienimmän kuvalta näkyvän maastoelementin koon. Spektrinen erotuskyky on sitä parempi, mitä useammalla ja kapeammalla kaistalla eli kanavalla säteilyspektriä rekisteröidään. Satelliittiin kohteesta saapuvan säteilyn intensiteettiä mitataan asteikolla, jonka tasojen määrä on radiometrinen erotuskyky. Landsat-sarjan satelliitit on lähetetty vuosina 1972, 1975, 1978, 1982 ja 1984. Kaikissa on MSS-keilain (Multispectral Scanner) ja kahdessa uusimmassa TM-keilain (Thematic Mapper). MSS rekisteröi säteilyä neljällä kanavalla 64:llä intensiteettitasolla ja maasto- elementin koko on 79 m x 79 m. TM:ssa on seitsemän kanavaa, 256 tasoa ja 30 m x 30 m maastoelementti. Kuvien laatu on siis parantunut olennaisesti 1980-luvulla TM:n ansiosta. Tämä näkyy selvästi satelliitti-informaatiota hyödyntävän luonnonvaratutkimuksen runsastumisena.

Pääosin ranskalaisen SPOT-luonnonvarasatelliitin spatiaalinen erotuskyky on 10 tai 20 metriä. TM-keilaimeen verrattuna SPOTin radiometrinen erotuskyky on sama, mutta spektrinen erotuskyky on selvästi huonompi. Sarjan ensimmäinen satelliitti lähetettiin vuonna 1986 ja toinen vuonna 1990.

MSS-materiaalin soveltuvuutta eri tarkoituksiin selvitettiin. Tutkimusaiheina olivat puuston ja maan luokitus (Jaakkola ym. 1978), puuston ja hakkuumahdollisuuksien arviointi (Jaakkola & Saukkola 1979), Pohjois-Suomen metsäveroluokitus (Häme & Saukkola 1982), uudistushakkuiden seuranta (Saukkola 1982b), puuston inventointi (Saukkola 1982a), metsäalueen ja metsikön tunnusten numeerinen tulkinta (Saukkola & Jaakkola 1983), metsikön kuvioittainen arviointi (Poso ym. 1984), taimikon vesottuneisuuden arviointi (Häme 1984a) ja

metsätyypin tulkinta (Häme 1984b). Parhaat tulokset saavutettiin kokonaispuuston ja lehtipuuston arvioinnissa sekä hakkuualueiden kartoituksessa. Kuvioittaiseen arviointiin, veroluokitukseen ja vesottuneisuuden arviointiin kehitettiin menetelmät, jotka eivät kuitenkaan ole yleistyneet käytännössä.

TM-materiaalin spatiaalinen erotuskyky näytti mahdollistavan käytännön metsäkuvioiden erottelun. Kuviointiin ja kuviotunnusten arviointiin esitettiin pian ratkaisuja (Tomppo 1987a, 1987b, 1987c, 1988, Häme & Tomppo 1987, Poso ym. 1987). Häme ym. (1987) tutkivat SPOT-1 -materiaalin käyttöä tähän tarkoitukseen. Muodollisesti kuvioarviointia vastaava tulos saadaan aikaan mm. menetelmällä, johon kuuluvat kuvan segmentointi ja kuviotunnusten arviointi regressio- ja diskriminanttianalyysien avulla. Tuotteen luotettavuutta ei kuitenkaan ole tutkittu riittävästi teoriassa eikä käytännössä. Sama puute koskee myös veroluokitusmenetelmätutkimusta (Tomppo 1989a, 1989b, Tomppo & Härkönen 1989).

Parantunut spatiaalinen erotuskyky aiheutti myös ongelmia. Pikseleiden eli kuvaelementtien arvojen vaihtelu lisääntyi, mikä vaikeuttaa kuvioiden rajaamista ja koealojen paikallistamista satelliittikuvalle. Kun arvoja tasoitetaan filtterointimenetelmillä, menetetään alkuperäistä informaatiota. Vaikutus on sama kuin huononnettaessa spatiaalista erotuskykyä, vaikka osa alkuperäisestä vaihtelusta onkin pelkkää kohinaa. Uusi kuvamateriaali ei tuonut niin suurta parannusta kuin pelkän spatiaalisen erotuskyvyn perusteella olisi voinut ennakolta odottaa.

TM-keilaimen spektrinen erotuskyky on olennaisesti parempi kahden keski-infrakanavan ja yhden lämpökanavan ansiosta. Varsinkin USA:ssa ja Kanadassa tehtyjen tutkimusten perusteella keski-infrakanavien tiedetään olevan hyödyllisiä vihreän kasvillisuuden määrän, kunnon ja muutosten arvioinnissa. Mattila (1992) on käsitellyt aiheeseen liittyvia tutkimuksia tarkemmin. Muutosten arvioimista satelliittikuvalta on Suomessa tutkinut etupäässä Häme (1987, 1988, 1991). Moniaikaisia kuvia käyttäen Häme (1991) sai tuloksen, että parhaiten erottuvat avohakkuut, sen jälkeen versosyöpäalueet, maanmuokkausalueet ja huonoimmin harvennushakkuut, vesakon perkaus ja vesakoituminen. Tutkimuksessa käytettiin sekä Landsat TM että SPOT -materiaalia. Peng Shikui (1987) selvitti moniaikakuvien ja pysyvien koealojen käyttöä sekä otantainventoinnissa että kuvioittaisessa arvioinnissa. Yleistetty pienimmän neliösumman ennustemenetelmä soveltui hyvin kvantitatiivisten ja kvalitatiivisten tunnusten arviointiin. Nykytilan ja suurien muutosten arviointi onnistui hyvin Landsat 5 TM -materiaalilla. Pienten muutosten havaitseminen sen sijaan aiheutti ongelmia.

Moniaikakuvien käyttö perustuu satelliittikuvien temporaaliseen erotuskykyyn. Sääsatelliittikuvia saadaan päivittäin, mutta luonnonvarasatelliittien tuottamien samapaikkaisten kuvien väliaika suotuisissa olosuhteissa on pari viikkoa. Pilvisyydestä johtuen väliaika käytännössä muodostuu paljon pitemmäksi. Jos halutaan kuvien ajoittuvan suurin-

piirtein samaan ajankohtaan kasvukaudella, sopivan kuvan saanti kerran vuodessa lienee Suomen olosuhteissa hyvä saavutus.

Kasvillisuuden heijastussuhde on pieni. Kun uusien satelliittien radiometrinen erotuskyky on 256 intensiteettitasoa, näkyvän valon alueella kasvillisuus yleensä rekisteröityy tasoilla 10–60. Suurin vaihteluväli on lähi-infrakanavalla, jolla korkeimmat intensiteettitasot yltävät yli sadan. Näin ollen radiometrisen erotuskyvyn parantumisesta ei ole niin suurta hyötyä kasvillisuustutkimuksissa kuin pelkän intensiteettitasojen lukumäärän perusteella voisi päätellä.

Uusi satelliittisukupolvi ei vielä ole ratkaissut satelliittikuvien käyttöön liittyviä monia ongelmia luonnonvaratutkimuksissa. Tutkimuksen ja käytännön etäisyys sekä muutosinertia ovat usein olleet esteenä käytännön sovellutuksille (Häme & Kuittinen 1989). Metsänarvioinnissa tilanne ilmeisesti paranee digitaalisten metsäkarttojen yleistyessä. Poso (1988) korostaa satelliitti-informaation täydentävää luonnetta monilähteisessä metsäninventoinnissa ja seurannassa. Menetelmävalinnan tulee lähteä tulostavoitteista eikä päinvastoin. Kaupallisten kuvankäsittelyohjelmistojen kaavamaiset ratkaisut eivät yleensä ole optimaalisia. Paras tulos on saavutettavissa tarveorientoituneen laite- ja ohjelmistokokonaisuuden avulla. Sellainen on rakennettu mm. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella (Härmä 1988, Poso ym. 1990).

Ilmakuvien eriaikaisuus ja erilaatuisuus on ollut ongelma valtakunnan metsien inventoinnissa Lapissa. Tästä syystä on korostettu sellaisen tutkimuksen tärkeyttä, joka tähtää valmiuteen käyttää satelliittikuvia otannan ensimmäisessä vaiheessa (Mattila 1985, s. 90). Nimenomaan valtakunnan metsien inventointiin tarkoitettuja menetelmiä onkin kehitelty 1980-luvun lopulla (Kilkki & Päivinen 1987, Kilkki 1988, Tomppo 1990, Tomppo & Katila 1991, Tomppo & Siitonen 1991). Menetelmien harhattomuutta ei ole todistettu ja käytännön näytöt puuttuvat ainakin toistaiseksi.

Satelliittikuvien käyttöä metsäninventoinnissa tutkittiin myös yhteispohjoismaisesti (Jaakkola ym. 1988). Painopistealueita olivat kuvioarviointi (Suomi), valtakunnan metsien inventointi (Ruotsi) ja metsänarviointi yleensä (Norja). Materiaalina käytettiin Landsat MSS- ja TM-kuvia sekä SPOT-simulointikuvia. Päätarkoitus oli teknisen ja tiedollisen valmiuden lisääminen, missä tutkijoiden mukaan onnistuttiin hyvin. Jonasson (1987) kuvaa tarkemmin Ruotsin tutkimustuloksia. Landsat-materiaalin käyttömahdollisuuksia tutkittiin Ruotsissa jo nykyisen inventoinnin suunnitteluvaiheessa (Green ym. 1981).

Pilvisyys on ensimmäisen ja toisen sukupolven luonnonvarasatelliittien suurin haittatekijä. Niiden passiiviset sensorit rekisteröivät heijastunutta elektromagneettista säteilyä sellaisilla aallonpituuksilla, joilla säteilyn pääsyä ilmakehän läpi satelliittiin haittaavat mm. vesihöyry, savu ja tomu. Tämä on vaikeuttanut erityisesti trooppisten metsäalueiden tutkimusta, missä satelliittien potentiaalinen hyöty muuten olisi suurin. Aktiiviset tutkasensorit sen sijaan voivat kerätä informaatiota

yöllä ja pilvisellä säällä, mistä hyötyy eniten napa-alueiden ja tropiikin tutkimus. ERS-1 (The first European Remote Sensing Satellite) on tutkasatelliitti, jonka ESA (European Space Agency) lähetti radalleen heinäkuussa 1991. Sen aktiivinen mikroaaltokoje voi toimia SAR-tutkan (Synthetic Aperture Radar) tavoin ja tutkakuvan erotuskyky on 30 m x 30 m. Tutkakuvien metsälliseen hyödyntämiseen liittyvää perustutkimusta on jo tehty Suomessakin (Hallikainen ym. 1989, 1990). Näyttää olevan mahdollista erottaa puulajeja ja kehitysluokkia sillä perusteella, mistä kohtaa latvustoa tutkakaiut palaavat sensoriin.

Kuvioarviointi vs. otantainventointi

Valtakunnan metsien inventointi ja kuvioarviointi palvelevat selkeästi eri tavoitteita. Metsätaloudessa erotetaan strateginen ja operatiivinen suunnittelu. Toisaalta voidaan puhua myös makro- ja mikrotason suunnittelusta. Inventointi palvelee edellistä ja kuvioarviointi jälkimmäistä. Taktista suunnittelua voidaan toteuttaa sekä inventoinnin että kuvioarvioinnin pohjalta.

Valtakunnan metsien inventointi kattaa kaikki maankäyttölajit omistajasta riippumatta noin 8–10 vuoden välein. Kuvioarviointi on kattava mm. metsähallituksen ja metsäyhtiöiden metsissä. Varsinaisissa yksityismetsissä voimassa olevien metsätaloussuunnitelmien peitto on tällä hetkellä yli 70 % (Tapion vuosikirja 1991 s. 38). Pinta-alalla painotettu kuvioarviointien keski-ikä on metsähallituksella ja Tapiolla 5–7 vuotta.

Inventointi perustuu objektiiviseen koealaotantaan. Mittaukset ja luokitukset koealoilla ovat monipuoliset ja mahdollisimman harhattomat. Siten puuston rakenteesta ja kasvupaikoista saadaan yksityiskohtaista tietoa metsätalouden suunnittelua varten. Koealainventointi on kallista, mistä syystä näytetiheys on pieni. Tilastollisen otannan ansiosta inventointitulosten tarkkuus voidaan arvioida. Asiaa valaistiin esimerkein tämän artikkelin alussa. Virallinen tulostusyksikkö on metsälautakunta, joiden maa-alat ovat välillä 0,6–7,2 milj. ha ja keskikoko on 1,6 milj. ha. Tosin käyttökelpoisia, so. riittävän luotettavia tietoja saadaan nykyisin noin 200 000 hehtaarin osa-alueille.

Kuvioarviointi perustuu subjektiiviseen ennakkokuviointiin ja subjektiiviseen silmävaraiseen maastoarviointiin. Sellaisena siihen väistämättä liittyy heikkouksia, joita mm. Poso (1983) on tuonut esiin. Kuviointi ja kuviotunnusten määritys riippuu suuresti tekijästä. Kuutiomäärän arviointi on varovaista sillä perusteella, että todellisen, esimerkiksi hakkuussa ilmenevän kuutiomäärän on parempi olla arvioitua suurempi kuin pienempi. Kuvioarvioinnin heikkoudet voidaan sietää, kun pidetään mielessä arvioinnin tehtävä. Päätarkoitus on osoittaa metsänomistajalle lähimmän 10-vuotisjakson mahdolliset ja tarpeelliset toimenpiteet ja hakkuumahdon suuruusluokka. Suunnitelma ei sido metsänomistajaa kuvioinninkaan osalta, eräiden toimenpiteiden kuten uudistushakkuun seuraamukset kylläkin.

Kuvioarvioinnin tärkein ominaisuus on tietojen paikkasidonnaisuus. Taktisia ja operatiivisiakin päätöksiä voidaan tarvittaessa tehdä pelkän metsätaloussuunnitelman perusteella. Tällä seikalla on lisääntyvä merkitys nyt, kun omistaja ja metsä ovat vieraantumassa toisistaan. Suurmetsänomistajille kuvioarvioinnit ovat välttämätön taktisen suunnittelun väline.

On esitetty ajatus, että valtakunnan metsien inventointi voitaisiin lopettaa sen jälkeen, kun tarpeeksi suuri osa yksityismetsistä on metsätaloussuunnitelmien piirissä. Valtakunnalliset metsävaratiedot laskettaisiin sitten kuvioarviointien yhdistelmänä kuten Kanadassa. Tällaista kuvioinventointia voidaan vastustaa painavin perustein. Kaikki metsät eivät koskaan saa metsätaloussuunnitelmaa. Suunnitelmien keski-ikä tulee olemaan samaa luokkaa kuin inventointikierto, joka usein koetaan liian pitkäksi. Suunnitelmien päivitys on periaatteessa mahdollista, mutta käytännössä valmiudet siihen puuttuvat. Sitä paitsi eräät päivitystiedot, kuten kasvu, vaativat inventointiluontoista tutkimusta. Kuvioinventoinnin pahimmat rajoitukset kuitenkin ovat subjektiivisuus sekä puusto- ja kasvupaikkatietojen puutteellisuus. Kanadassa metsikkötietoja arvioidaan koealaotannalla. Siitä huolimatta inventointimenettelyyn ei siellä olla tyytyväisiä.

Satelliittikuvainformaatio - silta valtakunnan metsien inventoinnin ja kuvioarvioinnin välillä?

Edellä todettiin, että innostusta satelliittikuvien hyödyntämiseen valtakunnan metsien inventoinnissa näyttää olevan riittämiin. Nykyisten luonnonvarasatelliittien tuottama informaatio näyttää mahdollistavan metsäkuvioiden rajaamisen myös Suomen pienipiirteisissä oloissa. Kuvioinninhan tiedetään olevan jokseenkin harkinnanvaraista maastossakin. Kuviotunnusten arviointi satelliittikuvalta ei ole mahdollista ilman riittävää maastotukiaineistoa. Sittenkin kuviotasolla on olemassa suuri keskiarvoistamisen vaara suuralueen yleiskeskiarvon suuntaan. Ei ole suurta hyötyä siitä, että kuviotunnuksista laskettu tulos on lähellä maastonäytteestä laskettua tulosta suuraluetasolla, jos virhe kuviotasolla on suuri. Tällaisesta ilmiöstä on saatu havaintoja.

Optimistisimmat ovat puhuneet satelliittikuvapohjaisesta valtakunnan metsien inventoinnista. Silloin ei varmasti ole otettu huomioon kaikkia virhemahdollisuuksia käytännön ongelmista puhumattakaan. Harhattomuuden takaamiseksi on joka tapauksessa mitattava riittävä objektiivinen maastonäyte, jonka sijainti ei saa riippua satelliittikuvainformaatiosta. Tästä maastonäytteestä lasketaan tilastollisesti validit tulokset suuraluetasolla kuten ennenkin. Maastokoealoja voidaan käyttää kuvioittaisen arvioinnin tukena siellä, mistä on tuore satelliittikuva käytettävissä. Tästä aiheutuvat lisäkustannukset tulisivat ilmeisesti tulosten käyttäjien maksettaviksi. Käyttäjien kustannustietoisuus aset-

taisi näin syntyneen kuvioittaisen arvioinnin luotettavuuden kriittisen tarkastelun alaiseksi.

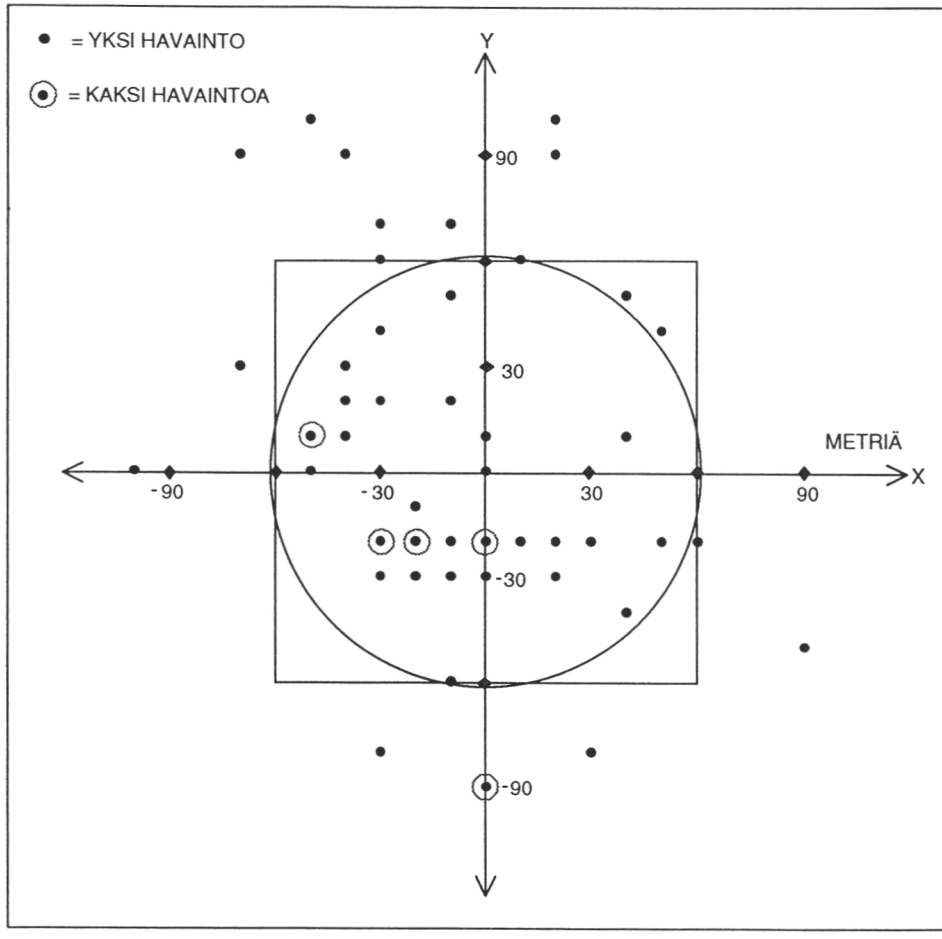
Maastokoealan paikannus satelliittikuvalle on ongelma, josta tässä annetaan esimerkki Lapista. Valtakunnan metsien inventoinnissa mitataan kaikenlaisia metsiä. Koealoja tulee olla metsiköiden sisällä ja myös kahden tai useamman metsikön rajoilla, jotta luonnossa esiintyvä vaihtelu olisi näytteessä edustettuna. Jos maastotukialueet (so. koealat) sijoitetaan edustavasti kuvioille, kuten luokitustehtävissä yleensä tehdään, inventointitulos on subjektiivinen ja sen mukana yleensä myös harhainen. Itä-Lapin metsävaurioprojektissa mitattiin Sallasta maastonäyte, jonka koealat paikallistettiin maastoon ilmakuvalla näkyvän systemaattisen kaavion perusteella. Kaavio oli sidottu yhtenäiskoordinaatistoon mahdollisimman tarkasti. Samalta alueelta hankittiin Landsat 5 TM-satelliittikuva oikaistuna yhtenäiskoordinaatistoon.

Maastokoealat voidaan paikallistaa satelliittikuvalle sekä automaattisesti laskennallisten yhtenäiskoordinaattien perusteella että manuaalisesti ilmakuvien avulla. Jälkimmäinen menettely edellyttää kuvaruudulla näkyvän satelliittikuvan vertailua ilmakuvan kanssa ja koealojen sijainnin osoittamista kuvankäsittelyohjelmistolle. Sallassa tehtiin paikannuskoe neljällä 13 koealan sarjalla. Pyrittiin siihen, että jokaisen koealan manuaalinen paikannus tapahtui täysin riippumattomasti. Jokaiselle koealalle saatiin kahdet koordinaatit, joiden eroista lasketut tulokset esitetään taulukossa 2. Systemaattinen virhe on erojen keskiarvo, kun erot lasketaan vähentämällä manuaalisista koordinaattiarvoista laskennalliset koordinaattiarvot. Keskipoikkeama on todellisten välimatkojen keskiarvo. RMS (root mean square) on välimatkojen keskineliön neliöjuuri.

Taulukko 2. Paikannuskokeessa saatujen koordinaattien systemaattiset poikkeamat (manuaalinen koordinaatti – laskennallinen koordinaatti), keskipoikkeamat ja poikkeamien RMS-arvot. X = itä-länsisuunnassa, Y = pohjois-eteläsuunnassa ja Z = lyhin välimatka. Havaintoja jokaisessa sarjassa 13 kpl.

Tunnusluku		Sarja				
		1	2	3	4	Koko aineisto
				metriä		
Systemaattinen	X	-21	5	-15	-2	-8
virhe	Y	12	-2	9	-8	3
	X	33	30	28	27	30
Keskipoikkeama	Y	38	42	35	42	39
	Z	58	56	49	56	55
	X	43	35	35	36	37
RMS-arvo	Y	50	51	44	52	49
	Z	66	62	56	63	62

Laskennallisen paikan ja ilmakuvan avulla määritetyn oikean paikan välisen välimatkan hajonta koko aineistossa on 62 metriä. Systemaattisten virheiden poistaminen ei paranna tulosta. Tasokoordinaatistossa tuloksen merkitys on seuraava (kuva 1): Ilmakuvan perusteella määräytyvä paikka on 68 %:n todennäköisyydellä ympyrällä, jonka säde on 62 metriä ja jonka keskipisteenä on laskennalliset koordinaatit. Jos satelliittikuvan pikseleistä muodostetaan 4 x 4 pikselin ryhmä (1,44 ha) keskipisteenä laskennallinen paikka, oikea paikka jää ryhmän ulkopuolelle noin kolmessa tapauksessa kymmenestä. Tämän tuloksen perusteella tehtiin päätös, että kaikki Sallan maastokoealat on paikallistettava satelliittikuvalle manuaalisesti ilmakuvien perusteella.



Kuva 1. Maastokoealojen todellinen sijainti satelliittikuvalla, kun laskennallinen sijainti on origossa.

Paikkaeroihin vaikuttavat yhdessä ilmakuvakaavion sijaintivirhe, satelliittikuvan oikaisuvirhe ja manuaalinen paikannusvirhe. Kahden viimeksimainitun suuruusluokka on alle 30 metriä. Kaavion sijaintivirhe vaihtelee keskiarvon ollessa suuruusluokkaa 50 metriä.

Valtakunnan metsien inventoinnissa Etelä-Suomessa koealat paikallistetaan maastoon peruskartan 1 : 20 000 perusteella. Silloin paikannus satelliittikuvalle voidaan tehdä vain laskennallisten koordinaattien perusteella. Manuaalista paikannusvirhettä ja ilmakuvakaavion sijaintivirhettä ei siis ole. Niiden sijaan tulevat peruskartan piirtämistarkkuudesta ja koealojen maastopaikannuksesta aiheutuvat virheet. Näiden vaikutuksen selvittäminen vaatisi ilmakuvavertailuja. Voidaan kuitenkin olettaa, että kokonaisvirhe ei ole ainakaan olennaisesti pienempi kuin mitä Sallan kokeessa havaittiin.

Edellä kerrottu merkitsee sitä, että paikannus laskennallisten koordinaattien avulla edellyttää aika suuren pikseliryhmän käyttöä, jotta maastokoealat sattuisivat ryhmän sisälle esimerkiksi 90 %:n todennäköisyydellä. Usean kymmenen pikselin ryhmä helposti ulottuu usean metsäkuvion alueelle ja spektrinen hajonta ryhmän sisällä tulee suureksi. Tästä seuraa, että maastokoealojen käyttökelpoisuus satelliittikuvan tukiaineistona huononee ja tulosten luotettavuus sen myötä alenee.

Paikannusongelma voidaan poistaa merkitsemällä koealojen paikat kuvalle maastossa tai paikallistamalla koelat maastoon kuvan avulla. Ilmakuva tai satelliittikuvasta tulostettu yksityiskohtainen analogiakuva kelpaavat tähän tarkoitukseen. Digitaaliselle satelliittikuvalle koealat paikallistetaan maastotyön jälkeen manuaalisesti, kuten edellä on kerrottu. Jos koealojen sijainti ei näy millään analogiamuotoisella kuvalla, niiden käyttökelpoisuus jälkikäteen syntyvän tuoreen satelliittikuvan tukiaineistona voi olla heikko.

Tällä hetkellä ollaan luomassa koko maapallon kattavaa satelliittipaikannusjärjestelmää nimeltä GPS (Global Positioning System). Systeemin tulisi olla valmis vuoden 1992 lopussa, jolloin siihen kuuluu 24 satelliittia, niistä 3 varakappaletta (Whidden 1991). Valmis GPS mahdollistaa jatkuvan yhteyden vähintään neljään satelliittiin kaikkialta. Optimiolosuhteissa teoreettinen paikannustarkkuus horisontaali- ja vertikaalitasossa on kymmenien senttimetrien luokkaa. Paljon huonompi tarkkuus riittäisi vallan hyvin kuvaamaan maastokoealojen sijaintia. Käytännön sovellutuksiin metsässä on vielä pitkä matka. Ongelmana ovat mm. katvealueet, joita syntyy puustonkin takia. Laitteet ovat vielä liian kalliit, mutta ne halpenenevat aikaa myöten. Kustannuksiin on laskettava myös paikannuksen vaatima aika. Käytännön inventointityössä sen tulisi tapahtua rutiininomaisesti 10 minuutin sisällä.

Inventointitilanne Lapissa

Kesällä 1992 on kulunut 8–14 vuotta viimeisestä valtakunnan metsien inventoinnista Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella.

Vanhimmat tiedot ovat Perä-Lapista (inventointi 1978) ja Kuusamosta (1982). Perä-Lapin osalta tilanne on selkeä laiminlyönti. Vielä 1980-luvun alkuvuosina suunniteltiin, että Perä-Lappi inventoidaan vuonna 1985 tai 1986. Tällä hetkellä ei edes tiedetä, ovatko tunturikoivun polttopuuhakkuut kestävällä pohjalla.

Inventointikiertoa ja menetelmän valintaa on perusteltu puuntuotannon määrällä. Tällä perusteella Perä-Lapin inventointi on silloin tällöin jätetty väliin tai se on tehty harvemmalla otannalla. Menetelmätutkimus, jolla aina on pyritty pienentämään kustannuksia, on pääosin tehty Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueella. Tällä on implisiittisesti tuotu esiin se kanta, että jos tulokset ovat epäluotettavat, ei vahinkokaan ole iso. Uusilla kaukokartoitusta hyödyntävillä menetelmillä Lapissa on kuitenkin onnistuttu jopa paremmin kuin Etelä-Suomessa.

Inventointikiertoa perustellaan myös muutosnopeudella. On esitetty, että kun pohjoisen metsät kasvavat hitaammin, niin siellä kierto voisi olla pitempi. Perustelu kaatuu siihen, että nykyisin metsän muuttuminen on pääosin ihmisen aiheuttamaa. Tämä seikka korostuu Lapissa, missä on voimaperäisesti uudistettu vanhoja ja vajaatuottoisia metsiä.

Inventoinnin merkitystä Lapissa voidaan tähdentää sillä, että metsä- ja puutalouden osuus Lapin aluetaloudessa on suurempi kuin missään muussa maakunnassa. Alueluovutukset toisen maailmansodan jälkeen ja varsinkin metsien poistaminen puuntuotannosta suojelusyistä ovat pienentäneet hakkuusuunnitetta useaan otteeseen. Tällä hetkellä kertymäsuunnite olisi noin miljoona kuutiometriä suurempi, jos kaikki suojelumetsät olisivat puuntuotannossa. Käytännön talousmetsissä on tehostettu metsänhoitoa, jotta alueen puuntarve tulisi tyydytetyksi kestävyyttä vaarantamatta. Näistä syistä Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakunnat ovat ainoat Suomessa, missä kestävyysongelma vielä on todellinen. 1980-luvulla on ilmennyt metsävaurioita, joiden vaikutusta Lapin metsien kasvuun ei vielä lopullisesti tunneta. Tilannetta voidaan seurata vain objektiivisten inventointien avulla.

Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien maa-ala on yhteensä 9,8 milj. ha, noin kolmasosa Suomen maa-alasta. Jos inventoinnin tarkkuustavoitteet asetetetaan lautakuntatasolla, näyte muodostuu hyvin harvaksi. Viime inventoinnissa tosin pyrittiin ja päästiin siihen, että tulokset olivat käyttökelpoisia myös kuntatasolla. Kaukokartoitukseen perustuvia menetelmiä käytettäessä maastonäytetiheys joka tapauksessa on pieni. Sehän on kustannusten pienentämisen pääedellytys. Kaukokartoitus auttaa maaluokkien pinta-alojen ja puuston tilavuuden arvioinnissa, mutta puuston rakennetta ja kasvupaikkojen tarkempaa laatua koskeva informaatio saadaan pääasiassa maastonäytteestä. Tämä tulisi pitää mielessä seuraavaa inventointia suunniteltaessa. Ainakin osa maastonäytteestä perustettaneen pysyväksi seurantaa varten, mikä lisää kustannuksia. Tämäkin lisää paineita maastonäytteen pienentämiseen.

Monikäyttöön liittyvät tutkimukset voivat käyttää suoraan hyväksi inventoinnin tuloksia. Kaukokartoitus on eduksi siinä mielessä, että kuvalta hyvin erottuvien metsäositteiden pinta-alat voidaan arvioida pienille osa-alueille. Varsinaiseen inventointiin kuulumattomat erikoistiedot voidaan hankkia tekemällä inventoinnin maastokoealoilla lisäluokituksia ja -mittauksia. Tässä kaukokartoituksen vaikutus on haitallinen, koska maastonäyte on pieni. Esimerkkinä integroidusta tiedonkeruusta on porojen talvilaitumien arviointi, joka on tehty valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä pääosalla poronhoitoaluetta kaksi kertaa (Mattila 1981, 1988). Laidunluokkien pinta-alat arvioitiin 54 osa-alueelle (paliskunnat), mutta poron talviravintokasvien määrä voitiin arvioida vain 14 osa-alueryhmälle (merkkipiirit). Poronhoitoalueen pinta-ala on 11,5 milj. ha.

Puustossa on eri-ikäisyyttä ja jaksottaisuutta enemmän pohjoisessa kuin etelässä. Puiden runkomuoto on vaihtelevampi, mikä edellyttäisi enemmän koepuumittauksia. Ongelma on selvin Perä-Lapissa. Käyttökelpoista kuollutta mäntypuustoa metsä- ja kitumaalla oli 7. inventoinnin mukaan 4,6 milj. m^3, mikä on 10 % elävän puuston määrästä (Mattila & Kujala 1980, s. 18). Runkoluvusta kuolleen puuston osuus on suurempi. Suuri osa tämän puuositteen puista on väli- ja aluspuita, jotka ovat kituneet kymmeniä vuosia ennen kuolemista. Niiden runkomuoto on erilainen kuin elävillä puilla. Toisen vaikean puuositteen muodostavat ylispuuluontoiset järeät mutta lyhyet männyt yhtenäisen mäntymetsän ja tunturikoivikon välivyöhykkeessä. Runkomuodon lisäksi näille puille on ominaista lahoisuus, joka paljastuu vasta kairauksessa. Myös tunturikoivun mutkainen ja usein haarainen ulkomuoto aiheuttaa kuutiointiongelmia. Koivun polttopuukäytön vuoksi sen tilavuudesta ja kasvusta kuitenkin tarvittaisiin luotettavampia tietoja kuin tähän asti on ollut käytettävissä.

Ilmasto, luonnonsuojelu ja monikäyttö rajoittavat voimakkaasti puuntuotantoa Lapissa. Tästä syystä jouduttiin muodostamaan lähes 30 metsäositetta Lapin Metsä 2000 -ohjelmaa tehtäessä 1980-luvun lopulla. Osite on määritettävä jokaisella näytteen koealalla, jotta inventointituloksista olisi käytännön hyötyä. Tehtävä on melkoinen, sillä esimerkiksi seitsemännessä inventoinnissa Lapin ja Koillis-Suomen alueelta tulkittiin lähes 90 000 koealaa. Käyttöositteiden rajaus tehdään sisätyönä moninaisten karttatietojen perusteella. Samanaikaisesti suoritetaan myös omistajaryhmäselvitys, mikä sekin on erinäisistä syistä Lapissa vaikeampaa kuin etelässä. Tieto omistajaryhmästä vaikuttaa myös käyttöositteen määrittelyyn.

Maankäytön suunnittelussa on apuvälineeksi yleistymässä GIS (Geographic Information System). Sen tietokantaan voidaan lisätä ja päivittää alueellisten ositteiden maantieteellisiä rajoja tarpeen mukaan. Edellä kuvattu ongelma Lapissa olisi ratkaistu sillä, että kaikki relevantit osiserajat olisi kuvattu riittävällä tarkkuudella tällaisessa systeemissä. Inventoinnin tulososite olisi sitten poimittavissa pelkkien koeala-

koordinaattien perusteella. Tällä hetkellä Suomessa on valmiina vain digitaalinen suomaski, peltomaski ja tilusrekisteri. Metsänkäyttöositteiden määrittelyssä tarvittavia rajoja ei ole digitoitu inventoinnin edellyttämässä mitassa.

Kirjallisuus

Aro, E. 1934. Näkökohtia ilmavalokuvauksen käytöstä metsätaloudessa. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikirja VII. Helsinki. s. 37–43.

Bickford, C. 1952. The sampling design used in the forest survey of the Northeast. Journal of Forestry 50(4): 290–293.

Brändli, U-B. 1988. Schweizerisches Landesforstinventar (LFI). Auswertungsmöglichkeiten und Dienstleistungsangebot. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 139(11): 937–952.

Daamen, W. 1980. Kontrolltaxeringen åren 1973–1977. Resultat från en kontroll av datainsamlingen vid riksskogstaxeringen. Summary: Results from a check on data collection of the National Forest Survey in 1973–1977. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, Rapport 27. 189 s.

Fabritius, B. 1922. Flygmaskinen i skogbrukets tjänst. Metsätaloudellinen Aikakauskirja, 39. vuosikerta, nro 3–4: 106–115.

Finne, B. 1966. Puulajin ja kasvupaikan määritys vääräväri-ilmakuvilta. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Moniste. 39 s.

Green, A., Jonasson, H., Talts, J. & Wallin, M. 1981. Landsat data för riksskogstaxering. Lantmäteriverket, Tekniska skrifter 1. 36 s.

Hallikainen, M., Hyyppä, J. & Somersalo, E. 1989. Classification of forest types by microwave remote sensing. Proceedings of the 9th EARSeL Symposium 27 June – 1 July 1989, Espoo, Finland. s. 293–298.

— , Tares, T., Hyyppä, J., Somersalo, E., Ahola, P., Toikka, M. & Pulliainen, J. 1990. Helicopter-borne measurements of radar backscatter from forests. International Journal of Remote Sensing 11(7): 1179–1191.

Haszprunar, J. & Niebauer, O. 1988. Die Österreichische Forstinventur. Österreichische Forstzeitung 99(3): 51–54.

Hägglund, B. 1985. En ny svensk riksskogstaxering. Summary: A new Swedish National Forest Survey. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, Rapport 37. 90 s.

Heikkerö, T. 1948. Ensivaikutelmia ilmakuvakartoituksesta Perä-Pohjolassa. Metsälehti 46–47. 17 s.

Häme, T. 1984a. Interpretation of deciduous trees and shrubs in conifer seedling stands from Landsat imagery. The Photogrammetric Journal of Finland 9(2): 209–217.

— 1984b. Landsat-aided forest site type mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 50(8): 1175–1183.

— 1987. Satellite image aided change detection. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 19: 47–60.

— 1988. Interpretation of forest changes from satellite scanner imagery. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 21: 119–133.

— 1991. Spectral interpretation of changes in forest using satellite scanner images. Seloste: Metsän muutosten spektrinen tulkinta satelliittikeilainkuvien avulla. Acta Forestalia Fennica 222. 111 s.

— & Kuittinen, R. 1989. Practical problems and their possible solutions in satellite based Remote Sensing of forests. Proceedings of the 9th EARSeL Symposium 27 June – 1 July 1989, Espoo, Finland. s. 311–316.

— & Saukkola, P. 1982. Satelliittikuvat Pohjois-Suomen metsäveroluokituksessa. Abstract: Satellite imagery in forest taxation in northern Finland. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 112. 165 s. + 26 liites.
— & Tomppo, E. 1987. Stand-based forest inventory from satellite images. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 19: 45–46.
— , Tomppo, E. & Parmes, E. 1987. Stand-based forest inventory from SPOT image. Proc. SPOT 1, Image utilization, Assessment, Results. Paris, November 1987. Cepadues-Editions. s. 971–977.
Härmä, P. 1988. Forest inventory with the SMI-workstation. Application of the system at the University of Helsinki. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 21: 193–203.
Ilvessalo, Y. 1950. On the correlation between the crown diameter and the stem of trees. Selostus: Puiden latvuksen läpimitan ja rungon välisestä riippuvaisuussuhteesta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(2). 32 s.
Jaakkola, S. 1976. An automated approach to remote sensing oriented forest resources surveys. Proceedings Remote Sensing in Forestry, IUFRO World Congress, Oslo, Norway. s. 147–156.
— , Franssila, E. & Saukkola, P. 1978. Timber and soil classification using numerical interpretation of LANDSAT-2 and aircraft scanner data. International Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment, Freiburg. s. 1779–1785.
— , Poso, S. & Skråmo, G. 1988. Satellite remote sensing for forest inventory – experiences in the Nordic Countries. Scandinavian Journal of Forest Research 3(4): 545–567.
— & Saukkola, P. 1979. Timber volume estimation and cutting opportunity mapping using multispectral remote sensing techniques. The Photogrammetric Journal of Finland 8(1): 77–84.
Jonasson, H. 1987. Klassificering av ägoslag och skogsmark med satellitbildsteknik. En metodstudie för riksskogstaxeringar. Summary: Classification of land-use classes and forest land using satellite-data technique. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering. Rapport 42. 87 s.
Kilkki, P. 1988. Satelliittikuvat valtakunnan metsien inventoinnissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 316: 17–20.
— & Päivinen, R. 1987. Reference sample plots to combine field measurements and satellite data in forest inventory. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 19: 209–215.
Kilpelä, E., Jaakkola, S., Kuittinen, R. & Talvitie, J. 1978. Automated earth resources surveys using satellite and aircraft scanner data. Technical Research Centre of Finland, Publication 15. 174 s.
Kuusela, K. 1955a. Ilmakuvat USA:n kansallismetsien taloussuunnitelmissa ja aluehallinnossa. Metsätaloudellinen Aikakauslehti, 72.(18) vuosikerta, nro 1: 17–19.
— 1955b. Ilmakuvaukseen perustuvan metsäkartoituksen työvaiheet. Summary: Stages of forest mapping on the basis of aerial photographs. Metsätaloudellinen Aikakauslehti, 72.(18) vuosikerta, nro 6–7: 221–224.
— 1959. Metsän ilmakuvamittaus ja kuvatulkinta. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki. 91 s.
— , Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982–1984. Summary: Forest resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982 to 1984. Folia Forestalia 655. 86 s.
— & Poso, S. 1970. Satellite pictures in the estimation of the growing stock over extensive areas. The Photogrammetric Journal of Finland 4(1): 3–9.
— & Poso, S. 1973. Multi-stage acquisition of forest information from space and aircraft imagery and ground sampling. COSPAR: Space Research XIII, Proceedings of open meetings of working groups on physical sciences of the 15th plenary meeting of Cospar, Madrid, Spain, 10.–24.5.1972.

— & Poso, S. 1975. Demonstration of the applicability of satellite data to forestry. Seloste: Havaintoja satelliittikuvien käyttökelpoisuudesta metsätaloudessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 83(4). 31 s.
— & Salminen, S. 1980. Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977–1979. Summary: Forest resources in the Province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977–1979. Folia Forestalia 446. 90 s.
— & Salminen, S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979–1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977–1982. Summary: Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979–1982, and in the whole of South Finland, 1977–1982. Folia Forestalia 568. 79 s.
— & Salminen, S. 1991. Suomen metsävarat 1977–1984 ja niiden kehittyminen 1952–1980. Summary: Forest resources of Finland in 1977–1984 and their development in 1952–1980. Acta Forestalia Fennica 220. 84 s.
Kytönen, V. & Tuura, N. 1937. Ilmavalokuvaus metsätalouden palveluksessa. Metsätaloudellinen Aikakauskirja, LIV nide, nro 3. s. 55.
Köhl, M. 1990. Stichprobenkonzepte für das zweite Schweizer Landesforstinventar. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 141(9): 745–755.
LaBau, V. & Winterberger, K. 1988. Use of four-phase sampling design in Alaska multiresource vegetation inventories. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 21: 89–102.
Linnamies, O. 1951. Ilmakuvamittauksesta. Silva Fennica 69: 151–170.
— 1954. Ilmakuvien käytöstä valtion metsätaloudessa. Suomen Fotogrammetrinen Seura. Julkaisuja 2. s. 22–27.
Lohner, P. 1990. Erste Ergebnisse der Bundeswaldinventur. Allgemeine Forstzeitschrift 45(35): 898–900.
Martinez, J. 1973. The first Spanish National Forest Survey. IUFRO subject group S 4.02 conference, 26–29 June 1973, Nancy, France. 9 s.
Mattila, E. 1981. Survey of reindeer winter ranges as a part of the Finnish National Forest Inventory in 1976–1978. Seloste: Porojen talvilaitumien arviointi osana valtakunnan metsien inventointia Suomessa 1976–1978. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(6). 74 s.
— 1983. Pohjois-Suomessa suoritettavat inventointitutkimukset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 116–136.
— 1985. The combined use of systematic field and photo samples in a large-scale forest inventory in North Finland. Seloste: Systemaattisen ilmakuva- ja maastonäytteen yhteiskäyttö laajan metsäalueen inventoinnissa Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 131. 97 s.
— 1986. Lapin metsävarat osa-alueittain. Valtakunnan metsien 7. inventointi vuosina 1978 ja 1982–1984. Summary: The forest resources of Finnish Lapland by sub-areas. The 7th National Forest Inventory in 1978 and 1982–1984. Folia Forestalia 661. 77 s.
— 1988. Suomen poronhoitoalueen talvilaitumet. Summary: The winter ranges of the Finnish reindeer management area. Folia Forestalia 713. 53 s.
— 1989. Lapin metsävarojen kehitys. Valtakunnan metsien inventointeihin perustuva tarkastelu. Abstract: The forest resources of Finnish Lapland. A review based on the National Forest Inventories. Julkaisussa: Saastamoinen, O. & Varmola, M. (toim.). Lapin Metsäkirja. Acta Lapponica Fenniae 15: 52–60.
— 1992. Satelliitin rekisteröimän spektrisen informaation käyttömahdollisuudet metsävauriokartoituksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 227–243.
— & Kujala, M. 1980. Utsjoen, Inarin ja Enontekiön metsävarat 1978. Summary: Forest resources of Utsjoki, Inari and Enontekiö, North Finland, in 1978. Folia Forestalia 436. 21 s.

Nyrhinen, T. 1976. Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa. Summary: A test of two-step forest inventory in South-West Finland. Folia Forestalia 285. 24 s.
Nyyssönen, A. 1955. On the estimation of the growing stock from aerial photographs. Selostus: Puuston arvioimisesta ilmakuvien avulla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 46(1). 57 s.
— & Poso, S. 1962. Koe metsikköluokitusten suorittamiseksi ilmakuvien avulla. Summary: Tree stand classifications from aerial photographs: an experiment. Silva Fennica 112(3). 16 s.
— , Poso, S. & Keil, C. 1968. The use of aerial photographs in the estimation of some forest characteristics. Seloste: Ilmakuvien käyttö eräiden metsän tunnusten arvioimisessa. Acta Forestalia Fennica 82(4). 35 s.
Olenius, L. 1951. Ilmakuvien käyttö valtion metsätaloudessa. Silva Fennica 69: 171–173.
Peltola, U. 1969. Metsätyyppikuvioiden määritys pankromaattiselle, infra-, väri- ja vääräväriﬁlmille otetuista ilmakuvista. Maanmittaushallituksen julkaisuja nro 39. 35 s.
Peng Shikui. 1987. On the combination of multitemporal satellite and field data for forest inventories. Abstract: Moniaikaisen satelliitti- ja maastoaineiston yhteiskäyttö metsien inventoinnissa. Acta Forestalia Fennica 200. 95 s.
Poso, S. 1969. Ilmakuvat metsätilojen inventoinnissa. Metsä ja Puu 7–8: 28–29.
— 1972. A method of combining photo and field samples in forest inventory. Seloste: Ilmakuva- ja maasto-otokseen perustuva metsän inventointimenetelmä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 76(1). 133 s.
— 1979. Kuvioittainen arviointi – ajankohtainen tutkimuskohde. Metsä ja Puu 3: 25–27.
— 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. Summary: Basic features of forest inventory by compartments. Silva Fennica 17(4): 313–349.
— 1988. Seeking for an optimal path for using satellite imageries for forest inventory and monitoring. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 21: 181–192.
— , Häme, T. & Paananen, R. 1984. A method for estimating the stand characteristics of a forest compartment using satellite imagery. Seloste: Menetelmä kuvioittaisten metsikkötunnusten estimointiin satelliittikuvia käyttäen. Silva Fennica 18(3): 261–292.
— , Karlsson, M., Pekkonen, T. & Härmä, P. 1990. A system for combining data from remote sensing, maps and field measurements for forest planning purposes. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 23. 40 s.
— , Keil, C. & Honkanen, T. 1968. Comparison of film-scale combinations in examining some stand characteristics from aerial photographs. Seloste: Eri filmimittakaavayhdistelmät eräiden metsikkötunnusten ilmakuvatulkinnassa. Folia Forestalia 53. 22 s.
— & Kujala, M. 1971. Ryhmitetty ilmakuva- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa. Summary: Groupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. Folia Forestalia 132. 40 s.
— & Kujala, M. 1978. A method for national forest inventory in northern Finland. Seloste: Menetelmä valtakunnan metsien inventointiin Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 93(1). 52 s.
— , Paananen, R. & Similä, M. 1987. Forest inventory by compartments using satellite imagery. Tiivistelmä: Satelliittikuvia hyväksikäyttävä metsän inventointi- ja seurantamenetelmä. Silva Fennica 21(1): 69–94.
Sarvas, R. 1938. Ilmavalokuvauksen merkityksestä metsätaloudessamme. Über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie in unserer Waldwirtschaft. Silva Fennica 48. 45 s.

— 1945. Ilmakuvien käyttö metsätaloudessa. Metsäylioppilas.
Saukkola, P. 1982a. Satelliittikuviin perustuva puuston inventointi. Abstract: Timber inventory based on satellite imagery. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 85. 79 s. + 19 liites.
— 1982b. Uudistushakkuiden seuranta satelliittikuvista. Abstract: Monitoring regeneration fellings by satellite imagery. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 89. 108 s.
— & Jaakkola, S. 1983. Numeerinen kuvatulkinta metsäalueen ja metsikön tunnusten arvioinnissa. Abstract: Numerical image interpretation in forest inventory and mensuration. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 151. 101 s. + 8 liites.
Schreuder, H. & Bonnor, G. 1987. Forest inventories in the United States and Canada. The Forestry Chronicle 63(6): 431–434.
Setälä, K. 1955. Ilmakuvatulkinnan mahdollisuudet metsikkökartoituksissa. Summary: Aerial photography in the mapping of forest stands. Metsätaloudellinen Aikakauslehti, 72.(18) vuosikerta, nro 6–7: 227–230.
Tapion vuosikirja 1991. Helsinki. 59 s.
Tiihonen, P. & Virtanen, J. 1982. Koetuloksia ilmakuvien käytöstä energiapuun arvioinnissa Kannuksessa v. 1979–80. Summary: Use of aerial photographs to estimate energy wood resources in Kannus in 1979–80. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 66. 24 s.
— & Virtanen, J. 1983. Suurimittakaavaisiin ilmakuviin ja maastoarviointiin perustuva metsätaloussuunnitelma. Summary: Forest management plan based on large-scale aerial photographs and field survey. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 115. 23 s.
Tomppo, E. 1987a. An application of a segmentation method to the forest stand deliniation and estimation of stand variates from satellite images. Proceedings of the 5th Scandinavian Conference on Image Analysis. Stockholm, June 1987. s. 253–260.
— 1987b. Metsän kuvioittainen arviointi satelliittikuvasta Kittilän hoitoalueessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, yhdyskunta- ja rakennussuunnittelun laboratorio. Loppuraportti. 24 s.
— 1987c. Stand deliniation and estimation of stand variates by means of satellite images. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 19: 60–76.
— 1988. Standwise forest variate estimation by means of satellite images. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 21: 103–111.
— 1989a. Comparisons of some classification methods in satellite image aided forest tax class estimation. In: SCIA'89 Proceedings of the 6th Scandinavian conference on image analysis. Oulu, Finland, June 19–22 1989. Volume 1: 150–157.
— 1989b. Satellite image aided forest tax class estimation. Proceedings of the 9th EARSeL Symposium 27 June – 1 July 1989, Espoo, Finland. s. 286–292.
— 1990. Satellite image based National Forest Inventory of Finland. In: Proceedings of ISPRS, Commission VII, mid-term symposium global and environmental monitoring, techniques and impacts. September 17–21, 1990, Victoria, BC, Canada. Vol. 12(1): 115–120.
— & Härkönen, E. 1989. Satelliittikuvapohjaisen metsäveroluokituksen kehittäminen Etelä-Suomessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, vuoden 1988 raportti. Moniste. 25 s.
— & Katila, M. 1991. Satellite image based National Forest Inventory of Finland. In: IGARSS'91. Remote Sensing: Global monitoring for Earth management. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland. Vol. III: 1141–1144.
— & Siitonen, M. 1991. The National Forest Inventory of Finland. Paper and Timber 73(2). Reprint. 8 s.

Vainio, H. 1968. Eri filmi-suodatinyhdistelmien ominaisuudet ilmakuvauksessa. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Moniste. 45 s. + 7 liites.
Varmola, M. 1988. Lapin Metsä 2000 -ohjelma. Lapin lääninhallitus. Moniste. 125 s. + 22 liites.
Ware, K. & Cunia, T. 1962. Continuous forest inventory with partial replacement of samples. SAF, Forest Science 4, Monograph 3. 40 s.
Whidden, A. 1991. The need for an accurate forest inventory. The Forestry Chronicle 67(6): 575–577.

Ajankohtaista Itä-Lapin metsävaurioprojektista

Kari Mikkola
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

Itä-Lapin metsävaurioprojekti perustettiin 1989 tarkoituksena tehostaa ilmansaasteiden aiheuttamien metsävaurioiden tutkimusta Lapissa. Projekti on viisivuotinen ja se kuuluu osana Metsäntutkimuslaitoksen metsien terveydentilan tutkimusohjelmaan. Hanke on luonteeltaan monitieteinen; mukana on noin 60 tutkijaa viidestä yliopistosta ja viidestä tutkimuslaitoksesta edustaen biologiaa, meteorologiaa, kemiaa, biokemiaa geologiaa ja metsätieteitä (Tikkanen & Mikkola 1991, Mikkola & Nöjd 1992). Lisäksi jo alkuvaiheessa käynnistettiin yhteistyö Kuolan tiedekeskuksen ympäristötutkijoiden kanssa. Syksyllä 1991 yhteistyö laajeni koskemaan myös Montsegorskin länsipuolisen Lapin luonnonpuiston tutkijoita ja Arkangelin metsäinstituuttia.

Hankkeen päätavoitteena on selvittää Kuolan teollisuuspäästöjen vaikutukset Lapin metsiin ja myös selvittää yleisemmin Lapin luonnon tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Kartoittavan ja diagnostisen tutkimusnäkökulman lisäksi projektin tavoitteisiin kuuluu kehitysennusteiden laadinta.

Helmikuussa projekti pääsi puolimatkaan, ja siihenastinen työ summattiin Rovaniemellä pidetyssä kriittisessä tutkimusseminaarissa. Suurin osa aineistoista on kerätty, ja osa analyyseistä tehty. Tutkimusten alkaessa Kuolan saasteiden aiheuttamien metsävaurioiden luonteesta ja laajuudesta ei ollut käytettävissä juuri minkäänlaista tutkittua tietoa, mutta nykyvaiheessa palaset alkavat hahmottua kokonaisuudeksi.

