

**Dissertationes Forestales 62**

**Nuorten männiköiden kehitys - taimikonhoito ja  
ensiharvennus**

Saija Huuskonen

Metsäekologian laitos  
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta  
Helsingin yliopisto

Akateeminen väitöskirja

Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan luvalla tarkastet-  
tavaksi Metsätieteiden talon luentosalissa B2 (Latokartanonkaari 7, Helsingin yliopisto)

25.4.2008 klo 12.00

*Väitöskirjan nimi:* Nuorten männiköiden kehitys - taimikonhoito ja ensiharvennus

*Tekijä:* Saija Huuskonen

Dissertationes Forestales 62

*Ohjaajat:*

Dos. Jari Hynynen,  
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö  
MMT Risto Ojansuu  
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö  
MMT Jari Miina  
Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö  
Prof. Annikki Mäkelä  
Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos

*Esitarkastajat:*

MMT Sauli Valkonen  
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö  
MMT Martti Varmola  
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö

*Vastaväittäjä:*

Prof. Taneli Kolström  
Joensuun yliopisto, Mekrijärven tutkimusasema

ISSN 1795-7389

ISBN 978-951-651-212-2 (PDF)

(2008)

*Julkaisijat:*

Suomen Metsätieteellinen Seura  
Metsäntutkimuslaitos  
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto  
Metsätieteiden tiedekunta, Joensuun yliopisto

*Toimitus:*

Suomen Metsätieteellinen Seura  
Unioninkatu 40A, 000170 Helsinki  
<http://www.metla.fi/dissertationes>

**Huuskonen, S.** 2008. The development of young Scots pine stands - precommercial and first commercial thinning. *Dissertationes Forestales* 62. 61 p.  
Available at <http://www.metla.fi/dissertationes/df62.htm>

## ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effects of location, site type, regeneration method and precommercial thinning on the characteristics and development of young, even-aged, pure Scots pine stands. In addition, the effects of timing and intensity of first commercial thinning on the yield and profitability during the rotation period were also studied.

The stand characteristics and external quality of young Scots pine stands and stand-level growth models were based on extensive inventory data of the Finnish Forest Research Institute for young Scots pine stands (3 measurement times, 192 stands). The effect of precommercial thinning on stand development was examined on the basis of long-term experiments (13 stands, 169 plots). The effect of timing and intensity of the first commercial thinning on yield and profitability were based on measurements made in first commercial thinnings (27 stands of Metsähallitus), and the further stand development was modeled using the MOTTI simulator. The thesis was based on four articles and a summary.

Stand level growth models were developed for young, even-aged Scots pine stands. The models reliably predicted the development up until the first commercial thinning stage.

The stand density of young Scots pine stands in Finland was moderately low compared to the target values. In addition, the external quality of pines was low on average. The low stand density and poor external quality will result in the need for quality tree selection in thinnings, if high quality sawn timber is required. In Northern Finland, only 20% of the dominant trees were classified as normal. This will lead to the situation where external quality will remain relatively poor up until the end of rotation.

Early and light precommercial thinning (Hdom 3 m, to a density of 3000 trees per hectare) increased the thinning removal by 40% compared to late and more intensive precommercial thinning (at 7 meters to a density of 2000 trees per hectare). A model for the effect of precommercial thinning on merchantable thinning removal at the first commercial thinning was developed for forest management planning purposes.

When the recommended time of first commercial thinning was delayed from a dominant height of 12 m to 16 m, or by ten years, the yield of merchantable wood was doubled. Simultaneously, the current value of the stumpage revenues (with 4% interest rate) was increased on the average by 65% (330 € per hectare). Variation in stumpage prices or interest rates did not have any effect on the final results. Without exception, delaying the first commercial thinning by ten years seemed to be the most profitable method. This presupposes that precommercial thinning has been carried out at the right time and that tree quality aspects do not be specially considered. Furthermore, the wood yield and economic outcome from the entire rotation were similar regardless of whether the first thinning was performed at the time currently recommended or ten years later.

**Keywords:** Scots pine, *Pinus sylvestris*, precommercial thinning, first commercial thinning, growth and yield, stand-level growth model

**Huuskonen, S.** 2008. Nuorten männiköiden kehitys - taimikonhoito ja ensiharvennus. Dissertations Forestales 62. 61 s. <http://www.metla.fi/dissertations/df62.htm>

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkastellaan metsikön sijainnin, kasvupaikan, syntyvän ja taimikonhoidon vaikutusta nuorten tasaisten ja puhtaiden männiköiden metsänhoidolliseen tilaan ja kehitykseen. Lisäksi työssä arvioidaan ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden tuotos- ja tuotovaikutuksia aina kiertoajan loppuun asti.

Nuorten männiköiden tiheys, ulkoinen laatu ja metsikkötason kasvumallien laadinta perustuvat Metsäntutkimuslaitoksen talousmetsien taimikoiden inventointikokeisiin (TINKA) (kolme mittauskertaa, 192 metsikköä). Taimikonhoidon vaikutus metsikön kehitykseen pohjautuu Metsäntutkimuslaitoksen järjestettyihin taimikkokokeisiin (13 metsikköä, 169 koealaa). Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus metsikön tuotokseen ja tuottoon perustuu Metsähallituksen 27 ensiharvennusmetsikön mittauksiin ja metsikön jatkokehityksen ennusteisiin MOTTI-ohjelmistolla. Työ koostuu neljästä osajulkaisusta ja niiden yhdistelmästä.

Tutkimuksessa laadittiin koko maan kattavat metsikkötason kasvumallit, joilla pystytään kuvaamaan luotettavasti nuorten, kasvatuskelpoisten mäntyjen kehitys ensiharvennusvaiheeseen saakka.

Nuorten, 1970–1980-luvulla perustettujen, männiköiden tiheys on kohtalaisen alhainen. Lisäksi nuorissa männiköissä on paljon ulkoisia laatuviikoja. Heikko laatu yhdistettynä kohtalaisen alhaiseen tiheyteen johtaa laatuharvennustarpeeseen, mikäli halutaan kasvattaa laatu puuta. Pohjois-Suomessa metsikön valtapuista vain 20 % on hyvälaatuisia. Tämä tarkoittaa sitä, että hyvälaatuisia valtapuita ei ole tarpeeksi kasvatettavaksi kiertoajan loppuun asti.

Aikainen ja lievä taimikonhoito (valtapituus 3 metriä, tiheys 3000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen) lisää ensiharvennuskertymää 40 % verrattuna myöhäiseen ja voimakkaampaan taimikonhoitoon (valtapituus 7 metriä, tiheys 2000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen). Taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta ensiharvennuksen ainespuukertymään voidaan tarkastella työssä laadituilla malleilla käytännön metsäsuunnittelutilanteissa.

Ensiharvennuksen ainespuukertymä kaksinkertaistuu, kun ensiharvennusta viivästetään 12 metrin valtapituusvaiheesta 16 metrin valtapituusvaiheeseen tai vastaavasti 10 vuodella. Ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodella lisää ensiharvennuksen kantorahatuloja 65 % (330 €/ha, 4 %:n laskentakorkokannalla). Kantohintojen vaihtelu tai laskentakorkokannan muutokset eivät heikennä ensiharvennuksen viivästäminen kannattavuutta hoidetuissa nuorissa metsissä. Ensiharvennuksen viivästäminen edellyttää, että taimikonhoito on tehty ajallaan eikä metsikön laatuäkökohtiin tarvitse kiinnittää erityistä huomiota. Ensiharvennuksen viivästämisellä 10 vuodella ei ole merkittävää vaikutusta koko kiertoajan tuotokseen (m<sup>3</sup>/ha) tai kantorahatulojen nykyarvoon (€/ha) 0–4 %:n laskentakorkokannoilla.

**Asiasanat:** Mänty, *Pinus sylvestris*, taimikonhoito, ensiharvennus, kasvu ja tuotos, metsikkötason kasvumalli

## ALKUSANAT

Aloitin tämän nuorten männiköiden tutkimuksen tammikuussa 2003. Kiinnostus mäntytaimikoiden kehittymiseen heräsi tutkiessani ensiharvennusikäisiä männiköitä kesällä 2000. Varsinaiseksi tutkimukseksi aihe muotoutui keskustelujen pohjalta Jari Hynysen ja Pasi Puttosen kanssa.

Suurin kiitos tämän väitöskirjatyön ohjaamisesta kuuluu Jari Hynyselle. Ilman hänen neuvojaan, tukeaan ja jatkuvaa kannustusta en olisi nyt tässä tilanteessa, lämmin kiitos Jari. Mallinnukseen liittyvissä ongelmissa oli aina turvallista kääntyä Risto Ojansuun puoleen, suuri kiitos Risto neuvoista ja tuesta. Erityinen kiitos hyvästä ohjauksesta kuuluu myös Jari Mii-nalle, jonka kanssa sain tehdä yhdessä osajulkaisun metsikkötason kasvumalleista. Lämmin kiitos Anssi Ahtikoskelle hyvästä yhteistyöstä ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden tutkimuksen parissa, sekä kannustavista keskusteluista väitöstyöni kuluessa. Kiitos myös An-nikki Mäkelälle tutkimukseni ja jatko-opintojeni hyvästä ohjauksesta sekä PURO-konsortion johtamisesta.

Tämä työ on tehty Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan toimintayksikössä, enkä olisi voinut kuvitella parempaa paikkaa ja mukavampaa ilmapiiriä tehdä tutkimusta. Osatutkimusten laajat aineistot ovat vaatineet lukuisten henkilöiden työpanoksen, joten kiitos teille kaikille TINKA- ja taimikkoaineistojen mittauksiin, tallennuksiin ja esikäsitteilyyn osallistuneille. Erityiskiitokset kuitenkin Tapio Huttuselle ajastasi TINKA-aineiston hyväksi. Neljäs osajulkaisu perustui Metsähallituksen mailta kerättyyn aineistoon ja haluan kiittää erityisesti Pauli Walleniusta, Erkki Hallmania ja Taisto Hokajärveä hyvästä yhteistyöstä.

Tutkimuksen tekeminen on joskus hankalaa ja puuduttavaa ja monia käytännöllisiä ongelmia tulee vastaan tuon tuostakin. Tällöin vertaistuki on korvaamaton apu. Sydämellinen kiitos teille rakkaat ystävät, jotka teitte tutkimuksen teosta niin paljon hauskeempaa: Terhi Eskelinen, Anu Kantola, Mervi Talvitie, Riitta Ryömä, Tuula Jyske, Maarit Raivonen, Minna Pulkkinen ja Saara Lilja. Erityiskiitos hyvästä matkaseurasta Paula Jylhälle tutustuessamme Pohjois-Amerikan taimikoihin ja punapuumetsiin. Lisäksi haluan kiittää koko metsäekologian laitoksen väkeä mahdollisuudesta päästä opettamaan metsänhoitoa vuodeksi. Tuo vuosi oli mieleenpainuva kokemus, jolloin sain palata takaisin metsänhoidon peruskysymysten äärelle. Erityiskiitoksen ansaitsee myös metsäylioppilaiden vuosikurssi 98.

Tutkimukseni edistymiseen ovat vaikuttaneet monet eri henkilöt neuvoilla ja kommenteil-la, erityisesti haluan kiittää Virpi Aleniusta, Soili Kojolaa, Mikko Kukkolaa, Mika Lehtosta, Harri Mäkistä ja Jouni Siipilehtoa. Lisäksi haluan kiittää väitöskirjani esitarkastajia Sauli Valkosta ja Martti Varmolaa hyvistä parannusehdotuksista työtäni kohtaan. Kiitos John Deromelle osajulkaisujen ja yhteenvedon englannin kielen tarkastamisesta sekä Sanna Huuskoselle yhteenvedon suomen kielen tarkastamisesta.

Kiitän Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiötä, jonka juhla-apuraha PURO-konsortiolle mahdollisti tämän tutkimuksen tekemisen. Lisäksi kiitän Metsämiesten säätiötä ja Niemi-säätiötä työni tukemisesta apurahalla.

Lopuksi haluan lämpimästi kiittää vanhempiani kaikesta kannustuksesta ja tuesta opintojani kohtaan. Lisäksi rakkaat kiitokset kuuluvat aviomiehelleni Jarille ja pojalleni Onnille kaikesta tuesta ja myötäelämisestä.

