



Ekometsänhoidon perusteet ja mallit

Erkki Lähde, Olavi Laiho ja Yrjö Norokorpi

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

08.07.99

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 736, 1999

Ekometsänhoidon perusteet ja mallit

Erkki Lähde, Olavi Laiho ja Yrjö Norokorpi

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999. Ekometshänhoidon perusteet ja mallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 736. 61 s. ISBN 951-40-1685-8, ISSN 0358-4283.

Tutkimuksessa tarkastellaan kirjallisuuteen sekä kokeellisiin ja inventointi-aineistoihin perustuen ekometshänhoitoa ja sen perusteita sekä esitetään kasvatusmalleja. Ekometshänhoidolla tarkoitetaan sellaista metsänhoitoa ja metsänkäsittelyä, jolla noudatetaan mahdollisimman hyvin metsäluonnolle ominaista kehitystä, rakennetta ja monimuotoisuutta sekä huolehditaan samalla pitkällä aikavälillä korkealaatuisesta ja taloudellisesta puuntuotannosta tasapainoisesti yhdessä metsän muiden käyttömuotojen kanssa. Metshikön rakenteen edustava ja helposti mitattava luokittelu perustuu runkolukujakauman laajuuteen ja muotoon. Erirakenteisia metsiköitä, joissa on kaikenkokoisia puita, esiintyy metsäluonnossa monikertaisesti enemmän kuin tasarakenteisia, joissa puita on vain suppeahkolla läpimittalaajuudella. Erirakenteisten alaryhmiä ovat säännöllisen erirakenteiset, kupevan erirakenteiset eli läpimittaluokkajakaumaltaan normaalijakaumaa muistuttavat, kaksijaksoiset ja epäsäännöllisen erirakenteiset metsiköt. Kaikkein yleisimpien, säännöllisen erirakenteisten runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J-kirjainta eli puiden lukumäärä vähenee suhteellisen tasaisesti läpimitan suuressa. Tällainen rakenne on parhaiten luonnonmukainen, koska se vastaa luontaisten sekametsien rakennetta ja dynamiikkaa. Se on myös puustoltaan monimuotoinen. Säännöllisen erirakenteinen metsä muodostaa ekologisten käsittelymallien perustan. Niihin pohjautuvat puittainen ja ryhmittäinen jatkuva kasvatusta ovat ekometshänhoidon päämenetelmiä.

Avainsanat: luonnonmukainen metsänhoito, jatkuva kasvatusta, metsän rakenne, monimuotoisuus, sekametsä

Vastaavan kirjoittajan yhteystiedot: Erkki Lähde, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa, puhelin (09) 85705480.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, hankkeet 3026, 3158, 3205 ja 3213.

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 5.5.1999.

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa, puh. (09) 857051

Painettu asiakkaan originaaleista

Gummerus Kirjapaino Oy
Saarijärvi 1999

Sisällys

1 TAUSTAA	5
2 KIRJALLISUUSKATSAUS.....	6
2.1 Metsien rakenne ja kehitys	6
2.2 Varttuneen metsän hoidon perusteet	11
2.3 Metsän monimuotoisuus	13
3 MAASTOAINEISTOT.....	15
3.1 Inventointiaineistot.....	15
3.2 Kenttäkoeaineistot	17
3.3 Tulokset ja niiden tarkastelua.....	22
3.3.1 Metsiköiden rakenne ja monimuotoisuus	22
3.3.2 Erirakenteisten metsiköiden puuntuotos	25
3.3.3 Erirakenteisten metsiköiden alikasvos ja uudistuminen	27
3.4 Mallien kehittäminen	29
3.4.1 Metsänkäsittelyn valinta	29
3.4.2 Hakkuunjälkeinen puustomalli	30
3.4.3 Hakkuuta edeltävä puusto.....	32
3.4.4 Mallien testaaminen	32
4 EKOMETSÄNHOIDON OHJEET.....	36
4.1 Yleistä	36
4.2 Erirakenteiset metsät.....	37
4.2.1 Säännöllisen erirakenteiset.....	37
4.2.2 Muut erirakenteiset.....	38
4.3 Tasarakenteisten puustojen erirakenteistaminen.....	39
4.3.1 Harvennuspuustot	39
4.3.2 Uudistuskypsät puustot	39
5 YHTEENVETO.....	40
KIRJALLISUUTTA.....	42

1 Taustaa

Ympäristön tilan heikkeneminen saastuttamisen ja luonnon voimaperäisen käsittelyn seurauksena on voimistanut huolta ympäristöstä ja sen myötä vaatimuksia ottaa käyttöön kaikessa luonnon käsittelyssä nykyistä varovaisempia ja puhtaampia menetelmiä (Schmidt ym. 1997). Maataloudessa tähän tavoitteeseen pyritään esimerkiksi luomutuotannolla. Myös metsätaloudessa on kehitetty luonnonmukaisia menetelmiä (Lähde ym. 1985, Lähde 1986, 1991, 1992b, 1993, Pennanen 1994, 1996, Lähde ja Norokorpi 1995, Norokorpi ja Lähde 1996, Hagner 1998, Helliwell 1999, Lähde ym. 1999a, b). Sinänsä nämä menetelmät eivät ole kokonaisuudessaan uusia, sillä jo viime vuosisadan puolella on mm. Keski-Euroopassa esitetty samankaltaisia vaihtoehtoja (Borggreve 1891, Tichy 1891, Landolt 1895, Gayer 1898, Biolley 1901).

Puuntuotanto on edelleen laajoilla metsäalueilla tärkein metsän käyttömuoto. Yhä tärkeämmäksi ovat kuitenkin tulleet metsän muut käyttömuodot ja suojelutarpeet (Spathelf 1997). Äärevissä luonnonoloissa metsän säilyttäminen suojavyöhykkeenä on aina koettu tärkeäksi. Siinä mielessä meillä Suomessa on perustettu Lapin suojametsävyöhyke ja toisaalta rajoitettu lakimetsien ja muiden korkeiden alueiden sekä saaristojen hakkuita. Sallituissa hakkuissa on korostettu varovaisuusperiaatetta mm. hitaan ja epävarman uudistumisen ja ekologisten riskien vuoksi (Veijola 1998). Myös maisemalliset, kulttuuriset ja muut monikäyttöön liittyvät tekijät ovat korostuneesti nousseet esille.

Ympäristön tilan vähittäinen heikkeneminen ja kasvihuoneilmaston voimistuminen saasteiden vuoksi edellyttävät sellaista metsien hoitoa, jolla niiden ekologinen kestävyys pysyisi mahdollisimman korkealla tasolla (Znerold 1988). Yhden puulajin puustoilla eli monokulttuureilla on yleensä todettu olevan heikompi kestävyys monenlaisia tuhoja, kuten tuuli-, hyönteis- ja sienituhoja, vastaan sekä huonompi toipumiskyky tuhojen jälkeen verrattuna sekametsiköihin (Ewel 1986, Halpern 1988, Hunter 1990, Nilsson ja Ericson 1992, Larsen 1995, De Grandpre ja Bergeron 1997, Küssner 1997). Metsikön rakennetta kaavamaisesti tasaavat ja yhtä puulajia suosivat hakkuut johtavat metsäekosysteemin yksipuolistumiseen mm. lajistollisella, rakenteellisella, maisemallisella ja ajallisella tasolla (Franklin ym. 1989, Hunter 1990, Hansen ym. 1991, Fährer 1995) ja heikentävät metsikön puulaji- ja kokonaisdiversiteettiä sekä metsikön horisontaalista ja vertikaalista rakennetta (Norse 1986, Steventon 1994, Lähde ym. 1995).

Kritiikki voimaperäistä metsänkäsittelyä, erityisesti avohakkuuta vastaan on voimistunut samanaikaisesti, kun eri puolilla maailmaa on alkanut tulla esiin sellaisten metsänhoitomenetelmien huonoja puolia (Znerold 1988, Clark ja Stankey 1991, Lähde 1991, Hagner 1992, Mattsson ja Li 1993, Pennanen 1994, 1996, Haveraaen 1995). Kritiikki on kohdistunut edellä mainittujen ongelmien lisäksi mm. seuraaviin näkökohtiin. Avohakkuun jälkeinen uudistaminen viljelyllä, erityisesti istutuksella, on kallista (Westerberg 1995) ja tuottaa huonoa puun laatua (Huuri ym. 1987, Andreassen 1994, Agestam ym. 1998) ja uudistamisen epäonnistumisetkin ovat yleisiä (Oikarinen ja Norokorpi 1986, Saksa 1992, Westerberg 1995). Myös avohakkuu- ja tai-

mikkoalueiden sekä monokulttuurien monikäyttöarvo on huono (Hasse ja Ek 1981).

Erityisesti metsänomistajat, mutta myös metsäammattilaiset ovat aiempaa enemmän kiinnostuneita luonnonmukaisesta metsänhoidosta (Haveraaen 1995). Kuluttajat ja sitä myötä puuvalmisteiden ostajat vaativat yhä yleisemmin tietoa siitä, miten metsää, josta raaka-aine on peräisin, on käsitelty (Westerberg 1995). Erityisesti korostetaan, että raaka-aine ei saa olla peräisin vanhoista, suojeltaviksi ajatelluista metsistä. Myöskin avohakkuu haluttaisiin kieltää (Pennanen 1996). Kiinnostus metsän jatkuvasti peitteellisenä säilyttäviin menetelmiin onkin lisääntynyt (Kabzems ja Lousier 1992).

Vaihtoehtoisten ja ekologisempien metsänkätön menetelmien edistämiseksi on perustettu uusia organisaatioita ja liikkeitä, joissa on jäseninä metsänomistajia, metsäammattilaisia, tutkijoita ja muita metsistä kiinnostuneita henkilöitä. Tunnetuin järjestö Euroopassa on Pro Silva (Frivold 1992, Kuper 1996, 1997). Brittein saarilla toimii Continuous Cover Forestry Group (Continuous ... 1992, Helliwell 1999), joka on myös liittynyt em. Pro Silvan jäsenjärjestöksi. Näiden järjestöjen metsänhoidon tavoitteet ovat tässä työssä esitettävän ekometsänhoidon mukaisia. Pohjois-Amerikassa tällaisia liikkeitä kutsutaan esimerkiksi New Forestry (Franklin 1989) tai Wholistic Forest Use (Hammond 1991). Saksassa on toiminut jo 1950-luvulta lähtien yhdistys nimeltään Arbeitsgemeinschaft Naturgemässe Waldwirtschaft (ANW), joka julkaisee pientä Der Dauerwald nimistä lehteä (Helliwell 1997). Sveitsissä ja Sloveniassa avohakkuut ovat olleet rajoitettuja jo pitkään (Dolinšek 1993). Äskettäin myös Ala-Saksissa ja Baijerissa on pyritty toimimaan Sveitsin ja Slovenian esimerkin mukaisesti (Helliwell 1997). Rion ympäristökokouksen jatkotoimenpiteenä on virallisella tasolla järjestetty mm. Euroopan metsäministerikokous Helsingissä 1993. Kokouksessa korostettiin luonnon monimuotoisuuden ja ekologisuuden huomioon ottamista metsien käsittelyssä (Ministerial ... 1993).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsien luontaista rakennetta ja kehitystä erityisesti borealisella vyöhykkeellä, hakkuiden vaikutusta niihin ja erilaisia metsän käsittelyvaihtoehtoja sekä kirjallisuustietojen että kirjoittajien tutkimusaineistojen perusteella. Yhteenvetona niistä esitetään ehdotus ekometsänhoidon menetelmiksi. Ekometsänhoidolla tarkoitetaan sellaista metsänhoitoa ja metsänkäsittelyä, jolla noudatetaan mahdollisimman hyvin metsäluonnolle ominaista kehitystä, rakennetta ja monimuotoisuutta sekä huolehditaan samalla pitkällä aikavälillä korkealaatuisesta ja taloudellisesta puuntuotannosta tasapainoisesti yhdessä metsän muiden käyttömuotojen kanssa.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Metsien rakenne ja kehitys

Metsikön rakennetta luokiteltaessa voidaan käyttää kriteerinä puiden koon vaihtelua (Fischer 1980, Lähde ym. 1991, 1994a, b, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994). Rinnankorkeuslähpimitan määrittäminen on tehtävissä hel-

posti ja tarkasti. Pituuden mittaus on jo huomattavasti vaikeampaa. Iän tarkka määrittäminen luontaisesti kehittyneistä puista on vielä työläämpää. Niinpä puiden kokoa käytetään usein iän sijasta luokittelussa, mutta menettely on epätarkka, sillä ikä ja koko eivät korreloi tarkasti keskenään (Wallmo 1897, Shugart 1984, Steijlen ja Zackrisson 1986). Puiden kasvu on yleensä riippuvaista niiden koosta (Cajander 1934, Vaartaja 1951, Tarasink ja Zwiernirski 1990). Ikäkäsote sopii erityisen huonosti sellaisiin metsiköihin, joissa puut ovat olleet jossain vaiheessa alikasvoksena (Moser 1972, Andreassen 1992, Laiho ym. 1995). Kun alikasvokset vapautetaan, ne nopeuttavat kasvuun toivuttuaan muutamassa vuodessa (Cajander 1934, Skoklefeld 1967, Bergan 1971, Koistinen ja Valkonen 1993, Mård 1997) ja saavuttavat saman loppukoon kuin koko ajan vapaassa tilassa kasvaneet puut (Näslund 1944, Leibundgut 1972, Schütz 1969, Nilsen ja Haveraaen 1984, Klensmeden 1984, Tarasink ja Zwiernirski 1990). Nuoret ja pienikokoiset puut reagoivat yleensä nopeimmin vapauttamiseen (Cajander 1934, Ferguson ja Adams 1980, Moilanen ja Saksa 1998).

Metsien rakenteen kuvauksessa on usein luokiteltu kaikki normaali-jakaumaa muistuttavat runkolukujakaumat tasarakenteisiksi tai tasaikäisrakenteisiksi (Curtis 1978, Gibbs 1978), vaikka puita on esiintynyt lähes kaikissa läpimittaluokissa (Ilvessalo 1920a, b). Smith (1962) ja Daniel ym. (1979) luokittelivat metsikön ikärakenteen myös runkolukujakauman perusteella. Näitä luokituksia soveltaen Lähde ym. (1991, 1992b) ja Laiho ym. (1995, 1999) ovat määritelleet tasarakenteisiksi ne metsiköt, joiden runkolukujakauma täyttää peräkkäin kolme neljän tai viiden senttimetrin läpimittaluokkaa. Tällöin puita voi laajimmillaan olla 15 cm:n laajuudella. Laajemman jakauman metsiköt he ovat luokitelleet eri tavoin erirakenteisiksi. Samanlaista luokitusta käytetään myös tässä tutkimuksessa.

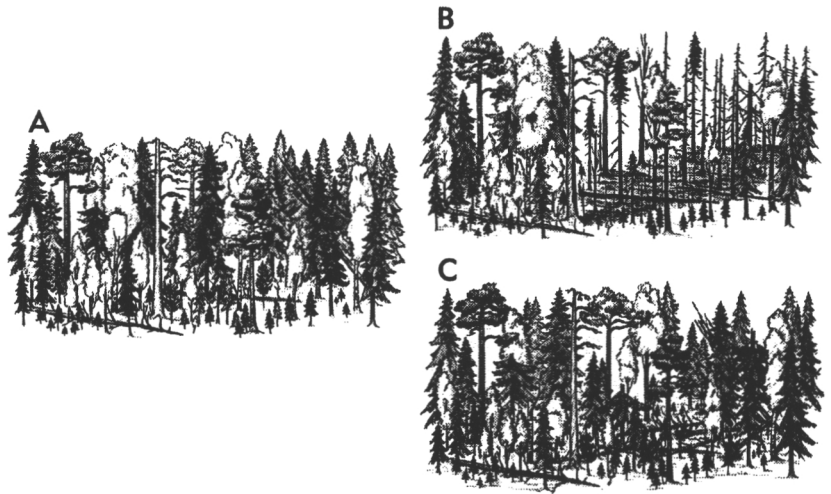
Vallinnee käsitteen mukaan on oletettu, että metsä kehittyisi aukeasta alasta vähitellen täyspuustoiseen kliimaksivaiheeseen (Clements 1916, Cajander 1926). Sen jälkeen se jälleen metsäpalon tai muun luonnontuhon seurauksena palautuisi aukeaksi (Kuusela 1990, Parviainen ja Seppänen 1994). Metsälle on siten kuviteltu voitavan määritellä selvästi erottuva elinkaari samoin kuin yksittäiselle puulle, jolla se alkaa siemenestä ja päättyy kuolemaan. Metsäekosysteemi eli metsä on kuitenkin monien lajien kokonaisuus, jossa puustolla on hallitsevin ja näkyvin osuus. Siten metsälle yhden iän määrittäminen on mahdotonta.

Uusimmat tutkimustiedot osoittavat, että ns. suuri kierto (Otto 1993, Parviainen ja Seppänen 1994) aukeasta alasta täyspuustoiseksi ja takaisin aukeaksi on metsän luontaisessa kehityksessä harvinainen poikkeustapaus. Luonnon metsäpalonkin jälkeen, joka on rajuiin metsään vaikuttava luonnonilmiö (kuva 1), jää jäljelle huomattava määrä elävää puustoa (Pöntynen 1929, Foster 1983, Lähde 1991, Nuhimovskaja 1992, Schimmel 1993). Metsäpalojen tarkastelussa sekoitetaan yleisesti luonnon ja ihmisen aiheuttamat metsäpalot ja niiden vaikutukset. Salamaniskusta syttyvä palo sammuu yleensä suhteellisen pian ukonilmaan lähes säännönmukaisesti kuuluvan sateen ansiosta. Palo leviää tuulen mukana ja polttaa vain osan luonnonvaraisesti kehittyneestä, vaihtelevan rakenteisesta puustosta (kuva 1). Jos palo sen sijaan sattuu ihmisen käsittelemään yhden puulajin tasakokoiseen ja tasaikäiseen puustoon

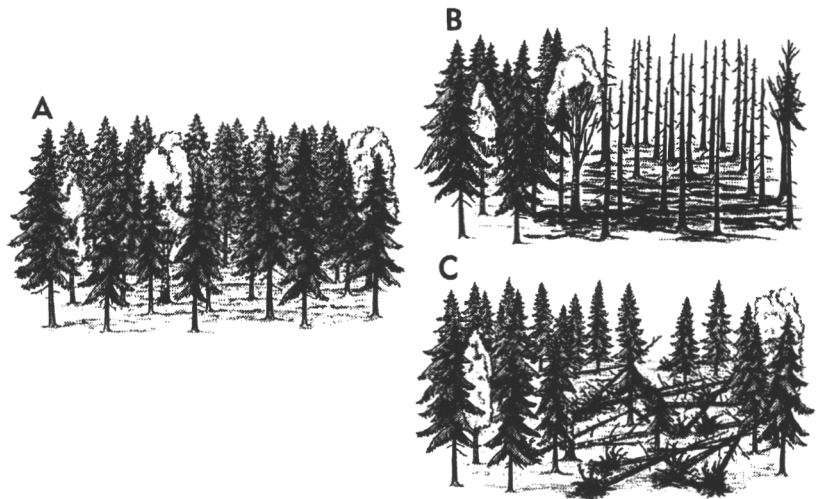
(kuva 2), se helposti tuhoutuu kokonaan (Lähde 1991). Ihmisen aiheuttama metsäpalo syttyy yleensä kuivimpana kevät- tai kesäkautena, jolloin sammuttavaa sadetta voidaan joutua odottamaan pitkään. Tällainen palo on paljon perusteellisempi kuin luonnon metsäpalo ja saattaa siten vaurioittaa vakavasti myös luonnonvaraisesti kehittyneen monimuotoisen puuston. Koe- ja näytös-tarkoituksessa järjestetyt metsäpalot eivät myöskään vastaa vaikutuksiltaan luonnon metsäpaloja, vaan ovat onnistuessaan paljon perusteellisempia. Eri syistä syttyneet metsäpalot ovat muovanneet voimakkaasti boreaalisten metsien maisemaa (Zackrisson 1977, Bergeron 1991, Johnson 1992, Vanha-Majamaa 1998).

Tilastot metsäpaloista viittaavat siihen, että todelliset luonnon metsäpalot ovat olleet esimerkiksi Pohjoismaissa suhteellisen harvinaisia (Zackrisson ym. 1995). Voimakkaimpana kaskeamiskautena ihmisen syyttämät metsäpalot toistuivat tiheästi samassakin kohteessa jopa vain muutaman kymmenen vuoden välein (Tolonen 1983, Lehtonen ym. 1996, Lehtonen 1997). Kaskeamis- ja tervanpolttokautta aiemmin metsäpalot toistuivat paljon harvemmin (Lehtonen ym. 1996, Vanha-Majamaa 1998). Sedimenttitutkimusten mukaan palojen toistuvuus on Etelä-Suomessa ollut 70–770 vuotta (Tolonen 1983). Samankaltaisia tuloksia on saatu myös Ruotsista (Zackrisson 1977, Engelmark 1983). Ihmisen aiheuttamien palojen laajuus on ollut muutamasta hehtaarista jopa tuhansiin hehtaareihin, kun taas aidot luonnon metsäpalot luonnonvaraisesti kehittyneissä metsissä ovat rajoittuneet yleensä pienemmille pinta-aloille.

Metsäpaloja ja muita muutoksia metsän kehityksessä ja rakenteessa kutsutaan häiriöiksi. Sana antaa kuitenkin luonnollisista syistä tapahtuvista ilmiöistä harhauttavan kuvan, ikäänkuin ne eivät kuuluisi metsän luonnonmukaiseen kehitykseen. Metsäpaloja vaikutuksiltaan lievempiä ovat yleensä kova tuuli tai myrsky ja muut abioottiset tuhot (kuva 1). Vaikutuksiltaan vähäalaisia ovat tavallisesti myös bioottiset tuhot, kuten sieni- ja hyönteistuhot. Niiden vaikutuksia kutsutaan pieneksi kierroksi (Otto 1993, Parviainen ja Seppänen 1994). Usein muutokset eli häiriöt ovat syy- ja seuraussuhteessa keskenään ja siten täydentävät toisiaan. Ihmisen toiminta on monesti tavalla tai toisella voimistamassa häiriöiden vaikutuksia. Tällöin metsikön sisäinen monimuotoisuus heikkenee ja uusien häiriöiden vaikutus voimistuu (Hunter 1990, Hansen ym. 1991, Steventon 1994, Coates ja Steventon 1995, Oliver 1995). Kun jokin tuho iskee käsittelyllä yksipuolistettuun metsikköön (kuva 2), sen puusto tuhoutuu helposti kokonaan (Bormann ja Likens 1979). Luontaisesti monimuotoiseen sekametsikköön jää rajunkin häiriön jälkeen tavallisesti elävää puustoa pitämään metsän pitteellisenä (kuva 1).



Kuva 1. Metsien luontaisen kehityksen (A) ja uudistumisen esimerkkitapauksia. B: metsäpalon (salama iskenyt keloon) ja C: kovan tuulen aiheuttama muutos. Piirros Ilkka Taposen.



Kuva 2. Luontaisen häiriön (B = tuli ja C = tuuli) vaikutus tasarakenteiseksi alaharvennetun metsikön (A) kehitykseen. Piirros Ilkka Taposen.

Metsän luontaisen kehityksen seurauksena boreaalisella vyöhykkeellä, jossa Suomi edustaa sekä eteläistä että pohjoista vyöhykettä, on syntynyt seka-metsiköitä. Niissä on kasvanut samanaikaisesti monenkokoisia ja -ikäisiä puita, joiden runkolukujakauma on noudattanut käännetyin J-kirjaimen muotoa (Huse 1965, Hytteborn ym. 1987, Pobedinski 1988, Bonan ja Shugart 1989, Lähde ym. 1991, 1992b, Chertov 1994, Norokorpi ym. 1994, Laiho ym. 1999). Samanlainen puuston rakenne näyttää olleen yleinen muillakin alueilla tai ilmastovyöhykkeillä (Ashton 1964, Mendoza ja Satyarso 1986, Solomon ym. 1986, Kely 1989, Watanabe ja Satohiko 1994, Benecke 1996), kuten myös Kanadan boreaalisen vyöhykkeen metsissä (Damman 1964, Day ja Harvey 1981, Heinselmann 1981, Van Cleve ja Viereck 1981, Cogbill 1985, Veblen 1986, Thorpe 1992, Groot 1995, Weetman 1995). Erityisesti on korostettu boreaalisen vyöhykkeen pohjoisosien metsien luontaista erirakenteisuutta (Heikinheimo 1922, Uppskattning... 1932, Ilvessalo 1970, Zackrisson ym. 1995, Linder ym. 1997, Östlund ym. 1997). Kuusi- ja jalokuusimetsille erirakenteisuus, jossa runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J-kirjainta, on hyvin tyypillistä (Hett ja Loucks 1976, Whipple ja Dix 1979, Poznanski ym. 1980), mutta myös männiköille se on yleistä (Norokorpi ym. 1994, Zackrisson ym. 1995). Luontaiset tasaikäiset männiköt ovat olleet vain poikkeustapauksia (Zackrisson ja Östlund 1991). Sekä luonnontilaisten että ojitettujen soiden puustot ovat nimenomaan erirakenteisia (Heikurainen 1971, Gustavsen ja Päivänen 1986, Hökkä ja Laine 1988, Hökkä ym. 1991, Morin ja Gagnon 1991, Groot ja Horton 1994, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994, 1997, Groot 1995, Hörnberg ym. 1995). Häiriöt erirakenteisissa metsissä ovat pääasiallisesti yksittäisten isojen puiden kuolemista, jolloin alikasvosta vapautuu (Stewart 1986, Hytteborn ym. 1991, Liu ja Hytteborn 1991). Niinpä pitkään säilyvä kliimaksvaihe luonnonmetsässä on lähinnä vain teoreettinen (Huse 1965, Hytteborn ym. 1987, Bonan ja Shugart 1989, Lähde ym. 1991, Norokorpi ym. 1994), sillä puusto on jatkuvan muutosprosessin alainen. Pääosa uudistumisesta tapahtuu usein periodittain (Lorimer 1980, Hytteborn ym. 1987, Payette ym. 1990). Mitä voimakkaampi häiriö on sitä runsaampaa on uudistuminen (Zackrisson 1980, Bergeron ja Brisson 1990, Korzukhin ja Antonovski 1992). Käsittelyllä tasarakenteiseksi yksipuolistettu puusto pyrkii palautumaan erirakenteiseksi (Lähde ym. 1992b, Laiho ym. 1994, 1999).