Ilmanlaadun mittaukset

Ilmanlaadun mittauksista on selvinnyt Kuolan päästöjen episodiluonne (Jurvelin ym. 1992). Tyypillisiä ovat pitkähköt puhtaat kaudet ja lyhytaikaiset korkeat pitoisuudet. Huhtikuun alussa mitattu korkein rikkidioksidin tuntikeskiarvo Sevettijärven DOAS-mittausasemalla lähenteli 400 $\mu g/m^3$. Otsoniarvot olivat kuluvana talvena korkeita, 60–100 $\mu g/m^3$. Sallan Naruskalla sijaitseva kymmenen päivän keskiarvoja mittaava laite ei ole vuonna 1991 rekisteröinyt korkeita pitoisuuksia, vuosikeskiarvo jäi 1,9 mikrogrammaan kuutiossa. Lyhytaikaisia korkeahkoja pitoisuuksia on silti saattanut esiintyä.

Sadeveden, vajoveden ja lumen laatu

Sadeveden, maahan imeytyneen vajoveden sekä latvuston läpi sataneen ns. metsikkösadannan laatua on tutkittu neljällätoista Itä-Lapin metsävaurioprojektin intensiivikoealalla (Derome ym. 1992a, Mikkola & Nöjd 1992). Suoran sadannan tuloksissa sadeveden pH vaihteli välillä 4,5–5,1 eli normaaleissa rajoissa. Mitään itä-länsi -suuntaista vaihtelua ei havaittu. Lehvästön kautta valunut sadevesi, metsikkösadanta, oli lievästi vapaata sadetta happamampaa kaikilla koealoilla, mutta itävaikutusta ei näkynyt siinäkään. Maasta 5 cm syvyydeltä kerätty vajovesi oli happaminta Sevettijärvellä. Myös rikin, magnesiumin ja kalkin määrät olivat tällä koealalla korkeimpia. Osa ilmiöstä lienee Jäämeren läheisyydellä selittyvää, mutta myös Nikelin sulattojen vaikutusta on mukana.

Lumipeitteen laatua Kuolan päästölähteiden ympäristössä tutkittiin maaliskuussa 1991 kerätyistä näytteistä (Derome ym. 1992b). Lumen analyyseistä paljastui selvästi Montsegorskin sulattojen vaikutusalue erityisesti kuparin, nikkelin ja rikin pitoisuuksina. Suomen puolella selvä lumen rikkipitoisuuden muutos ilmeni vain kahdella tutkimuslinjalla: rikkipitoisuus aleni Kemistä Sätsiin ja Kuusamosta Sätsiin päin mentäessä.

Lähialuevaikutukset

Muun muassa kasvututkimukset (Nöjd 1992), neulasten alkuaineanalyysit (Raitio 1992), neulasvaurio- ja harsuuntumistutkimukset (Huttunen ym. 1992, Salemaa ym. 1992, Bäck ym. 1992), satelliittikuva-analyysit (Mikkola & Ritari 1992), poronjäkälien kasvututkimukset (Helle & Kojola 1992) sekä maastohavainnot antoivat vaurioiden laajuudesta Montsegorskin lähiympäristössä alueellisesti samantapaisen kuvan: vauriot ja korkeat saastepitoisuudet ulottuivat Suomeen päin 40–50 km etäisyydelle tehtaista. Tyypillisesti vauriot ja pitoisuudet vähenivät tehtaista länteenpäin jokseenkin teoreettisen laimenemismallin mukaan, eli kääntäen suhteessa etäisyyden neliöön. Sutisen (1992) mukaan myös neulasten kylmänkestävyys oli selvästi alentunut tehtaiden vaikutusalueella. Tulos tukee ns. monistressihypoteesia: ympäristön epäpuhtaudet alentavat kasvillisuuden stressinsietoa, jolloin esim. poikkeavat sääolot voivat laukaista kuormitetuilla alueilla vakaviakin vaurioita. Varsinainen metsäkuolema-alue on alustavan satelliittikuvatulkinnan mukaan Montsegorskissa noin 40 000–50 000 hehtaarin laajuinen (Mikkola & Ritari 1992). Vaurioitunut alue on huomattavasti suurempi, mutta satelliittikuva-analyysit lievempien kasvillisuusvaurioiden rajaamiseksi ovat kesken.

Kaukovaikutukset

Kaarnan, sammalten sekä jäkälien tutkimuksissa mitattava vaikutusalue rajautuu tehtaiden länsipuolella huomattavan etäälle ulottuen Inarin länsiosista Sallan pohjoisosiin (Poikolainen 1992, Tarhanen ym. 1992, Rühling ym. 1987, Kubin 1990).

Männyn kaarnan johtokyvyssä ja pH:ssa Montsegorskin vaikutus ulottui Sallan itäosiin. Samoin kaarnalla kasvavien jäkälien solurakenteissa, erityisesti solukalvojen läpäisevyydessä oli havaittavissa itäänpäin lisääntyviä muutoksia. Näytteistä oli talvella 1992 käsitelty tosin vain osa.

Yhteenveto

Kuolan saasteiden vaikutukset voitaneen jakaa kahteen aluemalliin. Lähialuetuhot ovat selvärajaisia ja hyvin jyrkästi päästölähteeseen päin lisääntyviä. Topografia ja vallitsevat tuulet vaikuttavat vahvasti tuhoalueiden muotoon. Varsinaisen tuhoalueen ulkopuolella vaikutukset ovat mitattavissa herkillä menetelmillä selvästi Suomenkin puolella, mutta teollisuusperäisten oireiden eristäminen tieteellisesti luotettavasti muista, "luontaisista" epidemioista ja häiriöistä on vaikeaa.

Kaiken tähänastisen tutkimustiedon valossa itäinen Inari on Lapin kuormitetuinta aluetta, ja alue lienee sijaintinsa, pohjoisuutensa ja karujen maidensa puolesta siten kaikkein uhanalaisin. Päästöjen vaikutuspiirissä olevien alueiden pitkän aikavälin kehityksestä ei ole toistaiseksi käytettävissä tutkimustietoa. Kehitys voi muuttua jyrkästi huonompaan suuntaan, jos esim. poikkeavat sääolot kuormittavat puiden sietokykyä yli kriittisten rajojen.

Kirjallisuus

Bäck, J., Turunen, M. & Huttunen, S. 1992. Neulasvaurioiden tutkimus Itä-Lapin metsävaurioprojektissa. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 165–170.

Derome, J., Lindroos, A.-J., Niska, K. & Välikangas, P. 1992a. Kokonaislaskeuma Lapissa vuonna 1990–1991. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 39–48.

Derome, J. , Nikonov, V. Niska, K., Lindroos, A.-J. & Välikangas, P. 1992b. Lumipeitteen laatu Suomen Lapissa ja Kuolan niemimaan länsiosissa maaliskuussa 1990. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 25–38.

Helle, T. & Kojola, I. 1992. Harmaaporonjäkälän kasvuvaihtelu Itä-Fennoskandiassa. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 106–114.

Huttunen, S., Tikkinen, S., Bäck, J., Lamppu, J. & Manninen, S. 1992. Ilman rikkidioksidipitoisuudet, puiden vaurio-oireet ja luppojen rikkikertymät. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 136–141.

Jurvelin, J., Hillamo, R. & Virkkula, A. 1992. Ensimmäisiä ilmanlaadun mittaustuloksia Kirakkajärveltä. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 18–24.

Kubin, E. 1990. A survey of element concentrations in the epiphytic lichen Hypogymnia physodes in Finland in 1985–1986. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin, s. 421–446.

Mikkola, K. & Nöjd. P. 1992. Itä-Lapin metsävaurioprojektin koealajärjestelmä. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 13–17.

Mikkola, K. & Ritari, A. 1992. Montsegorskin alueen metsävauriot – alustava satelliittikuvatulkinta. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 244–259.

Nöjd. P. 1992. Männyn kasvunvaihtelu Itä-Lapin metsävauriopropjektin eteläisillä koealalinjoilla – alustavia tuloksia. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 206–214.

Poikolainen, J. 1992. Männyn kaarnan sähkönjohtokyky ja pH Itä-Lapin metsävaurioprojektin koealoilla. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 128–135.

Raitio, H. 1992. Männyn neulasten kemiallinen koostumus Montshegorskin teollisuusalueella. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 142–149.

Roitto, M. & Huttunen, S. 1992. Männyn neulasten SOD-aktiivisuus Itä-Lapin koelinjoilla. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 171–176.

Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A. & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985. Nord 21. 44 s.

Salemaa, M., Lindgren, M. & Jukola-Sulonen, E-L. 1992. Mäntymetsien elinvoimaisuus eri etäisyyksillä Kuolan päästölähteistä. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 89–105.

Sutinen, M.-L. 1992. Ilman epäpuhtauksien vaikutus männyn (Pinus sylvestris L.) neulasten pakkaskestävyyden vuodenaikaiseen vaihteluun Lapissa ja Kuolassa. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 150–164.

Tarhanen, S., Oksanen, J. & Holopainen, T. 1992. Kaarnajäkälien kalvovuototestit ja hienorakenne Kuolan päästöjen vaikutusten kuvaajina. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 115–127.

Tikkanen, E. & Mikkola, K. 1991. The Lapland Damage Project: multidisciplinary cooperation in environmental sciences. Julkaisussa: Tikkanen, E. & Varmola, M. (toim.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the U.S.S.R. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373: 20–29.

Metsikkösadanta Lapissa

Kaarina Niska[1], John Derome[1],
Antti-Jussi Lindroos[2] & Pekka Välikangas[1]
[1]Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
[2]Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto
PL 18, 01301 Vantaa

Johdanto

Maaperän happamoitumisen ja ravinnetilan arvioimiseksi sekä muutosten ennustamiseksi tarvitaan luotettavaa tietoa Lapin metsämaahan tulevasta epäpuhtauslaskeumasta. Märkälaskeuman sisältämien ainepitoisuuksien määrittäminen on suhteellisen helppoa. Sen sijaan on vaikeampaa selvittää, mikä on ilmansaasteiden osuus metsikössä latvuksen läpi tulleen sadannan ionikoostumuksessa ja minkä verran toisaalta vaikuttaa ainepitoisuuksiin metsikön ja maaperän välillä tapahtuva luonnollinen ravinnekierto (kuva 1) (Helmisaari & Mälkönen 1989, Hyvärinen 1990, Lindroos ym. 1992).

Metsiköissä on tietty määrä kuollutta biomassaa, kuten neulasia, lehtiä, oksia, kaarnaa jne., joka ei heti varise maahan karikkeena kasvisolukoiden kuoltua. Epifyyttijäkäliin tarttuu pienikokoista maahan putoavaa kuollutta materiaalia. Saastumattoman metsäekosysteemin ravinnekierrossa ravinteita palautuu maaperään kiinteässä muodossa karikkeissa sekä sadeveden mukana kuolleesta biomassasta huuhtoutumalla. Metsikkösadannan kohonneet ionipitoisuudet saastumattomassa metsäekosysteemissä ovat lähes kokonaan lähtöisin kuolleesta biomassasta. Puiden tiheät latvustot keräävät myös jonkin verran muualta peräisin olevaa kuivaa hiukkaslaskeumaa.

Saastuneessa metsäekosysteemissä metsikkösadantaan tulee lisää ravinteita kolmesta eri lähteestä:

— havupuiden latvukset toimivat suodattimina ja keräävät kaasumaisia ja hiukkasmaisia ilmansaasteita
— ilmansaasteiden vahingoittaessa elävää biomassaa, esim. neulasia, ravinteita voi vuotaa ulos tai vaihtua pinnoilta
— neulasten ravinnepitoisuus lisääntyy, kun pitkän ajan kuluessa laskeuman mukana maaperään kertyy ravinteita, esim. sulfaattia.

Edellä mainituista syistä johtuu, ettei saastuneessa metsäekosysteemissä metsikkösadannan kohonnutta ravinnepitoisuutta (esim. sulfaatti- ja vetyionit sekä emäskationit Ca, Mg ja K) voida pitää sellaise-

naan metsämaahan tulevan saastelaskeuman mittana. Metsikön luonnollisesta ainekierrosta tuleva lisäys täytyy ensin tuntea.

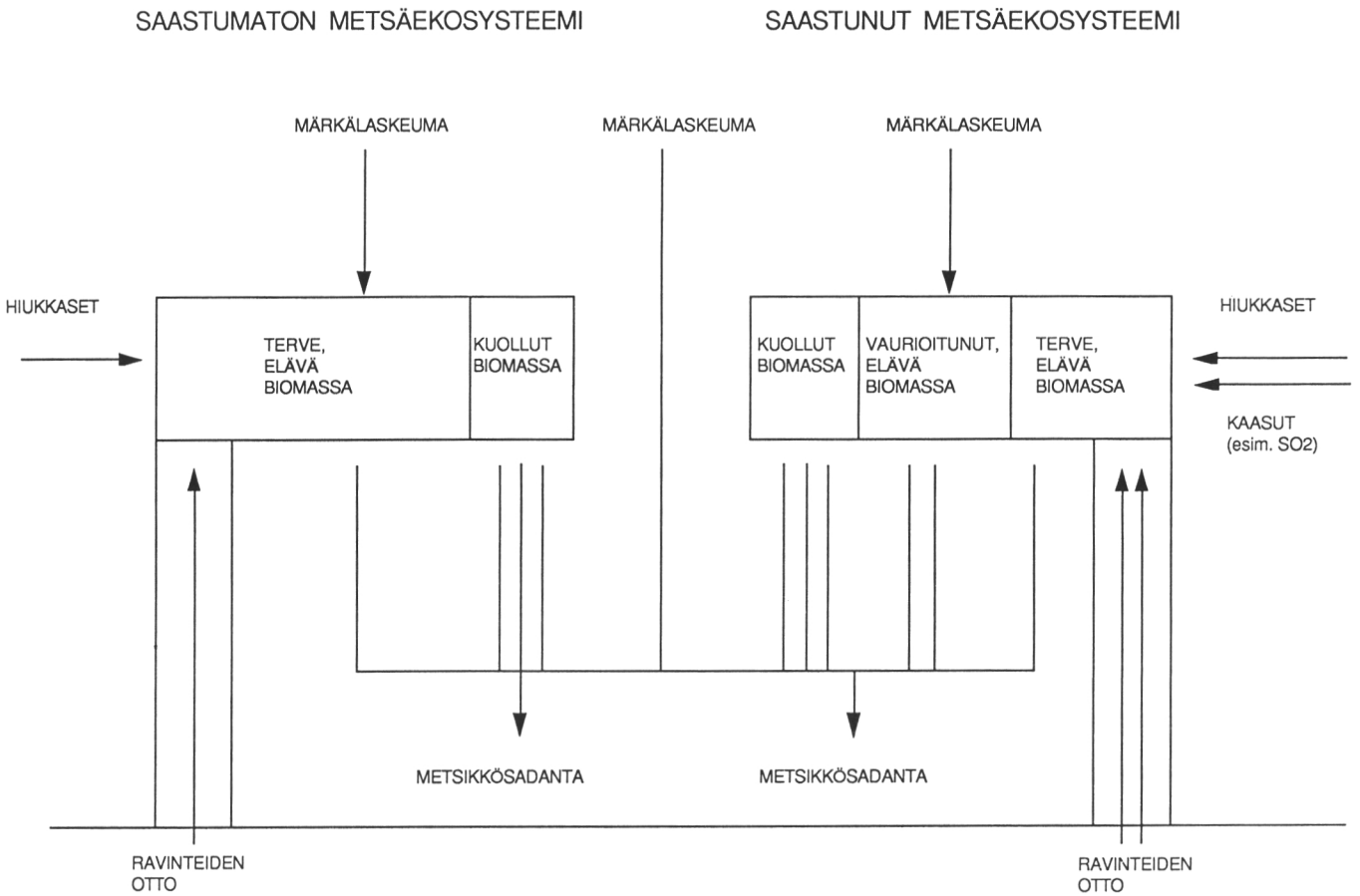
Talvella metsikkösadanta poikkeaa huomattavasti muista vuodenajoista. Pääsyynä tähän on se, että lumi on kuivaa, eikä latvuksesta liukene suoloja ja orgaanista ainesta, ellei lämpötila kohoa 0 °C:n yläpuolelle. Lisäksi suurin osa lumesta tulee maahan koskettamatta puiden latvuksia. Latvukseen kertyvä lumi edistää kuolleen biomassan putoamista mukanaan maahan. Aikaisin keväällä, kun lumi alkaa sulaa joko ilman lämmettyä tai suorassa auringonpaisteessa, liukenee suuria määriä ravinteita latvuksen kuolleesta biomassasta. Kuivalaskeumaa, jota on kertynyt talven aikana, huuhtoutuu myös pois. Tästä pääasiassa johtuu usein keväällä nähtävä lumen värjääntyminen puiden alla.

Aineisto ja menetelmät

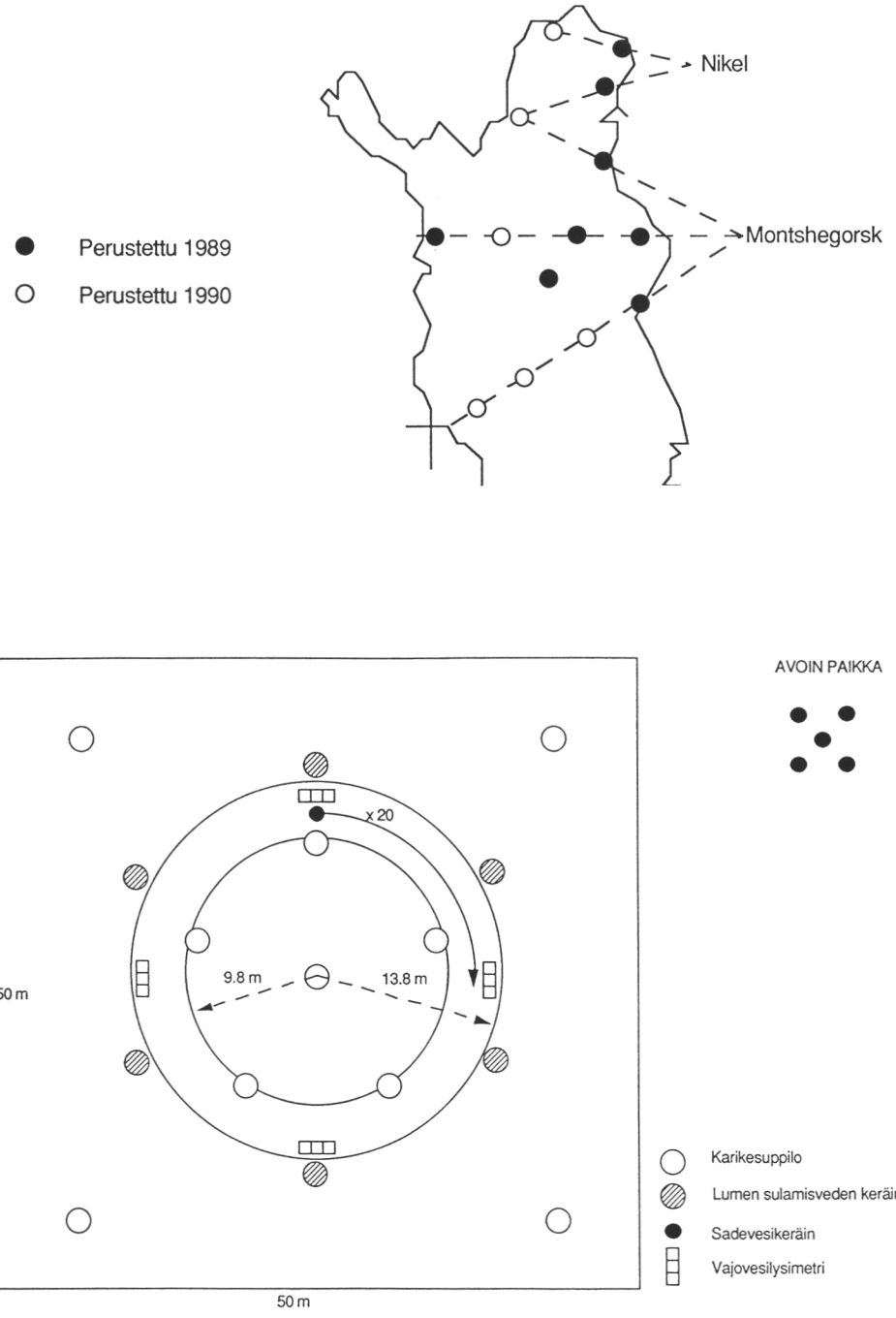
Metsikkösadannan laatua ja määrää on tutkittu Itä-Lapin metsävaurioprojektin ionitasekoealoilla vuodesta 1989 lähtien. Lumettoman ajan märkälaskeumaa kerättiin läheiseltä aukealta paikalta viidellä sadevedenkeräimellä ja metsikkösadantaa metsikön sisälle systemaattisesti sijoitetuilla 20 keräimellä (kuva 2). Osa keräimistä oli latvusten alla ja osa puiden välisissä aukoissa. Kaikkiin keräimiin sadetta voi tulla sekä latvusten kautta että suorana sadantana. Keräysastiat tyhjennettiin noin kolmen viikon välein. Tarkemmat tiedot koejärjestelystä, näytteenottoaikataulusta ja analyyseistä on esitetty aiemmin (Derome ym. 1991, 1992).

Tulokset ja niiden tarkastelu

Metsikkö pidätti sadannasta noin 10 %. Varsinainen maaperään tulevan laskeuman määrä oli metsikön sisällä paljon suurempi kuin sen ulkopuolella. Taulukossa 1 esitetään joidenkin kationien ja anionien määrien (mg/m2/v) keskimääräinen lisäys (%) lumettomana ajanjaksona vuonna 1989 seitsemältä ja vuonna 1990 kaikilta 14 koealalta. NO_3-N:n määrä laski selvästi metsikössä miltei kaikilla koealoilla. Kokonaistyppi ja NH_4-N sen sijaan osoittivat vähäistä nousua ja sekä H+- että S-pitoisuus noin 50 %:n lisäystä. Kaksi tärkeää kasviravinnetta, Ca ja Mg, lisääntyivät moninkertaisesti. Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) oli odotetusti hyvin korkea. Yksittäisten koealojen arvoissa oli suurta vaihtelua, mikä saattaa johtua 1) neulasten biomassan erilaisuudesta, 2) kasvupaikan erilaisesta viljavuudesta, koska metsikköön sitoutunut ravinnemäärä heijastaa maaperän ravinteisuutta ja 3) eroista laskeuman saastepitoisuudessa. Kahteen ensiksi mainittuun seikkaan vaikuttaa suoraan metsikön luonnollinen ravinnekierto.



Kuva 1. Metsikkösadantaan vaikuttavat tekijät.



Kuva 2. Itä-Lapin metsävaurioprojektin ionitasekoealat ja sadevesikeräinten sijoittelu niille.

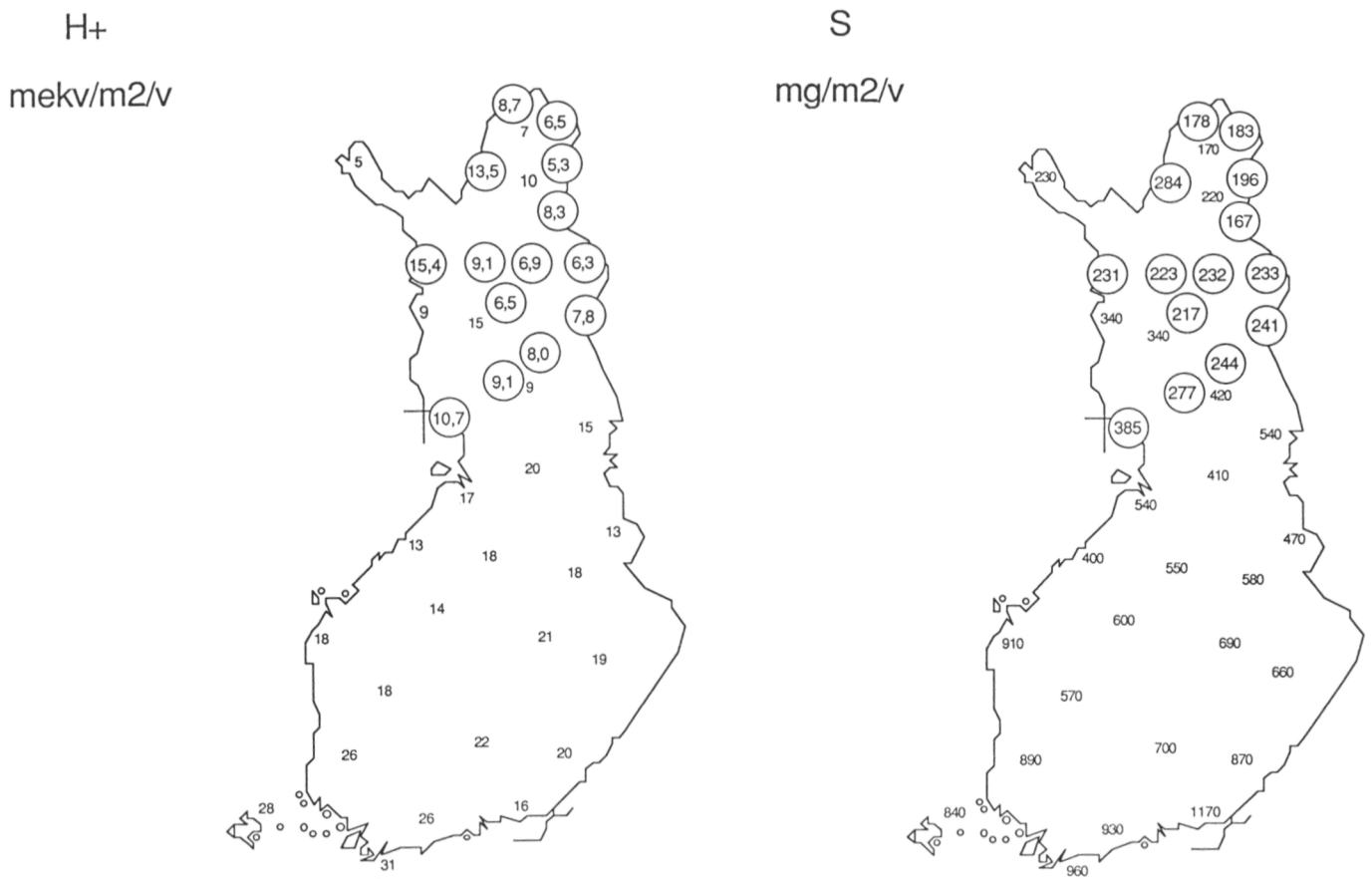
Taulukko 1. Metsikkösadannan kuormitus verrattuna vapaan sadannan kuormitukseen.

Koeala	Kationit ja anionit, %-muutos								
	H+	S	Ca	Mg	Na	Tot -N	NH_4 -N	NO_3 -N	Org. aine
1989 +1990									
Ainijärvi	49	55	298	341	160	46	40	-5	405
Aska	42	29	232	300	109	12	6	-12	470
Särkiselkä	24	50	268	281	102	24	31	3	248
Sätsi	39	27	122	161	145	16	19	-2	176
Sevettijärvi	6	63	163	70	6	-18	-12	-42	197
Lokka	82	59	407	383	257	21	32	6	426
Raja-Jooseppi	8	19	139	91	32	3	3	-37	344
1990									
Kessi	-34	27	187	225					
Tennilä	24	23	302	581					
Kemijärvi	60	30	224	159					
Kemi	6	27	159	238					
Angeli	104	165	338	916					
Kevo	86	78	519	959					
Rajala	93	24	346	656					
Keskiarvot	42	48	264	383	116	15	17	-13	324

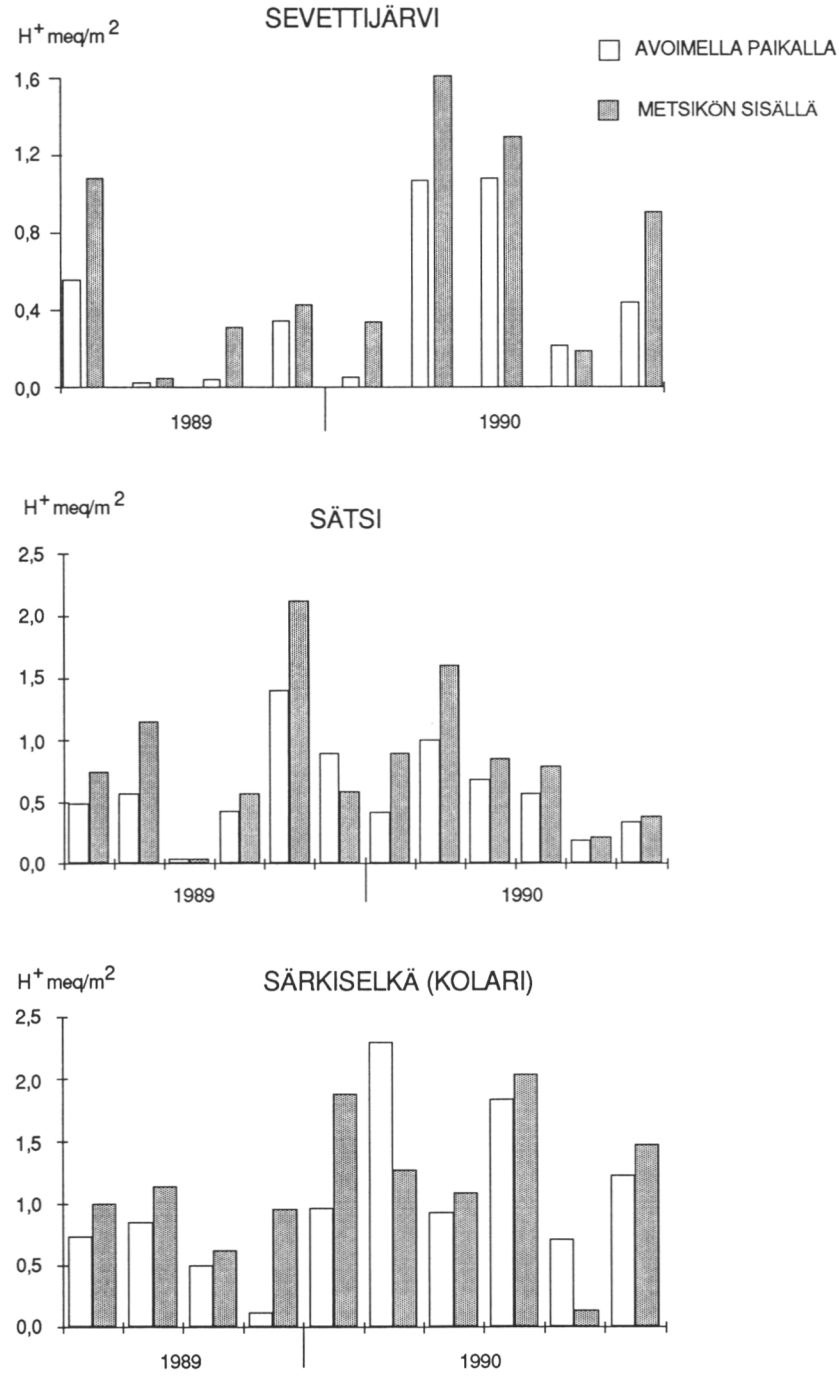
Metsikkösadannassa H+- ja S-laskeuman lisäystä ilmaisevia kertoimia (%) käytettiin arvioitaessa vuotuista H+- ja S-kuormaa, joka on tullut metsän maaperään 14 koealalla kasvukausina 1990/1991 (kuva 3). Kuivilla paikoilla kasvavissa Lapin männiköissä H+-kuorma oli jonkin verran alle Keski- ja Etelä-Suomen avoimen paikan märkälaskeuman pitkän ajan keskiarvojen (poikkeuksena Särkiselkä ja Angeli). S-kuorma taas oli niihin verrattuna paljon pienempi.

Koealojen välillä olleen huomattavan vaihtelun lisäksi myös laskeumakuorma eri keräysjaksoilla vaihteli. H+- ja S-laskeumat metsiköissä on ilmaistu märkälaskeuman ja metsikkösadannan välisinä absoluuttisina eroina Sevettijärven, Sätsin ja Särkiselän koealoilla, jotka edustavat Koillis-, Itä- ja Länsi-Lappia (kuvat 4 ja 5). Tiedot on kerätty kolmen viikon jaksoina kasvukausina 1989/1990. Tulokset osoittavat, että näiden kolmen paikkakunnan välillä oli vain vähäisiä eroja H+-laskeuman lisääntymisessä metsikkösadannassa. Rikkilaskeuma Sevettijärven metsikössä oli avoimeen paikkaan verrattuna selvästi korkeampi kuin kahdella muulla paikkakunnalla.

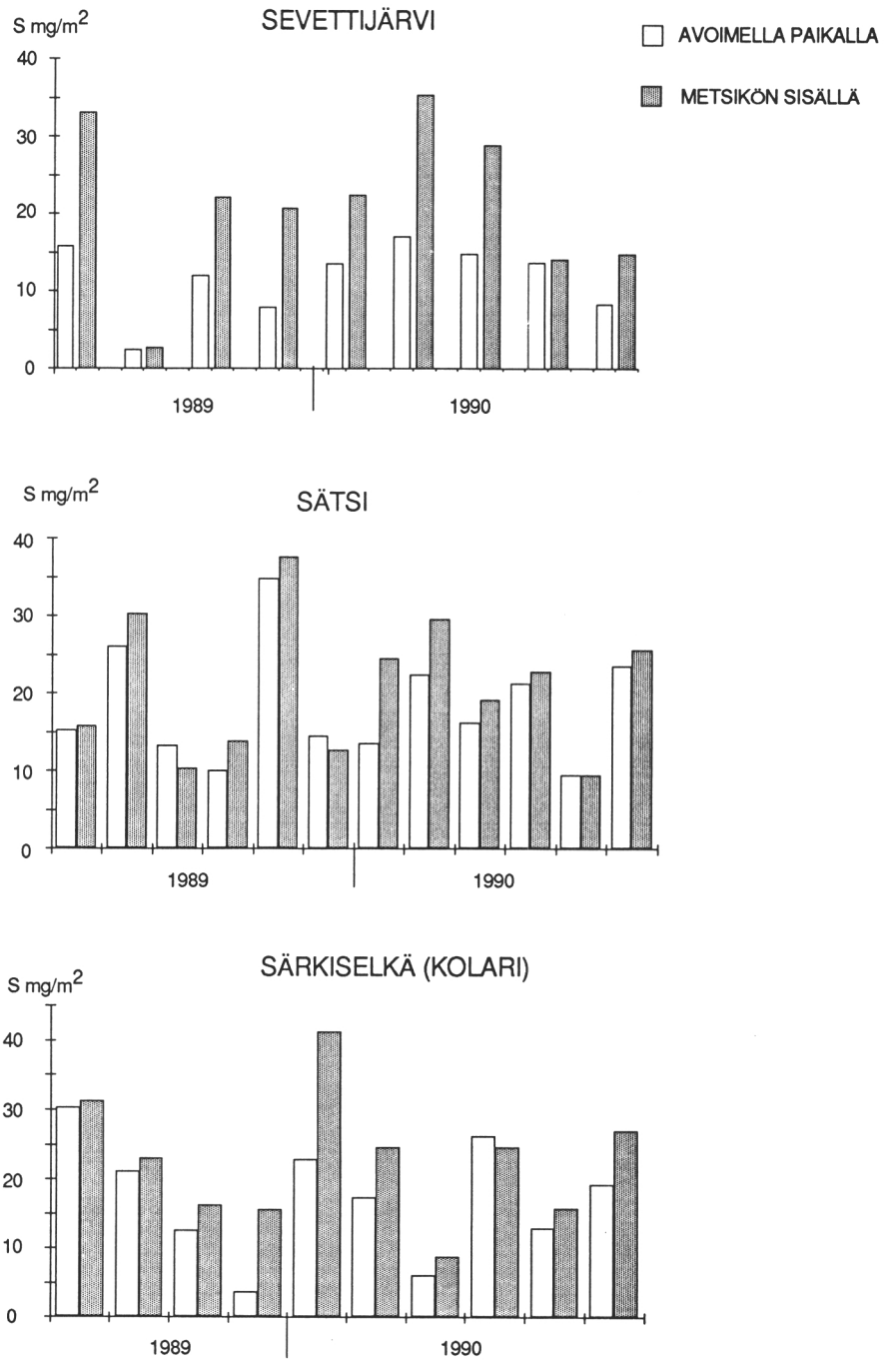
Saatujen tulosten avulla yritettiin selvittää, oliko H+-, S-, Ca- ja Mg-määrien kohoamisella metsikkösadannassa yhteyttä huomattavan suureen orgaanisen aineksen määrään, jota huuhtoutui latvuksista. Regressiot näiden neljän komponentin ja totaalin orgaanisen hiilen välillä nähdään kuvassa 6. Kaikki neljä komponenttia korreloivat erittäin merkitsevästi hiilen määrän kasvuun; paras korrelaatio saatiin kalsiumilla. Tällä ei tosin voida suoraan kumota hypoteesiä, että ihmisten toiminnasta aiheutuva H+ ja S-laskeuma Lapin metsämaahan olisi suurempi havupuumetsiköissä siksi, että kuivalaskeumaa (hiukkaset tai SO_2) kertyy puiden latvuksiin. Tutkimus antaa kuitenkin viitteitä siitä, että huomattavan suuri osa näiden alkuaineiden lisäyksestä johtuu metsikön luontaisesta sisäisestä ravinnekierrosta. Tämä analyysi tehtiin koko aineistosta. Kuitenkin suhteellisten osuuksien määrittäminen kuivalaskeuman ja ravinnekierron välillä Lapin eri osissa edellyttäisi kaikkien koealojen metsikkösadannan erillistä analyysiä. Kahtena lumettomana ajanjaksona saatujen havaintojen määrä ei ole vielä riittävä tähän tarkoitukseen.



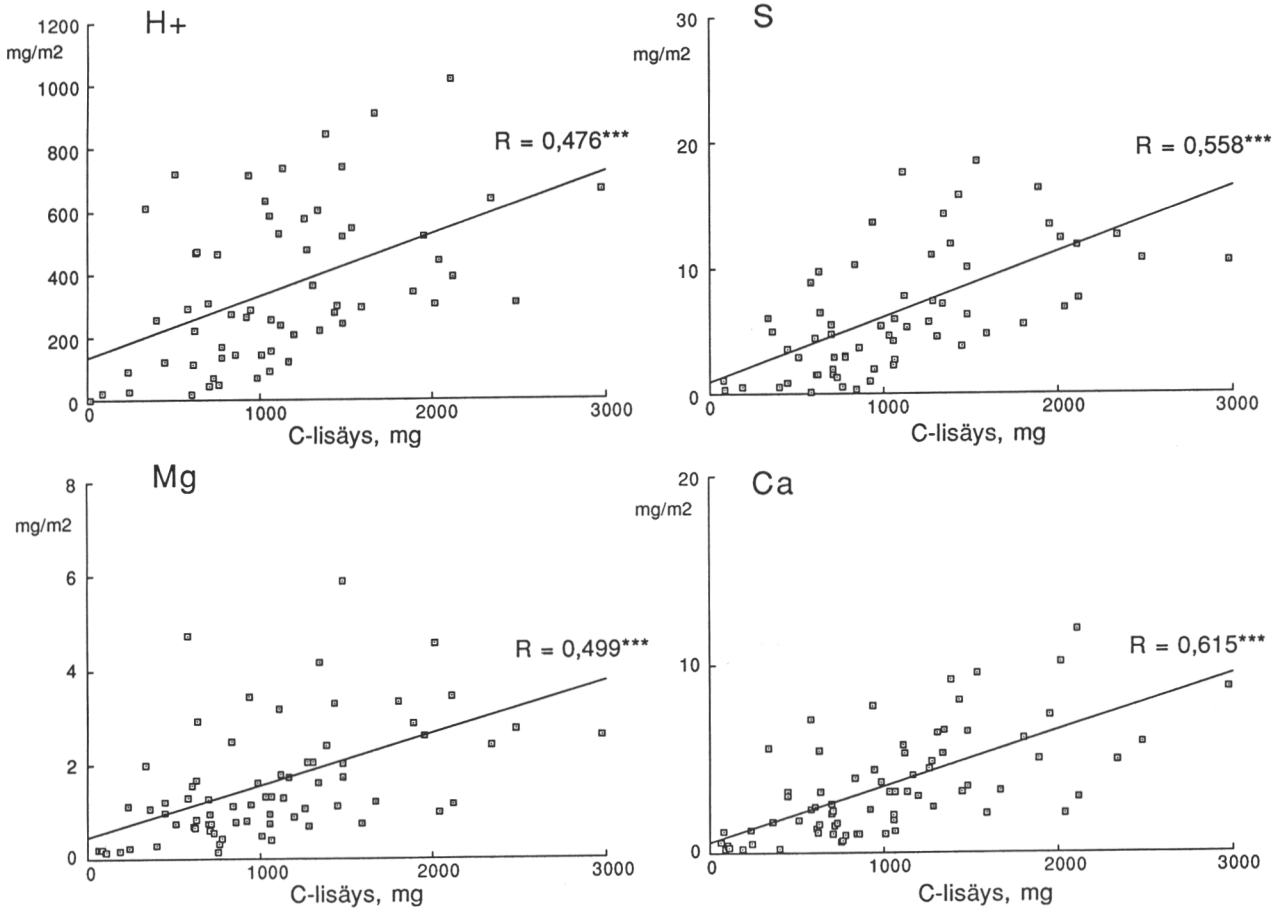
Kuva 3. Vetyioni- ja rikkikuorma metsikön sisällä (heinäkuu 1990–kesäkuu 1991). Rengastetut arvot on laskettu ionitasekoealojen vapaan sadannan tuloksista (kasvukaudet 1990/1991) käyttämällä kertoimia (%), jotka ilmaisevat H+- ja S-laskeuman lisäyksen metsikkösadannassa. Pienet rengastamattomat luvut ovat Vesi- ja ympäristöhallinnon mittaamia avoimen paikan märkälaskeuman pitkän ajan keskiarvoja (1971–1988).



Kuva 4. Sadeveden vetyionikuorma avoimella paikalla ja metsikön sisällä kasvukauden aikana 1989 ja 1990. Havainnot vastaavat noin kolmen viikon keräysjaksoja.



Kuva 5. Sadeveden rikkikuorma avoimella paikalla ja metsikön sisällä kasvukauden aikana 1989 ja 1990. Havainnot vastaavat noin kolmen viikon keräysjaksoja.



Kuva 6. Metsikkösadannan hiilen ja H+-, S-, Mg- sekä Ca-kuormien väliset korrelaatiot.

Kirjallisuus

Derome, J., Niska, K., Lindroos, A.-J. & Välikangas, P. 1991. Ion-balance monitoring plots and bulk deposition in Lapland during July 1989 – June 1990. Julkaisussa: Tikkanen, E. & Varmola, M. (toim.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and Kola Peninsula of the U.S.S.R. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373: 49–76.

— , Lindroos, A.-J., Niska, K. & Välikangas, P. 1992. Kokonaislaskeuma Lapissa vuonna 1990-1991. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 39–48.

Lindroos, A.-J., Derome, J. Niska, K. & Välikangas, P. 1992. Sadeveden laadun muuttuminen Lapin maaperässä kasvukaudella 1990. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 49–60.

Helmisaari, H.-S. & Mälkönen, E. 1989. Acidity and nutrient content of throughfall and soil leachate in three Pinus sylvestris stands. Scandinavian Journal of Forest Research 4: 13–28.

Hyvärinen, A. 1990. Deposition on forest soils - Effect of tree canopy on throughfall. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). HAPRO Report of Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. s. 199–213.

Trikloorietikkahappo (TCA) ilmansaasteena ja sen esiintymisestä Lapin puissa

Yrjö Norokorpi
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

Metsiä vaurioittavat ilmansaasteet samaistettiin 1970-luvulle saakka rikin yhdisteiksi ja noeksi. Tällöin Keski-Euroopassa ruvettiin havaitsemaan metsien kunnon heikkenemistä ja tuhoutumista puhtaan ilman alueiksi luulluissa vuoristometsissä kaukana rikkiä päästävistä teollisuuslaitoksista. Alettiin puhua uudenlaisista metsätuhoista ja tutkimusta alettiin suunnata myös muihin ilmansaasteisiin.

Nykyisin metsiä vaurioittavista ilmansaasteista tunnetaan rikkiyhdisteiden lisäksi useita muita, kuten typpiyhdisteet; typenoksidit ja ammoniakki, joista syntyy myös typpihappoa, raskasmetallit, fluoridit, otsoni ja hiilivedyt. Otsonia syntyy typen oksideista ja hiilivedyistä auringon valon vaikutuksesta.

Uusimmaksi ongelmaksi ovat nousseet klooratut hiilivedyt. Seitsemän vuotta sitten Saksassa Tübingenin yliopistossa ekotoksikologi Hartmut Frank alkoi tutkia, löytyisikö huonokuntoisten vuoristometsien puiden neulasista kloorattuja hiilivetyjä (Frank ym. 1990, Frank 1991). Tulokset osoittivat, että neulasissa oli korkeita TCA- eli trikloorietikkahappopitoisuuksia ja että TCA-tason ja neulaskadon välillä oli selvää riippuvuutta.

Kesällä 1991 läntisessä Suomessa havaittiin yleisesti lehtipuiden ennenaikaista ruskettumista. Vauriovyöhyke ulottui Pohjanlahden rannikolta noin 100 km sisämaahan ja pohjoisessa aina napapiirille asti. Tuhot olivat pahimmillaan rannikolla. Oireet muistuttivat lievän herbisidikäsittelyn jälkiä ja vastasivat muutoinkin Frankin (1991) kuvausta TCA:n vaikutuksista lehtipuissa. Koska Saksassa oli todettu TCA:ta kertyvän havupuiden neulasiin, lähetettiin Frankille analysoitavaksi koivun lehtien lisäksi männyn ja kuusen neulasia. Ensimmäiset näytteet Lapista kerättiin elokuussa 1991 Rovaniemen seudulta.

Tämä raportti sisältää lyhyen katsauksen TCA:n muodostumisesta, kulkeutumisesta ja vaikutustavoista. Lisäksi esitellään ensimmäisiä analyysituloksia TCA:n esiintymisestä Lapin puissa.

Trikloorietikkahapon muodostuminen, kulkeutuminen ja vaikutustavat

Trikloorietikkahappoa (CCl_3COOH) käytettiin varsin yleisesti herbisidinä eli kasvimyrkkynä 1950- ja 1960-luvulla. Vielä viime vuosikymmenellä sen natriumsuolaa käytettiin Suomessa juolavehnän torjuntaan sekä torjunta-aineseoksissa ohentamaan lehden pintavahakerrosta ja parantamaan siten tehoaineen imeytymistä kasvin lehtiin (Mukula & Salonen 1990). TCA-valmisteet vedettiin pois markkinoilta 1980-luvun lopulla.

Jo lähes 150 vuotta sitten todettiin, että haihtuvista klooratuista hiilivedyistä kuten tetrakloorieteenistä voi muodostua ilmassa valokemiallisissa reaktioissa trikloorietikkahappoa (Kolbe 1845). Kloorattuja hiilivetyjä pääsee haihtumaan ilmaan mm. liuottimia, ohenteita, rasvanpoisto-, valkaisu- ja puhdistusaineita valmistavasta ja käyttävästä teollisuudesta, kemiallisista pesuloista sekä tekstiili- ja metalliteollisuudesta (Frank 1991). Myös selluloosatehtaiden kloorivalkaisuprosessista pääsee ilmaan kloorattuja hiilivetyjä (Rosenberg ym. 1991).

Klooratut C_1- ja C_2- hiilivedyt ovat helposti haihtuvia, rasvaliukoisia yhdisteitä. Niiden reaktiot ilmassa ovat hitaita, minkä vuoksi niiden ilmakemiallinen pysyvyys vaihtelee yhdisteestä riippuen viidestä päivästä viiteenkymmeneen vuoteen (Finlayson-Pitts & Pitts 1986). Kaasumainen yhdiste ehtii kahdessa kuukaudessa levitä ilmakehässä koko pohjoiselle pallonpuoliskolle ja kahdessa vuodessa ympäri maapallon. Nykyisin kloorattuja hiilivetyjä tavataan lähes kaikkialla ympäristössä: vedessä, ilmassa, maaperässä ja elävissä organismeissa. Niiden käyttö on lisääntynyt vuosi vuodelta, minkä vuoksi niiden taustapitoisuus kasvaa jatkuvasti maapallon ilmakehässä (Logan ym. 1981). Joidenkin arvioiden mukaan kloorattujen hiilivetyjen pitoisuus ilmakehässä lisääntyy jopa 1–9 % vuodessa yhdisteestä riippuen (Finlayson-Pitts & Pitts 1986). Niistä monen yhdisteen pitoisuus maaperässä on verrannollinen ilmapitoisuuden kanssa, koska ne diffundoituvat tehokkaasti (Frank ym. 1989).

TCA:n muodostumisen kannalta keskeisimmät prekursorit ovat tetrakloorieteeni (C_2Cl_4), trikloorieteeni (C_2HCl_3) ja 1,1,1-trikloorietaani ($C_2H_3Cl_3$). Niiden reaktioiden seurauksena muodostuu useita kasvien kannalta ilmeisen haitallisia välituotteita kuten triklooriasetyylikloridia (CCl_3COCl), kloraalia (CCl_3CHO) ja tetrakloorioksiraania (C_2OCl_4) (Frank 1991). Niistä syntyy edelleen mm. TCA:a. Esimerkiksi trikloorieteeni muuttuu lähes täysin ja tetrakloorieteeni noin 80 %:sti TCA:ksi. Merkittäviä kloorattujen C_2-hiilivetyjen hajoamistuotteita ovat kloroformi ($CHCl_3$) ja hiilitetrakloridi (CCl_4), joita on havaittu mm. maaperässä.

TCA:a syntyy ilmassa prekursoreistaan auringon valon vaikutuksesta. Ilman lämpimyys ja kosteus edistävät reaktioita. TCA:a kulkeutuu ilmasta lehtien ja neulasten pinnalle. Koska TCA on sekä rasva- että

vesiliukoinen, osa siitä imeytyy lehtiin ja neulasiin, osa kulkeutuu sisään ilmarakojen kautta etenkin kostealla säällä niiden ollessa auki. Tosin kokeellisesti on havaittu, että TCA diffundoituu hitaasti neulasiin. Kroonisena altistuksena sillä on kuitenkin merkitystä (Frank 1991). Juuret ottavat tehokkaasti veden mukana maahan huuhtoutunutta TCA:a (Frank 1991).

Ilmeisesti merkittävä tekijä TCA:n kertymiselle neulasiin ja lehtiin on, että sen prekursorit ja välituotteet voivat rasvaliukoisina imeytyä tehokkaasti solukoihin ja kiinnittyä niiden rasva-aineisiin sekä muuttua auringon valon vaikutuksesta TCA:ksi (Frank ym. 1992). Ainakin osa sen esiasteista on kasveille haitallisia. Kloraalia on jopa käytetty kasvimyrkkynä. TCA:n hajoamistuote kloroformi on haitallista ainakin maamikrobeille ja juurisienille.

Trikloorietikkahapon biologisia vaikutuksia on tutkittu lähinnä rikka- ja viljelykasveilla akuutisti vaikuttavina annoksina. TCA estää tehokkaasti juurten kasvusolukoiden toimintaa. Tyypillisiä vaikutuksia ovat kasvun väheneminen, lehtien kellastuminen, nekroottiset laikut ja epäsäännöllinen muoto erityisesti auringonpaisteisella puolella kasveja (Zöttl 1953, Mayer 1957, Åberg 1982). Samanlaisia vaikutuksia on havaittu myös puuvartisilla kasveilla (Barrons & Hummer 1951). Muita oireita ovat lehtien vahakerroksen oheneminen sekä lisääntynyt vedenläpäisevyys ja kuivumisalttius (Juniper 1959). Kroonisia, pitkäaikaisia vaikutuksia puissa on tutkittu hyvin vähän. Lisääntynyttä harsuuntumista havupuilla pidetään sen yhtenä ilmentymänä (Frank 1991, Frank ym. 1992).

Analyysituloksia ja niiden tarkastelua

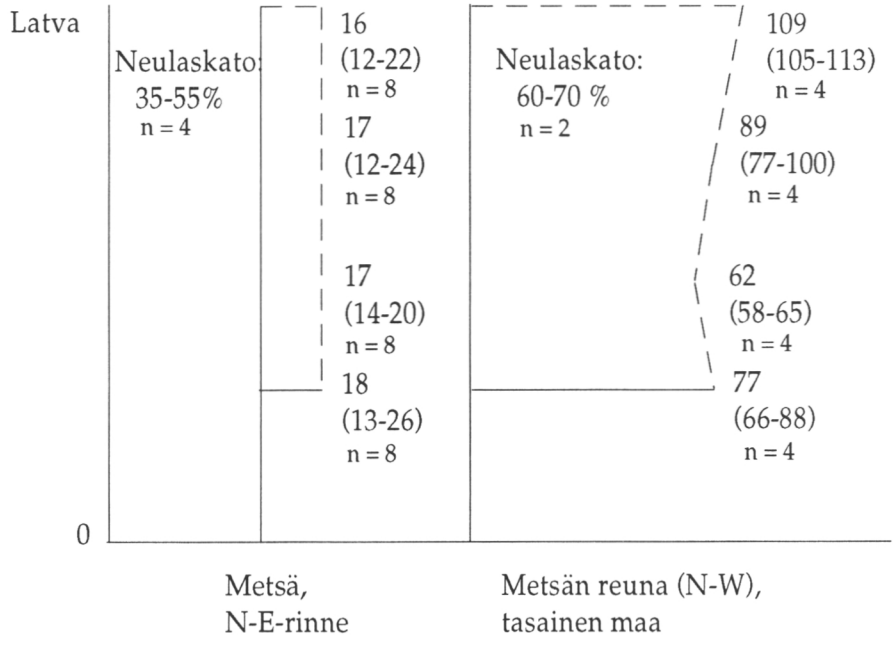
Rovaniemen mlk:sta Kivalon tutkimusalueelta, 50–60 km Rovaniemen kaupungista kaakkoon, kerättiin elokuun alkupuolella vuonna 1991 yhteensä 26 lehti- ja neulasnäytettä 4 eri metsiköstä. Näytteet lähetettiin tiiviisti suljetuissa lasiputkissa Saksaan Tübingenin yliopiston toksikologian laitokselle analysoitavaksi. Analyysimenetelmiä ja -kohteita on tarkemmin kuvattu julkaisussa Frank ym. (1992).