## VÄITÖSKIRJAN OSAJULKAISUT

Väitöskirja perustuu seuraaviin osajulkaisuihin, joihin viitataan tekstissä roomalaisin numeroin I–IV. Julkaisut on painettu kunkin tieteellisen julkaisusarjan luvalla.

- I Huuskonen, S., Hynynen, J. & Ojansuu, R. 2008. Stand characteristics and external quality of young Scots pine stands in Finland. *Silva Fennica* 42(3). In press.
- II Huuskonen, S. & Miina, J. 2006. Stand-level growth models for young Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 241: 49–61.
- III Huuskonen, S. & Hynynen, J. 2006. Timing and intensity of precommercial thinning and their effects on the first commercial thinning in Scots pine stands. *Silva Fennica* 40(4): 645–662.
- IV Huuskonen, S. & Ahtikoski, A. 2005. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 99–115.

Tekijät ovat tehneet osajulkaisujen tutkimussuunnitelmat yhdessä. Saija Huuskonen on tehnyt tutkimuksiin liittyvät laskennat kokonaan osajulkaisuisissa I ja III. Osajulkaisussa II mallitus on tehty yhdessä Jari Miinan kanssa, aineiston peruslaskennasta vastasi Saija Huuskonen. Osajulkaisussa IV Anssi Ahtikoski vastasi taloudellisista laskelmista. Osajulkaisuisissa I ja III Saija Huuskonen oli ensisijainen tekstin kirjoittaja, osajulkaisussa II teksti on kirjoitettu yhdessä Jari Miinan sekä osajulkaisussa IV Anssi Ahtikosken kanssa.

## KÄYTETYT MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET YHTEENVEDOSSA JA OSAJULKAISUISSA

<b>Metsikön tunnuksset</b>		
Runkoluku	$N$	Kehityskelpoisten puiden runkoluku (I, II) tai kokonaisrunkoluku tarkastelu- hetkellä (III, IV), kpl/ha
	$N_{INI}$	Metsikön alkutiheys, kpl/ha
	$N_R$	Poistettavien puiden runkoluku taimikonhoidossa tai ensiharvennuksessa, kpl/ha
	$N_{PCT}$	Runkoluku ennen taimikonhoitoa, kpl/ha
	$N_{POST-PCT}$	Runkoluku taimikonhoidon jälkeen, kpl/ha
	$N_{FCT}$	Runkoluku ennen ensiharvennusta, kpl/ha
Valtapiuus	$H_{dom}$	100 paksuimman puun keskipituus hehtaaria kohden, m (valtapiuutta ei ole määritetty alle 1,3 m metsiköille)
	$H_{domPCT}$	Valtapiuus taimikonhoitohetkellä, m
	$H_{domT}$	Valtapiuus tarkasteluhetkellä, m
Keskipituus	$H$	Aritmeettinen metsikön keskipituus, m
Valtaläpimitta	$D_{dom}$	100 paksuimman puun keskiläpimitta hehtaaria kohden, cm
Keskiläpimitta	$D$	Aritmeettinen metsikön keskiläpimitta rinnankorkeudelta, cm
	$D_R$	Poistettujen puiden aritmeettinen keskiläpimitta, cm
	$D_{FCT}$	Metsikön aritmeettinen keskiläpimitta ennen ensiharvennusta, cm
Pohjapinta-ala	$G$	Pohjapinta-ala rinnankorkeudelta, m <sup>2</sup> /ha
Tilavuus	$V, V_T$	Kokonaistilavuus, m <sup>3</sup> /ha
	$V_R$	Ensiharvennuksessa poistettavan ainespuukertymän kokonaistilavuus, m <sup>3</sup> /ha
Latvussuhde	$CR$	Metsikön aritmeettinen keskiarvo latvussuhteelle, elävän latvuksen osuus puun pituudesta, %
Ikä	$T$	Biologinen ikä, a
Lämpösumma	$TS, DD$	Vuotuinen keskimääräinen lämpösumma, d.d.
<b>Tilastolliset tunnuksset</b>		
Bias		Odotusarvon virhe, missä $y_i$ on mitattu arvo ja $\hat{y}_i$ ennustettu arvo sekä $n$ havaintojen lukumäärä
RMSE		Keskineliöpoikkeaman neliöjuuri
		$Bias = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}$

## SISÄLTÖ

ABSTRACT .....	3
TIIVISTELMÄ .....	4
ALKUSANAT .....	5
VÄITÖSKIRJAN OSAJULKAISUT .....	6
KÄYTETYT MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET YHTEENVEDOSSA JA OSAJULKAISUISSA .....	7
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Männyn tuotosbiologia .....	9
1.2 Männiköiden kasvatusohjelmat .....	10
1.3 Metsänhoidollinen tila .....	13
1.4 Nuorten männiköiden metsänhoito .....	15
1.4.1 Taimikonhoito .....	15
1.4.2 Ensiharvennus .....	16
1.4.3 Ulkoinen laatu .....	17
1.5 Nuorten männiköiden kasvututkimuksissa sovelletut menetelmät .....	18
1.5.1 Aineistot .....	18
1.5.2 Kasvumallit .....	19
1.6 Tutkimuksen tarkoitus .....	20
2 AINEISTOT .....	23
2.1 Yleistä .....	23
2.2 Taimikoiden inventointiaineisto .....	23
2.3 Taimikoiden kestokoeaineisto .....	26
2.4 Ensiharvennusten inventointiaineisto .....	27
3 MENETELMÄT .....	28
3.1 Nuorten metsien kehityksen mallitus .....	28
3.1.1 Metsikkötason kasvumallit .....	28
3.1.2 Taimikonhoidon vaikutusta kuvaavat mallit .....	29
3.2 Metsikön kehityksen simulointi .....	31
4 TULOKSET .....	33
4.1 Nuorten männiköiden metsänhoidollinen tila .....	33
4.2 Nuorten männiköiden kasvumallit .....	34
4.3 Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen vaikutus metsikön tuotokseen ja tuottoon .....	36
5 TULOSTEN TARKASTELU .....	40
5.1 Aineistojen kattavuus ja laatu .....	40
5.2 Mallien ja simulointien vertailu ja luotettavuus .....	41
5.3 Metsänhoidollinen tila .....	46
5.4 Taimikonhoito ja ensiharvennus .....	47
6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ KÄYTÄNNÖN METSÄTALOUTEEN .....	52
KIRJALLISUUS .....	54

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Männyn tuotosbiologia

Mänty (*Pinus sylvestris* (L.)) on yleisin vallitseva puulaji Suomen metsissä. Männyn osuus puustosta on suurin Pohjois-Suomessa, jossa mänty on pääpuulajina 77 % metsämaan pinta-alasta (Korhonen ym. 2006). Mänty kasvaa luontaisesti niukka-, keski- ja runsasravinteisissa metsissä, rämeillä ja kallioilla (Hämet-Ahti ym. 1992). Luontaisena valtapuuna mänty on aina kuivahkoilla, kuivilla ja karukkokankailla (Kuusipalo 1996). Parhailla kasvupaikoilla mänty voi saavuttaa jopa 30–36 metrin pituuden (Sarvas 1964). Mänty elää tavallisesti 250–350 vuotta, mutta voi saavuttaa jopa yli 700 vuoden iän (Sarvas 1964, Wallenius 2007).

Puuston kasvu metsissä on lisääntynyt Valtakunnan metsien inventointien (VMI) mukaan 1970-luvulta lähtien (VMI7 vuosina 1977–1984: 68,4 milj. m<sup>3</sup>/v ja VMI10 vuosina 2004–2005: 97,1 milj. m<sup>3</sup>/v) (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Kasvunlisäys viime vuosikymmeninä on seurausta nimenomaan männiköiden kasvunlisäyksestä, sillä valtaosa männiköistä on nuoria lisääntyvän kasvun vaiheessa olevia metsiköitä (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Kasvun lisäyksen johdosta kotimaisen puun vuotuisia hakkuumääriä voidaan lisätä 10–15 milj. m<sup>3</sup> (Kansallinen Metsäohjelma 2015).

Männyn vuotuinen keskikasvu kiertoajan kuluessa on Vuokilan ja Väliahon (1980) mukaan Etelä-Suomessa tuoreella kankaalla ( $H_{100} = 27$ ) 6,7 m<sup>3</sup>/ha/v, kuivahkolla kankaalla ( $H_{100} = 24$ ) 5,2 m<sup>3</sup>/ha/v ja kuivalla kankaalla ( $H_{100} = 18$ ) 2,7 m<sup>3</sup>/ha/v. Vuotuinen tilavuuskasvu eteläsuomalaisessa männikössä on suurimmillaan 40–60 vuoden iässä luonnonmetsissä (Ilvessalo 1920) ja lievästi alaharvennetuissa metsissä (Nyysönen 1954, Koivisto 1959).

Männyn pituuden ja läpimitan kasvu vaihtelee kehitysvaiheen mukaan. Kasvunopeus on pienellä taimella aluksi hidasta, mutta sen jälkeen nopeasti kiihtyvää (Vuokila 1980, Kellomäki 1988). Suhteellisen nuorella iällä vuotuinen kasvu saavuttaa huippunsa ja alkaa pienentyä (Vuokila 1980). Kasvu alkaa tasoittua, kun taimien välinen kilpailu alkaa rajoittaa niiden kasvua (Kellomäki 1988). Tällöin puhutaan sulkeutuneesta taimikosta (Kellomäki 1988). Männyn istutustaimikossa pituuskasvunopeus tasoittuu 10–12 vuoden kuluttua istutuksesta (Karljula ym. 1982, Kellomäki 1988). Taimikkovaiheen jälkeen nuoren alaharvennuksin käsitellyn kasvatusmetsän pituus- ja läpimittakasvu on melko tasaista, mutta kasvu hidastuu metsikön ikääntyessä (Vuokila 1980). Kasvunopeus vaihtelee kasvupaikan viljavuuden mukaan; rehevillä kasvupaikoilla pituus- ja läpimittakasvu on nopeampaa kuin karummilla kasvupaikoilla (Koivisto 1959, Vuokila ja Väliaho 1980). Läpimitan kehitykseen vaikuttaa lisäksi puiden välinen kilpailu; tiheässä metsikössä läpimitan kehitys on hitaampaa kuin harvassa metsikössä (Assmann 1970, Vuokila 1980, Clutter ym. 1983). Toisaalta taas metsikön voimakkaat harvennukset kiihdyttävät läpimitan kehitystä (Vuokila 1960, Parviainen 1978, Ruha ja Varmola 1997, Pukkala ym. 1998, Hynynen ja Arola 1999, Montero ym. 2001, Mäkinen ja Isomäki 2004, Mäkinen ym. 2005). Harvennuksilla ei sen sijaan ole todettu selvää pitkäaikaista vaikutusta metsikön pituuden kehitykseen (Parviainen 1978, Salminen ja Varmola 1990, Pettersson 1993, Valinger ym. 2000, Mäkinen ja Isomäki 2004, Mäkinen ym. 2005).

Metsikön nuoruvaiheen kehitys ja tehdyt metsänhoitotoimet vaikuttavat ratkaisevasti koko loppukiertoajan tuotokseen ja tuottoon. Metsien kehitystä voidaan tarkastella jaoteltuna hoitovaiheeseen ja hyötyvaiheeseen, joiden rajana on metsän vuotuisen tilavuuskasvun kulminoituminen (Vuokila 1980). Hoitovaiheen aikana tilavuuskasvu kiihtyy sekä puuston määrä lisääntyy (Vuokila 1980). Hoitovaiheessa tehtävien harvennusten (taimikonhoidon ja ensiharvennuksen) tarkoituksena on käyttää hyväksi puiden hyvää reaktiokykyä ja kehittää puiden haluttuja ominaisuuksia, jolloin hyötyvaiheen tuotot saadaan suuremmiksi (Vuokila

1980). Tällöin harvennuksessa tulee suosia metsän parhaita ja tuottavimpia puita (Vuokila 1980, Kellomäki 1988). Hyötyvaiheessa puuston kasvunopeus on hidastuvaa ja harvennuksissa tärkeintä on riittävän puustopääoman säilyttäminen kasvu- ja tuotostappioiden välttämiseksi (Vuokila 1980, Kellomäki 1988). Toisaalta taas, Hyytiäisen ja Tahvosen (2002) mukaan tavoiteltaessa korkeaa korkoa puustopääomalle, tulee viimeisen harvennuksen olla voimakas, jolloin kiertoajan loppuun kasvatettava puustopääoma jää alhaiseksi.