Ennen puunjalostusteollisuuden laajamittaista käynnistymistä Suomessa 1900-luvulla voimakkaammin metsien rakenteeseen ja kehitykseen vaikuttivat kaskeaminen ja tervanpoltto. Kaskeamista harjoitettiin vuosisatojen ajan (Heikinheimo 1915). Vielä tämän vuosisadan alussa vain isokokoisella puulla oli menekkiä ja tiestö oli harvaa. Vaikka puun teollinen käyttö lisääntyi, hakkuut olivat kuitenkin pitkälle 1950-luvulle asti edelleen yleisesti eriasteisia poimintahakkuita, joita kutsuttiin myös harsinnaksi (Vuokila 1984).

Keskieurooppalaisen käytännön mukaan haluttiin Suomessa ja myös muissa pohjoismaissa siirtää tasarakenteisten puustojen kasvatukseen metsätaloudessa. Niinpä eräät johtavassa asemassa olleet metsäammattilaiset laativat meillä 1940-luvun lopulla julkilausuman, jolla haluttiin kieltää ilman tieteilistä näyttöä metsien erirakenteisena kasvattaminen ja kaikkien harsintahakkuiden käyttö (Appelroth ym. 1948). Keski-Euroopassa oli säädetty aiemmin jopa lakeja, joilla erirakenteiskasvatusta kiellettiin (Kenk 1995). Vaikka

julkilausumalla ei ollutkaan Suomessa lain voimaa, sitä kuitenkin alettiin noudattaa metsän kasvatuksen ohjeissa ja metsälakia muuttamatta sen valvonassa. Alaharvennus on ollut siitä lähtien käytännössä ainoa virallisesti sallittu kasvatushakkuutapa. Uudistaminen on vaadittu tehtäväksi selväpiirteisillä uudistushakkuilla joko avohakkuulla ja viljelyllä tai luontaisen uudistamisen hakkuilla. Valtaosa Suomen nykyisistä varttuneista metsistä on tämän käytännön mukaisesti alaharvennettu ainakin kerran. Myös alikasvoksen raivaus on ollut yleistä. Metsänhoidolla on siten pyritty muuttamaan metsien luontainen erirakenteisuus tasarakenteiseksi. Samalla hakkuissa on vähennetty lehtipuiden osuutta.

2.2 Varttuneen metsän hoidon perusteet

Metsänkäsittelymenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään sen perusteella, miten ne vaikuttavat metsikön rakenteeseen eli puuston runkolukujakaumaan, sen muotoon ja laajuuteen. Ryhmät ovat siten joko rakennetta tasaavia tai eriyttäviä. Viime vuosikymmeninä vallinneen käytännön mukaan runkolukujakaumaa on kavennettu (Laiho ym. 1995). Siihen suuntaan on vaikuttettu ennen kaikkea alaharvennuksella, mutta se on mahdollista myös yläharvennuksella, jossa hakataan yleensä myös jonkin verran pieniä puita (Yli-Vakkuri 1949, Vuokila 1980, 1984). Samoin määrämittahakkuut voidaan lukea tähän tasaavien hakkuiden ryhmään, koska niillä supistetaan runkolukujakaumaa poistamalla vain isoja puita (Sarvas 1944). Ns. harsintaharvennus muistuttaa yläharvennusta. Sillä pyritään kasvattamaan mahdollisimman monesta lisävaltapuusta tukkipuun kokoisia poistamalla niiden kasvua hidastavia suurempia puita (Borggreve 1891, Vuokila 1970, 1977, 1984).

Määrämittahakkuista lukuunottamatta kaikki edellä luetellut käsittelyt johtavat kasvatushakkuiden jälkeen uudistushakkuisiin. Uudistaminen tehdään joko avohakkuulla ja viljelyllä tai luontaisen uudistamisen hakkuilla. Niitä ovat suojuspuu- ja siemenpuuhakkuut. Luontaisen uudistamisen hakkuissa ja verhopuuhakkuissa puustoa jätetään uudistusosalalle suojaamaan luontaisia tai viljelytaimia esimerkiksi hallaa vastaan. Uudistumisen alettua puusto muuttuu kaksijaksoiseksi. Se on kuitenkin vain lyhyt välivaihe, sillä ylispuut poistetaan pian uudistumisen varmistuttua. Tällöin puusto palautetaan suhteellisen tasakokoiseksi kerrokseksi ja metsänkäsittely jatkuu alaharvennuksilla. Tämä välivaihe tarjoaisi kuitenkin hyvän mahdollisuuden siirtyä kehittämään metsikköä erirakenteisuutta kohti. Jos ainakin osa kookkaampien puiden kerroksesta jätetään hakkaamatta, kaksijaksoisuus säilyy, kunnes alempi kerros saavuttaa ylemmän jakson. Tätä vaihtoehtoa muistuttaa jossain määrin viime vuosina käyttöön otettu ns. uusimuotoinen avohakkuu, jossa viljelystä huolimatta jätetään uudistusosalalle yksittäisiä säästöpuita ja erillisiä pieniä alikasvosryhmiä (Parviainen ja Seppänen 1994). Puita jää hakkuualalle kuitenkin niin vähän, että puuston peitteellisyys häviää.

Edellä kuvatuista rakennetta tasaavista käsittelyistä selkeästi poikkeavan menetelmäryhmän muodostavat ne hakkuut, joilla pyritään säilyttämään ja kehittämään puustoa erirakenteisena. Puittainen ja ryhmittäinen jatkuva kasvatus täyttävät nämä tavoitteet (Lähde ym. 1985, 1992b, 1999a, b, Lähde ja

Norokorpi 1995). Ruotsissa ensin mainittua kutsutaan pohjoisilla alueilla tunturimetsäharsinnaksi (Lindman 1984, Jeansson ym. 1989, Lundqvist 1990). Uudistaminen voi vaatia joissakin tapauksissa keskimääräistä voimakkaampaa hakkuuta (Leak ja Filip 1977). Ryhmittäinen kasvatusta sopii yleensä puitaista paremmin valopuiden uudistamiseen (Marquis 1978). Eriakenteisessa kasvatuksessa ei voida käyttää kaikkia tasarakenteisen kasvatuksen puustotunnuksia. Esimerkiksi puuston kehitys- ja ikäluokat eivät ole käyttökelpoisia. Metsäalue voidaan kuitenkin jakaa kummassakin kasvatustavassa kuvioihin mm. kasvupaikan viljavuuden ja hakkuun ajoituksen mukaan.

Järjestettyjä kokeita, joissa verrataan rakenteeltaan erilaisten metsiköiden kehitystä ja puun tuotosta, on borealisella vyöhykkeellä niukasti. Ruotsissa ja Norjassa on muutamia pitkään seurattuja yksittäisiä koealoja (Lundqvist 1989, Andreassen 1994). Laaja koealaverkosto perustettiin Suomessa vasta 1980-luvulla (Lähde ym. 1992a). Yleensä on tyydytty vertailemaan yksittäisten koealojen puustotunnuksia esimerkiksi inventointitietoihin (Pukkala ja Kolström 1988, Kolström 1993). Vertailut ovat kuitenkin heikolla pohjalla, sillä näiden verrokkiaineistojen metsikkörakenteita ei ole yleensä tarkasti selvitetty. Yksittäistapauksissa on tehty jopa kahden epäonnistuneen koealan perusteella ja ilman vertailukoaloja pitkälle meneviä johtopäätöksiä (Mikola 1984). Paljon samanlaisia kielteisiä mielipiteitä on mm. Ruotsissa ja Suomessa esitetty erirakenteiskasvatuksesta (Hassenkamp 1955, Söderström 1971, Lundberg 1973, Häggström 1982, Vuokila 1984, 1985, Parviainen 1987, Kuusela 1988, Pohtila 1990, Parviainen ja Seppänen 1994, Annila 1995). Näissä mielipiteissä on esitetty, että erirakenteiset metsät kasvavat huonommin kuin tasarakenteiset ja että uudistamisen vuoksi jouduttaisiin hakkaamaan niin voimakkaasti, että puusto vähenisi vajaatuottoiseksi. On myös epäilty erirakenteiskasvatuksen heikentävän puustoa geneettisesti.

Osa pienikokoisesta puustosta ja taimistakin voi olla vallitsevan jakson kanssa samanikäistä. Näiden alispuiden geneettistä laatua on pidetty arveluttavana (Kalela 1948). Jälkeenjääneisyys voi kuitenkin olla seurausta siemenen koosta, ikäerosta, kasvupaikan mikrovaihtelusta ym. ulkopuolisista ympäristötekijöistä. Jälkeläiskokeiden perusteella tiedetään, että suomalaisten puiden pituuskasvun periytyvyys on noin 20 % (Velling 1988). Riski kasvun huononemisesta pitkälläkin aikavälillä lienee siten vähäinen. Voimakkaasti harsituissa erirakenteisissa metsissä on yleensä nuorennosta runsaasti (Sarvas 1944) ja varsinaiset vanhempia ikäluokkia edustavat alispuut ovat pienenä vähemmistönä. Kasvatushakkuilla käsitellyissä metsissä ei aitoja alispuita juuri olekaan (Nyyssönen 1954).

Kokeellisiin vertailuihin perustuvat tulokset osoittavat, että jatkuvalla kasvatuksella erirakenteisina kasvatettujen metsiköiden tuotos on Suomen oloissa useimmiten jonkin verran parempi kuin vastaavien tasarakenteisten eli alaharvennuksella käsiteltyjen metsiköiden (Laiho ym. 1996, Lähde ym. 1997, Saksa ym. 1999). Myös inventointiaineistojen perusteella on verrattu rakenteeltaan erilaisten metsiköiden kasvua (Lähde ym. 1994a, b, c, Saksa ym. 1995, 1998, 1999). Niiden mukaan eri osissa Suomea erilaisilla kasvupaikoilla saman tilavuuden omaavat erirakenteiset metsiköt, joiden runkolukujakauma noudattelee käännetyn J-kirjaimen muotoa, kasvavat enemmän kuin metsiköt, joiden runkolukusarja muistuttaa normaalijakaumaa ja joita

sen vuoksi kutsutaan epätarkasti myös tasaikäisrakenteisiksi. Keskimääräisissä aineistoissa kasvu on ollut yhtä suuri (Lähde ym. 1997, 1999b). Kasvun vaihtelu on kuitenkin ollut kaikissa aineistoissa hyvin suurta.

2.3 Metsän monimuotoisuus

Biologisella monimuotoisuudella tarkoitetaan kaikkien kasvien, eläinten ja mikro-organismien sekä niiden elinympäristön monimuotoisuutta ja vaihtelua kaikilla hierarkian tasoilla (Unced... 1993). Ensimmäinen taso on lajirunsaus ja siihen liittyvä yksilöiden runsaus. Toisena tasona on geneettinen monimuotoisuus. Kolmanneksi erotetaan populaatioiden, yhteisöjen ja ekosysteemien monimuotoisuus (Hunter 1990). Alueellisessa mittakaavassa monimuotoisuus on jaettu neljään luokkaan, joista pienintä mittakaavaa edustaa alfadiversiteetti. Se käsittää yksittäisen elinympäristön, kuten metsikön, sisäisen monimuotoisuuden (Whittaker 1972). Metsikkö rakentuu niin keskeisesti puustosta, että sen monimuotoisuus muodostaa koko metsäekosysteemin monimuotoisuuden perustan (MacArthur ja MacArthur 1961, Willson 1974, Franzreb 1978, Rice ym. 1984, Lähde ym. 1995). Puuston monimuotoisuus tarkoittaa saman yhtenäisen metsikön puiden lajirunsausta sekä jokaisen lajin sisäistä koon, iän ja perimän laajaa vaihtelua (Lähde ym. 1995). Monimuotoisuus on suuri silloin, kun metsikössä on eri puulajeja, joiden koko vaihtelee taimista vanhoihin kypsiin puihin asti (Angelstam ym. 1990, Norokorpi ym. 1994, Lähde ym. 1995, 1999c).

Korkea monimuotoisuus metsikkötasolla edellyttää myös lahoavaa puuainesta sekä pötkelöinä että maapuina, koska monet lahoamisvaiheen puusta (Söderström 1981, 1983, Gustafsson ja Hallingbäck 1988, Franklin ym. 1991, Niemelä ym. 1995), sekä myös hiiltynyttä puuta (Heliövaara ja Väisänen 1984, Elmström ja Walldén 1986, Lähde ym. 1995). Runkolukujakauma ja puulajien lukumäärä ovat siten tärkeimpiä tunnuksia arvioitaessa metsikön sisäistä monimuotoisuutta (Stage 1973, Angelstam ym. 1990, Buongiorno ym. 1995). Buongiorno ym. (1994) käyttivät läpimittaan perustuvaa Shannon-Wiener -indeksin (Whittaker 1975, Magurran 1988) sovellusta ennustamaan metsän käsittelyn vaikutuksia puiden kokovaihteluun metsikössä. Indeksien arvo oli nolla, jos kaikki puut sisältyivät samaan muutaman senttimetrin laajuiseen läpimittaluokkaan. Niinpä yhden puulajin taimikon monimuotoisuus on pienimmillään (Franklin ja Spies 1991) jopa lähellä nollaa (Niese ja Strong 1992). Lähde ym. (1995, 1999c) kehittivät metsikön sisäisen diversiteetti-indeksin, jossa otettiin huomioon kaikki edellä mainitut kriteerit sekä lisäksi alikasvos ja mahdolliset erikoispuut kuten harvinaisten lintujen pesäpuut. Tälle LLNS-indeksille määritettiin myös laskentakaava (Lähde ym. 1997, 1999c). Tunnetuimmat monimuotoisuusindeksit Shannon-Wiener- ja Simpson-indeksit perustuvat lajien runsauteen ja esiintymisen tasaisuuteen. Ne eivät erottele metsiköiden puuston rakennetta, kehitysvaihetta, uudistumispotentiaalia tai laho puuston määrää kuten LLNS-indeksi (Lähde ym. 1999c, Laiho ym. 1999). Puustotunnuksia huomioonottavien metsikön monimuotoisuusindeksien tarpeellisuus on havaittu laajenevassa määrin viime vuosina ja sellaisia on kehi-

telty LLNS-indeksiin tapaan kuten Gove ym. (1995), Köhl ja Zingg (1996) sekä Jaehne ja Dohrenbush (1997) ovat tehneet.

Boreaalisella havumetsävyöhykkeellä lehtipuut arvioidaan monimuotoisuuden kannalta havupuuta arvokkaammiksi, koska ne monipuolistavat olenaisesti sekä puulajien että niistä riippuvien muiden eliölajien runsautta (Hunter 1990, Reunanen 1998). Erityisesti haapa ja raita ovat tässä suhteessa arvokkaita (Koskinen 1955, Kuusinen 1994, Lähde ym. 1995). Lievä häiriö, kuten pienaukon syntyminen tuulenkaatojen seurauksena, voi lisätä etenkin vanhan, havupuuvaltaisen metsikön monimuotoisuutta edistämällä myös valoavaativien lehtipuiden uudistumista käsittelemättömään metsikköön verrattuna ja kuitenkin säilyttää enemmän isoja puita voimakkaaseen häiriöön verrattuna (Connell 1978, Huston 1979). Buongiornon ym. (1994) mukaan luonnontilainen metsä saavuttaa kuitenkin puiden suurimman koon vaihtelun. Ns. vanhat luonnontilaiset metsät ovat puustoltaan erirakenteisia ja harvinaiset lajit ovat niistä riippuvaisia (Tjernberg 1983, Franklin ja Spies 1991, Esseen ym. 1992, Johnsson 1993). Siksi metsikön rakenteen jatkuvuus on olennaista (Esseen ym. 1992). Puustoisuuden säilymisen lisäksi sen vertikaalinen ja horisontaalinen vaihtelu on tärkeätä mm. pikkunisäkäs- ja lintulajien pysyvyydelle ja diversiteetille (Andersson 1979, Crawford ja Titterington 1979, Temple ym. 1979, Steventon ym. 1998). Latvuston ulottuminen maahan asti liittyy peitteellisuuden ja suojaisuuden vaatimukseen erällä herkillä eliölajeilla (Franklin ja Spies 1991). Yleensä harvinaiset ja uhanalaiset lajit elävät etenkin rakenteeltaan monimuotoisissa metsissä (Ehrnström ja Waldén 1986, Ingelög ym. 1988, Esseen ym. 1992).

Edellä kuvatut (2.2) metsänkäsittelyt vaikuttavat eri tavoin metsikön biologiseen monimuotoisuuteen muuttamalla puulajisuhteita ja puulajien runkolukujakaumaa. Erirakenteiskäsittelyllä pyritään noudattamaan metsän luontaista kehitystä (Weetman 1995). Erirakenteiset sekametsät näyttävät täyttävän käsittelyn jälkeenkin korkeat monimuotoisuusvaatimukset (Halkett 1984, Stoszek 1992, Lähde 1993, Norokorpi ym. 1994, Coates ja Steventon 1995). Jatkuvalle kasvatukselle jäljitellään nimenomaan luonnonmetsien rakennetta (Pickett ja Thompson 1985, Kenk 1995, Sjöberg ja Atlegrim 1995) ja säilytetään siten metsikön peitteellisyys ja korkea sisäinen diversiteetti (Larsen 1995, Lähde ym. 1995, 1999c). Erityyppisissä metsänkäsittelyissä voidaan vaalia monimuotoisuutta jättämällä hakkaamatta ja korjaamatta kuollutta puustoa (Lähde 1995). Avohakkuu yhdistettynä alaharvennusten muodostamaan kasvatusketjuun, jolla poistetaan metsän jatkuvuuden ainekset eli pienimmät puut ja alikasvos, voi heikentää olennaisesti metsän monimuotoisuutta (Burgess ja Sharpe 1981, Harris 1984, Gamlin 1988, Esseen ym. 1992, Hansen 1992, Oliver 1995). Muutoksia on tapahtunut laajoilla metsäalueilla viime vuosikymmenten aikana monella tavalla niin rakenteellisesti, maisemallisesti, ajallisesti kuin geneettisesti (Franklin ym. 1989, Hunter 1990, Hansen ym. 1991, Fähser 1995). Metsien käsittelyssä tulisikin noudattaa tähänastista enemmän ekosysteemiajattelua (Brooks ja Grant 1992, Larsen 1995).

3 Maastoaineistot

3.1 Inventointiaineistot

Suomessa tehtiin ensimmäinen valtakunnallinen metsävarojen inventointi vuosina 1921–1924 (Heikinheimo 1924). Ruotsissa ensimmäinen inventointi aloitettiin muutamaa vuotta myöhemmin (Uppskatning... 1932). Suomessa inventoinnit tehtiin 1960-luvulle asti linjoittaisilta kiinteäsäteisiltä koealoilta. Koeala edusti yhtenäistä metsikköä. Vaikka 1970-luvulla ryhdyttiin käyttämään relaskooppikoealoja, otettiin vielä kahdeksannessa inventoinnissa (1985–86) toistuvaa seuranta varten erillinen otos, jossa mitattiin myös kiinteäsäteisiä koealoja. Inventoinnit antavat mahdollisuuden tarkastella runkolukujakaumaan perustuen metsien rakenteen kehitystä sekä rakenteeltaan erilaisten metsiköiden puun tuotosta ja uudistumista.

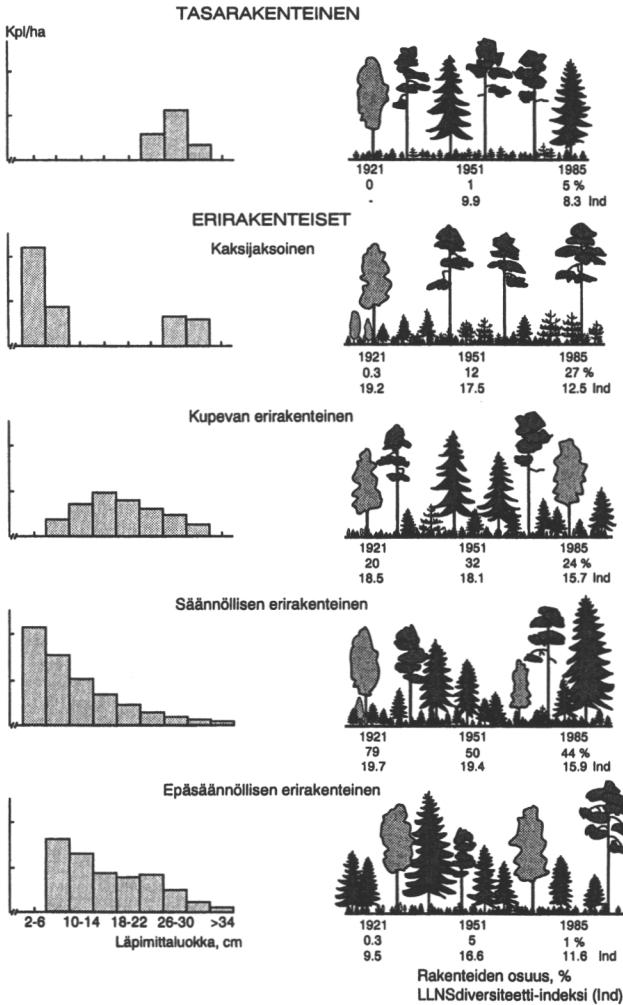
Ensimmäisen inventoinnin aikaan vielä kaksi kolmasosa Suomen metsistä oli Heikinheimon (1924) mukaan hakkuilta joko kokonaan tai lähes kokonaan säästyneitä. Todennäköisesti niistäkin kuitenkin ainakin osaa oli haku kattu joskus aiemmin tervanpolttoa tai kaskeamista varten. Kolmanteen inventointiin mennessä 1950-luvulla pääosa varttuneista metsistä oli käsitelty erilaisilla poiminta- tai määrämittahakkuilla. Alaharvennusta ja hakkuualan raivausta ei ollut kuitenkaan vielä tehty. Metsien tila vastasi siten edelleen silloin pitkälle luonnonvaraista kehitystä. Kahdeksas inventointi kuvaa tilannetta, jossa varttuneet metsät oli todennäköisesti ainakin kertaalleen käsitelty alaharvennuksella ja osittain alikasvoksen raivauksella.

Tähän tutkimukseen valittiin nämä kolme metsänhoidon erilaista käytäntöä edustavaa inventointiaineistoa. Kyse on kertakoealoista, joten ne kuvaavat senhetkistä tilannetta metsien rakenteessa, mutta toistettuna edustavana otoksena ne antavat tietoa myös metsien kehityksestä. Yksityiskohtaisesti näitä inventointiaineistoja ja niiden käsittelyä esitellään tekijöiden aiemmissa julkaisuissa (Lähde ym. 1991, 1992b, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994). Esimerkkinä metsiköiden rakenteen kehityksestä otettiin tarkasteltavaksi em. inventoinneista Etelä-Suomen metsänhoidolliselta tilalta vähintään tyydyttävät kasvatus-, väljennys- ja uudistuskypsät tai vastaavat metsiköt kaikilla kangasmaan kasvupaikoilla (kuva 3). Koealoja kertyi yhteensä 6199. Runkolukujakauma jaettiin yhdeksään 4 cm läpimittaluokkaan (1. = 2-6, 2. = 6-10, ... ,9. > 34 cm). Ensimmäisen luokan (2-6 cm) arvioitiin kuuluvan varttuneissa metsissä alikasvokseen (< 6 cm). Alle 2 cm kokoista alikasvosta ei otettu huomioon luokituksessa. Sitä oli runsaasti kaikissa metsikköryhmissä.

Runkolukujakauman laajuuden ja muodon perusteella nämä metsiköt luokiteltiin rakenneryhmiin (Lähde ym. 1991, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994). Rakenneryhmät olivat seuraavat (kuva 3):

1. Tasarakenteiset: Puita esiintyy enintään kolmen peräkkäisen läpimittaluokan laajuudella.
2. Erirakenteiset: Puita esiintyy vähintään neljän läpimittaluokan laajuudella.
- 2A. Säännöllisen erirakenteiset: Runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J-kirjainta. Puita on vähintään neljässä em. pienimmässä (> 2 cm) läpimittaluokassa ja eniten 6-10 cm läpimittaluokassa.