Kuusen neulasia analysoitiin 8 näytettä. Uusimmassa neulasvuosikerrassa TCA-pitoisuus oli keskimäärin 4,4 ppb (ng/g) ja vaihteluväli oli 1,0–6,5 ppb sekä vuoden 1989 neulasissa vastaavasti 11,5 ja 10,0–12,5 ppb. Männyn neulasia analysoitiin 10 näytettä. Uusimmassa neulasvuosikerrassa TCA-pitoisuus oli keskimäärin 10,9 ppb ja vaihteluväli oli 2,5–37,0 ppb sekä vuoden 1989 neulasissa vastaavasti 53,2 ppb ja 21,0–85,0 ppb. Havupuut olivat pääosin samoja puita, jotka olivat olleet vuodesta 1987 alkaen seurannassa neulasten hienorakennemuutosten osalta (Sutinen & Pesonen 1990).

Seurantapuihin kuuluvasta kahdesta kuusesta ja neljästä männystä otettiin seuraavat näytteet lokakuun alussa samana vuonna. Ne kerät-

tiin latvustosta neljältä eri tasaväliseltä korkeustasolta alaoksista latvaan asti. Kuuset ja kaksi mäntyä olivat samassa tuoreen kankaan sulkeutuneessa metsikössä loivasti koilliseen viettävällä rinteellä (130 m mpy.). Puulajista ja näytteenottokorkeudesta riippumatta TCA-pitoisuudet olivat 16–18 ppb (kuva 1). Nousua elokuulta oli noin 20 %. Toiset kaksi mäntyä olivat kuivahkolla kankaalla metsikön luoteenpuoleisella reunalla. Latvuston korkeusasemalla oli selvä vaikutus TCA-pitoisuuteen. Se oli selvästi korkein latvuston yläosassa, 109 ppb ja väheni latvuston alaosaan pitoisuustasolle 62–77 ppb (kuva 1). TCA-pitoisuus nousi noin 25 % elokuusta.

Suurin piirtein viisinkertainen tasoero TCA-pitoisuuksissa kahden lähekkäin sijaitsevan vertailumetsikön välillä johtuu ilmeisesti useasta ekologisesta tekijästä. Yksi olennainen ero on valaistusoloissa. Runsaampi auringonsäteily tasaisen alueen reunametsässä ja etenkin latvusten yläosassa indusoi suuremman TCA:n muodostumisen kuin sulkeutuneessa ja selvästi varjoisammassa metsikössä. Myös kasvupaikan viljavuudessa, pintakasvillisuudessa, puuston tiheydessä ja mikroilmastossa on eroavuuksia, joilla on todennäköisesti merkitystä TCA:n muodostumiseen, kulkeutumiseen ja kertymiseen metsiköissä.



Kuva 1. Männyn ja kuusen neulasten (vuosikerta 1989) TCA-pitoisuudet (ppb) latvuston eri korkeustasoilla kahdessa metsikössä, Rovaniemen maalaiskunta, Kivalon tutkimusalue, 7.10.1991.

Inarin Saariselältä kerättiin marraskuussa 1991 analyysinäytteet kolmesta kuivan kankaan männystä. Tällöin vahva tykky peitti puut. Nuorimmassa neulasvuosikerrassa TCA-pitoisuus oli keskimäärin 10 ppb (vaihteluväli 6–14 ppb) ja vuoden 1989 neulasvuosikerrassa keskimäärin 62 ppb (vaihteluväli 34–79 ppb).

Elokuun alkupuolella 1991 kerättiin lehtinäytteet kuudesta hieskoivusta Kivalon tutkimusalueelta, jonne läntisen Suomen lehtipuiden ennenaikaisen ruskettumisen vyöhyke ulottui jossain määrin. Näytteet otettiin kahdesta oireettomasta ja neljästä eriasteisesti kellastuneesta tai ruskettuneesta puusta, joissa ei ollut ollenkaan tai vain erittäin vähän koivunruostetta. Oireiden arvioitiin vaihtelevan erittäin lievästä keskinkertaiseen. Jälkimmäisessä tapauksessa lehden reunat olivat ruskettuneet ja TCA-pitoisuus oli 44 ppb. Oireettomissa lehdissä se oli alle 1 ppb. Vaurioituneissa lehdissä TCA-pitoisuus oli keskimäärin 14 ppb (vaihteluväli 2,6–44,0 ppb).

Edellisenä kesänä voimakkaimmin kellastuneet ja ruskettuneet lehtipuiden latvusten osat jäivät lehdettömiksi kasvukaudella 1992, jolloin puissa ilmeni kuivaoksaisuutta ja -latvaisuutta. Lievemmin oireilleissa latvuston osissa oli havaittavissa harsuuntumista eli lehtikatoa. Vaurioiden syitä pohdittaessa on otettava myös huomioon, että maanpintaotsonin pitoisuus on nykyisin pääosin koko kasvukauden ajan yli kriittisen rajan. Paitsi, että otsoni jo sinänsä aiheuttaa soluvaurioita, se ilmeisesti myös tehostaa TCA:n vaikutusta (Frank 1991).

Lapin puista otettujen neulasnäytteiden TCA-pitoisuuden taso osoittautui yllättävän korkeaksi. Se edustaa samaa tasoa kuin Saksan huonokuntoisissa vuoristometsissä, missä havupuiden neulasista on mitattu 10–100 ppb:n välillä olevia TCA-pitoisuuksia huippuarvojen ollessa 120 ppb (Frank ym. 1990, Frank 1991). Soluvaurioita on todettu syntyvän neulasissa TCA-pitoisuuden noustessa yli 5 ppb:n. Myös Lapin aineistossa oli havaittavissa riippuvuutta puun harsuuntumisasteen ja neulasten TCA-pitoisuuden välillä. Oletettavasti kuitenkin kloorattujen hiilivetyjen pitoisuus ilmakehässä on korkeampi Keski-Euroopassa kuin Lapissa. Suomessa ei ole vielä aloitettu niiden mittausta.

Nykyisin on puiden neulasista ja lehdistä eristetty TCA:n lisäksi muitakin kasvimyrkkynä käytettyjä yhdisteitä, joita muodostuu ilmakehässä (Frank ym. 1992). Myös klooratuissa hiilivedyissä lienee useita eläville organismeille myrkyllisiä aineita. Epäilemättä orgaanisista yhdisteistä kehkeytyy tutkimusten edetessä mittava ja olennaisen tärkeä ongelmavyyhti nykyisin tiedossa olevien epäorgaanisten ilmansaasteiden rinnalle. Nykytilanteessahan on kyse useiden ilmansaasteiden yhdysvaikutuksista, jotka altistavat puita myös erilaisille luontaisille tuhonaiheuttajille ja stressitekijöille. Tutkimusten tässä vaiheessa TCA näyttää olevan hyvä indikaattori puissa esiintyvistä orgaanista ympäristömyrkyistä sen lisäksi, että se myös aiheuttaa niissä vaurioita.

Kirjallisuus

Barrons, K.C. & Hummer, R.W. 1951. Basic herbicidal studies with derivatives of TCA. Agricultural Chemicals 6: 48–121.

Finlayson-Pitts, B.J. & Pitts, J.N.Jr. 1986. Atmospheric Chemistry, Fundamentals and experimental techniques. John Wiley & Sons, 1098 s.

Frank, H. 1991. Airborne chlorocarbons, photooxidants, and forest decline. Ambio 20: 13–18.

— , Frank, W. & Thiel, D. 1989. C_1- and C_2-halocarbons in soilair of forests. Atmospheric Environment 23: 1333–1335.

— , Scholl, H., Sutinen, S. & Norokorpi, Y. 1992. Trichloroacetic acid in the foliage of trees in Finland. Annales Botanici Fennici (painossa).

— , Vincon, A., Reiss, J. & Scholl, H. 1990. Trichloroacetic acid in the foliage of forest trees. Journal of High Resolution Chromatography 13: 733–336.

Juniper, B.E. 1959. The effect of pre-emergent treatment of peas with trichloroacitic acid on the sub-microscopis structure of the leaf surface. New Phytologist 58. 5 s.

Kolbe, H. 1845. Beiträge zur Kenntnis der gepaarten Verbindungen. Annalen der Chemie s. 145–188.

Logan, J.A., Prather, M.J., Wofsy, S.C. & Mc Elroy, M.B. 1981. Trophospheric chemistry: a global perspective. Journal of Geophysical Research 86: 7210–7254.

Mayer, F. 1957. Zur Wirkungsweise von Trichloracetat auf die höhere Pflanze. Zeitschrift für Naturforschung 12: 336–346.

Mukula, J. & Salonen, J. 1990. Rikkakasvien kemiallinen torjunta. Herbisidit ja niiden käyttö. Kasvinsuojeluseuran julkaisuja 81. 79 s.

Rosenberg, C., Nylund, L., Aalto, T., Kontras, H., Norppa, H., Jäppinen, P. & Vainio, H. 1991. Volatile organohalogen compounds from the bleaching of pulp – Occurrence and genotoxic potential in the work environment. Chemosphere 23: 1617–1628.

Sutinen, S. & Pesonen, R. 1990. Männyn ja kuusen neulasten soluvaurioista Lapissa. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 69–75.

Zöttl, H. 1953. Untersuchungen über die Wirkung von Trichloryacetaten und anderen Halogenacetaten auf pflanzliche Gerwebe. Zeitschrift für Naturforschung 8: 317–323.

Åberg, B. 1982. Plant growth regulators. Swedish Journal of Agricultural Research 12: 51–61.

Vaihtelu pohjoissuomalaisten plusmänty-jälkeläistöjen versosurmakestävyydessä

Seppo Ruotsalainen
Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema
95900 Kolari

Johdanto

Versosurman aiheuttava versosurmakkasieni *(Gremmeniella abietina)* on eräs pahimpia havupuiden sienitauteja, joka aiheuttaa tuhoa monilla havupuulajeilla ja monenikäisissä puissa koko pohjoisella havumetsävyöhykkeellä (Stephan 1990). Suomessa se vaivaa lähinnä mäntyä, ja on aiheuttanut epidemioita jo 1880-luvulla. Pohjois-Suomessa ilmeni laajoja taimikkotuhoja 1960-luvulla, ja 1980-luvun alussa puhkesi laajin tunnettu versosurmaepidemia. Pohjois-Suomessa tuhoutui tällöin pääasiassa 1–2 metrin pituista taimikkoa 5 000–10 000 ha (Uotila 1988). Versosurmakka tunnetaan myös vaarallisena taimitarhapatogeenina (Barklund 1990).

Koska versosurmakka on heikko patogeeni, edellyttää siihen sairastuminen puun vastustuskyvyn heikkenemistä. Taudille altistumista aiheuttavat mm. viileä kasvukausi, alhainen kokonaissäteily, kesähallat ja ravinteikas kasvupaikka (Uotila 1988). Myös taimien alkuperän on todettu vaikuttavan siten, että mitä eteläisempi alkuperä, sitä alttiimpi taimi on versosurmalle (Dietrichson 1968, Björkman 1971, Uotila 1985). Kyseisten tekijöiden vaikutus perustuu siihen, että verson kasvu jatkuu kasvukauden pituuteen nähden liian kauan, jolloin verso ei ehdi puutua riittävästi (Dietrichson 1968, Uotila 1988).

Alkuperästä riippuva versosurma-alttius on jo monilla tutkimuksilla todistettu. Sen sijaan yksilöiden välisiä kestävyyseroja versosurman suhteen on tutkittu vähemmän. Nevalainen & Uotila (1984) havaitsivat siemenviljelyksellä eteläsuomalaisten pluspuukloonien välillä suuria eroja versosurmainfektion voimakkuudessa. Pluspuujälkeläistöjen väliset erot olivat sen sijaan pienemmät.

Tähän tutkimukseen tarjoutui tilaisuus, kun keväällä 1990 havaittiin edellisenä vuonna perustetuissa pohjoissuomalaisissa pluspuiden jälkeläiskokeissa poikkeuksellisen suurta kuolleisuutta, joka osoittautui versosurman aiheuttamaksi. Osa kokeista inventoitiin elossaolon selvittämiseksi. Tulosten perusteella pyrittiin selvittämään pluspuujälkeläistöjen välisen geneettisen vaihtelun suuruutta versosurmakestävyydessä sekä toisaalta selvittämään syitä tähän poikkeuksellisen voimakkaaseen versosurmaepidemiaan.

Aineisto ja menetelmät

Versosurmakuolleisuuden selvittämiseksi inventoitiin 17 pohjoissuomalaista vuonna 1989 istutettua männyn jälkeläiskoetta (taulukko 1, kuva 1). Suurin osa kokeista inventoitiin kokonaisuudessaan, mutta muutamasta kokeesta vain osa ruuduista. Metsäntutkimuslaitoksen ja metsähallituksen kenttäryhmät inventoivat kokeet vuoden 1990 kesän ja syksyn aikana. Vertailuaineistoina käytetään lisäksi vanhempia jälkeläiskokeita sekä Metsänjalostussäätiön vuonna 1989 perustamia jälkeläiskokeita.

Inventoiduista kokeista yhdeksän oli tavalliselle uudistusalalle käytännön metsätaloudessa käytetyillä viljelymenetelmillä perustettua kenttäkoetta. Loput oli perustettu testaustarhoihin tehokkaasti muokatulle maalle tiheällä istutusvälillä (10 000 tainta/ha). Kokeet oli perustettu satunnaistettujen lohkojen menetelmällä 25 tai 35 taimen ruuduilla. Muutamassa kokeessa vain osa ruuduista inventoitiin (ks. taulukko 1). Tyypillisessä tapauksessa kokeeseen oli istutettu noin 6 000 tainta. Istutus oli tehty metsähallituksen Imarin taimitarhalla kasvatetuilla yksivuotiailla paakkutaimilla. Vertailuaineistona käytettyjen kokeiden rakenne ja sisältö selviää metsänjalostuksen koeviljelysluettelosta (Pajamäki & Karvinen 1991).

Inventoitujen kokeiden materiaali koostui pääasiassa pohjoissuomalaisten pluspuiden Keski-Suomessa sijaitsevilla siemenviljelyksillä syntyneestä siemenestä kasvatetuista taimista (kuva 1). Mukana oli lisäksi Keski- ja Pohjois-Suomesta luonnonmetsiköistä kerättyjä vertailueriä (taulukko 1). Kokeet kuuluivat seitsemään eri koesarjaan. Samaan koesarjaan kuuluvissa kokeissa testattiin samojen pluspuiden jälkeläistöjä. Siemenviljelysten iät olivat olleet käpyjen keräyksen aikaan pääasiassa 12 ja 18 vuoden välillä. Tällöin pölytys oli tapahtunut vielä pääosin viljelyksen ulkopuolisella luonnonmetsistä tulleella taustapölyllä.

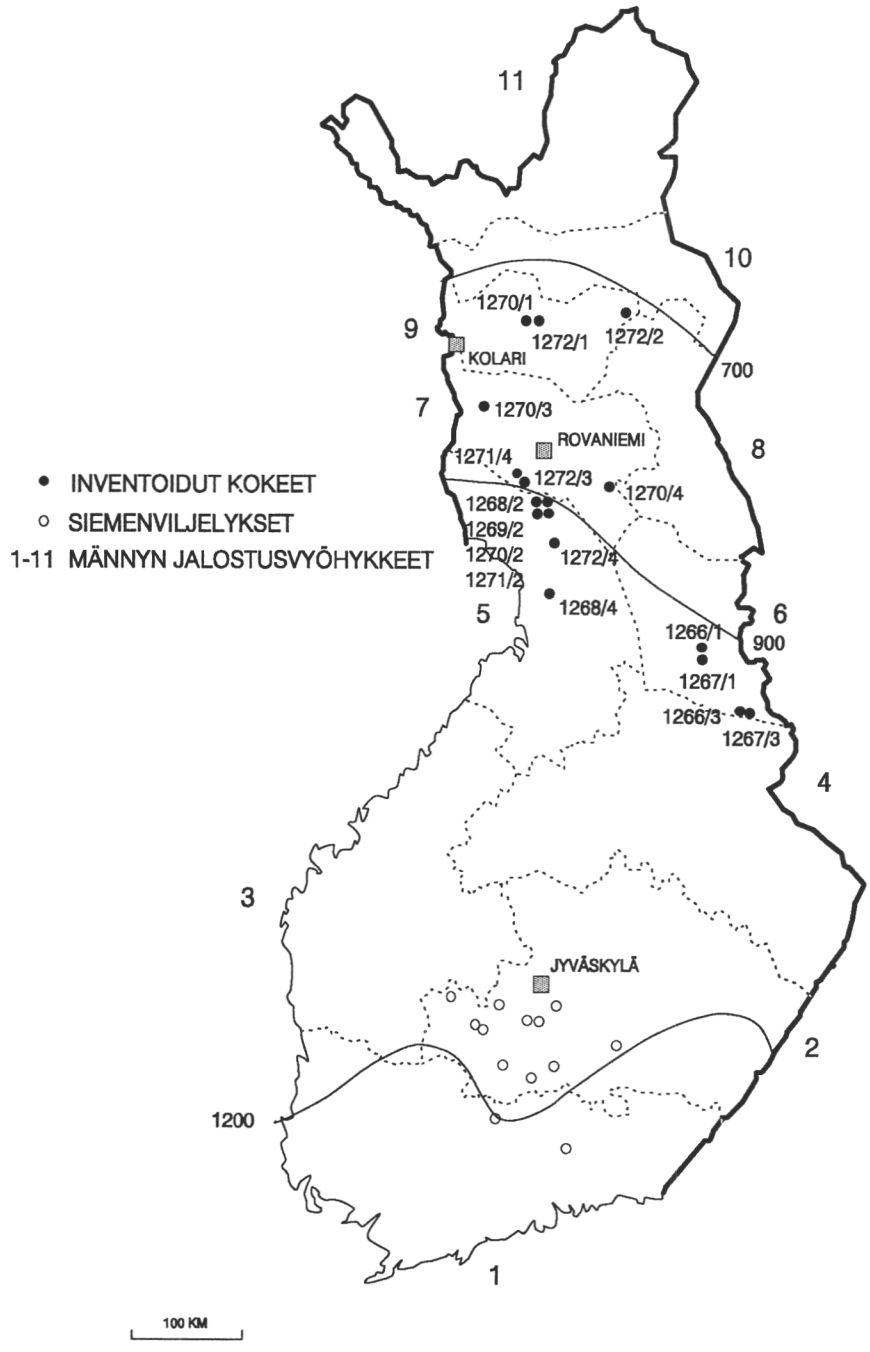
Inventoinnissa laskettiin ruudun elossaolevat taimet. Kuolleita taimia ei etsitty, eikä niiden kuolinsyitä pyritty selvittämään. Taimien kuolinsyyksi määritettiin silmävaraisesti muutamilla kokeilla männynversosurma (mm. Risto Jalkanen, suull.).

Aineistosta laskettiin ruutukohtaiset elossaoloprosentit. Erojen tilastollista merkitsevyyttä testattiin arcsin $\sqrt{x}$-muunnoksen jälkeen varianssianalyysillä erikseen metsikkö- ja pluspuuerillä. Metsikköerille laskettiin elossaolon regressio kotipaikan lämpösumman suhteen. Saadun regressioyhtälön avulla laskettiin arviot paikallisen metsikköerän ja lämpösummaltaan pluspuujälkeläistöjä vastaavan vertailuerän elossaololle sekä arvioitiin pluspuujälkeläistöjen elossaolon vaihtelun laajuutta. Koepaikkojen välillä havaittuja elossaoloeroja selvitettiin korrelaatioanalyysin avulla. Tutkittavina tekijöinä käytettiin eräitä koepaikkaa, kokeiden perustamista ja koemateriaalia kuvaavia tunnuksia.

Taulukko 1. Kokeiden perustietoja. Erien ja toistojen määräksi on ilmoitettu analyyseissä käytetty määrä. TT = testaustarhakoe, KK = kenttäkoe.

kokeen numero	kokeen koodi	paikka-kunta	koe-tyyppi	taimi-tarha	erien pluspuu	lkm metsikkö	toistojen määrä	pluspuujälkel. lämpösumma	pluspuiden jalostus-vyöhykkeet
1266/1	A	Suomussalmi	TT	Imari	47	6	6	1108	6
1266/3	B	Kuhmo	KK	"	45	8	1-2[a]	1108	6
1267/1	C	Suomussalmi	TT	"	35	6	6	1067	6
1267/3	D	Kuhmo	KK	"	34	8	5	1066	6
1268/2	E	Tervola	TT	"	28	8	5	1121	5
1268/4	F	Yli-Ii	KK	"	12	6	1-2[b]	1121	5
1269/2	G	Tervola	TT	"	37	8	5	1103	5
1270/1	H	Kittilä	TT	"	37	8	5	992	7
1270/2	I	Tervola	TT	"	37	8	5	992	7
1270/3	J	Pello	KK	"	37	8	5	992	7
1270/4	K	Rovaniemi mlk	KK	"	37	3	3	992	7
1271/2	L	Tervola	TT	"	37	8	5	984	7
1271/4	M	Rovaniemi mlk	KK	"	11	3	3	984	7
1272/1	N	Kittilä	TT	"	37	8	5	927	9,10
1272/2	O	Sodankylä	KK	"	37	5	5	927	9,10
1272/3	P	Rovaniemi mlk	KK	"	32	5	5	927	9,10
1272/4	Q	Ranua	KK	"	33	6	5	927	9,10
1281/1	R	Kittilä	TT	MJS, Pieksämäki	26	5	4	-	11
1282/3	S	Kittilä	TT	"	21	22	4	-	11

a) otanta 79 ruutua
b) otanta 23 ruutua



Kuva 1. Tutkimuksessa inventoitujen vuonna 1989 viljeltyjen männyn jälkeläiskokeiden sijainti. Karttaan on merkitty myös niiden siemenviljelysten sijainnit, joista on kerätty siementä inventoituihin jälkeläiskokeisiin sekä muutamia vuosien 1930–1960 keskiarvoon perustuvia lämpösummakäyriä Kolkin (1966) mukaan.

Analyyseissä käytetyt lämpösummat saatiin Metsäntutkimuslaitoksen Vax-tietokoneella olevan ILMA-ohjelman avulla (Ojansuu & Henttonen 1983).

Tulokset

Inventoitujen 17 jälkeläiskokeen taimien elossaolo oli ensimmäisen talven jälkeen hyvin alhainen – vain 31 % taimista oli elossa. Kuolleisuus oli ollut hyvin suuri verrattuna vuotta aiemmin tehtyyn inventointiin, jossa yleensä yli 90 % taimista oli elossa. Kainuulaiset kokeet olivat selvinneet melko hyvin, parhaassa oli 83 % taimista elossa. Sen sijaan Lapin läänin alueella parhaassakin kokeessa oli elossa vain 35 % taimista ja huonoimmassa vain 2 % (taulukko 2). Laskennallinen paikallisen metsikköerän elossaolo oli keskimäärin 38 % ja vaihteli parhaan kokeen 81 %:sta huonoimman kokeen 4 %:iin.

Versosurma ei ollut tuhonnut taimia summittaisesti, vaan niiden perinnöllisillä ominaisuuksilla oli vaikutusta kuolleisuuteen. Tilastollisesti merkitseviä eroja elossaolossa oli kaikissa muissa kokeissa paitsi kainuulaisten kokeiden metsikköerissä ja kahdessa kaikkein pahiten tuhoutuneessa kokeessa (1271/4 ja 1272/3) (taulukko 3).

Taulukko 2. Taimien keskimääräiset elossaolot eri ajankohtina. Mukana on myös regressioyhtälön avulla estimoitu elossaoloarvio paikalliselle vertailuerälle.

koe	elossaolo % 1989	elossaolo % 1990	paikallinen vertailuerä
1266/1	92,5	74,2	73,3
1266/3	91,0	72,2	–
1267/1	92,9	82,6	80,5
1267/3	82,9	53,1	56,8
1268/2	–	10,5	19,4
1268/4	91,1	49,3	–
1269/2	93,2	35,0	45,4
1270/1	96,8	14,9	33,7
1270/2	96,2	19,4	28,0
1270/3	94,5	21,9	38,6
1270/4	96,6	16,9	24,7
1271/2	96,5	17,2	26,9
1271/4	–	4,5	–
1272/1	–	14,7	33,7
1272/2	95,6	14,1	44,9
1272/3	–	2,3	3,9
1272/4	96,9	22,1	22,3
1281/1	–	96,0	–
1282/3	–	95,0	–

*Taulukko 3. Versosurmatuhon jälkeisen elossaolon varianssianalyysit. Arcsin $\sqrt{x}$-muunnetut arvot. Tässä ja muissa taulukoissa * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$.*

koe	erien välisten erojen merkitsevyys			
	metsikköerät		pluspuuerät	
	F	df	F	df
1266/1	$1,20^{ns}$	(7,35)	$2,79^{***}$	(46,230)
1267/1	$1,88^{ns}$	(7,34)	$4,11^{***}$	(34,169)
1267/3	$1,84^{ns}$	(7,28)	$2,72^{***}$	(33,132)
1268/2	$6,44^{***}$	(7,35)	$3,00^{***}$	(27,108)
1269/2	$2,81^{*}$	(7,28)	$2,46^{***}$	(36,144)
1270/1	$8,38^{***}$	(7,28)	$5,32^{***}$	(36,144)
1270/2	$7,02^{***}$	(7,28)	$3,95^{***}$	(36,144)
1270/3	$5,73^{***}$	(7,27)	$4,17^{***}$	(36,144)
1270/4	$4,52^{**}$	(7,14)	$3,86^{***}$	(36,72)
1271/2	$8,49^{***}$	(7,27)	$4,08^{***}$	(36,144)
1271/4	$1,59^{ns}$	(3,60)	$1,85^{ns}$	(10,20)
1272/1	$8,48^{***}$	(7,28)	$3,32^{***}$	(36,144)
1272/2	$17,38^{***}$	(6,23)	$3,34^{***}$	(36,144)
1272/3	$1,60^{ns}$	(5,10)	$0,75^{ns}$	(31,124)
1272/4	$13,28^{***}$	(5,19)	$2,69^{***}$	(32,127)

Metsikköerissä oli selvä riippuvuus alkuperän kotipaikan lämpösumman ja elossaolon välillä (taulukko 4, kuva 2). Mitä lämpimämmän ilmaston metsiköstä siemen oli kerätty, sitä alhaisempi oli jälkeläisten elossaolo. Sadan lämpösummayksikön suuruinen ero metsiköiden kotipaikkojen välillä vastasi keskimäärin 7 % eroa elossaolossa. Yksittäisissä kokeissa vastaavan siirron vaikutus vaihteli suuresti kahdesta prosentista 13 %:iin. Regressiokerroin sai yhä pienempiä negatiivisia arvoja eli vaikutus kasvoi sijaintipaikan leveysasteen kasvaessa ($r = -0,71$, $p < 0,01$) ja kokeen elossaolon aletessa ($r = 0,58$, $p < 0,05$) (taulukko 6).

Koko inventointiaineistoa tarkasteltaessa pluspuujälkeläistöjen elossaolo versosurmaepidemian jälkeen oli keskimäärin sama kuin vastaavilla vertailuerillä (taulukko 5, kuva 3). Valtaosassa yksittäisistä kokeista pluspuujälkeläistöt olivat kuitenkin hieman odotettua huonommin elossa. Kokonaiskeskiarvoa tasoittivat kahden kainuulaisen (1266/1 ja 1267/1) sekä yhden Lapin läänin kokeen (1268/2) selvästi odotettua paremmat elossaolot. Elossaolojakaumien vinoudesta johtuu, että vaikka elossaolokeskiarvo vastasikin odotettua, vain 41 % pluspuujälkeläistöjen keskiarvoista ylitti vastaavan laskennallisen vertailumetsikön arvon.

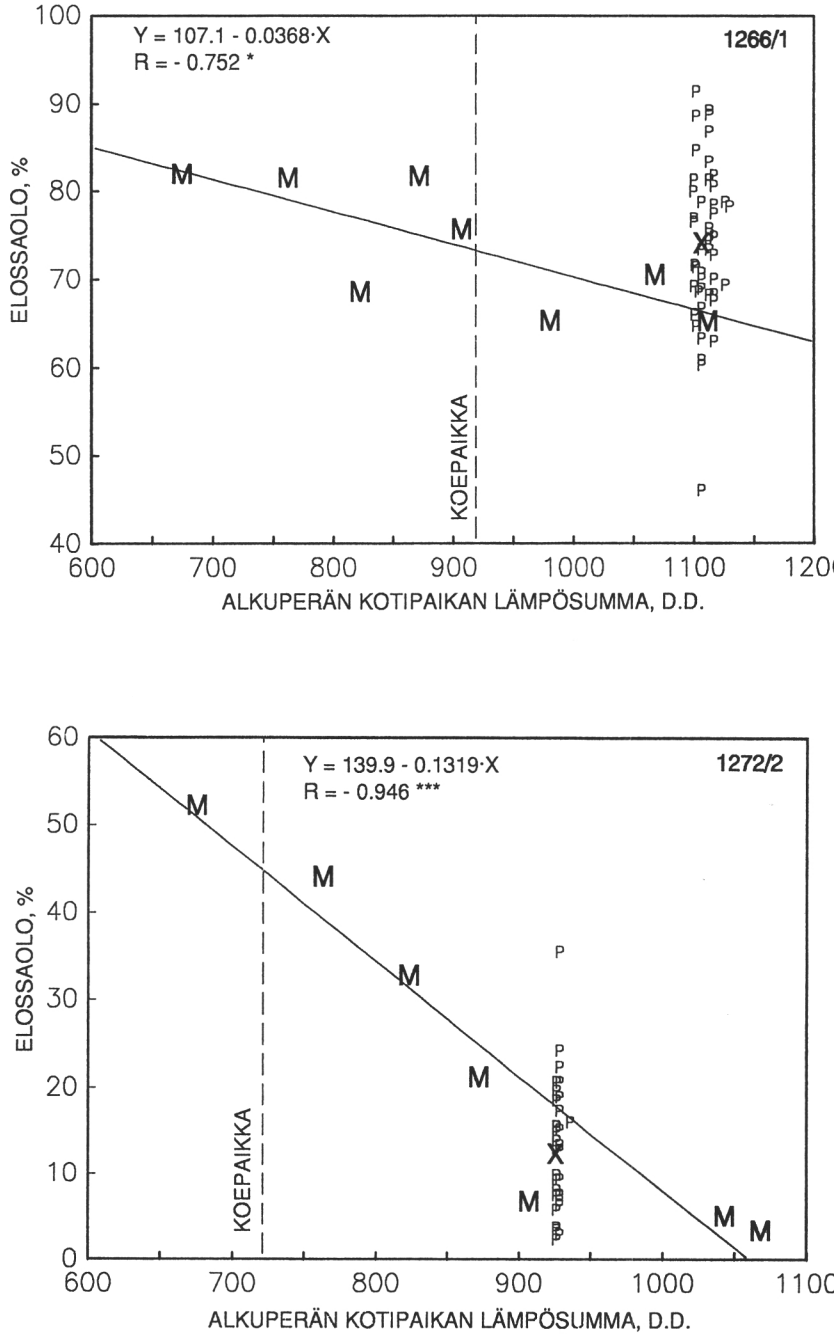
Kuten pluspuujälkeläistöjen ja vastaavan vertailuerän elossaolon yhtäsuuruudesta saattoi päätellä, oli pluspuujälkeläistöjen keskimääräinen laskennallinen lämpösumma (1009 d.d.) sama kuin elossaolon

avulla estimoitu keskimääräinen lämpösumma (1004 d.d.). Sen sijaan yksittäisissä kokeissa oli yli 200 d.d.-yksikön eroja näiden kahden lämpösumman välillä (taulukko 5). Kokeiden elossaolokeskiarvosta yhden keskihajontayksikön suuruista poikkeamaa vastaava lämpösummapoikkeama oli keskimäärin 156 d.d.-yksikköä. Pluspuujälkeläistöjen keskimääräisen elossaolon vastatessa lämpösumman perusteella Ii–Utajärvi–Sotkamo -linjaa vastaisi siis yhtä keskihajontayksikköä keskimääräistä sopeutuneemman jälkeläistön kestävyys kutakuinkin Rovaniemen seutua (850 d.d.), ja vastaavasti yhtä hajontayksikköä heikomman kestävyys Jyväskylän seudun (1160 d.d.) puiden kestävyyttä.

Yksittäisissä kokeissa vastaavan vertailuerän arvon ylittävien pluspuujälkeläistöjen osuus vaihteli viidestä sataan prosenttiin (taulukko 5, kuva 4). Mitä eteläisempi koe oli ja mitä parempi oli sen keskimääräinen elossaolo, sitä parempi oli pluspuujälkeläistöjen elossaolo ja sitä paremmin ne menestyivät vastaavaan vertailuerään verrattuna (taulukko 6). Voimakkain ja yllättävin riippuvuus oli pluspuujälkeläistöjen keskimääräisen lämpösumman ja elossaolon ($r = 0,64$, $p < 0,01$) sekä toisaalta pluspuujälkeläistöjen ja vastaavan vertailuerän elossaolon erotuksen välillä ($r = 0,77$, $p < 0,01$). Siemenviljelyksen iällä koemateriaalin keräysaikaan ja pluspuujälkeläistöjen ja koepaikan lämpösummien erotuksella ei ollut vaikutusta pluspuujälkeläistöjen elossaoloa kuvaaviin tunnuksiin.

Taulukko 4. Elossaolon regressio kotipaikan lämpösumman suhteen metsikköerissä sekä elossaolon ja kotipaikan lämpösumman välinen korrelaatiokerroin.

koe	regressio			r
	a	b	n	
1266/1	107,1	-0,0368	8	-0,752*
1267/1	105,7	-0,0275	8	-0,630ns
1267/3	76,1	-0,0210	8	-0,519ns
1268/2	106,6	-0,0962	8	-0,984***
1269/2	108,1	-0,0691	8	-0,746*
1270/1	101,6	-0,0905	8	-0,740*
1270/2	111,6	-0,0922	8	-0,696ns
1270/3	98,1	-0,0735	8	-0,868**
1270/4	71,2	-0,0542	8	-0,611ns
1271/2	104,5	-0,0856	8	-0,696ns
1271/4			4	0,015
1272/1	88,5	-0,0731	8	-0,648ns
1272/2	139,9	-0,1319	7	-0,946***
1272/3	28,4	-0,0267	6	-0,837*
1272/4	92,6	-0,0753	6	-0,870*
keskiarvo		-0,068		



Kuva 2. Metsikköerien (M) elossaolon riippuvuus metsikön kotipaikan keskimääräisestä vuotuisesta lämpösummasta (Ojansuu & Henttonen 1983) kahdessa inventoidussa kokeessa. Kuviin on merkitty myös yksittäisten pluspuujälkeläistöjen elossaolot (P) ja pluspuujälkeläistön keskiarvo (X).

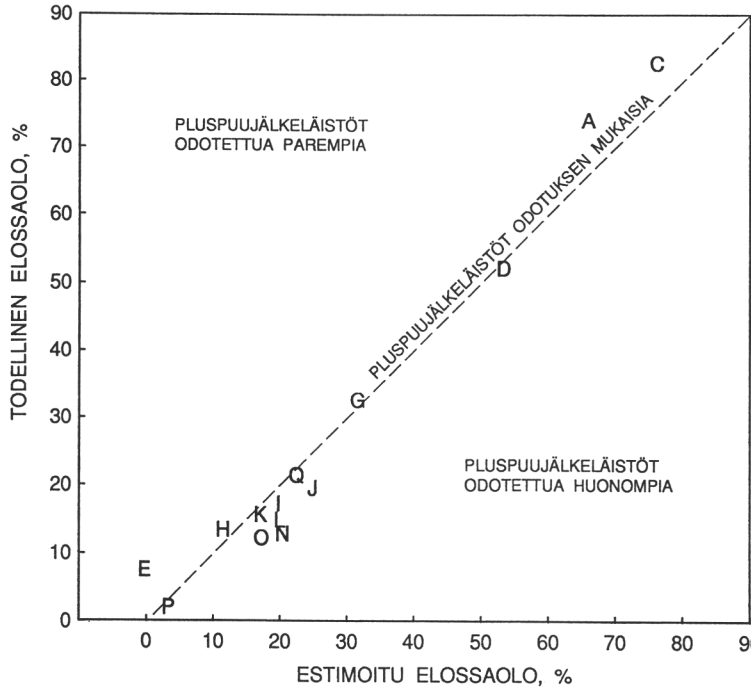
Taulukko 5. Pluspuujälkeläistöjen elossaolot ja tiettyjä elossaoloprosentteja vastaavat lämpösummat.

Koe	pluspuu-jälkeläistöt %	vastaava vertailuerä %	% jälkel. yli vast. vertailuerän	pluspuu-jälkel. lämpösumma	tiettyä pluspuuerän elossaoloa vastaava lämpösumma keskiarvo	+1 S.D.[1]	-1 S.D.[1]
1266/1	74,2	66,3	84	1108	894	1133	655
1267/1	82,8	76,4	83	1067	833	1107	558
1267/3	52,2	53,7	44	1066	1138	1577	699
1268/2	7,6	0,0	100	1121	1029	1085	973
1269/2	32,6	31,9	47	1103	1093	1226	959
1270/1	13,5	11,8	38	992	973	1090	857
1270/2	17,3	20,1	25	992	1023	1152	893
1270/3	19,6	25,2	24	992	1068	1220	916
1270/4	15,7	17,4	23	992	1024	1219	829
1271/2	14,9	20,3	21	984	1047	1157	936
1272/1	12,9	20,7	24	927	1034	1157	911
1272/2	12,3	17,6	21	927	967	1022	913
1272/3	2,1	3,7	5	927	985	1034	936
1272/4	21,5	22,8	35	927	944	1056	833
keskiarvo	27,1	27,7	41	1009	1004	1160	848

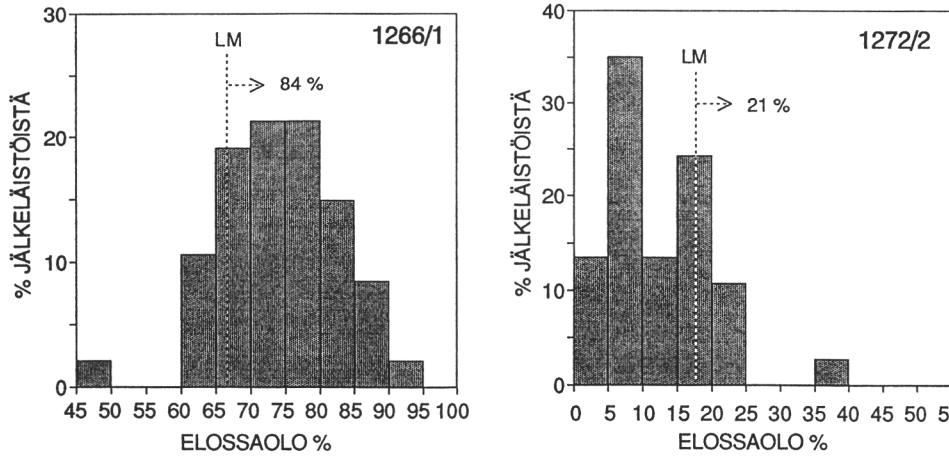
[1] elossaololtaan yhden keskihajontayksikön kokeen keskiarvosta poikkeavan pluspuujälkeläistön laskennallinen lämpösumma

Taulukko 6. Pluspuujälkeläistöjen elossaoloon sekä metsikköerien elossaolon ja kotipaikan lämpösumman regressioon liittyviä korrelaatioita (n=14–17).

	pluspuujälkeläistöjen elossaolo	pluspuujälkeläistöjen ja vastaavan vertailuerän elossaolon erotus	pluspuujälkeläistöistä yli vastaavan vertailuerän	korrelaatio-kerroin	regressio-kerroin
kokeen leveysaste	-0,788***	-0,542*	-0,522ns	-0,409ns	0,714**
kokeen lämpösumma v. 1989	0,668**	0,540*	0,472ns	0,383ns	
elossaolo keskimäärin	0,994***	0,532*	0,617*	0,443ns	0,581*
paikallisen estim. elossaolo	0,921***	0,379ns	0,542*	0,377ns	0,330ns
pluspuujälkeläistön lämpösumma	0,638**	0,772**	0,833**	–	–
siemenviljelyksen ikä	-0,229ns	-0,094ns	-0,114ns	–	–
pluspuujälkeläistön ja koepaikan lämpösumman (1989) erotus	-0,297ns	-0,032ns	0,099ns	–	–



Kuva 3. Pluspuujälkeläistöjen todellisen elossaolon suhde estimoituun elossaoloon. Estimoitu elossaolo (= pluspuujälkeläistöjä vastaavan vertailuerän elossaolo) on saatu pluspuujälkeläistöjen laskennallisen lämpösummakeskiarvon perusteella regressioyhtälön avulla. Selitykset, ks. taulukko 1.



Kuva 4. Pluspuujälkeläistöjen elossaolojakaumat kahdessa inventoidussa kokeessa. Katkoviiva (LM) on lämpösummaltaan pluspuujälkeläistöjä vastaavan vertailuerän elossaolo. Prosenttiluku kertoo kuinka suuri osuus pluspuujälkeläistöistä ylittää vertailuerän elossaolon (ks. taulukko 5).

Kaikki saman koesarjan eri osakokeiden pluspuujälkeläistöjen elossaolojen väliset 15 korrelaatiota olivat positiivisia ja yhdeksän niistä oli tilastollisesti vähintään jokseenkin merkitsevää (taulukko 7). Voimakkaimmat riippuvuudet olivat yleensä pohjoisimpien kokeiden välillä.

Versosurmatuhon jälkeinen elossaoloinventointi antoi pluspuiden jälkeläistöjen elossaolosta samansuuntaisen kuvan kuin mitä saatiin kymmenen kasvukauden ikäisistä kokeista (taulukko 8, kuva 5). Versosurmakestävyyden ja pituuskasvun välinen suhde ei ollut yhtä selväpiirteinen, mutta useimmissa tapauksissa parhaiten versosurmasta selvinneiden pluspuiden jälkeläistöt olivat pidempiä kuin alttiimpien pluspuiden jälkeläistöt.

Kokeiden välillä oli selviä alueellisia eroja versosurmatuhon jälkeen inventoidussa elossaolossa. Eteläiset ja itäiset kokeet olivat selvinneet tuhosta parhaiten (taulukko 9). Kokeiden elossaolo oli paras niillä alueilla, joilla viljelykesän lämpösumma ja sademäärä oli suurin. Sen sijaan keskimääräinen vuotuinen lämpösumma korreloi elossaolon kanssa huonommin. Myöhäinen istutusaika ja erityisesti myöhäinen taimien taimitarhalta lähetyspäivä lisäsi kuolleisuutta (kuva 6).

Kokeen sijainti sinällään ei ollut ratkaisevaa taimien elossaololle, sillä Metsänjalostussäätiön vuonna 1989 Kittilän testaustarhaan perustamien kokeiden elossaolo oli seuraavana kesänä 96 % (1281/1) ja 95 % (1282/3) (Pertti Pulkkinen, Metsänjalostussäätiö, suull.). Molemmissa samalla koekentällä olleissa tätä tutkimusta varten inventoiduissa kokeissa (1270/1 ja 1272/1) elossaolo oli 15 %.

Taulukko 7. Pluspuujälkeläistöjen elossaolojen korrelaatioita kokeiden välillä.

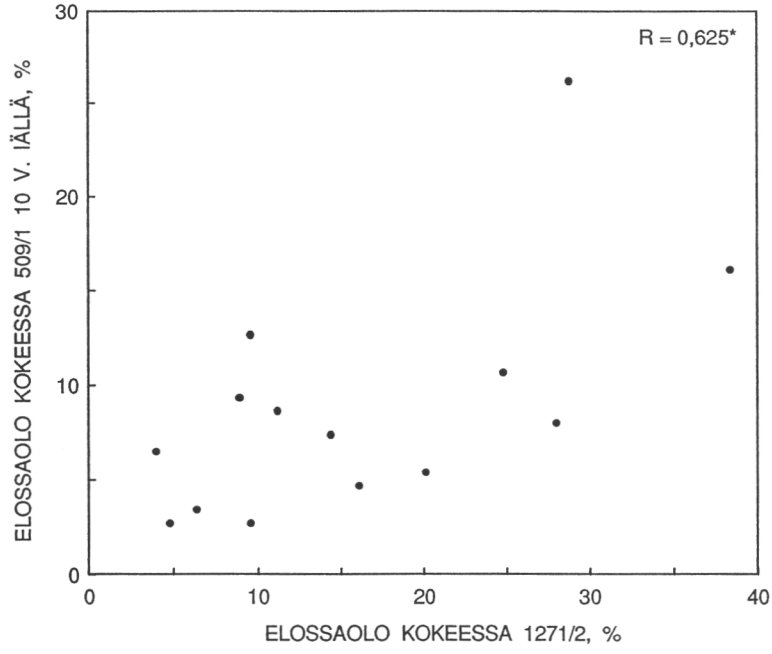
kokeet	n	r
1267/1 x 1267/3	34	$0{,}411^{*}$
1270/1 x 1270/2	37	$0{,}631^{***}$
1270/1 x 1270/3	37	$0{,}431^{**}$
1270/1 x 1270/4	37	$0{,}609^{***}$
1270/2 x 1270/3	37	$0{,}424^{**}$
1270/2 x 1270/4	37	$0{,}450^{**}$
1270/3 x 1270/4	37	$0{,}614^{***}$
1271/2 x 1271/4	11	$0{,}035^{ns}$
1272/1 x 1272/2	37	$0{,}532^{***}$
1272/1 x 1272/3	32	$0{,}370^{*}$
1272/1 x 1272/4	33	$0{,}140^{ns}$
1272/2 x 1272/3	32	$0{,}304^{ns}$
1272/2 x 1272/4	33	$0{,}205^{ns}$
1272/3 x 1272/4	29	$0{,}094^{ns}$

Taulukko 8. Korrelaatiot v. 1990 inventoitujen edellisenä vuonna istutettujen taimien elossaolon ja vanhempien kokeiden taimien elossaolon sekä pituuden välillä.

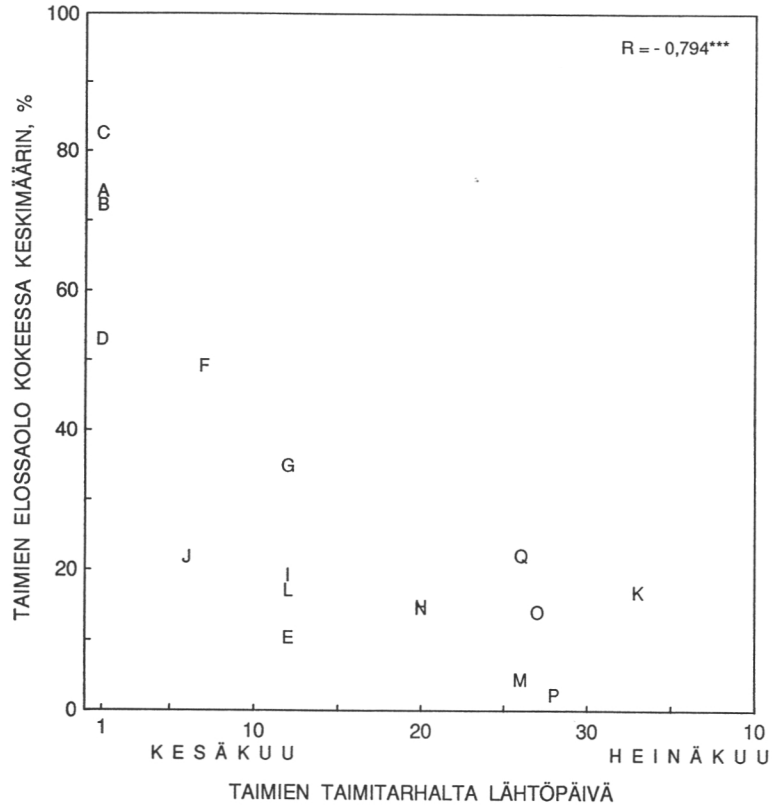
				n	ikä, v.	elossaolo	pituus
1270/1-4	keskiarvo	x 850/2	Rovaniemi mlk	6	10	-0,486^{ns}	-0,649^{ns}
"	"	x 850/3	Pello	5	10	0,705^{ns}	-0,568^{ns}
1271/2	Tervola	x 354/1	Kolari	9	10	0,498^{ns}	-
"	"	"	"		20	0,456^{ns}	-0,286^{ns}
"	"	x 354/3	Salla	7	10	0,783*	-
"	"	x 456/1	Kolari	8	10	0,502^{ns}	-
"	"	"	"	"	15	0,542^{ns}	0,135^{ns}
"	"	x 509/1	Kolari	15	10	0,625*	0,541*
"	"	x 509/2	Posio	15	10	0,590*	0,245^{ns}
"	"	x 509/3	Rovaniemi mlk	15	10	0,611*	0,621*
"	"	x 692/2	Sodankylä	14	10	0,311^{ns}	0,415^{ns}
"	"	x 692/3	Rovaniemi mlk	14	10	0,321^{ns}	-0,409^{ns}
1267/1	Suomussalmi	x 842/1	Taivalkoski	6	10	0,148^{ns}	0,379^{ns}
1267/3	Kuhmo	x 842/1	"	6	10	0,661^{ns}	0,943**

Taulukko 9. Taimen elossaolon riippuvuus koekohtaisista tekijöistä.

	elossaolo keskimäärin (n = 17)	estimoitu paikall. metsikön elossaolo (n = 14)
leveysaste	$0{,}792^{***}$	$-0{,}494^{ns}$
pituusaste	$0{,}806^{***}$	$0{,}750^{**}$
lämpösumma keskim.	$0{,}397^{ns}$	$0{,}045^{ns}$
lämpösumma v. 1989	$0{,}678^{**}$	$0{,}340^{ns}$
kesän sadem. v. 1989	$0{,}892^{***}$	$0{,}814^{***}$
taimitarhalta lähtöpv	$-0{,}794^{***}$	$-0{,}706^{**}$
istutuspäivä	$-0{,}656^{**}$	$-0{,}543^{*}$



Kuva 5. Samojen pluspuiden jälkeläistöjen elossaolojen riippuvuus kokeiden 1271/2 (Tervola, inventoitu vuoden 1990 versosurmatuhon jälkeen) ja 509/1 (Kolari) välillä.



Kuva 6. Kokeiden keskimääräisen elossaolon riippuvuus taimien taimitarhalta lähtöpäivästä. Symbolit, ks. taulukko 1.

Tulosten tarkastelu

Koska tarkastelluissa kokeissa testattu pluspuiden jälkeläismateriaali oli tarkoituksellisesti viljelty sille ilmastollisesti liian ankariin oloihin, oli odotettavissa, että suurin osa siitä tuhoutuu jo taimivaiheessa. Kuitenkin vastaavanlaiset kokeet selviävät yleensä yli 5–10 vuoden ikään ilman, että elossaolo laskee näin alas (Kylmänen 1980, Nikkanen 1982, Rousi 1983). Tuhon poikkeuksellisuutta todistaa myös Metsänjalostussäätiön Pieksämäen taimitarhalla kasvatetuilla taimilla perustamien kokeiden hyvä elossaolo Kittilän testaustarhassa. Tuhoutuneiden kokeiden perustamiseen käytetyt taimet olivat viljelyaikaan terveen ja hyväkuntoisen näköisiä, eikä viljelyvuonna tehdyissä inventoinneissa paljastunut mitään vakavia tuhonoireita. Sen sijaan Pieksämäeltä tulleet taimet olivat jo kasvunsa aloittaneita hentoja "ruohoja" (Mauri Pyykkö, metsähallitus, suull.).

Kokeiden väliset erot elossaolossa olivat korrelaatiokerrointen perusteella yhteydessä moniin alueellisiin ja ilmastollisiin tekijöihin sekä lisäksi käytetyn materiaalin geneettiseen koostumukseen ja myös

taimien taimitarhalta lähtöpäivään. Tulosten tulkinnalle ja syiden etsinnälle aiheutuu vaikeuksia kyseisten tekijöiden vahvoista keskinäisistä riippuvuuksista. Versosurmalle altistavat tekijät tuntien mahdollisiksi vaikuttaviksi tekijöiksi jäävät kasvukauden lämpimyys ja taimien lähetysaika. Metsänjalostussäätiön taimitarhalta tulleiden taimien hyvä elossaolo sulkee puolestaan pois kasvukauden lämpimyyden vaikutuksen. Onkin syytä epäillä, että taimet ovat saaneet versosurmatartunnan jo taimitarhalla, tai ainakin siellä on ollut kesäkuun ajan jokin versosurmalle altistava tekijä. Tätä tukee se, että mitä myöhemmin taimet ovat lähteneet taimitarhalta, sitä suurempi on ollut kuolleisuus (kuva 6). Uotilan (1988) mukaan versosurmakan itiöt saastuttavat taimia touko–elokuussa. Lapissa kuromaitiöiden leviämishuippu on ilmeisesti kesäkuun alussa (Antti Uotila, Helsingin yliopisto, suull.). Alueelliset sääolot ovat voineet hieman voimistaa saastunnan voimakkuudesta johtuvaa vaihtelua.

Versosurmakestävyydessä havaittu pohjoisten alkuperien eteläisiä parempi kestävyys on todettu jo aiemmin useissa tutkimuksissa (Dietrichson 1968, Björkman 1971, Uotila 1985). Nyt sama ilmiö pystyttiin osoittamaan istutuskesänä saastuneiden taimien kestävyydessä. Lämpimämmästä ilmastosta tapahtuva siemenen siirto on selvästi haitallista. Suuruusluokaltaan alkuperäsiirron vaikutus on sama Monosen (1987) esittämän 10-vuotiaisiin kokeisiin perustuvan elossaolon muutoksen kanssa, vaikka nyt saatu tulos perustuukin liian nuoreen aineistoon ollakseen lopullinen. Merkittävää on kuitenkin havainto, jonka mukaan alkuperäsiirron vaikutus on sitä suurempi, mitä ankarammissa ilmasto-oloissa ollaan.