## 1.2 Männiköiden kasvatusohjelmat

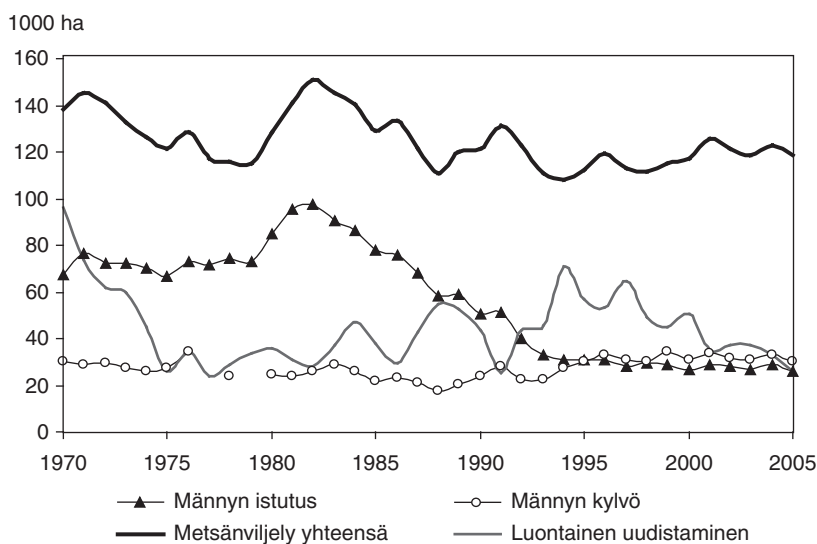
Käytännön talousmetsissä metsänkäsittely pohjautuu metsänhoitosuosituksiin. Hyvän metsänhoidon suositukset (2006) metsänomistajille on laatinut Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Lisäksi Pohjois-Suomeen on laadittu omat metsänhoitosuositukset (Keskimölo ym. 2007). Ensimmäistä kertaa on laadittu myös erikseen metsänhoidon suositukset turvemaille (Ruotsalainen 2007). Vastaavasti eri organisaatioilla on omat metsänhoito-ohjeet, esim. Metsähallituksen metsänhoito-ohjeet (Hokajärvi 1997). Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan korostetaan metsänkasvatuksen tavoitteisiin mukautettua männikön kasvutusta. Suosituksissa vaihtoehtoisiksi tavoitteiksi esitetään männikön perinteinen kasvatus (perusmalli), laatuun kasvatus tai intensiivinen kasvatus. Kivennäismailla suositellaan mäntyä pääpuuksi kuivahkoille ja sitä karummille kankaille (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Tuoreilla kankailla mänty kasvaa hyvin, mutta laatu- ja kasvukokojen takia suositellaan sekapuustoa riittävän tiheyden aikaansaamiseksi (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006).

Mänty uudistetaan joko luontaisesti, kylvään tai istuttaen. Luontaista uudistamista suositellaan, mikäli on edellytyksiä saada aikaan taloudellisesti arvokas puusto kohtuujassa (Kubin 2001). Mänty uudistetaan luontaisesti siemenpuumenetelmällä, jolloin siemenpuita jätetään 20–50 puuta hehtaarilla (Kubin 2001). Uusien metsänhoitosuositusten (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006) mukaan siemenpuita tulisi jättää enemmän, 50–150 puuta hehtaarille. Luontaista uudistamista suositellaan Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan vain kuivan kankaan kasvupaikoille kivennäismailla. Luontainen uudistaminen vaatii onnistuakseen yleensä maanmuokkausta, sillä muuten taimettuminen on epätasaista (esimerkiksi Sarvas 1949, Lehto 1956, Oinonen 1956, Lehto 1969). Maanmuokkausmenetelmänä suositetaan joko äestystä tai laikutusta, vain kaikkein karuimmat kasvupaikat voidaan jättää muokkaamatta (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Maanmuokkausmenetelmien kehittyminen on luonut edellytykset männyn luontaisen uudistamisen lisäämiseen, ja sen suosio kasvoikin 1980- ja 1990-luvuilla, kun maanmuokkauksen positiivinen vaikutus havaittiin (Kinnunen ja Mäki-Kojola 1980, Norokorpi 1983, Valtanen 1984, 1985, Kinnunen 1993, Valtanen 1998). Viimeaikaisissa tutkimuksissa Lapissa on havaittu maanmuokkauksen parantavan ratkaisevasti männyn luontaisen uudistamisen onnistumista (Hyppönen ja Hyvönen 2000, Hyppönen ym. 2001, Hyppönen ja Kemppe 2002, Hyppönen ym. 2002). Kaiken kaikkiaan luontaisen uudistamisen pinta-alat ovat laskeneet 1990-luvun loppupuolella (Kuva 1), koska ilmeisesti huippuvuosina (1990-luvun puolivälissä) luontaista uudistamista käytettiin myös sille soveltumattomilla kohteilla.

Männyn viljely tehdään joko kylvään tai istuttamalla. Kinnusen (2001) mukaan männyn kylvä on rinnasteinen vaihtoehto männyn luontaiselle uudistamiselle, eli ne soveltuvat samoille kasvupaikoille, kuivahkoille ja kuiville kankaille. Toisaalta Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan kylvä ja luontainen uudistaminen ovat rinnasteisia vaihtoehtoja vain kuivan kankaan keskikarkeilla maalajeilla. Sen sijaan kylvää suositellaan kuivahkon kankaan karkeille ja keskikarkeille maalajeille (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Kylvön etuna

luontaiseen uudistamiseen nähden on varmempi ja nopeampi taimettuminen. Tuoreelle kankaalle ja kuivahkon kankaan hienojakoisille maalajeille suositellaan männyn istutusta kylvön sijasta (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Alkuvaiheen suurempi tiheys ja juuristo-ongelmien välttäminen ovat kylvön etuja istutukseen nähden (Kinnunen 2001). Sen sijaan istutus taas takaa nopeamman taimien alkukehityksen ja jalostetun siemenmateriaalin paremman käyttömahdollisuuden (Kinnunen 2001). Männynviljelyn pinta-alat ovat pienentyneet 1980- ja 1990-lukujen taitteessa (Kuva 1). Suurin muutos tapahtui männyn istutuspinta-aloissa, kun taas männyn kylvöpinta-alat ovat pysyneet lähellä pitkän ajan keskiarvoaan, 27 000 ha vuodessa. Männyn istutusmäärät olivat männyn viljelystä 1970–1990-luvuilla keskimäärin 74 %, mutta vuonna 2005 istutuksen osuus männyn viljelystä oli enää 46 % (Metsätalastollinen vuosikirja 2006). Huippuvuonna 1982 mäntyä istutettiin 97 000 ha alalle.

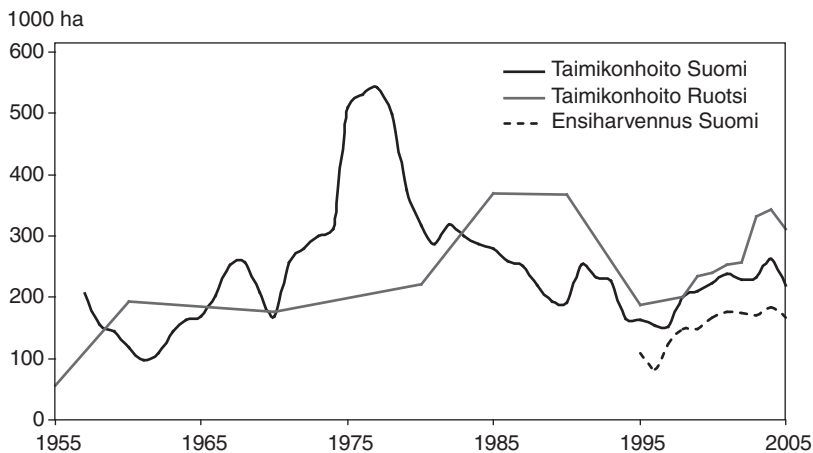
Sovelletut taimitiheydet männynviljelyssä ovat vaihdelleet runsaasti vuosikymmenten saatossa. Metsänviljelytiheyksien vaihtelun taustalla 1900-luvun alusta aina 1970-luvulle asti ovat olleet käytännölliset syyt, kuten työn kalleus ja työvoiman puute, eikä niinkään vankka tutkimustieto (Heikinheimo 1951, Varmola 1996). 1940-luvun lopulle saakka suositeltiin 5000 tainta tai kylvökohtaa hehtaarille (esimerkiksi Borg 1931, 1938, Heikinheimo 1944, 1947). Sen jälkeen kylvö- ja istutustiheydet laskivat ja olivat alimmillaan 1970-luvulla, jolloin suositeltiin 2500 (Kauttu 1971) ja 2000 (Takala 1978a) kylvökohtaa tai tainta hehtaarille. Viljelytiheyksien lasku 1950-luvulta alkaen ei perustunut kovin vankkaan tutkimustietoon, vaan Heikinheimo (1951) esitti käytännön havaintojen ja ammattimiesten näkemyksiin perustuen istutustiheydeksi 2500 puuta hehtaarilla kirjoittamassaan Metsälehdessä artikkelissa. Tukea Heikinheimon päätelmille antoi Sirén (1956) esittäessään keskeneräisistä tutkimuksista esimerkkitapausten perusteella 2000–2500 tainta tai kylvökohtaa hehtaarille. 1970–1980-lukujen alhaiset viljelytiheydet johtuivat siitä, että tavoitteena oli käyttöpuun tuotoksen maksimoiminen ja tällöin männikön kasvu kannatti keskittää jo ennen ensiharvennusta suhteellisen alhaiseen runkolukuun (1500–1800 puuta hehtaarilla) (Vuokila 1972, Vuokila 1980).



**Kuva 1.** Metsänuudistamisen pinta-alat vuosina 1970–2005 (Metsätalastollinen vuosikirja 2006). Metsänviljely yhteensä ja luontainen uudistaminen sisältävät kaikkien puulajien uudistamisalaa. Luontaisen uudistamisen pinta-alat perustuvat siemen- ja suojuospuuhakkuiden määriin.

1980-luvun jälkeen tiheysuositukset jälleen kasvoivat ja olivat ylimmillään 1990-luvun alussa, jolloin suositeltiin 5000–6000 kylvökohtaa ja 3500–4500 tainta hehtaarille (Parviainen 1991). Nykyisissä suosituksissa todetaan korkealaatuisen tukkipuun kasvatuksen edellyttävän 4000–5000 taimen kasvatustiheyttä hehtaarilla, mutta istutustiheydeksi suositellaan 2000 puuta hehtaarilla ja tavoitetiheys saavutetaan luontaisilla siemensyntyisillä koivuilla (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006).