- 2B. Kaksijaksoiset: Ainakin yksi läpimittaluokista välillä 6-18 cm on puuton väliluokka.
- 2C. Kupevan erirakenteiset: Runkolukujakauma muistuttaa normaalija-kaumaa. Puita on eniten varsinaisen puuston (> 6 cm) läpimittaluokajakauman keskellä.
- 2D. Epäsäännöllisen erirakenteiset eli edellä esitetyistä poikkeavat erirakenteiset metsiköt.



Kuva 3. Eriaiset puustorakenteet ja niiden osuus sekä LLNS-diversiteetti-indeksi 1., 3. ja 8. inventoinnin mukaan Etelä-Suomen kangasmaiden varttuneissa metsissä. Luokituksessa ei ole huomioitu kaikissa rakenteissa esiintyviä < 2 cm (D1,3) taimia ja alikasvosta. Piirros Ilkka Taposen.

Metsiköiden elävälle puustolle määritettiin LLNS-diversiteetti-indeksi, jonka käyttökelpoisuutta on verrattu muihin vastaaviin indekseihin tekijöiden aiemmissa julkaisuissa (Lähde ym. 1995, 1999c, Norokorpi ym. 1997). Koska

LLNS-indeksi kuvaa muita yksityiskohtaisemmin erilaisten metsiköiden puuston monimuotoisuutta, sitä verrattiin nyt rakenneryhmien välillä (kuva 3).

Kasvatusvaiheen kehitysluokkiin tuli mukaan myös valtapuustoltaan suhteellisen nuoria metsiköitä. Siksi rakenteeltaan erilaisten metsiköiden tuotosvertailua ja kasvatusmallien laatimista varten otettiin tarkasteltavaksi erikseen suppeampi aineisto eli vain kolmannen inventoinnin vähintään tyydyttävät väljennys- ja uudistuskypsät metsiköt. Kasvupaikoiksi rajattiin erikseen Suomen etelä- ja pohjoispuoliskon yleisimmät metsätyytit eli käenkaali-mustikkatyyppin (OMT), mustikkatyyppin (MT) ja puolukkatyyppin (VT) tai vastaavat kankaat. Metsiköt luokiteltiin lisäksi seuraavasti: H = havupuuvaltaiset (lehtipuita < 10 % pohjapinta-alasta), S = sekapuustot (lehtipuita 10-50 %) ja L = lehtipuuvaltaiset (lehtipuita > 50 %) (taulukko 1). Muiden puustotunnusten lisäksi otettiin kasvatusmallien laatimista varten käsiteltäväksi tästä aineistosta säännöllisen erirakenteisten metsiköiden puuston viiden mittausta edeltäneen vuoden kasvu (kuoretta) sekä pääpuulajien männyn, kuusen ja koivun eri läpimittaluokkien sädekasvu ja sen vaihtelu tilavuudeltaan erilaisissa metsiköissä sekä puiden pituus läpimittaluokittain. Jotta voitiin verrata tuloksia kiertoaikaan perustuvaan jaksolliseen kasvatukseen, tarkasteltiin lisäksi VMI3:n aineiston puustotunnuksia eri kehitysluokissa (taulukko 2).

Taimien ja alikasvoksen esiintymisen selvittämisessä säännöllisen erirakenteisissa varttuneissa metsiköissä kasvatusmallien ennen ja jälkeen hakkuun välisessä puuston tilavuusryhmässä käytettiin VMI3:n ns. kasvillisuuskoelajoja (2157 kpl) joilta yli 20 cm pituiset havupuun ja yli 50 cm pituiset lehtipuun taimet oli mitattu muun kasvillisuuden tapaan peittävytenä. Mittaustulokset muutettiin Lähteen ym. (1999d) mukaisesti lukumääriksi. Uudistamista kuvaavien taimien ja alikasvoksen (< 6 cm) määrää tarkasteltiin erikseen yleisimmillä metsätyypeillä (OMT, MT ja VT) Etelä-Suomessa.

3.2 Kenttäkoeaineistot

Kenttäkoeaineiston muodostivat viisi järjestettyä koetta, joista kolmessa verrattiin jatkuvaa kasvatusta ja alaharvennusta (taulukko 3 ja kuva 4) sekä kahdessa selvitettiin erirakenteisen metsän uudistumista. Yksi kasvatuskoe perustettiin ensiharvennusvaiheessa. Kaksi muuta perustettiin erirakenteisen varttuneen metsän harvennusvaiheessa. Niistä toinen kattoi Etelä- ja toinen Pohjois-Suomen. Uudistamiskokeista toinen aineisto sisälsi pitkään erirakenteisena käsittelemättä olleita ja toinen puittain jatkuvalla kasvatuksella käsiteltyjä sitä ennen myös pitkään erirakenteisina olleita metsiköitä. Kaikki metsiköt olivat joko tuoreella tai lehtomaisella kankaalla. Näitä kokeita kuvataan yksityiskohtaisesti tekijöiden muissa julkaisuissa (esim. Lähde 1992a, c, Lähde ym. 1995, 1999d, Laiho ym. 1996, Saksa ym. 1999), joissa on esitetty tuloksia ensimmäisten seurantamittausten jälkeen. Tässä yhteydessä esitetään tuloksia myös toisen seurantamittauksen jälkeen.

Ensiharvennusvaiheen kasvatuskoe perustettiin 1940-luvulla luontaisen uudistamisen hakkuulla käsiteltyyn metsikköön Vilpulan tutkimusalueessa.

Siementävät puut hakattiin talvella 1960–61. Hakkuiden jälkeisenä kesänä tehtiin taimikonhoitoa, jota varten metsikkö jaettiin 50 x 50 m ruutuihin. Reunametsästä jatkuneen luontaisen uudistumisen ansiosta koemetsikkö oli ensiharvennusvaiheessa talvella 1985–86 säännöllisen erirakenteista sekametsää. Metsikköön arvottiin 20 ruutua alaharvennusta ja 10 ruutua puittaista jatkuvaa kasvatusta. Reunavaikutuksen eliminoimiseksi ruutujen keskelle rajattiin puuston kehityksen ja kasvun seurantaan varten 0,03 ha ympyräkoalat. Alaharvennuskoealoilla runkoluku vaihteli 900–1400 kpl ha⁻¹ välillä ja puulajisuhteet vaihtelivat puhtaasta kuusikosta lehtipuuvaltaisiin. Jatkuvan kasvatuksen koealoilla runkoluku vaihteli 2300–6000 kpl ha⁻¹ välillä ja puulajisuhteet vaihtelivat lähes puhtaasta kuusikosta myös lehtipuuvaltaisiin metsiköihin.

Puuston lähtötilanne hakkuun jälkeen mitattiin syksyllä 1989. Ensimmäinen seurantamittaus tehtiin keväällä 1994, jolloin hakkuusta oli kulunut kahdeksan kasvukautta ja viimeisin mittaus syksyllä 1996, jolloin hakkuusta oli kulunut yhteensä 11 kasvukautta.

Varttuneen puuston kasvatuskokeet perustettiin vuosina 1983–89 eri puolille Etelä- ja Pohjois-Suomea erillisiin metsiköihin, joista arvottuna noin hehtaarin suuruinen osa käsiteltiin puittaisella jatkuvalla kasvatuksella ja toinen vastaavasti alaharvennuksella. Koealajareja oli Etelä-Suomessa 18 ja Pohjois-Suomessa 6. Osametsiköiden keskelle rajattiin 40 x 40 m suuruinen koeala, josta mitattiin puusto ennen ja jälkeen hakkuun. Puuston kehitys ja kasvu mitattiin ensi kerran Etelä-Suomessa keskimäärin kahdeksan ja Pohjois-Suomessa kuuden vuoden kuluttua ja toisen kerran vastaavasti keskimäärin 11 ja 10 vuoden jälkeen.

Luontaisen uudistamisen kokeissa uudistumista mitattiin samoin noin hehtaarin suuruisen käsittelykuvioiden keskelle rajatulta 40 x 40 metrin koealalta. Kuusen ja koivun taimet (0,1–1,3 m) mitattiin pitkään käsittelemättöminä olleista erirakenteisista metsiköistä (21 kpl) ja jatkuvalla kasvatuksella käsitellyistä metsiköistä (yht. 46 kpl) 3–7 vuoden kuluttua hakkuusta 16 systemaattisesti sijoitetulta 10 m² suuruiselta ympyräkoevalta. Taimiaines (<0,1 m) mitattiin vastaavasti 2 m² suuruisilta samankeskisiltä ympyräkoeloilta.

Koska yksityiskohtaisia tuloksia näistä uudistumiskokeista on esitetty jo aiemmissa julkaisuissa (Lähde 1992a, c, Lähde ym. 1999d), tarkastellaan tässä yhteydessä kasvatusmallien uudistamisen toimivuuden kannalta lähinnä vain taimien määrän vaihtelun riippuvuutta erilaisista puustotunnuksista sekä taimimateriaalin (taimiaines ja taimet) tilajärjestystä.

Taulukko 1. Puustotunnuksia (DBH > 6 cm) rakenteeltaan erilaisissa Etelä- ja Pohjois-Suomen puulajikoostumukseltaan ja kasvupaikaltaan erilaisissa vartuneissa (väljennys ja uudistuskypsät) metsiköissä VMI3 mukaan. Rakenneluokka: 1 = tasarakenteiset, 2 = kaksijaksoiset, 3 = kupevan erirakenteiset, 4 = säännöllisen erirakenteiset ja 5 = epäsäännöllisen erirakenteiset. Metsikkölaji: H = havupuuvaltaiset, S = sekametsiköt ja L = lehtipuuvaltaiset.

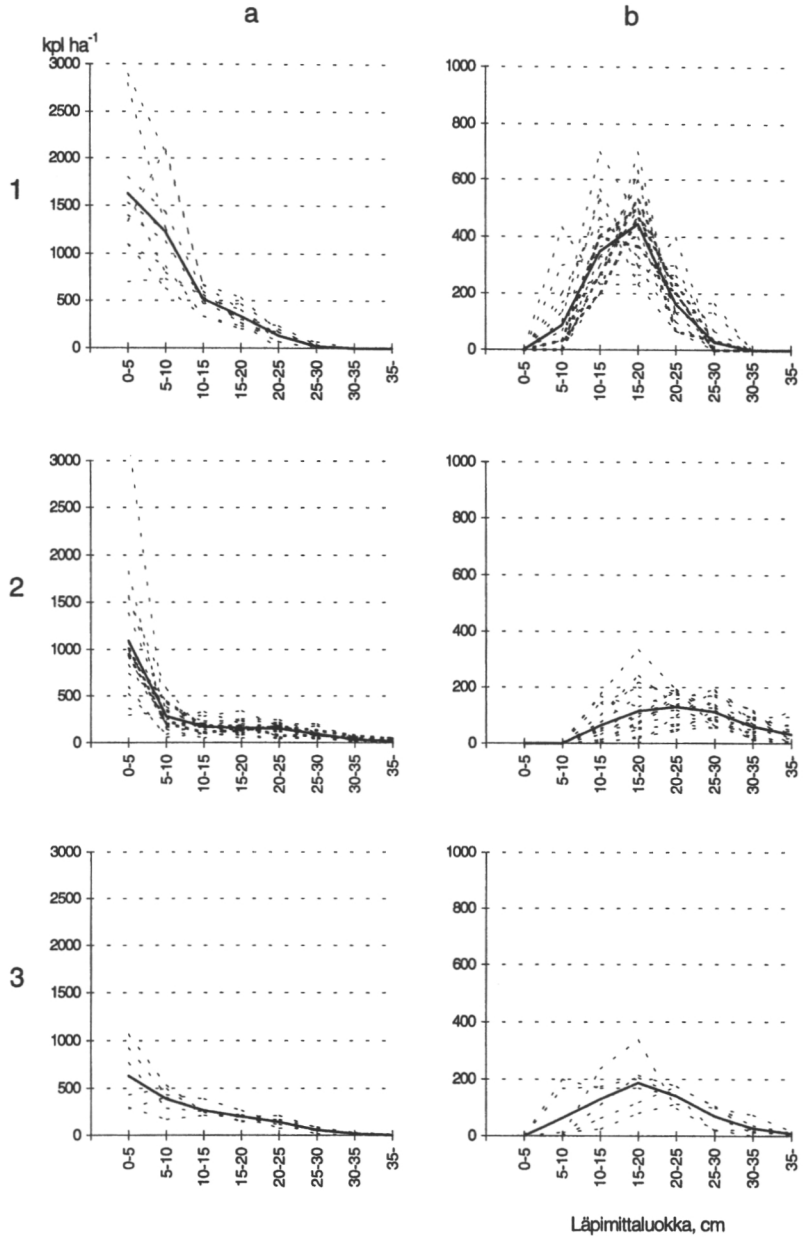
Kasvu- paikka	Metsikkö- laji	Etelä-Suomi					Pohjois-Suomi				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Koealojen lukumäärä											
OMT	H	0	13	35	69	14	0	4	1	10	0
	S	0	18	31	84	6	0	0	0	0	0
	L	0	13	15	43	1	0	0	0	0	0
MT	H	1	55	65	138	15	1	15	16	51	8
	S	0	44	66	186	13	0	14	29	109	17
	L	1	20	18	29	4	0	0	0	0	0
VT	H	6	52	110	121	38	0	48	71	72	39
	S	1	30	38	97	17	0	60	40	173	37
	L	0	0	0	0	0	0	6	2	29	1
Rakenneluokkien osuus, %											
OMT	H	0	10	27	53	11	0	27	7	67	0
	S	0	13	22	60	11	0	0	0	0	0
	L	0	18	21	60	1	0	0	0	0	0
MT	H	0	20	24	50	6	1	17	18	56	9
	S	0	14	21	60	4	0	8	17	65	10
	L	0	28	25	40	6	0	0	0	0	0
VT	H	2	16	34	37	12	0	21	31	31	17
	S	1	16	21	53	9	0	19	13	56	12
	L	0	0	0	0	0	0	16	5	76	3
Runkoluku ha ⁻¹											
OMT	H	-	973	734	1477	686	-	633	950	1307	0
	S	-	916	939	1795	708	-	-	-	-	-
	L	-	962	745	1611	470	-	-	-	-	-
MT	H	360	940	776	1566	749	380	785	867	1689	623
	S	-	918	903	1796	727	-	887	915	1742	815
	L	380	1052	947	1545	628	-	-	-	-	-
VT	H	432	753	630	1698	612	-	545	428	1166	339
	S	300	690	763	1673	611	-	672	609	1157	425
	L	-	-	-	-	-	-	830	795	1477	350
Tilavuus, m ³ ha ⁻¹											
OMT	H	-	209	208	177	170	-	110	325	125	-
	S	-	138	201	160	173	-	-	-	-	-
	L	-	112	152	129	85	-	-	-	-	-
MT	H	141	154	169	142	148	42	110	136	117	100
	S	-	146	179	143	156	-	114	136	114	131
	L	57	127	155	127	95	-	-	-	-	-
VT	H	87	121	142	125	103	-	81	97	86	73
	S	53	93	137	118	105	-	68	86	74	71
	L	-	-	-	-	-	-	27	44	54	10
Kasvu, m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹ kuoretta											
OMT	H	-	6,5	6,0	6,4	5,6	-	0,9	1,3	2,9	-
	S	-	4,7	6,0	6,4	4,8	-	-	-	-	-
	L	-	4,1	5,2	4,9	4,1	-	-	-	-	-
MT	H	4,3	4,3	4,6	4,5	3,8	1,0	0,8	2,7	2,5	2,4
	S	-	4,7	4,5	4,9	4,4	-	2,1	2,4	2,3	2,5
	L	2,1	4,1	5,0	4,4	3,2	-	-	-	-	-
VT	H	3,4	3,1	3,6	3,5	3,0	-	1,1	1,4	1,7	1,0
	S	3,3	2,9	3,4	3,3	2,8	-	1,1	1,3	1,3	1,1
	L	-	-	-	-	-	-	0,6	0,9	1,0	0,2

Taulukko 2. Puustotunnuksia VMI3 mukaan Etelä-Suomen viljavien (OMT-MT) kantojen eri kehitysluokkien metsiköissä.

Kehitysluokka	Pohjapinta-ala, m ² ha ⁻¹	Tilavuus, m ³ ha ⁻¹	Tilavuuskasvu, m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹
Uudistusala	3,7	28	0,8
Taimikko	7,6	26	2,7
Nuori kasvatusmetsä	18,6	140	5,1
Varttunut kasvatusmetsä	21,1	178	5,1
Uudistuskypsä metsä	19,9	180	4,4

Taulukko 3. Kenttäkoeaineistojen puustotunnuksia (minimi–keskiarvo–maksimi) jatkuvan kasvatuksen ja alaharvennuksen jälkeen. Kokeet: 1 = ensiharvennusmetsä Etelä-Suomessa ja 2 = varttunut kasvatusmetsä Etelä- ja 3 = Pohjois-Suomessa, p= keskiarvojen erojen merkitsevyys, t-testi.

Puusto-tunnus	Koe	Jatkuva kasvat- vatus	Alaharvennus	p
Valtapiuus, m hakkuun jälkeen	1	17,2-18,0-18,8	17,5-18,5-19,8	,049
	2	19,0-22,4-25,6	20,0-23,2-28,1	,234
	3	17,8-18,6-19,3	18,2-19,4-21,0	,107
Pohjapinta-ala hakkuun jälkeen, m ² ha ⁻¹	1	21,8-25,8-37,3	15,0-23,0-29,7	,031
	2	12,7-20,8-29,4	15,0-21,8-30,3	,490
	3	17,5-20,6-22,4	17,1-20,1-22,0	,748
Tilavuus hakkuun jälkeen, m ³ ha ⁻¹	1	139-174-238	115-179-241	,710
	2	114-194-354	147-217-387	,346
	3	123-155-169	130-166-198	,200
Tilavuuskasvu 1. seurantajaksona, m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹	1	6,4-8,8-11,6	3,7-7,9-9,8	,412
	2	3,8-6,1-10,7	2,2-5,0-9,5	,088
	3	2,3-3,9- 6,0	1,9-2,5-3,5	,037
Tilavuuskasvu 2. seurantajaksona, m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹	1	7,2-10,5-14,2	6,1-9,6-13,2	,243
	2	4,1- 5,9- 9,4	2,7-4,6- 7,2	,008
	3	3,6- 5,2- 7,3	1,4-2,9- 3,9	,010



Kuva 4. Metsiköiden runkolukujakaumat (vahvennettu viiva kuvaa koelajoja keskimäärin) eriyttävien hakkuiden ja seurannan jälkeen (vrt. taulukko 3). Selitys: a = jatkuva kasvatus ja b = alaharvennus; 1 = ensiharvennusmetsä Etelä-Suomessa, 2 = varttunut kasvatusmetsä Etelä- ja 3. Pohjois-Suomessa.

3.3 Tulokset ja niiden tarkastelua

3.3.1 Metsiköiden rakenne ja monimuotoisuus

Tasarakenteisia metsiköitä oli Etelä-Suomessa 1920-luvun alussa kaikkien kangasmaan kasvupaikkojen varttuneista metsistä keskimäärin alle yhden prosentin (kuva 3). Niiden osuus oli edelleen 1950-luvun alussa noin 1 %. Alaharvennuksen yleistyttyä tämän jälkeen tasarakenteisten varttuneiden metsiköiden osuus kohosi 5 %:iin 1980-luvun puoliväliin mennessä. Toinen suppeampi saman aineiston otos, jossa oli mukana vain em. väljennysvaiheen ja uudistuskypsät metsiköt osoitti, että huomattavia eroja ei esiintynyt Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä eikä toisaalta eri kasvupaikkojen välillä (taulukko 1). Erirakenteisten metsiköiden osuus oli moninkertaisesti suurempi kuin tasarakenteisten. Näin ollen aineisto ei anna juurikaan mahdollisuutta vertailla tasa- ja erirakenteisia metsiköitä, vaan on tyydyttävä vertailemaan keskenään erilaisia erirakenteisia metsiköitä.

Erirakenteisissa metsiköissä näyttää esiintyvän kolme päätyyppiä (Lähde ym. 1991, Laiho ym. 1994, 1995, Norokorpi ym. 1994). Yleisin on sellainen, jossa puiden määrä pienenee suhteellisen tasaisesti suurempiin läpimittaluokkiin siirryttäessä (kuva 3). Runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J-kirjainta. DeLiocourt (1898) kuvasi tämän rakenteen ensimmäisenä ja piti sitä erirakenteisen metsän perusrakenteena. Daniel ym. (1979) ja Laiho ym. (1995) kutsuvat tällaista rakennetta säännöllisen erirakenteiseksi. DeLiocourt kuvasi rakennetta matemaattisesti q-vakiolla, joka on runkoluvun muutoskerroin läpimittaluokkien välillä suuremmasta luokasta pienempiin päin. Tällainen rakenne on eri puolilla ollut tyypillistä juuri luonnonvaraisesti kehittyneille metsille (Meyer 1952, Solomon ym. 1986, Lähde ym. 1991, Norokorpi ym. 1994). Q-arvo vaihtelee käytännön malleissa yleensä 1,3–2,0 välillä, kun läpimittaluokkana on 4–5 cm (Trimble 1970, Leak ja Filip 1977, Alexander ja Edminster 1978, Marquis 1978) eikä sen tarvitse olla vakio koko runkolukujakauman laajuudella (Kenk 1995). O'Haran (1996) mukaan riittää, kun alikasvosta siirtyy tuotoksen kannalta riittävästi suurien puiden luokkiin eli saman verran kuin alunperin niissä puita on ollut. Säännöllisen erirakenteisten osuus laskee metsien käsittelyn seurauksena neljä viidesosasta alle puoleen (kuva 3). Kuusivaltaisissa sekametsissä lehtomaisilla ja tuoreilla kankailla niiden osuus oli yleensä suurimmillaan (taulukko 1).

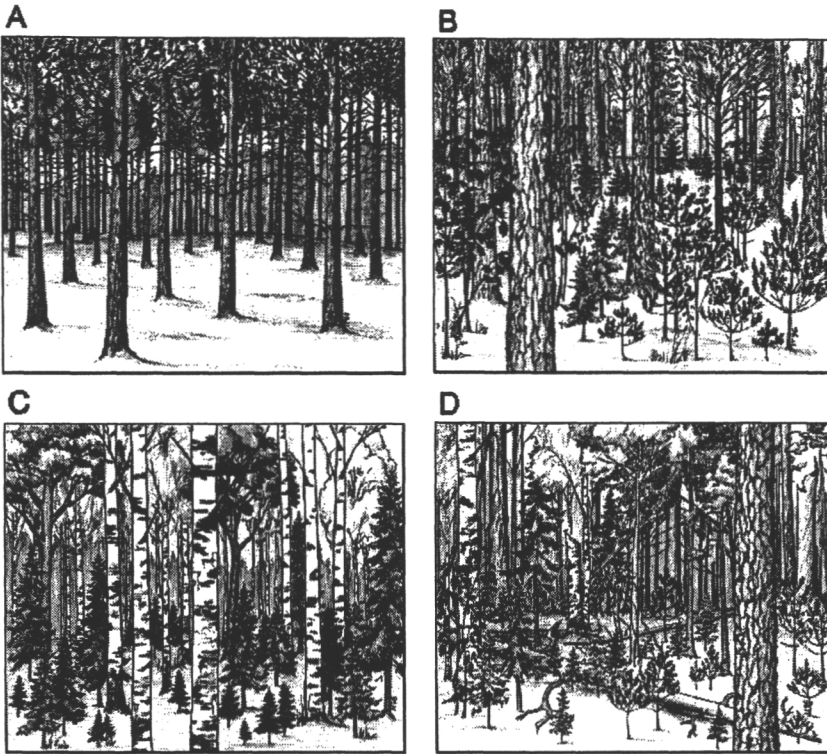
Toiseksi yleisin erirakenteispuuston rakenne (kuva 3) on sellainen, jonka runkolukujakauma on kupeva muistuttaen normaalijakaumaa (Laiho ym. 1995). Tätä rakennetta on toisinaan pidetty myös tasaikäisrakenteiselle metsälle tyypillisenä. Rakenne esiintyy luonnonvaraisesti kehittyneissä metsissä lähinnä silloin, kun runsas puusto järeytyy eikä uutta alikasvosta pääse juurikaan kehittymään (Buongiorno ym. 1995). Kupevan erirakenteisten metsiköiden osuus vaihteli viidenneksen ja kolmanneksen välillä eri inventointikerroilla (kuva 3). Suurimmillaan niiden osuus oli Pohjois-Suomessa mäntyvaltaisissa metsissä kuivahkoilla kankailla (taulukko 1).