Yksittäisten pluspuiden jälkeläistöjen välillä todettiin suuria eroja versosurmankestävyydessä. Samojen pluspuiden jälkeläistöt kuuluivat kestävimpien ja toisaalta vastaavasti taudille altteimpien joukkoon yleensä kaikissa kokeissa, joissa ne olivat mukana. Vastaavanlaisia geneettisiä eroja versosurmankestävyydessä ovat Nevalainen & Uotila (1984) osoittaneet eteläsuomalaisessa siemenviljelyksessä ja 23-vuotiaassa männyn jälkeläiskokeessa. Samoin Stephanin (1970) mukaan versosurmankestävyydessä on eroja mustamännyn (*Pinus nigra*) kloonien välillä siemenviljelyksellä.

Pluspuujälkeläistöjen kanssa likipitäen vastaavien vertailuerien samansuuruinen elossaolo oli odotusten mukainen (Nikkanen 1982). Niissä siemenviljelyksissä, joilta tämän tutkimuksen kokeissa olleet pluspuujälkeläistöt kerättiin, ei siitepölytuotanto kyseisten siementen pölyttymisaikaan ollut ylittänyt vielä kymmentä kiloa (Teijo Nikkanen, METLA, julkaisematon aineisto). Näin ollen syntyneet taimet olivat jokseenkin puhdasta pohjois-ja keskisuomalaisten mäntyjen välistä risteymää (vrt. Koski 1980). Pluspuujälkeläistöjen vastaavia vertailueriä huonompi menestyminen ilmastollisesti ankarimmissa oloissa on yhtäläinen Venäläisen (1990) siemenviljelysten kaukoristeymäsiemenen menestymistä koskevien tulosten kanssa.

Lämpösumman avulla ilmaistusta vaihtelun laajuudesta voidaan sanoa, että pluspuuyksilöiden välillä on huomattavan suurta geneettistä kestävyysvaihtelua, kuten aiemmatkin tulokset osoittavat (Nikkanen 1982, Mikola 1991). Tätä voidaan hyödyntää jalostettaessa Pohjois-Suomeen sopivaa kestävää viljelymateriaalia. Versosurmakestävyys on yhteydessä puiden ilmastollisen sopeutuneisuuden kanssa (Dietrichson 1968), joten välillisesti sitä parannetaan huomioimalla pluspuiden jälkeläistöjen elossaolo- ja kestävyyserot normaalin kokeiden mittauksen yhteydessä. Versosurma onkin merkittävimpiä bioottisia tuhonaiheuttajia männyntaimikoissa Pohjois-Suomessa (Norokorpi 1971, 1972, Heikkilä 1981). Tätä tukee havaittu vahva riippuvuus versosurmatuhon jälkeisen elossaolon ja kymmenen vuoden iällä todetun elossaolon välillä. Versosurmankestävyyden ja myöhemmän elossaolon samansuuntaisesta vaihtelusta antaa vahvistusta myös Nikkasen (1982) luettelo kestävistä ja huonoista pluspuista. Kyseisen luettelon mukaan kestäviksi osoittautuneet pluspuut P209 ja P259 olivat kestävimpiä myös versosurman suhteen, ja toisaalta elossaololtaan huono pluspuu P252 oli huono myös tämän inventoinnin mukaan.

Opetuksena metsänjalostajille voidaan pitää, että vaikka koetta kohtaisi voimakas tuho pian viljelyn jälkeen, taimien elossaolo kannattaa inventoida. On hyvin todennäköistä, että jälkeläistöjen väliset kestävyyserot ovat tulleet esille jo tässä vaiheessa. Viitteitä siitä, onko tuhojen takana ollut jokin ilmastolliseen sopeutumiseen kytkeytynyt tekijä, saadaan Mikolan (1986) esittämällä tavalla maantieteellisesti laajalta alueelta peräisin olevien metsikköerien käyttäytymisen perusteella.

Kirjallisuus

Barklund, P. 1990. Gremmeniella abietina in Sweden: historical background and symptomatology of the disease. Julkaisussa: Kurkela, T. & Siwecki, R. (toim.). Scots pine diseases. Proceedings of an international symposium. Kórnik, Poland, 16–20 May 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 360: 55 –58.

Björkman, E. 1971. Resistensprövning mot parasitsvampar hos skogsträd i Sverige. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 5: 499–510.

Dietrichson, J. 1968. Provenance and resistence to Scleroderris lagerbergii Gremmen (Crumenula abietina Lagerb.) The International Scots Pine Provenance Experiment of 1938 at Matrand. Proveniens og resistens mot Scleroderris lagerbergii Gremmen (Crumenula abietina Lagerb.) Det internationale furuproveniensforsøket av 1938 på Matrand. Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen 25(6): 395–410.

Heikkilä, R. 1981. Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa. Summary: Damage in Scots pine plantations in Northern Finland. Folia Forestalia 497. 22 s.

Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931–1960. Tables and maps of temperature in Finland during 1931–1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 65 (1a) - 1965. 8 + 42 s.

Koski, V. 1980. Minimivaatimukset männyn siemenviljelyksille Suomessa. Summary: Minimum requirements for seed orchards of Scots pine in Finland. Silva Fennica 14(2): 136–149.

Kylmänen, P. 1980. Ennakkotuloksia nuorissa männyn siemenviljelyksissä syntyvän Pohjois-Suomi x Etelä-Suomi -kaukoristeytyssiemenen käyttömahdollisuuksista. Abstract: Preliminary results concerning usability of North Finland x South Finland hybrid seed born in young Scots pine seed orchards. Folia Forestalia 423. 16 s.

Mikola, J. 1986. Reference material as an aid in interpreting progeny test results. IUFRO Conference. A Joint Meeting of Working Parties on Breeding Theory, Progeny Testing, Seed Orchards. Conference proceedings. October 13–17, 1986 Williamsburg, Virginia. s. 482–491.

— 1991. Provenance and individual variation in climatic hardiness of Scots pine in northern Finland. A paper presented in the NATO sponsored Advanced Research Workshop on "Forest Development in Cold Climates", on June 18–23, 1991. 11 s.

Mononen, S. 1987. Männynsiemenen siirrot Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 80–91.

Nevalainen, S. & Uotila, A. 1984. The susceptibility of Scots pine to Gremmeniella abietina. Växtskyddsnotiser 48(3–4): 76–80.

Nikkanen, T. 1982. Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemenen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella. Summary: Survival and height growth of North Finland x South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas. Folia Forestalia 527. 31 s.

Norokorpi, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhoista Pohjois-Suomessa. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2: 37–49.

— 1972. Pohjoisten männyn viljelytaimistojen tuhoprosessista. Metsä ja Puu 4: 13–15.

Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. Summary: Estimation of local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finish Meteorological Office. Silva Fennica 17(2): 143–160.

Pajamäki, J. & Karvinen, K. 1991. Metsänjalostuksen koeviljelysluettelo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 396. 160 s.

Rousi, M. 1983. Pohjois-Suomen siemenviljelysjälkeläistöjen menestymisestä Kittilässä. Summary: The thriving of the seed orchard progenies of northern Finland at Kittilä. Folia Forestalia 547. 14 s.

Stephan, B. R. 1970. Klonabhängiges Verhalten bei Pinus nigra Arnold gegenüber Scleroderris lagerbergii Gremmen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 141(3): 60–63.

— 1990. The current Scleroderris situation in Europe. Julkaisussa: Kurkela, T. & Siwecki, R. (toim.). Scots pine diseases. Proceedings of an international symposium. Kórnik, Poland, 16–20 May 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 360: 49–54.

Uotila, A. 1985. Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalttiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa. Summary: On effect of seed transfer on the susceptibility of Scots pine to Ascocalyx abietina in Southern and Central Finland. Folia Forestalia 639. 12 s.

— 1988. Ilmastotekijöiden vaikutus männynversosyöpätuhoihin. Summary: The effect of climatic factors on the occurence of Scleroderris canker. Folia Forestalia 721. 23 s.

Venäläinen, M. 1990. Menestyykö Kolarin ja Jämsän mäntyjen risteytymä Oulujoen rannoilla? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 361. 14 s.

Metsätuhojen tunnistaminen asiantuntija-järjestelmän avulla: tavoitteena uusi media

Hannu Saarenmaa, Jouni Väkevä & Jari Perttunen
Metsäntutkimuslaitos, Tietohallintoyksikkö
Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki

Johdanto

Metsätuhojen tunnistaminen päätoksenteko-ongelmana

Metsätuhojen tunnistaminen on jokaisen metsäammattilaisen eteen ajoittain tuleva tehtävä. Siihen liittyvää asiantuntemusta on kuitenkin vain verraten harvoilla. Tavallisimpien tuhojen tunnistaminen on helppoa, mutta luonnossa esiintyy kymmeniä harvinaisia tuhonaiheuttajia, joista kokemusta ei kerry riittävästi varmaan tunnistamiseen. Asiantuntijatkin joutuvat usein turvautumaan karkeisiin arvioihin pääteltäessä tuhojen syntymekanismeja, tulevaa kehitystä sekä merkitystä talouden ja puiden kasvun ja kehityksen kannalta. Päätöksenteko metsätuhojen torjunnasta edellyttää:

— tuhon havaitsemista tai ennustamista
— tuhon tunnistamista
— tuhon kehityksen ennakoimista
— tuhon vaikutusten arviointia
— mahdollisten toimenpiteiden sisällyttämistä työohjelmaan.

Tätä kokonaisuutta kutsutaan integroiduksi metsätuhojen hallinnaksi (integrated pest management) ja sen teoria on pitkälle kehittynyt erityisesti maataloudessa ja Pohjois-Amerikan metsätaloudessa (esim. Coulson ym. 1989, Saarenmaa 1992). Metsätuhojen torjunta Suomen metsätaloudessa on yksinkertaisempaa, koska meillä akuutit metsätuhot ovat verraten harvinaisia. Painopiste on tuhojen ennakoivalla torjunnalla. Se edellyttää verraten korkeaa koulutustasoa ja metsätuhojen torjunnan integrointia normaaliin metsien käsittelyyn ja puun hankintaan. Integrointi taas edellyttää tiedon hallinnan kehittyneisyyttä.

Metsätuhojen päätöksenteon ongelmat ovat suurelta osin tiedon kulkuun liittyviä. Tuhojen tunnistaminen on epävarmaa, koska kentällä ei ole käytettävissä vastaavaa kuva- ja kokemusperäistä aineistoa kuin mitä on asiantuntijoilla. Koulutus perustuu edelleen kursseihin ja kirjoihin niinkuin sata vuotta sitten. Maassamme ei ole toimivaa metsätuhorekisteriä, jonne tuhojen esiintymistiedot talletettaisiin, ja josta ne olisivat saatavissa. Oma lukunsa on uusi metsätuholaki, joka peri-

aatteessa edellyttää, että jokaisen metsään jäävän pinon vaarattomuus voidaan osoittaa. Puunhankinnan suunnittelussa tämä aiheuttaa lähivuosina vaikeuksia.

Teknologian mahdollisuudet metsätuhoja koskevan päätöksenteon apuna

Tietotekniikan avulla voidaan em. ongelmia poistaa. Tuhojen tunnistaminen on mahdollista asiantuntijajärjestelmän avulla. Asiantuntijajärjestelmät ovat tekoälyyn perustuvia tietokoneohjelmia, jotka sisältämänsä tietämyksen ja käyttäjältä saamansa tapauskohtaisten tietojen avulla kykenevät päättelemään ongelmiin ratkaisuja. Asiantuntijajärjestelmiä on metsätaloudessa sovellettu lähes kaikilla alueilla erityisesti Pohjois-Amerikassa (Saarenmaa 1989), mutta Pohjoismaissa vain seuraavassa esiteltävä TUHOMIES-ohjelmisto on ehtinyt käyttäjille.

Asiantuntijajärjestelmien lisäksi on olemassa muita tietotekniikan menetelmiä, joilla voidaan yrittää ratkaista ongelmia metsätuhojen tunnistamisessa ja raportoinnissa. Suuri osa tuhotapauksista on liian mutkikkaita selittää ei-asiantuntijalle sanallisesti. Tarvitaan kuvallista informaatiota ja interaktiivisuutta tuhojen oireiden kuvauksessa. Esim. Metsänterveysoppaan (1988) kuvitus auttaa ratkaisevasti tuhojen tunnistamisessa. Oppikirjoista puuttuu kuitenkin ongelmanratkaisukyky ja interaktiivisuus.

Nämä saavutetaan multimedian keinoin. Multimedia tarkoittaa kuvan, tekstin, äänen, elävän videon ja telekommunikaation yhdistämistä samaan tietoasemaan. Yhdistämällä asiantuntijajärjestelmän syvällisempi tietämys ja multimedian havainnollisuus, voidaan tavoitella uutta tasoa metsätuhoihin liittyvässä ongelmanratkaisussa.

Metsätuhojen raportointi tietokoneen ja tietoverkkojen avulla valtakunnalliseen metsätuhorekisteriin on enää pieni askel, jos tuhotapauksen muut kysymykset on jo tietokoneen avulla ratkaistu. Seuraavassa raportoimme siitä kehitystyöstä, joka on meneillään tietotekniikan hyväksikäytössä metsätuho-ongelmien ratkaisemisessa.

Sääntöpohjainen I-sukupolven asiantuntijajärjestelmä

TUHOMIEHEN rakenne ja toiminta

TUHOMIES on mikrotietokoneessa toimiva asiantuntijajärjestelmä, jonka avulla tietokoneen käyttäjä voi tunnistaa männyn biologisia tuhonaiheuttajia (Väkevä & Saarenmaa 1991, 1992). Tällä hetkellä TUHOMIEHEN tietämyskannassa on tietoa 48 eri tuhonaiheuttajasta. Ohjelmisto on kirjoitettu LISP-kieleen perustuvalla Personal Consultant Plus-sovelluskehittimellä.

Tuhomies sisältää noin 300 sääntöä (kuva 1). Koska tällainen sääntömäärä on jo vaikeasti hallittavissa, säännöt on ryhmitelty noin 20 ns. kehykseen. Kehykset edustavat diagnoosin eri vaiheita, kuten alkutietojen keruuta ja eri puunosissa havaittavia oireita (kuva 2). Kunkin kehyksen sisällä säännöt on vielä ryhmitelty tuhonaiheuttajittain ns. sääntöryhmiin.

Päättelyssä tärkeä osuus on epävarmuuden huomioon ottamisella. Jokaisen säännön NIIN-osalle on annettu ns. varmuuskerroin -100 %...100 %, missä 100 % merkitsee, että JOS-osan ehdoista seuraavat täysin varmasti NIIN-osan johtopäätokset. Varmuuskertoimet kumuloivat todisteita hypoteesien puolesta ja vastaan erityisten lääketieteellisestä diagnostiikasta peräisin olevien kombinointikaavojen avulla (Shafer 1976).

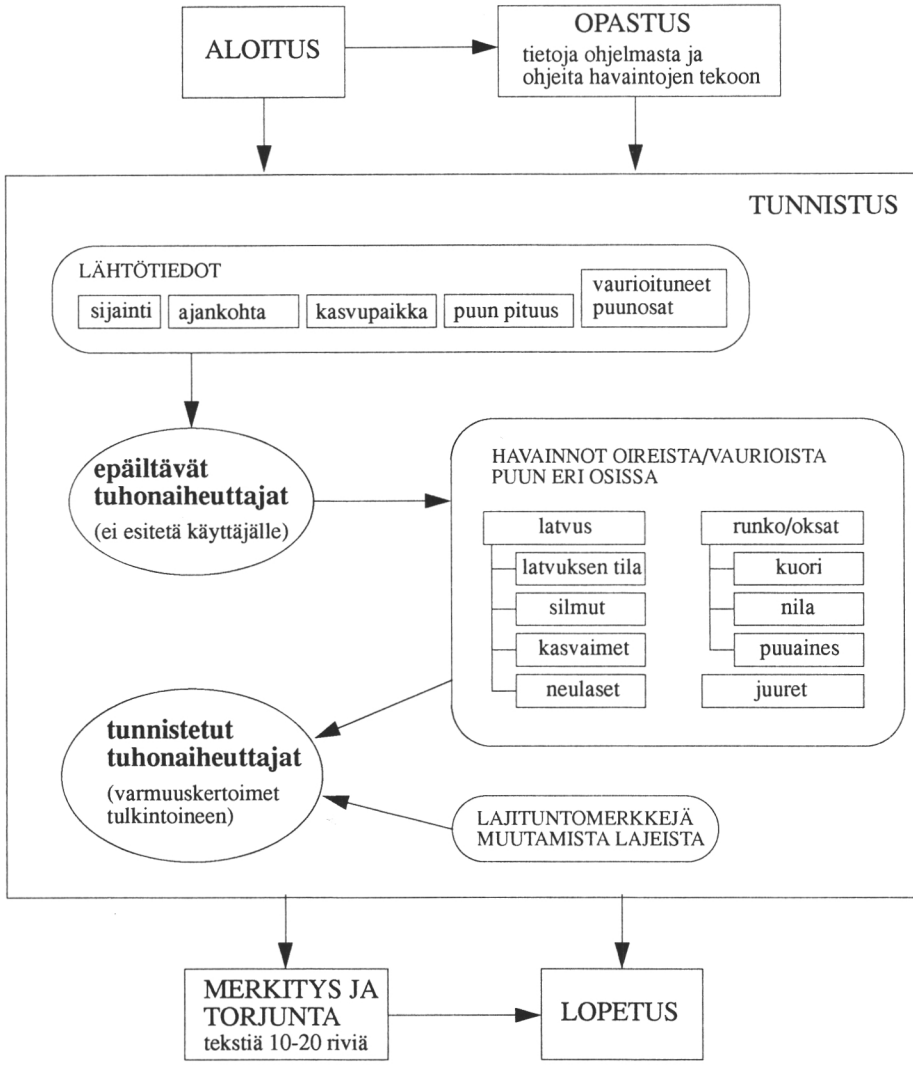
TUHOMIES keskustelee käyttäjän kanssa tietokoneen näytöllä esiintulevien valikoiden avulla. Kysymyksiä esitetään, kun päättely ei pysty etenemään ilman lisätietoja. Tyypillisessä tietokoneajossa esitetään noin 20 kysymystä. Osaa kysymyksistä on voitu havainnollistaa kuvin (kuva 3). Käyttäjä voi myös ilmaista vastaukseensa liittyvän epävarmuuden samaan tapaan kuin epävarmuutta käsitellään sääntöjen NIIN-osissa. Käyttäjän vastaukset antavat tietoa sääntöjen JOS-osiin.

SÄÄNTÖ 017
Jos 1) kasvupaikka on KUIVA KANGAS, ja
2) 1) puun ikä on alle 36 mutta suurempi tai yhtäkuin 5, tai
2) puun pituus on alle 13 m, ja
3) 1) puunosa, jossa oireita/vaurioita on NEULASET, tai
2) puunosa, jossa oireita/vaurioita on KASVAIMET, tai
3) puunosa, jossa oireita/vaurioita on RUNKO/OKSAT,
Niin on täysin varmaa (100%), että epäiltävä tuhonaiheuttaja on PUNALATIKKA.

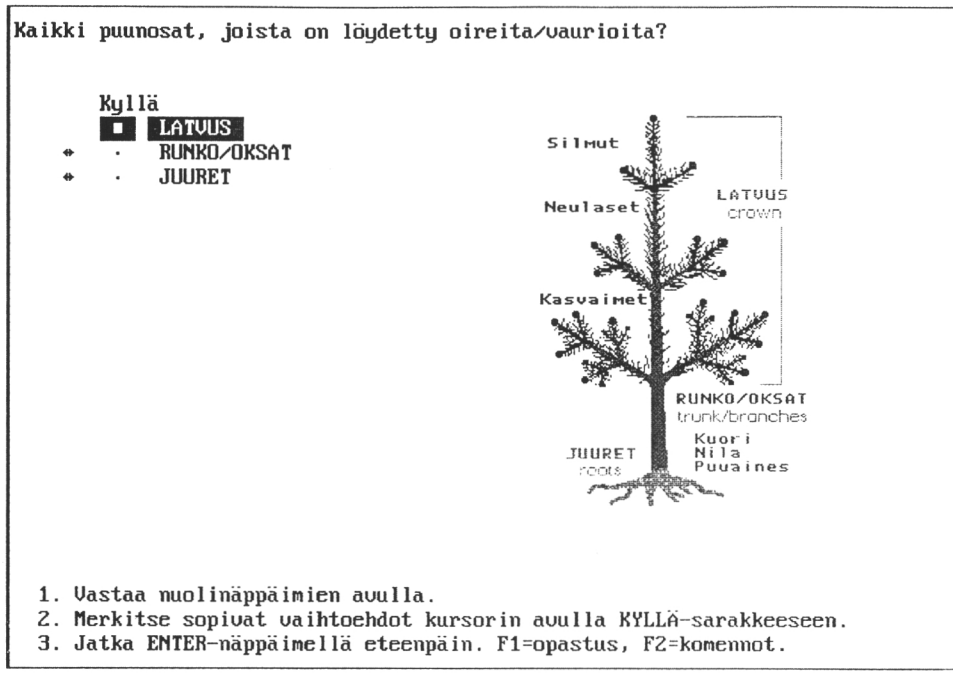
SÄÄNTÖ 019
Jos 1) epäiltävä tuhonaiheuttaja on PUNALATIKKA, ja
2) oire/vaurio neulasissa on VÄRIMUUTOKSIA, ja
3) värimuutos neulasissa on KELLERTÄVÄ,
Niin on mahdollista (25%), että tuhonaiheuttaja on PUNALATIKKA.

SÄÄNTÖ 020
Jos 1) epäiltävä tuhonaiheuttaja on PUNALATIKKA, ja
2) oire/vaurio kasvaimissa on KASVU TYREHTYNYT,
Niin on hyvinkin mahdollista (70%), että tuhonaiheuttaja on PUNALATIKKA.

Kuva 1. TUHOMIES-järjestelmä koostuu tämän kaltaisista säännöistä, joita se ketjuttaa yhteen päätellessään. Ketjutettaessa edellisen säännön NIIN-osa esiintyy seuraavan säännön JOS-osassa.



Kuva 2. Tuhon tunnistaminen tapahtuu keräämällä ensin alkutiedot ja päättelemällä niiden avulla hypoteesit mahdollisista tuhonaiheuttajista. Sen jälkeen hypoteesit testataan etsimällä niitä tukevia tai kumoavia oireita puunosittain. Lopuksi esitetään käyttäjälle informaatiota tuhonaiheuttajan merkityksestä.



Kuva 3. Kommunikointi mikrotietokoneessa toimivan TUHOMIES-järjestelmän kanssa tapahtuu tämänkaltaisten näyttöjen avulla.

TUHOMIEHEN arviointia

TUHOMIES on toimitettu kentälle noin 60 käyttäjälle. Tärkeimpinä asiakkaina ovat olleet metsäkoulut, metsälautakunnat ja metsänhoitoyhdistykset. Järjestelmän soveltuvuutta on selvitetty käyttäjille suunnatulla kyselyllä (Väkevä & Saarenmaa 1992), johon saatiin 25 vastausta.

Kysyttäessä TUHOMIEHEN onnistumista tuhojen tunnistamisessa, 36 % vastaajista arvioi ohjelman selviävän hyvin tavallisista tapauksista ja 48 % arvioi sen onnistuvan kohtalaisesti. Vastaajista 8 % kertoi TUHOMIEHEN tehneen hämmentäviä tai epätodennäköisiä päätelmiä ja 8 %:n mielestä ohjelma teki vakavia virheitä. Toisessa viiden metsätuhoasiantuntijan suorittamassa 63 tietokoneajon testissä ohjelmisto onnistui tunnistamisessa vähintään tyydyttävästi 81 % tapauksista. Loput tapauksista oli sellaisia, joihin TUHOMIES ei kyennyt antamaan mitään vastausta ja vain muutama oli täysin virheellisiä.

Kysyttäessä ohjelmiston soveltuvuutta omiin käyttötarkoituksiin, 52 % arvioi sen soveltuvan parhaiten tuhojen tunnistukseen, 28 %

arvioi parhaaksi käyttötarkoitukseksi tuhoasioiden itseopiskelun ja 28 % piti opetuskäyttöä etusijalla.

TUHOMIESTÄ piti hyvin tarpeellisena ja käyttökelpoisena vain 8 % testaajista, 69 % jossain määrin tarpeellisena ja 23 % vastasi, ettei nykyinen versio vastannut tarpeita.

Kohtalaisesta menestyksestä huolimatta TUHOMIEHESSÄ on monenlaisia ongelmia. Käyttäjän kannalta hankalin on tuhon oireiden sanallinen kuvaus, jossa joudutaan esittämään yksityiskohtaisia kysymyksiä käsittein, joiden merkitys jää usein epäselväksi. Tästä seuraa epävarmuutta diagnoosiin ja oikeassakin diagnoosissa ongelmia sen uskottavuudessa. Kuvallista informaatiota olisi lisättävä paljon. Käyttäjät ovat toivoneet myös muiden puulajien kuin männyn tuhojen mukaanottamista. Ohjelmiston koko on jo niin suuri, että se vaatii mikrotietokoneen muistin virittelyä, mikä haittaa koneen muuta käyttöä.

Kehittäjän kannalta TUHOMIEHEN laajentaminen on tullut työlääksi. Sääntömäärä on kasvanut niin suureksi, että uusien sääntöjen lisääminen aiheuttaa vaikeasti jäljitettäviä seuraamuksia ohjelman toimintaan. Hankalin ongelma on se, että yhtä tuholaista koskeva tietämys on hajallaan tietämyskannan eri kehyksissä, joten ohjelman tarkastelu ja laajentaminen on vaikeaa. TUHOMIEHEEN ei ole ollut mahdollista rakentaa puun toiminnan syy- ja seuraussuhteisiin perustuvaa päättelyä, vaan tietämys on verraten pinnallista. Kuvallisen informaation mukaanotto on hankalaa, koska Personal Consultant ei tue useita ikkunoita tietokoneen näytöllä.

Ohjelmiston kehitystyö aloitettiin vuonna 1987 ja saatiin päätökseen 1991. Sillä välin Personal Consultant -ohjelmiston kehittäminen ja tuki on loppunut valmistajan taholta. Koska projekti vuonna 1987 sovellettiin käytettävissä olleeseen mikrotietokoneteknologiaan, tuote oli projektin päättyessä vanhentunut.

Oliopohjainen II-sukupolven järjestelmä

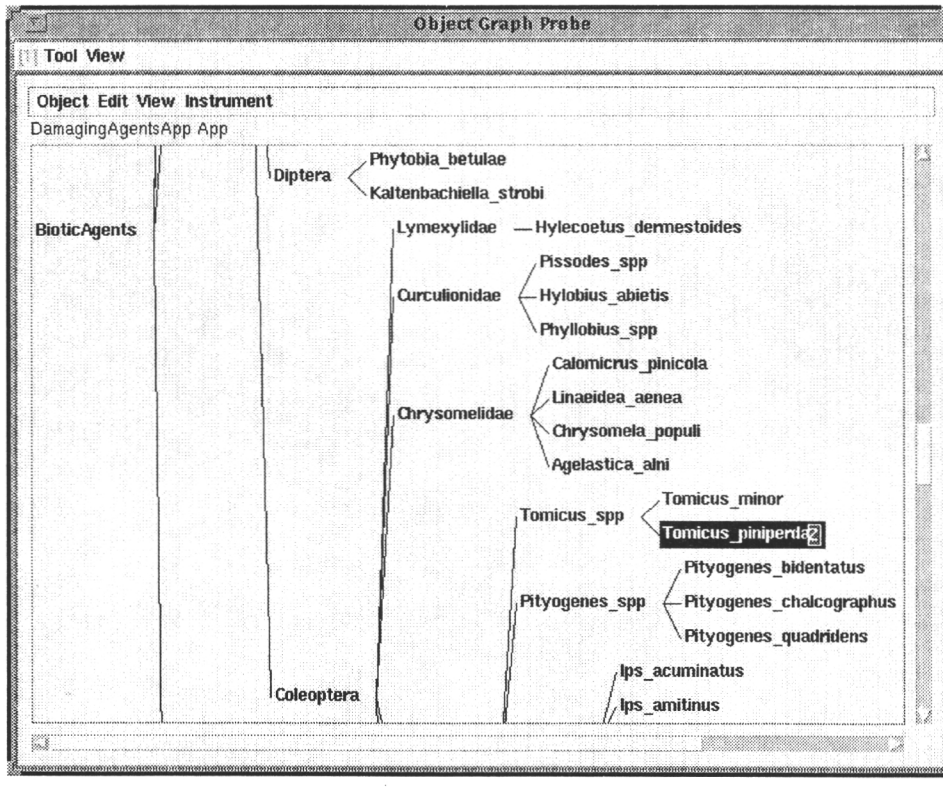
Rakenne ja toiminta

Käyttämällä sääntöjen asemesta oliopohjaista tietämyksen esittämistä useimmat TUHOMIEHEN ongelmat voidaan välttää. Oliopohjaisuus (object-orientation) merkitsee tässä yhteydessä sitä, että tietokoneohjelmaan rakennetaan tosimaailmaa kuvaava malli (esim. Päärni 1991). Siinä missä TUHOMIES sisältää päättelysääntöjä, joiden ajatellaan kuvastavan metsätuhoasiantuntijan tietämystä, oliopohjainen järjestelmä koostuu tuhohyönteisiä, sieniä ja puita kuvaavista olioista.

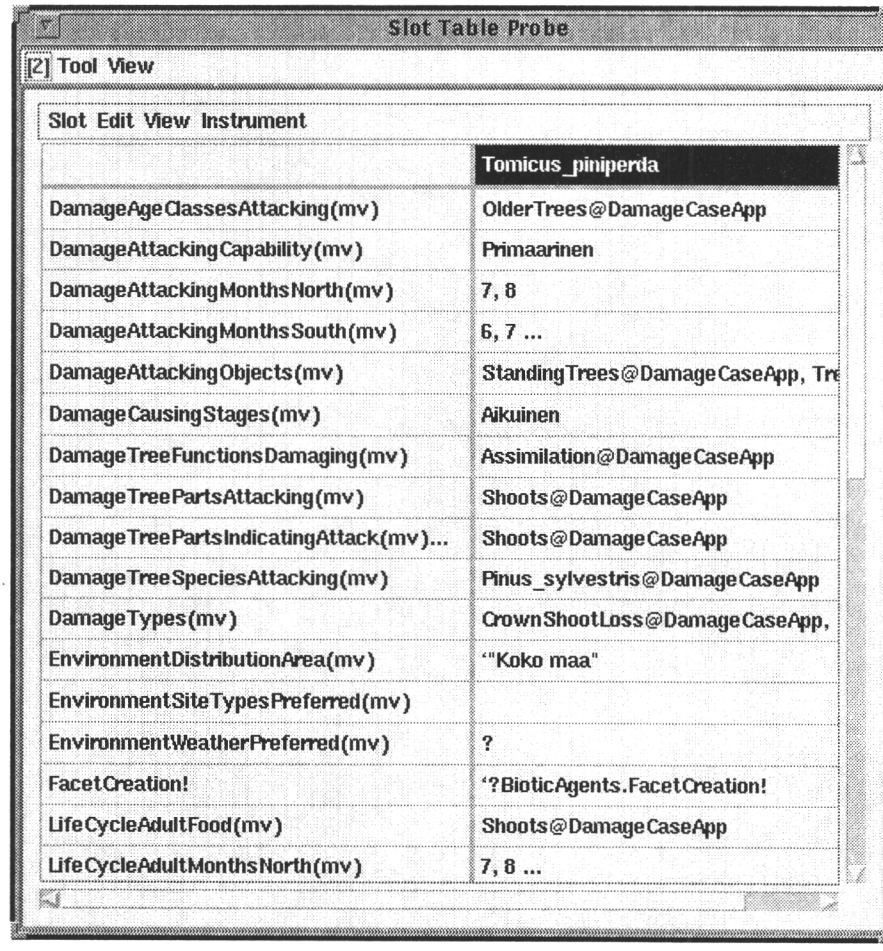
Oliot sisältävät tosimaailman vastineidensa ominaisuudet ja käyttäytymisen. Esimerkiksi ytimennävertäjäoliolla on ominaisuus "ISÄNTÄPUULAJI", jonka arvo on "MÄNTY". Oliot muodostavat hierarkioita, joissa ominaisuudet periytyvät yleisimmistä luokista erilaistuneisimpiin.

Esimerkiksi em. ominaisuus "ISÄNTÄPUULAJI" on määritelty kaikille hyönteiset-luokan jäsenille, mutta sen arvo vaihtelee luokasta toiseen. Oliot voidaan saada käyttäytymään kuten tosimaailman vastineensa sijoittamalla ohjelmakoodia tai vaikka sääntöjä niiden ominaisuuksiksi. Kun esim. ytimennävertäjaolio saa sanoman, että tuhotapauksen ajankohta on toukokuu, se asettaa sisäiseksi toimintatilansa arvoksi "PARVEILU". Oliot siis keskustelevat keskenään lähettämällä sanomia.

Rakentamassamme oliopohjaisessa järjestelmässä on tällä hetkellä 152 tuhonaiheuttajaoliota (kuva 4). Jokaisella näistä on noin 40 ominaisuutta, joilla voi olla useita arvoja (kuva 5). Myös tuhon kohteet: puut, puunosat, puutavara, tuulenkaadot, metsiköt, jne. on mallitettu olioina. Oliot voivat koostua tarpeen mukaan toisistaan. Oliot ovat jossakin määrin riippumattomia käyttötarkoituksesta ja niitä voidaan kierrättää ohjelmistoprojektista toiseen. Useat asiantuntijajärjestelmät voivat käyttää samoja olioita.



Kuva 4. Metsätuhotietämys esitetään oliohierarkioiden avulla.



Kuva 5. Metsätuholaisolioilla voi olla suuri määrä erilaisia ominaisuuksia.

Myös abstraktit käsitteet voivat olla olioita. Järjestelmässämme on näin mallitettu erilaiset suunnitelmat, tehtävät ja toiminnot. Kaiken huipuksi asiantuntijatkin ovat olioita, joita kutsutaan agenteiksi. Kun metsätuho-eksperttiagentilla on käytettävissään tuhansia tosimaailmaa vastaavia olio-ominaisuus-arvo tietoalkioita, ei tarvita satoja sääntöjä tuhojen tunnistamiseen niinkuin TUHOMIEHESSÄ. Tunnistuksen suorittavilla agenteilla on vain sääntöjä ongelman ratkaisusuunnitelmien ja tuhokohteiden yhteensovittamisesta.

Järjestelmä on laajennettavissa lisäämällä siihen vain uusia ekperttiagentteja, tehtäviä, toimintoja ja tehtävien suorittamiseen sopivia suunnitelmia. Näin voidaan rakentaa asiantuntijaorganisaation simulaattori, metsätietoasema.

Multimediaominaisuudet

Uusi järjestelmämme sisältää kuvatietokannan, jossa on jo yli tuhat digitoitua värivalokuvaa erilaisista tuhotapauksista. Kuvia voi hakea ja järjestää valikkojen ja tietokoneen hiiren avulla. Koska valokuva sisältää enemmän informaatiota kuin on tarpeen, jokaiseen kuvaan liitetään kuvan ottaneen asiantuntijan digitaalinen ääniselostus siitä, mihin kuvassa kannattaa kiinnittää huomiota. Olemme keräämässä myös digitaalista videoaineistoa tarkoituksena korvata pysähtyneitä diakuvia osin zoomauksella lähempiin tuhonoireisiin. Tuhonaiheuttajiin liitetään myös hypertekstiosuus, josta tuhonaiheuttajia koskevaa tekstiä voi selata (kuva 6).

Järjestelmään on suunnitteilla myös yhteys valtakunnalliseen metsätuhorekisteriin METLAssa. Kun tuhotapaus on tunnistettu, raportti siirtyy tietoverkkoa pitkin asiantuntijoiden tilastoihin ja tarvittaessa palautetta tulee samaa tietä.

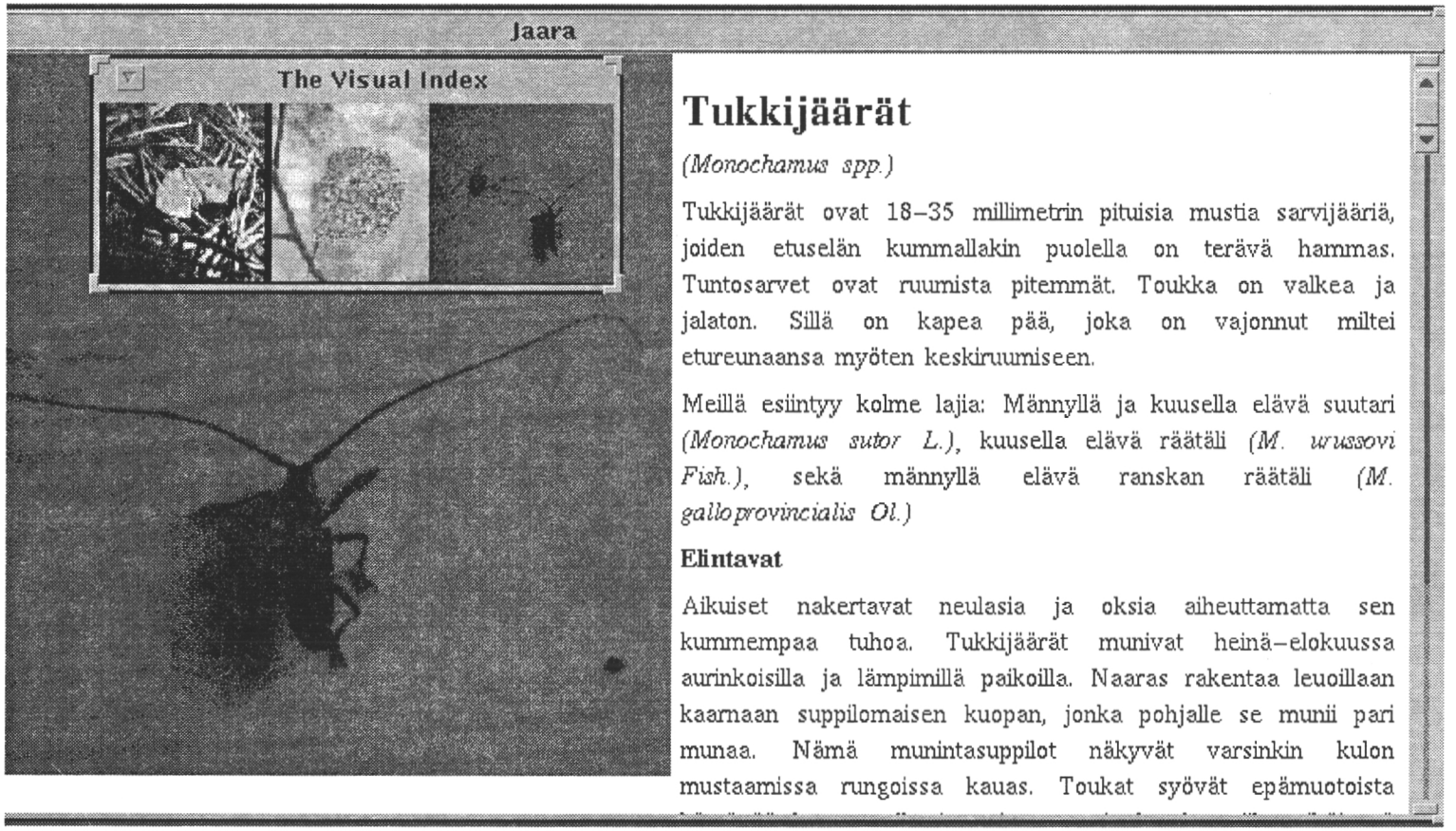
Edellä kuvattu käyttöliittymä muuttaa järjestelmän kokonaan toisenlaiseksi verrattuna yksinkertaiseen mikrossa toimivaan tuhoja tunnistavaan asiantuntijajärjestelmään. Kyseessä on uusi media, elektroninen puhelimien, kuvakirjan ja television yhdistelmä. Päinvastoin kuin vapaamuotoisessa viihdemateriaalissa, taustalla on kuitenkin tiukasti organisoitu oliotietokanta.

Toimitus käyttäjille

Järjestelmä on tällä hetkellä rakenteilla UNIX-käyttöjärjestelmän alaisuudessa Sun-työasemassa ProKappa ja MediaWrite -ohjelmien avulla. Se pyritään toimittamaan työasematietokonetta käyttäville asiakkaille CD-ROM levykkeellä jo ensi vuoden aikana. Yhdestä työasemasta sitä voi X-ikkunoinnin avulla ajaa useista mikroista. Nykyisten mikrojen kapasiteetti ei riitä järjestelmän käyttämiseen, mutta Windows NT tai jokin vastaava käyttöjärjestelmä luultavasti muuttaa tilanteen lähivuosina.

Tarkastelu

Kannattaako tällaisia järjestelmiä rakentaa? Pitäisikö tutkijan mieluummin tuottaa ns. "uutta tietoa" järjestämällä maastossa kokeita ja kirjoittamalla niistä artikkeleita tieteellisiin julkaisusarjohin? Molempia



Kuva 6. Multimediaan perustuvassa tietokoneohjelmassa on kuvia, hypertekstiä, ääntä ja videota, jotka esitetään ikkunoidun käyttöliittymän kautta.

tietysti tarvitaan, pääasia on, että metsäntutkimus tuottaa ja palvelee asiakkaitaan. Kokemus osoittaa, että tietokonesovellus on tutkimuksen lopputuotteena kysytympi kuin julkaisu, mutta saattaa vielä hävitä julkiselle esitelmälle. Opetustilanteessa interaktiivinen multimedia on jo lyömätön.

Uusi tieto on relevanttia vain, jos se liittyy olemassaolevaan jonkin rakenteen puitteissa. Käsitteiden määrittelyn lisäksi perinteisella tutkimuksella ei ole ollut välineitä rakenteiden tuottamiseen.

Olemme vasta alussa tietotekniikkasovellusten rakentamisessa. Suuri haaste on ylittää kuilu perinteisestä atk-ohjelmasta uuteen elektroniseen mediaan (esim. Sinkari 1992). Kun työasemassa on ääni, video, puhelin, maailmanlaajuinen elektroninen posti, jne., tietoa on inhimillisesti katsoen rajattomasti saatavissa. Meillä ei ole rajattomasti aikaa sen selaamiseen. Tutkijoiden on kyettävä järjestämään oman alansa tietämys yhteensopivaksi tämän median kanssa. Vanha kysymyksenasettelu, "tuottaako tutkimus jotain uutta tietoa", voidaan esittää myös "tuottaako tutkimus järjestystä tiedon maailmaan"?

Kiitokset

Kiitämme työnantajamme lisäksi Metsämiesten Säätiötä ja Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiötä, joiden rahoituksella tämä kehittämistyö on ollut mahdollista. Kiitämme myös Helsingin yliopiston metsäeläintieteen opiskelijoita, jotka ovat harjoitustöissään osallistuneet tietämyskantojen kokoamiseen sekä niitä Metsäntutkimuslaitoksen tutkijoita, jotka ovat luovuttaneet valokuviansa kuvatietokantaan.

Kirjallisuus

Coulson, R.N., Saunders, M.C., Loh, D.K., Oliveria, F.L., Drummond, D., Barry, P.J. & Swain, K.M. 1989. Knowledge systems environment for integrated pest management in forest landscapes: the southern pine beetle. Bulletin of the Entomological Society of America 34: 26–32.

Metsänterveysopas. 1988. Samerka Oy, Helsinki. 168 s.

Päärni, R. 1991. Olio-ohjelmointi. Suomen Atk-kustannus Oy, Espoo. 229 s.

Saarenmaa, H. 1989. Artificial intelligence concepts, techniques and applications for forestry. Julkaisussa: Burkhart, H.E., Rauscher, H.M & Johann, K. (toim.). Artificial Intelligence and Growth Models for Forest Management Decisions. IUFRO S6.02 Symposium, Vienna, Austria, September 18–22, 1989. Publication FWS-1-89, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg. s. 190–201.

— 1992. Integrated pest management in forests and information technology. Zeitschrift für angewandte Entomologie (painossa).

Shafer, G. 1976. A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, Princeton. 279 s.

Sinkari, J. 1992. Keinotodellisuuden vuosikymmen. Yliopisto 40(14): 22–24.

Väkevä, J. & Saarenmaa, H. 1991. Knowledge representation in the diagnosis of biotic damage on Scots pine – a rule-based expert system. Julkaisussa: Saarenmaa, H. (toim.). Current Advances in the Use of Computers in Forest Research. IUFRO S4.11-03 Workshop, Joensuu, Finland, February 14, 1991. Bulletins of the Finnish Forest Research Institute 395. 83 s.
— & Saarenmaa, H. 1992. A rule-based expert system for the diagnosis of biotic damage on Scots pine. Scandinavian Journal of Forestry (painossa).

Näkökohtia Suomen erämaatutkimuksesta

Ville Hallikainen
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

Ihmisen luontoon kohdistuvien vaikutusten lisääntyminen on eri puolilla maailmaa synnyttänyt keskustelua erämaiden merkityksestä ja säilyttämisen tarpeesta. Keskustelu alkoi Yhdysvalloissa jo viime vuosisadan puolivälin tienoilla, mutta voimistui huomattavasti toisen maailmansodan jälkeen (Eidsvik 1987, Hendee ym. 1978). Pohjoismaissa keskustelu erämaiden säilyttämisen merkityksestä on alkanut pääosin vasta 1960–1970 -luvuilla (Häyrinen 1984).

Suomalaisen erämaakeskustelun tuloksena asetettiin 1980-luvun jälkipuolella komitea pohtimaan erämaiden käyttöä. Tarkastelu kohdistui Lappiin. Komitea jätti vuonna 1988 mietintönsä, jossa esitettiin kahdentoista erämaa-alueen perustamista lailla. Laki säädettiin 1991 (Erämaalaki 1991) lähes komitean esittämässä muodossa. Komitea esitti myös erämaihin kohdistuvan tutkimuksen huomattavaa lisäämistä. Mietinnön mukaan Metsäntutkimuslaitos on eräs tärkeä tutkimuslaitos erämaatutkimuksen näkökulmasta. Komitea esitti myös monitieteisen tutkimusohjelman laatimista (Erämaakomitean mietintö 1988).

Metsäntutkimuslaitos sisällytti vuonna 1989 erämaatutkimuksen metsien monikäytön tutkimusohjelmaan aihekokonaisuutena Erämaiden merkitys ja käyttö (Kuusipalo ym. 1989). Tutkimuksen tulee ohjelman mukaan kohdistua erämaiksi luonnehdittavien alueiden ekologiseen, taloudelliseen ja yhteiskunnalliseen merkitykseen. Erämaiden käytön kannalta tulee tutkia erämaaluonnon säilyttämistä, monikäyttöä sekä luonnon kestävän hyödyntämisen ja hoidon mahdollisuuksia. Ohjelman muissakin osissa on merkittäviä näkökohtia erämaatutkimukseen. Tällaisia osia ovat erityisesti monikäytön taloustieteen, monikäytön suunnittelun ja luonnon virkistyskäytön osat.

Lapin yliopiston Arktinen keskus aloitti erämaatutkimuksen suunnittelun vuonna 1990. Keskuksen kansainvälinen tieteellinen neuvottelukunta on todennut monitieteisen, kansainvälisen erämaatutkimuksen soveltuvan hyvin keskuksen tutkimustoimintaan (International Scientific Advisory Committee 1991). Arktinen keskus palkkasi vuonna 1991 suunnittelijan laatimaan erämaatutkimusohjelmaa ja tekemään erämaatutkimusta. Keskus järjesti huhtikuussa 1991 erämaatutkimusta käsittelevän seminaarin Rovaniemellä. Seminaarin tuloksena perustettiin erämaatutkimuksen seurantaryhmä sekä alettiin laatia monitie-

teistä tutkimusohjelmaa viitoittamaan suomalaista erämaatutkimusta. Tutkimusohjelman käsikirjoitus valmistui keväällä 1992 (Hallikainen & Jokimäki 1992).

Erämaatutkimuksen tarve

Erämaatutkimuksen tarvetta tarkasteltiin edellä mainitussa tutkimusohjelmassa tutkimusta kohtaan heränneen tieteellisen mielenkiinnon ja teorianmuodostuksen sekä käytännön ongelmien valossa ekologisesta ja sosiaalisesta näkökulmasta. Sosiaalinen näkökulma sisältää tässä myös taloustieteellisen näkökulman. Lisäksi arvioitiin käytettävissä olevan tutkimustiedon kattavuutta. Erämaan käsite määriteltiin tutkimusta ja sen tarvetta tarkasteltaessa laajasti. Erämaa-termin ekstensioihin luettiin myös lakisääteisten alueiden ulkopuoliset intensioltaan erämaavaikutelmaiset alueet, jotka täyttävät tietyssä määrin ihmistoiminnasta vapaan häiriintymättömän ekosysteemin ehdot.

Ekologinen näkökulma

Suomen erämaalaissa (1991) erämaiksi nimetyt alueet sekä Perä-Pohjolan ja Lapin eräät muut suuret suojelualueet ovat laaja-alaisia ja monipuolisesti eri ekosysteemejä sisältäviä alueita ollen vielä kohtalaisen luonnontilaisia. Alueiden ekosysteemit voivat toimia melko häiriöttömästi. Alueilla tarjoutuu hyvät mahdollisuudet tutkia ekosysteemien toimintaa. Tällaisella tutkimuksella on suuri tieteellinen merkitys, mutta ekosysteemien rakenteen ja toiminnan tunteminen on tärkeää myös luonnon hoitoa ja käyttöä suunniteltaessa (Peterson 1987). Vastaavia ekosysteemejä on vielä löydettävissä myös muualta Suomesta sekä suojelualueilta että pieninä alueina myös suojelualueiden ulkopuolelta.

Viime aikoina on kiinnitetty yhä enemmän huomiota eliölajien uhanalaisuuteen. Erityisesti vanhojen metsien väheneminen on lisännyt uhanalaisten lajien määrää. On arvioitu, että noin puolet uhanalaisista eliölajeista on metsissä eläviä lajeja. Eliölajien suojelun kannalta eteläisen Suomen aarniometsät ovat erityisen merkittäviä vähäisen pinta-alansa vuoksi, samoin luonnontilaiset suot (Uhanalaisten lajien suojelutoimikunnan mietintö 1985). Uhanalaisista ja vaarantuneista nisäkkäistä ja linnuista huomattava osa asustaa Pohjois- ja Itä-Suomessa, jossa kohtalaisen häiriöttömiä ekosysteemejä on pinta-alallisesti eniten. On tärkeää selvittää sekä käytännön että teorianmuodostuksen kannalta, mitkä tekijät vaikuttavat harvinaisten lajien esiintymiseen ja miten. Tämä on tärkeää myös ekosysteemien toiminnan ymmärtämisen kannalta. Etenkin alempien eläinten, kasvien ja eräiden sienten levinneisyyden tuntemus on puutteellista, joten erämaiden lajiston tuntemus antanee uutta tietoa lajien esiintymisestä ja elinpaikkavaatimuksista.

Sosiaalinen näkökulma

Erämaista käytävässä keskustelussa on ekologisten arvojen lisäksi tarkasteltu alueiden monikäytön merkitystä sekä korostettu alueiden sosiaalisia ja kulttuurisia arvoja. Keskustelussa on erottunut eri käyttäjä- ja intressiryhmiä, joiden yhteiskunnalliset tarpeet ja ehkä arvostukset ovat hyvin erilaisia. Intressiryhmiä ovat mm. metsä- ja porotalouden, kalastuksen, marjastuksen, kullankaivuun ja taiteiden harjoittajat sekä alkuperäisen luonnon suojelijat. Keskustelussa on piirteitä, jotka määrittävät ilmiötä yhteiskunnallisena ongelmana. Tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi argumentoinnin tietynlainen rationaalisuus ja samankaltaisuus sekä arvojen ja uhkakuvien tunnistettavuus ja universaalisuus (Allard & Littunen 1979, Reunala & Heikinheimo 1987, Mills 1959, Salwasser 1990, Smyth 1990).

Sosiaalisesta näkökulmasta tarkasteltuja ulottuvuuksia ovat sosiologinen ja psykologinen (erämaiden merkitys ihmiselle), ekologinen (huoli erämaaekosysteemien kohtalosta) sekä juridinen (kenellä on oikeus käyttää erämaita ja miten) ulottuvuus. Sosiaalisesta näkökulmasta voidaan erämaatutkimusta perustella erityisesti käytännön tarpeilla. Eräs merkittävä näkökohta on myös eri puolilla maailmaa lisääntyvä luontomatkailu (Boo 1991). Erämaaviitekehyksessä tehtävä monitieteellinen tutkimus voi myös tarjota hyvän kehyksen eri tieteenalojen teorioiden soveltamiseen ja yhdistämiseen (esimerkiksi erämaakokemuksen tutkimus, Hallikainen 1992, Lyytinen 1992, Telama 1992).

Nykyinen tutkimustieto

Kysymys olemassaolevan tutkimustiedon riittävyydestä on tärkeä pohdittaessa tutkimuksen tarpeellisuutta. Tämän vuoksi Hallikainen & Jokimäki (1992) ovat Suomen erämaatutkimusohjelmassa tarkastelleet tieteenaloittain erämaaviitekehykseen sovellettavaa tutkimustietoa. Tarkastelu ei ole kattava, pikemminkin tarkoituksena oli löytää alustavia teemoja ja tutkimuksen kehityssuuntia olemassa olevasta tutkimuksesta ja koettaa tämän perusteella arvioida tutkimuksen tarvetta. Tieteenaloista tarkasteltiin biologiaa, limnologiaa, geologiaa, historiaa, kansatiedettä, arkeologiaa, sosiologiaa, sosiaali-psykologiaa, psykologiaa, taloustieteitä ja oikeustieteitä.

Yhteenvetona tutkimusohjelmassa (Hallikainen & Jokimäki 1992) todettiin:

1. Nykyinen tutkimustieto ei ole riittävä erämaiksi miellettävien alueiden hoidon ja käytön ongelmien ratkaisemiseksi. Tutkimuksen viitekehystä, erämaan käsitettä tulee tutkia. Tämä on välttämätöntä myös tutkimuksen alueellisen suuntautumisen vuoksi. Rajoittuminen lakisääteisten erämaiden tarkasteluun on yksi mahdollisuus ratkaista käsitteeseen liittyvä ongelma, mutta tällaista voimakkaasti kategorisoitua käsitteen määrittelyä voidaan myös perustellusti arvostella ainoana

erämaan määritelmänä (Getches 1987). Tämän johdosta erämaa määriteltiin tutkimusohjelmassa väljästi.