Onnistuneen metsänuudistamisen jälkeen männyn kasvatusketjussa on vuorossa taimikonhoito. Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan taimikonhoito suositellaan tehtäväksi 5–7 metrin valtapituusvaiheessa tiheyteen 1800–2000 puuta hehtaarilla tai laatupuun kasvatuksessa 2000–2500 puuta hehtaarilla. Taimikonhoitomäärät ovat vaihdelleet Suomessa paljon vuosien 1955 ja 2005 välillä (Kuva 2). Taimikonhoitomäärien huippuvuodet ajoittuvat 1970-luvun puolivälin paikkeille, jolloin vuosittainen taimikonhoitoala oli suurimmillaan 534 000 ha (vuonna 1977) (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). 1970-luvun lopusta alkaen vuosittaiset taimikonhoitoalat vähenivät ja olivat alimmillaan vuonna 1997 vain 151 000 ha. Samansuuntainen kehitys vuotuisissa taimikonhoitomäärissä on myös Ruotsissa, mutta suurimmat taimikonhoitomäärät sijoittuvat Ruotsissa 1980-luvulle (Skogsstatistisk årsbok 2007). Taloudellisen laman aiheuttama notkahdus 1990-luvulla on havaittavissa sekä Suomen että Ruotsin taimikonhoitomäärissä. Ensiharvennusten määrä on Suomessa lisääntynyt, sillä vuonna 1995 ensiharvennuksia tehtiin vain 108 000 hehtaarilla, kun vuonna 2005 vastaava luku oli 168 000 hehtaaria (Kuva 2) (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Kansallisen metsäohjelman (KMO) 2010 tavoitteena oli nostaa vuosittaiset taimikonhoitomäärät (sisältäen nuoren metsän kunnostuksen) 250 000 hehtaarin vuositasolle. Tähän pyrittiin Nuoren metsän hoito -kampanjan ja Kestävän metsätalouden rahoituslain (KEMERA) tukien muodossa (Kansallinen metsäohjelma 2010). Vasta vuonna 2004 saavutettiin toteutuneissa taimikonhoitomäärissä (263 000 ha) KMO:n tavoitetaso ja jo vuonna 2005 jäätin taas tavoitetason alapuolelle (219 000 ha) (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Tämä tarkoittaa sitä, että aikaisempien vuosien tavoitetta



**Kuva 2.** Taimikonhoitomäärät Suomessa ja Ruotsissa vuosina 1955–2005 (Metsätilastollinen vuosikirja 2006, Skogsstatistisk årsbok 2007) sekä ensiharvennusmäärät Suomessa vuosina 1995–2005 (Metsätilastollinen vuosikirja 2006).

alemmat toteutuneet määrät ovat edelleen kasvattaneet jo olemassa olevia taimikonhoitoräsestä. Tulevalla 10-vuotiskaudella metsänhoidollisia taimikonhoitotarpeita on 1,6-kertaisesti ja ensiharvennustarpeita 2,2-kertaisesti Valtakunnan metsien 10. inventointia edeltäneellä 10-vuotiskaudella toteutuneisiin töihin verrattuna (Korhonen ym. 2006, Kansallinen metsäohjelma 2015).

Ensiharvennus suositellaan tehtäväksi ala- tai laatuharvennuksena 13–15 metrin valtipitusvaiheessa tiheyteen 900–1000 puuta hehtaarilla (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Jos tavoitteena on kuitenkin laatu puun kasvatusta, tehdään ensiharvennus hiukan aikaisemmin, 11–13 metrin valtipitusvaiheessa tiheyteen 1000–1200 puuta hehtaarilla (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Intensiivisessä männikön kasvatuksessa ensiharvennus tehdään jo 10–12 metrin valtipitusvaiheessa laatuharvennuksena tiheyteen 700 puuta hehtaarilla (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Ensiharvennuksen jälkeen suositellaan yhtä tai kahta muuta harvennusta, jolloin toinen harvennus tehdään alaharvennuksena, mutta kolmas harvennus voidaan tehdä myös yläharvennuksena (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Uudistamisjäreys saavutetaan kasvupaikasta, sijainnista ja metsänkasvatuksen tavoitteista riippuen, kun rinnankorkeusläpimitta on 21–32 cm tai ikä 70–150 vuotta (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Tässä tutkimuksessa keskitytään nuorten männiköiden kehitykseen, pääasiassa taimikokovaiheesta nuoren kasvatusmetsän vaiheeseen, josta jatkossa käytetään termiä nuori metsä.

### 1.3 Metsänhoidollinen tila

Metsänhoidollisella tilalla tarkoitetaan metsikön tiheyttä, tilajärjestystä ja ulkoista laatua. Metsänhoidollinen tila luokitellaan yleensä hyväksi, kun se vastaa käytössä olevia metsänhoitosuosituksia. Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) maastotyöohjeiden (2006) mukaan metsänhoidollinen tila luokiteltiin hyväksi, kun puulaji oli kasvupaikalle sopiva, metsän käsittely oli hyvän metsänhoidon vaatimusten mukaista ja vallitsevan latvuskerroksen puusto oli sopivan tiheää ja tasaista. VMI10 tulosten mukaan taimikoiden ja nuorten metsien metsänhoidollinen tila oli varsin heikko (Korhonen ym. 2006). Pienten taimikoiden metsänhoidollinen tila luokiteltiin hyväksi 39 % taimikoista, mutta varttuneista taimikoista vain 23 % oli hyviä (Taulukko 1). Laadun alenemisen syynä oli useimmiten tuho tai taimikon epätasaisuus (Taulukko 1). Vajaatuottoisia taimikoita oli noin 4 % (Korhonen ym. 2006). Vajaatuottoiseksi metsä luokiteltiin kun metsikön uudistaminen oli viivästynyt huomattavasti tai epäonnistunut, tuotto alitti kasvupaikalla saavutettavissa olevan tuoton selvästi ja metsikkö oli joko välittömän uudistamisen tarpeessa tai sitä ei voida kasvattaa kiertoajan loppuun asti (Valtakunnan metsien 10. inventointi... 2006). Nuorista kasvatusmetsistä hyvälaatuisiksi luokiteltavia oli vain 17 % ja toisaalta vajaatuottoisia 6 % (Korhonen ym. 2006).

Uudet tutkimustulokset Etelä-Suomesta (Saksa ym. 2005) antavat karun kuvan männiköiden nykyisestä uudistamisen tasosta, kun uudistamisesta on kulunut muutama vuosi. Männiköiden uudistamisen ei voida sanoa onnistuneen hyvin, jos istutustaimikoista 57 %, kylvötaimikoista 48 % ja luontaisen uudistamisen taimikoista vain 35 % täytti hyvän uudistamistuloksen kriteerit (Saksa ym. 2005). Suurin syy heikkoon uudistamistulokseen on ollut männyn uudistaminen liian reheville kasvupaikoille: lähes puolet mitatuista männyn uudistamiskohteista oli tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla (Saksa ym. 2005). Syynä männyn luontaisen uudistamisen tai kylvön käyttöön rehevillä kasvupaikoilla lienee houkutus alhaisiin uudistamiskustannuksiin. Uudistamistuloksen laadulla on merkittävä vaikutus tulevan puuston puulajisuhteisiin, sillä harvassa mäntytaimikossa lehtipuusto valtaa herkästi kasvutilaa. Saksan ym. (2005) mukaan keskitiheydeltään 2000–3000 rungon kylvötaimikoissa tiheän

mäntytaimikon (3000 puuta hehtaarilla) osuus oli 38 % alueen pinta-alasta ja samaan aikaan lehtipuuvaltaista harvaa männikköä oli jo 38 %.

Taimikoiden tilaa muutama vuosi uudistamisen jälkeen on tutkittu Suomessa jo 1960-luvulta lähtien. Valitettavasti tulokset uudistamisen huonosta laadusta vaikuttavat useimmiten olevan samansuuntaisia, vain syyt uudistamisen heikkoon laatuun ovat vaihdelleet. 1960- ja 1970-luvuilla taimista yli kolmannes kuoli muutaman ensimmäisen vuoden aikana, syynä muokkaamattomaan maahan uudistaminen (Yli-Vakkuri 1961, Yli-Vakkuri ym. 1969). Ainoastaan kulutus vaikutti suotuisasti kylvötaimikoiden metsänhoidolliseen tilaan (Yli-Vakkuri 1961, Yli-Vakkuri ym. 1969). Lisäksi myöhemmissä tutkimuksissa havaittiin, että muokkaamattomassa maassa taimien kuolemista tapahtui aina 14–16 vuoden päähän viljelystä (Rautiainen ja Räsänen 1980). Maanmuokkauksen yleistyessä laskettiin myös viljelytiheyksiä, joten taimitiheydet taimikoissa olivat suunnilleen samaa luokkaa 1970-luvun ja 1980-luvun inventoinneissa kuin aikaisemminkin (Kinnunen ja Linnimäki 1977, Räsänen ym. 1985, Saksa 1989, Saksa ym. 1990). Toisaalta muutamissa tutkimuksissa todettiin, että taimikoiden tila oli hyvä. Esimerkiksi Länsi-Suomessa istutusmännikköiden keskitiheys oli 1865 puuta hehtaarilla ja puolukkatyyppin kylvötaimikoista jopa 80 % oli hyvälaatuisia ja luontaisesti syntyneistä 68 % (Kinnunen ja Nerg 1982, 1983). Vastaavasti vuosina 1985–1995 Lapissa tehdyn inventoinnin mukaan taimikoissa oli keskimäärin 2000 puuta hehtaarilla, kun luontaisesti syntyneet männyn ja koivun taimet laskettiin mukaan kehityskelpoisten taimien joukkoon (Hallikainen ym. 2004). Yleisesti ottaen 1980–1990-luvuilla maanmuokkausmenetelmät kehittyivät, mutta samaan aikaan istutustiheyksiä alennettiin luontaisen taimiaineuksen hyväksikäytön, koivun ylikorostamisen, heikon taloustilanteen ja heikentyneen ammattiohjauksen puutteen vuoksi (Saksa ym. 2005).

**Taulukko 1.** Metsiköiden laadun alennuksen syyt kehitysluokittain Etelä- ja Pohjois-Suomessa sekä koko maan keskiarvot Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) tulosten mukaan (Korhonen ym. 2006).

		Hyvä	Hoitamattomuus	Luont. harvuus	Epätasainen	Tekninen laatu	Tuhot	Muut syyt <sup>a)</sup>
<b>Etelä-Suomi</b>	Pieni taimikko	44,3	11,6	12,7	15,2	0,1	15,2	0,9
	Varttunut taimikko	32,6	14,1	8,8	20,9	1,3	19,0	3,4
	Nuori kasvatusemetsä	24,9	6,0	3,7	25,3	12,5	16,1	11,6
<b>Pohjois-Suomi</b>	Pieni taimikko	32,0	7,5	8,7	25,0	1,0	24,4	1,4
	Varttunut taimikko	11,6	9,6	13,2	33,1	5,7	24,0	2,8
	Nuori kasvatusemetsä	9,1	4,5	11,7	39,1	13,6	13,7	8,3
<b>Koko maa</b>	Pieni taimikko	38,5	9,7	10,8	19,8	0,5	19,5	1,2
	Varttunut taimikko	22,6	11,9	10,9	26,7	3,4	21,4	3,1
	Nuori kasvatusemetsä	17,1	5,2	7,7	32,1	13,1	14,9	9,9

a) Muut syyt on yhdistetty luokkaa, jossa tekijöinä oli ylitiheys, hakkuu tai vähäarvoinen puulaji.

## 1.4 Nuorten männiköiden metsänhoito

### 1.4.1 Taimikonhoito

Taimikonhoidon tavoitteena on vapauttaa kasvutilaa kasvatettaville puille ja keskittää kasvu valittuihin puihin. Keinoina on säädellä puuston tiheyttä sekä puulajisuhteita. Kasvutilan vapautus vähentää kilpailua ja lisää kasvutilaa niin latvustossa kuin juuristossakin. Koko kiertoajan kuluessa puuston harventaminen vähentää kokonaistuotosta, mutta se lisää kuitenkin puiden läpimitan, tilavuuden ja latvuston kasvua (Assman 1970, Vuokila 1981). Taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat ratkaisevasti metsikön tuotokseen ja metsikön laatukehitykseen ja edelleen myös ensiharvennuksen ajoitukseen ja kannattavuuteen. Taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden tarkastelussa on otettava huomioon metsänkasvatuksen tavoitteet. Taimikonhoidon toteutukseen vaikuttavat niin metsänhoidolliset kuin taloudellisetkin tekijät.

Taimikonhoidolla tarkoitetaan joko taimikon perkausta tai harvennusta tai näiden yhdistelmää. Perkauksessa taimikosta poistetaan muita puulajeja kuin kasvatettavan puulajin runkoja, esimerkiksi lehtipuut pois kuusen taimikosta (Vuokila 1972). Perkaus voidaan jaotella alueen käsittelyn mukaan joko reikäperkaukseen, jolloin kasvatettavan taimen ympäriltä poistetaan vain haittaava vesakko 1 metrin etäisyydeltä, tai täysperkaukseen, jolloin koko alalta poistetaan kasvatettavia taimia haittaavat muut puulajit (Andersson 1985, Andersson 1993, Hyvän metsänhoidon suositukset 2001). Taimikonharvennuksessa taas poistetaan sekä kasvatettavan puulajin runkoja että muita puulajeja, tavoitteena säädellä taimikon tiheys ja puulajisuhteet halutunlaiseksi (Vuokila 1972). Käsitteet perkaus ja harvennus löytyvät jo Aaltosen (1934) ja Kalelan (1945) metsänhoidon oppikirjoista.