Kolmas erirakenteisuuden perustyyppi on kaksijaksainen (kerroksellinen) puusto. Rakenne syntyy luonnonmetsissä silloin, kun metsäpalo jättää jäljelle isoja mäntyjä, joiden alle uusi alikasvos on kehittynyt. Suojuspuu- ja siemen-

puuhakkuut aikaansaavat samanlaisen rakenteen ennen ylispuiden poistoa. Kaksijaksoisten metsiköiden vähäinen osuus 1920-luvun alussa nousi yli neljännekseen 1980-luvun puolivälissä (kuva 3). Myös niiden osuus oli suurimmillaan mäntyvaltaisissa metsissä (taulukko 1). Muut erirakenteiset metsiköt luokitellaan epäsäännöllisen erirakenteisiksi (Laiho ym. 1995, 1999). Niiden osuus Suomen varttuneissa metsissä on ollut vähäinen (Lähde ym. 1991, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994).

Sekä Suomen että Ruotsin noin kymmenen vuoden välein tehdyt valtakunnalliset metsävarojen inventoinnit osoittavat, että nämä boreaalisen vyöhykkeen metsät ovat olleet valtaosin erirakenteisia sekapuustoja (Uppskatning ... 1932, Nilsson ja Östlin 1961, Skogsstatistik ... 1989, Lähde ym. 1991, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994). Säännöllisen erirakenteiset metsiköt, joiden runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J-kirjainta, ovat olleet kaikkein yleisimpiä (Lähde ym. 1991, Norokorpi ym. 1994, Zackrisson ym. 1995). Tasarakenteinen puusto on aikaansaataavissa tilapäisesti alaharvennusta tai muita rakennetta tasaavia hakkuita käyttäen erirakenteisesta puustosta parilla hakkuukerralla. Tasarakenteisen puuston muuttaminen säännöllisen erirakenteiseksi sen sijaan vie pitkän ajan. Näin ollen on perusteltua tehdä inventointitulosten yleisyyden ja toistuvuuden perusteella johtopäätös, että säännöllinen erirakenteisuus on ollut ainakin useiden vuosikymmenten ajan säilyvä metsikkörakenne. Tämän tutkimuksen kenttäkoekäytännöt sisältävät myös pitkään säilyneitä säännöllisen erirakenteisia metsiköitä, vaikka aiemmilla hakkuilla ei niitä ole varsinaisesti tavoiteltukaan. Ne siten osaltaan vahvistavat säännöllisen erirakenteisuuden yleisyyttä ja jatkuvuutta.

Metsikön sisäisessä LLNS-indeksin mukaan arvioidussa monimuotoisuudessa säännöllisen erirakenteisten ja kupevan erirakenteisten välillä ei ollut juurikaan eroa (kuva 3). Säännöllisen erirakenteisten metsiköiden monimuotoisuus oli kaikilla inventointikerroilla suurin. Kaksijaksoisten metsiköiden monimuotoisuus oli edellä mainittuja alempi vain viimeisellä inventointikerroilla, jolloin epäsäännöllisen erirakenteisten ryhmän LLNS-indeksi oli sen kanssa samansuuruinen. Tasarakenteisten metsiköiden indeksiarvo oli vain noin puolet monimuotoisimmista erirakenteisista metsistä. Monimuotoisuustasossa ei esiintynyt systemaattisia eroja kasvupaikkojen eikä Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä. Monimuotoisuuseroja erilaisten metsiköiden välillä havainnollistaa oheinen piirros (kuva 5), joka perustuu todellisiin esimerkkita-pauksiin.



Kuva 5. Esimerkkejä puuston diversiteetiltä erilaisista metsiköistä. Diversiteettipisteet ja diversiteettitasot osakuvissa Lähteen ym. (1995) ja Laihon ym. (1999) laskenta-kaavion mukaan: A = 7 pistettä, heikko, B = 15 pistettä, tyydyttävä, C = 21,5 pistettä, hyvä, D = 39,5 pistettä, erinomainen. Piirros Ilkka Taposen.

Coates ja Steventon (1995) ovat vertailleet eri tavalla käsiteltyjen metsiköiden monimuotoisuutta käyttäen verrokkina käsittelemätöntä erirakenteista metsää. Puiittaisen jatkuvan kasvatuksen monimuotoisuustaso oli 90 % ja ryhmittäisen jatkuvan kasvatuksen 80 % käsittelemättömään verrattuna. Suojuspuuhakkuun vastaava lukema oli 55, uusimuotoisen avohakkuun 24, siemenpuuhakkuun 20 ja avohakkuun 5. Myös Jaehnen ja Dohrenbushin (1997) mukaan erirakenteinen metsä luokitellaan monimuotoisimmaksi. Alaharvennus sensijaan heikentää monimuotoisuutta (Pretzsch 1996). Avohakkuu poikkeaa voimakkaasti metsän luontaisesta kehityksestä (Sjöberg ja Atlegrim 1995). Metsäpaloalueenkin monimuotoisuus on huomattavasti suurempi kuin avoalan (Angelstam 1995), sillä paloalalle jää pystyyn palaneiden puiden lisäksi vaihteleva määrä eläviä puita (Foster 1983). Avohakkuu merkitsee häiriötä myös maabiologiassa, mm. mykorrhitsavaurioita (Larsen 1995). Se saattaa joissakin oloissa aiheuttaa ravinteiden huuhtoutumista (Bormann ja Likens 1979, Martin ym. 1985, Swank 1988, Larsen 1995). Larsenin (1995) mukaan se saattaa johtaa ekologiseen taantumiseen. Siitä toipuminen vie pitkän ajan (Bormann ja Likens 1979, Vitousek ym. 1979, Nykvist ja Rosen 1985, Hornbeck ym. 1987).

3.3.2 Erirakenteisten metsiköiden puuntuotos

VMI-aineistojen mukaan (taulukko 1) erirakenteisista metsistä suurin suhteellinen kasvu oli säännöllisen erirakenteisissa. Vuotuinen tilavuuskasvu huolimatta pienemmästä tilavuudesta oli niissä yhtä suuri kuin toiseksi yleisimmässä rakenneluokassa eli kupevan erirakenteisissa. Kaksijaksoisten metsiköiden kasvu oli pienemmän tilavuuden vuoksi lähes säännönmukaisesti pienempi kuin säännöllisen ja kupevan erirakenteisissa. Tasarakenteisia ja epäsäännöllisen erirakenteisia metsiköitä oli niin vähän, että niiden tuloksia voidaan tarkastella vain suuntaa-antavina. Erot vahvistavat aiemmin todettuja tuloksia (Lähde ym. 1994a, b, c). Niiden mukaan säännöllisen erirakenteisten metsiköiden tilavuuskasvu on yleensä yhtä suuri tai jonkin verran suurempi kuin muiden metsiköiden, kun puuston tilavuus on samansuuruinen.

Kenttäkoeaineistossa puuston vuotuinen tilavuuskasvu oli ensiharvennuksen jälkeen 8 vuoden seurantajaksona jatkuvan kasvatuksen koealoilla keskimäärin noin $1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ suurempi ($p = 0,412$) kuin alaharvennetuilla koealoilla. Ero oli samansuuruinen ($p = 0,243$) myös 11 vuoden seurantajaksona, mutta kasvu oli viimeisinä vuosina nopeutunut (taulukko 3). Puusto oli jatkuvan kasvatuksen jälkeen rakenteeltaan säännöllisen erirakenteinen ja alaharvennuksen jälkeen se oli kupevan erirakenteinen (kuva 4). Jatkuvassa kasvatuksessa hakattiin menetelmän mukaisesti enemmän suurikokoista puustoa, kun taas alaharvennuksessa niitä poistettiin vain poikkeuksellisesti huonon kunnon ja lukumäärä- tai pohjapinta-alatavoitteen vuoksi. Seurantajakso oli kuitenkin vielä niin lyhyt, että kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei voida tehdä puuntuotoksesta. Koska erirakenteisuus oli syntynyt joidenkin kymmenien vuosien kuluessa ennen ensiharvennusta, antaa se samoin kuin edellä esitetyt inventointitulokset viitteitä, että säännöllinen erirakenteisuus on hyvin säilyvä rakenne Suomen oloissa.

Varttuneen metsän hakkuun seurauksena puuston rakenne kehittyi tavoitteen mukaisesti jatkuvan kasvatuksen koealoilla myös voimakkaammin säännöllisen erirakenteiseksi ja alaharvennuksen koealoilla kupevan erirakenteiseksi (kuva 4). Yhdellä hakkuukerralla ei alaharvennuksella vielä päästy pitkän aikavälin tavoitteen mukaiseen tasarakenteisuuteen. Myös näissä kokeissa jatkuvan kasvatuksen koealojen vuotuinen tilavuuskasvu oli suurempi kuin alaharvennuksen jälkeen (taulukko 3). Erot ensimmäisen mittaajakson aikana (6–8 vuotta hakkuusta), Etelä-Suomessa $1,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ja Pohjois-Suomessa $1,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, olivat tilastollisesti merkitseviä ($p = 0,088$ ja $0,037$). Erot suurenevät ja niiden merkitsevyys voimistui kolmen seuraavan kasvukauden kuluessa (ero E-Suomessa $1,3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$; $p = 0,008$ ja P-Suomessa $2,3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$; $p = 0,010$). Koska metsiköt olivat ennen hakkuuta olleet ainakin muutaman kymmenen vuoden ajan jo erirakenteisia, voi lyhyt seuranta-aika antaa tasarakenteiseksi muutetusta puustosta vain suuntaa antavia tuloksia. Tulokset kuitenkin vahvistavat inventointiaineistojen ja ensiharvennusvaiheen metsiköiden antamia tuotoseroja.

Ruotsissa ja Norjassa on esitetty tutkimuksia, joissa on pitkähkön ajan seurattu erirakenteiskasvatuksella käsiteltyjen koealojen kehitystä ja puun tuotosta (Lundqvist 1989, 1993, Andreassen 1994). Valitettavasti kumpikin ko-

keellinen aineisto on kovin heterogeenista ja vertailukoealat puuttuvat. Kaikilla koealoilla tai kaikkina käsittelykertoina ei puustoa ole hoidettu tutkimuksen alkuperäisen tarkoituksen mukaisesti. Niinpä esimerkiksi Andreassenin (1994) aineisto sisältää koealoja, joiden hakkuu muistuttaa enemmän määrämittahakkuuta kuin erirakenteiskäsittelyä. Tällaisista aineistoista lasketut keskimääräiset tulokset eivät anna oikeaa kuvaa tutkittaviksi aioutuista käsittelyistä. Yksittäiset oikein hoidetut koealat kuitenkin antavat viitteitä, että huolellisesti menetellen voidaan säännöllinen erirakenteisuus säilyttää pitkän ajan myös Ruotsin ja Norjan oloissa.

Muualta saadut tutkimustulokset ovat myös varsin hajanaisia. Niissä esiintyy samoja heikkouksia kuin Pohjoismaissakin. Useiden tutkimusten mukaan erirakenteis- ja tasarakenteiskasvatuksen puun tuotoksessa ei käytännöllisesti katsoen ole eroa (Gerhardt 1934, Zimmerle 1936, 1941, Mitscherlich 1952, 1961, Kern 1966, Hladik 1975, Hann 1980, Schütz 1989). Joidenkin keski-eurooppalaisten tutkimusten mukaan eroa on nimenomaan erirakenteiskasvatuksen hyväksi (Eckhart ym. 1961, Fähser 1995, v. Kynast 1995). Saksassa Schwarzwaldin pohjoisosissa on saatu jatkuvalla kasvatuksella 20 % parempi taloustulos (Schulz 1993). Saman suuruisen eron on esittänyt myös Schütz (1985). Von Kynast (1995) on arvioinut kokonaistaloudelliseksi eduksi jopa 80 %. Sveitsissä tehdyissä tutkimuksissa erirakenteiskasvatus oli puuntuotokseltaan ja tuotoltaan selvästi edullisempää kuin suojuupumenetelmän käyttö (Mohr ja Schori 1999). Taloudelliset tekijät vahvistivat ekologisia ja suojelullisia näkökohtia. Myös Pohjois-Amerikassa on useissa tutkimuksissa todettu erirakenteismetsän kasvavan paremmin kuin tasarakenteinen (Smith ja DeBald 1978, Hasse ja Ek 1981, Guldin ja Baker 1988, Znerold 1988, Haight ja Monserud 1990, O'Hara 1996). Kuitenkin eri tahoilla on esitetty myös päinvastaisia käsityksiä (Trimble ja Manthy 1966, Trimble ja McClung 1966, Mikola 1984, Vuokila 1984, Andreassen 1994). Yleinen tulos näyttää olevan, että erirakenteiskasvatuksella saadaan tuotetuksi runsaasti isokokoista puuta ja korkeata laatua (Assmann 1970, Siegmund 1973, Pechmann ja Lippemeier 1975, Guldin ja Baker 1988, Schulz 1993, Groot 1995, Kenk 1995, von Kynast 1995, Eikenes ym. 1996).

Yhtenä perusteluna säännöllisen erirakenteisten sekametsien hyvään puuntuotokseen pidetään monimuotoista ja tiheää puuston rakennetta (Frivold 1982, Smith ja DeBald 1978, Lähde ym. 1994a, b). Leibundgutin (1972) mukaan kaikki metsän kerrokset juurten kärjistä ylimpään latvaan ovat erirakenteisessa metsässä parhaiten käytössä. Jo harsintaharvennuksella suhteellisen tasarakenteisessakin puustossa voidaan päävaltapuita poistamalla lisätä vapautettujen lisävaltapuiden kasvua (Vuokila 1977). Niillä on potentiaalinen kasvun lisäämismahdollisuus. Vastaavasti oikein ajoitetulla erirakenteiskasvatuksella vapautetaan nimenomaan isompien puiden puristuksessa olevien erikokoisten elpymiskykyisten puiden potentiaalista kasvua. Puut kasvavat ensisijaisesti juuri kokonsa mukaisesti vapaan tilan saadessaan (Näslund 1944, Hawley 1946, Indermühle 1978, Kammerlander 1978, Schütz 1969).

Haittapuolena erirakenteiskasvatuksessa, kuten kaikissa kasvatushakuissa, ovat korjuuvauriot (Groot 1995). Niinpä erirakenteismetsän kasvatuksen hakkuuseen ja korjuuseen sisältyy ongelmia jäävän puuston osalta. Alikasvoksen säästäminen edellyttää suurta huolellisuutta. Korjuun tekniset on-

gelmat eivät Dalen ym. (1993) mukaan ole kuitenkaan niin suuria kuin enemminkin on luultu.

Säännöllisen erirakenteisena metsän kasvattaminen merkitsee onnistuessaan jatkuvasti suhteellisen tasaista kasvua, joka ylittää tai on samansuuruista kuin kupevan erirakenteisten ja tasarakenteisten metsiköiden kasvu (Lähde ym. 1994a, b, Saksa ym. 1999). Kiertoaikaan perustuvassa jaksollisessa kasvatuksessa vuotuinen tilavuuskasvu on suurimmillaan kasvatusmetsän kehitysvaiheessa (taulukko 2). Uudistus- ja taimikkovaiheessa tilavuuskasvu on huomattavasti vähäisempää. Parhaimmillaan säännöllisen erirakenteista metsää kasvatetaan jatkuvalla kasvatuksella koko ajan kasvatusmetsää vastaavassa kehitysvaiheessa. Tulokset antavat myös viitteitä siitä, että erityisesti Pohjois-Suomessa tai yleensä valtapuustoltaan vanhassa puustossa, jossa kuitenkin on runsaasti elpymiskykyisiä lisävaltapuita ja muuta pienempää puustoa, erirakenteiskasvatus antaa alaharvennukseen verrattuna suurimman eron puuntuotoksessa (taulukko 3). Nuoremman valtapuuston metsiköissä ero on pienempi.

3.3.3 Erirakenteisten metsiköiden alikasvos ja uudistuminen

VMI8:n pysyvien koealojen jo aiemmin (Lähde ym. 1999d) esitetyt tiedot osoittavat, että kaikissa nyt tutkituissa metsikkörakenteissa oli 1980-luvun puolivälissä runsaasti alikasvosta (< 6 cm). Erilaisissa erirakenteisissa metsiköissä se em. tutkimuksen mukaan vaihteli 6000–8000 kpl ha⁻¹ välillä. Eniten sitä oli säännöllisen erirakenteisissa ja vähiten epäsäännöllisen erirakenteisissa. Männyn, kuusen ja koivun määrä oli noin puolet alikasvoksesta. Se vaihteli 3000–4000 kpl ha⁻¹ välillä. Alikasvos oli siten 1980-luvun puolivälissä kaikissa erirakenteisissa metsissä jo sinänsä riittävän suuri kokonaan uuden puuston kasvattamista varten.

Alikasvoksen säilyttäminen hakkuissa merkitsee taloudellista säästöä uudistamiskustannuksissa (Aarnio ym. 1998) ja samalla uudistamisen huomattavaa nopeutumista (Laiho ym. 1994, Moilanen ja Saksa 1998). Alikasvosta onkin esiintynyt Suomen metsissä niin runsaasti, että esimerkiksi Ilvessalo (1962) on todennut niiden runsauden olleen harvennusten vaikein pulma, mikäli pienten puiden poistaminen olisi ollut välttämätöntä.

Erirakenteisen kuusivaltaisen metsän uudistumista on myös kuvattu yksityiskohtaisesti tekijöiden aiemmissa julkaisuissa (Lähde 1992a, c, Lähde ym. 1999d). Niiden mukaan pitkään käsittelemättöminä Etelä-Suomessa olleilla koealoilla (21 koealaa) kuusen taimiainesta (< 0,1 m) oli keskimäärin jopa 130 000 kpl ha⁻¹, mutta koivun taimiainesta vain 134 kpl ha⁻¹. Vaihtelu koealoittain oli suuri. Kuusen taimia (0,1–1,3 m) oli vajaasta tuhannesta lähes kymmeneen tuhanteen eli keskimäärin lähes 5000 kpl ha⁻¹ ja koivun taimia muutamasta kymmenestä yli tuhanteen hehtaaria kohti (keskimäärin 550 kpl ha⁻¹). Männyn taimiainesta ja taimia ei koealoilla esiintynyt. Keskimäärin kuusen taimimäärä ylitti selvästi tasarakenteisenakin kasvatettavan puuston uudistumisen minimitason. Yhdellä koealalla ei ollut lainkaan kuusen eikä

koivun taimia, mutta kuusen taimiainesta oli 76000 kpl ha⁻¹. Kolmella koealalla 21:stä kaikilla mittausympyröillä oli sekä kuusen että koivun taimia. Tyhjiä ympyräkoealoja oli keskimäärin 38 %, mutta sellaisia tyhjiä ympyräkoealoja, joilla ei ollut myöskään puita, oli vain 7 %. Vastaavasti sellaisia tyhjiä ympyräkoealoja, joilla ei ollut taimiainesta eikä taimia oli 4 % ja samalla puuttomia vain 1 %.

Puuston runkolukua, tilavuutta, pohjapinta-alaa, pienten puiden (< 10 cm) ja suurten puiden (> 26 cm) lukumäärää sekä lähimmän kuusen etäisyyttä ympyräkoealan keskipisteestä käytettiin selittävinä muuttujina taimimäärille regressioanalyysissä. Koska taimimäärien jakaumat eivät noudattaneet normaalijakaumaa, tehtiin logaritmuunnos. Kuusen taimien määrän vaihtelua selitti parhaiten puuston pohjapinta-ala ($R^2 = 0,34$; $p < 0,01$). Mitä suurempi pohjapinta-ala oli sitä pienempi oli kuusen taimien määrä. Puustotunnukset eivät kuitenkaan selittäneet koivun taimien määrän vaihtelua. Linearisessa regressiomallissa lähimmän kuusen etäisyys selitti jonkin verran taimien määrän vaihtelua (kuusen taimet: $R^2 = 0,22$; $p < 0,05$; koivun taimet: $R^2 = 0,18$; $p < 0,01$; taimet yhdessä: $R^2 = 0,26$; $p < 0,01$).

Jo aiemmin esitettyjen tulosten mukaan (Lähde 1992a, c, Lähde ym. 1999d) taimiaineksen ja taimien määrä vaihteli voimakkaasti myös jatkuvalla kasvatuksella käsitellyissä erirakenteisissa kuusivaltaisissa metsiköissä Etelä-Suomessa (46 koealaa). Muutaman (3–7) vuoden kuluttua hakkuusta kuusen taimiainesta oli keskimäärin 64000 kpl ha⁻¹ ja koivun taimiainesta lähes 2800 kpl ha⁻¹. Yli puolella koealoista (25 koealaa) oli koivun taimiainesta. Männyn taimiainesta ja taimia esiintyi vain yksittäisinä. Kuusen ja koivun taimia oli kolmea koealaa lukuunottamatta yli 800 kpl ha⁻¹. Niilläkin koealoilla, joilla taimia oli vähemmän, oli kuitenkin taimiainesta useita tuhansia. Suurimmillaan kuusten ja koivujen taimimäärä nousi 45000 kpl:een ha⁻¹ keskiarvon ollessa 6500 kpl ha⁻¹. Vain kahdelta koealalta puuttuivat koivun taimet. Keskimäärin niitä oli noin 3000 kpl ha⁻¹. Niistä keskimäärin kaksi kolmasosaa oli hieskoivuja ja yksi kolmasosa rauduskoivuja. Säännöllisen erirakenteisten metsiköiden (13 koealaa), joiden tilavuus vastasi jatkuvan kasvatuksen hakkuun jälkeen myöhemmin esitettävän kasvatusmallin ennen hakkuuta ja hakkuunjälkeisen puuston tilavuutta 140–260 m³ha⁻¹, kuusen ja koivun taimia oli yli 6 000 ha⁻¹ (min. 938–max. 18188), joista koivun taimia oli lähes 2000 (188–6000). Vastaavissa kupevan erirakenteisissa metsiköissä (10 koealaa) taimimäärät olivat säännöllisen erirakenteisia metsiköitä pienempiä: kuusi 1052 (188–3139), koivu 396 (63–1563) ja yht. 1445 (250–3278) kpl ha⁻¹.

Logaritmuunnos vahvisti tässäkin aineistossa puustotunnusten selittävyyttä. Esimerkiksi koivun taimien määrän vaihtelua selitti parhaiten puuston pohjapinta-ala ($\ln y = 10,35 \cdot (-0,20)x$; $R^2 = 0,36$; $p < 0,001$), kun kaksi äärimmäistä taimiarvoa poistettiin. Koivun taimia oli sitä enemmän mitä pienempi oli puuston pohjapinta-ala. Askeltavassa regressioanalyysissä yhdessä pienten puiden (< 10 cm) määrä, puuston pohjapinta-ala sekä lähimmän kuusen etäisyys selittivät parhaiten kuusen ja koivun taimien määrää ($R^2 = 0,36$). Pohjapinta-alan pienetessä, lähimmän kuusen etäisyyden ja pienten puiden määrän suuretessa taimimäärä suureni.

Taimiaineksen ja taimien osalta tyhjiä ympyräkoealoja oli 23 koealalla eli puolella koealoista. Tyhjiä ympyräkoealojen osuus koealoilla vaihteli 0–56 %. Keskimäärin niitä oli 8 %. Puuttomien ympyräkoealojen osalta vastaava vaihteluväli oli 0–38 % ja keskiarvo 3,5 %. Kaikista ympyräkoealoista kuitenkin vain alle kolmella prosentilla ei ollut puita. Käytännöllisesti katsoen kaikilla ympyräkoealoilla oli siten joko taimimateriaalia (taimiaines ja taimet) tai puita.

Tulosten mukaan kuusen ja koivujen taimimäärä riittäisi täyttämään tasarakenteisenkin puuston uudistamisen minimitason. Taimimateriaalin inventointi tehtiin kenttäkoeaineiston osalta kuitenkin ajankohtana, jolloin kuusen vuoden 1989 hyvä siemensato oli lisännyt taimiaineksen määrää, mutta taimimäärään se ei vielä ollut juurikaan ehtinyt vaikuttaa. Kuusen osalta nyt todetut tulokset ovat hyvin samankaltaisia kuin aikaisemmin Suomessa (Saksa ym. 1998) ja muissa Pohjoismaissa on erirakenteisissa kuusivaltaisissa metsissä mitattu (Böhmer 1957, Lundqvist 1989, Lundqvist ja Fridman 1996). Lehtipuiden taimien syntymisestä ja kehityksestä erirakenteisissa metsissä on erittäin vähän mitattua kokeellista tietoa Pohjoismaista. Inventointitiedot (VMI3 ja 8) toisaalta osoittavat, että lehtipuita on esiintynyt Etelä-Suomen varttuneiden kangasmetsien alikasvoksessa (< 6 cm) useita satoja kpl ha⁻¹ (Lähde ym. 1999d).

3.4 Mallien kehittäminen

3.4.1 Metsänkäsittelyn valinta

Metsänkäsittelyn päävaihtoehtoja ovat tasarakenteisena tai erirakenteisena kasvatus. Tasarakenteiselle metsälle on ominaista varttumisen kiertoajan kuluessa taimikosta uudistuskypsyteen. Kiertoaika päättyy avohakkuuseen tai niukkapuustoiseen uudistusasetoon. Tasarakenteinen puusto on harvinaisuus ja sellaisina usein pidetyt metsiköt ovat tämän tutkimuksen luokituksen mukaan yleensä kupevan erirakenteisia. Niissä on siten puita eniten runkolukujakauman keskellä. Puiden laaja kokovaihtelu lisää tasarakenteiseen metsikköön verrattaessa monimuotoisuutta. Samanlainen vaikutus on metsän kaksijaksoisuudella. Tällöin aika uudistamisvaiheesta seuraavaan on tavanomaista pitempi. Jatketussa kiertoajassa saadaan kaksi puusatoa, mikä lisää taloudellista tuottoa.