2. Suurimmat tutkimustiedon puutteet lienevät sosiaalisen ja taloustieteellisen tutkimuksen aloilla. Osittain tämä puute on selitettävissä siten, että ympäristötaloustiede ja ympäristösosiologia ovat melko uusia tieteenaloja, joiden teorioissa ja tutkimusmenetelmissä sekä teorioiden ja empiirisen tutkimuksen yhteensovittamisessa on vielä suuria puutteita (Lowe & Rudig 1986, Massa 1991, Moisseinen & Rannikko 1991, Naskali 1991). Tosin esimerkiksi erilaisia maiseman ominaisuuksia selvittävää tukimusta on melko runsaasti käytettävissä (Katila 1987). Tällaisen tutkimuksen menetelmiä voitaneen menestyksellisesti soveltaa erämaatutkimuksessa.

3. Merkittäviä puutteita on myös oikeustieteellisen tutkimuksen määrässä. Luonnon käytön oikeustieteellisiä perusteita tulisi tarkastella laajemmin.

4. Erämaiden arkeologista, historiallista ja kansatieteellistä tietoa tulee täydentää.

5. Biologisella tutkimuksella on pisimmät perinteet. Tästä huolimatta sekä perustiedoissa että erityisesti syvällisemmissä ekologisissa tiedoissa on huomattavia puutteita. Varsinkin alempien eliölajien esiintymistiedot ovat puutteellisia. Luonnon muutosten vaikutuksia eliölajien esiintymiseen ja toimeentuloon ei myöskään tunneta kovin hyvin. Monien populaatioiden muutosten syyt ovat osittain epäselviä.

6. Erämaiden käytön määrä tunnetaan ainakin virkistyskäytön osalta melko huonosti. Myytyjen lupien määrän ja autiotupien vieraskirjojen perusteella tehtyjä arvioita ja erämaan käyttäjien tekemiä satunnaisia havaintoja lukuun ottamatta ei arvioita ole tehty. Niinpä kirjallisuudessa esitetyt arviot, joita edustaa Kauhasen (1988) lakisääteisten erämaidemme käytöstä tekemä arvio, ovat suuntaa-antavia.

Tutkimustiedon puutteet on nähtävissä myös verrattaessa Suomen olosuhteisiin soveltuvaa tutkimustietoa siihen tutkimustietoon, joka on käytettävissä Yhdysvalloissa wilderness-alueiden hoidon perustana (Lucas 1987).

Erämaatutkimuksen tuottaman tiedon käyttö

Erämaatutkimuksen tarvetta voidaan siis perustella sekä tieteen teoreettisista että käytännön tarpeista käsin. Tiedeyhteisöt voivat soveltaa sekä empiiristä että tieteen teoreettisista lähtökohdista tuotettua tietoa hypoteesien ja teorioiden sekä sitä kautta uusien tutkimusongelmien hahmottamiseen ja entisten tarkentamiseen. Erämaiden hoidosta ja käytöstä vastaavat hallinnonalat hyötyvät erityisesti käytännön ongelmista käsin tuotetusta tutkimustiedosta. Tällaisia tiedon käyttäjiä ovat erityisesti maankäytön ja metsätalouden suunnittelusta vastaavat organisaatiot. Erämaaympäristön voimakkaan käytön ja ympäristön muuttamisen perustana tulisi olla runsaasti tutkimustietoa, muutoin mene-

tykset voivat ainakin pitkällä aikavälillä olla saavutettavia hyötyjä suurempia. Metsäisillä erämaista vaikutelmaa sisältävillä alueilla puuntuottaminen tulisi toteuttaa siten, että ainakin huomattava osa erämaan tunnusmerkeistä säilyy. Tämä periaate on mainittu myös metsähallituksen ohjeluonnoksessa erämaiden luonnonmukaisten metsien käsittelystä (Metsähallitus 1991). Tällainen tutkimus vastaa siis maankäyttömuotojen yhteensovittamisen ongelmaan. On huomattava, että tutkimustietoa voidaan soveltaa lakisääteisten erämaiden ulkopuolella eli talousmetsissä, joissa erämaavaikutelman ja erämaiden ekologisten piirteiden säilyttäminen koetaan tärkeäksi.

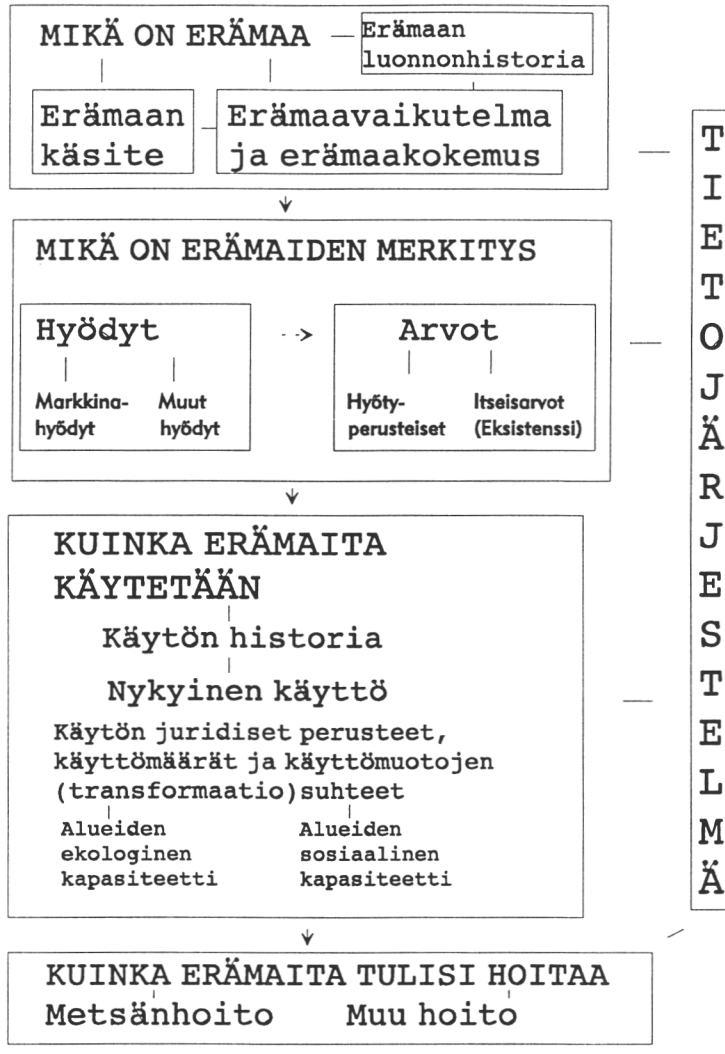
Erämaatutkimuksen ongelmat, kysymykset ja tavoitteet

Erämaatutkimuksen pääongelma on maankäytön ongelma. Pääkysymys on: Kuinka erämaiksi miellettäviä alueita tulee käyttää ja hoitaa sekä kenellä on tähän minkäkinlainen oikeus? Pääkysymykseen liittyviä ovat ainakin seuraavat:

- Mikä on erämaa?
- Mitkä tekijät luovat erämaavaikutelmaa ja edesauttavat erämaakokemusta ja millainen tämä kokemus on?
- Mikä on erämaiden merkitys ja millaisia arvoja erämaihin liittyy?
- Miten erämaita on käytetty ja miten niitä nykyään käytetään (käytön muodot, määrä)?
- Kenellä on oikeus käyttää erämaita ja millä tavoin?
- Mitkä ovat tulevaisuuden käyttövaihtoehdot ja todennäköinen käytön kehitys?
- Mitä käyttömuotoja erämaiden monikäytössä voidaan harjoittaa ja millä tehokkuudella alueen erämaaluonnetta oleellisesti muuttamatta?
- Kuinka nykyiset ja tulevaisuuden käyttömuodot suhtautuvat toisiinsa?
- Millaisiin lopputuloksiin erilaiset käyttömuotojen yhdistelmät johtavat ja mikä on edullisin käyttömuotojen yhdistelmä eri lähtökohdista tarkastellen?
- Millaiset muutokset ekologisessa ja sosiaalisessa ympäristössä tai luonnonvaroissa ovat hyväksyttäviä erämaissa?

Lisäksi on pohdittava, minkälaista perustietoa erämaista tarvitaan, jotta edellä esitettyihin kysymyksiin voidaan vastata riittävän kattavasti. Kertainventoinnit ja jatkuva seuranta tuottavat tällaista perustietoa.

Kuvassa 1 on esitetty kysymykset tiivistetysti, ryhmitellen. Kysymykset etenevät periaatteessa ylhäältä alas. Käytännössä kysymyksiä tutkitaan samanaikaisesti, mutta kehys auttaa hahmottamaan osahankkeiden asemaa kokonaisuudessa ja kytkentöjä toisiin osahankkeisiin.



Kuva 1. Suomen erämaatutkimuksen kysymyksenasettelut.

Lähtökohtana on erämaan käsitteen määritteleminen. Määrittelyyn voidaan käydä analysoimalla käsitettä ja sen kulttuuri- ja luonnonhistoriallista taustaa kirjallisuuden avulla. Sosiaalista erämaakäsitettä voidaan tutkia myös kyselytutkimusten avulla joko suoraan tai tutkimalla erämaavaikutelmaa ja sen muovaamaa erämaakokemusta. Sosiaalinen erämaan käsite ja erämaakokemus lienevät vuorovaikutuksessa keskenään. Erämaakäsitteen luonnonhistoriallisen taustan tarkastelu on perusteltua, koska tietyt luonnonolot vaikuttivat kulttuurisen erämaakäsitteen hahmottumiseen tiettyjen alueiden jäädessä syrjäisiksi "takamaiksi" (Sarmela 1989, Voionmaa 1947).

Eräs ongelma sosiaalisen erämaan käsitteen ja sitä englannin kielessä lähinnä vastaavan wilderness-käsitteen tutkimisessa on käsitteen epämääräisyys. Käsitettä voitaneen tarkastella sosiaalis-kulttuurisesti hahmottuneena mielikuvana (Hendee ym. 1978, Nash 1982, Thompson 1987, Tuan 1974). Eräs näkökulma on tarkastella erämaatermiä yksilötermin sijasta predikaattina, jonka intensiolla kuvataan erämaisuutta, jota tietyt tunnusmerkit hahmottavat. Termin ekstensio kuvaa tällöin niiden olioiden (alueiden) joukkoa, joihin nämä laadulliset ominaisuudet voidaan liittää (Niiniluoto 1984). Hallikainen (1992) on tarkastellut erämaan käsitettä kirjallisuuden perusteella. Työtä on kuitenkin vielä laajennettava ja monipuolistettava.

Erämaiden merkitystä voidaan selvittää tutkimalla erämaan tuottamia hyötyjä. Nämä voidaan jakaa markkina- ja ei-markkinahyötyihin. Jotkut hyödyt voivat kuulua kumpaankin ryhmään, esim. luonnonsuojeluhyödyt. Arvot voitaneen jaotella hyötyjen tuottamiin arvoihin sekä arvoihin, joille ei löydy ainakaan välitöntä hyötyperustaa. Näitä voidaan kutsua itseisarvoiksi tai eksistenssiarvoiksi (olemassaoloarvoiksi). Eksistenssiarvon käsite on monitahoinen (Naskali 1991). Eksistenssiarvon tutkimuksessa ympäristöetiikan tutkimusala on tärkeä. Ympäristöetiikka on keskeinen osa luonnonkäytön ja -suojelun filosofiaa (Vilkka 1991). Eksistenssiarvoista esimerkkeinä mainittakoon erämaiden biologiset ja kulttuuriarvot, vaikka näissä arvoissa voidaan nähdä myös käyttöarvon piirteitä tietyissä tilanteissa.

Erämaiden käytön historian selvittäminen liittyy läheisesti erämaan käsitteen tutkimiseen. Historian tunteminen on myös nykyisen tilanteen ymmärtämisen perusta. Se on tärkeää myös pohdittaessa erämaiden hoitoa ja käyttöä tulevaisuudessa sekä käytön juridisia perusteita.

Nykyisestä tilanteesta on tunnettava käytön määrä käyttömuodoittain sekä näiden suhteet. Käyttömuotojen suhteita voidaan tarkastella laadullisesti ja määrällisesti. Viimeksimainittu tarkastelu edellyttää matemaattisten mallien laadintaa. Erämaa-alueiden kapasiteetin (ekologinen ja sosiaalinen kapasiteetti) määrittäminen edellyttää käytön suhteiden ja käytön määrien tuntemista. Kapasiteettitarkastelussa etsitään maksimikäytön rajoja käyttömuodoittain ottaen huomioon kokonaisvaikutus (myös mahdollinen synergia).

Vasta kun edellä esitetyt ongelmat on riittävän kattavasti ratkaistu, voidaan ratkaista erämaiden optimaalisen hoidon ja käytön ongelmat. Tärkeimpiä näistä ovat erityisesti voimakkaasti ympäristöä muuttavat toimenpiteet, kuten voimakkaat hakkuut ja rakentaminen, mutta myös virkistyskäytön ohjaamiseen on paneuduttava. On huomattava, että hoidolla tarkoitetaan tässä myös pidättäytymistä luontoa muuttavista toimenpiteistä. Mikäli tavoitteena on erämaiden ja erämaan luonteisten alueiden säilyttäminen, voidaan kuvan 1 alimpana oleva kysymys muotoilla "Kuinka erämaat säilytetään?". Säilyttäminen tarkoittaa erämaamaiseman säilyttämisen lisäksi alueiden biodiversiteetin säilyttämistä. Tämä tarkoittaa kaikkien erämaissa elävien eliöryhmien säilyttämistä

ottaen huomioon erämaihin suoraan kohdistuvien toimenpiteiden vaikutusten lisäksi erämaihin epäsuoraan kohdistuvat vaikutukset esim. ilmansaasteet.

Tutkimus sekä alueiden hoidon ja käytön suunnittelu tarvitsevat tuekseen hyvän tietojärjestelmän tarkasteltavilta alueilta. Tietojärjestelmällä tarkoitetaan tässä inventointi- ja seurantatiedoista koostuvaa järjestettyjen tietojen joukkoa, jonka tulee olla mahdollisimman helposti ja esteettömästi tutkijoiden sekä alueiden hoidon ja käytön suunnittelijoiden käytettävissä. Luonnontieteellisen tiedon lisäksi tietojärjestelmään tulee sisällyttää myös alueiden käyttötietoja. Järjestelmään sijoitetaan ensisijaisesti lakisääteisten erämaiden tiedot.

Erämaatutkimus rakentuu siis Lucasia (1987) lainaten "in wilderness" (erämaassa tehtävästä) ja "about wilderness" (erämaita käsittelevästä) tutkimuksesta. Edellä esitetty tutkimuksen rakenne noudattelee keskeisiltä osin Yhdysvaltojen erämaatutkimuksen rakennetta (Lucas 1987). Yhdysvalloissa ko. tutkimusta on tehty jo muutaman kymmenen vuoden ajan painopisteen ollessa siirtymässä yhä enemmän sosiaaliseen tutkimukseen ja (matemaattisten) mallien laadintaan.

Keskeisiä tieteenaloja, joiden menetelmiä ja teorioita erämaatutkimukseen sovelletaan, ovat:

— biologia (erityisesti eliömaantiede ja ekologia)
— geologia (erityisesti ympäristögeologia)
— metsätieteet (erityisesti metsänhoitotiede ja metsätalouden suunnittelu sekä kansantaloudellinen metsäekonomia)
— maantiede (erityisesti alue-, suunnittelu- ja kulttuurimaantiede)
— kulttuurintutkimus (kulttuurihistoria, antropologia ja arkeologia)
— psykologia ja sosiologia (erityisesti ympäristöpsykologia ja sosiologia)
— taloustiede (erityisesti ympäristötaloustiede)
— oikeustiede (erityisesti ympäristöoikeustiede).

Erämaatutkimuksen tavoitteet

Edellä esitetyn perusteella erämaatutkimuksen tavoitteet muotoillaan seuraavasti:

Päätavoite on tuottaa monitieteisiä tutkimustuloksia lakisääteisten erämaiden ja muiden erämaiksi miellettävien alueiden hallinnon, hoidon ja käytön perustaksi sekä teoreettisen ja käytännön erämaatuntemuksen lisäämiseksi.

Osatavoitteena on

— selvittää erämaan käsitettä sekä erämaakokemusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä

— selvittää erämaan tuottamia hyötyjä ja niiden muodostamia arvoja sekä erämaahan liittyviä eksistenssiarvoja
— selvittää erämaiden käytön historiaa, käytön juridisia perusteita sekä nykyistä käyttöä ja käyttömuotojen suhteita
— määrittää erämaiden ekologista ja sosiaalista kapasiteettia
— selvittää erämaiden eliölajistoa, sen ekologisia riippuvuuksia ja säilyttämismahdollisuuksia
— selvittää metsänhoitomenetelmien ja metsäalueiden hoitoperiaatteiden soveltuvuutta erämaihin
— luoda lakisääteisiin erämaihin liittyvä, tutkimusta sekä alueiden hoitoa ja käyttöä palveleva tietojärjestelmä päivitysmenetelmineen yhteistyössä muiden tietojärjestelmähankkeiden kanssa, kehittää eri tieteenalojen ja tutkimuslaitosten välistä yhteistyötä kansallisesti ja kansainvälisesti sekä helpottaa yhteistyön organisoitumista
— kehittää eri tieteenalojen teorianmuodostusta empiirisen tutkimuksen kanssa erämaaviitekehyksessä.

Suomen erämaatutkimusohjelman kattavuus

Suomen erämaatutkimusohjelmassa on mukana 15 organisaatiota. Tutkimusaiheita on 27, mutta ohjelmaan voidaan tarvittaessa sisällyttää lisää aiheita tutkimuksen edetessä. Aiheet jäsentyvät kuvan 1 kysymyksiin kattaen ne melko hyvin. Osa tutkimusaiheista etsii vastausta useampaan kysymykseen. Myös puutteita on havaittavissa, esimerkiksi erämaiden ekologisen kapasiteetin ja erämaihin kohdistuvan ympäristöoikeudellisen tutkimuksen tulisi olla huomattavasti laajempaa ja monipuolisempaa. Eräitä puutteita jää, vaikka tarkastellaan myös erämaatutkimusohjelman ulkopuolella tehtävää tutkimusta.

Metsäntutkimuslaitoksen tehtävät erämaatutkimuksessa

Metsäntutkimuslaitos on ollut merkittävä organisaatio erämaatutkimusohjelman laadinnassa yhdessä Lapin yliopiston Arktisen keskuksen kanssa. On korostettava, että yhteistyö kaikkien erämaatutkimukseen osallistuvien organisaatioiden välillä on ollut joustavaa ja monipuolista. Tämä on edistänyt ohjelman valmistumista. Metsäntutkimuslaitoksella on tutkimusohjelmassa seitsemän tutkimusta. Osa näistä toteutetaan yhteistyössä Lapin yliopiston Arktisen keskuksen, vesi- ja ympäristöhallituksen, metsähallituksen sekä Oulun ja Joensuun yliopistojen kanssa. Metsäntutkimuslaitoksessa useimpien tutkimusaiheiden suunnitteluun on osallistunut vapaaehtoisesti organisoitunut tutkijaryhmä. Pääpaino Metsäntutkimuslaitoksen erämaatutkimuksessa on ainakin alkuvaiheessa sosiaalisella ja taloudellisella tutkimuksella. Luontomatkailu on eräs tärkeä yhdistävä kehys monissa aiheissa. Mukana on myös

metsäekologinen tutkimusaihe. Muut Metsäntutkimuslaitoksen hankkeet ovat vaikuttaneet tutkimusaiheiden valintaan. Niinpä esimerkiksi poronhoitoa ja metsien uudistumista selvittäviä aiheita ei sisälly Metsäntutkimuslaitoksen erämaatutkimukseen. On korostettava, että vaikka useimpien tutkimusaiheiden näkökulma on sosiaalis-taloudellinen, metsien hoidon ja käytön menetelmät ja metsäalueiden hoitoperiaatteet korostuvat tutkimuksissa ainakin välillisesti. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusaiheiden parissa työskentelevät henkilöt käyvät ilmi Suomen erämaatutkimusohjelmasta (Hallikainen & Jokimäki 1992).

Tutkimusaiheet ovat:

— erämaan käsite, erämaavaikutelman kokemisen metsälliset edellytykset
— erämaiden taloudellinen arvottaminen
— erämaaluonto matkailun sekä virkistys- ja vapaa-ajan ympäristönä ja näyttämönä
— erämatkailutuotteet ja niiden tuotanto Suomessa
— erämaiden sosiaalisen kapasiteetin käsite ja tapaustutkimus erään erämaa-alueen sosiaalisesta kapasiteetista
— metsänrajaseutujen luonnontilaisten havupuuvaltaisten metsien rakennetyypit ja rakenne
— erämaatietokanta.

Kirjallisuus

Allard, E. & Littunen, Y. 1979. Sosiologia. WSOY, Porvoo. 510 s.

Boo, E. 1991. Ecoturism: The potentials and pitfalls. Volume 1. 2. painos. World Wildlife Fund with the support of the U.S. Agency for International Development, Lancaster. 72 s.

Eidsvik, H.K. 1987. Wilderness policy: An international percpective. Proceedings of the National wilderness research conference: Issues, state-of knowledge, future directions. Fort Collins, CO, July 23–26, 1985. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-220: 54–58.

Erämaakomitean mietintö 1988. Komiteanmietintö 1988:39. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 238 s.

Erämaalaki 1991. Suomen säädöskokoelma, laki n:o 62: 129–143.

Getches, D.H. 1987. Wilderness values and challenges: A Colorado percpective. Proceedings of the National wilderness research conference: Issues, state-of-knowledge, future directions. Fort Collins, CO, July 23–26, 1985. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-220: 5–8.

Hallikainen, V. 1992. Näkökohtia erämaan käsitteestä ja erämaakokemuksesta. Summary: Some aspects about wilderness concept and wilderness experience. Arktisen keskuksen tiedotteita 6. Arctic Centre Reports 6. (painossa).

— & Jokimäki, J. 1992. Suomen erämaatutkimusohjelma 1993–1996. Käsikirjoitus.

Hendee, J., Stankey, G. & Lucas, R. 1978. Wilderness management. USDA Forest Service, Miscellaneous Publication No. 1365. Washington. 381 s.

Häyrinen, U. 1984. Luonnonsuojelualueet ja luonnonmuistomerkit. Julkaisussa: Häyrinen, U. & Ruuhijärvi, R. (toim.). Ympäristönsuojelu 2. Luonnonsuojelu ja luonnonvarat. Kirjayhtymä, Tampere. s. 141–206.

International Scientific Advisory Committee 1991. Second annual report, Arctic Centre, University of Lapland, Rovaniemi, December 1991. Moniste. 13 s.

Katila, P. 1987. Virkistysalueisiin kohdistuvat odotukset. Referat: Värderingar angående rekreationsområden. Ympäristöministeriö, ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisuja, sarja A. 60. 94 s.

Kauhanen, H. 1988. Erämaa-alueiden luontaiselinkeinot ja monikäyttö. Julkaisussa: Erämaakomitean mietintö. Komiteanmietintö 1988:39. s. 172–184.

Kuusipalo, J., Reunala, A., Salo, K. & Sepponen, P. 1989. Metsien monikäytön tutkimusohjelma. Kokonaissuunnitelma 1990–1994. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 47 s.

Lowe, P. & Rudig, W. 1986. Political ecology and the social sciences. The state of art. British journal of political science 16: 223–260.

Lucas, R.C. 1987. Perspectives on the history of wilderness research. Proceedings of the National wilderness research conference: Issues, state-of-knowledge, future directions. Fort Collins, CO, July 23–26. USDA Forest Service, General Technical Report INT-220: 15–28.

Lyytinen, T. 1992. Erävaeltajien suhde luontoon. Julkaisussa: Lyytinen, T. & Vuolle, P. (toim.). Ihminen, luonto, liikunta. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 81: 47–60.

Massa, I. 1991. Suunnistus ympäristösosiologiaan. Julkaisussa: Massa, I. & Sairinen, R. (toim.). Ympäristökysymys – ympäristöuhkien haaste yhteiskunnalle. Gaudeamus, Painokari Oy, Helsinki. s. 66–92.

Metsähallitus 1991. Ohje erämaa-alueiden luonnonmukaisesti hoidettavien metsien käsittelystä, luonnos. Moniste. 17 s.

Mills, C.W. 1959. The sosiological imagination. Suomentaneet: Karisto, A., Konttinen, E., Takala, P. & Uusitalo, H. 1982. Sosiologinen mielikuvitus. Gaudeamus Oy, Helsinki. 230 s.

Moisseinen, E. & Rannikko, P. 1991. Yhteiskuntatieteellisen ympäristötutkimuksen mahdollisuuksia. Julkaisussa: Hakamies, P., Jääskeläinen, V. & Savijärvi, I. (toim.). Saimaalta Kolille. Karjalan tutkimuslaitoksen 20-vuotiskirja, Karjalan tutkimuslaitos 1970–1991. Karjalan tutkimuslaitos, Joensuu. s. 153–168.

Nash, R. 1982. Wilderness and the American mind. 3. painos. Yale University Press, Binghampton. 425 s.

Naskali, A. 1991. The consept of existence value and wilderness preservation. Paper for the Biennal Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics, April 10–13, 1991, Gausdal, Norway. Moniste. 24 s.

Niiniluoto, I. 1984. Johdatus tieteenfilosofiaan. 2. painos. Otava, Keuruu. 314 s.

Peterson, R.M. 1987. Wilderness research: An important link to wilderness management. Proceedings of the National wilderness research conference: Issues, state-of-knowledge, future directions. Fort Collins, CO, July 23–26, 1985. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-220: 37–38.

Reunala, A. & Heikinheimo, M. 1987. Taistelu metsistä. Voimaperäinen metsätalous Suomessa ja muissa maissa. Kirjayhtymä. Helsinki. 188 s.

Salwasser, H. 1990. Gaining perspective: Forestry for the future. Journal of Forestry 88(11): 32–38.

Sarmela, M. 1989. Rakennemuutos tulevaisuuteen. WSOY, Juva. 282 s.

Smyth, A.V. 1990. Renewing the conservation ethic. Exciting times then and now. Journal of Forestry 88(11): 29–31.

Telama, R. 1992. Luontoliikunnan motivaatio: Luonto liikunnanharrastajan havainto-, elämys- ja kokemusmaailmana. Julkaisussa: Lyytinen, T. & Vuolle, P. (toim.). Ihminen, luonto, liikunta. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 81: 61–77.

Thompson, F.A. 1987. Wilderness as living history – to be or not to be. Paper pressed to 1987 World Wilderness Congress, Estate Park, Colorado. 3. USDA Forest Service. Moniste. 10 s.
Tuan, Y.-F. 1974. Topofilia; A study of environmental perception. Prentice Hall, Englewood Cliffs. N. J. 260 s.
Uhanalaisten lajien suojelutoimikunnan mietintö 1985. Osat 1–3. Komiteanmietintö 1985:43. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 111+466+431 s.
Vilkka, L. 1991. Luonnonsuojelun filosofiaa. Moniste. 4 s.
Voionmaa, V. 1947. Hämäläinen eräkausi. WSOY, Helsinki. 537 s.

Pallas-Ounastunturin kansallispuiston numeerinen kasvillisuuskartta

Heikki Eeronheimo[1] & Anna-Liisa Sippola[2]
[1] Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi
[2]Lapin yliopisto, Arktinen keskus
PL 122, 96101 Rovaniemi

Johdanto

Luonnonsuojelualueiden peruskartoitusten tavoitteena on hankkia tietoa alueen eliöstöstä, fyysisestä ympäristöstä, käytöstä ja kulttuuriperinteestä. Eliöstön perusselvityksiin kuuluvat eläin- ja kasvilajiston esiintymistiedot, elinpaikkojen l. habitaattien kartoitus, uhanalaisten lajien kartoitukset jne. (Sippola 1989). Fyysinen ympäristö käsittää tietoja mm. alueen ilmastosta, maa- ja kallioperästä sekä vesistöistä. Ihmisen muovaaman kulttuuriympäristön ja siihen liittyvien kulttuurikohteiden lisäksi suojelualueilta on tarpeen kartoittaa myös maisemalliset arvot. Kaikkia näitä tietoja tarvitaan alueiden tarkoituksenmukaisen hoidon, käytön, opastuksen ja tutkimuksen tarpeisiin. Esimerkkeinä voidaan mainita mm. retkeilyreittien suunnittelu, uhanalaisen lajin tai harvinaisen habitaatin suojelun vaatimat erikoistoimenpiteet (esim. lehtojen raivaus) ja kulttuurikohteiden entisöinti.

Kasvillisuuden kartoitus on yleensä ensimmäisiä luonnonsuojelualueiden perusselvityksistä, sillä kasvillisuus kertoo varsin paljon mm. paikan ravinne- ja vesitaloudesta, kallio- ja maaperän laadusta, pienilmastosta, eläinlajistosta ja maisemallisista tekijöistä. Yksityiskohtainen kasvillisuuskartta yhdessä maaperä- ja topografikartan kanssa antaa tietoa esim. alueen kulumisherkkyydestä ja kasvupaikkatekijöistä.

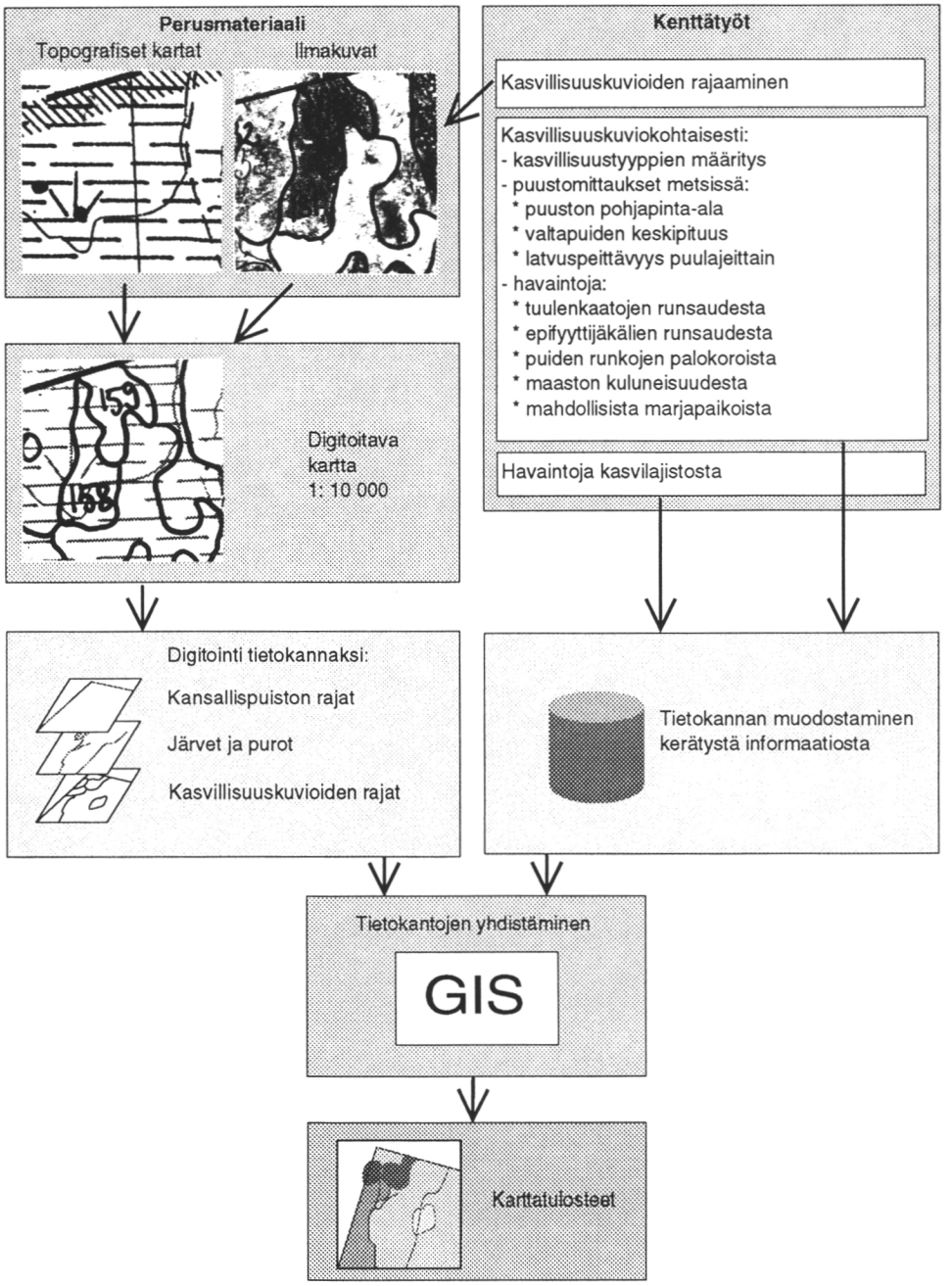
Tietotekniikan kehittymisen myötä on tullut mahdolliseksi tuottaa numeerisia karttoja. Tällöin karttainformaatio tallennetaan numeerisiin tiedostoihin, joista tieto voidaan haluttaessa tulostaa paperille perinteisiksi kartoiksi. Numeerisen kartan hyötynä painettuihin karttoihin verrattuna on mm. tietojen joustava ylläpito ja muokkaus. Karttaohjelmistojen avulla voidaan verrata erilaisia esitystapoja keskenään ja valita paras vaihtoehto halutun asian ilmaisemiseksi. Tiedostoista voidaan myös valita halutut ominaisuudet, jolloin kuhunkin tarkoitukseen voidaan tulostaa siihen parhaiten soveltuva kartta. Numeerinen karttaaineisto voidaan siirtää kehittyneempiin karttatiedon hallintajärjestelmiin eli paikkatietojärjestelmiin, jolloin erilaisten kartta-aineistojen käyttökelpoisuus paranee entisestään. Numeeristen aineistojen käyttöön liittyy kuitenkin myös eräitä huonoja puolia (van der Zee & Huizing

1988). Esimerkiksi aineistojen tallennus vie runsaasti aikaa. Laitteistojen ja ohjelmien hankinta vaatii usein suuria sijoituksia ja niiden käyttö asiantuntevaa henkilöstöä. Erilaisten ohjelmistojen vuoksi tietojen siirrettävyys laitteistosta ja ohjelmasta toiseen voi olla hankalaa. Kuitenkin numeeristen karttojen suurempi käyttöarvo puoltaa myös kasvillisuuskarttojen tekemistä numeerisena.

Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoitus

Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoitushankkeen tavoitteena on tuottaa tietoa kansallispuiston kasvillisuustyypeistä, niiden määrästä ja alueellisesta sijoittumisesta puiston hoidon, käytön, opastuksen ja tutkimuksen tarpeisiin. Tulokset tallennetaan numeeriseen karttatietokantaan ja siihen liittyvään kasvillisuustietokantaan. Kartoitus aloitettiin vuonna 1987 ja maastotyöt saatiin loppuun vuoden 1992 kesällä. Kartoituksen valmistuttua koossa on tietokanta, johon on tallennettuna noin 4 000 kasvillisuuskuvion tiedot noin 510 km^2 alalta.

Kuvassa 1 on esitetty kaavakuva kasvillisuuskartoituksen työvaiheista. Kartoituksessa käytettiin apuna mustavalkoisia oikaistuja ilmakuvia (1:10 000), joille kasvillisuuskuviot rajattiin ja numeroitiin. Kuvioiden rajausperusteena käytettiin kasvillisuustyyppiä, jolloin esim. puustolle ei asetettu kovin suurta painoarvoa. Kuvion koon alarajana pidettiin 0,5 hehtaaria. Kultakin kasvillisuuskuviolta täytettiin kuviolomake. Kuvion vallitseva kasvillisuustyyppi ja mahdolliset pienempialaiset lisätyypit määritettiin maastossa. Havumetsävyöhykkeessä metsätyypit määritettiin Kalelan (1961) mukaan ja lehdot Kaakisen (1982) mukaan, tunturikoivikoissa käytettiin Hämet-Ahdin (1963) ja Eurolan & Virtasen (1989, 1991) mukaista kasvillisuuden tyypittelyä. Tunturipaljakan kasvillisuus tyypiteltiin Eurolan & Virtasen (1989, 1991) mukaan sekä suot Eurolan & Kaakisen (1978) mukaan. Kasvillisuustyyppien määrityksen ohella metsäkuviolta mitattiin yhdestä, arviolta kuvion keskimääräistä puustoa edustavasta pisteestä valtapuiden keskipituus ja puuston pohjapinta-ala sekä arvioitiin latvuspeittävyys kunkin puulajin osalta. Lisäksi merkittiin, oliko puusto tasa- vai eri-ikäistä. Kaikilta kuvioilta arvioitiin maaston kuluneisuus. Lisäksi kuvioilta kirjattiin eräitä myöhempiä tutkimuksia helpottavia tunnuksia kuten havainnot palokorojen esiintymisestä ja mahdollisista marjapaikoista sekä tuulenkaatojen ja naavamaisten ja lehtimäisten epifyyttijäkälien runsausluokka-arviot. Muista havainnoista tehtiin sanallisia muistiinpanoja. Lisäksi muutamilta kuvioilta tehtiin erillinen lista kasvilajistosta. Maastokauden päätyttyä kuviorajat piirrettiin puhtaaksi rekisterikartan (1:10 000) muovikopioille. Suurten korkeuserojen vuoksi ilmakuvien ja rekisterikartan yhteensovittaminen oli varsinkin tunturialueilla hankalaa. Kuviot numeroitiin puhtaaksipiirtovaiheessa maastonumeroilla (sama kuin ilmakuvilla).



Kuva 1. Kaavakuva Pallas-Ounastunturin kansallispuiston kasvillisuuskartoituksen työvaiheista. (Topografinen kartta ja ilmakuva ©Topografikunta, lupa Nro 30/92 ja digitoitavan kartan pohjakartta ©Maanmittaushallinto, lupa Nro 92/La/6).

Kasvillisuusaineiston tallennus ja käsittely

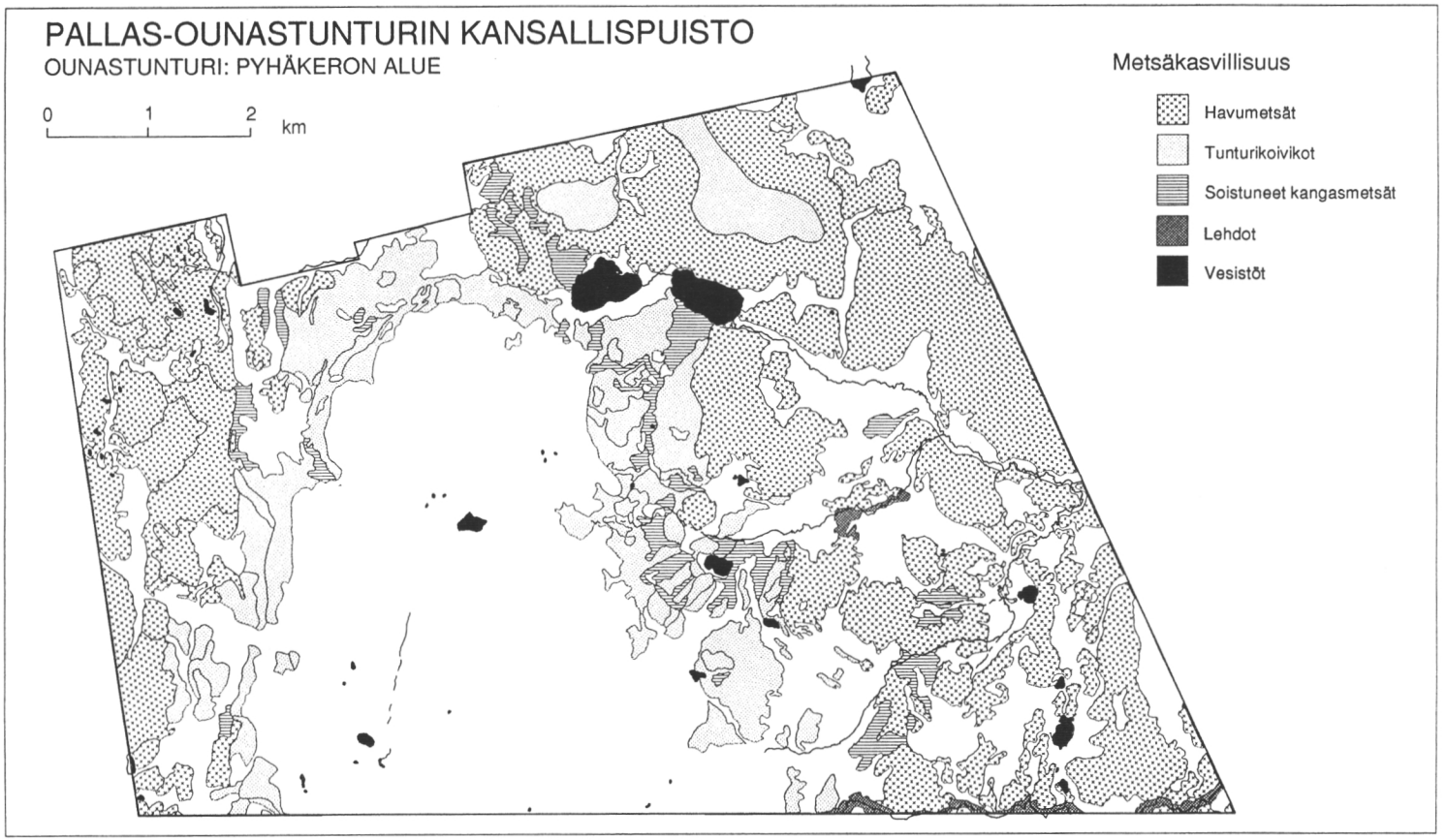
Vuoden 1992 kevääseen saakka karttatiedon tallennukseen ja karttojen tuottamiseen käytettiin Sunin UNIX-työasemalle (3/60) tehtyä versiota Nalle-metsäkarttaohjelmistosta. Muu laitteisto koostui digitointipöydästä, piirturista ja laserkirjoittimesta. Alueen laajuuden vuoksi puiston kasvillisuuskartta jaettiin viiteen osaan (karttalehteen). Pohjakartalle digitoitiin rekisterikartoilta kansallispuiston rajat sekä vesistöt. Kasvillisuuskuvioiden rajat digitoitiin puhtaaksipiirtoon käytetyiltä rekisterikartoilta. Kuviot numeroitiin uudelleen vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas (kuvionumerot) kuvioiden paikallistamisen helpottamiseksi.

Lomakkeiden tiedot tallennettiin ASCII-tiedostoksi, joka muunnettiin Nalle-metsäkarttaohjelmistolle sopivaksi kuviotiedostoksi. Kuviotiedostoa ja karttaohjelmistoa hyväksikäyttäen tuotettiin erilaisia teemakarttoja ja laskettiin kuvioiden pinta-alat. Lisäksi kuviotiedostosta laskettiin tunnuslukuja mitatuille ja arvioiduille tunnuksille.

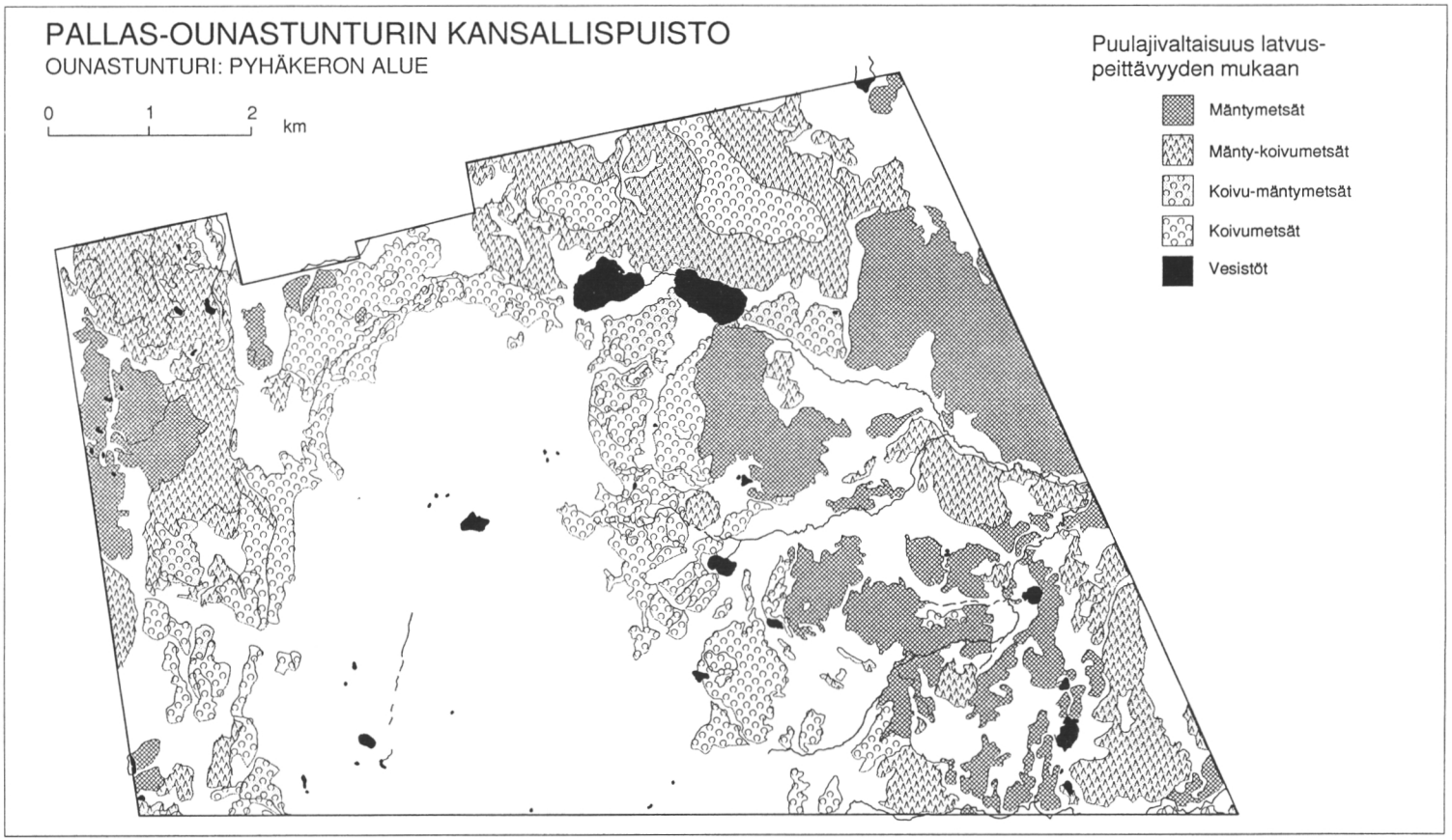
Kokemuksia Nalle-metsäkarttaohjelmiston käytöstä

Nalle-metsäkarttaohjelmisto on maanmittaushallituksen Fingis-karttaohjelmiston pohjalta rakennettu metsätalouskarttojen piirtämiseen suunniteltu ohjelmisto (Mäkeläinen 1988, 1989). Kasvillisuuskartoituksen yhteydessä ohjelmistoa on käytetty aineiston digitointiin, kuvioiden pinta-alojen laskentaan ja erilaisten teemakarttojen tekemiseen. Ohjelman käyttö Sun 3/60 -työasemassa oli varsin hidasta. Digitointiin ohjelma soveltui hyvin, mutta digitointivirheiden paikallistaminen ja korjaaminen oli hankalaa. Digitointivirheet näkyivät edelleen virheellisinä pinta-aloina.

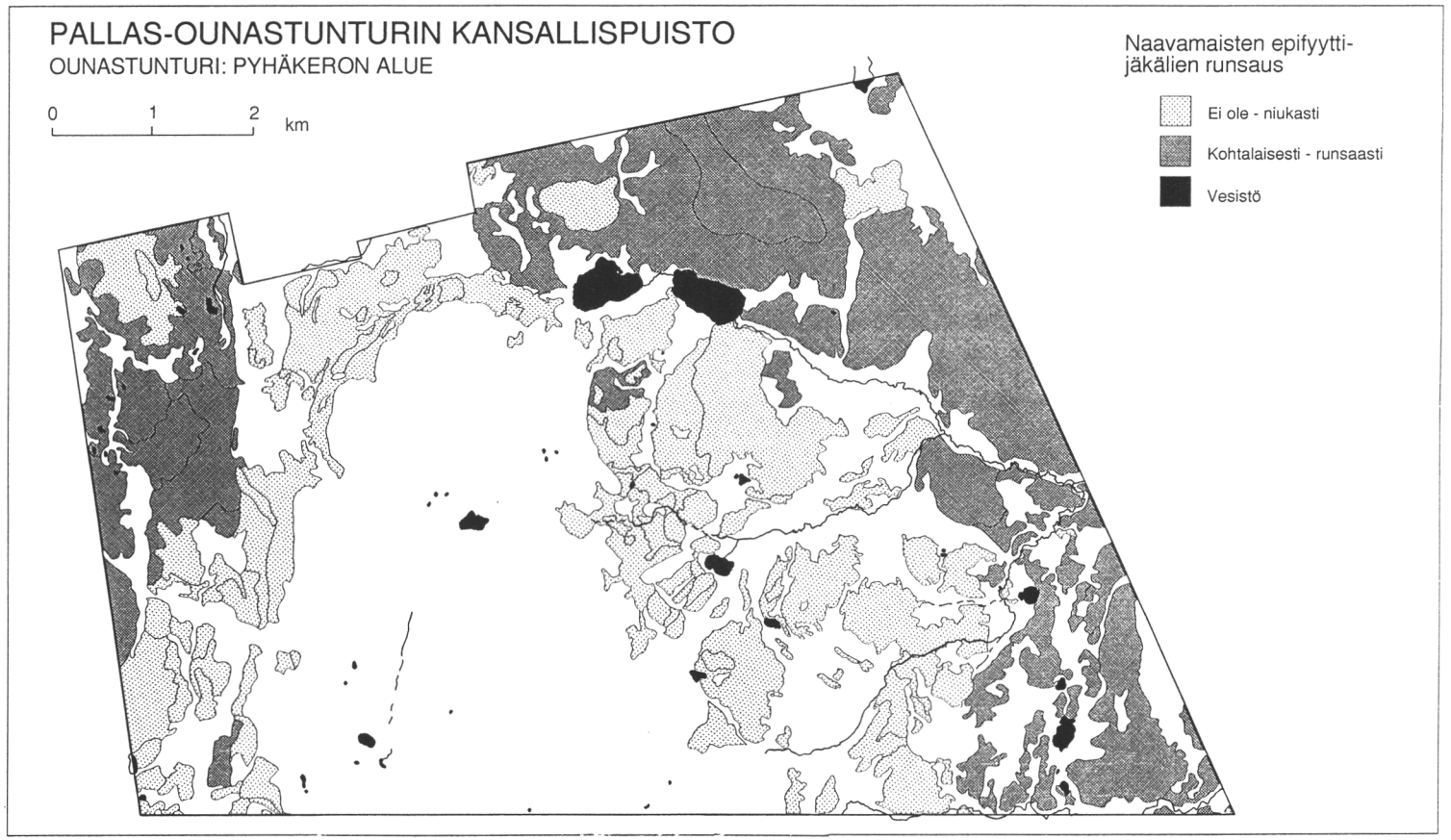
Ohjelmisto antaa suhteellisen hyvät mahdollisuudet karttojen tulostukseen. Olemme keskittyneet tuottamaan lähinnä mustavalkoisia karttoja laserkirjoittimella, joka on ollut koko ajan käytettävissämme. Mustavalkotulosteiden hyvänä puolena voidaan pitää mahdollisuutta kopioida niitä tavallisilla valokopiokoneilla eikä niiden painattaminen tule liian kalliiksi. Kartoissa esitettävän tiedon määrää joudutaan kuitenkin vähentämään siitä, mitä värillisissä tulosteissa pystyttäisiin esittämään. Tulosteiden pieni koko (A4) asettaa myös rajoituksensa. Kuvissa 2, 3 ja 4 on esitetty esimerkkejä tuotetuista teemakartoista ja kuvissa 5 ja 6 esimerkkejä niihin liittyvistä tilastotiedoista.



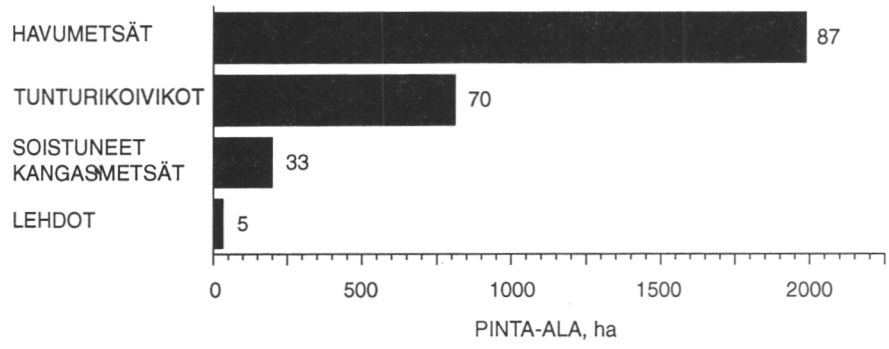
Kuva 2. Yleiskartta Ounastunturin Pyhäkeron alueen metsistä. Luokkien pinta-alat on esitetty kuvassa 5. Valkoiset alueet ovat soita ja tunturipaljakkaa. Vesistöt ja kansallipuiston rajat on digitoitu rekisteri- ja topografikartoilta. (Vesistöt ja kansallispuiston rajat ©Maanmittaushallinto, lupa Nro 92/La/6).