Taimikonhoito voidaan jaotella myös suoritusajankohdan mukaisesti varhaishoitoon ja varsinaiseen taimikonhoitoon (Vuokila 1972). Taimikon varhaishoito tehdään yleensä 1–2 metrin pituusvaiheessa (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Taimikon varhaishoito on käytännössä perkausta, jolloin poistetaan lehtipuuesakkoa taimikosta. Varhaishoitoa joudutaan tekemään erityisesti rehevillä kasvupaikoilla. Taimikon varhaishoitoon voidaan laskea kuuluvaksi myös mekaaninen tai kemiallinen heinäntorjunta sekä täydennysviljely (Valkonen 2005). Varsinaisessa taimikonhoidossa puusto perataan tai harvennetaan sellaiseksi, että se voi tiheytensä, puulajisuhteidensa ja rakenteensa puolesta kasvaa ensiharvennuksen asti ilman toimenpiteitä (Varmola 2001). Varsinainen taimikonhoito suoritetaan yleensä 3–8 metrin valtapituuksivaiheessa (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006).

Aikainen taimikonhoito kiihdyttää kasvua ja lisää ensiharvennusvaiheen ainespuukertymää (Vuokila 1972). Lisääntyneen kasvutilan ansioista myös oksat kasvavat paksummiksi ja latvusrajan nouseminen hidastuu, jolloin metsikön ulkoinen laatu heikkenee (Kellomäki ja Tuimala 1981, Fahlvik ym. 2005). Taimikonhoidon vaikutus oksikkuuteen ja runkomuotoon on männyllä suurempi kuin kuusella (Nilsson ja Gemmel 1993). Erittäin voimakas taimikonharvennus aiheuttaa myös tuotostappioita. Varmolan ja Salmisen (2004) mukaan taimikon tiheys 1600–2000 runkoa hehtaarilla harvennuksen jälkeen ei aiheuttanut suurta tuotostappiota, mutta 1000 runkoa hehtaarilla johti jo merkittävään tuotoksen alenemaan.

Mikäli metsänkasvatuksen tavoitteena on maksimoida ainespuuntuotosta, aikainen ja voimakas taimikonhoito on tutkimusten mukaan perusteltua (Vuokila 1972, Parviainen 1978). Tällöin suositellaan männikössä tehtäväksi taimikonhoitoa jo 2,5 metrin valtapituuksivaiheessa (esimerkiksi Vuokila 1972, Vestjordet 1977).

Mikäli metsänkasvatuksen tavoitteena on korkealaatuisen sahatavaran tuotanto, suositellaan myöhäistä tai lievää taimikonhoitoa. Tiheässä mäntytaimikossa läpimitan kasvu hidastuu, mutta myös oksien paksuuskasvu on hidasta, joten metsikön ulkoinen laatu paranee. Tutkimusten perusteella suositellaan, että laadun kannalta taimikonhoito tulisi ajoittaa Etelä-

Suomessa vasta vaiheeseen, jossa taimikon keskipituus ylittää 5 metriä (Varmola 1982, Varmola 1996, Varmola ym. 1998) ja Pohjois-Suomessa valtapituuden ylittäessä 8 metriä (Ruha ja Varmola 1997). Taimikonhoito voidaan tehdä myös lievänä ja vaikuttaa siten metsikön ulkoisen laadun kehittymiseen. Ulvcróna ym. (2007) mukaan taimikonhoidon voimakkuudella on suurempi vaikutus kuin ajoituksella puiden koon ja muodon kehittymiseen, mutta viivästämällä taimikonhoitoa hidastetaan nimenomaan rungon alaosan oksien paksuuskehitystä. Tutkimustulosten perusteella on suositeltu, että metsikön tiheyden tulisi taimikonhoidon jälkeen olla yli 2500 tai jopa yli 4000 runkoa hehtaarilla (Huuri ym. 1987, Varmola 1996, Agestam ym. 1998, Varmola ja Salminen 2004). Tällöin voidaan kuitenkin joutua tilanteeseen, jossa kustannuksiltaan kallis taimikonhoito joudutaan tekemään toiseen kertaan tai ensiharvennus tekemään aikaisin, jolloin ainespuukertymä jää pieneksi.

Metsikön tuotoksen, laadun ja taimikonhoidon kustannusten perusteella pohjoismaisissa tutkimuksissa yleensä suositellaan taimikon tiheydeksi 1600–3000 runkoa hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen (Vuokila 1972, Vestjordet 1977, Parviainen 1978, Salminen ja Varmola 1990, Pettersson 1993, Strand ym. 1996, Ruha ja Varmola 1997).

Taimikonhoitotutkimukset ovat keskittyneet taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden tarkasteluun, mutta taimikonhoidon ja ensiharvennuksen välistä vuorovaikutusta ei ole juurikaan tutkittu.

#### *1.4.2 Ensiharvennus*

Ensiharvennus on nuoren yksijaksoisen metsän ensimmäinen hakkuu, josta saadaan myyntikelpoista ainespuuta ja kantorahatuloja. Sen tavoitteena on nopeuttaa jäävän puuston järeytymistä puiden kasvutilaa lisäämällä ja parantaa puiden laatua keskittämällä kasvu arvokkaisiin ja hyvälaatuisiin puihin (Vuokila 1962, Vuokila 1980). Lisäksi ensiharvennuksen, ja yleisesti harvennushakkuiden, tavoitteena on hakkuutulojen saaminen, puulajisuhteiden järjestäminen, latvusten hoito, metsikön terveydentilan ylläpito ja luontaisen kuolleisuuden estäminen (Vuokila 1962, Vuokila 1980). Näiden tavoitteiden toteutumiseen vaikuttavat ratkaisevasti ensiharvennuksen ajoitus sekä hakkuun voimakkuus.

Ensiharvennuksen viivästäminen parantaa metsänkasvatuksen kannattavuutta, mutta viivästämiseen liittyy myös riskejä. Ensiharvennuksen viivästäminen parantaa ensiharvennuksen kannattavuutta suuremman käyttöpuukertymän vuoksi eikä hyvin onnistuessaan heikennä kuitenkaan puuston kasvuedellytyksiä (esimerkiksi Hynynen ja Saramäki 1995, Hynynen ja Arola 1999). Toisaalta metsikön ylitiheydellä on monia haitallisia vaikutuksia puuston jatkok kehitykseen. Tiheissä, harventamattomissa metsiköissä latvussuhde pienenee metsikön ikääntyessä (Heikinheimo 1953), kun taas harvennuksilla voidaan hidastaa elävän latvuksen supistumista (mm. Varmola 1982, Salminen ja Varmola 1990, Hynynen ja Saramäki 1995). Tutkimustulosten perusteella 15 vuotta viivästetty ensiharvennus ei altista kasvatettavia puita lumi- tai tuulituhoille sen enempiä kuin suositusajankohtana tehdyt harvennukset (Hynynen ja Arola 1999). Persson (1975) ja Valinger ym. (1994) ovat todenneet tuuli- ja lumituhojen kasvavan tiheissä hoitamattomissa metsissä. Toisaalta taas voimakkaiden harvennusten on todettu lisäävän tuulituhojen määrää muutaman vuoden aikana hakkuun jälkeen (Persson 1975, Laiho 1987).

Harvennushakkuiden korjuujäljen inventointitutkimuksissa kasvatettavan puuston määrä on todettu usein alhaiseksi suosituksiin nähden. Metsäkeskusten harvennushakkuiden korjuujäljen tarkastuksissa vuodelta 2002 ilmeni, että Etelä-Suomen männiköistä lähes puolet oli harkattu harvennusmallien suositusalarajan alle. Kuusikoissa sen sijaan ei ollut yleistä harventaa alle suositusten (Männiköitä harvennetaan... 2003). Pohjois-Savon metsäkeskuksen vuoden

2002 selvityksessä ilmeni, että männiköissä kasvatettavan puuston pohjapinta-ala alittui suositustasosta jopa 86 %:lla ensiharvennuskohteissa (Lappalainen 2003). Metsähallituksen Länsi-Suomen, Itä-Lapin ja Pohjanmaan alueilla oli vuoden 2000 maastoinventointien mukaan kasvatettavan puuston määrä keskimäärin 86 % runkolukutavoitteesta ja 84 % pohjapinta-alatavoitteesta (Mattiila ym. 2002). Suosituksia voimakkaammat ensiharvennukset voivat johtaa tuotostappioihin, jota puuston nopeutuva järeytyminen ei riitä korvaamaan (Vuokila 1981, Hynynen ja Niemistö 2001). Voimakkaan ensiharvennuksen (pohjapinta-ala alle 64 % käsittelemättömän koealan pohjapinta-alaan verrattuna) on Suomessa todettu aiheuttavan männikössä n. 25 %:n tilavuuskasvutappion (Mäkinen ja Isomäki 2004) ja Ruotsissa vastaavasti n. 30–37 %:n tilavuuskasvutappion (Eriksson ja Karlsson 1997, Valinger ym. 2000).

Yleisenä esiintyvä suuntaus erittäin voimakkaista ensiharvennuksista herättää kysymyksen, miten voimakas harvennushakkuu vaikuttaa koko kiertoajan puuntuotokseen ja edelleen metsänkasvatuksen taloudelliseen tulokseen ja voiko ongelman yhtenä ratkaisukeinona olla ensiharvennuksen viivästyminen. Voimakkaat ensiharvennukset johtuvat todennäköisesti suuren hakkuukertymän tavoittelusta, jotta ensiharvennuksesta saataisiin taloudellisesti kannattava toimenpide. Ensiharvennuksen viivästyminen lisää hakkuukertymää ja siis myös taloudellista kannattavuutta harvennushetkellä, vaikkakin hakkuutulojen ajoittuminen siirtyy myöhemmäksi. Ensiharvennuksen ajoitusta ja voimakkuutta on tutkittu aikaisemmin kestokokeiden perusteella, jolloin käytännön syistä tarkasteluajanjakso on ollut rajallinen eikä ole ulottunut kiertoajan loppuun asti.

### *1.4.3 Ulkoinen laatu*

Ulkoisella laadulla tarkoitetaan rungossa havaittavia vikaisuuksia (Kärkkäinen 2003). Yleensä normaali puu määritellään suoraksi ja poikkeamat siitä vikaisuuksiksi. Männyllä on korostettu oksikkuuden merkitystä suurimpana vikaisuuksien aiheuttajana (Kärkkäinen 2003). Tästä johtuen suurin osa alan tutkimuksesta on keskittynyt juuri mäntyjen oksikkuuden arviointiin. Toinen vaikuttava tekijä on ollut se, että oksikkuutta voidaan mitata kvantitatiivisin tunnuksin, kuten paksuimman oksan läpimitta, oksakulma ja oksien määrä kiehkurassa. Toisaalta taas VMI10:n mukaan eniten laatua alentavina tekijöinä metsissä tuhoja aiheuttivat lumi (5,3 % metsämaan pinta-alasta), hirvi (5 %) ja versosurma (2,5 %) (Korhonen ym. 2006). Nämä kaikki tekijät voivat vaikuttaa rungon suoruuteen ja lisätä siten mutkaisten ja haaraisten puiden osuutta metsikössä (Kärkkäinen 2003).

Männikön kasvatuksen yhtenä päätavoitteena pidetään korkealaatuisen tukkipuun tuottamista. Puiden koko, rungon suoruus ja erityisesti rungon oksikkuus ovat kriittisiä sahatavaran laatuun vaikuttavia tekijöitä. Sahatavaran laatuluokitus perustuu oksien määrään, laatuun ja kokoon (Pohjoismainen sahatavara... 1994). Tällöin rungon alaosan (tyvitukki) paksuimman oksan läpimitta kuvaa hyvin sahatavaran laatua. Parhaimman laatuluokan (A) sahatavaran lappeella saa olla enintään 20–45 mm paksuisia terveitä oksia, riippuen sahatavaran leveydestä ja paksuudesta (Pohjoismainen sahatavara... 1994).