Tyypillistä erirakenteismetsää luonnehti deLiocourtin (1898) ensimmäisenä kuvaama käännettyä J-kirjainta muistuttava runkolukujakauma. Runkoluku kasvaa läpimittaluokasta pienempään siirryttäessä aina q-kertoimen verran eli peräkkäiset runkoluvut muodostavat geometrisen sarjan. Suomessa on virheellisesti rinnastettu säännöllisen erirakenteinen metsä määrämittahakkuulla käsiteltyyn metsään (Appelroth ym. 1948) ja katsottu niiden johtavan puuston perimän heikkenemiseen (2.2) ja suureen tuotostappioon. Inventointiaineisto ei tue tuotostappion näkemystä, vaan säännöllisen ja kupevan erirakenteiset metsät ovat kasvaneet lähes yhtä hyvin. Järjestetyissä kokeissa erirakenteiskasvatuksen suurempi puuntuotos on ollut sitä selvempi, mitä vanhempaa valtapuusto eriytyshakkuun aikaan on ollut. Puun laatua pa-

rantaa alistetusta taimiasemasta aiheutuva tasainen lustopakisuus ja hieno-ok-saisuus. Merkittävä riskitekijä on kiireisen konekorjuun aiheuttama taimien tuhoutuminen.

Yleisyyden, luonnonmukaisuuden, monimuotoisuuden, hyvän puuntuotoksen ja mm. monikäytön kannalta tärkeän jatkuvan peitteisyyden vuoksi säännöllisen erirakenteinen metsä valittiin ekometsänhoidon perusmalliksi, jollaiseksi metsiköt siten pyritään ensi sijassa kehittämään. Tämän runkolukujakaumaltaan käänteistä J-kirjainta muistuttavan metsikkömallin (taulukko 4) kehittäminen tapahtui seuraavin askelin:

1. Aineiston valinta
2. Q-arvon määrittäminen
3. Pohjapinta-alan määrittäminen
4. Mallipuuston kasvun määrittäminen
5. Hakkuukertymän määrittäminen

3.4.2 Hakkuunjälkeinen puustomalli

VMI-aineistojen kiinteäalaiset yhtenäistä metsikköä edustavat inventointikoealat tarkkoine mittauksineen vastaavat tutkimuksen normaaleja kertakoealoja. Erityinen etu on otantaan perustuva edustavuus ja aineiston laajuus. Koealojen samapaikkaisuuden puutteesta huolimatta peräkkäiset inventoinnit kertovat myös metsikkörakenteiden pysyvyydestä.

Mallintamisen aineistoksi valittiin vuosina 1951–1953 toteutettu kolmas inventointi. Tuolloin maamme metsät olivat vielä verrattain lähellä luonnontilaa, sillä merkittävästi puuston rakennetta muuttavaa alaharvennusta oli käytetty rajoitetusti ja poimintahakkuu ei muuta olennaisesti säännöllistä erirakenteisuutta. Mallinnuksen kohteeksi otettiin yleisimmät kivennäismaan kasvupaikat sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa. Aineisto rajoitettiin säännöllisen erirakenteisiin väljennys- ja uudistuskypsiin metsiin, jotta koealoilla oli mahdollista olla myös suurikokoista puustoa.

Koealojen koko oli läpimitaltaan 10 cm ylittävän puuston osalta 0,1 ha. Kullekin koealalle laskettiin runkolukujakauma 4 cm:n läpimittaluokissa miniminä 2 cm:n rinnankorkeusläpimitta. Luokka 10–14 cm on Suomessa alin kaupallinen runkokoko. Sitä pienempi puusto on metsikön kehitykselle tärkeä, mutta sen lukumäärä voi vaihdella huomattavasti ilman mainittavaa vaikutusta metsikön tuotokseen. Luokka 26–30 cm puolestaan edustaa hakkuukypsyysrajaa. Sen kokoista puustoa kasvava tasarakenteinen metsikkö on kypsä uudistettavaksi. Yli 30 cm rinnankorkeudelta oleva puusto on järeää erikoispuuta. Sen esiintyminen säännöllisen erirakenteisessa metsässä on tärkeää laatupuun kasvattamisen ja monimuotoisuuden vuoksi, mutta sen määrä on harkinnanvarainen. Runkolukujakauman kiinteän ydinosa muodostavat siten läpimittaluokkiin 3–7 (10–30 cm) kuuluvat puut. Näiden viiden läpimittaluokan puiden lukumääräsuhteet määräävät keskeisesti metsikön rakenteen. Tämän puuston q-arvo oli inventointiaineistossa keskimäärin 1,56. Q-arvo ei riippunut oleellisesti alueen sijainnista eikä kasvupaikasta. Näin kaikkien mallien q-arvo pyöristettiin lähimpään tasakymmenyksen 1,6. Se on myös kansainvälisesti yleistä tasoa (Lähde ym. 1999a, b), joskin arvojen ver-

tailua vaikeuttaa puulajien biologinen erilaisuus, suuri ero maksimikoossa sekä q-arvon keskeinen riippuvuus käytetyn läpimittaluokan laajuudesta. Niinpä arvoa 1,6 neljän sentin luokkalaajuudella vastaa q-arvo 1,26 kahden sentin luokissa. Järeää erikoispuuta malleihin sisällytettiin hieman vähemmän kuin sitä esiintyi inventointiaineistossa. Aineisto osoitti tälle puuston osalle edellistä korkeampaa q-arvoa eli 2,0.

Ekometshoidon perusmallin muodostaa se runkolukujakauma, joka metsällä hakkuun jälkeen on. Jakauman muodon määrää q-arvo ja runkoluvun pohjapinta-ala. Sen määrittämisessä tukeuduttiin samaan inventointiaineistoon kuin q-arvon osalta. Puuston keskimääräistä pohjapinta-alaa käytettiin mallin tasona hakkuun jälkeen. Näin meneteltiin siksi, että puustopääoma oli 1950-luvun alussa verrattain alhainen ja monet säännöllisen erirakenteiset metsiköt olivat voimakkaasti hakattuja. Puustopääoma on lisääntynyt sen jälkeen kaikissa ositteissa (Laiho ym. 1999). Myös kenttäkokeiden tulokset tukevat aineiston sopivuutta mallien hakkuunjälkeiseksi pohjapinta-alaksi. Esimerkiksi Etelä-Suomen tuoreilla kankailla pohjapinta-alaksi muodostui 19 m²ha⁻¹ ja Pohjois-Suomen kuivahkoilla kankailla 14 m²ha⁻¹. Mallien pohjapinta-alat ovat keskimäärin 1 m²ha⁻¹ pienemmät kuin saman inventoinnin tasarakenteisilla koelaloilla ja 2 m²ha⁻¹ pienemmät kuin nykyiset tasarakenteiskasvatuksen mallit.

Hakkuunjälkeisen runkolukujakauman laskeminen tehtiin seuraavalla yhtälöllä:

$$G = \sum_{d=1}^9 \frac{a\pi}{40000} [D - (d-1)L]^2 q^{d-1},$$

jossa

G = mallimetsikön pohjapinta-ala (m²ha⁻¹)

d = läpimittaluokka 1...9 (1=2-6, 2=6-10, ..., 9=>34 cm)

D = läpimittaluokan 9 keskiläpimitta (36 cm)

L = luokkalaajuus (4 cm)

Q = runkoluvun suhde sitä lähinnä suuremman läpimittaluokan runkolukuun, 1,6 läpimittaluokille 1-7 ja 2,0 läpimittaluokille 7-9

a = pohjapinta-alasta riippuva kerroin

Yhtälöllä laskettiin mallin hakkuunjälkeiset runkolukujakaumat (taulukko 4). Kuiville kankailla aineisto oli niukka, mutta se viittasi Etelä-Suomessa pohjapinta-alaan 12 ja Pohjois-Suomessa 10 m²ha⁻¹. Mallien runkolukujakaumat ositettiin metsikkölajeittain, kasvupaikoittain ja läpimittaluokittain männylle, kuuselle ja lehtipuustolle inventointikoelajojen vastaavilla puulajisuhteilla. Kuusen osuus pohjapinta-alasta ylitti viljavilla kankailla 50 % ja männyn vastaavasti kuivahkoilla kankailla. Lehtipuuston osuus oli kaikilla kasvupaikoilla keskimäärin alle neljänneksen. Lehtipuusta olivat yleisimmät rauduskoivu, hieskoivu, haapa, harmaaleppä ja raita. Puuston runkotilavuuden laskennassa käytettiin Laasasenahon (1982) rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvia puulajeittaisia kuutioimisytälöitä.

3.4.3 Hakkuuta edeltävä puusto

Hakkuunjälkeisen puuston "kasvattamiseksi" oli käytettävissä yhteensä 13236 kpl inventoinnin koepuuta. Niistä oli määritetty puulajeittain mm. läpimitta, pituus, viiden viimeisen vuoden sädekasvu sekä pituuskasvu. Pituuskasvun asemasta käytettiin kuitenkin läpimitan suurenemisesta aiheutuvaa pituuslisää. Keskimääräinen sädekasvu oli 1,0 mm. Etelä-Suomessa sädekasvu oli suurin kuusella ja Pohjois-Suomessa männyllä. Sädekasvu suureni lievästi puiden läpimitan noustessa osoituksena isojen puiden aiheuttamasta varjostuksesta ja juuristikilpailusta. Ositteittaisia sädekasvuja ei kasvunlaskentaa varten tasoitettu läpimittaluokittain. Siitä aiheutuu lievää epätasaisuutta hakkuuta edeltävään runkolukujakaumaan ja sen seurauksena hakkuukertymään samaan tapaan kuin käytännössäkkin. Hakkuukiertoa laskettaessa otettiin huomioon puustotilavuuden lisääntymisestä johtuva suhteellisen kasvun alenema inventointiaineiston osoittamalla tavalla.

Taloudellisista syistä hakkuiden poistumavaatimus asetettiin välille 50–100 m³ha⁻¹, Etelä-Suomessa korkeampi kuin Pohjois-Suomessa. Sen saavuttaminen nostaa pohjapinta-alaa 7–12 m²ha⁻¹. Pohjapinta-ala ennen hakkuuta on keskimäärin 3 m²ha⁻¹ alle nykyisen käytännön harvennusrajan. Tilavuus vaihtelee ennen hakkuuta välillä 115–263 ja hakkuun jälkeen välillä 63–163 m³ha⁻¹. Tämä puustotaso on alhaisempi kuin Keski-Euroopassa, jossa Mitscherlichin (1952) ja Schützin (1994) mukaan optimitilavuus jatkuvassa kasvatuksessa on 350–400 m³ha⁻¹ ja Schützin (1994) mukaan vuoristojen kuusikoissa 220–300 m³ha⁻¹. Keskimääräinen kasvu, Etelä Suomessa 4,2–7,8 ja Pohjois-Suomessa 1,4–2,9 m³ha⁻¹a⁻¹ antaa hakkuukierron pituudeksi vastaavasti 13–19 ja 27–36 vuotta. Hakkuussa poistuva kaupallisuusrajan ylittävä runkoluku vaihtelee välillä 228–331 kpl ha⁻¹ ja poistuman tukkiosuus välillä 56–67 %. Kaupallisuusrajaa pienempiä puita menetetään palstateilla ja niitä vaurioituu korjuussa, mutta muuten niitä ei yleensä ole syytä hakata.

3.4.4 Mallien testaaminen

Mallien toimivuutta testattiin kenttäkokein laskemalla jatkuvalla kasvatuksella käsitellyille säännöllisen erirakenteisille metsikkökoealoille mallitilavuutta vastaava hakkuukierto. Nuorehko hyväkasvuinen lehtomaisen kankaan eteläsuomalainen kuusikko, jossa oli 10 ensiharvennuksen jälkeistä koealaa (taulukko 3, koe 1) saavutti hakkuukypsyden 9 vuodessa eli neljä vuotta ennen vastaavaa mallia. Etelä-Suomessa sijaitsevat 18 tuoreen kankaan kuusikkoa, kussakin yksi jatkuvalla kasvatuksella saannöllisen erirakenteiseksi muutettu koeala (taulukko 3, koe 2) saavuttivat vastaavan hakkuukypsyden keskimäärin mallin mukaisesti 17 vuodessa. Ottaen huomioon näiden koealojen puuston suuren tilavuuden ennen metsikkörakenteen eriyttämishakkuuta malli näyttää aliarvioivan kasvua. Tätä aliarviota tukee myös kasvun merkittävä lisääntyminen sitten 1950-luvun, jolloin kupevan ja säännöllisen erirakenteiset varttuneet metsät kasvoivat lähes samalla nopeudella (taulukko 1).

Q-arvon suureneminen 1,6:sta 1,8:aan nostaa mallin mukaista runkolukua 29, alentaa kuutiomäärää 6 ja lisää kasvua 4 % (taulukko 5). Vastaavansuuruinen q-arvon lasku pienentäisi kasvua saman määrän. Runkolukujakauma voi siten vaihdella huomattavasti ilman merkittävää vaikutusta kasvuun. Kaksijaksoinen metsikkö, muuten mallin mukaisena mutta 10-18 cm väli puuttomana antaisi niinikään sen kanssa aivan saman kasvun. Mallia ei siten tarvitse kovin tarkasti noudattaa kuten eri yhteyksissä on korostettukin (Foiles 1978, O'Hara 1996). Jos korjuu tapahtuu huolellisesti riittää mallia niukempi-kin nuorennos ja 2-14 cm puustolle siten muuta jakaumaa alempi q-arvo, esimerkiksi 1,4. Q-arvo 1,0 edellyttäisi, ettei yhtään tainta eikä puuta tuhoutuisi ennen päätehakkua. Q-arvo 0,5 pienille puille merkitsee kupevan erirakenteista metsikköä.

Säännöllisen erirakenteisen metsän kasvua voidaan myös lisätä pohjapinta-alaa nostamalla (taulukko 5). Esteeksi muodostuu kuitenkin uudistumisen vaarantuminen. Jos uudistumisen edistämiseksi tai männyn ja lehtipuiden osuuden lisäämiseksi alitetaan ohjeellinen pohjapinta-ala esimerkiksi $2 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, alenee kasvu tilapäisesti 4 %. Hakkuu ennen mallin mukaista hakkuusaantoa, esimerkiksi nuorennoksen kunnon heiketessä, vähentää saantoa ja vaikuttaa siten korjuukustannuksiin.

Kuten aiemmin (3.3.3) on todettu taimimäärä oli jatkuvan kasvatuksen koaloilla keskimäärin runsas. Pohjapinta-alan suuretessa taimimäärä kuitenkin aleni. Näin oli etenkin koivun taimien osalta. VMI3:n aineiston mukaan pääpuulajien (mänty, kuusi ja koivu) taimimäärä mallien hakkuunjälkeisen ja ennen hakkuuta vastaavan tilavuuden omaavissa metsiköissä ylitti 4000 kpl ha^{-1} (taulukko 6). Männyn lukumäärä lisääntyi selvästi viljavuuden heiketessä ja kuusi ja koivu vastaavasti vähenivät. Alikasvoksen esiintyminen oli niin taasaista, ettei sen määrä jäänyt yhdelläkään koelalalla alle 1000 kpl ha^{-1} ja pääosalla koaloja se ylitti 3000 kpl ha^{-1} . Koelalakoko oli 0,01 ha. VMI8:n koaloilla alikasvosta oli vielä enemmän ja lehtipuusto runsasta (Lähde ym. 1999d). Tutkitut aineistot tukevat näkemystä, että säännöllisen erirakenteinen metsä on Suomen oloissa pysyvä rakenne ja puulajisuhteita voidaan säädellä hakkuin kohtalaisen hyvin.

Ekometsänhoidon malliin sisältyy monimuotoisuuden vuoksi verrattain paljon läpimitaltaan yli 30 cm puustoa. Ollakseen taloudellisesti kannattavaa tämän suhteellisen hidaskasvuisen puuston osan tulee olla kallista erikoispuuta, jolloin sen arvokasvu kompensoi tilavuuskasvun menetyksen ja tuotto voi nousta hyvinkin suureksi (von Kynast 1995, Mohr & Schori 1999). Ellei järeän puun hinta merkittävästi poikkea tukkipuun keskihinnasta, q-mallin käyttö voi johtaa selvään tuottotappioon (Lu & Buongiorno 1993). Samalla-kin q-arvolla päästään toisaalta hyvään tuottoon, jos järeä puusto kokonaan poistetaan hakkuussa. Tätä määrämittahakkuun mallia noudatettaessa puuston kasvu nousee ja siirtymä tukkipuustoon on runsasta. Säännöllisen erirakenteinen metsä tarjoaa siten monia mielenkiintoisia kasvatusvaihtoehtoja. Niiden perusteellinen selvittäminen ja ekometsänhoidon mallien kehittäminen tässä esitettyä pidemmälle edellyttävät mallintamismenetelmien monipuolista käyttöä (Adams & Ek 1974, Lu & Buongiorno 1993). Lisäksi tarvi-

taan nykyistä enemmän tietoja nuorennoksen syntyyn ja kehitykseen sekä erikokoisten puiden kasvuun peitteisessä metsässä vaikuttavista tekijöistä.

Taulukko 4. Säännöllisen erirakenteisten metsiköiden mallirunkolukusarjat (eh= ennen ja jh= hakkuun jälkeen), hakkuumäärä (kert.) ja puustotunnuksia Etelä- ja Pohjois-Suomen erilaisilla kasvupaikoilla. Metsikkölajit ks. taulukko 1.

Kasvu- paikka	Metsikkö- laji	Läpimittaluokka, cm													Yht. kpl/ha	Tilav. m³/ha	Ppa m²/ha	Hakk. kierto, v
		4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44						
Etelä-Suomi																		
OMT	H	eh	875	592	379	225	154	99	63	42	21	12	2	2463	263	32		
		jh	690	432	270	169	105	66	41	21	10			1803	163	21		
		kert.	185	160	109	57	48	33	22	22	25			660	100	11	14	
OMT	S	eh	862	584	376	239	159	96	63	40	21	14	3	2455	261	33		
		jh	690	432	270	169	105	66	41	21	10			1803	161	21		
		kert.	172	153	106	70	53	30	21	19	27			652	100	12	13	
OMT	L	eh	728	472	310	224	125	89	60	31	20	12	4	2074	224	28		
		jh	592	370	231	144	90	56	35	18	9			1546	134	18		
		kert.	136	102	79	80	34	33	24	13	27			528	90	10	15	
MT	H	eh	765	542	303	214	148	91	57	37	22	12	2	2192	230	30		
		jh	625	390	244	153	95	60	37	19	9			1632	140	19		
		kert.	140	152	59	61	52	31	20	18	27			560	100	11	17	
MT	S	eh	796	543	345	212	144	89	58	37	19	11	3	2257	231	30		
		jh	625	390	244	153	95	60	37	19	9			1632	141	19		
		kert.	171	152	101	60	48	30	21	18	24			625	90	11	16	
MT	L	eh	616	431	241	177	124	77	44	38	20	8	8	1781	197	26		
		jh	526	205	205	128	80	50	31	16	8			1374	117	16		
		kert.	88	35	35	48	44	26	12	22	28			405	80	10	16	
VT	H	eh	708	470	301	209	139	90	50	36	19	12	0	2035	207	28		
		jh	592	370	231	144	90	56	35	18	9			1546	127	18		
		kert.	116	100	70	65	49	34	15	19	22			489	80	10	19	
VT	S	eh	686	438	322	200	131	87	54	39	21	6	2	1986	210	27		
		jh	592	370	231	144	90	56	35	18	9			1546	130	18		
		kert.	94	68	91	56	41	31	19	21	20			440	80	9	19	
Pohjois-Suomi																		
OMT	H+	eh	672	440	285	209	154	84	52	41	22	9	0	1968	206	28		
		jh	592	370	231	144	90	56	35	18	9			1546	126	18		
		kert.	80	70	54	65	64	28	17	23	22			422	80	10	27	
MT	H	eh	734	414	252	194	127	75	52	40	20	10	1	1917	184	26		
		jh	559	349	218	136	85	53	33	17	8			1460	114	17		
		kert.	75	64	33	57	41	22	18	23	22			357	70	9	27	
MT	S	eh	657	439	285	203	126	85	54	37	19	10	0	1914	177	27		
		jh	559	349	218	136	85	53	33	17	8			1460	107	17		
		kert.	98	89	67	66	41	31	20	20	21			454	70	10	31	
VT	H	eh	566	400	257	175	96	75	50	28	14	7	0	1668	148	22		
		jh	460	288	180	112	70	44	27	14	7			1202	88	14		
		kert.	106	113	77	62	26	31	22	14	14			466	60	8	29	
VT	S	eh	562	374	255	165	104	80	43	36	17	7	0	1642	143	23		
		jh	460	288	180	112	70	44	27	14	7			1202	83	14		
		kert.	102	86	75	53	34	36	16	22	17			440	60	9	37	
VT	L	eh	432	274	239	118	99	60	28	18	21	9	0	1297	115	19		
		jh	362	226	141	88	55	34	22	11	5			945	65	11		
		kert.	70	48	98	30	43	25	7	7	25			352	50	8	36	

Taulukko 5. Puuston runkoluku (kpl ha⁻¹), tilavuus (m³ha⁻¹) ja kasvu (m³ha⁻¹a⁻¹) säännöllisen erirakenteisen metsän kasvatusmallin (taulukko 4) erilaisilla q-arvoilla ja pohjapinta-aloilla mustikkatyyppin sekametsässä Etelä-Suomessa.

Pohjapinta-ala, m ² ha ⁻¹	Puusto-tunnus	1,4	Q-arvo 1,6	1,8
23	Runkoluku	1461	1975	2556
	Tilavuus	180	171	161
	Kasvu	5,32	5,59	5,80
21	Runkoluku	1334	1803	2334
	Tilavuus	165	156	147
	Kasvu	5,16	5,42	5,64
19	Runkoluku	1207	1632	2111
	Tilavuus	149	141	133
	Kasvu	4,99	5,19	5,38
17	Runkoluku	1080	1460	1889
	Tilavuus	133	126	119
	Kasvu	4,75	4,98	5,16
15	Runkoluku	953	1288	1667
	Tilavuus	118	111	105
	Kasvu	4,48	4,67	4,80

Taulukko 6. Pääpuulajien alikasvos (mänty ja kuusi h >20 cm < 6 cm D1,3 ja koivu h >50 cm < 6 cm D1.3) säännöllisen erirakenteisissa metsiköissä Etelä-Suomessa puuston tilavuuden ollessa ennen ja jälkeen hakkuun mallien (taulukko 4) mukainen. VMI3:n kasvillisuuskoelalat.

Metsätyyppi	OMT	MT	VT
Puuston tilavuus, m ³ ha ⁻¹	163-263	141-241	130-210
	Alikasvos, kpl ha ⁻¹		
Mänty	626	875	1788
Kuusi	2494	2263	1663
Koivu	978	876	492
	% koelaloista		
Alikasvosta yhteensä, kpl ha ⁻¹			
< 1000	0	0	0
1001-3000	12	39	37
> 3000	88	61	63
Koelaloja	77	191	108

4 Ekometshänhoidon ohjeet

4.1 Yleistä

Metsien monimuotoisuuden vuoksi ns. avainbiotoopit ja niiden välitön ympäristö jätetään hakkaamatta tai käsitellään poimintahakkuilla vain niin varovaisesti, että voidaan olla voimassa olevan metsälain mukaan varmoja biotoopin säilymisestä. Tällaisia biotooppeja ovat lähteiden ja purojen sekä muiden vesien rantavyöhykkeet ja harvinaiset erityisen viljavat tai muuten poikkeukselliset kasvupaikat. Samoin avainbiotooppeihin luetaan rotkot, kurut, jyrkänneet, kivikot, hietikot, kalliot, louhikot, vähäpuustoiset suot yms. Vastaavallaisia kohteita ovat myös harvinaisten lintujen tai muiden eläimien tai eliöiden pesäpuut ja pesäpaikat.

Pökkelöt ja maapuut jätetään hakkaamatta ja korjaamatta. Sama koskee kuolemaisillaan olevia yksilöitä, jos niillä harvinaisuuden tai muiden metsäekosysteemin harvinaisten lajien vuoksi on monimuotoisuuden kannalta erityistä arvoa. Pystykuolleita tai kuolemaisillaan olevia puita voidaan turvallisuuden vuoksi katkaista muutaman metrin korkeudelta. Poikkeuksellisen laajan tuhon jäljiltä voidaan pääosa tuhopuustosta korjata sekä taloudellisista syistä että metsän terveydentilan vuoksi. Harvinaiset puulajit, erikoispuut, ja -muodot säästetään.

Osa eri lajien isoimpia puita jätetään metsikön sisäisen rakenteen ja maisemallisten syiden vuoksi hakkaamatta. Muutoin aukeaksi hakattavillekin aloille jätetään yksittäisiä säästöpuita. Hakkuilla pyritään kaikissa tapauksissa edistämään sekametsän kehittymistä. Se merkitsee yleensä lehtipuiden suostimista. Haapa, raita ja harvinaiset puulajit ovat monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeitä niitä tarvitsevien harvinaisten ja uhanalaisten lajien vuoksi.