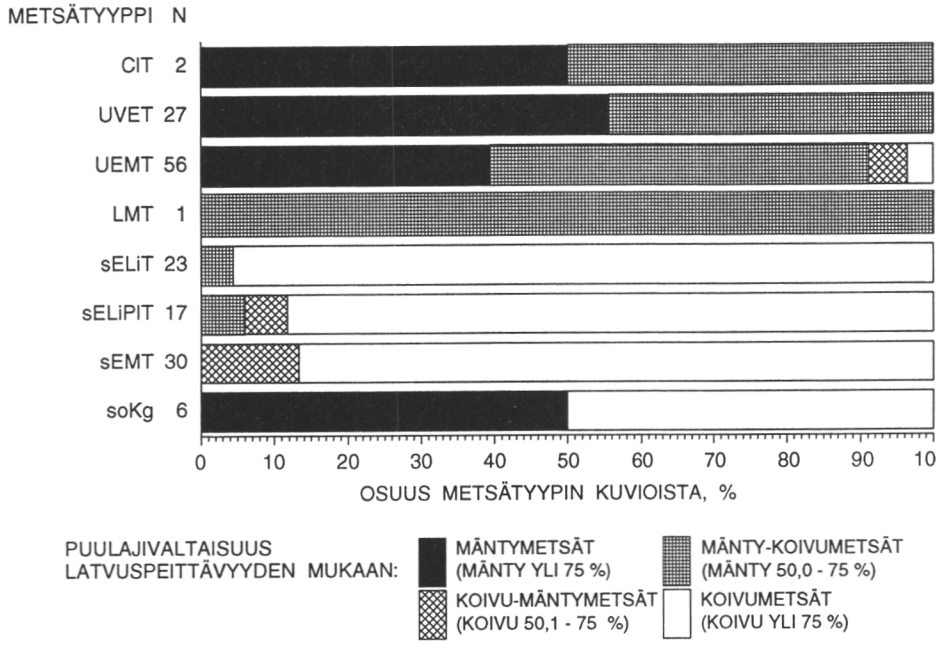
Kuva 3. Kartta latvuskerroksessa vallitsevasta puulajista Ounastunturin Pyhäkeron alueen metsissä. Jako on tehty laskemalla kunkin puulajin osuus latvuskerroksen kokonaispeittävyydestä. Valkoisilta alueilta ei ole tehty mittauksia. Luokkarajat on esitetty kuvassa 6. (Vesistöt ja kansallispuiston rajat ©Maanmittaushallinto, lupa Nro 92/La/6).



Kuva 4. Naavamaisten epifyyttijäkälien runsaus metsäkuvioilla Ounastunturin Pyhäkeron alueella. Jäkälien runsaus on arvioitu asteikolla ei ole – niukasti – kohtalaisesti – runsaasti. Valkoisilta alueilta ei ole tehty arvioita. (Vesistöt ja kansallispuiston rajat ©Maanmittaushallinto, lupa Nro 92/La/6).



Kuva 5. Erilaisten metsien pinta-alat Ounastunturin Pyhäkeron alueella (ks. kuva 2).



Kuva 6. Latvuskerroksessa vallitseva puulaji eri metsätyypeillä Ounastunturin Pyhäkeron alueella (ks. kuva 3). Pylvään jaottelu osoittaa latvuskerrokseltaan erilaisten metsien osuuden kunkin metsätyypin kuvioiden lukumäärästä (N). Kuvassa on myös esitetty käytetyt luokkarajat.

Kasvillisuusaineiston jatkokäsittely

Nalle-metsäkarttaohjelmistoa voidaan pitää varsin puhtaana kartanpiirto-ohjelmistona. Kartanpiirto-ohjelmistoja monipuolisemmat paikkatietojärjestelmät mahdollistavat erilaisten paikkaan yhdistettävien tietojen tallentamisen ja hallinnan joustavana kokonaisuutena. Kehittyneen paikkatietojärjestelmän avulla voidaan yhdistellä ja analysoida erilaisia kartta-aineistoja ja niiden välisiä yhteyksiä, mihin Nalle-ohjelma ei anna kovinkaan suuria mahdollisuuksia.

Paikkatietojärjestelmä koostuu tietokannasta, johon on tallennettu tiettyyn maantieteelliseen paikkaan liittyvä tieto (karttatieto), ja näiden tietojen käsittelyyn tarkoitetusta ohjelmistosta (van der Zee & Huizing 1988). Tietokantaan voidaan kerätä materiaalia useista lähteistä. Siihen voidaan liittää esim. kartta- ja korkeuspistetiedostot, ilmasto-, maaperä- ja kallioperäaineistoa, lintu- ja kasviatlaksen tietoja sekä itse kerättyä tietoa, tässä tapauksessa kasvillisuusaineistoa. Ohjelmiston avulla tietoja voidaan työstää edelleen. Esimerkiksi maaperä- ja kasvillisuuskartat ja maastomalli voidaan yhdistää toisiinsa ja muodostaa uusia yhdistelmäkarttoja. Eri tekijöiden välisiä suhteita voidaan analysoida tilastollisin menetelmin.

Rovaniemen tutkimusasemalle on hankittu syksyllä 1991 paikkatieto-ohjelmisto Arc/Info. Värillisten tulosteiden saaminen mahdollistui 1992 keväällä, kun asemalle hankittiin laadukas väritulostin. Tähän mennessä Nalle-metsäkarttaohjelmistolla digitoitua numeerista kasvillisuusaineistoa on käytettävissä kansallispuiston pohjoisosasta. Aineisto on siirretty nykyiselle paikkatieto-ohjelmistolle ja tuleva aineiston tallennus tapahtuu uudella ohjelmistolla. Kuviotiedostosta ollaan tekemässä tietokantasovellusta Ingres-tietokantaohjelmistolla. Nämä yhdessä tulevat muodostamaan kansallispuiston paikkatietojärjestelmän perustan.

Paikkatietojärjestelmän käyttöönotto parantaa aineiston käyttömahdollisuuksia tutkimusaineistona ja suunnittelumateriaalina. Järjestelmään voidaan lisätä näitä käyttötarkoituksia palvelevaa uutta tietoa esim. kasvi- ja eläinlajistosta, maa- ja kallioperästä, maaston korkeussuhteista, retkeilyreiteistä, autiotuvista jne. Tavoitteena on hyödyntää aineistoa myös opastusmateriaalin teossa ja myöhemmin opastuskeskuksessa käytössä olevana tietokonesovelluksena, jolla voidaan esitellä tietoa puistosta myös suurelle yleisölle.

Kirjallisuus

Eurola, S. & Kaakinen, E. 1978. Suotyyppiopas. WSOY, Porvoo. 87 s.

— & Virtanen, R. 1989. Tunturikasvillisuusopas. Oulun yliopiston Kasvitieteen laitoksen monisteita 39. 41 s.

— & Virtanen, R. 1991. Key to the vegetation of the northern Fennoscandian fjelds. Kilpisjärvi Notes 12. 28 s.

Hämet-Ahti, L. 1963. Zonation of the mountain birch forests in northernmost Fennoscandia. Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo" 34(4). 127 s.

Kaakinen, E. 1982. Suositeltava kasvillisuusluokitus valtakunnallista lehtoinventointia varten (alueet 2.2–5.: maan keski- ja pohjoisosat Järvi-Suomesta ja Pohjanmaalta alkaen). Moniste. Oulun lääninhallituksen ympäristönsuojelutoimisto. 2 s.

Kalela, A. 1961. Waldvegetationszonen und ihre klimatischen Paralleltypen. Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae "Vanamo" 16(suppl.): 65–83.

Mäkeläinen, J. 1988. Nalle metsäkarttaohjelmiston tekninen käsikirja. Nalle-opas osa II, luonnos. Nalle v. 4.2 (C) Mh/Metla/Mmh 1988. Moniste. Metsähallitus, Helsinki. 25 s.

— 1989. Nalle metsäkarttaohjelmiston opas. Osa I. Nalle v. 4.2. (C) Mh/Metla/Mmh 1988. Moniste. Metsähallitus, Helsinki. 42 s. + 5 liites.

Sippola, A.-L. 1989. Suojelualueiden hoidon ja käytön tutkimustarpeet. Summary: Research needs for management of protected areas. Julkaisussa: Poikajärvi, H., Sepponen, P. & Varmola, M. (toim.). Tutkimus luonnonsuojelualueilla. Research activities on the nature conservation areas. Folia Forestalia 736: 12–17.

van der Zee, D. & Huizing, H. 1988. Automated cartography and electronic geographic information systems. Julkaisussa: Kühler, A.W. & Zonneveld, I.S. (toim.). Vegetation mapping. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 163–189.

Metsien monikäytön tutkimus ja sen kehitystavoitteet Metsäntutkimuslaitoksessa

Jussi Kuusipalo
Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema
PL 68, 80101 Joensuu

Johdanto

Metsäntutkimuslaitoksen metsien monikäytön tutkimusohjelma käynnistyi vuonna 1990 laitoksen hallituksen hyväksyttyä ohjelman toimintasuunnitelman ja talousarvion vuosille 1990–1994 (Kuusipalo ym. 1989). Tutkimusohjelman lähtökohtana oli koota yhteen kaikki Metsäntutkimuslaitoksessa käynnissä olevat monikäytön tutkimushankkeet ja ryhtyä tältä pohjalta kehittämään puuntuotannon sekä metsien muihin taloudellisiin, sosiaalisiin ja luonnonsuojelullisiin arvoihin liittyvien käyttömuotojen näkökulmat yhdistävää tutkimusta (kuva 1).

Tutkimusohjelman alkaessa siihen siirretyt hankkeet muodostivat kokonaisuuden, joka luonnonsuojelua lukuunottamatta varsin hyvin kattoi metsien muuhun kuin puuntuotantoon liittyvien käyttömuotojen (non-timber uses) kuvailevan ja selittävän tutkimuksen. Sen sijaan yhteensovittamisen näkökulma (joint multiple use) oli jäänyt vähälle huomiolle. Arvottamisen tutkimus kohdistui ensisijaisesti materiaalisiin hyödykkeisiin; markkinattomien hyödykkeiden ja aineettomien arvojen määrittämisen tutkimus oli vähäistä.

Tutkimuksen puutteiden korjaamiseksi ohjelmalle asetettiin seuraavan asetelman mukaiset kehitystavoitteet, joissa korostetaan arvottamis- ja yhteensovittamisnäkökulmien ohella luonnonsuojelun sekä erämaa-alueiden ja muiden erikoismetsien merkityksen, käytön ja hoidon tutkimusta (Kuusipalo ym. 1989):

METSIEN VIRKISTYSKÄYTTÖ JA AINEETTOMAT ARVOT, 3017-3

Tutkimushankkeen tavoitteena on

- selvittää, millaisena ihmiset metsän kokevat ja kuinka siihen asennoituvat,
- selvittää metsän maisemallista ja ulkoilullista arvostusta sekä siihen vaikuttavia tekijöitä,
- selvittää metsien ulkoilukäyttöä, sen inventointimenetelmiä ja ulkoiluun kohdistuvaa kysyntää,
- selvittää taajamametsien metsänhoidon periaatteita.

METSIEN RINNAKKAISTUOTTEET, 3112-5

Tutkimushankkeen tavoitteena on

— selvittää metsämarjojen ja sienten satovaihteluja, niihin vaikuttavia syitä, keräilyä ja sen aluetaloudellista merkitystä,
— suomuuraimen, tyrnin ja karpalon vieljelymenetelmiä,
— jäkälän tuotannon metsänhoidollisia edellytyksiä,
— hirvituotannon kustannuksia ja hyötyjä, porolaitumien kantokykyä sekä metsien rakenteen muutosten vaikutuksia metsäkanalintuihin.

METSIEN MONIKÄYTÖN SUUNNITTELU JA EKONOMIA, 3113-4

Tutkimuksen tavoitteena on

— metsien monikäytön suunnittelun perustaksi tutkia metsän markkinattomien hyödykkeiden taloudellisen arvon mittaamisen teoriaa ja kehittää keinoja erityisesti luonnon monimuotoisuuteen vaikuttavien pienten laadullisten muutosten arvottamiseen,
— kehittää ja testata metsien monikäytön suunnittelun, erityisesti monitavoitteeseen hyötyteoriaan, analyyttiseen hierarkiaprosessiin ja matemaattiseen ohjelmointiin perustuvia menetelmiä.

LUONNONSUOJELU JA ERÄMAAT, 3114-3

Tutkimushankkeen tavoitteena on

— selvittää erämaa-alueiden metsien ja maiseman hoidon perustaksi erämaakokemuksen fyysiset ja sosiaaliset edellytykset, luontomatkailutuotteiden rakenne, laatu ja maisemalliset edellytykset sekä pohjoisten havumetsien rakennetyypit ja rakenne,
— tuottaa tietoa suojelualueiden hoidon ja opastustoiminnan tueksi,
— selvittää aurausalueiden ekologiaa ja kehitystä.

Seuraavassa tarkastellaan monikäytön tutkimuksen perusteita, toteutumista sekä kehittämistarpeita tilanteessa, jossa tutkimusohjelman ensimmäisestä 5-vuotisesta suunnittelukaudesta takana on puolet.



Kuva 1. Metsien monikäytön tutkimusohjelman hankkeita toteutetaan Joensuun tutkimusasemalla (tutkimusohjelman koordinointi, monikäyttö metsätalouden suunnittelussa, marja- ja sienitutkimus), Helsingin keskusyksikössä (virkistyskäyttö ja aineettomat arvot, taajamametsät) sekä Rovaniemen (luonnonsuojelu- ja erämaatutkimus, riista- ja porotutkimus, ympäristöekonomia), Muhoksen (jäkälätutkimus) ja Kolarin (hillatutkimus) tutkimusasemilla.

Monikäyttö on luonnon kestävää käyttöä

Kestävällä käytöllä tarkoitetaan luonnonvarojen käyttöä siten, että tyydytetään nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää tarpeensa. Hytönen (1992) jakaa tarpeet ja niiden tyydyttämisen rajoitukset kolmeen ryhmään: ekologiset, sosiaaliset ja ekonomiset. Metsävaroihin sovellettuna kestävä käyttö voidaan jäsentää ja määritellä seuraavasti:

1. Ekologisesti kestävä käyttö

— edellyttää elämää ylläpitävien ekologisten prosessien sekä biologisen monimuotoisuuden suojelua sekä uusiutuvien metsävarojen käyttöä siten, ettei uusiutumiskapasiteetti ylity (Luonnonsuojeluhallintotyöryhmän mietintö 1992)
— edellyttää metsätalouden ulkoisvaikutusten (vesi, maaperä, ilmasto) huomioonottamista eri järjestelmätasoilla.

2. Sosiaalisesti kestävä käyttö

— edellyttää metsistä saatavien hyötyjen oikeudenmukaista jakautumista eri ihmisryhmille sekä huolenpitoa metsien laadusta ihmisen ympäristönä (Muukkonen 1990).

3. Taloudellisesti kestävä käyttö

— toteutuu silloin, kun ekosysteemin tuotantokapasiteetti (esim. geenivarat ja ekologiset prosessit) ja ekosysteemistä saatavien tuotteiden jatkuva saatavuus kyetään turvaamaan
— edellyttää koko väestön hyödyn sekä ylisukupolvisen oikeudenmukaisuuden ottamista huomioon (Muukkonen 1990).

Ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä käyttö on välttämätön mutta ei riittävä edellytys taloudellisesti kestävälle käytölle. Luonnonvarojen kestävää käyttöä voidaan tarkastella eri järjestelmätasoilla. Käyttökelpoisia järjestelmätasoja ovat tarkoituksesta riippuen metsikkö- tai ekosysteemitaso, metsälö- ja metsäaluetaso, kansallinen taso sekä ylikansallinen tai globaali taso.

Tiivistäen voidaan sanoa, että ekologisesti kestävän käytön tulee toteutua kaikilla järjestelmätasoilla, mutta sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävän käytön kannalta suurempi merkitys on sen toteutumisella metsikkö- ja metsälötasoa korkeammilla järjestelmätasoilla.

Metsien monikäyttö on luonnonvarojen ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävän käytön periaatteen metsävaroihin sovellettua toteuttamista.

Monikäytön tavoitteet ja toteuttamisperiaatteet

Metsien monikäytön yhteiskunnallinen tavoite on määritelty mm. metsäekosysteemin kestävään tuotokseen ja ihmisten erilaisten tarpeiden tyydyttämiseen perustuvaksi metsävarojen käytöksi siten, että metsien yhteiskunnalle tuottama kokonaishyöty on mahdollisimman suuri (esim. Jaatinen & Saastamoinen 1976). Metsätaloudellisen maan-

käytön suunnittelun näkökulmasta monikäyttöä voidaan tarkastella kahdella tasolla (vrt. Saastamoinen 1984, Hytönen 1992):

— rinnakkaiskäyttö (segregated use), jolla tarkoitetaan käyttötapojen alueellista eriyttämistä, ts. metsämaan jakamista alueisiin, joilla kullakin yksi käyttötapa tai määrätty käyttötapojen suppea yhdistelmä on vallitseva
— päällekkäiskäyttö (joint multiple use), jossa samaa aluetta käytetään samanaikaisesti moneen eri tarkoitukseen.

Vuorottaiskäyttöä (käyttötapojen ajallista eriyttämistä) voidaan pitää edellä mainittujen käyttömuotojen erikoistapauksena. Metsien käyttötavat voivat olla toisensa poissulkevia, toisistaan riippumattomia, kilpailevia tai toisiaan täydentäviä (vrt. Saastamoinen 1984). Olennaista on, kuinka voimakas konflikti käyttötapojen välillä päällekkäiskäytön tilanteessa määrätyllä metsäalueella vallitsee.

Käytännössä on ensin määritettävä eri tuotteiden ja palveluiden kysyntä ja päätettävä, mitä hyödykkeitä tietyn metsäalueen halutaan tuottavan. Seuraavaksi tarkastellaan, ovatko näiden hyödykkeiden tuotantoedellytykset keskenään niin suuressa konfliktissa, että alueellinen (tai ajallinen) eriyttäminen on välttämätöntä. Mikäli yhteistuotanto alueen päällekkäiskäytössä osoittautuu mahdolliseksi, on löydettävä eri käyttömuotojen kannalta optimaalinen tuotantomenetelmä, esim. soveltuva metsänhoidon toimenpideketju (esim. Kangas 1992a).

Metsien käyttömuotojen suhteet Suomessa

Suomessa kansantaloudellisesti tärkein metsistä saatava aineellinen hyödyke on puu. Metsäsektorin osuus bruttokansantuotteesta oli 8 % vuonna 1990. Puun kansantaloudellinen merkitys perustuu metsäteollisuuden vientimarkkinoihin sekä metsäteollisuustuotteiden korkeaan kotimaisuusasteeseen: metsäteollisuuden osuus vientituloista oli 38 % vuonna 1990, mutta nettovaluuttatuloista noin puolet (Tapion Taskukirja 1991). Metsäteollisuus hankkii suurimman osan tarvitsemastaan raakapuusta Etelä-Suomesta, jonne keskittyy noin 80 % maamme puuston vuotuisesta kokonaiskasvusta. Etelä-Suomessa noin 78 % metsämaasta on yksityismetsänomistajien omistuksessa. Yksityismetsänomistajien osuus teollisuuspuun tarjonnasta on yli 80 % (Hytönen 1992).

Metsien rinnakkaistuotteiden (poro-, riista- ja keräilytalous) osuus puuntuotannon tienvarsiarvosta on maassamme keskimäärin noin 10 % (Hytönen 1992). Osuus kasvaa pohjoista kohden nousten Lapissa lähinnä porotalouden vuoksi yli 25 %:n. Myös metsästysharrastuksen painopiste on Itä- ja Pohjois-Suomessa, jossa valtion omistamien metsien osuus on suurin. Marjojen ja sienten poiminta perustuu koko

maassa jokamiehenoikeuksiin, kun taas metsästysoikeus on sidoksissa maanomistukseen. Puun ja rinnakkaistuotteiden tuotanto on suurimmaksi osaksi yhteistuotantoa (päällekkäiskäyttö), jossa ristiriidat ovat suhteellisen vähäisiä.

Metsien virkistyskäyttö perustuu olennaisimmilta osiltaan jokamiehenoikeuksiin. Luonnossa liikkumista, marjastusta ja sienestystä harrastaa noin 80 % suomalaisista (Hytönen 1992). Luontoon ja jokamiehenoikeuksiin tukeutuvan matkailun merkitys on jatkuvasti kasvanut ja lisääntynee edelleen. Kasvun painopiste on Lapissa, jossa matkailu on puuntuotannon jälkeen tärkein metsien käyttömuoto (Saastamoinen 1986). Jokamiehenoikeudet eivät kuitenkaan takaa metsien laatua virkistysympäristönä.

Virkistyskäyttöä edistävät mm. kansallispuistojen ja muiden valtionmaiden hoito- ja käyttösuunnitelmat. Yksityismailla vastaavia ei juuri ole. Virkistyskäyttövaatimukset kohdistuvat ensisijaisesti valtion ja muiden julkisyhteisöjen metsiin, joissa tarve perustaa erityisesti virkistyskäyttöön varattuja alueita on jatkuvasti kasvamassa. Lähinnä matkailuun tarkoitettujen virkistysalueiden painopiste on Pohjois-Suomessa, kun taas Etelä-Suomessa korostuvat taajamametsien virkistyspalveluiden kehittämistarpeet. Olennainen kehityspiirre on siis kasvava tarve puuntuotannon ja virkistyskäytön alueelliseen eriyttämiseen, siirtyminen yhä enemmän rinnakkaiskäyttöön.

Luonnon monimuotoisuuden vähenemistä pidetään yhtenä keskeisenä globaalisena uhkatekijänä. Monimuotoisuus vähenee koko ajan varsinkin voimakkaan maa- ja metsätalouden alueilla (Ryan 1992). Suomessa metsänkäsittelyllä on suuri vaikutus lajistolliseen monimuotoisuuteen, sillä lähes puolet maassamme esiintyvistä uhanalaisista lajeista elää metsissä ja soilla (Karjalainen 1991). Puidenkin kasvu ja hyvinvointi perustuu hajottajien, juurisienten, mikrobien ja muiden heikosti tunnettujen lajiryhmien toimintaan metsäekosysteemissä.

Luonnon ja sen lajistollisen monimuotoisuuden suojelua harjoitetaan sekä rinnakkais- että päällekkäiskäytön periaatteella. Lakisääteisiin luonnonsuojelualueisiin sekä metsähallituksen, Metsäntutkimuslaitoksen ja puolustusministeriön päätöksillä perustettuihin erilaisiin suojelualueisiin sisältyy varsinaista metsämaata 277 410 hehtaaria eli noin 1,4 % koko maan metsäpinta-alasta (Karjalainen 1991). Metsämaan suojelun painopiste on pohjoisboreaalisessa vyöhykkeessä (Keski- ja Itä-Lappi sekä Oulun ja Pohjois-Karjalan läänien itä- ja pohjoisosat), jossa rauhoitettu metsäpinta-ala on 4,6 %, kun vastaava osuus Etelä-Suomessa (eteläboreaalinen vyöhyke) on noin 0,1 %. Suurin suojelualueiden lisäämistarve on Etelä-Suomen vanhoissa, kliimakstilaisissa metsissä ja lehdoissa (Karjalainen 1991). Suojelutarve kohdistuu voimakkaimpana yksityismetsiin.

Suojelualueiden perustaminen ei vielä turvaa lajistollisen ja ekologisen monimuotoisuuden säilymistä, vaan tarvitaan luonnonsuojelun huomioonottamista talousmetsissä (Järvinen & Miettinen 1987,

Väisänen & Heliövaara 1991). Talousmetsissä noudatetaan metsähallituksen ja metsäkeskusten laatimia metsänhoito-ohjeita. Ns. erikoismetsiin (mm. lakisääteiset erämaat sekä taajamametsät) ollaan kehittämässä uusia luonnonsuojelun huomioonottavia hoitomenetelmiä. Ohjeiden kehittäminen edellyttää näiden alueiden eläin- ja kasvitieteellistä sekä luonnonsuojeluopillista pohjaa vahvistavaa tutkimusta.

Monikäytön tutkimustavoitteet ja niiden priorisointi

Monikäytön tutkimusongelmien ja sitä kautta tutkimustavoitteiden tärkeysjärjestys voidaan johtaa metsien eri käyttömuotojen välisten konfliktien voimakkuudesta. Edellisessä kappaleessa esitetyn perusteella päädytään seuraavaan:

1. Puuntuotanto ja luonnonsuojelu. Käyttömuodot ovat joko toisensa poissulkevia tai vahvasti kilpailevia, joten toteuttamisedellytykset ovat keskenään vahvassa ristiriidassa.

Tutkimusongelmia ovat

— rinnakkaiskäyttö: minne ja millaisia luonnonsuojelualueita tulisi perustaa, luonnonsuojelun kustannus-hyötyanalyysi
— päällekkäiskäyttö: luonnonarvojen ja biodiversiteetin inventointi, metsänhoitotoimenpiteiden vaikutukset biodiversiteettiin, talousmetsissä toteutettavan luonnonsuojelun yhteiskunnallinen tarve, kustannukset ja hyödyt, luonnonsuojelun huomioonottavien hoitomenetelmien kehittäminen.

2. Puuntuotanto sekä virkistyskäyttö ja aineettomat arvot. Käyttömuodot ovat useimmiten keskenään kilpailevia, joten toteuttamisedellytysten välillä vallitsee kohtalainen ristiriita.

Tutkimusongelmia ovat

— rinnakkaiskäyttö: kuinka paljon, minne ja millaisia virkistysalueita tulisi perustaa ja kuinka niitä tulisi hoitaa, miten erikoismetsissä yhdistetään luonnonsuojelun ja virkistyskäytön tavoitteet
— päällekkäiskäyttö: metsätalouden vaikutukset talousmetsien laatuun virkistysympäristönä sekä puuntuotannon maisemalliset vaikutukset, virkistyskäytön kustannukset, hyödyt ja yksityismetsänomistajien preferenssit, virkistyskäytön sekä maisema- ja muiden aineettomien arvojen huomioonottaminen metsänhoidossa.

3. Puuntuotanto ja metsien rinnakkaistuotteet. Käyttömuodot voivat tuotteesta riippuen olla keskenään kilpailevia, toisistaan riippumatto-

mia tai toisiansa tukevia, joten ristiriitojen voimakkuus vaihtelee suuresti. Useimmiten voidaan soveltaa päällekkäiskäytön periaatetta.

Tutkimusongelmia ovat

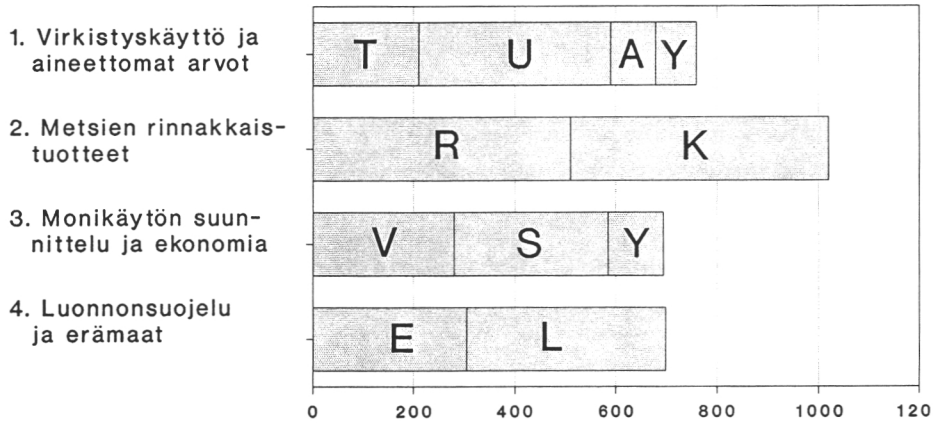
— riistan- ja poronhoito: erilaisten metsien kantokyky ja tuotantofunktiot, metsätalouden vaikutukset eläinkantoihin, riista- ja porotalouden kustannukset, hyödyt sekä metsänhoidolliset edellytykset
— keräilytalous: keräilytuotteiden tuotantofunktiot, metsätalouden vaikutukset metsämarja- ja sienisatoihin sekä jäkäläntuotantoon, keräilytuotteiden talteenotto ja taloudellinen arvo, tuotannon metsänhoidolliset edellytykset.

Luonnonsuojelu voidaan useimmissa tapauksissa yhdistää enemmän tai vähemmän rajoitettuun virkistyskäyttöön sekä eräiden keräilytuotteiden hyödyntämiseen. Virkistyskäyttö ja metsien rinnakkaistuotteiden hyödyntäminen tukevat useimmissa tapauksissa käyttömuotoina toisiaan.

Tutkimuksen nykytila ja puutteet

Metsäntutkimuslaitoksen metsien monikäytön tutkimusohjelman Metlan budjetista tulevat resurssit (tutkijaresurssit ja tutkimusrahoitus yhdessä) jakautuivat vuonna 1992 tutkimuksen eri osa-alueille kuvan 2 mukaisesti. Vuonna 1989 laaditun metsien monikäytön tutkimusohjelman toiminta- ja taloussuunnitelmassa (Kuusipalo ym. 1989) vuosille 1990–1992 hahmotellusta tutkijaresurssien ja tutkimusmäärärahan kehittämistavoitteesta on toteutunut 50 %. Monikäytön tutkimus on suunnitelman mukaisesti hajasijoitettu kolmeen pääasialliseen toteuttamispaikkaan, mutta kussakin paikassa toimivat tutkijaryhmät ovat jääneet liian pieniksi, "kriittisen massan" alapuolelle.

Lähtötilanteeseen (1989) verrattuna kokonaan uusi on luonnonsuojelu- ja erämaatutkimuksen muodostama kokonaisuus. Varsinainen erämaatutkimus kohdistuu lakisääteisiin erämaihin (Erämaalaki 1991). Tähän mennessä on laadittu erämaatutkimushankkeen tutkimussuunnitelma (Hallikainen 1992) sekä selvitetty teoreettisesti erämaan käsitettä, sosiaalista merkitystä ja erämaavaikutelman metsällisiä edellytyksiä. Edelleen hankkeessa tutkitaan erämaiden merkitystä matkailun sekä virkistyksen ja vapaa-ajan ympäristönä. Varsinainen luonnonsuojeluun ja luonnon monimuotoisuuteen liittyvä tutkimus on keskittynyt luonnonsuojelualueiden hoidon ja käytön suunnitteluun (Sippola 1989). Uutena hankkeena on mukana metsänrajaseutujen metsien rakenteen tutkimus. Erämaatutkimuksen rahoitus on kokonaan uutta. Sen sijaan luonnonsuojeluun suoranaisesti liittyvän tutkimuksen resursointi on ollut ja on edelleen vähäistä.



Kuva 2. Monikäytön tutkimusohjelman resurssien jakautuminen tutkimuksen eri osa-alueille vuonna 1992 (luvut tuhansia markkoja). Lukuihin sisältyvät sekä tutkijoiden palkkausmenot että varsinaiset tutkimusmäärärahat. Käytetyt symbolit: Y = tutkimusohjelman yleiskustannukset, A = maisema- ja muiden aineettomien arvojen tutkimus, U = ulkoilu-, retkeily- ja virkistysaluetutkimus, T = taajamametsätutkimus, K = keräilytuotteet (marjat, sienet, jäkälä, yrtit), R = riista- ja porotutkimus, S = monikäyttö metsätalouden suunnittelussa, V = ympäristöekonominen tutkimus, E = erämaatutkimus, L = luonnonsuojelututkimus.

Monikäytön suunnittelu ja ekonomia -tutkimushanke perustettiin tutkimusohjelman myötä tyydyttämään metsien käyttömuotojen arvottamisen ja yhteensovittamisen ongelmiin liittyvän tutkimustiedon tarvetta. Hankkeessa on kehitetty menetelmiä metsien ei-markkinahyödykkeiden kuten jokamiehenoikeudella tapahtuvan virkistyksen tai erämaakokemuksen arvottamiseksi (Naskali 1989) sekä monikäytön huomioonottamiseksi yksityismetsätalouden päätöksenteossa (esim. Kangas 1992a). Yhteistyössä vesi- ja ympäristöhallituksen luonnonsuojelututkimusyksikön kanssa on valmisteltu vuonna 1993 alkavaa luonnon monimuotoisuuden ylläpitämistä ja edistämistä talousmetsissä selvittävää tutkimushanketta (Jäppinen & Väisänen 1992). Vaikka monikäytön ekonomian ja suunnittelun elementtejä on sisältynyt ja sisältyy edelleenkin myös tutkimuksen muihin osa-alueisiin, tutkimusrahoitus ja tutkijaresurssit ovat tällä sektorilla kasvaneet kaikkein eniten.

Virkistyskäytön ja aineettomien arvojen tutkimuksessa on tutkittu mm. metsäkokemuksen perusilmiöitä kuten eri tavalla käsiteltyjen metsien koettua kauneutta, ulkoilun kysyntää ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä kehitetty menetelmä retkeilyreittien virkistysarvon mit-

taamiseksi. Kolin kansallispuiston maisemaselvitys ja ulkoilijoiden haastattelututkimus tukevat alueen suunnittelua ja hoitoa. Taajamametsien tutkimuksessa on selvitetty mm. kaupunkimetsien kulutuskestävyyttä sekä niiden hoidon perusteita. Resursoinnissa korostuvat taajamametsien sekä retkeily- ja ulkoilukäytön osuudet. Kokonaisrahoituksen reaalinen kasvu on tällä tutkimuksen osa-alueella aikavälillä 1989–1992 ollut suhteellisen vähäistä.

Puuntuotannon ja metsien rinnakkaistuotteiden yhteensovittamiseen ei ole patenttiratkaisuja. Tutkimuksissa on pääasiassa kartoitettu yksittäisten tuotteiden (marjat ja sienet, jäkäläntuotanto, riista- ja porotalous) tuotantoa ja biologisia ja metsänhoidollisia tuotantoedellytyksiä, hyödyntämistä ja taloudellista merkitystä. Suomen hirvitalouden kustannus-hyötyanalyysi luo pohjaa hirvikannan optimoimiselle hyötyjen ja vahinkojen suhteen. Metsien rinnakkaistuotteiden osuus monikäytön tutkimuksen kokonaisrahoituksesta on edelleen suurin, mutta uudelleenallokoinnin vuoksi resurssien kasvu on vuosina 1989–1992 ollut vähäistä.

Yhdeksi tärkeimmistä ja kiirellisimmistä tutkimuksen osa-alueista katsottava luonnon monimuotoisuuden ja luonnonsuojelun tutkimus on ohjelmassa edelleen niukimmin resursoitu. Sen sijaan monikäytön suunnittelun ja ekonomian tutkimusta on ohjelmassa kehitetty näiden osa-alueiden prioriteettiasemaa vastaavalla tavalla.

Tilannetta pyritään korjaamaan suuntaamalla suunnittelun ja ekonomian tutkimusta luonnonsuojeluun liittyviin kysymyksiin, tehostamalla luonnonsuojelun tutkimusta Metlan muilla osastoilla sekä kehittämällä tutkimusyhteistyötä muiden organisaatioiden (vesi- ja ympäristöhallitus, metsähallitus, yliopistot) kanssa. Yhteiskunnallinen paine luonnonsuojelun tutkimuksellisen perustan luomiseen on voimakas, koska valtiovallan on määritettävä suojelun kysyntä ja tarve sekä päätettävä säädöksistä, joilla suojelu toteutetaan.

Metsäsektorille sovellettuna luonnon monimuotoisuuden tutkimus voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen:

— metsien käytön vaikutus luonnon monimuotoisuuteen
— metsien luonnonsuojelullinen arvottaminen (suojelun kysyntä, hyödyt ja kustannukset)
— metsien ekologisesti kestävien käyttöperiaatteiden kehittäminen (luonnonsuojelun ja muiden käyttömuotojen yhteensovittaminen).

Metsien käytön vaikutusta luonnon monimuotoisuuteen tutkitaan useissa eri tutkimusyksiköissä. Metsäntutkimuslaitoksen metsäekologian ja metsänkasvatuksen tutkimusosastoilla on valmisteilla tätä tutkimustavoitetta palvelevia hankkeita (Heliövaara 1992, Isomäki 1992). Monikäytön tutkimusohjelman reviirinä ovat ympäristöekonominen arvottamisen tutkimus sekä yhteensovittamisen tutkimus (luonnon monimuotoisuuden huomioonottaminen metsätalouden suunnittelussa).

Virkistyskäytön tutkimuksessa on panostettava nykyistä enemmän virkistysalueiden suunnittelua palvelevaan tutkimukseen. Tähän pakottavat lisääntyvä luontomatkailu ja kansainvälinen turismi, joiden vaatimuksia ei voida tyydyttää jokamiehenoikeuksiin perustuvalla talousmetsien virkistyskäytöllä.

Monikäyttöpaineet kohdistuvat voimakkaimmin valtion omistuksessa oleviin metsiin, joiden käyttöön voidaan suoraan vaikuttaa poliittisilla päätöksillä. Metsätalouden suunnittelun kannalta erityisen vaikea ongelma on monikäytön huomioonottaminen yksityismetsätaloudessa. Kysymystä voidaan lähestyä yksityismetsänomistajan preferensseistä käsin (esim. Kangas 1992b). Avainasemassa on tarvittavien säädösten tukemien metsänhoidon ohjeistojen kehittäminen ja niiden tehokas toteuttaminen sekä metsänomistajien informointi.

Yksi kiireellisimmistä tutkimusaiheista on ympäristövaikutusten arviointimenetelmien kehittäminen. Metsätaloudella on sekä metsän sisäisiä että ulkoisia ympäristövaikutuksia, jotka voivat olla ekologisia, sosiaalisia ja taloudellisia. Monikäytön tutkimuksessa keskeisintä on tällä alueella arvottamisen ja yhteensovittamisen tutkimus.

Loppupäätelmät

Metsäntutkimuslaitoksen metsien monikäytön tutkimusohjelman etäistavoitteena on tehdä itsensä tarpeettomaksi siten, että monikäytön tutkimus toteutuu kaikilla metsäntutkimuksen osa-alueilla läpäisyperiaatteella. Metsäntutkimuksen tulee aina olla metsien ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävän monikäytön tutkimusta.

Metsäntutkimuslaitoksessa on jo 1970-luvulta lähtien toteutettu runsaasti metsien muihin kuin puuntuotannollisiin hyötyihin kohdistuvia tutkimuksia, mutta integraationäkökulma on ollut selkiytymätön. Tutkimusohjelmassa on sen vuoksi edelleen erityisen voimakkaasti kehitettävä metsän erilaisten hyötyjen arvottamis- ja inventointimenetelmiä sekä näihin perustuvia monihyödykkeisiä ja moniarvoisia metsänhoidon ja metsätalouden suunnittelumenetelmiä. Avainasemassa metsien ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävän käytön kehittämisessä on eri käyttömuotojen yhteensovittaminen, "joint multiple use". Erityisen puutteellisesti tutkittuja ja ajankohtaisia aiheita ovat luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen, luontomatkailun ja kansainvälisen turismin kehittäminen sekä monikäytön huomioonottaminen yksityismetsätaloudessa.

Monikäytön tutkimus on luonteenomaisesti monitieteellistä ja poikkihallinnollista. Sen vuoksi on erityisen tärkeää osallistua monitieteisiin tutkimushankkeisiin ja -ohjelmiin (esim. luonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelma ja erämaatutkimusohjelma). Koska yhteensovittaminen on keskeinen metsien monikäyttöä ohjaava periaate, ei metsien non-timber -käyttöä (esim. luonnonsuojelu-, virkistys- ja kult-

tuuriarvot) voida tutkia erillään puuntuotannosta, saati jättää yksinomaan muiden tutkimusyksiköiden huoleksi. Tutkimuksen laadun takaamiseksi Metsäntutkimuslaitoksen tulisi rekrytoida nykyistä enemmän talous-, yhteiskunta- ja käyttäytymistieteiden sekä luonnon- ja ympäristönsuojelun asiantuntijoita.

Monikäytön tutkimuksen rahoitus on yhä riittämätön. Kutakin tutkijaa kohti on osoitettu jokseenkin riittävästi tutkimusmäärärahoja, mutta ongelmana on vakinaisten tutkijavoimien niukkuus. Monikäytön tutkijoiden osuus laitoksen koko tutkijakunnasta on vain noin 6 %. Monikäytön keskeisille tutkimuksen osa-alueille olisi perustettava tehokkaat ja maantieteellisesti keskitetyt, riittävästi resursoidut ja professorin tai erikoistutkijan vetämät tutkijaryhmät.

Tutkimustieto olisi vietävä käytäntöön nykyistä selvästi nopeammin (technology transfer). Metsällinen tutkimustieto siirtyy käytäntöön ensisijaisesti metsäammattilaisten koulutuksen kautta. Tutkijoiden olisi entistä enemmän osallistuttava metsäalan yliopistolliseen ja ammatilliseen opetukseen sekä opetuksen suunnitteluun. Yliopistojen olisi hyödynnettävä esimerkiksi tutkijoina toimivien dosenttiensa osaamista perusopetuksen oppisisällön uudistamisessa. Metsäorganisaatioiden tulisi esim. metsänhoidon ohjeistoja laatiessaan käyttää aktiivitutkijoita työryhmien asiantuntijajäseninä sekä järjestää toimihenkilöilleen säännöllistä jatkokoulutusta mm. luonnonsuojelussa.

Kirjallisuus

Erämaalaki 1991. Suomen säädöskokoelma, laki n:o 62:129–143.

Hallikainen, V. 1992. Näkökohtia Suomen erämaatutkimuksesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja (tässä julk.).

Heliövaara, K. 1992. Metsänkäsittelyn vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen. Tutkimussuunnitelma. Metsäntutkimuslaitos, metsäekologian tutkimusosasto. 10 s.

Hytönen, M. 1992. Metsien monikäytön koulutuksen sisältö ja tarve Helsingin yliopistossa 1990. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. 122 s.

Isomäki, A. 1992. Luonnonmetsät-tutkimushanke. Kenttätyöohjeet. Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto. 7 s. + 6 liites.

Jaatinen, E. & Saastamoinen, O. 1976. Metsien moninaiskäyttötutkimuksen perusongelmat. Silva Fennica 10(2): 141–147.

Jäppinen, J.-P. & Väisänen, R. 1992. Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen. Luonnos yhteistutkimusohjelmaksi. Vesi- ja ympäristöhallitus, luonnonsuojelututkimusyksikkö. 14 s.

Järvinen, O. & Miettinen, K. 1987. Sammuuko suuri suku. Luonnon puolustamisen biologiaa. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. 256 s.

Kangas, J. 1992a. Multiple-use planning of forest resources by using the Analytic Hierarchy Process. Scandinavian Journal of Forestry Research 7: 259–268.

— 1992b. Metsikön uudistamisketjun valinta – monitavoitteiseen hyötyteoriaan perustuva päätösanalyysimalli. Summary: Choosing the reforestation chain in a forest stand: A decision model based on multiattribute utility theory. University of Joensuu. Publications in Sciences 24. 230 s.

Karjalainen, H. 1991. Elävä metsä. Uhanalainen luonto ja metsänhoito. 1. painos. Forssan Kirjapaino Oy. 176 s.
Kuusipalo, J., Reunala, A., Sepponen, P. & Salo, K. 1989. Metsien monikäytön tutkimusohjelma. Kokonaissuunnitelma 1990–1994. Metsäntutkimuslaitos. 44 s.
Luonnonsuojeluhallintotyöryhmän mietintö. Työryhmämietintö 62/1992. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. 103 s. Esipainos.
Muukkonen, J. 1990. Luonnonvaratilinpito kestävän kehityksen kuvaajana. Tilastokeskus, tutkimuksia 167. 119 s.
Naskali, A. 1989. Ympäristötaloustieteellinen näkökulma luonnonsuojelualueisiin. Summary: Environmental economics and nature conservation areas. Julkaisussa: Poikajärvi, H., Sepponen, P. & Varmola, M. (toim.). Tutkimus luonnonsuojelualueilla. Research activities on the nature conservation areas. Folia Forestalia 736: 18–29.
Ryan, J.C. 1992. Biologisen monimuotoisuuden säilyttäminen. Julkaisussa: Maailman tila 1992. Worldwatch Institute, Washington D.C. s. 9–29.
Saastamoinen, O. 1984. Product transformation in multiple-use forestry. Communications Instituti Forestalis Fenniae 120: 119–125.
— 1986. Metsien merkitys Lapin väestölle. Lapin tutkimusseura – vuosikirja XXVII: 13–18.
Sippola, A.-L. 1989. Suojelualueiden hoidon ja käytön tutkimustarpeet. Summary: Research needs for management of protected areas. Julkaisussa: Poikajärvi, H., Sepponen, P. & Varmola, M. (toim.). Tutkimus luonnonsuojelualueilla. Research activities on the nature conservation areas. Folia Forestalia 736: 12–17.
Tapion Taskukirja 1991. 21. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki. 489 s.
Väisänen, R. & Heliövaara, K. 1991. Luonnonsuojelu talousmetsissä. Julkaisussa: Tapion Taskukirja 1991. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki. s. 228–234.

Korkeiden alueiden metsänuudistamisongelmat aikaisempien tutkimusten valossa

Sauli Valkonen
Metsäntutkimuslaitos, Metsänkasvatuksen tutkimusosasto
Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki

Johdanto

Korkeilla alueilla tarkoitetaan metsätalouden piiriin kuuluvia alueita, jotka sijaitsevat Pohjois-Suomessa ns. toimenpiderajan yläpuolella (yli 250–330 m mpy). Metsähallituksen hallinnassa olevilla korkeilla alueilla tehdään uudistushakkuita vain poikkeustapauksissa. Yksityismetsien käytölle ei ole asetettu samanlaisia rajoituksia, mutta korkeita tai alhaisen lämpösumman alueita varten on annettu omia metsänhoitosuosituksia.

Korkeiden alueiden metsien käytöstä käytiin julkisuudessa vilkasta keskustelua viimeksi 1980-luvun alkupuolella. Metsähallituksen ja Metsäntutkimuslaitoksen sittemmin aloittamaan korkeiden alueiden metsien uudistamisen ja käsittelyn tutkimukseen liittyen tehtiin kirjallisuuskatsaus, jossa tarkasteltiin tähänastisten tutkimusten tuloksia. Aiemmissa tutkimuksissa kerättyjen aineistojen perusteella tutkittiin maaston korkeuden vaikutusta metsänuudistamistuloksiin.

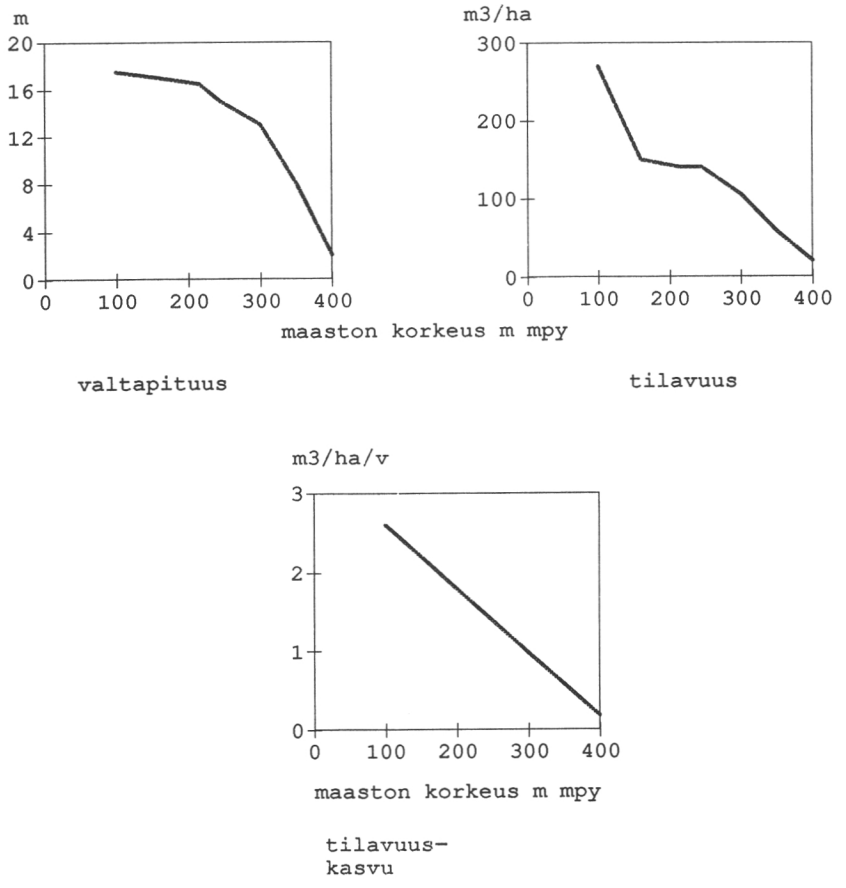
Korkeiden alueiden rajausperusteet

Ekologiset ja biologiset näkökohdat eivät yksin riitä metsätalouden ja metsien käytön suunnittelun perusteiksi. Tutkimuksissa ei ole ainakaan toistaiseksi löydetty sellaista ekologista tekijää tai tekijöiden yhdistelmää, jonka perusteella korkeat alueet voitaisiin yksiselitteisesti erottaa muista alueista. Nykyinen toimenpideraja on luonteeltaan lähinnä taloudellinen ja perustuu käytännön toiminnassa saatuihin kokemuksiin. Kestävää metsätaloutta ei pidetä kannattavana sen yläpuolella, koska hakkuutulot ovat pienemmät kuin puuston korjuusta ja metsän uudistamisesta aiheutuvat kustannukset (Roiko-Jokela 1982, Valtanen 1988). Toimenpideraja on määritelty alueen ja maaston korkeuden mukaan (Metsien hoito 1990a, 1990b). Taloudellinen toimenpideraja ei todellisuudessa kuitenkaan noudata kaavamaisia korkeus- tai lämpösummarajoja. Puun korjuun sekä metsikön uudistamisen ja kasvattamisen taloudellisuus vaihtelevat hyvin voimakkaasti mm. alueen sijainnin, maaperä- ja kasvupaikkatekijöiden, tiestön ja korjuuolojen,

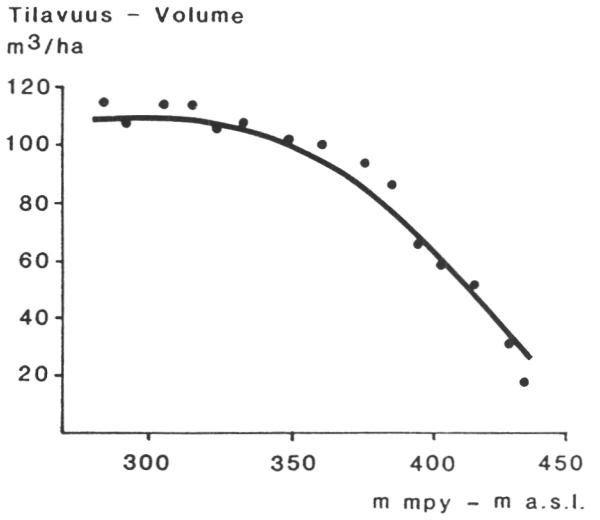
puuston sekä ympäristön metsien hakkuujärjestyksen mukaan. Moniin korkeiden alueiden metsiin liittyy myös suuria luonnonsuojelullisia ja monikäytöllisiä arvoja. Toimenpiteitä ei voi silloin suunnitella pelkästään puuntuotannollisin perustein.

Kasvu- ja uudistamisolot korkeilla alueilla

Kasvupaikan ilmasto muuttuu kylmemmäksi ja kosteammaksi maaston korkeuden lisääntyessä. Lumipeitteen paksuus ja sen kestoaika lisääntyvät, ja tykkytuhot yleistyvät Koillismaalla ja Etelä-Lapissa. Luonnontilaisen puuston valtapituus, tilavuus, tilavuuskasvu ja arvokasvu pienenevät samalla (Roiko-Jokela 1980, Norokorpi & Kärkkäinen 1985, kuvat 1a ja 1b).



Kuva 1a. Puuston valtapituuden, tilavuuden ja vuotuisen tilavuuskasvun riippuvuus maaston korkeudesta (Roiko-Jokela 1980). Valtapituus ja tilavuuskasvu 67. leveysasteella, tilavuus koko aineiston keskiarvona.



Kuva 1b. Puuston tilavuuden riippuvuus maaston korkeudesta Kuusamossa (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

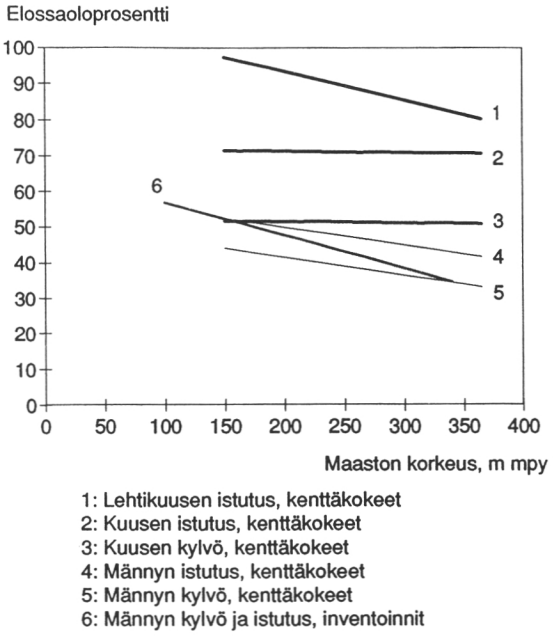
Kylmä ja kostea ilmasto pienentää puiden siemennyskykyä samalla, kun puuston määrä ja valtapituus pienenevät (Koski & Tallqvist 1978). Siemensadon määrää kriittisempi tekijä on korkeilla alueilla ilmeisesti siemenen vähäinen tuleentuminen kylminä kesinä (Ojansuu & Henttonen 1983, Numminen 1991, Pohtila 1991). Kaikesta huolimatta hyväkuntoisten männiköiden siementuotto on korkeilla alueilla yleensä riittävän suuri kaistale- ja siemenpuuhakkuualojen vähittäistä taimettumista varten, jos maanpinnan käsittelystä huolehditaan. Puuston yli-ikäisyys, huonokuntoisuus ja tykkytuhot vähentävät luontaisen uudistamisen käyttömahdollisuuksia monissa korkeiden alueiden metsiköissä.

Paljastetun maanpinnan taimettumiskunto säilyy korkeilla alueilla pitkään hyvänä, koska pintakasvillisuus kehittyy hitaasti (Kellomäki 1972, Ferm & Sepponen 1981, Punkkinen 1982, Suoheimo 1982). Korkeiden alueiden ilmasto suosii paksun kangashumuskerroksen muodostumista hienojakoisilla mailla. Ne ovat erittäin huonoja itämis- ja kasvualustoja. Tällaisilla kasvupaikoilla maanpinnan käsittely on uudistettaessa välttämätöntä. Karuilla kasvupaikoilla maaperän kosteus sekä ilman alhainen ja tasaisempana pysyttelevä lämpötila vähentävät kuivuuden aiheuttamia taimituhoja alempana ja etelämpänä sijaitseviin metsiin verrattuna (Sarvas 1938, 1950). Ilmaston ja maaperän kylmyys ja kosteus sekä lumisen ajan pituus hidastavat viljeltyjen ja luontaisesti syntyneiden taimien kehitystä ja altistavat niitä erilaisille tuhoille (Norokorpi 1987).