Puiden oksikkuuden kehittymistä voidaan säädellä kasvatustiheydellä ja taimikonhoitovaiheen toimenpiteiden avulla. Kellomäen (1984) mukaan puuston tihentyminen vähentää oksien muodostumista, voimistaa oksien kuolemista ja vähentää oksien järeytymistä. Kellomäen ja Tuimalan (1981) mukaan yksittäisten puiden elävän latvuksen oksien poikkileikkauspinta-ala suhteessa rungon vaipan pinta-alaan lähes kolminkertaistui, kun nuoren männikön tiheys aleni 2500 puusta hehtaarilla tiheyteen 1800 puuta hehtaarilla. Kellomäen (1984) mukaan oksikkuus vakiintuu tiheydellä 3000 runkoa hehtaarilla eikä enää juuri pienene sitä suuremmilla metsikön tiheyksillä.

Välillisesti kasvupaikka vaikuttaa puiden ulkoiseen laatuun, koska se vaikuttaa metsikön luontaiseen tiheyteen ja edelleen oksien paksuuteen. Lämsän ym. (1990) mukaan kasvupaikan viljavuuden lisääntyessä puiden oksien paksuus kasvaa eniten latvuston yläosassa. Uusvaaran (1991) mukaan vain kuivahkoilla ja kuivilla kankailla, 20 vuotta vanhassa, istutetussa mäntytaimikossa kolmen paksuimman oksan läpimitta tyvitukin korkeudelta (5 metriä) jää alle 20 mm paksuiseksi. Toisaalta taas Varmolan (1980) mukaan heikoin ulkoinen laatu on usein kuivahkoilla kankailla, koska metsikön tiheys on alhaisempi kuin rehevämmillä kasvupaikoilla.

Metsikön ulkoisen laadun kehittymisen kannalta on suositeltu männyn luontaista uudistamista tai kylvää. Vuokila (1982) suositteli männyn luontaista uudistamista ja mikäli se ei ollut mahdollista niin kylvää, jotta saavutettaisiin laadun kannalta riittävä alkutiheys. Samoin Varmola (1996) on suositellut kylvää ja Agestam ym. (1998) luontaista uudistamista istutuksen sijaan, mikäli tavoitteena on kasvattaa hyvälaatuista tukkipuuta. Lisäksi mäntyä suositellaan kasvatettavaksi vain niukkaravinteisimmilla tuoreilla kankailla ja sitä karummilla kasvupaikoilla (esimerkiksi Turkia ja Kellomäki 1987).

Korkealaatuisen sahapuun kasvattamiseen kuivahkolla kankaalla on suositeltu taimikon korkeaa alkutiheyttä (4000–5000 runkoa hehtaarilla) ja taimikonhoitoa 5 metrin pituusvaiheessa tiheyteen 2000 runkoa hehtaarilla (Kellomäki ym. 1992). Metsikön tiheyden ohella taimikonhoidon ajoituksella on havaittu olevan vaikutusta ulkoiseen laatuun. Tästä syystä taimikonhoito suositellaan tehtäväksi 5–6 metrin valtapituusvaiheessa, jolloin paksuimman oksan läpimitta jää noin 30 mm levyiseksi (Varmola 1982). Fahlvik ym. (2005) mukaan korkeampi tiheys taimikonhoidon jälkeen pienentää oksien läpimitan kasvua, mutta tiheyden vaikutus oksan paksuuden pienenemiseen jää vähäiseksi, mikäli tiheys on yli 3000 runkoa hehtaarilla. Ulvcróna ym. (2007) mukaan taimikonhoidon jälkeisellä tiheydellä on suurempi vaikutus puiden kokoon ja muotoon kuin taimikonhoidon ajoituksella, mutta taimikonhoitoa viivästyttämällä vaikutetaan nimenomaan rungon alaoksien suhteelliseen kokoon.

## 1.5 Nuorten männiköiden kasvututkimuksissa sovelletut menetelmät

### 1.5.1 Aineistot

Metsiköiden tuotos- ja kasvututkimuksissa käytetyt aineistot voidaan jakaa inventointiaineistoihin ja järjestettyihin kokeisiin. Inventointikokeita on perinteisesti käytetty selvittäessä puuston keskimääräistä kasvua, jolloin inventointikoealat edustavat koko alueen puustoa (Kangas ja Päivinen 1994). Inventointiaineisto soveltuu hyvin myös metsänhoidollista tilaa kuvaavien tunnusten selvittämiseen. Ongelmana inventointitutkimuksissa sen sijaan on metsikön historiatietojen selvittämisen vaikeus ja niiden luotettavuus. Siksi inventointiaineistolla on vaikea selvittää eri metsänhoitomenetelmien välisiä eroja ja niiden vaikutusta metsänhoidolliseen tilaan. Puuston kasvun mallintamiseen on inventointiaineistoja käyttänyt mm. Hynynen ym. (2002). Viimeaikaisin laaja Suomessa tehty inventointitutkimus metsänuudistamisen laadusta muutama vuosi uudistamisen jälkeen on Saksan ym. (2005) tutkimus. Metsänhoidollista tilaa on kuvannut esimerkiksi Varmola (1980) selvittäessään nuorten istutusmänniköiden ulkoista laatua inventointiaineiston avulla. Inventointiaineistoilla voidaan rajata tarkastelu kattamaan myös tietty alue tai metsänomistajaryhmä, esimerkiksi Hyppönen ym. (2002) tutkivat männyn luontaisen uudistumisen onnistumista Lapin yksityismetsissä ja Mattila (2001) selvitti koneellisten ensiharvennusten metsänhoidollista tilaa Metsähallituksen mailla.

Järjestettyjen kokeiden menetelmillä saadaan tutkittavana olevien muuttujien välisistä suhteista tarkempaa tietoa. Järjestetyillä kokeilla saadaan vastauksia tiettyihin yksityiskohdaksiin kysymyksiin, esimerkiksi eri metsänhoitomenetelmien välisiin eroihin. Usein järjes-

tetyillä kokeilla voidaan selvittää vain yksi asia kerrallaan, esimerkiksi metsikön tiheysvaihtelun vaikutus metsikön kehitykseen. Järjestetyillä kokeilla voidaan tutkia myös täysin uusia metsänkäsittelemenetelmiä (Vuokila 1986, Kangas ja Päivinen 1994). Järjestettyjen kokeiden suunnittelu, perustaminen, ylläpito ja mittaukset vaativat kuitenkin paljon resursseja (Vuokila 1986). Tulosten saaminen järjestetyistä kokeista voi vaatia vuosikymmenten odotuksen. Koska järjestetyt kokeet on perustettu valikoiduille maantieteellisille alueille ja kasvupaikoille ja metsikön käsittelyssä on noudatettu tiettyjä suunnitteluvaiheissa päätettyjä kriteerejä, on tulosten yleistettävyyden koalueen ulkopuolelle joskus rajoitettava. Järjestetyt kokeet ovat puustoltaan usein keskimääräisiä metsiköitä tasaisempia. Haasteita aiheutuu myös siitä, miten järjestettyjä kokeita voidaan hyödyntää vuosikymmeniä myöhemmin kokeiden perustamisen ja suunnittelun jälkeen, sillä käytännön tavoitteet ja käsittelyt voivat muuttua (Vuokila 1986). Esimerkiksi nykyään suositaan usein sekapuustoisia metsiköitä, mutta 1970–1980-luvuilla vallitsevana käytäntönä oli saada aikaan yhden puulajin metsiköitä. Tuolloin perustettujen järjestettyjen käsittelykokeiden kaikilta koeruuduilta, myös käsittelemättömiltä, on usein poistettu kaikki sekapuusto.

Järjestettyjä kestokokeita on Metsäntutkimuslaitoksessa puuntuotostutkimusta varten perustettu valtaosin 1970-luvulta alkaen, mutta varhaisimmat kestokokeet on perustettu jo 1900-luvun alussa (Vuokila 1986). Kestokokeiden vahvuutena ja mahdollisuutena ovat pitkät seurantaajaksot, osaa kokeista on seurattu jo yli 30 vuoden ajan. Kestokokeita on perustettu selvittämään niin mäntytaimikoiden istutusvälin ja -kuvioinnin kuin taimikoiden perkauksen ja harvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutuksia (ks. Vuokila 1986). Tuloksia näistä ovat julkaisseet mm. (Parviainen 1978, Varmola 1982, Salminen ja Varmola 1990, Salminen ja Varmola 1993, Varmola ja Salminen 2004). Vastaavasti varttuneempiin männiköihin on perustettu harvennustapaa, ajoitusta ja voimakkuutta sekä lannoituksen ja karsimisen vaikutusta selvittäviä kestokokeita (ks. Vuokila 1986), joista tuloksia ovat julkaisseet esimerkiksi Mielikäinen ja Valkonen (1991), Hynynen ja Saramäki (1995), Hynynen ja Arola (1999), Mäkinen ja Isomäki (2004).

### *1.5.2 Kasvumallit*

Metsikön kasvumallitus on usein ainoa mahdollinen käytäntöön soveltuva keino ennustaa tulevaa kehitystä. Kasvumallitusta tarvitaan myös silloin, kun halutaan selvittää eri metsänhoitotoimenpiteketjujen vaikutus metsikön kehitykseen. Inventointiaineistot ja kestokokeet ovat olleet pohjana tutkimuksille, joissa on laadittu kasvumalleja nuorille männiköille.

Empiirinen kasvumalli -käsite viittaa siihen, että malli perustuu maastossa mitattuun tietoon puustosta, mutta kaikkia puuston kasvuun vaikuttavia tekijöitä ei ole pyrittykään mittaamaan (Bruce ja Wensel 1987). Empiirisistä malleista käytetään myös termiä tilastomatemattiset mallit (Vanclay 1994). Empiiriset mallit voidaan jakaa metsikkö- ja puutason malleihin. Lisäksi puutason mallit voidaan jakaa vielä puiden välisestä etäisyydestä riippuviin ja riippumattomiin malleihin (Munro 1974, Clutter ym. 1983).

Empiirisiä kasvumalleja on Suomessa tehty varsin kattavasti varttuneille metsille. Sen sijaan selvästi vähemmän on tehty kasvumalleja nuorille metsille. Ongelmana on metsiköiden nuoruusvaiheen kehityksen monimutkaisuus. Taimikkovaiheessa puuston kehitys on useiden tunnusten suhteen epälineaarista, nuoruusvaiheessa kasvu on kiihtyvää ja puuston varttuessa se hidastuu (Vuokila 1980). Taimikkovaiheessa on myös enemmän kehitykseen vaikuttavia tekijöitä kuin sulkeutuneessa varttuneen metsän kehitysvaiheessa. Lisäksi syynä nuorten metsien mallien vähäisyyteen saattaa olla se, että varttuneiden metsien tuotos- ja tuottoarvot ovat tärkeämpiä, joten on keskitytty enemmän varttuneiden metsien kehityksen ennustamiseen

kuin nuorten, taloudellisesti vähämerkityksisinä pidettyjen metsien. Tästä syystä aikaisemmin laaditut nuorten metsien mallit ovat sovelluskelpoisia vain rajoitetulle alueelle, syntytavalle tai tiettyihin tarkoituksiin.

Suomessa Varmola (1993) on mallittanut metsikkötasolla nuorten viljelymänniköiden kehityksen 10 metrin valtapituuteen tai 40 vuoden ikään asti. Varmolan (1993) mallit nuorille männiköille eivät kata luontaisesti syntyneitä männiköitä, eivätkä edusta laajasti kuivia tai lehtomaisia kankaita. Valkonen (1997) on mallittanut viljelykuusikoiden alkukehityksen puutasolla 0,5–10 metrin valtapituusvaiheessa. Osa malleista on sovellettavissa vain tietyille alueelle: Koistinen ja Valkonen (1993) mallittivat puutasolla nuorten männiköiden ja kuusikoiden kehityksen vapautuksen jälkeen Etelä-Suomessa ja Mielikäinen ja Valkonen (1995) kaksijaksoisten kuusi-koivumetsiköiden kehityksen Etelä-Suomessa. Hyppönen ym. (2005) mallittivat luontaisesti syntyneiden mäntyjen pituuskehitystä Pohjois-Suomessa. Koska kattavat, koko maahan soveltuvat varhaiskehityksen mallit puuttuvat, MELA-malleissakin ennustetaan varhaiskehitys yhtenäisenä ajanjaksona, puun syntymästä 1,3 metrin pituuteen, jonka jälkeen kehitys ennustetaan puutason malleilla (Hynynen ym. 2002).