Hakkuu tehdään yleensä vasta, kun metsikkö on saavuttanut sellaisen kehitysvaiheen, että hakkuukertymä on taloudellisesti mielekäs. Hyvä taloudellinen tulos saavutetaan, jos kertymä on lähes $100 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Pienempään kertymään voidaan tyytyä, jos siitä pääosa on tukkipuuta tai muutoin keskimääräistä arvokkaampaa raaka-ainetta. Pohjoisosissa ja karuilla kasvupaikoilla joudutaan yleensä tyytymään pienempään hakkuukertymään. Alikasvoksen säästäminen saattaa samoin joissakin tapauksissa edellyttää pienempää hakkuumäärää. Toisaalta runsas puusto ja uudistamisen nopeuttamistarve voivat edellyttää keskimääräistä voimakkaampaa hakkuuta, mutta puustoa ei saa hakata niin voimakkaasti, että tilavuuskasvu putoaa puoleen tavoitetasosta. Joustavuus hakkuumäärässä ja ajoituksessa sekä kasvatusmallien noudattamisessa ja taloudellisuus ovat tärkeitä näkökohtia (Foiles 1978). Sellaista puuta, jolla ei ole taloudellista käyttöarvoa, ei yleensä ole syytä hakata.

Vaikka useita uusia teknisiä ratkaisumalleja (esim. keinuvapyöräinen Terrier ja kävelevä metsäkone) on tällä hetkellä kehitteillä, joudutaan erirakenteisissakin metsissä vielä useimmiten tyytymään tasarakenteista puustoa varten kehitettyihin hakkuu- ja korjuumenetelmiin. Sellaiset menetelmät, jotka on kehitetty niiden harvennushakkuihin, soveltuvat useimmiten myös erirakenteisten metsien käsittelyyn. Suurempaa huolellisuutta ja ammattitaitoa vaativina ne saattavat merkitä kuitenkin joitakin lisäkustannuksia. Kaikissa hakkuissa on varottava vaurioittamasta jäävää puustoa ja maaperää. Siksi

pehmeillä mailla tulee erityisesti välttää toimenpiteitä sulan maan ja sateisen kauden aikana. Hakkuiden keskittäminen roudan vuoksi talvikauteen on järkevää. Lumipeite suojaa taimia ja juuristoa hakkuu- ja korjuuvaurioilta, mutta pakkasen kiristytessä kasvainten katkeamisherkyys kasvaa voimakkaasti. Kevyiden teknisten ratkaisujen tutkimus- ja kehittämistyö on yhä tärkeämpää mm. odotettavissa olevan ilmaston lämpenemisen vuoksi. Poikkeustapauksissa ja erityiskohteissa hevosen käyttö modernilla kalustolla varustettuna voi olla tarkoituksenmukaista.

Alikasvoksen säästäminen erirakenteisten metsien hakkuussa on erittäin tärkeää. Alikasvos muodostaa metsän peitteellisenä säilyttämisen perustan, joka monien uhanalaisten lajien kannalta on tärkeää. Metsäkanalintujen pesimisen onnistumisen kannalta alikasvoksella on suuri merkitys. Munista kuoriuduttuaan poikaset tarvitsevat välittömästi suojaa, mistä alikasvos huolehtii. Alikasvos on metsän uudistumispotentiaali. Kustannussäästöt uudistamisessa ja taimikonhoidossa kompensoivat varovaisen hakkuun ja korjuun edellyttämiä lisäkustannuksia. Pohjoisosissa kehittyvät vanhoista männyistä pystyynkuolemisen ja kuivumisen ansiosta keloja. Ne ovat rakennusmateriaalina monin verroin arvokkaampia kuin samankokoiset tuoreet puut. Keloista on jatkuvasti puutetta ja uusia syntyy kovin hitaasti. Jättämällä hakkaamatta osa isoimmista männyistä voidaan monimuotoisuuden rikastuttamisen lisäksi turvata myöhemmin kelojen tuottaminen.

Vaikka ekometsänhoidossa on tavoitteena välttää avohakkuuta, alaharvennusta ja alikasvoksen raivausta, on niitä tarpeen käyttää tapauskohtaisesti soveltaen, kun halutaan esimerkiksi avata maisemaa. Puistometsässä alikasvoksen raivaus ja alaharvennus ovat joissakin tapauksissa tarpeellisia toimenpiteitä.

4.2 Erirakenteiset metsät

4.2.1 Säännöllisen erirakenteiset

Säännöllisen erirakenteisissa metsiköissä pyritään säilyttämään runkolukujakaumaltaan käänteistä J:tä muistuttava rakenne (kuva 3). Ensimmäisessä käytetään puittaista jatkuvaa kasvutusta. Kun halutaan lisätä uudistamisessa valoa vaativien lajien kuten männyn ja koivun osuutta tai pyritään varmistamaan uudistuminen ja alikasvosryhmien nopea elpyminen, on vaihtoehtona ryhmittäinen jatkuva kasvatus. Hakkuulla säädellään myös puulajisuhteita suosimalla valopuita kuten mäntyä, koivua ja haapaa. Kuusivaltaisessa metsikössä hakataan siten ensimmäisessä eniten varjostavia kuusia. Q-arvon tavoitteeksi suositellaan neljän senttimetrin läpimittaluokissa 10–30 cm välillä edellä esitetyn mallin mukaisesti 1,6 ja niitä suuremmille läpimittaluokille 2,0, mutta se voi vaihdella hyvinkin laajoissa rajoissa. Kansainvälisesti suositellaan q-arvoksi yleensä 1,3–2,0. Sama vaihteluväli näyttää sopivalta myös Suomen oloissa. Kasvupaikasta ja sen sijainnista riippuen jäävien isojen puiden määrää säädellään. Viljavilla kasvupaikoilla ja etelämpänä niitä jätetään eniten. Jos uudistuminen on epätäydellistä, voidaan sitä nopeuttaa viljelyllä. Runkolukujakauman ei kuitenkaan tarvitse kaikissa kohteissa olla voimak-

kaasti vino. Riittää kunhan uudistuminen täydentää hakkuun jälkeen jakamaan syntyneen isompien puiden vajauksen.

4.2.2 Muut erirakenteiset

Kupevan erirakenteisia eli runkojakaumaltaan normaalijakaumaa muistuttavia varttuneita metsiä esiintyy jonkin verran metsän luonnonvaraisessa kehityksessä. Todennäköisesti kyse on metsiköistä, jotka ovat syntyneet täysitiheinä suhteellisen lyhyessä ajassa. Näin on voinut tapahtua esimerkiksi kaskeamisen tai voimakkaan metsäpalon jälkeen.

Rakenteen lievä monipuolistuminen ja tiheä alikasvos (< 6 cm) 1980-luvun puolivälissä viittaavat siihen, että alikasvosta on syntynyt myös alaharvennuksen ja hakkuualan raivauksen jälkeen. Alikasvosta on kaikissa erirakenteisissa metsiköissä ollut inventointiaineistojen mittauksen mukaan useita tuhansia hehtaarilla. Puuntuotannon kannalta tärkeimpiä eli mäntyä, kuusta ja koivua on ollut yhteensä keskimäärin niin paljon, että ne jo sellaisenaan riittäisivät uuden metsän ainekseksi. Alikasvos saattaa esiintyä myös ryhmittäin. Se tulee ottaa huomioon hakkuun kohdistamisessa. Jos puusto järeytyy voimakkaasti, taimettuminen saattaa kuitenkin myöhemmin hidastua ja estyäkin. Runsaasti valoa vaativien puulajien uudistuminen vaikeutuu silloin varjostavien puiden alla.

Kupeva runkolukujakauma pyritään useimmissa tapauksissa vähitellen muuttamaan säännöllisen erirakenteiseksi (kuvat 3). Siihen päästään leikkamalla jakauman huippua. Siten tehdään tilaa alikasvokselle elpyä ja vähitellen nuoruusvaiheen nopeakasvuisuuden ansiosta saavuttaa vallitseva puujakso. Käsittely muistuttaa nykykäytännön yläharvennusta tai harsintaharvennusta, muutoin menettelystä on kovin niukasti tutkimustietoa käytettävissä. Jos hakkuun jälkeen ei tapahdu kohtuullisessa ajassa riittävää taimettumista, sitä voidaan nopeuttaa kylvöllä tai istutuksella.

Kaksijaksoiset puustot ovat syntyneet pääasiallisesti joko alaharvennuksen ja/tai alikasvoksen raivauksen tai toisaalta luontaisen uudistamisen hakkuun tuloksena. Niinpä 1980-luvun puolivälissä tämän rakenteen osuus oli noussut jo suuremmaksi kuin normaalijakaumaa muistuttavan rakenteen. Se oli yli neljännes varttuneista metsistä.

Myös jaksollista rakennetta kehitetään kohti säännöllistä erirakenteisuutta. Jos isompien puiden jaksossa ei ole riittävästi puita hakkuuta varten, annetaan alemman jakson saavuttaa ylempi jakso. Tällaisia esimerkkejä on metsissä nähtävissä, kun ylispuuhakkuu on viivästynyt niin pitkään, että alikasvoksen nopeimmin kasvaneet yksilöt ovat saavuttaneet päällyspuuston. Syntyneen rakenteen mukaan sovelletaan joko suoraan säännöllisen erirakenteisen metsikön tai kupevan eli normaalijakaumaa muistuttavan erirakenteisen metsikön käsittelymallia. Jos isomman puuston jaksossa on kasvatettavan lisäksi riittävästi myös hakattavaa puustoa, leikataan jakson huippua, mutta puita jätetään kaikkiin läpimittaluokkiin.

Runkolukujakaumaltaan epäsäännöllisen muotoisten rakenteiden osuus on ollut Suomen varttuneissa metsissä koko 1900-luvun ajan vähäinen. Ryhmä sisältää monia erilaisia rakennevaihtoehtoja. Niistä yleisin on ollut sellainen,

josta on puuttunut pienimmän (2–6 cm) läpimittaluokan puut. Muutoin rakenne on muistuttanut käännettyä J:tä eli säännöllistä erirakenteisuutta. Koska pientä (< 2 cm) alikasvosta on ollut kuitenkin tässäkin rakenneryhmässä runsaasti, on todennäköistä, että rakenne on syntynyt alaharvennuksen ja/tai alikasvoksen raivauksen tuloksena. Arviota tukee myös se, että 1920-luvun alussa tätä rakennetta esiintyi vähemmän kuin myöhemmissä inventoinneissa. Tässä rakenteessa (kuva 3) voidaan soveltaa säännöllisen erirakenteisen metsikön käsittelymallia siten, että tyhjän ensimmäisen läpimittaluokan (2–6 cm) jälkeen seuraaviin luokkiin jätetään mallia (taulukko 4) jonkin verran enemmän puita korvaamaan puuttuvia puita, kunnes alikasvos ehtii kehittyä. Muissa tämän rakenneryhmän metsiköissä sovelletaan muiden edellä kuvattujen erirakenteisten metsiköiden malleja.

Muiden erirakenteisten muuttamisesta säännöllisen erirakenteiseksi ei ole juurikaan käytettävissä kokeellista tutkimustietoa. Sen tuottamista tulisi kii-reellisesti tehostaa. Nyt esitetyt ohjeet perustuvat arvioihin inventointi- ja kenttäkoeaineiston perusteella ja metsässä havaittuihin esimerkkitapauksiin.

4.3 Tasarakenteisten puustojen erirakenteistaminen

4.3.1 Harvennuspuustot

Jos taimikko kehittyy niin tiheäksi, että elävän latvuksen osuus supistuu puissa liiaksi (alle 40 %), tehdään valikoivaa reikäperkausta, jolla vapautetaan muutamia satoja hyvälaatuisimpia yksilöitä hehtaaria kohti. Tasakokoiseksi kehittynyt luontainen tai viljelty tai niiden yhdistelmätaimikko edellyttää lähes aina jonkin verran harvennusta jo ennen ensimmäistä kaupallista hakkuuta. Jos taimikon tai nuoren puuston alle on syntynyt elinvoimainen alikasvos, pyritään puuston käsittelyllä edistämään myös alikasvoksen kehittymistä. Jos taimikko on syntynyt luontaisesti vaihtelevan rakenteisena sekataimikkona, se ei useinkaan tarvitse mitään hoitotoimenpiteitä ennen ensiharvennusta. Menettely tosin vaikeuttaa ensiharvennuksen teknistä suorittamista. Kaikissa käsittelyissä kehitetään puuston rakennetta säännöllisen erirakenteiseksi seka-puustoksi hakkaamalla huonolaatuisimmat puut ja osa isoimmista puista.

Varttuneessa kasvatusvaiheessa olevaa tasarakenteista puustoa harvennetaan siten, että kasvamaan jätetään edelleen jonkin verran myös parhaita pienempiä puita. Siten pyritään laajentamaan vähitellen runkolukujakaumaa. Puuston väljennyshakkuun jälkeen voidaan jo lähteä edistämään uudistumista ja siten puuston kehittymistä kaksijakoiseksi kevyellä muokkauksella, ellei luontaista uudistumista muutoin näytä tapahtuvan. Sen jälkeen jatketaan kuten kerroksellisen erirakenteisten puustojen kasvatusta (4.2.2).

4.3.2 Uudistuskypsät puustot

Uudistuskypsää tasarakenteista puustoa voidaan kehittää erirakenteiseen suuntaan usealla eri tavalla. Ensisijaisena vaihtoehtona on luontainen uudista-

minen suojus- ja siemenpuuhakkuulla. Pienialaisia aukkoja ja kapeita kaistaleita voidaan myös käyttää. Laajempaa avohakkuuta voidaan käyttää poikkeuksellisesti silloin, kun uudistusala aiotaan kulottaa. Kaikissa avohakkuissa jätetään uudistusalalle yksittäisiä säästöpuita. Jo uudistushakkuulla käsitelty puusto, kun siementävät puut vielä ovat jäljellä, käsitellään kuten kerroksellisen erirakenteiset (4.2.2).

Uudistuskypsän puuston puulajisuhteet vaikuttavat kasvuolosuhteiden ohella käsittelyvaihtoehtoihin. Jos puusto sisältää mäntyä ja/tai lehtipuita, on mielekästä valita uudistamisvaihtoehdoksi joko suojuspuu- tai siemenpuuhakkuu. Tällöin siementäväksi puustoksi jätetään pääosin mäntyjä ja/tai lehtipuita. Suojuspuuhakkuussa jätetään 150–350 ja siemenpuuhakkuussa 20–150 runkoa hehtaarille. Viljavilla mailla on tarkoituksenmukaista jättää jäljelle myös elinvoimaisia kuusia. Uudistumisen jälkeen jatketaan kasvatusta kerroksellisten erirakenteisten metsien ohjeen (4.2.2) mukaisesti.

Tapauksissa, joissa on jäljellä vain vanhoja usein lahovikaisia kuusia, on tarpeen käyttää eriasteisia avohakkuuta. Kaikissa avoavissa hakkuissa on kuitenkin syytä olla hakkaamatta kaikkia kuusia vaan jättää niitä myös lahoamaan pysty- ja maapuiksi sekä kuloaloilla tuottamaa palanutta puuainesta. Myös osa lahovikaisista tyveysistä on syytä jättää hakkuualalle lahoamaan.

Avaavista hakkuista suositeltavimpia ovat pienaukot ja kaistaleet. Pienaukot, joiden koko suurimmillaan on noin 0,3 ha, on suositeltavaa tehdä kuljetusurille. Kaistaleiden leveys on enintään 25 metriä. Niiden sijoittamisessa tulee ottaa huomioon maisema ja maaston vaihtelu. Kerrallaan käsitellään enintään kolmannes pinta-alasta. Hakkuutähteet voidaan polttaa myöhään syksyllä tai aikaisin keväällä, kun metsäpalon vaaraa ei ole. Kevyttä maan käsittelyä ja hajakylvöä voidaan käyttää luontaisen uudistumisen täydennyksenä.

Ekologisten erojen vuoksi (Odin 1974, Norokorpi 1982) pienialaisen ja laajan avoalan kokoraja on Etelä-Suomessa noin kaksi ja Pohjois-Suomessa noin puolitoista hehtaaria. Säästöpuiden vuoksi avoala ei ole missään vaiheessa täysin puuton. Pienialaisten avoalojen käyttö on suositeltavampaa kuin laaja-alaisten, joita käytetään vain poikkeuksellisesti kulotuksen sitä edellyttäessä. Myös pienialaiset avoalat on suositeltavaa kulottaa, mikäli se teknisesti on mahdollista. Yleensä ainakin hakkuutähdemasojen polttaminen on tarkoituksenmukaista. Vaihtoehtona tai kulotuksen täydennyksenä on toisinaan tarpeen käyttää kevyttä maanmuokkausta uudistumisen edistämiseksi. Luontaista uudistamista joko säästöpuiden ja/tai reunametsän siemennyksestä käytetään kaikilla avoaloilla mahdollisimman paljon. Enintään uudistusalan keskiosissa tarvitaan viljelyä. Hajakylvö mahdollisimman paikallisella metsikkösiemenellä on suositeltavin ratkaisu paikallisen geeniperimän ja sen monimuotoisuuden säilyttämiseksi.

5 Yhteenveto

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa ja kenttäkoeaineistossa esitettyjen tietojen mukaan metsät kehittyvät boreaalaisella vyöhykkeellä, johon Suomikin kuuluu, luontaisesti ensisijaisesti eri tavoin erirakenteisiksi. Tasarakenteiset

ja tasaikäiset metsiköt, joissa runkolukujakauma on suppea eli enintään 15 cm laajuinen, ovat harvinaisia. Ne ovat yleensä tilapäisiä ja hakkuilla tai viljelyllä aikaansaatuja. Yleisin rakenne varttuneissa metsissä on ollut säännöllisen erirakenteinen, jossa runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J:tä. Toiseksi yleisin rakenne oli 1920-luvun alussa normaalijakaumaa muistuttava eli kupevan erirakenteinen. Tätä rakennetta kutsutaan monesti tasaikäisrakenteiseksi, vaikka tarkkaa tietoa puiden iästä ei ole ja vaikka puita esiintyy lähes kaikissa mahdollisissa läpimittaluokissa. Yhteensä kahta edellä mainittua rakennetta oli 1920-luvulla 99 % Suomen varttuneista metsistä. Kerroksellisia metsiköitä on syntynyt lähinnä viime vuosikymmeninä vallinneen käytännön eli alikasvoksen raivauksen ja alaharvennuksen seurauksena. Suomen etelä- ja pohjoisosien välillä ei rakenteissa näytä olleen olennaisia eroja. Turvemailla säännöllinen erirakenteisuus on kuitenkin vielä yleisempää kuin kangasmailla. Säännöllisen erirakenteiset metsät vastaavat parhaiten metsäluonnon omaa kehitystä ja ovat siten mahdollisimman luonnonmukaisia.

Ekometsänhoidon mallien laatimisessa on tärkeätä, että ne todella vastaavat luonnonmetsissä esiintyviä rakenteita eivätkä ole vain teoreettisia. Sen vuoksi tässä tutkimuksessa käytettiin apuna metsien inventointiaineistoja sekä järjestettyjen kenttäkokeiden tuloksia. Malleiksi valittiin rakenteita, joilla saavutetaan inventointi- ja koeaineistojen mukaan hyvä tulos puuntuotoksellisesti. Mallit ovat kuitenkin vain ohjeellisia. Käytännön työssä ei eri systä voida edellyttää niiden tarkkaa noudattamista. Taloudelliset syyt, uudistamisnopeuteen vaikuttaminen, alikasvoksen säästäminen ja monet monikäyttöiset syyt voivat edellyttää poikkeamista mallien noudattamisesta. Laaditut mallit eivät ole kovin herkkiä vähäisille muutoksille runkolukujakaumassa ja q-arvon poikkeamille. Jakauman vajauksia voidaan paikata jättämällä puita runsaammin viereisiin läpimittaluokkiin. Tärkeätä on kuitenkin huolehtia, että puuston rakennetta ei muuteta niin voimakkaasti, että mallien noudattaminen jatkossa käy ylivoimaiseksi. Se edellyttää korkeata ammattitaitoa.

Erirakenteiset metsät täyttävät hyvin myös nykyaikaiset metsikön sisäisen monimuotoisuuden vaatimukset. Säännöllisen erirakenteiset ovat puustoltaan monimuotoisimpia, vaikka suurta eroa muihin erirakenteisiin metsiköihin ei olekaan. Myös kokonaispuuntuotos on inventointiaineistojen ja kokeellisten tulosten mukaan säännöllisen erirakenteisissa jonkin verran parempi kuin muissa rakenteissa. Erityisesti tukkipuun tuotos on huomattavan suuri ja puun laatu arvioidaan yleensä hyväksi. Uudistumisen varmistaminen, puiden elpymiskyvyn arviointi ja lehtipuiden osuuden säilyttäminen vaativat eniten ammattitaitoa.

Kirjallisuuskatsauksen mukaan erirakenteiset ja erityisesti säännöllisen erirakenteiset metsiköt ovat yleensä edullisimpia myös metsien monikäytön kannalta. Metsä säilyy niissä koko ajan peitteellisenä ja puuntuotos tasaisena.

Tässä raportissa esitetään ehdotus ekometsänhoidoksi, jossa ensisijaisena tavoitteena onkin säilyttää tai kehittää metsikön rakenne muistuttamaan säännöllistä erirakenteisuutta. Sitä noudattaen vähennetään uudistamis-, taimikonhoito- ja ensiharvennuskustannuksia. Puittainen ja ryhmittäinen jatkuva kasvatus täyttävät parhaiten nämä tavoitteet. Siten ne ovat ensisijaisia hakkuumenetelmiä ekometsänhoidossa. Tähän mennessä erirakenteisten metsien tut-

kimus ja kasvatusmenetelmien kehittämistyö on kuitenkin ollut kovin vähäistä. Sitä tulisi voimakkaasti tehostaa, jotta nyt luonnosteltuja malleja voitaisiin tarkentaa ja edelleen kehittää.

Koska säännöllisen erirakenteisesta puustosta kauttaaltaan koostuva laaja metsäalue ei ole kuitenkaan monimuotoisuudeltaan paras, tarvitaan alueta-solla myös jonkin verran avointa tilaa, taimikoita, ja jopa eri kehitysvaiheiden tasarakenteisia metsiköitä, poikkeuksellisesti myös yhden puulajin muodostamia. Kun kasvupaikkojen taimettumiskunto tunnetusti vaihtelee suuresti, on mielekästä painottaa huonosti uudistuvilla mailla tasarakenteiskasvatusta. Avohakkuita ja alikasvoksen raivausta on tarpeen käyttää myös silloin, kun halutaan esimerkiksi avata maisemaa. Puistometsässä alikasvoksen raivaus ja alaharvennus ovat joissakin tapauksissa niinkään tarpeellisia toimenpiteitä.

Kirjallisuutta

- Aarnio, J., Hyppönen, M. & Valkonen, S. 1998. Alikasvosten hyödyntämisen talous. Julkaisussa: Moilanen, M. & Saksa, T. (toim.). Alikasvokset metsänuudistamisessa. Varjosta valoon. Metsälehti Kustannus ja Metsäntutkimuslaitos. Pihlaja-sarja 3. 123 s.
- Adams, D.M. & Ek, A.R. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Can. J. For. Res.* 4:274-287.
- Agestam, E., Ekö, P-M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in naturally regenerated and planted Scots pine stands in S. W. Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 204. 17 s.
- Aleksander, R. R. & Edminster, C. B. 1978. Regulation and control under uneven-aged management. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States. USDA, For. Serv. Timber Management Research. Washington DC. Gen. Tech. Rep. WO-24:217-230.
- Anderson, S. H. 1979. Habitat structure, succession, and bird communities. Julkaisussa: DeGraaf, R. M. & Evans, K. E. (toim.). Management of North Central on Northeastern Forests for Nongame Birds. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-51:9-21.
- Andreassen, K. 1992. Volume production and problem with the stability of the stand structure in uneven-aged and multi-layered spruce (*Picea abies* Karst.) forest in Norway. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22-25 1992, Swedish University of Agricultural Sciences, Institute of Silviculture, Reports 35: 23-28.
- 1994. Development and yield in selection forest. *Meddelser fra Skogforsk* 47(5):1-37.
- Angelstam, P. 1995. Nature conservation and forest management in boreal forests: ideas for establishing a new compromise. *Skoglig geologi*. Report 1:11-18.
- , Welander, J., Andren, H. & Rosenberel, P. 1990. Ekologisk planering av skogsbruk. Miljöprojekt Sundsvall-Timrå. Delrapport 8. 123 s.
- Annala, E. 1995. Talousmetsien käsittely voi jäljitellä luonnonoloja. *Maaseudun Tulevaisuus* 28.3.1995.