Maaston korkeuden vaikutus metsänuudistamisen tuloksiin Pohjois-Suomessa

Tilastollisten analyysien aineistoina käytettiin metsänuudistamistutkimuksissa kerättyjä mittaustietoja. Niiden perusteella tutkittiin maaston korkeuden vaikutusta männyn, kuusen ja lehtikuusen viljelyn sekä männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen tuloksiin Pohjois-Suomessa. Havaintoja saatiin seuraavissa tutkimuksissa käytetyistä aineistoista: Lähde ym. 1981, Hassinen 1982, Punkkinen 1982, Suoheimo 1982, Mäkitalo 1983, Pohtila & Pohjola 1983, 1985, Mikkilä 1984, Pohtila & Valkonen 1985, Kubin 1986, Pylvänäinen 1987 sekä Valtanen 1988. Lisäksi saatiin aineistoa Metsäntutkimuslaitoksen entisen maantutkimusosaston kokeista.

Aineistoon sovitettiin regressiomalleja, joissa taimikon tiheys- ja pituustunnuksia selitettiin taimikon ikää, käsittelyä, kasvupaikkaa ja sijaintia kuvaavilla muuttujilla. Kuvassa 2 on esitetty maaston korkeuden vaikutus viljelytaimien elossapysymiseen eri puulajeilla. Maaston korkeus vaikutti merkitsevästi vain männyn taimien elossapysymiseen. Korkeilla alueilla oli syntynyt runsaasti luonnontaimia niin, että korkealla (250–365 m mpy) sijainneissa taimikoissa ei ollut merkittävästi vähemmän kasvatettavia taimia kuin alempana. Taimet kasvoivat sitä nopeammin pituutta, mitä suurempi lämpösumma oli.

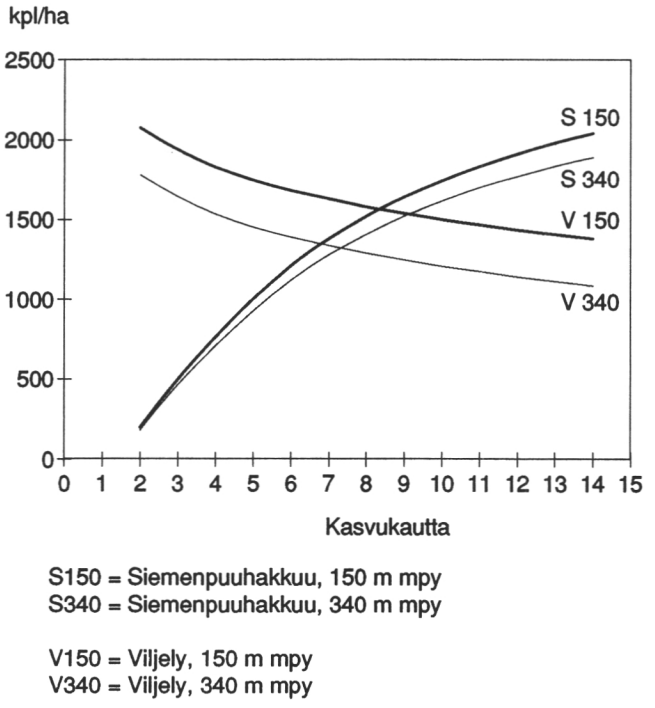


Kuva 2. Viljelytaimien elossaoloprosentti ja maaston korkeus eri aineistoissa. Inventoinneissa elossaoloprosentti on laskettu tavoitetiheyden perusteella. Kylvössä elossaoloprosentti on elossaolleiden kylvötuppaan valtataimien määrän suhde kylvökohtien määrään.

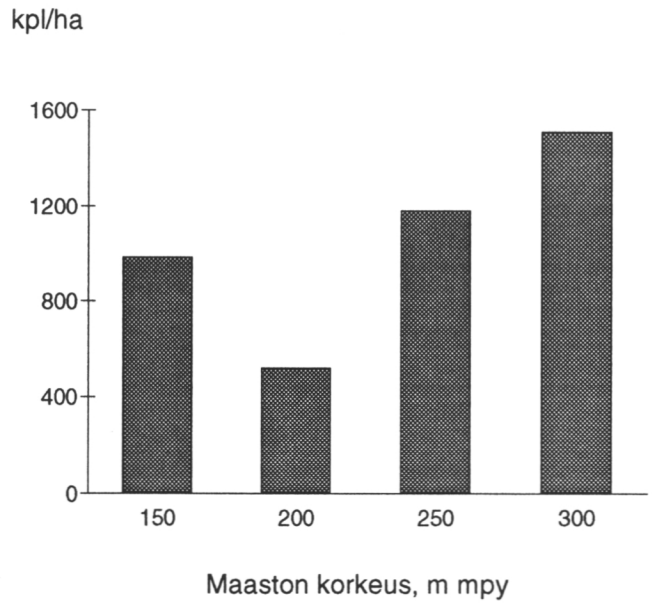
Kuvassa 3 on vertailtu männyn viljelyllä ja siemenpuuhakkuulla aikaan saatujen mäntytaimikoiden kasvatuskelpoisten taimien määrän kehitystä. Maaston korkeus vaikutti vain vähän siemenpuualojen männyn taimien määrään, mutta taimien määrä lisääntyi hitaasti ajan mittaan. Männyn viljelyssä kasvatuskelpoisten taimien määrä sen sijaan väheni, kun viljelytaimia kuoli.

Kuusen kaistalehakkuuaineisto oli niin pieni ja hajanainen, että luotettavaa mallitarkastelua ei voitu tehdä. Kuvasta 4 voidaan kuitenkin nähdä, että kaistalehakkuun tulos ei ollut korkeilla alueilla ainakaan huonompi kuin alempana sijainneilla alueilla.

Analyysien tulkittavuutta vaikeuttivat mm. aineistojen hajanaisuus, selittävien muuttujien voimakkaat keskinäiset korrelaatiot, aineiston puute korkeimmilta (> 360 m mpy) alueilta sekä tutkimusjaksojen lyhyys luontaisessa uudistamisessa. Uudistamistuloksiin liittyi erittäin suuri hajonta, josta yleensä 1/4–1/2 jäi tuntemattomaksi. Saatuja malleja ei voi soveltaa yleisesti, vaan ne kuvaavat muuttujien välisiä suhteita ainoastaan laadinta-aineistoissaan.



Kuva 3. Kasvatuskelpoisten taimien määrän kehitys männyn siemenpuuhakkuun sekä männyn viljelyn inventointiaineistossa.



Kuva 4. Kuusen taimien kokonaismäärä maaston korkeusluokittain kuusen kaistalehakkuualoilla 4–14 kasvukauden kuluttua hakkuusta. Korkeusluokat: 150 = 126–175 m mpy, 200 = 176–225 m mpy jne.

Päätelmät

Mielenkiinto korkeiden alueiden puuston hyödyntämiseen on vähentynyt sitten 1980-luvun puolivälin. Äärialueiden puu ei kiinnosta, kun vähentynyt kysyntä pystytään tyydyttämään lähempänä tehtaita sijaitsevilta alueilta, joilla on syntynyt hakkuusäästöjä. Erittäin suuri osa Lapin korkeista alueista kuuluu suojelun ja rauhoitusten piiriin. Tästä huolimatta on ilmeisesti vielä olemassa korkeita alueita, joilta puuta voitaisiin hankkia kilpailukykyiseen hintaan ja joilla puuta voitaisiin kasvattaa kannattavasti. Metsän uudistamisen varmuus, nopeus ja kustannukset vaihtelevat erittäin voimakkaasti. Korkeiden alueiden luonto näyttäisi suosivan luontaista uudistamista. Taloudelliset tekijät puoltavat sitä vielä voimakkaammin. Viljelyllä tavoiteltu uudistumisen nopeus sekä taimikon tasainen rakenne ja nopea kasvu eivät merkitse korkeilla alueilla kovin paljon, koska uudistetun metsän tuotos jää pieneksi tavallisiin talousmetsiin verrattuna. Uudistamisen aika- ja puustotavoitteet voisivat olla korkeilla alueilla huomattavasti tavallista vaatimattomammat. Korkeiden alueiden talousmetsien hoidossa ja käytössä ei ole nykyisinä aikoina syytä soveltaa joustamattomia, olosuhteisiin sopeutumattomia rajoja.

Kirjallisuus

Ferm, A. & Sepponen, P. 1981. Aurausjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. Folia Forestalia 493. 19 s.

Hassinen, K. 1982. Kuusikoiden kaistalehakkuualojen taimettuminen Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 64 s.

Kellomäki, S. 1972. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 8. 56 s.

Koski, V. & Tallqvist, R. 1978. Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon mittauksista metsäpuilla. Summary: Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. Folia Forestalia 364. 60 s.

Kubin, E. 1986. Puulajien vertailukokeet Koillismaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 255. 17 s.

Lähde, E., Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(7). 43 s.

Metsien hoito. 1990a. Pohjanmaa-Kainuu. Metsähallitus. 59 s.

— 1990b. Lappi. Metsähallitus. 68 s.

Mikkilä, A. 1984. Havaintoja reunametsän vaikutuksesta auratun uudistusalan taimettumiseen sekä taimien ja pintakasvillisuuden kehitykseen Lapissa. Metsänhoitotieteen pro gradu-työ. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 84 s.

Mäkitalo, K. 1983. Männyn viljelytaimien menestyminen eri tavoin käsitellyllä paksusammaltyypin maalla Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 87 s.

Norokorpi, Y. 1987. Metsänviljelyn onnistuminen korkeilla alueilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 17–27.

— & Kärkkäinen, S. 1985. Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. Summary: The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snowload damage in Kuusamo in northern Finland. Folia Forestalia 632. 26 s.

Numminen, E. 1991. Seed production close to timberline in Finland. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05–12 Symposium in Lapland, Finland August 16–22, 1987. Käsikirjoitus.

Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. Summary: Estimation of local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurement made by the Finnish meteorological office. Silva Fennica 17(2): 143–160.

Pohtila, E. 1991. Effect of site preparation on regeneration results in Lapland. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05–12 Symposium in Lapland, Finland August 16–22, 1987. Käsikirjoitus.

— & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–1972 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results form the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970–1972. Silva Fennica 17(3): 201–224.

— & Pohjola, T. 1985. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa. Summary: Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. Silva Fennica 19(3): 245–270.

— & Valkonen, S. 1985. Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä. Summary: Development and condition of

artificially regenerated pine and spruce stands in the privately owned forests of Finnish Lapland. Folia Forestalia 631. 19 s.
Punkkinen, E. 1982. Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen muokatuilla mailla Etelä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 76 s.
Pylvänäinen, J. 1987. Veitsiluoto Oy:n 1975–1977 viljeltyjen taimikoiden tila. Metsänhoitotieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 59 s.
Roiko-Jokela, P. 1980. Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of altitude on the forest yield in northern Finland. Folia Forestalia 452. 21 s.
— 1982. Metsänkäsittelyn toimenpiderajan määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 58: 29–34.
Sarvas, R. 1938. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine waldbiologische Untersuchung auf den trockenen Heideböden Nord-Finnlands. Acta Forestalia Fennica 46(1). 146 s.
— 1950. Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta. Summary: Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(1). 84 s.
Suoheimo, J. 1982. Männyn luontainen uudistaminen siemen- ja suojuspuumenetelmällä Metsä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 77 s.
Valtanen, J. 1988. Korkeiden maiden metsien uudistaminen Oulun läänissä. Summary: Stand reforestation at elevated sites in Northern Finland. Folia Forestalia 718. 41 s.

Kehysmalli korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimuksen suuntaamiselle

Aulis Ritari & Mauri Timonen
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

Ns. korkeiden alueiden metsätaloudellista käyttöä on aika ajoin tarkasteltu erilaisissa työryhmissä: 1950-luvulla Oinonen ym. (1958) suojametsien käsittelyohjeissaan ja 1970-luvulla Hokka ym. (1975) metsähallituksen toimesta laaditussa lakialueiden metsien käyttöselvityksessä. Korkeiden alueiden puuntuotannolliset käyttömahdollisuudet tulivat uudelleen ajankohtaisiksi metsähallituksessa 1980-luvun puolivälissä liittyen mm. metsätalouden järjestelyyn ja erämaa-alueiden perustamissuunnitteluun. Asiaa pohtimaan kutsuttiin metsähallituksen ja Metsäntutkimuslaitoksen edustajista koottu työryhmä, jonka tavoitteet olivat aluksi varsin käytännönläheiset. Yksityismailla keskustelua aiheuttivat samaan aikaan korkeiden alueiden metsien verotuskäytäntö ja mahdolliset käsittelyrajoitukset.

Kun toimitaan ilmaston suhteen metsänkasvatuksen äärialueilla, avainasemaan nousevat epävarmuustekijät, jotka liittyvät metsäekosysteemien säätelymahdollisuuksien – so. metsänhoidon menetelmien tuntemiseen ja etenkin uudistumisvaiheen kestoon. Metsäntutkimuslaitoksen aloittaessa korkeiden alueiden metsänuudistamista koskevan selvitystyön täsmällinen kuva ko. alueiden sijainnista, määrästä, ekologisista olosuhteista, maanomistuksesta ja hallinnasta sekä puuntuotantoa rajoittavista maankäyttöratkaisuista kuitenkin puuttui. Samoin puuttui kehys, joka asettaa tutkimuksen irralliset palaset paikoilleen jänteväksi kokonaisuudeksi.

Esityksessä kuvataan lyhyesti hahmoteltu kehysmalli ja sen osat (kuva 1). Laajemmin aihepiiristä raportoidaan toisessa yhteydessä.

Viitekehys

Ulkoisessa viitekehyksessä tutkimus ankkuroidaan ao. tieteenalan kehityksen problematiikkaan. Sisäisessä viitekehyksessä kuvataan omaan tutkimusongelmaan liittyvä tutkimussuuntaus ja teoreettiset perusteet. Viitekehys ohjaa tutkimuksen toteuttamistapaa ja toimii tutkimusaineistojen organisointimallina.

Kehysmallissa ulkoisen viitekehyksen muodostavat kohdealueen luonnonolot ja luonnonprosessit, hyödyntämiskelpoiset aineelliset resurssit sekä toimintaympäristö ihmisen määrittelemine tarpeineen. Kulloinkin kyseessä oleva tarve ja sen toteutustapa johtavat määrätyntyyppiseen alueeseen kohdistuvaan maankäyttöpaineeseen. Tässä työssä maankäyttöpaineen katsotaan aiheutuvan ensisijaisesti korkeiden alueiden potentiaalisesta puuntuotosmahdollisuudesta ja/tai mahdollisuudesta hyödyntää alueella kasvava vanha luonnonpuusto.

Tutkimuksen tavoitteet

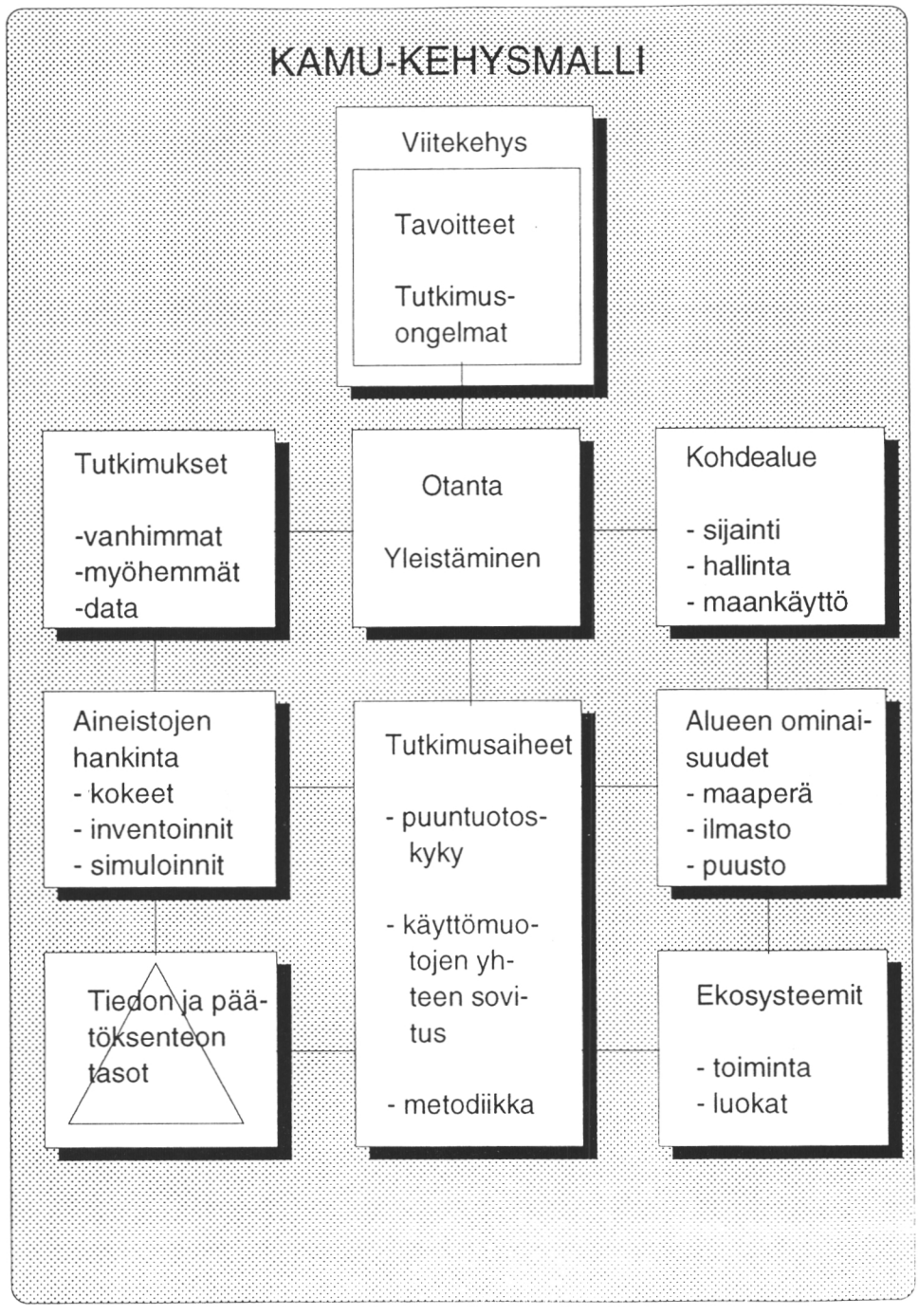
Korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimuksen yleisiksi tavoitteiksi asetettiin muun muassa: 1) alueen metsätaloudellisen käytön perusteiden selvittäminen, 2) luotettavien ja taloudellisten tutkimusmenetelmien valinta, 3) oikeisiin ratkaisuihin pääsy metsikkötasolla, 4) aikaisemman tiedon hyväksikäyttö ja 5) päätöksenteon helpottaminen.

Jatkossa korkeiden alueiden metsänuudistamiseen liittyvä osaaminen on mahdollista sisällyttää asiantuntijäjärjestelmän muodossa oleviin ohjeisiin. Näin nopeutetaan ja helpotetaan muistitiedon hallintaa ja saadaan monimutkaiset vaikutussuhteet ymmärrettävästi laajemman käyttäjäpiirin ulottuville.

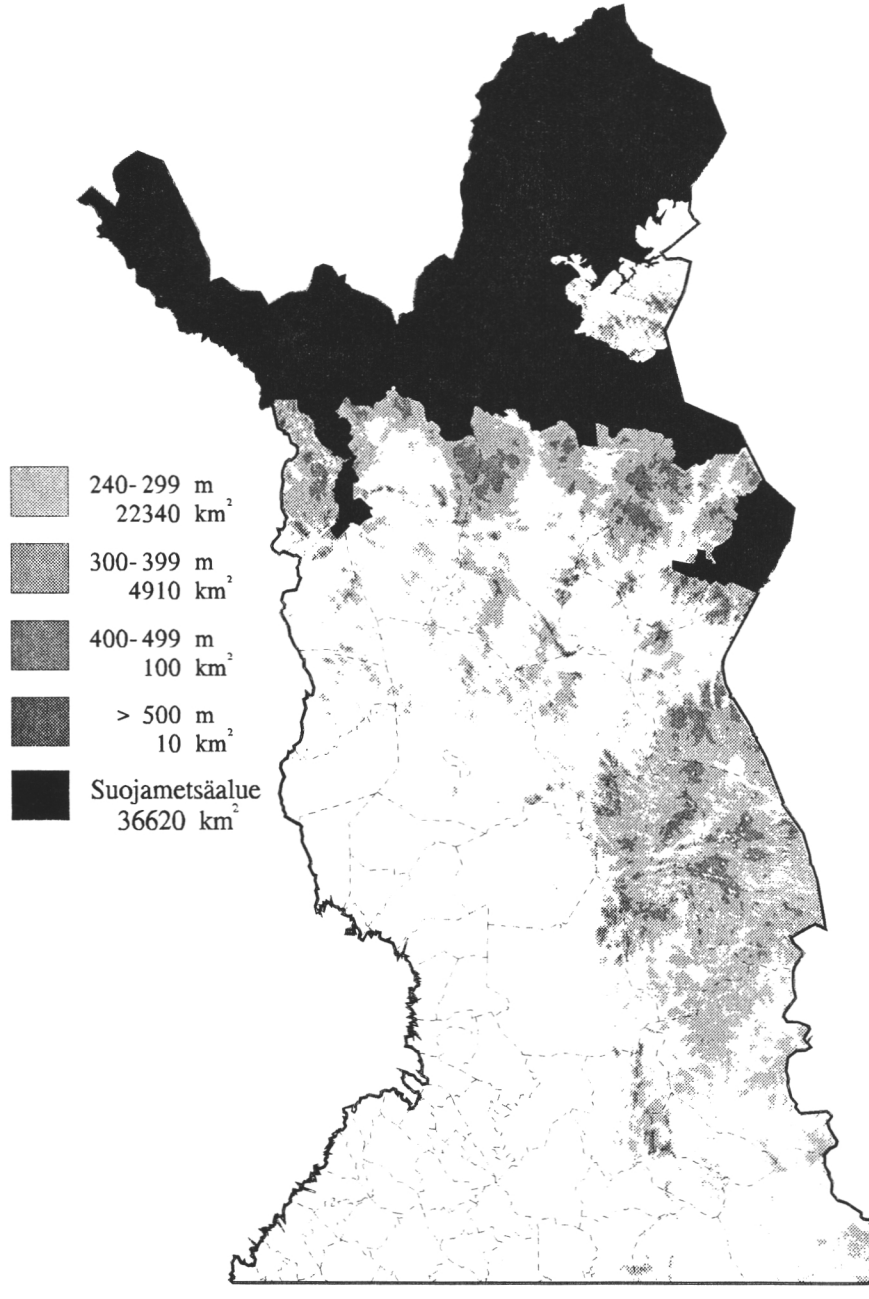
Kohdealue

Kohdealueen tarkka rajaus ja sen eri ominaisuuksien määrittely on tullut mahdolliseksi vasta työssä käytetyn paikkatietotekniikan avulla ja riittävän monipuolisten paikkatietoaineistojen koostamisen jälkeen. Tausta-aineistoa tarvitaan muun muassa tutkimuksen viitekehyksen laadinnassa, ekosysteemien kuvauksessa, ositteiden määrittelyssä ja yleistämiskelpoisten tutkimustulosten hankinnassa.

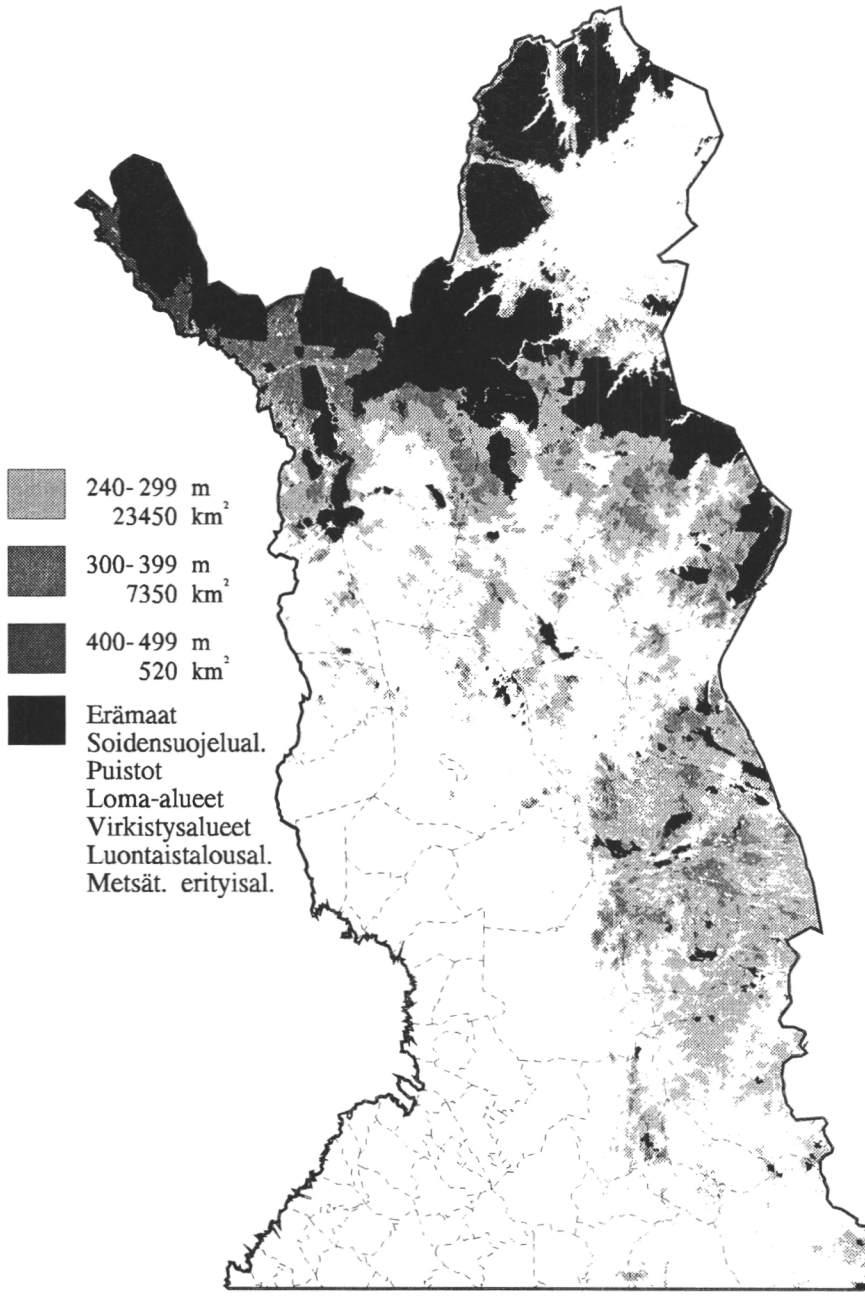
Kohdealueeseen liittyviä perustietoja ovat sijainti, korkeus, maanomistus tai hallinta ja maankäyttö. Ekologisia olosuhteita tarkastellaan maaperä-, ilmasto-, kasvupaikka- ja puustotunnusten (VMI) avulla. Kuvissa 2, 3, 4 ja 5 esitetään kohdealueen rajaamisessa tarpeellisia tietoja Pohjois-Suomen korkeusmallin, aluevarausten, maanomistuksen ja mesoskaalassa lasketun lämpösumman osalta. Metsänuudistamisen problematiikkaa tuntien kohdealueen rajaukseen vaikuttavia tekijöitä on mahdollista käytetyllä tekniikalla muutella (herkkyysanalyysi) ja määritellä alue ongelman kannalta mielekkäästi ja samalla täsmällisesti. Tässä vaiheessa voidaan esimerkiksi todeta, että lämpösummakriteeriä (700 d.d.) käyttäen valtaosa puuston kasvatukseen kysymykseen tulevista korkeista alueista sijoittuu Koillis-Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan yksityismaille.



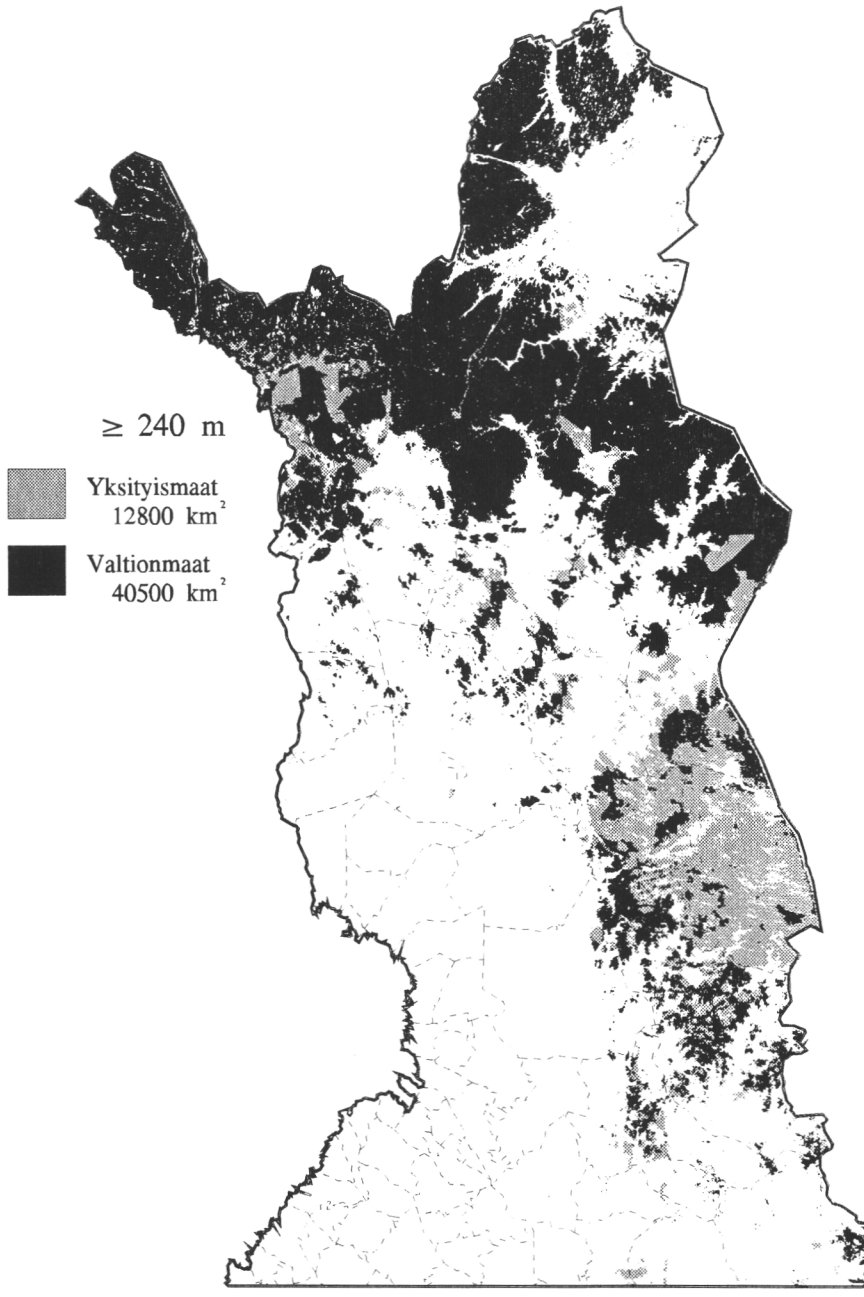
Kuva 1. Kehysmalli metsänuudistamistutkimuksen suuntaamiselle.



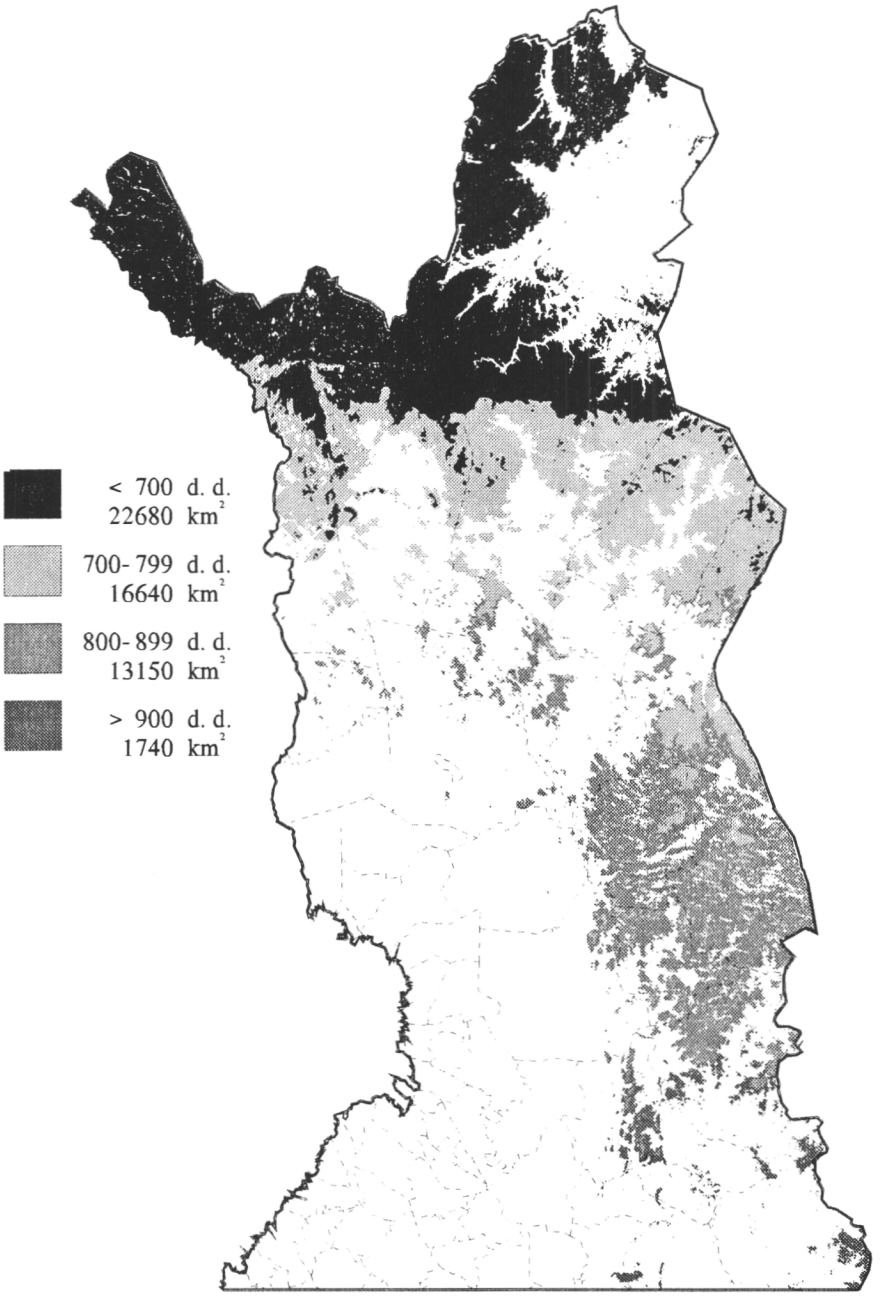
Kuva 2. Yli 240 m mpy sijaitsevat alueet ja suojametsäalue pinta-alatietoineen. Laskenta on tehty korkeusmallia käyttäen. Vesistöt on poistettu maskin avulla.



Kuva 3. Yli 240 m mpy sijaitsevat alueet ja alueet, joissa on puuntuotantoa rajoittavia hallinnollisia aluevarauksia.



Kuva 4. Yli 240 m mpy korkeudella olevat valtionmaat (hallinta: metsähallitus, Metsäntutkimuslaitos ja opetushallitus) ja yksityismaat.



Kuva 5. Lämpösummaltaan alle ja yli 700 d.d.-yksikköä olevat alueet Pohjois-Suomessa laskettuna mesoskaalan (200 x 200 x 20 m) verkostossa korkeusmallin ja tasoitusmallin avulla. Pitkän ajan säätiedot ovat normaalikaudelta 1931–1960.

Ekosysteemit

Metsänuudistamistutkimuksen perusta liittyy ekosysteemeihin, joihin kuuluvat sekä eloton että elävä osa. Avain biologisen puuntuotoskyvyn ongelmiin on ekosysteemin toiminnan ja säätelymahdollisuuksien tuntemisessa. Ihminen tai muut luontoon kuuluvat tekijät säätelevät biologista tuotantokoneistoa kasvutekijöiden kautta.

Ekosysteemin kuvaamisen perusyksiköksi valittiin ekosysteemiluokka (tilastotieteellinen termi osite), joka määritellään populaatiotasolla käytettyjen tunnusten avulla.

Tiedon ja päätöksenteon tasot

Haberin & Schallerin (1988) esittämää hierarkista pyramidimallia mukaillen tietoa ekosysteemeistä voidaan käsitellä kolmella tasolla: alin taso on kuvaileva, seuraava taso on toimintaan liittyvä ja ylin taso edustaa strategista tietoa.

Alimmalla tasolla tieto on yksityiskohtaista, mutta ei analysoitua, ylimmällä tasolla tieto on pitkälle jalostettua, aggretoitunutta, mutta siihen liittyy myös suurempaa epävarmuutta. Kun päätöksenteko pohjautuu alemmilla hierarkiatasoilla olevaan tietoon, tiedonkeruu ja käytettävät tunnukset on valittava vastaamaan oikeaa tarkastelutasoa ja tutkittavien ilmiöiden luonnetta.

Yleistäminen ja otannan suunnittelu

Yleistämisessä (yksilöyleistäminen) on kyse yksittäisen havainnon asemasta perusjoukossa. Metsänuudistamistutkimuksen suunnittelussa on lähdetty siitä, että hankitaan riittävät aineistot ekosysteemiluokkien kuvaamiseksi perusjoukkotasolla, jolloin ositus voidaan tehdä valittujen kriteerien ja tunnusten avulla. Tällöin ko. luokissa koealoilta saatu tieto voidaan palauttaa takaisin perusjoukkotasolle ja turvata havaintojen yleistämiskelpoisuus.

Ekosysteemien valinta on tarkasteltavien muuttujien ja käytettävien painotusperusteiden osalta harkinnanvarainen asia. Perusteina tulevat kysymykseen ekosysteemien yleisyys, puuvarasto, sijainti sekä tutkimuksellinen mielenkiinto.

Tutkimukset

Ennen kuin ryhdytään usein kalliiseen uuden tiedon hankintaan, on syytä olla selvillä aikaisemmasta tutkimuksesta ja sen tuloksista sekä käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Jo olemassa olevat aineistot saatta-

vat myös olla arvokkaita uudelleen tulkittuina tai liitettynä uusiin aineistoihin.

Metsänuudistamistutkimukset Lapissa voidaan jakaa 1900-luvun alkupuolen selvityksiin, sotien jälkeen 1950–1960 -lukujen tutkimuksiin ja myöhäisimpään pysyvien tutkimusasemien aikakaudella tehtyyn työhön. Päävastuu tutkimuksista on ollut Metsäntutkimuslaitoksella, jonka keräämät aineistot on tämän työn yhteydessä kartoitettu. Samalla on käyty läpi myös muu korkeiden alueiden metsänuudistamiseen liittyvä tutkimusmateriaali.

Aineistojen hankinta

Metsänuudistamistutkimuksessa on käytetty perinteisesti järjestettyjä kokeita ja tilapäis- tai kestokoealoilta kerättyjä inventointiaineistoja. Järjestetyt kenttä- tai laboratoriokokeet sopivat käyttöön silloin, kun halutaan manipuloida tai säädellä tutkimuskohdetta. Ilman järjestettyjä kokeita tapahtuvassa inventoinnissa ei vastaavaa säätelyä voi tehdä.

Tietokonesimuloinnit perustuvat malleihin ja tarvitsevat yleensä todentamiseen eli validointiin tarkasti ennakkoon määritellyn kenttäaineiston.

Tutkimusongelmat ja tutkimusaiheet

Tutkimusongelmat jaetaan biologisen puuntuotoskyvyn määrittämisen kysymyksiin, käyttömuotojen yhteensovittamiseen ja tutkimuksen teon ja tiedonhallinnan metodisiin ongelmiin. Yleisinä kriteereinä valinnassa voidaan käyttää: tutkimusmetodiikkaa, merkitystä tieteenalan kannalta, merkitystä yhteiskunnan kannalta ja merkitystä tutkijan kannalta.

Tässä yhteydessä ongelmia ja niistä johdettuja tutkimusaiheita lähemmin kuvaamatta esitetään seuraavassa jäsentely aihepiireistä, joissa on osoitettavissa tärkeitä aiheita tutkittavaksi:

1. Metsänkasvatus
   Kasvutekijät
      Ilmasto
      Maaperä ja maaperälliset kasvuolosuhteet
      Puuntuotospotentiaali
   Ekosysteemin toiminta
      Metsäekosysteemin toiminnan mallitus
      Ekosysteemien dynamiikka ja sukkessio metsänrajalla
   Metsänhoidon menetelmät
      Uudistamismenetelmät
      Puulajivalinta
      Korkeuden vaikutus puun geneettiseen sopeutumiseen

Metsänuudistamisen mallitus inventointiaineistojen avulla
Puustonkasvatusmenetelmät
Metsätuhojen torjunta

2. Maankäyttö
Kartoitukset
Käyttömuotojen arvottaminen
Käyttömuotojen yhteensovitus

3. Menetelmät ja sovellukset
Systeemianalyysi, tietojärjestelmät ja GIS
Ohjekirjeet ja asiantuntijajärjestelmät.

Lopuksi

Kuvattua kehysmallia käyttäen metsänuudistamistutkimus on mahdollista suunnitella kokonaisuus huomioiden (holistinen lähestymistapa). Rajattuja tutkimusaineistoja tarkasteltaessa tiedetään jo ennalta ne ekosysteemiluokat sijaintitietoineen, joihin tulokset ovat yleistettävissä. Tutkimusotteen ja menetelmän valintaa helpottaa tieto hierarkiatasosta, jolla kerättävää tietoa on tarkoitus käyttää. Kun aikaisempi tutkimustieto hyödynnetään myös aineistotasolla soveltuvin osin, vältetään uuden tiedon hankinnassa päällekkäisyydet ja aina niukat tutkimusresurssit saadaan kohdistettua tutkimusta eniten kaipaaviin aiheisiin.

Kirjallisuus

Oinonen, E., Sarvas, R. & Siren, G. 1958. Lapin suojametsien käsittelyohjeet. Moniste. 24 s.

Hokka, P., Haapaporras, O., Eskola, T., Pohtila, E., Salmi, A., & Silvennoinen, U. 1975. Selvitys lakialueiden puustojen hyväksikäytöstä Pohjois-Suomessa. Moniste. 27 s.

Haber, W. & Schaller, J. 1988. Ecosystem Research Berchtesgaden – Spatial relations among landcape elements quantified by ecological balance methods. Proceedings 8th International Symposium on Problems of Landscape Ecological Research, Oct. 3–7, 1988, Kamenec resort- Zemplinska Sirava, CSSR. 30 s.

Hirvilaidunten tila Lapin kolmion alueella taimikkoinventointien perusteella

Ari Nikula
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

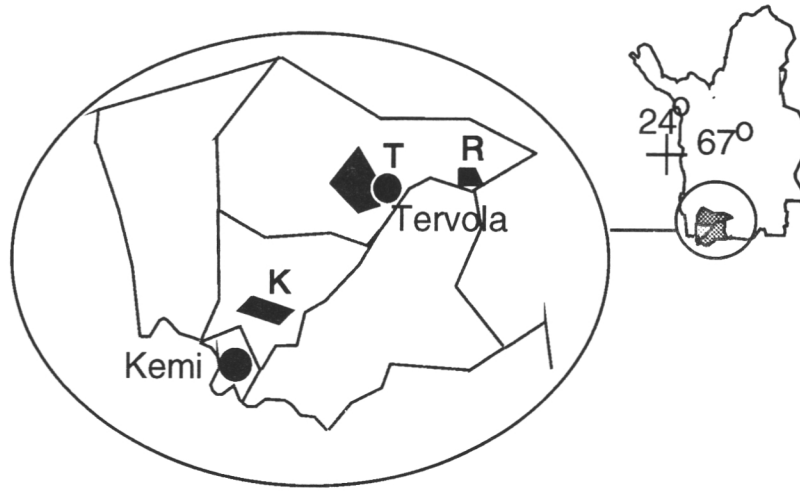
Lapin kolmiolla tarkoitetaan aluetta, joka rajautuu suurin piirtein Simon, Tervolan ja Tornion väliselle alueelle. Tässä tutkimuksessa yleisten tarkasteluiden perusteena on käytetty Lapin kolmion alueella sijaitsevien kuntien tietoja, jolloin alue on hieman varsinaista Lapin kolmion aluetta laajempi (kuva 1).

Lapissa hirvien määrä kasvoi aina vuoteen 1987–1988 asti, jolloin hirvien määräksi laskettiin 40 000 yksilöä (Nygrén 1990a). Hirvikannan koko oli vielä alle 20 000 yksilöä 1980-luvun alussa. Hirvikannan kasvu tarkoittaa tuhatta hehtaaria kohden laskettuna nousua vuoden 1980 1,2:sta vuoden 1988 2,6 hirveen. Lounais-Lapissa hirvikanta on ollut koko Lapin keskiarvoa suurempi ja esim. vuosina 1986–1987 talvikannan tiheydeksi arvioitiin yli 3,5 hirveä/1 000 ha (Metsätalouden hirvivahinkotyöryhmän mietintö 1988).

Hirvikannan kasvu 1980-luvun alkuun asti johti samalla kasvaneisiin hirvivahinkoihin. Koko maassa korvattujen hirvivahinkojen määrä kasvoi vielä 1980-luvulla hirvikannan laskusta huolimatta. Valtion metsätaloudelle korvaamien taimikkovahinkojen määrä on ollut 2–8 milj. mk vuosina 1980–1987. Lapissa hirvivahinkoja korvattiin keskimäärin 318 000 mk/vuosi vuosina 1979–1985 (Helle & Pajuoja 1987, 1989). Lapin kolmion alueella hirvien aiheuttamat vahingot ovat vaikuttaneet suuresti mäntytaimikoiden tilaan ja tehneet männyn viljelyn paikoin kannattamattomaksi (Varmola 1987).

Hirvikantojen kasvu ja toisaalta korvatut taimikkomäärät antavat aiheen olettaa, että kasvanut laidunnuspaine on vaikuttanut myös hirvilaidunten tilaan. Vuosittain toistuva syönti alentaa saatavilla olevien sopivien puunosien määrää ja muuttaa puun ravinto-ominaisuuksia (Bergström & Danell 1987).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin taimikoiden syöntiastetta kolmella Lapin metsälautakunnan suunnittelualueella. Tutkimusaineisto kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen Lapin kolmion metsätalous -projektin yhteydessä ja tutkimus on osa suurempaa kokonaisuutta, jossa selvitetään laidunalueen rakenteen merkitystä hirvien habitaatinvalintaan. Tässä esitettävän aineiston tarkoitus on kuvata määrällisten tunnusten perusteella hirvivahinkoja ja sitä kautta taimikoiden tilaa.



Kuva 1. Lapin kolmion kunnat ja tutkimusalueiden sijainti. K=Keminmaa, T=Tervola ja R=Reutuaapa.

Aineisto ja menetelmät

Lapin kolmion alueelta mitattiin vuosina 1988 ja 1989 yhteensä 251 satunnaisesti arvottua taimikkoa kolmelta Lapin metsälautakunnan suunnittelualueelta. Taimikkoja mitattiin Keminmaalta 156 kpl, Tervolasta 42 kpl ja Reutuaavalta Runkauksen luonnonpuiston pohjoispuolelta 52 kpl. Mitattujen taimikoiden määrä oli Keminmaalla 17 %, Tervolassa 3,2 % ja Reutuaavan alueella 6,9 % kaikista suunnittelualueen taimikoista. Keminmaan suunnittelualueen pinta-ala oli noin 5 200 ha, Tervolan noin 8 900 ha ja Reutuaavan 6 200 ha.

Jokaisesta taimikosta mitattiin yleistietona pääpuulaji, hirvituhon esiintyminen, aika hirvituhosta sekä pääpuulajin ja mahdollisen lehtipuukerroksen keskikorkeus. Lisäksi jokaisesta taimikosta mitattiin viisi systemaattisesti sjoitettua ympyräkoealaa, joiden säde oli 3,99 metriä. Ympyräkoealat sijoitettiin siten, että ensimmäinen tuli taimikon keskipisteeseen ja seuraavat siitä 35 metrin etäisyydelle yksi kuhunkin pääilmansuuntaan. Jokaiselta ympyräkoelalta laskettiin puulajeittain sekä hirven vioittamien että vioitukselta säästyneiden puiden lukumäärä. Hirven vioittamaksi laskettiin puu, jonka pääranka oli katkaistu tai, mikäli selvää pääarankaa ei ollut, puu, jonka versoja oli syöty.

Suhteellisten arvojen tilastolliset analyysit perustuvat arc-sini -muunnettuihin arvoihin.

Tulokset

Keminmaalla 97 %, Tervolassa 90 % ja Reutuaavalla 80 % mitatuista taimikoista oli joutunut jonkinasteisen hirvivioituksen kohteeksi. Toistuvaa vioitusta oli Keminmaalla 8 %:ssa ja Tervolassa sekä Reutuaavalla 2 %:ssa taimikoista.

Runkoluvulla mitattuna puulajeista eniten oli syöty lehtipuita. Hirvet olivat vioittaneet Keminmaalla ja Tervolassa keskimäärin 40 % lehtipuiden taimista (kuva 2). Reutuaavalla lehtipuista oli vioituksen kohteena keskimäärin 25 % taimista. Männyistä oli Keminmaalla vioitettu 35 %, Tervolassa 27 % ja Reutuaavalla 5 % runkoluvusta.

Haavan ja pihlajan syöntiaste oli kaikilla tutkimusalueilla merkitsevästi suurempi kuin männyn (taulukko 1). Myös pajujen syöntiaste oli Keminmaalla ja Reutuaavalla merkitsevästi suurempi kuin männyn. Männyn syöntiaste ei eronnut millään alueella merkitsevästi hies- tai rauduskoivun syöntiasteesta.

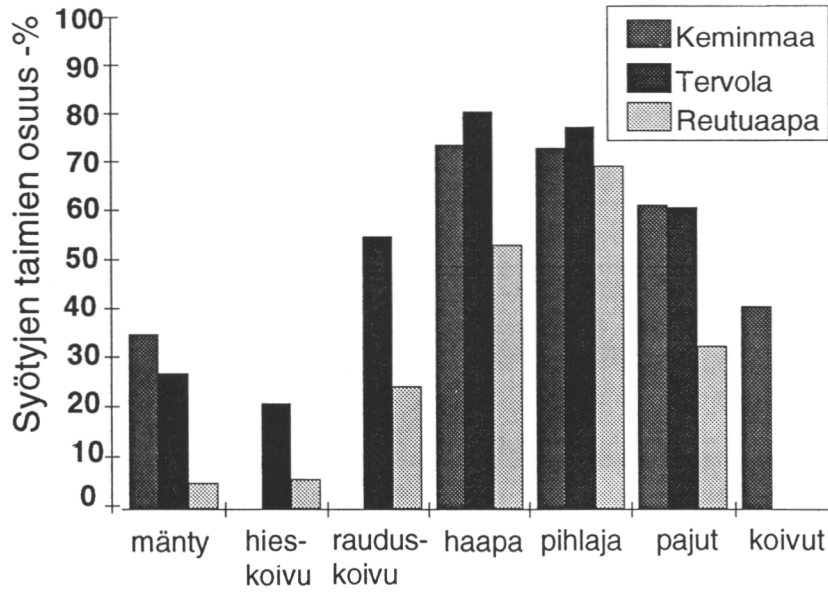
Tarkasteltaessa lehtipuiden syöntiasteita keskenään hies- ja rauduskoivun välillä ei ollut eroa (taulukko 1). Tervolassa ja Reutuaavalla haavan ja pihlajan kuten myös Reutuaavalla pajujen syöntiaste oli merkitsevästi suurempi kuin hieskoivun. Rauduskoivua oli puolestaan syöty suhteellisesti yhtä paljon kuin haapaa, pihlajaa ja pajuja. Ainoastaan Reutuaavalla pihlajan syöntiaste oli suurempi kuin rauduskoivun.

Haavan syöntiaste ei eronnut millään tutkimusalueella pihlajan ja pajujen syöntiasteesta. Sen sijaan Reutuaavalla pihlajan syötyjen puiden osuus oli suurempi kuin pajujen.

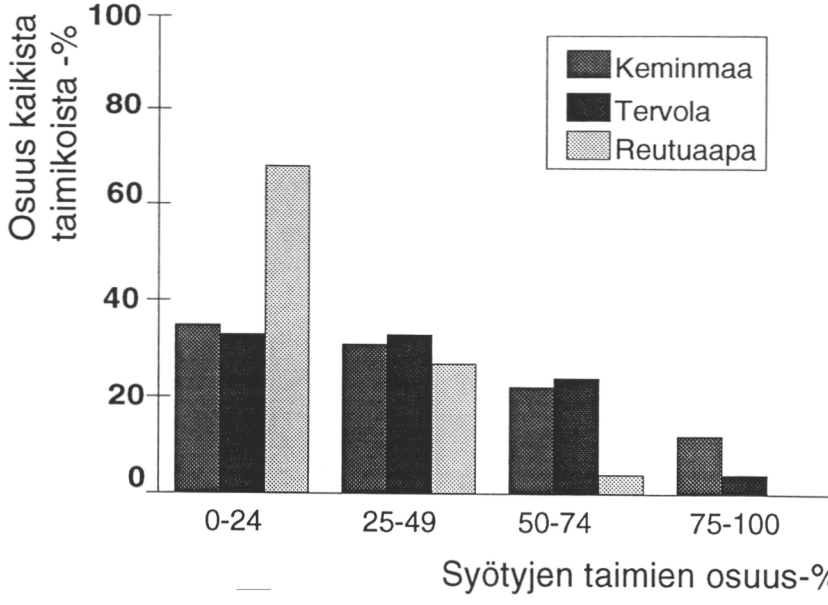
Keminmaalla ja Tervolassa noin kolmannes taimikoista oli sellaisia, joissa yli puolet taimista oli joutunut syönnin kohteeksi. Reutuaavalla vastaavia taimikoita oli 5 % (kuva 3).