Ruotsissakaan nuorten metsien kattavia malleja ei ole paljon. Metsikkötasolla Fryk (1984) mallitti nuorten männiköiden kehityksen, Tham (1988) koivu- ja kuusisekametsiköiden kehityksen ja Pettersson (1992, 1993) istutettujen kuusikoiden ja männiköiden alkukehityksen. Puutasolla Nyström ja Kexi (1997) sekä Nyström (2001) ovat mallittaneet nuorten metsien kehitystä 0,5–8 metrin pituusvaiheessa, kun taas Fahlvik ja Nyström (2006) mallittivat keskimäärin 5–15 metrin valtapituusvaiheessa männyn, kuusen ja koivun pituuskasvua ja läpimitan kehitystä Etelä-Ruotsissa.

Taimikon ja nuoren metsän kehityksen kuvaamiseen on Suomessa sovellettu myös prosessipohjaisia malleja, sillä prototyyppivaiheessa oleva taimikkosimulaattori käyttää puutason prosessipohjaisia sekä empiirisiä kasvumalleja (Räsänen ym. 2004). Taimikkosimulaattori on ensimmäisiä sovelluksia, joissa prosessimalleja pyritään hyödyntämään (Räsänen ym. 2004). Prosessimalleissa kuvataan yksittäisten puiden elintoimintoja, rakennetta ja kasvua puiden perustoimintojen, kuten hiili-, ravinne- ja vesitaseiden avulla (Mäkelä ym. 2000a, Johnsen ym. 2001). Taimikkosimulaattorilla voidaan ennustaa vakiintuneen taimikon kehitys ensiharvennukseen asti, mutta taimikkosimulaattorin mallien kattavuudessa on rajoituksia maantieteellisen alueen ja eri kasvupaikkojen suhteen (Räsänen ym. 2004).

## 1.6 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän väitöskirjatutkimuksen tarkoituksena oli tutkia metsikön sijainnin, kasvupaikan, syntytavan ja metsänhoidon vaikutusta metsikön kehitykseen nuorissa männiköissä ja arvioida vaikutuksia aina ensiharvennukseen ja koko kiertoajan loppuun asti. Työssä tutkittiin nuorten tasaisten ja puhtaiden männiköiden kehitystä sekä taimikonhoidon ja ensiharvennuksen vaikutusta metsikön tuotokseen ja tuottoon. Tutkimustulosten perusteella voidaan tehdä käytännön ongelmien ratkaisemiseen johtavia johtopäätöksiä, jotta voidaan kehittää taimikonhoidon ja ensiharvennuksen käytäntöjä.

Männiköiden nuoruusvaiheen kehitys ja metsänhoidollinen tila vaikuttavat ratkaisevasti puista saatavan sahatavaran laatuun. Sahatavaran laatua voidaan arvioida puiden eri vikaisuusien (oksikkuus, mutkaisuus, haaraisuus) avulla. Tässä työssä tutkitaan lähellä ensiharvennusvaihetta olevien männiköiden metsänhoidollista tilaa, puiden vikaisuuksia ja niihin vaikuttaneita tekijöitä (I).

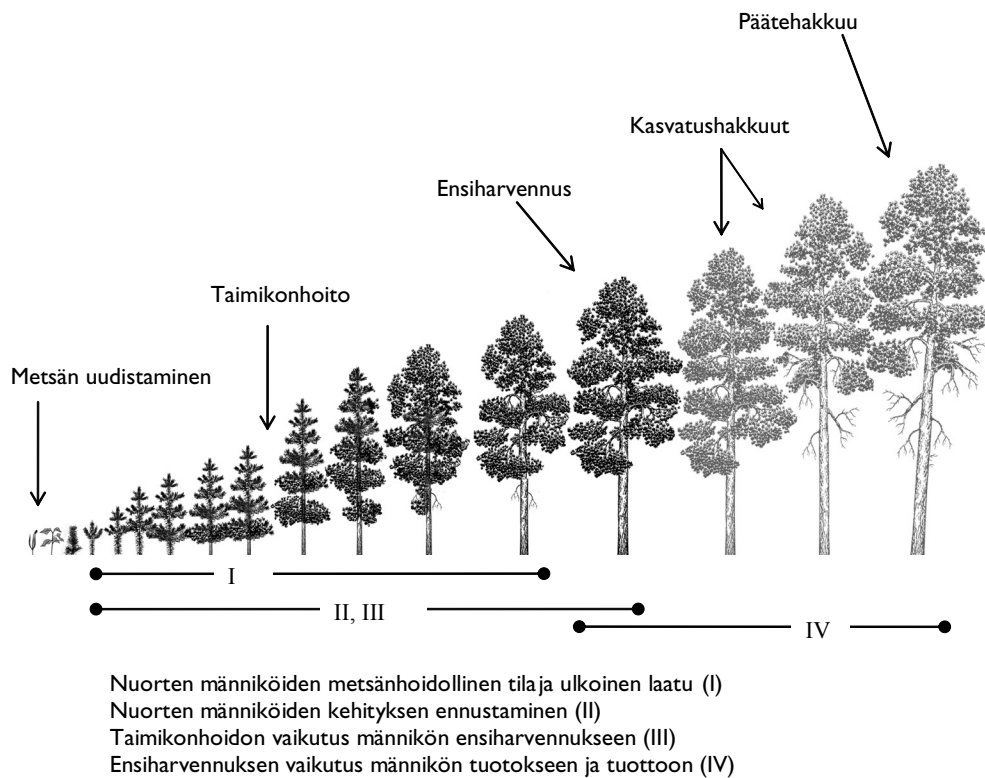
Empiirisiä kasvumalleja on tehty varsin kattavasti varttuneille metsille. Sen sijaan selvästi vähemmän on tehty kasvumalleja nuorille metsille. Aikaisemmissa malleissa ei ole ollut yhtä laajaa kattavuutta syntytapojen ja kasvupaikkojen suhteen (esim. Varmola 1993). Tässä tutkimuksessa laadittiin empiirisiä malleja, joilla pystytään kuvaamaan nuorten männiköiden kehitys rinnankorkeudelta (1,3 m) ensiharvennusvaiheeseen asti (II, III). Laadituilla malleilla voidaan tarkastella metsikön syntyävän (II: luontainen, kylvö ja istutus, II: luontainen, kylvö), kasvupaikan (II: tuore, kuivahko ja kuiva kangas, III: kuivahko kangas) ja sijainnin (II: koko maassa, III: Etelä- ja Keski-Suomessa) sekä taimikonhoidon (III) vaikutusta männikön nuoruusvaiheen kehitykseen. Mallit kuvaavat männikön kehityksen metsikkötason tunnusten avulla.

Aikaisemmat taimikonhoitotutkimukset ovat keskittyneet taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden tarkasteluun. Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen välistä vuorovaikutusta ei ole juuri tutkittu. Aikaisemmat tutkimukset ovat keskittyneet erikseen joko taimikkovaiheeseen tai kasvatusmetsävaiheeseen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden yhteistä vaikutusta metsikön kehitykseen aina ensiharvennusvaiheeseen asti ja ensiharvennuskertymään (III).

Ensiharvennuksen ajoitusta ja voimakkuutta on tutkittu aikaisemmin kestokokeiden perusteella, jolloin tarkasteluajanjakso on ollut usein vain 15–20 vuotta. Tässä tutkimuksessa ensiharvennuksen vaikutusten tarkastelu ulotetaan kiertoajan loppuun malliennusteiden avulla ja lisäksi simuloinneilla vertaillaan saman metsikön vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä (IV).

Tutkimuksen yksityiskohtaiset tavoitteet olivat (Kuva 3):

1. Selvittää nuorten onnistuneesti perustettujen männiköiden metsänhoidollinen tila Suomessa. Metsänhoidollisella tilalla tarkoitetaan tässä metsikön tiheyttä ja ulkoista laatua (I).
2. Laatia koko maan kattavat metsikkötason kasvumallit, joilla voidaan ennustaa tasaikäisten männiköiden kehitys ensiharvennukseseen saakka. Metsikön kehitys kuvataan puiden elossaolon, valta- ja keskipituuden, valta- ja keskiläpimitan, pohjapinta-alan ja tilavuuden avulla (II).
3. Selvittää taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus puuston kehitykseen ja tilaan ensiharvennusvaiheessa. Puuston kehitystä kuvataan keskiläpimitan kehityksen sekä metsikön tilaa ensiharvennusvaiheen ja ensiharvennuskertymän kokonaistilavuuden avulla (III).
4. Tarkastella ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta sekä ensiharvennusvaiheen että koko kiertoajan tuotokseen ja tuottoon (IV).



**Kuva 3.** Tutkimuksen osajulkaisujen kattavuus metsikön kehitysvaiheissa. Mitattu aineisto kuvattu tummanharmaalla ja MOTTI-ohjelmistolla ennustettu metsikön jatkekehitys vaaleanharmaalla. Piirros: Essi Puranen.

## 2 AINEISTOT

### 2.1 Yleistä

Nuorten männiköiden kehitystä tutkittiin kolmella erityyppisellä aineistolla. Nuorten männiköiden tilan ja kehityksen kuvaamiseen ja mallittamiseen Suomessa soveltuu parhaiten laaja, koko maan kattavan vaihtelun sisältävä aineisto (I, II). Tällainen aineisto muodostui Metsän-tutkimuslaitoksen (METLA) talousmetsien taimikoiden inventointikokeista (TINKA) (Kuva 4).

Laaja inventointiaineisto ei anna luotettavaa kuvaa eri menetelmien vertailusta, koska siinä ei tunneta tarkasti metsiköiden historiaa. Tästä syystä taimikonhoidon vaikutusten kuvaamiseksi käytettiin METLAN kestokokeita (Kuva 4). Kestokokeissa oli kontrolloidut ja tarkasti mitatut käsittelyvaihtoehdot ja näin ollen saatiin tietoa nimenomaan käsittelyjen välisistä eroista (III).

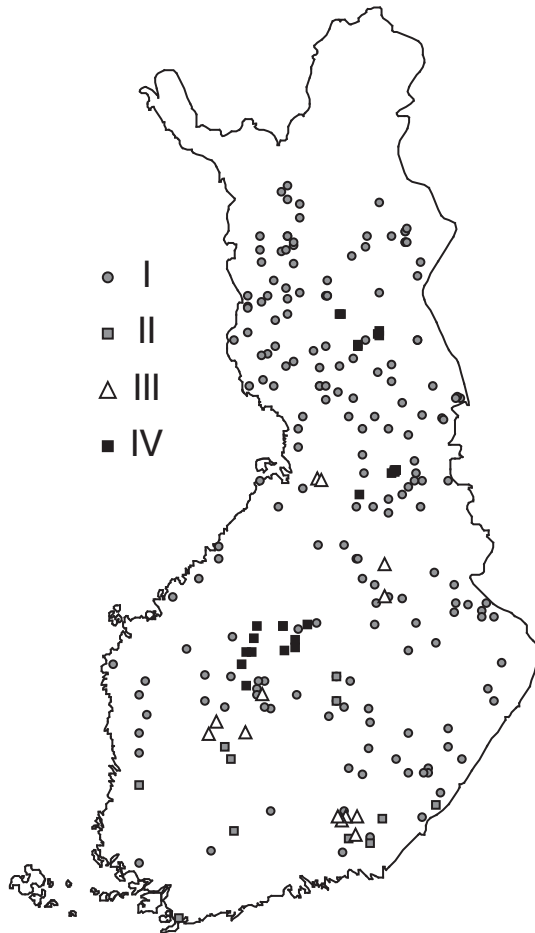
Taimikoiden inventointikokeet olivat nuoria metsiä, joissa aivan muutamissa oli tehty ensiharvennus. Näin ollen ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden tutkimusta varten tarvittiin ensiharvennettuja männiköitä, joista mittausten perusteella tiedettiin myös puuston tilanne ennen ensiharvennusta. Tähän tarkoitukseen käytettiin Metsähallituksen nuorten männiköiden aineistoa (IV) (Kuva 4).

Seuraavaksi kuvataan aineistojen rakenne ja ominaisuudet sekä mittaukset yleisellä tasolla. Taulukossa 2 on kuvattu aineistojen yleispiirteet. Yksityiskohtaisemmat tiedot mittauksista ja laskennasta löytyvät kustakin osajulkaisusta.