- Appelroth, E., Heikinheimo, O., Kalela, E.-K., Laitakari, E., Lindfors, J. & Sarvas, R. 1948. Julkilausuma. Metsätaloudellinen aikakauslehti 11:315–316.
- Arman, V. 1965. Rikskogstaxeringen åren 1953-1962. Summary: The national forest survey carried out in 1953-1962. Skogshögskolan. Institutionen för skogstaxering. Rapporter och uppsatser 9. 73 s.
- 1969. Rikskogstaxeringen 1958-1967. Summary: Results from the National Forest Survey 1958-1967. Skogshögskolan. Institutionen för skogstaxering. Rapporter och Uppsatser 13. 74 s.
- Armleder, H.M. & Stevenson, S.K. 1995. Silvicultural systems to maintain caribon habitat in managed British Columbia forests. Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silvicultural systems in boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8. 1984. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 83-87.
- Ashton, P.S. 1964. A manual of the Dipterocarp trees in Brunei State. Oxford University Press. Oxford. 242 s.
- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press. New York. 506 s.
- Benecke, U. 1996. Ecological silviculture: The application of age-old methods. New Zealand Forestry. August 1996. s. 27–33.
- Bergan, J. 1971. Skjermforyngelse av gran samenlignet med plantning i Grane i Nordland. Summary: Natural Norway spruce regeneration under shelterwood compared with plantations at Grane in Nordland. Meddelser fra det Norske Skogforsöksvesen 28 (104):194–211.
- Bergeron, Y. 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscapes on boreal forest fire regimes. Ecology 72:1980–1992.
- & Brisson, J. 1991. Fire regime in red pine stands at the northern limit of species range. Ecology 71:1352–1364.
- Biolley, H. 1901. Le jardinage cultural. Schweiz. Z. Forstwes. 52(6): 97-104, (7/8):113-132.
- Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 28: 355-377.
- Bonan, G.B. & Shugart, H.H. 1989. Environmental factors and ecological processes in boreal forest. Ann. Rev. Ecol. Syst. 20: 1-28.
- Borggreve, B. 1891. Die Holzzucht. Ein Grundriss für Unterricht und Wirtschaft. 2. Verm. Ausl. Parey. Berlin. 363 s.
- Bormann, F. H. & Likens, G. E. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York. 253 s.
- Brooks, D. J. & Grant, G. E. 1992. New approaches to forest management. Background, science issues, and research agenda. J. For. 90(1):25–28.
- Buongiorno, J., Dahr, S., Lu, H-C. & Liu, C-R. 1994. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands. For. Sci. 40(1): 83-103.
- , Peyron, J.-L., Houllier, F. & Bruciamacchie, M. 1995. Growth and management of mixed-species, uneven-aged forests in the French Jura: Implications for economic returns and tree diversity. For. Sci. 41(3):397–429.
- Burgess, R. L. & Sharpe, D. M. 1981. Forest island dynamics in man-dominated landscapes. Springer Verlag, New York. 310 s.

- Böhmer, J. G. 1957. Bledningsskog II. Tidskrift for Skogbruk 65:203–247.
- Cajander, A.K. 1926. The theory of forest types. *Acta For. Fenn.* 29: 1-108.
- Cajander, E.K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. *Comm. Inst. For. Fenn.* 19(5): 1-53.
- Chertov, O.G. 1994. Venäjän luoteisosien metsien tilasta ja monimuotoisuudesta. Julkaisussa: Myllynen, A.-L., Saastamoinen, O., Sinkevich, S. M. & Harju, A. (toim.). Metsätalous ja luonnon monimuotoisuus: Suomi, Karjalan tasavalta ja Karjalan kannas. Summary: Forestry and biodiversity: Finland, Republic of Karelia and Karelian Isthmus. Proceedings of the Finnish-Russian seminar. Joensuu, Finland 29.11.-1.12.1994. University of Joensuu, s. 62-67.
- Clark, R.N. & Stankey, G.H. 1991. New forestry or new perspectives? The importance of asking the right questions. *Forest Perspectives* 1(1): 9-13.
- Clements, F.E. 1916. Nature and structure of the climax. *J. Ecol.* 24: 552-584.
- Coates, K.D. & Steventon, J.D. 1995. Patch retention harvesting as a technique for maintaining stand level biodiversity in forests of North Central British Columbia. Julkaisussa: Bamsey, S. R. (toim.). Innovative silviculture systems in boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8. 1994. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 102-106.
- Cogbill, C. V. 1985. Dynamics of the boreal forests south of the Laurentian Highlands, Canada. *Can. J. For. Res.* 15:252–261.
- Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302-1310.
- Continuous Cover Forestry Group 1992. Newsletter 1. 13 s.
- Crawford, H. S. & Titterton, R. W. 1979. Effects of silvicultural practices on bird communities in upland spruce-fir stands. Julkaisussa: DeGraaf, R. M. & Evans, K. E. (toim.). Management of North Central on Northeastern Forests for Nongame Birds. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-51:110–119.
- Curtis, R.O. 1978. Growth and yield in uneven-aged stands. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States. USDA, For. Serv. Timber Management Research. Washington D.C. Gen. Tech. Rep. WO-24: 186-201.
- Dale, Ø., Kjøstelsen, L. & Aamodt, H. E. 1993. Mekaniserete lukkete høgster. Summary: Mechanized selective harvesting. Julkaisussa: Aamodt, H. E. (toim.). Forest operations for multiple use. *Skogforsk Rap.* 20/93:1-40.
- Damman, A. W. H. 1964. Some forest types of Central Newfoundland and their relation to environmental factors. Forest research branch. Forest Science Monograph No. 8. 62 s.
- Daniel, V., Helms, J.A. & Baker, F.S. 1979. Principles of silviculture. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company. 500 s.
- Day, R. J. & Harvey, E. M. 1981. Forest dynamics in the boreal mixedwood. Julkaisussa: Boreal mixedwood symposium. Canadian Forestry Service, COJFRC Symposium Proceedings O-P-9, s. 29–41.

- De Grandpre, L. & Bergeron, Y. 1997. Diversity and stability of understorey communities following disturbance in the southern boreal forest. *J. Ecol.* 85: 777-784.
- Dolinšek, H. 1993. Forty years of close-to-nature silviculture in Slovenia. *Julkaisussa: Proceedings of the First European Congress of Pro Silva. Centre Régional de la Propriété Forestière de Franche Comté, Besançon, France.* s. 83-94.
- Eckhart, G., Frauendorfer, R. & Nather, J. 1961. Die Wälder der Gemeinde Julbach, under besonderer Berücksichtigung der stufig aufgebauten Mischwälder. *Mitt. Forstl. Bundes-Vers. Anst. Mariabrunn* 58: 1-93.
- Ehnström, B. & Walldén, H. 1986. Faunavård i skogsbruket. Den lägre faunan. *Skogsstyrelsen. Jönköping.* 551 s.
- Eikenes, B., Kucera, B., Fjaertoft, F., Storheim, O. N. & Vestøl, G. J. 1995. Virkoskvalitet i fleraldret skog. Summary: Wood quality from uneven-aged forests. *Rapport Skogforsk 24/95:1-30.*
- Engelmark, O. 1983. Forest fires in the Muddus national park (Northern Sweden) during the past 600 years. *Can. J. For. Res.* 62: 893-898.
- Esseen, P.-A., Ehnström, B., Ericson, L. & Sjöberg, K. 1992. Boreal forests - the focal habitats of Fennoscandia. *Julkaisussa: Hansson, L. (toim.). Ecological Principles of Nature Conservation. Elsevier. London.* s. 252-325.
- Ewell, J. J. 1986. Designing agricultural systems for the humid tropics. *Annual Review Ecological Systems* 17:245-271.
- Ferguson, D. & Adams, D. 1980. Response of advance Grand fir regeneration to overstory removal in northern Idaho. *For. Sci.* 26(4):537-545.
- Fischer, B.C. 1980. Designing forest openings for the group selection method. *Julkaisussa: Barnett, J. B. (toim.). Proceedings of the first Biennial Southern Silvicultural Research Conference. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. 30-34: 274-277.*
- Foiles, M.W. 1978. Stand structure. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States. USDA, For. Serv. Timber Management Research, Washington DC. Gen. Tech. Rep. WO-24: 176-185.*
- Foster, D.R. 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southern Labrador. *Can. J. Bot.* 61: 2459-2471.
- Franklin, J.F. 1989. Toward a new forestry. *American Forestry* 95:37-44.
- & Spies, T.A. 1991. Composition, function, and structure of old-growth Douglas fir forests. *Julkaisussa: Wildlife and vegetation of unmanaged Douglas-fir forests. USDA, For. Serv. Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR 285: 71-80.*
- , Perry, D.A., Schowalter, T.D., Means, M.E., McKee, A. & Spies, T.A. 1989. Importance of ecological diversity in maintaining long-term site productivity. *Julkaisussa: Perry, D. A., Meurisse, A., Thomas, B., Miller, R., Boyle, J., Means, J., Perry, C. R. & Powers, R. F. (toim.). Maintaining the long-term productivity of Pacific Northwest ecosystems. Timber Press, Portland, OR.* s. 82-97.
- Franzreb, K. E. 1978. Tree species used by birds in logged and unlogged mixed-coniferous forests. *Wilson Bull.* 90(2):221-238.

- Frivold, L.H. 1982. Bestandsstruktur og produksjon i blandningskog av bjørk (*Betula verrucosa* Ehrh. *B. pubescens* Ehrh.) og gran (*Picea abies* (L.) Karst.) i Sydøst-Norge. Summary: Stand structure and yield of mixed stands of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. *B. pubescens* Ehrh.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in South East Norway. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 61 (18): 1-108.
- 1992. Ecologically oriented silviculture in the boreal coniferous forest zone. IUFRO Proceedings Centennial, Berlin-Eberswalde, Germany, 31 Aug-4 Sep 1992. s. 215.
- Fähser, L. 1995. Nature-oriented forestry in Luebeck. *International Journal of Ecoforestry* 11(1): 7-11.
- Gamlin, L. 1988. Swedens factory forests. *New Scientist* 117 (1587):41-47.
- Gayer, K. 1898. *Der Waldbau*. Wiegandt & Hempel & Parey. Berlin. 700 s.
- Gerhardt, E. 1934. Leistet der Plenterwald mehr Massenzuwachs als der gleichaltrige Hochwald? *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* 66:609-622.
- Gibbs, C.B. 1978. Uneven-aged silviculture and management? Even-aged silviculture and management? Definitions and differences. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States*. USDA, For. Serv. Timber management research, Washington D.C. Gen. Tech. Rep. WO-24:18-24.
- Gove, J.H., Ganapati, P.P. & Taillie, C. 1995. A mathematical programming model for maintaining structural diversity in uneven-aged forest stands with implications to other formulations. *Ecological Modelling* 79: 11-19.
- Groot, A. 1995. Silvicultural systems for Black Spruce ecosystems. *Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silviculture systems in boreal forests*. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8. 1994. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 47-51.
- & Horton, B.J. 1994. Age and size structure of natural and second growth peatland *Picea mariana* stands. *Can. J. For. Res.* 24:225-233.
- Guldin, J. M. & Baker, J. B. 1988. Yield comparisons from even-aged and uneven-aged loblolly - shortleaf pine stands. *Southern Journal of Applied Forestry* 12:107-114.
- Gustafsson, L. & Hallingbäck, T. 1988. Bryophyte flora and vegetation of managed and virgin coniferous forests in South-West Sweden. *Biol. Conserv.* 44:238-300.
- Gustavsen, H. G. & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Summary: Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland. *Folia For.* 673. 27 s.
- Hagner, M. 1992. Biologiskt och ekonomiskt resultat i fältförsök med plockhuggning kombinerad med plantering. Abstract: Biological and economical results from experiments with selective felling combined with enrichment planting. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture, Working Paper 63:1-52.

- 1998. Optimising the present value of the forest. Julkaisussa: New stand types in Boreal Forestry-Ecological Features and Silvicultural Consequences. Proceedings of a Nordic Symposium Vaasa, February 10–11, 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 714: 115–125.
- Haight, R.G. & Monserud, R.A. 1990. Optimizing any-aged management of mixed-species stands II. Effects of decision criteria. *For. Sci.* 36:125-144.
- Halkett, J.C. 1984. The practice of uneven-aged silviculture. *New Zealand Journal of Forestry* 29(1):108-118.
- Halpern, C.B. 1988. Early successional patterns of forest species: in terations of life history traits and disturbance. *Ecology* 70:704-720.
- Hammond, H. 1991. Seeing the forest among the trees. The case for wholistic forest use. Polestar Press, Vancouver. 309 s.
- Hann, D.W. 1980. Development and evaluation of an even- and uneven-aged ponderosa pine/Arizona Fascue stand simulator. USDA, For. Serv. Res. Pap. INT-267. 95 s.
- Hansen, A. J., Spies, T. A., Swanson, F. J. & Ohmann, J. L. 1991. Conserving biodiversity in managed forests. *BioScience* 41(6):382–392.
- Hansson, L. 1992. Landscape ecology of boreal forests. *Trends in Ecology and Evolution* 7:299–302.
- Harris, L. D. 1984. The fragmented forest. Island biogeography theory and the preservation of biotic diversity. University of Chicago Press. Chicago. Illinois. 211 s.
- Hasse, W.D. & Ek, A. R. 1981. A simulated comparison of yields for even-versus uneven-aged management of northern hardwood stands. *J. Environm. Manage.* 12:235-246.
- Hassenkamp v., W. 1955. Das Scheitern der Plenterwirtschaft in Skandinavien. *Forstarchiv* 26:241–251.
- Haveraaen, O. 1995. Silvicultural systems in the Nordic countries. Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silvicultural systems in boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8.1984. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 1–4.
- Hawley, R.C. 1946. The practice of silviculture. 5th ed. John Wiley & Sons. New York. 354 s.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyn vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. *Acta For. Fenn.* 4(2):1-472.
- 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nord-Finnlands. *Comm. Inst. For. Fenn.* 5(2):1-132.
- 1924. Suomen metsien metsänhoidollinen tila. *Comm. Inst. For. Fenn.* 9(4):1-12.
- Heikurainen, L. 1971. Virgin peatland forests in Finland. *Acta Agr. Fenn.* 123:11-26.
- Heinselmann, M. 1981. Fire intensity and frequency as factors in the distribution and structure of northern ecosystems. Julkaisussa: Mooney, H. A., Bonnicksen, T.M., Christensen, N. L., Lotan J. E. & Reiners, W. A.

- (toim.). Fire Regimes and Ecosystems Properties. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-26:7-57.
- Heliövaara, K. & Väisänen, R. 1984. Effects of modern forestry on northwestern European forest invertebrates: a synthesis. *Acta For. Fenn.* 189:1-32.
- Helliwell, D.R. 1997. *Dauerwald*. *Forestry* 70:375-378.
- 1999. Continuous cover forestry. Yokelife House, West End, Wirksworth, Derbyshire DE4 4EG, UK. 23. s.
- Hett, J. M. & Loucks, O. L. 1976. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock. *J. Ecol.* 64:1682-1690.
- Hladik, M. 1975. Die Holzproduktion im gemischten Tannen-Buchenwald bei einer Kahlschlag- und Plenterwirtschaft. Summary: Production of timber in mixed fir-beech forest at clear-felling and selection systems. *Acta Fac. For. Zvolen, Czechoslovakia* 17(2):55-72.
- Hornbeck, J. W., Martin, C. W., Pierce, R. S., Bormann, F. H., Likens, G. E. & Eaton, J. S. 1987. The northern hardwood ecosystem: Ten years of recovery from clear cutting. Northeastern Forest Experiment Station, USDA, For. Serv. Res. Pap. 596. 30 s.
- Hunter, M.L. 1990. *Wildlife, Forests and Forestry. Principles of managing forests for biological diversity*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 370 s.
- Huse, S. 1965. Strukturformer hos urskogsbestand in Øvre Pasvik. Referat: Strukturformer von Urwaldbeständen in Øvre Pasvik. *Meldingar fra Norges Landbrukshøgskole* 44(31):1-81.
- Huston, M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *Am. Nat.* 113(1):81-101.
- Huuri, O., Lähde, E. & Huuri, L. 1987. Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen: Summary: Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations. *Folia For.* 685. 48 s.
- Hyttborn, H., Packham, J.R. & Verwijst, T. 1987. Tree population dynamics, stand structure and species composition in the montane virgin forest of Vallibacken, northern Sweden. *Vegetatio* 72:3-19.
- , Liu, Q.-H. & Verwijst, T. 1991. Natural disturbance and gap dynamics in a Swedish boreal spruce forest. *Julkaisussa: Nakagoshi, N. & Golley, F. B. (toim.). Coniferous forest ecology from an international perspective*. SPB Academic Publishing, The Hague. s. 93-108.
- Hägström, B. 1982. Om de biologiska förutsättningarna för skogens förnyring i Norrlands höjdlägen. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6:25-33.
- Hökkä, H. & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. Summary: Post-drainage development of structural characters in peatland forest stands. *Silva Fennica* 22(1):45-65.
- , Piironen, M.-L. & Penttilä, T. 1991. Lämpimittajakauman ennustaminen Weibull-jakaumalla Pohjois-Suomen mänty- ja koivuvaltaisissa ojitusalueetsiköissä. Summary: The estimation of basal area-dbh distribution using the Weibull-function for drained pine- and birch-do-

- minated and mixed peatland stands in north Finland. *Folia For.* 781. 22 s.
- Hörnberg, G., Ohlson, M. & Zackrisson, O. 1995. Stand dynamics, regeneration patterns and long-term continuity in boreal old-growth *Picea abies* swamp-forests. *Journal of Vegetation Science* 6(2):284–291.
- Iivessalo, Y. 1920a. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in Südhälfte von Finnland. *Acta For. Fenn.* 15:1-94.
- 1920b. Tutkimuksia metsätyyppien taksatorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen, hauptsächlich auf den Arbeiten für die Aufstellung der neuen Ertragstafeln Finnlands fussend. *Acta For. Fenn.* 15:1-157.
- 1962. IV Valtakunnan metsien inventointi. I. Maan eteläpuoliskon vesistöalueyhmät. Summary: The Fourth national forest inventory. I. Southern water area. *Comm. Inst. For. Fenn.* 56(1):1–112.
- 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuotto kyky pohjois-Lapin kivennäismailla. Summary: Natural development and yield capacity of forest stands on mineral soils in northern Lapland. *Acta For. Fenn.* 108:1-43.
- Indermühle, M. P. 1978. Struktur-, Alters-, und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins 60:1-98.
- Ingelög, T., Thor, G. & Gustafsson, L. (toim.). 1987. Floravård i Skogsbruket, Del 2-Ar tdel, 2nd ed. Skogsstyrelsen, Jönköping. 408 s.
- Jaehne, S. & Dohrenbush, A. 1997. Ein Verfahren zur Beurteilung der Bestandesdiversität. Summary: A method to evaluate forest stand diversity. *Forstw. Cbl.* 116:333-345.
- Jeansson, E., Bergman, F., Elfving, B., Falck, J. & Lundqvist, L. 1989. Natural regeneration of pine and spruce. Proposal for a research program. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Reports 25. 76 s.
- Johnson, E. A. 1992. Fire and vegetation dynamics. Studies from the north American boreal forest. Cambridge University Press, Cambridge. 129 s.
- Johnsson, K. 1993. The black woodpecker. *Dryocopus martius* as a keystone species in forest. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för Viltekologi. Rapport 24:1–144.
- Kabzems, R. & Lousier, J. D. 1992. Regeneration, growth and development of *Picea glauca* under *Populus* spp. canopy in the boreal white and black spruce zone. FRDA Report, Victoria B. C. Canadian Forestry Service. 43 s.
- Kalela, E. K. 1948. Luonnomukainen metsien käsittely. *Silva Fennica* 64(2)16–32.
- Kammerlander, H. 1978. Aufbau, Verjüngung und Verbissgefährdung der Plenterwälder in Raum Kufstein/Tirol. Schweiz. *Z. Forstwes.* 129(9):711-726.

- Kelty, M. J. 1989. Productivity of New England hemlock/hardwood stands as affected by species composition and canopy structure. *For. Ecol. Manage.* 28:237-257.
- Kenk, G. 1995. Growth and yield in even-aged and uneven-aged silvicultural systems in the conifer-dominated forests of Europe. *Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silviculture systems in boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8. 1994. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 26-32.*
- Kern, K. G. 1966. Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Vergleichende ertragskundlich-ökologische Untersuchungen in zwei Ta-Fi-(Bu)-Plenternwaldbeständen und zwei benachbarten Fi-Schlagwäldern des Hochschwarzwaldes. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München. Basel. Wien. 232 s.
- Klensmeden, U. 1984. Stamvis blädning. Några studier på två försöksytor i Dalarna. Examenarbete 1984–86. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Umeå. 38 s.
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. *Silva Fennica* 27(3):174–194.
- Kolström, T. 1993. Modelling the development of an uneven-aged stand of *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.* 8:373-383.
- Korzukhin, M.D. & Antonovski, M.Y. 1992. Population level models of forest dynamics. *Julkaisussa: Shugart, H. H., Leemans, R. & Bonan, G. B. (toim.). System Analysis of the Global Boreal Forest. Cambridge University Press, Cambridge. s. 334-372.*
- Koskinen, A. 1955. Über die Kryptogamen der Bäume, besonders die Flechten, im Gewässergebiet des Päijänne sowie an den Flüssen Kalajoki, Lestijoki und Pyhäjoki. Floristische, soziologische und ökologische Studie 1. Helsinki. 176 s.
- Kuper, J.H. 1996. Uneven ages in silviculture: instrument or objective? *Continuous Cover Forestry Group Newsletter* 8:4-5.
- 1997. Uneven ages in silviculture. *Continuous Cover Forestry Group Newsletter* 10:8-9.
- Kuusela, K. 1988. Jatkuvan kasvatuksen ikiliikkuja. *Metsälehti* 22.9.1988.
- 1990. The dynamics of boreal coniferous forests. Finnish National Fund for Research and Development. Sitra 112. 172 s.
- Kuusinen, M. 1994. Metsätalouden vaikutus epifyyttijäkälän monimuotoisuuteen. *Julkaisussa: Haila, Y., Niemelä, P. & Kouki, J. (toim.). Metsätalouden ekologiset vaikutukset boreaalisessa havumetsässä. (Effects of management on the ecological diversity of boreal forests). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 482: 75–81.*
- Kynast v., R. 1995. Vom Fichtenbestand zum Bergmischwald in FA St. Blasien. Mit der Überführungsdurchforstung zur Einzelstammnutzung? *Allgemeine Forst Zeitschrift* 19/1995. s. 1038-1974.
- Küssner, R. 1997. Sukzessionale Prozesse in Fichtenbeständen (*Picea abies*) des Osterzgebirges - Möglichkeiten ihrer waldbaulichen Beeinflussung und ihre Bedeutung für einen ökologisch begründeten Waldumbau. Summary: Secondary succession processes in spruce (*Picea abies*)

- stands of the eastern Erzgebirge - possibilities for silvicultural control and their relevance for an ecologically based forest conversion. *Forstw. Cbl.* 116:359-369.
- Köhl, M. & Zingg, A. 1996. Eignung von Diversitätsindizes bei Langzeituntersuchungen zur Biodiversität in Waldbeständen. Summary: Applicability of diversity indices in long term studies on biodiversity in forest stands. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 167 (4):76-85.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Commun. Inst. For. Fenn.* 108: 1-74.
- Laiho, O., Lähde, E. & Norokorpi, Y. 1996. Rakennetta monimuotoistavat ja yksipuolistavat hakkuut nuorena kuusivaltaisessa metsikössä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 593:49-59.
- , Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994. Varttuneiden metsiköiden rakenne 1950-luvun alussa. Summary: Stand structure of advanced forests in early 1950's in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 495:90-128.
- , Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1995. Undergrowth as a regeneration potential in Finnish forests. *Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct.2-8. 1994. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 90-94.*
- , Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1999. Metsän rakenne ja kehitys. *Julkaisussa: Lähde, E. (toim.). Luontaisesti syntyneiden sekametsien kehitys ja metsänhoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 719: 6-32.
- Landolt, E. 1895. *Der Wald, seine Verjüngung, Pflage und Benutzung.* Friedrich Schuthess, Zürich. 421 s.
- Larsen, J.B. 1995. Ecological stability of forests and sustainable silviculture. *For. Ecol. Manage.* 73:85-96.
- Leak, W.B. & Filip, S. M. 1977. Thirty-eight years of group selection in New England northern hardwoods. *J. For.* 75:641-643.
- Lehtonen, H. 1997. Forest fire history in North Karelia Dendroecological approach. Faculty of Forestry. University of Joensuu. Research Notes 59. 23 s.
- , Huttunen, P. & Zetterberg, P. 1996. Influence of man on forest fire frequency in North Karelia, Finland, as evidenced by fire scars on Scots pines. *Ann. Bot. Fenn.* 33:257-263.
- Leibundgut, H. 1972. Struktur eines Emmentaler Plenterwaldes. *Schweiz. Z. Forstw.* 123(9/10):854-870.
- Linder, P., Elfving, B. & Zackrisson, O. 1997. Stand structure and successional trends in virgin boreal forest reserves in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 98: 17-33.
- Lindman, J. 1984. *Fjällskogsblädning. Tillväxstudier i fyra bestånd.* Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Umeå. Examensarbete. 52 s.
- Liocourt, F. de, 1898. De l'aménagement des sapinières. *Bull. Soc. Forest. Franche-Comté et Belfort* 4:396-409.