Kaikilla alueilla syötyjen puiden kokonaismäärä kasvoi saatavilla olevien puiden kokonaismäärän kasvaessa. Kuitenkaan syötyjen puiden osuus kokonaispuumäärästä ei kasvanut runkoluvun kasvaessa (Keminmaa $r = 0{,}079$, $p = 0{,}326$, $N = 155$, Tervola $r = 0{,}047$, $p = 0{,}767$, $N = 42$, Reutuaapa $r = 0{,}178$, $p = 0{,}211$, $N = 51$).

Myös puulajeittain tarkasteltuna syötyjen puiden määrä kasvoi saatavilla olevan saman puulajin määrän kasvaessa. Reutuaavalla männyn ja rauduskoivun syötyjen taimien määrä ei kuitenkaan riippunut näiden puulajien määrästä taimikossa. Ainoastaan Tervolassa katajan syötyjen puiden osuus kasvoi sekä katajan määrän kasvaessa taimikossa ($r = 0{,}563$, $p = 0{,}019$, $N = 17$) että katajan osuuden lisääntyessä taimikon runkoluvusta ($r = 0{,}580$, $p = 0{,}015$, $N = 17$). Muiden puulajien syötyjen taimien osuus ei ollut riippuvainen saman puulajin osuudesta taimikossa millään alueella.



Kuva 2. Keskimääräiset hirven syömien taimien osuudet puulajeittain eri tutkimusalueilla. Keminmaalla raudus- ja hieskoivu on mitattu yhtenä puulajina.



Kuva 3. Taimikoiden jakautuminen keskimääräisen syöntiasteen mukaan.

Taulukko 1. Puulajien syöntiosuuksien vertailu. Kruskall-Wallisin monivertailutestin Z-arvot. Vapausasteet Keminmaa 4, Tervola ja Reutuaapa 5. Puulajit, jotka eroavat parittaisessa vertailussa alle 5 % riskillä, on merkitty tähdillä. Keminmaalla hies- ja rauduskoivu on mitattu yhtenä puulajina.

PUULAJIVERTAILUT	Keminmaa ZSTAT	Tervola ZSTAT	Reutuaapa ZSTAT
mänty - hieskoivu	-	0,77	0,66
mänty - rauduskoivu	-	1,79	1,45
mänty - koivut	1,18	-	-
mänty - haapa	6,70**	4,37**	4,77**
mänty - pihlaja	7,17**	4,23**	6,53**
mänty - pajut	5,34**	2,65	2,86*
hieskoivu - rauduskoivu	-	2,49	0,95
hieskoivu - haapa	-	5,38**	4,25**
hieskoivu - pihlaja	-	5,31**	6,01**
hieskoivu - pajut	-	3,65**	2,28
rauduskoivu - haapa	-	1,94	2,63
rauduskoivu - pihlaja	-	1,71	3,99**
rauduskoivu - pajut	-	0,34	0,90
koivut - haapa	6,05**	-	-
koivut - pihlaja	6,53**	-	-
koivut - pajut	4,55**	-	-
haapa - pihlaja	0,10	0,33	1,40
haapa - pajut	2,07	1,94	2,05
pihlaja - pajut	2,29	1,68	3,62**

Tulosten tarkastelu

Yksityiskohtainen vertailu aikaisempien hirvivahinkoarviointien kanssa on hankalaa, koska käytetyt arviointimenetelmät eri tutkimuksissa poikkeavat toisistaan. Lisäksi aikaisemmat tutkimukset ovat selvittäneet lähinnä hirvien taimikoissa tekemien vahinkojen määrää ja laatua, jolloin on kiinnitetty huomiota metsätalouden kannalta tärkeisiin puulajeihin. Tämä ei välttämättä kerro hirvien käyttämän ravinnon määrästä ja laadusta. Toisaalta Pohjois-Suomesta, kuten ei myöskään suuresta osasta muuta Suomea, ole käytettävissä tarkkoja vahinkotietoja eikä vahinkojen alueellista jakautumista koskevia tietoja.

Tämän tutkimuksen perusteella hirvien vioittamien taimikoiden määrä ja täten laidunten käyttöaste Lapin kolmion alueella on huomattavan suuri. Esim. Juutisen (1962) tekemän selvityksen mukaan tuhoja esiintyi Etelä-Suomessa 1954–1958 tehtyjen viljelytaimikoiden tarkastusten mukaan 4,6 % koealoista. Löyttyniemen (1982) 3. valtakunnan metsien inventointiaineiston perusteella tekemän selvityksen mukaan olisi koko maassa esiintynyt mäntyvaltaisissa taimikoissa ankaraa tai

hyvin ankaraa tuhoa noin 28 %:ssa tarkastetuista koealoista. Lapissa hirvituhoja esiintyi saman selvityksen mukaan eniten Koillis-Lapissa, vaikka havaintoja hirvistä oli runsaasti myös Lounais-Lapissa. Löyttyniemen & Revon (1983) tekemän kyselytutkimuksen perusteella ilmoitettu hirvivahinkojen määrä on merkinnyt 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa 0,5 % ja 1,0 % osuutta vahingolle alttiiden taimikkoikäluokkien kokonaisalasta.

Löyttyniemen & Piisilän (1983) mukaan oli Uudenmaan-Hämeen taimikoista 80 % ja Lääperin & Löyttyniemen (1988) tekemässä selvityksessä 56 % joutunut jonkin asteisen hirvivioituksen kohteeksi. Kuitenkin sellaisia taimikoita, joissa yli 40 % taimista oli pahoin vahingoittunut, oli molemmissa tutkimuksissa vain runsaat 5 % taimikkojen alasta. Tervolassa ja Keminmaalla noin kolmannes taimikoista oli sellaisia, joissa yli 50 % taimista oli syöty ja Reutuaavalla vastaavasti 5 %. Löyttyniemi & Piisilä (1983) sekä Lääperi & Löyttyniemi (1988) tarkastelivat tutkimuksissaan ainoastaan viljelytaimia, joten muiden hirven ravinnoksi kelpaavien puulajien syöntiasteen vertaaminen ei ole mahdollista. Hirvien vioittamien taimien määrää voidaan pitää Lapin kolmion alueella myös kasvatettavan puuston kannalta suurempana kuin kummassakaan edellä mainituista tutkimuksista, koska esim. männyistä oli Keminmaalla ja Tervolassa keskimäärin kolmannes joutunut hirven syönnin kohteeksi.

Vaikka tehty inventointi ei annakaan mahdollisuutta tarkkaan alueelliseen tarkasteluun, alueen itäosassa syötyjen taimikoiden määrä ja syöntiaste oli pienempi kuin etelä- ja lounaisosassa. Tämä selittyy sillä, että varsinkin Tervolan alueelle kerääntyy talvisin hirviä ympäröiviltä alueilta ja hirvitiheys voi kasvaa syyskaudelta kevätkaudelle tultaessa jopa 12-kertaiseksi (Nygrén 1990a).

Tämän tutkimuksen perusteella syötyjen puiden määrä kasvoi kaikilla alueilla taimikon runkoluvun kasvaessa. Kuitenkaan syötyjen puiden osuus ei kasvanut taimikon tiheyden kasvaessa. Vivås & Saether (1987) havaitsivat kokeellisissa tutkimuksissa hirven syövän enemmän taimia tiheissä taimikoissa, mutta syövän vähemmän oksia taimea kohden. Samaan päätyi myös Heikkilä (1991). Tällöin pelkästään päärangan perusteella tehty tarkastelu ei välttämättä kerro hirvien taimikossa käyttämän biomassan määrää. Siitä huolimatta ja koska puuston keskimääräinen syöntiaste oli korkea, voidaan päätellä, että suuren hirvitiheyden ja/tai laidunten kuluneisuuden vuoksi taimikot tulevat Lapin kolmion alueella syödyiksi riippumatta niiden sisältämästä ravinnon määrästä.

Hirven tiedetään suosivan talvikautena ravinnossaan katajaa, haapaa, pihlajaa, mäntyä ja pajuja (Kangas 1949, Sainio 1955, Pulliainen ym. 1968). Näiden puulajien suosio johtuu paitsi niiden ravintoarvosta, ennenkaikkea sulavuudesta (Salonen 1982). Myös tässä tutkimuksessa haavan, pihlajan ja pajujen syöntiaste oli korkein kaikilla tutkimusalueilla ja erosi merkitsevästi muista puulajeista. Suuri osa lehtipuista

oli lisäksi joutunut toistuvan syönnin kohteeksi, minkä seurauksena niissä olevien hirvelle kelpaavien tai ravintona edullisten versojen määrä aikaa myöten vähenee. Tämä johtuu paitsi kasvun taantumisesta myös siitä, että saatavilla olevien oksien läpimitta on suurempi ja siten myös oksien sisältämää sulamatonta ainesta on enemmän. Lisäksi varsinkin pihlaja, mutta myös kataja, näyttää kuolevan herkemmin toistuvan syönnin seurauksena kuin muut puulajit.

Yhteenvetona voidaan todeta, että hirven syömien taimikoiden määrä ja taimikoiden keskimääräinen syöntiaste on Lapin kolmion alueella korkea. Tämä on seurausta alueella 1980-luvulla olleesta korkeasta hirvikannasta. Laidunten kuluneisuus lienee osasyynä myös vasatuoton laskuun, jota tapahtui etenkin Etelä- ja Lounais-Lapissa koko 1980-luvun (Nygrén 1990b).

Kirjallisuus

Bergström, R. & Danell, K. 1987. Moose winter feeding in relation to morphology and chemistry of six tree species. Alces 22: 91–112.

Heikkilä, R. 1991. Moose browsing in a Scots pine plantation mixed with deciduous tree species. Seloste: Hirven ravinnonkäyttö lehtipuusekoitteisessa mäntytaimikossa. Acta Forestalia Fennica 224. 13 s.

Helle, T. & Pajuoja, H. 1987. Forest damage caused by moose and their economic value in Finland. Proceedings of the Biennal Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics. Porvoo, Finland, May 1987. Scandinavian Forest Economics 29: 7–26.

— 1989. Hirvituhot. Julkaisussa: Metsien terveys ja terveydenhoito. Suomen Metsäyhdistys. Helsinki. s. 17–18.

Juutinen, P. 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-Suomessa. Referat: Untersuchungen über das Auftreten von Waldschäden in den Kiefern- und Fichtenkulturen Südfinnlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(4). 80 s.

Kangas, E. 1949. Hirven metsässä aikaansaamat tuhot ja niiden metsätaloudellinen merkitys. Summary: On the damage to the forests caused by moose, and its significance in the economy of the forests. Suomen Riista 4: 62–90.

Lääperi, A. & Löyttyniemi, K. 1988. Hirvituhot vuosina 1973–1982 perustetuissa männyn viljelytaimikoissa Uudenmaa-Hämeen metsälautakunnan alueella. Summary: Moose (Alces alces) damage in pine plantations established during 1973–1982 in the Uusimaa-Häme Forestry Board District. Folia Forestalia 719. 13 s.

Löyttyniemi, K. 1982. Männyntaimikkojen hirvivahingot 1950-luvun alussa. Summary: Moose (Alces alces) damage in young pine stands in Finland at the beginning of the 1950's. Folia Forestalia 503. 8 s.

— & Piisilä, N. 1983. Hirvivahingot männyn viljelytaimikoissa Uudenmaan-Hämeen piirimetsälautakunnan alueella. Summary: Moose (Alces alces) damage in young pine plantations in the Forestry Board District Uusimaa-Häme. Folia Forestalia 553. 23 s.

— & Repo, S. 1983. Hirven ja valkohäntäpeuran aiheuttamat metsävahingot: tiedustelun tuloksia 1976 ja 1982. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 103. 13 s.

Metsätalouden hirvivahinkotyöryhmän muistio. 1988. Työryhmämuistio MMM 1988:1. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 33 s.

Nygrén, T. 1990a. Hirvikanta lähellä tavoitteita – liikkuvuuden ja Pohjois-Suomen yksilömäärien arviointi vaikeata. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Riistantutkimusosaston tiedote 103. 19 s.
— 1990b. Hirvikannan tila ja hirvitutkimusten nykyvaihe Lapissa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Riistantutkimusosaston tiedote 104. 21 s.
Pulliainen, E., Loisa, K. & Pohjalainen, T. 1968. Hirven talvisesta ravinnosta Itä-Lapissa. Silva Fennica 2: 235–247.
Sainio, P. 1955. Hirven talvisesta ravinnosta. Summary: On the feeding of elk in winter. Silva Fennica 88. 24 s.
Salonen, J. 1982. Hirven talviravinnon ravintoarvo. Suomen Riista 29: 40–45.
Varmola, M. 1987. Metsätuhot. Julkaisussa: Penttilä, T. & Varmola, M. (toim.). 1987. Lapin kolmion puuntuotannon mahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 243. 120 s.
Vivås, H. & Saether, B-E. 1987. Interactions between a generalist herbivore, the moose Alces alces, and its food resources: an experimental study of winter foraging behaviour in relation to browse availability. Journal of Animal Ecology 56: 509–520.

Ojituksen yhteydessä tehdyn hakkuun vaikutus puuston kasvuun ja tuotokseen

Hannu Hökkä
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

Johdanto

Tehtäessä tämän vuosisadan alussa tutkimuksia metsäojitettujen soiden kehittymisestä kiinnitettiin puuston osalta huomiota puiden vaihtelevaan elpymiskykyyn (esim. Tanttu 1915). Useissa selvityksissä todettiin, että kasvureaktion voimakkuus riippui puun koosta ja iästä ojitushetkellä sekä suotyypin viljavuudesta. Lisäksi havaittiin, että ojitus saattoi parantaa kaikkein vanhimpien lakkapäistenkin rämemäntyjen paksuuskasvua, vaikkei vaikutusta pituuskasvuun ollutkaan. Mainittujen kasvuun vaikuttavien tekijöiden lisäksi painotettiin kuivatustehon merkitystä sekä reaktion voimakkuudessa että sädekasvun myöhemmässä kehityksessä (Multamäki 1923, Lukkala 1929, 1937).

Heikurainen (1954) kuvasi luonnontilaisten ja vasta ojitettujen rämeiden puuston rakennetta ja totesi, että ojituksen yhteydessä tehdyllä siemenpuuhakkuulla tai avohakkuulla voitiin helposti aikaansaada luontainen uudistuminen. Uudistuminen perustui luontaisesti rämeillä esiintyvään 1–5 -vuotiaaseen taimiainekseen, joka ojituksen jälkeen hakkuulla vapautettuna tuotti suhteellisen tasaikäisen, kasvuisan metsikön.

Heikurainen & Kuusela (1962) tutkivat pituus- ja sädekasvun elpymistä ojituksen jälkeen ja päätyivät suosittamaan elpymiskykyisten puiden pituuden ylärajaksi 12 m ja läpimitan ylärajaksi 15 cm ojitushetkellä. Puun koon tai iän lisääntyessä sen kyky parantaa kasvuaan ojituksen jälkeen heikkeni, tosin iän merkitys varsinkin läpimitan kasvun elpymisessä todettiin vähemmän tärkeäksi.

Seppälä (1969) korosti kuitenkin iän merkitystä kuvatessaan puiden sädekasvun elpymiseen vaikuttavia tekijöitä. Puulaji, kasvupaikka, koko ojitushetkellä ja ikä ojitushetkellä määräsivät elpymisreaktion nopeuden, voimakkuuden ja keston silloin, kun ojitusteho ei rajoittanut puiden kasvua.

Joka tapauksessa jo varhaisimpien selvitysten ja käytännön havaintojen perusteella alkoi 1930-luvulla olla käsitys siitä, että varsinkin rämeillä oli usein tarpeen tehdä ojituksen yhteydessä jonkinlainen hakkuu, jossa poistetaan elpymiskyvyttömiksi arvioituja vanhoja suurikokoisia puita (esim. Lukkala 1940). Käytännössä hakkuusta muodostuu poimintahakkuun luonteinen, jolloin poistettavat puut ovat metsi-

kön kookkaimpia ja vanhimpia. Usein samassa yhteydessä voidaan tehdä taimikonhoitotyö. Koska luonnontilaisilla soilla pienikokoisten puiden lukumäärä on suurin ja turvemaat ovat ojituksen jälkeen alttiita uudistumaan luontaisesti, eivät hakkuut pitkällä aikavälillä aiheuta vajaapuustoisuutta, vaan päinvastoin tasaavat epätasaista lähtöpuustoa. Metsikkötaloudessa tavoiteltava, puustoltaan homogeeninen kuvio on tällä tavalla mahdollista saavuttaa nopeammin.

Tutkimuksia, joissa olisi vertailtu ojitushetkellä hakatun ja hakkaamatta jätetyn metsikön kehitystä ojituksen jälkeen, on julkaistu vain yksi. Paarlahti & Takamaa (1984) tarkastelivat Vilppulan Jaakkoinsuon koeojitusalueella kestokoealaparin puustojen kehitystä ja tulivat siihen tulokseen, että varsinkin iäkkään isovarpuisen rämeen puuston uudistaminen avohakkuulla ja kylvöllä antoi suuremman kokonaistuotoksen noin 65 vuodessa kuin lähtöpuuston kasvatus. Tulosta on vaikea kovin pitkälle yleistää.

Ojituksen yhteydessä tehtävän hakkuun peruste on luonnollisesti taloudellinen. On tehtävä ratkaisu siitä, kannattaako kuviolla esiintyvää puustoa kasvattaa vai tulisiko se korvata nuoremmalla ja elinvoimaisemmalla. Lisäksi hakkuun tavoitteisiin voidaan lukea kasvatettavan metsikön puulajisuhteiden ohjailu. Hakkuuta puoltavat välitön tulo, joka vähäisen poistuman vuoksi tosin ei ole kovin suuri sekä jälkeen jäävä tasaisempi ja kasvuisampi puusto, jonka voi odottaa kehittyvän nopeammin ja ilman elpymättömien ylispuiden vaatimaa, huonosti käytettyä kasvutilaa. Koska ojalinjat joka tapauksessa aukaistaan hakkuilla ennen kaivutyötä, on luonnollista tehdä kunnostushakkuu samalla kertaa. Hakkuusta kuitenkin seuraavat puustopääoman pienentymisestä aiheutuva kasvun pienentyminen ja mahdollisesti harvennus- ja päätehakkuutulojen siirtyminen myöhemmäksi. Epävarmuus siitä, mikä osa puustosta olisi ollut elpymiskyvytöntä, vaikeuttaa ratkaisua.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on vertailla ojitushetkellä eri voimakkuudella hakattujen koealojen puuston kehitystä. Tarkastelu perustuu kestokoeala-aineistoon, jota on seurattu säännöllisin mittauksin vuosikymmenien ajan ojituksen jälkeen.

Aineisto ja menetelmät

Metsäntutkimuslaitos perusti 1910-luvulta lähtien ojitetuille soille eri puolille maata kestokoealoja, joiden tarkoituksena oli seurata puuston tuotosta ojituksen jälkeen. Usein tuotosta vertailtiin koealaparilla tai muutaman osakoealan muodostamalla rypäällä, joilla oli tehty erilaisia hakkuita ojituksen yhteydessä. Tavoitteena oli nimenomaan saman suotyypin puitteissa selvittää lähes samanlaisten lähtöpuustojen kehitystä erilaisten käsittelyjen jälkeen. Edellä mainittu Vilppulan Jaakkoinsuo on laajimpia tarkoitukseen perustettuja alueita.

Tässä tutkimuksessa käytetään Kolarin Teuravuomalle 1932 perustettuja kestokoealoja. Teuravuomalle tehtiin noin 2 000 ha:n laajuinen

metsäojitus vuosien 1931 ja 1932 aikana. Ojitetusta alueesta valtaosa oli rämeitä, jotka olivat suotyypiltään lähes pelkästään varsinaisia lettorämeitä. Sarkaleveys vaihteli 80–200 metriin.

Ojituksen yhteydessä perustettiin useita kymmeniä kestokoealoja eri suotyypeille puuston ojituksenjälkeisen tuotoksen ja ojituksen yhteydessä tehdyn metsänviljelyn tuloksen seuraamiseksi. Järjestettyä koetta ei kuitenkaan perustettu. Kaikilla tuotoskoealoilla mitattiin ojitushetken puusto. Tämän jälkeen osalla koealoista tehtiin hakkuita, jolloin mitattiin myös poistuma ja jäävä puusto. Mittaukset ja puuston käsittelyt ovat toistuneet lähes säännöllisesti kymmenen vuoden välein. Viimeisin mittaus on tehty 1989, mutta tarkastelujakso yltää vuoteen 1981 siitä syystä, että 1980-luvun myrskyjen aikana kaikkea poistumaa ei saatu mitattua, eivätkä viimeisen mittauksen tuotosluvut ole täysin luotettavia.

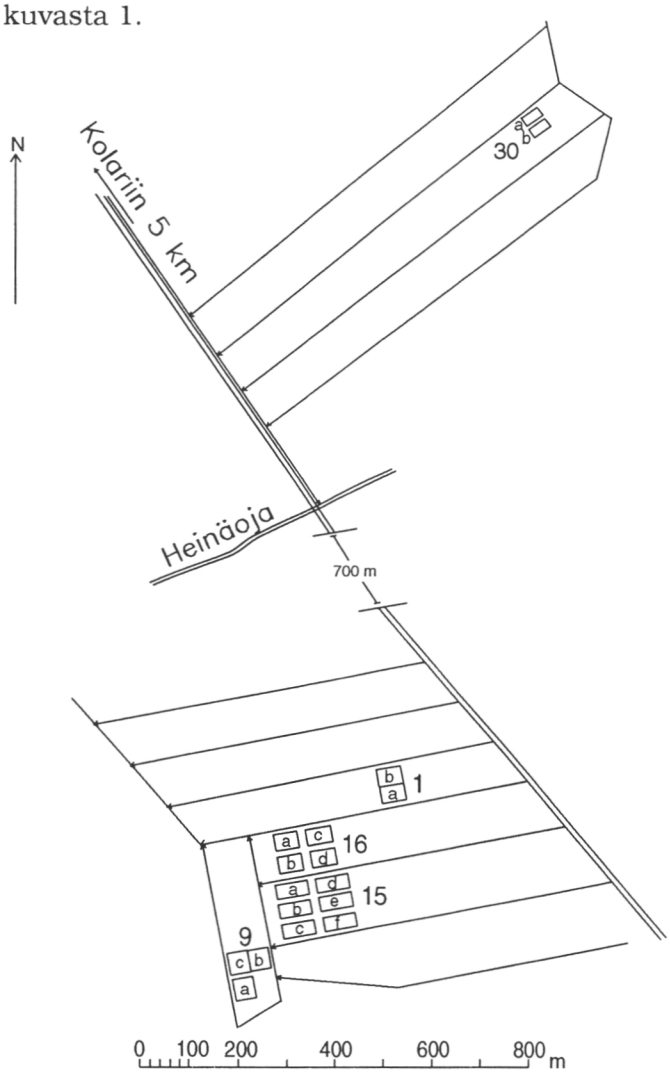
Koealojen käsittelyt eivät olleet säännönmukaisia, mutta ne vaihtelivat lievästä kunnostus- tai harvennushakkuusta avohakkuuseen verrattavaan voimakkaaseen ylispuuhakkuuseen (taulukko 1). Osalla ojitushetkellä hakkaamattomiksi jätetyistä koealoista oli tehty hakkuita ensimmäisen tai toisen kasvujakson jälkeen. Puhdasta vertailua eri hakkuukäsittelyille ei ole, koska yksikään koeala ei ole jäänyt täysin käsittelemättä tarkastelujakson aikana.

Taulukko 1. Aineiston osakoealojen puusto ojitushetkellä, puuston käsittely ja osakoealojen sijainti saralla.

Koeala Osakoeala	Puuston laatu	1932/33 m^3/ha	Aika	Hakkuu tapa[1)]	Voim. (%)	Sijainti saralla
1a	kasvuisa	17,0	-32	kh	52	reuna
1b	"	17,9	-32	kh	9	"
9a	kituva	18,6	-32	kh	78	"
9b	"	13,2	-32	–	0	"
9c	"	23,1	-43	ah	97	"
15a	kituva	12,1	-43	ah	94	"
15b	"	20,7	-32	ah	100	keski
15c	"	18,1	-43	ah	94	reuna
15d	"	20,5	-43	hh	15	"
15e	"	19,1	-43	hh	15	keski
15f	kasvuisa	19,6	-32	kh	54	reuna
16a	kituva	17,7	-43	ah	97	"
16b	"	16,4	-43	kh	11	"
16c	"	19,3	-43	kh	50	"
16d	"	15,3	-32	ah	100	"
30a	kasvuisa	23,0	-33	kh	69	"
30b	"	30,4	-43	kh	4	keski

[1)] ah = avohakkuu, hh = harvennushakkuu, kh = kunnostushakkuu, – = ei hakattu

Tarkasteluun valittiin koealoja, joiden osakoealoista pyrittiin muodostamaan suotyypiltään, lähtöpuustoltaan ja ojitusteholtaan yhtenäisiä, kahden tai useamman osakoealan ryhmiä. Tällöin oletettiin, että erot tuotoksessa aiheutuivat etupäässä siitä, miten puustoa oli käsitelty ojitushetkellä. Koska puuston kehitys riippuu myös lähtöpuuston rakenteesta, joka taas saattaa vaihdella huomattavasti eri osakoealojen välillä suotyypistä tai käsittelystä riippumatta, ei kaikkea vaihtelua voida tästä syystä selittää hakkuilla. Silti koealoja vertailemalla saadaan kuva siitä, miten puusto ojituksen yhteydessä tehdyn hakkuun jälkeen kehittyy. Kaikkiaan mukana on 17 osakoealaa, jotka kaikki ovat lettorämeitä (taulukko 1). Koealojen ja osakoealojen sijainti koealueella on nähtävissä kuvasta 1.



Kuva 1. Aineiston kestokoealojen ja osakoealojen sijainti.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Kokonaistuotoksen kehitys

Ensimmäinen tarkasteltava muuttuja on puuston kokonaistuotos, johon on lisätty lähtöpuusto ja tuotos jakson aikana. Kokonaistuotos on laskettu mittaushetken puuston ja aiemman hakkuu- tai luonnonpoistuman summana.

Koealan 1 osakoeala a käsiteltiin ojitushetkellä voimakkaalla kunnostushakkuulla ja osakoeala b hyvin lievällä kunnostushakkuulla, jossa poistettiin joitakin suurimpia puita. Kuivatuksen, suotyypin ja lähtöpuuston tilavuuden suhteen osakoealat olivat varsin samanlaisia. Osakoealan b puusto oli ennen hakkuuta kuitenkin hieman kookkaampaa. Kokonaistuotoksen kehityksessä (kuva 2a) osakoeala a jäi pienemmän puustopääoman vuoksi osakoealan b kehityksestä alussa jälkeen. Toisaalta osakoealan b puusto reagoi hyvin ojitukseen. Tuotosten ero kasvoi vuoteen 1966 saakka, mutta viimeisellä jaksolla se pieneni. Koealalla 1 osakoealalla a tehty hakkuu lienee ollut tarpeettoman voimakas, koska hyvin lievästi käsitelty osakoeala b kehittyi ojituksen jälkeen hyvin, eikä osakoealan a puusto sitä saavuttanut.

Koeala 9 koostuu kolmesta osakoealasta, joista b säilyi lähes hakkaamattomana aina vuoteen 1958 saakka. Kuivatustilanne osakoealoilla oli yhtenäinen, mutta lähtöpuustossa ojitushetkellä samoin kuin hakkuukäsittelyissä oli eroja (taulukko 1). Kaikkein voimakkaimmin puusto oli kehittynyt osakoealalla a, joka käsiteltiin voimakkaalla kunnostus-ylispuuhakkuulla vuonna 1932 (kuva 2b). Heikointa kehitys oli ollut hakkaamattomalla osakoealalla b. Osakoealan c puusto oli kehittynyt vuonna 1943 tehdyn hakkuun jälkeen hieman paremmin kuin osakoealan b. Luontaiset erot puustossa ennen ojitusta viittaavat siihen, ettei tuotoserojen voida kokonaan olettaa aiheutuvan käsittelystä. Todennäköisempää on, että erityisesti osakoealan b heikko tulos aiheutuu heikommasta kasvupaikasta.

Koeala 15 käsittää kuusi osakoealaa (a–f). Näistä osakoealalla a on ollut selvästi vähäisin puusto ojitushetkellä, sen sijaan muut osakoealat ovat olleet puustoisuudeltaan melko samanlaisia. Puuston käsittely on ollut varsin kirjavaa (taulukko 1). Kokonaistuotoksen kehitys on ollut lähes identtistä osakoealoilla a, b ja c (kuva 2c). Kaikilla tehtiin erittäin voimakas hakkuu joko vuonna 1932 tai 1943. Selkeästi muita heikompi on ollut osakoealojen d ja e kehitys. Tähän löytyy selitys ojitushetken kasvupaikkakuvauksesta, jossa todetaan, että erityisesti osakoealalla e oli laajahkoja rimpiä. Suotyyppi ei siis ole sama kuin muilla osakoealoilla. On ilmeistä, että rimpisyys vaivaa myös osakoealaa d. Osakoealan f selvästi muita nopeampi puuston alkukehitys johtunee kunnostushakkuussa jätetystä puustopääomasta, joka on koostunut elpymiskykyisistä puista. Merkittävää on, että viimeisellä jaksolla osakoealojen a, b ja

c puustot ovat kehittyneet osakoealaa f nopeammin ja kokonaistuotoksessa saavuttaneet sen.

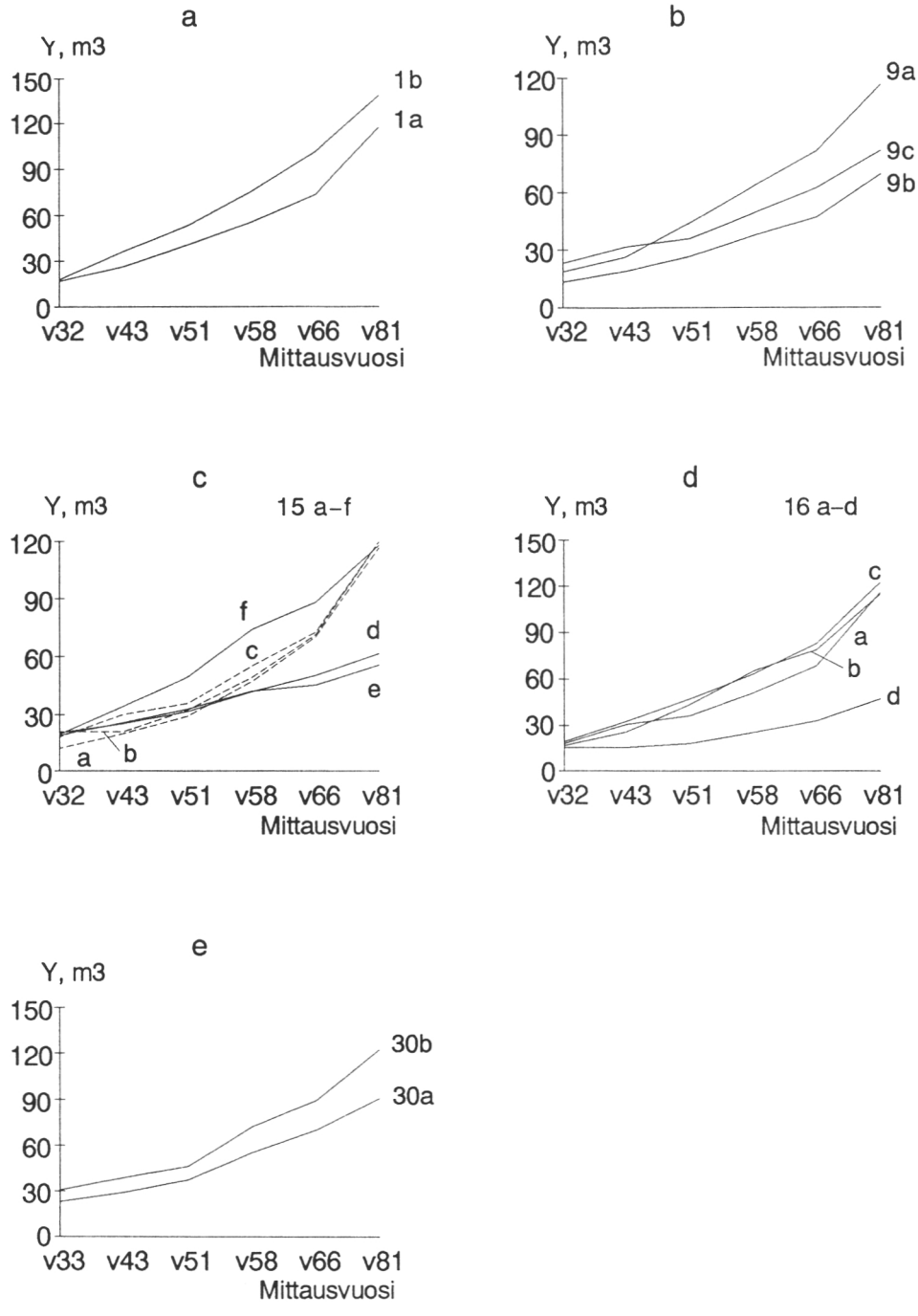
Koealan 15 osakoealat on sijoitettu siten, että osakoealat b ja d sijaitsevat 140 m leveän saran keskellä keskimäärin kaksi kertaa kauempana ojasta kuin muut osakoealat, ja niiden kuivatusteho on siten muita heikompi. Silti kuivatustehon vaikutus ei näy puuston tuotoksessa, koska osakoealan b kehitys ei poikkea lainkaan kuivempien osakoealojen a- ja c kehityksestä eikä osakoealan d kehitys juuri poikkea sen kanssa vertailukelpoisen osakoealan e kehityksestä. Toisin sanoen leveä sarka näyttää tarjonneen tuotoksen kannalta varsin tasaisen ja riittävän kuivatuksen koko saran alalle.

Koeala 16 koostuu neljästä osakoealasta, a–d. Osakoeala c on ollut lähes käsittelemätön, muita on hakattu (taulukko 1). Parhaiten kokonaistuotos on kehittynyt osakoealalla c, jolla tehtiin voimakas harvennus 1943 (kuva 2d). Lähes samalla tavalla on lisääntynyt tuotos osakoealalla b, jolla on koko jakson aikana on tehty hyvin vähän hakkuita. Vuonna 1943 tehty avohakkuu on hidastanut osakoealan a kokonaistuotoksen kehitystä. Kaikkein heikoimmin on tuottanut ojitushetkellä uudistetun osakoealan d puusto. Koska se sijaitsee heikosti tuottaneiden osakoealojen 15d ja 15e läheisyydessä, lienee heikko kasvu seurausta muita osakoealoja huonommasta, rimpisestä kasvupaikasta.

Koeala 30 on edellisistä erillään, ns. Pikku-Tarvasen alueella, ja se koostuu kahdesta osakoealasta. Ojitushetkellä osakoeala b on ollut selvästi osakoealaa a puustoisempi. Osakoealaa b on hakattu vain hyvin vähän koko jakson aikana ja sen kokonaistuotos on lisääntynyt hieman nopeammin kuin kunnostushakatulla osakoealalla a, selvimmin viimeisellä osalla (kuva 2e). Tuotoksen kehitys on kuitenkin ollut varsin yhdenmukaista. Vaikka osakoealan b sijainti saran keskellä on kuivatuksen suhteen epäedullisempi, se ei ilmene tuotoksessa.

Taulukossa 2 on vertailtu osakoealoja, joiden puuston tuotos on osoittanut voimakkainta reaktiota ojitukseen, ts. ojituksenjälkeinen puuntuotos on ollut 92–120 m^3. Tällaisia osakoealoja oli 11 kpl. Nämä jaettiin hyvin lievästi käsiteltyihin, ojitushetkellä tai vuonna 1943 kunnostushakattuihin sekä ojitushetkellä tai vuonna 1943 avohakattuihin. Lievästi käsiteltyjä oli kolme (1b, 16b ja 30b), kunnostushakattuja neljä (1a, 9a, 15f ja 16c) ja avohakattuja neljä (15a, 15b, 15 c ja 16a).

Luonnontilaisten osakoealojen kokonaistuotos näyttää olevan hieman suurempi kuin hakkuin käsiteltyjen. Kunnostus- ja avohakkuun tuotos on lähes yhtä suuri. Lähtöpuustosta riippumaton vertailu saadaan tutkimalla vain ojituksenjälkeistä tuotosta. Tällöin erot ovat käytännössä olemattomat. Kokonaistuotoksen, lähtöpuuston ja ojituksenjälkeisen tuotoksen välisiä eroja testattiin varianssianalyysillä. Minkään muuttujan suhteen ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri käsittelyiden välillä (taulukko 3). Näyttää siis siltä, että tarkasteltaessa tilannetta 50 vuoden kuluttua ojituksesta ei ojituksen yhteydessä tai kymmenen vuotta sen jälkeen tehty hakkuu ole aiheuttanut eroja metsiköiden tuotokseen.



Kuva 2 a–e. Kokonaistuotoksen kehitys eri osakoealoilla vuosina 1932/33–1981.

Taulukko 2. Kokonaistuotos (Y), lähtöpuusto (Vo) ja tuotos ojituksen jälkeen (Y-Vo) luonnontilaisilla, kunnostushakatuilla ja avohakatuilla osakoealoilla.

Käsittely	Osakoeala	Y	Vo m3/ha	Y-Vo
Luonnon-	1b	138,3	17,9	120,4
tilaiset	16b	114,6	16,4	98,2
	30b	122,5	30,4	92,1
	Keskiarvo	125,1	21,6	103,6
Kunnostus-	1a	117,2	17,0	100,2
hakatut	9a	116,7	18,1	98,6
	15f	118,1	19,6	98,5
	16c	122,2	19,3	102,9
	Keskiarvo	118,6	18,5	100,1
Avohakatut	15a	116,5	12,1	104,4
	15b	119,7	20,7	99,0
	15c	119,9	18,1	101,8
	16a	115,5	17,7	97,8
	Keskiarvo	117,9	17,2	100,8

Taulukko 3. Kokonaistuotoksen, lähtöpuuston ja ojituksenjälkeisen tuotoksen varianssianalyysitulokset.

Muuttuja	F-arvo	Vap.ast	p-arvo
Y	1,292	2	0,326
Vo	0,846	2	0,464
Y-Vo	0,190	2	0,831

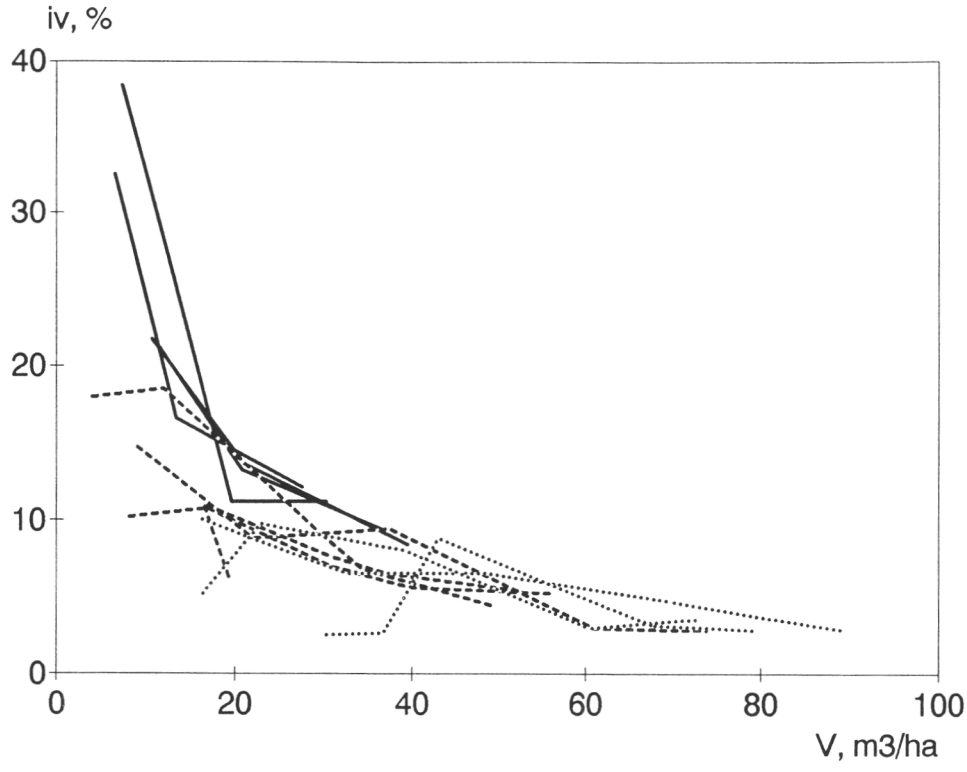
Kasvuprosentin kehitys

Tarkastelemalla tilavuuskasvun sijasta kasvuprosentin kehitystä eri mittausjaksoilla eri osakoealoilla voitiin vertailla puustojen kasvukykyä. Normaalisti kasvuprosentti muodostaa tilavuuden funtiona laskevan J-käyrän. Pienissä tilavuuksissa kasvuprosentti on korkea, mutta vähenee myös voimakkaimmin tilavuuden lisääntyessä. Tarkastelussa olivat mukana edellä mainitut 11 parhaiten tuottanutta osakoealaa. Kasvut laskettiin peräkkäisten mittauskertojen tilavuuksien erotuksena.

Kuvassa 3 on esitetty eri osakoealojen kasvuprosentin kehitys siltä ajalta kuin kultakin oli saatavissa havaintoja. Kunkin osakoealan peräkkäiset havainnot on yhdistetty viivalla. Pienistä tilavuuksista oli

eniten havaintoja, koska avohakatuilla osakoealoilla tilavuus ei tarkastelujakson aikana ollut ehtinyt kovin suureksi. Voidaan todeta, että koko aineistossa keskimäärin oli havaittavissa kasvuprosentin yleinen laskeva muoto. Hakkuiden vaikutus oli myös selvästi nähtävissä pienissä tilavuuksissa. Kuten voitiin odottaa, oli avohakattujen osakoealojen puuston kasvuprosentti suurin. Kaikkein pienimmät kasvuprosentit pienissä tilavuuksissa olivat luonnontilaisilla osakoealoilla. Kunnostushakattujen osakoealojen kasvut sijoittuvat edellisten väliin. Suuremmissa tilavuuksissa ei eroja eri käsittelyjen välillä ollut juuri havaittavissa.

Kuvan perusteella voitiin todeta, että hakkuiden vaikutus puuston kasvukykyyn oli ollut odotettu; niissä oli poistettu heikosti elpyvää puustoa, ja jäljelle jäänyt puusto oli nuorempaa ja kasvukykyisempää, joten samaa tilavuutta vastaava kasvuprosentti oli korkeampi.



Kuva 3. Parhaiten tuottaneiden osakoealojen kasvuprosentin kehitys käsittelyjen jälkeen. (Avohakatut – yhtenäinen viiva, kunnostushakatut – katkoviiva, hyvin lievästi hakatut – pisteviiva.)

Yhteenveto

Koska osakoealojen määrä oli käsittelyihin nähden kohtalaisen vähäinen eikä täysin koskemattomaksi jätetty yhtään osakoealaa, ei aineiston perusteella saada kovin selkeää tulosta hakkuun vaikutuksista. Aineisto ei myöskään perustu järjestettyyn kokeeseen, joten ei voida olla täysin varmoja siitä, kuinka hyvin eri tavalla käsitellyt osakoealat ovat olleet vertailukelpoisia puuston osalta koealojen perustamishetkellä.

Koska metsänkasvatuksen vaihtoehtoisten hakkuuohjelmien päämääränä on maksimoida taloudellinen tulos, voisi eri voimakkuudella ja eri aikoina hakatuista metsiköistä saatujen tuottojen vertaaminen tiettynä kiinteänä ajankohtana antaa selvempiäkin eroja eri käsittelyjen välille. Tuottovertailua ei tässä yhteydessä tehty useasta syystä. Tärkein oli aineiston vähäisyys, koska tuloksen yleistettävyys olisi joka tapauksessa ollut heikko. Lisäksi tehdyissä hakkuissa poistumat olivat niin pieniä, ettei hakkuita voida pitää taloudellisesti kovin järkevinä. Vain kolmella osakoealalla tehty avohakkuu tuotti yli 20 m^3/ha poistuman. Vaikka usea osakoeala oli mittausten yhteydessä käsitelty lievin harvennuksin, vasta vuonna 1981 tehdyt harvennushakkuut olivat poistuman suhteen normaaleja harvennuksia. Edelleen kantohintojen arviointi koko seurantajaksolle olisi tuottanut vaikeuksia.

Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta se, että erilaiset hakkuutavat eivät juuri olleet vaikuttaneet 50 vuoden kuluttua ojituksesta mitattuun kokonaistuotokseen. Osakoealojen väliset merkittävät erot voitiin useimmiten osoittaa kasvupaikan laadun vaihtelusta aiheutuviksi. Jos tarkastellaan vain vastaaviksi oletettuja kasvupaikkoja, näyttävät lievimmin käsitellyt osakoealat tuottaneen jakson aikana eniten. Ilmeisesti jätetty suurempi puustopääoma on kompensoinut yksittäisten puiden mahdollista heikompaa kasvua. Tämä näkyy tarkastelluissa tunnuksissa, joista kokonaistuotoksen kehitys on ajan suhteen voimakkaampaa hakkaamattomilla kuin hakatuilla, mutta saman tilavuuden kasvuprosentti on hakatuilla suurempi kuin hakkaamattomilla. Tarkastelujakson kokonaistuotosten kehityksestä voitiin havaita, että vertailtaviksi valittujen osakoealojen puuston kasvut vaihtelivat ajan suhteen. Esimerkiksi viimeisen jakson aikana koealan 15 voimakkaasti hakatut osakoealat olivat tuottaneet paremmin kuin kunnostushakattu. Tulevaisuudessa voi siis käydä niin, että suurin kokonaistuotos on osakoealoilla, joita hakattiin voimakkaasti ojituksen jälkeen.

Luonnontilaisen rämeen kaikki puut eivät kykene reagoimaan ojitukseen, jolloin osa kannattaisi poistaa hakkuissa. Onko hakkuu lyhyellä aikavälillä kannattava, riippuu siitä, kuinka suuri on poistuma. Pitkän aikavälin kannattavuus selviää vasta myöhemmin jäävän puuston tuotoksen perusteella. Tämän tutkimuksen aineisto on metsäojituksen äärialueilta, jolloin lähtöpuusto, kunnostushakkuun poistuma sekä ensiharvennuspoistuma ovat hyvin vähäisiä. Tästä syystä erot eri tavalla käsiteltyjen osakoealojen tuotoksessa eivät voi kovin suuriksi muo-

dostuakaan. Edullisemmissa oloissa tulos olisi voinut olla selvempi (vrt. Paarlahti & Takamaa 1984).

Ojitusalueilla on muistettava, että kiertoajan tuotos on aina riippuvainen ojituksen kunnosta. Tällä alueella uudisojitus toteutettiin nykynormeihin nähden varsin tehottomasti. Siitä huolimatta metsiköiden alkukehitys on ollut vähintäänkin tyydyttävä. 1960-luvun puolivälissä tehtiin ojien perkaus, jonka jälkeen kuivatus pääsi uudelleen varsin heikkoon kuntoon, kunnes 1988 tehdyssä kunnostusojituksessa sarkaleveys kavennettiin noin 50 metriin. Huolimatta alunperin suuresta sarkaleveydestä se näyttäisi olleen riittävä takaamaan yhtenäisen puuston tuotoksen koko saralla. Tulos voi selittyä ojituksen aiheuttamalla turpeen lämpöolojen muutoksella. Hyvin kuivunut turve on kylmä kasvualusta. On mahdollista, että hyvin tehokkaan kuivatuksen sijasta puuston kasvu on vähäisen lämpösumman alueella optimissaan silloin, kun kuivatus on riittävä, mutta turpeessa on myös vettä varastoimassa ja siirtämässä lämpöä (Hytönen & Silfverberg 1992).

Jotta voitaisiin paremmin vastata tässä tarkasteltuun ongelmaan, aineiston tulisi koostua järjestetystä kokeesta, jota on seurattu lähes kiertoaika. Vaikka tällaisia kokeita ei löydy, ei niitä kannattane myöskään ruveta enää perustamaan, koska ongelman merkitys vähenee sitä mukaa, kuin uudisojitukset vähenevät. Tämän vuoksi ratkaisua voitaneen etsiä käyttämällä olemassaolevia aineistoja niiden puutteista huolimatta.

Kirjallisuus

Heikurainen, L. 1954. Rämemänniköiden uudistamisesta paljaaksihakkausta käyttäen. Referat: Über natürliche Verjüngung von Reisermoor-Kiefernbeständen unter anwendung von Kahlschlag. Acta Forestalia Fennica 61(27). 21 s.

— & Kuusela, K. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 55(8). 15 s.

Hytönen, J. & Silfverberg, K. 1992. Kuivatustehon vaikutus turpeen lämpöoloihin. Summary: Effect of drainage on thermal conditions in peat soil. Folia Forestalia 780. 24 s.

Lukkala, O. 1929. Tutkimuksia soiden metsätaloudellisesta ojituskelpoisuudesta erityisesti kuivatuksen tehokkuutta silmälläpitäen. Referat: Untersuchungen über die waldwirtschaftliche Entwässerungsfähigkeit der Moore. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 15(1). 278 s.

— 1937. Nälkävuosien suonkuivatusten tuloksia. Referat: Ergebnisse der in den Hungerjahren angelegten Moorenwässerungen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 39(6). 82 s.

— 1940. Metsämiehen suo-oppi. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki. 190 s.

Multamäki. S. 1923. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsänkasvusta. Referat: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerten Torfböden. Acta Forestalia Fennica 27(1). 121 s.

Paarlahti, K. & Takamaa, H. 1984. Ojituksen vaikutus puuston tuotokseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 156: 22–28.

Seppälä K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Post-drainage growth rate of Norway spruce and Scots pine on peat. Acta Forestalia Fennica 93. 88 s.

Tanttu, A. 1915. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsittymisestä. Referat: Studien über die Aufforstungsfähigkeit der entwässerten Moore. Acta Forestalia Fennica 15(2). 211 s.

Rovaniemen tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan julkaisut:

N:o 6 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1981. 1981.

N:o 35 Päivi Hänninen. Sammalen kemiallinen torjunta taimitarhalla. 1981.

N:o 58 Pohjois-Lapin metsät. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1982. 1982.

N:o 65 Yrjö Norokorpi ja Pentti Sepponen (toim.). Kilpisjärven alueen maankäytön yleissuunnitelma. 1982.

N:o 71 Päivi Hänninen. Alustavia päätelmiä kivivillan käytöstä männyntaimen kasvualustana muovihuoneessa. 1982.

N:o 77 Pohjois-Lapin metsien uudistaminen. 1982.

N:o 95 Jarmo Nieminen. Varttuneet kontortametsiköt Kivalon kokeilualueella. 1983.

N:o 105 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983. 1983.

N:o 148 Pentti Sepponen, Vuokko Pitkänen ja Helena Poikajärvi (toim.). Metsien kasvupaikkaluokitus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984. 1984.

N:o 157 Erkki Kaila ja Markku Taipale. TUTKA-tiedonhallintaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.

N:o 165 Eero Tikkanen ja Hannu Raitio. Pohjois-Suomen aurausalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettamus sen syistä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland. 1984.

N:o 186 Eero Tikkanen. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Abstract: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. 1985.

N:o 190 Erkki Kaila, Hilkka Kinnunen ja Tapio Timonen. BIB-viitetietokantaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1985.

N:o 196 Olli Saastamoinen ja Helena Poikajärvi (toim.). Tietojärjestelmien kehittäminen metsäalalla. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1985. 1985.

N:o 226 Timo Penttilä ja Mikko Honkanen. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. 1986.

N:o 242 Esa Taskinen ja työryhmä. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset - kirjallisuuskatsaus. 1986.

N:o 243 Timo Penttilä ja Martti Varmola (toim.). Lapin kolmion puuntuotannolliset mahdollisuudet. 1987.

N:o 253 Helena Poikajärvi (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1986. 1987.

N:o 278 Hannu Saarenmaa ja Helena Poikajärvi (toim.). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. 1987.

N:o 345 Anna-Liisa Sippola. Suojelualuetyypit ja kansallispuistojen suojelun toteuttaminen - kahdeksan esimerkkiä. 1989.

N:o 347 Martti Varmola ja Pertti Palviainen (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. 1990.

N:o 362 Martti Varmola ja Tuija Katermaa (toim.). Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. 1990.

N:o 373 Eero Tikkanen and Martti Varmola (eds.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the U.S.S.R. A seminar held in Kuusamo. Finland, 25-26 May 1990. 1991.

N:o 378 Pentti Vitikka, Heikki Posio & Hannu Saarenmaa. Hyönteistuhoriski keinotekoisessa ylispuiden kelouttamisessa. Summary: Bark beetle damage in conjunction with artificial snag production in Finnish Lapland. 1991.

N:o 407 Hannu Salminen & Tuija Katermaa (eds.). Simulation of Forest Development. Presentations from a symposium held in Saariselkä, Finland, October 12-14, 1991. 1992.

N:o 410 Anna-Liisa Sippola & Juha-Pekka Rauhala. Acerbin keinosta Jerisjärven tielle. Pallas-Ounastunturin kansallispuiston historiaa. 1992.

N:o 413 Heikki Kauhanen & Martti Varmola (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Abstract: The Lapland Forest Damage Project – Interim report. 1992.

N:o 427 Heikki Eeronheimo, Risto Virtanen, Anna-Liisa Sippola, Pentti Sepponen, Sinikka Salmela & Raimo Pikkupeura. Pallas-Ounastunturin kasvillisuus – Ounastunturin Pyhäkeron alue. 1992.

Rovaniemi 1992
ISBN 951-40-1256-9
ISSN 0358-4283