- Liu, Q.-H. & Hytteborn, H. 1991. Canopy structure, disturbance and regeneration in a primeval *Picea abies* forest. *Journal of Vegetation Science* 2:391-402.
- Lorimer, C. G. 1980. Age structure and disturbance history of a southern Appalachian virgin forest. *Ecology* 61:1169-1184.
- Lu, S.-C. & Buongiorno, J. 1993. Long- and short-term effects of alternative cutting regimes on economic returns and ecological diversity in mixed-species forests. *For. Ecol. Manage.* 58:173-192.
- Lundberg, H. 1973. Skogsbrukets ekonomi och teknik. Svenska Naturskyddsföreningens årsbok. *Sveriges Natur* 64:43-56.
- Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog. Strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning. Summary: Use of the selection system in Norway spruce forests - changes in the stand structure, volume increment, in growth and regeneration on experimental plots managed with single tree selection. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Umeå. 99 s.
- 1990. Blädning i granskog. *Skogsfakta. Biologi och skogskötsel* 69. 4 s.
 - 1993. Changes in the stand structure on permanent *Picea abies* plots managed with single-tree selection. *Scand. J. For. Res.* 8:510-517.
 - & Fridman, E. 1996. Influence of local stand basal area on density and growth of regeneration in uneven-aged *Picea abies* stands. *Scand. J. For. Res.* 11:364-369.
- Lähde, E. 1986. Metsänhoidon perusteista. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 218. 127 s.
- 1991. Päin honkia. Arator, Helsinki. 256 s.
 - 1992a. Natural regeneration of all-sized spruce-dominated stands treated by single tree selection. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). *Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop, June 22-25 1992.* Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Reports 35:117-123.
 - 1992b. Nature oriented silviculture in an ecocommune. Heikurainen, K. (toim.). *Suomussalmi eco-municipality. Suomussalmi Municipality.* s. 44-50.
 - 1992c. Regeneration potential of all-sized spruce-dominated stands. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). *Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop, June 22-25 1992.* Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Reports 35:111-116.
 - 1993. Diversity of Forests as a Global Goal. Julkaisussa: Linddal, M. & Naskali, A. (toim.). *Proceedings of the Workshop "Valuing Biodiversity On the Social Costs of and Benefits from Preserving Endangered Species and Biodiversity of the Boreal Forests", Espoo, Finland, October 1992.* *Scandinavian Forest Economics* 34:105-109.
 - 1995. Metsää puilta. *Vihreä Elämänsuojelun Liitto. Hakapaino, Helsinki.* 112 s.
 - & Norokorpi, Y. 1995. Metsän monimuotoinen hoito. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 538:95-110.

- , Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1997. Stand structure as a basis for forest biodiversity. Julkaisussa: Chison, C. (toim.). Forest and Environment, Research and practice. The Proceedings of the International Symposium on Forest and Environment. Nov. 4-6. 1996. Nanjing, China. s. 139–153.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. 1999a. Diversity-oriented silviculture in the Boreal Zone of Europe. *For. Ecol. Manage* 118:223–243.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. 1999b. Hoitomenetelmät. Julkaisussa: Lähde, E. (toim.). Luontaisesti syntyneiden sekametsien kehitys ja metsänhoito. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 719: 66–72.
 - , Norokorpi, Y. & Oikarinen, M. 1985. Mikkelin ekoläänin metsien vaihtoehtoiset käsittelymallit. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 180. 67 s.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1991. The structure of advanced virgin forests in Finland. *Scand. J. For. Res.* 6:527-537.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992a. Alternative silvicultural treatments as applied to advanced stands - research plan. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop, June 22-25 1992. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Reports 35:66-73.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992b. Stand structure of thinning and mature conifer-dominated forests in boreal zone. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop, June 22-25 1992. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Reports 35:58-65.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994a. Structure and yield of all-sized and even-sized conifer-dominated stands on fertile sites. *Ann. Sci. For.* 51(2):97-109.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994b. Structure and yield of all-sized and even-sized Scots pine-dominated stands. *Ann. Sci. For.* 51(2):111-120.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994c. Tree and stand increment in all-sized and even-sized mixed stands. Julkaisussa: Pinto da Costa, M. E. & Preuhsler, T. (toim.). Mixed stands. Proceedings from the symposium of the IUFRO working groups. April 25–29, 1994 in Louisa/Coimbra Portugal. s. 147–157.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1995. Metsikön ja metsiköiden välisen monimuotoisuuden määrittely. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 538:86-94.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1999c. Stand structure as the basis of diversity index. *For. Ecol. Manage.* 115:213–220.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1999d. Uudistuminen ja kasvat. Julkaisussa: Lähde, E. (toim.). Luontaisesti syntyneiden sekametsien kehitys ja metsänhoito. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 719: 32–58.
- MacArthur, R.H. & MacArthur, J.W. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42(3):594-600.

- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton NJ. 179 s.
- Marquis, D.A. 1978. Application of uneven-aged silviculture on public and private lands. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States. USDA, For. Serv. Timber Management Research, Washington D.C. Gen. Tech. Rep. WO-24:25-61.
- Martin, C. W., Noel, D. S. & Federe, C. A. 1985. Clearcutting and the biogeochemistry of streamwater in New England. *J. For.* 83:686–689.
- Mattsson, L. & Li, C-Z. 1993. How do different forest management practices effect the non-timber value of forests. An economic analysis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Economics. Reports 161:1-23.
- Mendoza, G.A. & Satyarso, A. 1986. A transition matrix forest growth model for evaluating alternative harvesting schemes in Indonesia. *For. Ecol. Manage.* 15:219-228.
- Meyer, H.A. 1952. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. *J. For.* 50(2):85-92.
- Mikola, P. 1984. Harsintametsätalous. Summary: Selection system. *Silva Fennica* 18(3):293-301.
- Ministerial conference of the protection of forests in Europe, 1993. 16-17 June in Helsinki, Ministry of Agriculture and Forestry. 56 s.
- Mitscherlich, G. 1952. Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. *Schriftenreien der Bad. Forstl. Versuchsanstalt, Heft 8.* 42 s.
- 1961. Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 134(1):1-12.
- Mohr, C. & Schori, C. 1999. Femelschlag oder Plentererung - Ein Vergleich aus betriebswirtschaftlicher Sicht. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150(2):49–55.
- Moilanen, M. & Saksa, T. (toim.) 1998. Alikasvokset metsänuudistamisessa. Varjosta valoon. Metsälehti Kustannus ja Metsäntutkimuslaitos. Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi. Pihlaja-sarja nro 3. 123 s.
- Morin, H. & Gagnon, R. 1991. Structure et croissance de peuplements d'épinette noire issus de régénération prétable, une quarantaine les années après coupe au Lac Saint-Jean, Québec. *For. Chron.* 67:275–452.
- Moser, J.W. Jr. 1972. Dynamics of an uneven-aged forest stand. *For. Sci.* 18: 84-191.
- Mård, H. 1997. Damage and growth response in suppressed *Picea abies* after removal of overstorey birch (*Betula* sp.). *Scand. J. For. Res.* 12:248-255.
- Niemelä, T., Renvall, P. & Penttilä, R. 1995. Interactions of fungi at late stages of wood decomposition. *Ann. Bot. Fenn.* 32: 141–152.
- Niese, J. N. & Strong, T. F. 1992. Economic and tree diversity trade-offs in managed northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 22:1807–1813.
- Nilsen, P. & Haveræen, O. 1983. Årringbredder hos gjenstående traer etter høgst i eldre granskog. Rapport fra Norsk Institut for Skogforskning 9:1–16.

- Nilsson, N.-E. & Östlin, E. 1961. Rikskogstaxeringen 1938-1952. Statens skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogstaxering. Rapporter 2. 162 s.
- Nilsson, S.G. & Ericson, L. 1992. Forests in the temperate-boreal transition - natural and man-made features. Julkaisussa: Hansson, L. (toim.). Ecological principles of nature conservation. Elsevier, London. s. 373-393.
- Norokorpi, Y. 1982. Ekologiset erityispiirteet Pohjois-Lapin metsien uudistamisessa ja käsittelyssä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 77: 14-23.
- & Lähde, E. 1996. Ekologisesti kestävä metsänhoidon periaatteet Lapissa. Julkaisussa: Sepponen, P. & Niemi, M. (toim.). Lapin metsien kestävä käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 587:61-73.
- , Lähde, E., Laiho, O. & Saksa, T. 1994. Luonnontilaisten metsien rakenne ja monimuotoisuus Suomessa. Summary: Stand structure and diversity of virgin forests in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 495:54-89.
- , Lähde, E., Laiho, O. & Saksa, T. 1997. Principles for assessing biodiversity indices in the boreal forest zone. Julkaisussa: Chison, C. (toim.). Forest and Environment, Research and Practice. Proceedings of the International Symposium on Forest and Environment, November 4-6, 1996, Nanjing, China. s. 95-103.
- Norse, E. A. 1986. Conserving biological diversity on our national forests. The Wilderness Society of America. 116 s.
- Nuhimovskaja, J. D. 1992. Luonnollisten ja ihmisperäisten sukkessioiden tutkiminen VSFNT:n euroopanpuoleisen luoteisosan luonnonsuojelualueilla. Julkaisussa: Lindholm, T. (toim.). Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilla. Symposio Seitsemisen kansallispuistossa ja Helsingissä 22.-26.5.1989. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 112:16-25.
- Nykvist, N. & Rosen, K. 1985. Effect of clear-felling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. For. Ecol. Manage. 11:157-169.
- Nyysönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60(4):1-194.
- Näslund, M. 1944. Den gamla norrländska granskogens reaktionsförmåga efter genomhuggning. Referat: Die Reaktionsfähigkeit des alten norrländischen Fichtenwaldes nach Durchlauung. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 33. 194 s.
- Odin, H. 1974. Några meteorologiska förändringar vid hyggesupptagning. Sveriges Skogsvåringsförb. Tidskr. 72(1): 60-65.
- O'Hara, K. L. 1996. Dynamics and stocking-level relationships of multi-aged ponderosa pine stands. For. Sci. 42(4):1-34.
- Oikarinen, M. & Norokorpi, Y. 1986. Vuosina 1956-65 viljeltyjen männyn- taimiköiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 222. 46 s.
- Oliver, C. D. 1995. A portofolio approach to landscape management: An economically, ecologically, and socially sustainable approach to forestry. Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silviculture systems in

- boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2–8. 1994. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 66–76.
- Otto, H.-J. 1983. The dynamic forest, the ecological basis of close-to-nature silviculture. Proceedings of Pro Silva, First European Congress, Besancon, France, 21–24 June, 1993. s. 45–61.
- Parviainen, J. 1987. Metsän jatkuvaa kasvatusta ei ole tutkittu tarpeeksi. Maaseudun Tulevaisuus 20.10.1987.
- & Seppänen, P. 1994. Metsien ekologinen kestävyys ja metsänkasvatustavaihtoehdot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 511. 110 s.
- Payette, S., Filion, L. & Delwaide, A. 1990. Disturbance regime of a cold temperature forest as deduced from tree-ring patterns: the Tanteré Ecological Reserve, Quebec. Can. J. For. Res. 20:1228–1241.
- Pechmann v., H. & Lippemeier, P. 1975. Untersuchungen über die Schnittholzqualität von Tannen- und Fichtenholz aus Plenterbeständen. Forstw. Cbl. 94(6): 351-364.
- Pennanen, J. 1994. Villi ja vapaa metsä. Greenpeace, Helsinki. 48 s.
- 1996. Malli metsäalueen luonnonmukaisesta käsittelystä. Greenpeace, Painorauma Oy. 23 s.
- Pickett, S. T. A. & Thompson, J. N. 1985. The ecology of natural disturbances and patch dynamics. Academic Press, London. 472 s.
- Pobedinski, A.V. 1988. Comparative evaluation of even-aged and uneven-aged stands. Lesnoe Khozyaistvo 2:40-43.
- Pohtila, E. 1990. Vähäisiä ajatuksia lankkujen sahaamisesta. Kanava 4:276-279.
- Poznański, R., Rutkowski, B. & Zuchowski, J. 1980. Rozklad piersnicorwej struktury roznowiekowych jedlin w lesnym zakladzie doswiadezalnym w Krynicy. Summary: Distribution of breast height diameter structure in fir forests of uneven-aged in the Experimental Forest in Krynica. Acta Agraria et Silvestria, Series Silvestris 19:95–113.
- Pukkala, T. & Kolström, T. 1988. Simulation of the development of Norway spruce stands using a transition matrix. For. Ecol. Manage. 25:255-267.
- Pretsch, H. 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 167:213–221.
- Pöntynen, V. 1929. Tutkimuksia kuusen esiintymisestä alikasvoksena Raja-Karjalan valtionmailla. Referat: Untersuchungen über des Vorkommen der Fichte (*Picea excelsa*) als Unterwuchs in den finnischen Staatswäldern von Grenz-Karelien. Acta For. Fenn. 35:(1):1-235.
- Reunanen, P. 1998. Metsän sukkessio ja lehtipuut. Julkaisussa: Annala, E. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 705: 177–194.
- Rice, J., Anderson, R.W. & Ohmart, R.D. 1984. Comparison of the importance of different habitat attributes to avian community organization. Journal of Wildlife Management 49(3):895-911.
- Saksa, T. 1992. Männyn istutustaimikoiden kehitys muokatuilla uudistusaloilla. Abstract: Development of Scots pine plantations in prepared reforestation areas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 418. 48 s.

- , Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1995. Growth and yield in structurally diverse and one-sided stands. *Julkaisussa: Skovsgaard, J. P. & Burkhart, H. E. (toim.). Recent advances in forest mensuration and growth and yield research. Proceedings from 3 sessions of Subject group S4.01 "Mensuration, growth and yield" at the 10th World Congress of IUFRO held in Tampere, Finland, 6–12 August 1995.* s. 167-174.
- , Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1998. Natural regeneration in uneven-sized mixed stands. *Julkaisussa: British-Finnish Seminar and Excursion 8–10 June 1998 in Finland. FFRI.* s. 14–16.
- , Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999. Kasvu ja tuotos. *Julkaisussa: Lähde, E. (toim.). Luontaisesti syntyneiden sekametsien kehitys ja metsänhoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 719:* 58–66.
- Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestammplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. *Comm. Inst. For. Fenn.* 33(1):1–268.
- Schimmel, J. 1993. On fire. Fire behavior, fuel succession and vegetation response to fire in the Swedish boreal forests. *Dissertations in Forest Vegetation Ecology 5, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Vegetation Ecology.* 23 s.
- Schmidt, M., Schütz, J.-Ph. & von Gadow, K. 1997. Strukturanalyse in vier Plenterüberführungsbeständen. *Schweiz. Z. Forstw.* 148:335–352.
- Schulz, G. 1993. Betriebswirtschaftliche Aspekte des Plenterwaldes. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 14: 731-733.
- Schütz, J.-Ph. 1969. Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge. *Supplément aux organes de la Société Forestière Suisse* 44:1-114.
- 1985. La production de bois de qualité dans la forêt jardinée. *Ann. Gembloux* 91:147–161.
- 1989. Der Plenterbetrieb. *Fachbereich Waldbau ETH, Zürich.* 54 s.
- 1994. Waldbauliche Handlungsgrundsätze in Mischbeständen. *Schweiz. Z. Forstw.* 145(5):389–399.
- Shugart, H.H. 1984. *A theory of forest dynamics.* Springer, New York. 278 s.
- Siegmund, E. 1973. Aufwand und Ertrag bei waldbaulichen Betriebsformen (untersucht an Modellen von Tannen-Fichten-Buchen-Mischbeständen). *Dissertation. Freiburg.* 108 s.
- Sjöberg, K. & Atlegrim, O. 1995. Är blädningbruk ett naturskogsanpassat skogsbrukssätt? *Skog & Forskning* 1995 (1):59–65.
- Skogsstatistisk årsbok 1989. *Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen. Jönköping.* 300 s.
- Skoklefeld, S. 1967. Fristilling av naturlig gjenvekst av gran. Summary: Release of natural Norway spruce regeneration. *Meddelser fra det Norske Skogforsöksvesen* 23(85):385–409.
- Smith, D.M. 1962. *The practice of silviculture.* John Wiley & Sons, New York-London. 577 s.
- Smith, H.C. & DeBald, P.S. 1978. Economics of even-aged and uneven-aged silviculture and management in eastern hardwoods. *Julkaisussa: Une-*

- ven-aged silviculture & management in the United States. USDA, For. Serv. Timber Management Research, Washington D.C. Gen. Tech. Rep. WO-24: 125-141.
- Solomon, D.S., Hosmer, R.A. & Hayslett, Jr. H.T. 1986. A two-stage matrix model for predicting growth of forest stands in the Northeast. *Can. J. For. Res.* 16:521-528.
- Spathelf, P. 1997. Seminatural silviculture in southwest Germany. *For. Chron.* 73(6):715-722.
- Stage, A. R. 1973. Prognosis model for stand development. USDA, For. Serv. Res. Pap. INT -137. 32 s.
- Steijlen, I. & Zackrisson, O. 1986. Long-term regeneration dynamics and successional trends in a northern Swedish coniferous forest stand. *Can. J. Bot.* 65:839-848.
- Stewart, G.H. 1986. Population dynamics of a montane conifer forest, western Cascade range, Oregon, USA. *Ecology* 67:534-544.
- Stevenson, J. D. 1994. Biodiversity and forest management in the Prince Rupert Forest Region: A discussion paper. B.C. Min. For., Land Manage. Rep. 82, Victoria, BC. 30 s.
- , MacKenzie, K.L. & Mahon, T. E. 1998. Respose of small mammals and birds to partial cutting and clearcutting in northwest British Columbia. *Forestry Chronicle.* 74(5): 703-713.
- Stoszek, K. J. 1992. Uneven-aged management in the American West: Renaissance. IUFRO Proceedings Centennial, Berlin-Eberswalde, Germany, 31 Aug-4 Sep 1992. s. 263.
- Swank, W. T. 1988. Stream chemistry responses to disturbance. *Ecol. Stud.* 66:339-357.
- Söderström, L. 1981. Disturbance of bryophytes in spruce forests on hill slopes in central Sweden. *Wahlenbergia* 7:141-153.
- 1983. Threatened and rare bryophytes in spruce forests of central Sweden. *Svensk Botanisk Tidskrift* 77:4-12.
- Söderström, V. 1971. Varför hyggen? *Ymer* 161-175.
- Tarasink, S. & Zwiernirski, M. 1990. Social-structure dynamics in uneven-aged Scots pine (*Pinus sylvestris*) regeneration under canopy at the Kaliszki Reserve, Kampinoski National Park (Poland). *For. Ecol. Manage.* 35:277-289.
- Temple, S. A., Mossman, M. J. & Ambuel, B. 1979. The ecology and management of avian communities in mixed hardwood-coniferous forests. *Julkaisussa: Management of North Central and Northeastern forests for nongame birds. Workshop Proceedings. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-51. 268 s.*
- Thorpe, J. P. 1992. Patterns of diversity in the boreal forest. *Julkaisussa: Kelly, M. J., Larsson, B. C. & Oliver, C. D. (toim.). The ecology and silviculture of mixed-species forests. Kluwer Academic Publishers. s. 65-79.*
- Tichy, A. 1891. *Der qualifizierte Plenterbetrieb.* Wien. 46 s.
- Tjernberg, M. 1983. Breeding ecology of the golden eagle, *Aquila chrysaetos* (L.), in Sweden. *Rep. Dep. Wildl. Ecol. Swed. Univ. Agric. Sci. No. 10.* 88 s.

- Tolonen, K. 1983. The post-glacial fire record. Julkaisussa: Wein, R. W. & MacLean, D. A. (toim.). The role of Fire of Northern Circumpolar Ecosystems. SCOPE, John Wiley & Sons, New York. s. 21-44.
- Trimble, G. R. Jr. 1970. 20 years of intensive uneven-aged management. Effect on growth, yield, and species composition in two hardwood stands in West Virginia. USDA, For. Serv. Res. Pap. NE-154:1-12.
- & Manthy, R. S. 1966. Implications of even-aged management on timber. Julkaisussa: Trends from selection cutting to even-aged management. Society American Forestry Allgehan Section Proceeding. s. 62-75.
- & McClung, L. 1966. Clearcutting profitable. WV Conservation 30:2-4.
- UNCED, YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssi. 1993. Rio de Janeiro 3.-14.6.1992. Ympäristöministeriö. Ulkoasiainministeriö. 239 s.
- Uppskattning av Sveriges skogstillgångar verkställt åren 1923-1929, 1932. Redogörelse avgiven av rikskogstaxeringsnämnden. Del I. Statens Offentliga Utredningar 26:1-254.
- Vaartaja, Y. 1951. Alikasvosasemasta vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advance growth and its silvicultural importance. Acta For. Fenn. 58(3):1-133.
- Wallmo, U. 1897. Rationell skogsafverkning. Praktiska råd till såväl större som mindre enskilde skogsägare samt svar på en fråga dagen. C. E. Fritzes Kungliga Hofbokhandel, Stockholm. 288 s.
- Van Cleve, K. & Viereck, L. A. 1981. Forest succession in relation to nutrient cycling in the boreal forest of Alaska. Julkaisussa: West, D. C., Shugart, H. H. & Botkin, D. B. (toim.). Forest succession: concepts and application. Springer-Verlag, New York. s. 185-211.
- Vanha-Majamaa, I. 1998. Tulen vaikutus taimettumiseen, aluskasvillisuuden sukkessioon ja sienilajistoon. Julkaisussa: Annala, E. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 705: 99-129.
- Watanabe, S. & Satohiko, S. 1994. The silvicultural management system in temperate and boreal forests: A case history of the Hokkaido Tokyo University Forest. Can. J. For. Res. 24(6):1176-1185.
- Veblen, T. T. 1986. Treefall and the coexistence of conifers in subalpine forests of the Central Rockies. Ecology 67:142-158.
- Webster, J. R., Waode, J. B. & Patten, B. C. 1975. Nutrient recycling and the stability of ecosystems. Julkaisussa: Howell, F. G., Gentry, J. B. & Smith, M. H. (toim.). Mineral Cycling in Southeastern Ecosystems, ERDA Symp. Ser. (CONF-74013). s. 1-27.
- Weetman, G. F. 1995. Silviculture systems in Canada's boreal forest. Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silviculture systems in boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8. 1994. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 5-16.
- Veijola, P. 1998. Suomen metsänrajametsien käyttö ja suojele. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 692. 171 s.

- Velling, P. 1988. The relationships between yield components in the breeding of Scots pine. University of Helsinki, Department of Plant Breeding. 59 s.
- Westerberg, D. 1995. Profitable forestry methods - maintaining biodiversity as an integral part of Swedish forestry. Julkaisussa: Bamsey, C. R. (toim.). Innovative silvicultural systems in boreal forests. Proceedings IUFRO Symposium in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2-8.1984. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. s. 61-65.
- Whipple, S. A. & Dix, R. L. 1979. Age structure and successional dynamics of a Colorado subalpine forest. *American Nature* 101:142-158.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.
- Whittaker, R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. Macmillan, New York. 385 s.
- Willson, M. F. 1974. Avian community organization and habitat structure. *Ecology* 55:1017-1029.
- Vitousek, M. P., Gosz, J. R., Grier, C. C., Melillo, J. M., Reiners, W. A. & Todd, R. L. 1979. Nitrate losses from disturbed ecosystems. *Science* 204:469-474.
- Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Summary: Selection from above in intermediate cuttings. *Acta For. Fenn.* 110:1-45.
- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Abstract: Selective thinning from above as a factor of growth and yield. *Folia For.* 298. 17 s.
- 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Helsinki-Porvoo. 256 s.
- 1984. Harsinnan teoriaa ja käytäntö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 130. 107 s.
- 1985. Jatkuva kasvatustei sovi Suomen metsiin. Maaseudun Tulevaisuus 16.4.1985.
- Yli-Vakkuri, P. 1949. Ala- ja yläharvennuksen erilaisuus ja yhtäläisyys. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 3-4:93-95.
- Zackrisson, O. 1977. Influence of forest fire in the north Swedish boreal forest. *Oikos* 29:22-33.
- 1980. Forest fires history: ecological significance and dating problems in the north Swedish boreal forests. Julkaisussa: Dietrich, J. H. & Stokes, M. (toim.). Proceedings of the Fire history Workshop, University of Arizona. USDA, For. Serv. Rocky Mountain Forest and Experiment Station, Gen. Tech. Rep. RM-81:120-125.
- & Östlund, L. 1991. Branden formade skogslandskapets mosaik. *Skog & Forskning* 4:13-21.
- , Nilsson, M.-C., Steijlen I. & Hörnberg, G. 1995. Regeneration pulses and climate-vegetation interactions in non-pyrogenic boreal Scots pine stands. *J. Ecol.* 83:1-15.
- Zimmerle, H. 1936. Die Plenterwaldversuchsflächen in Württemberg. *Mitteilungen Württemb. Forstl. Vers. Anst.* 4(2):92-210.
- 1941. Nochmals zur Plenterwaldfrage. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 117:85-124.

- Znerold, M. 1988. Modeling uneven-aged forest management on the Deschutes National Forest. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC. Northern Central Forest Experiment Station. s. 936-943.
- Östlund, L., Zackrisson, O. & Axelsson, A.-L. 1997. The history and transformation of a Scandinavian boreal forest landscape since the 19th century. *Can. J. For. Res.* 27:1198-1206.

ISBN 951-40-1685-8
ISSN 0358-4283