### 2.2 Taimikoiden inventointiaineisto

METLAN taimikoiden inventointiaineisto on koko maan talousmetsäalueen käsittävä aineisto. TINKA-kokeet on perustettu vuosina 1984–1986 ja mitattu sen jälkeen 2 kertaa, vuosina 1989–1991 ja 2000–2001. Koemetsiköt valittiin Valtakunnan metsien 7. inventoinnin (VMI7) havupuuvaltaisesta aineistosta ositetulla otannalla puulajin, syntyvän ja kasvupaikan mukaan (Gustavsen ym. 1988). Kehityskelvottomia taimikoita, eli selvästi uudelleen uudistettavia ei hyväksytty mukaan otantaan (Gustavsen ym. 1988). Otanta keskittyi alle 5-metrisiin taimikoihin (Gustavsen ym. 1988). TINKA-aineisto sisälsi alun perin sekä männiköitä että kuusikoita, yhteensä 271 metsikköä, mutta tähän tutkimukseen valittiin mukaan vain männiköt.

Kokeen perustamisen yhteydessä kuhunkin metsikköön rajattiin 3 koealaa (Gustavsen ym. 1988). Ensimmäinen koeala oli VMI:n koealan keskipisteessä. Koealat sijoitettiin systemaattisesti 40 metrin päähän toisistaan sellaisiin ilmansuuntiin, että koealat sopivat metsikön sisäpuolelle. Koealat olivat ns. piilokoealoja, joten kokeen olemassaolo ei ole vaikuttanut metsikön käsittelyyn. Koealan koko vaihteli metsikön tiheyden mukaan siten, että metsiköstä mitattiin yhteensä n. 100 kehityskelpoiseksi määriteltyä puuta. Kehityskelpoisia olivat puut, joiden ajateltiin jäävän kasvamaan ensiharvennukseen asti, siis mahdollisen taimikonhoidonkin jälkeen. Kehityskelpoisuuden kriteeri vaihteli uudistamismenetelmän ja taimikonhoidon mukaan. Hoidetuissa taimikoissa kaikki yli 10 cm pitkät havupuun taimet laskettiin kehityskelpoisiksi. Lehtipuiden taimet laskettiin kehityskelpoisiksi, mikäli ne olivat lyhyempiä kuin havupuun taimet. Kylvetyissä ja luontaisesti syntyneissä sekä hoitamattomissa metsiköissä noin 30 elinvoimaisinta havupuun tainta kultakin koealalta valittiin kehityskelpoisiksi taimiksi metsikön tavoitetiheyden ollessa 3000 puuta hehtaarilla.



**Kuva 4.** Aineistojen sijainti osajulkaisuittain. Osajulkaisun II aineisto sisältää osajulkaisun I aineiston ja lisäksi 11 metsikköä.

**Taulukko 2.** Osajulkaisujen aineistojen laajuus ja jakautuminen kasvupaikoittain ja syntytaivoittain.

Osajulkaisu	Koejärjestely	Metsiköitä/ koealoja	Kasvupaikat, % metsiköistä	Syntytaipa, % metsiköistä
I	inventointikoe, ympyräkoealat	181 metsikköä	tuore kangas (39 %) kuivahko kangas (47 %) kuiva kangas (14 %)	luontainen (40 %) kylvö (18 %) istutus (42 %)
II	inventointikoe, ympyräkoealat	I aineisto + 11 = 192 metsikköä	tuore kangas (38 %) kuivahko kangas (48 %) kuiva kangas (14 %)	luontainen (41 %) kylvö (18 %) istutus (41 %)
III	kestokoe, koeruudut	13 metsikköä 169 koealaa	kuivahko kangas (100 %)	luontainen (23 %) kylvö (77 %)
IV	kertakoe, kaistaleinventointi	27 metsikköä	kuivahko kangas (100 %)	luontainen (48 %) kylvö (30 %) istutus (22 %)

Ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla kaikista kehityskelpoisista puista mitattiin sijainti, pituus ja läpimitat rinnankorkeudelta ( $d_{1,3}$ ), kannon korkeudelta ( $d_{0,1}$ ) ja 30 %:n suhteelliselta korkeudelta ( $d_{0,3h}$ ) (Gustavsen ym. 1988). Rinnankorkeusikä määritettiin kolmen puun keskiarvona ja kokonaisikä yhden puun perusteella koealoittain. Iän määrittäminen perustui joko kairaukseen tai kasvukiehkuroiden laskentaan. Lisäksi jokaisesta metsiköstä määritettiin metsikön historia (syntytaapa, käsittelyt ja niiden ajankohta) ja yleiset kasvupaikkaa kuvaavat tunnuksot. Kolmannella mittauskerralla kaikista kehityskelpoisista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta.

Kunkin koealan sisältä mitattiin 1/3:n kokoinen pienempi ympyräkoeala, jonka kaikki puut olivat koepuita, joten koepuita oli n. 30 puuta metsikköä kohti. Koepuista mitattiin sijainnin ja rinnankorkeusläpimitan lisäksi pituus, yläläpimitta 6 metrin korkeudelta ( $d_{6,0}$ ) ja elävän latvuksen alarajan korkeus. Puiden ulkoinen laatu ja tuhot luokiteltiin silmämääräisen arvion perusteella.

TINKA-aineiston kaikkia kolmea mittauskertaa käytettiin osajulkaisussa II, jolloin aineistona oli yhteensä 192 metsikköä. Osa alun perin mukana olleista metsiköistä oli tuhoutunut tai metsikön käyttötaapa muuttunut 15 vuoden mittausjakson aikana. Tähän tutkimukseen valittiin mukaan vain metsiköt, joista on kaikki 3 mittausa saatavilla. Osajulkaisussa I käytettiin vain kolmannen mittauskerran aineistoa ja lisäksi aineisto rajattiin käsittämään metsiköt, joissa ei ollut vielä tehty ensiharvennusta. Näin ollen aineistona I osajulkaisussa oli 181 metsikköä. TINKA-aineiston ensimmäistä ja toista mittausa on ennen tätä tutkimusta käytetty pohjapinta-alan, puiden pituuskasvun sekä valtapuiden kehityksen mallituksessa (Hynynen ym. 2002).

TINKA-aineiston metsikkö- ja koealatunnuksot laskettiin METLAn koepuiden laskentaohjelmistolla (KPL) (Heinonen 1994). Koealamittauksot yhdistettiin yhdeksi metsikköksi (I, II). Tarvittaessa lukupuiden pituus ennustettiin koepuiden pituuksien perusteella Näslundin pituusmallilla (Näslund 1936). Valtapituus laskettiin 100 paksuimman puun keskipituutena. Keskipituus ja keskiläpimitta laskettiin aritmeettisena keskiarvona. Metsikön ikä laskettiin mittausten keskiarvona metsikköittäin. Runkotilavuus koepuille ennustettiin simultaanilyhtälöillä, jotka perustuivat mitattuihin läpimittoihin ja puun pituuteen (Laasasenahto 1982). Lukupuiden tilavuus ennustettiin tasoitusfunktioilla. Vuotuinen keskimääräinen lämpösumma laskettiin interpoloimalla säähavaintoasemien mittaustietojen perusteella arvot jokaiselle metsikkölle (Ojansuu ja Henttonen 1983). Lämpösumman laskennassa käytettiin hyväksi tietoa kunkin metsikön leveyspiiristä, pituuspiiristä ja meren pinnan yläpuolisesta korkeudesta. Metsikkötason latvussuhde laskettiin TINKA-aineistossa vain männyistä (I).

TINKA-aineisto edustaa hyvin suomalaisten onnistuneesti perustettujen männiköiden kasvupaikan ja maantieteellisen sijainnin vaihtelua. Myös 15 vuoden mittausjakso taimikkovaiheen kuvauksessa on pitkä aikajakso. Aineiston vastaavuus nykypäivän nuoriin taimikoihin on kuitenkin rajallinen, sillä nykyään suositaan enemmän sekapuustoa, ja TINKA-aineiston männiköt ovat hyvin mäntyvaltaisia. Mielenkiintoinen kysymys hoitamattomuuden vaikutuksista jääkin TINKA-aineistolla selvittämättä, sillä suurimmassa osassa metsiköitä oli taimikonhoito tehty, ja vaikka sitä ei olisi dokumentoitu mittaauksissa, viittaa alhainen kehityskelpoisten puiden runkoluku ajan vallitsevaan käytäntöön hyvin varhaisesta taimikonhoidosta.

### 2.3 Taimikoiden kestokoeaineisto

Osajulkaisussa III tutkittiin taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutuksia yhteensä 13 METLAn kestokokeella Etelä- ja Keski-Suomessa. Kokeet oli perustettu 1970- ja 1980-luvuilla ja ne oli mitattu kolmesta viiteen kertaan. Kaikki kokeet olivat tasaikäisiä ja hyvin mäntyvaltaisia männiköitä kuivahkolla kankaalla. Taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus vaihtelivat kokeittain. Osa kokeista oli alun perin suunniteltu taimikoiden lannoituskokeiksi, mutta osajulkaisussa III käytettiin vain lannoittamattomia koealoja. Lisäksi aineisto rajattiin kokeisiin, joissa ensiharvennus oli jo tehty.

Koealoja kokeilla oli yhteensä 694. Koealat olivat suorakaiteen muotoisia. Ensimmäisissä mittauksissa, jossa puuston alkutiheys oli hyvin suuri, osalla kokeista mitattiin vain neljä ympyräkoelaa varsinaisen koealan sisältä. Myöhemmissä mittauksissa kaikki puut koealalta mitattiin. Koealan koko oli keskimäärin 997 m<sup>2</sup> ja vaihteli 136–3750 m<sup>2</sup> välillä. Koealojen määrä kokeittain vaihteli 4 ja 22 välillä. Suurimmalla osalla kokeista käsittelyjä oli toistettu vähintään kaksi kertaa. Taimikonhoidon ajoitus vaihteli 2 metrin ja 8 metrin valtapituusvaiheen välillä ja tiheys oli taimikonhoidon jälkeen 500–3000 puuta hehtaarilla. Ensiharvennus oli tehty 12–20 metrin valtapituusvaiheessa, ja runkoluku oli ensiharvennuksen jälkeen 400–4300 puuta hehtaarilla. Osalla kokeista oli myös käsittelemättömiä nollaruutuja. Kokeiden perustamisen aikaan oli tavallista poistaa kaikki lehtipuut taimikosta, joten myös nollaruuduista lehtipuut oli poistettu. Ensiharvennuksessa syntyneet ajourat sijoitettiin koealojen ulkopuolelle.

Suurimmalla osalla kokeista oli mitattu kaikkien puiden rinnankorkeuskeskiläpimitta, mutta muutaman kokeen ensimmäisellä mittauskerralla puut oli mitattu vain puulajeittain ja läpimittaluokittain. Koepuista mitattiin pituus ja myöhemmillä mittauskerroilla kuuden metrin yläläpimitta ja latvuksen alarajan korkeus. Kokeet oli mitattu aina ennen käsittelyä ja käsittelyn jälkeen saman kasvukauden aikana. Taimikoiden kestokokeilta tuloksia taimikonhoidon vaikutuksista ovat aikaisemmin julkaisseet Varmola (1982), Salminen ja Varmola (1990) sekä Varmola ja Salminen (2004). Kestokokeiden lannoituskokeista tuloksia ovat esittäneet Eerola (1983), Nikkola (1985) ja Lampola (1991).

Kestokoeaineiston metsikkö- ja koealatunnukset laskettiin METLAn koepuiden laskentaohjelmistolla (KPL) (Heinonen 1994). Kestokoeaineiston laskenta toteutettiin koealoittain (III). Tarvittaessa lukupuiden pituus ennustettiin koepuiden pituuksien perusteella Näslundin pituusmallilla (Näslund 1936). Valtapituus laskettiin 100 paksuimman puun keskipituutena. Keskipituus ja keskiläpimitta laskettiin aritmeettisena keskiarvona. Runkotilavuus koepuille ennustettiin simultaaniyhtälöillä, jotka perustuivat mitattuihin läpimittoihin ja puun pituuteen (Laasasenaho 1982). Lukupuiden tilavuus ennustettiin tasoitusfunktioilla. Ainespuun tilavuudet ennustettiin puutavaralajeittain yleisiä mittavaatimuksia noudattaen. Vuotuinen keskimääräinen lämpösumma laskettiin interpoloiden säähavaintoasemien mittaustietojen perusteella arvot jokaiselle metsikölle (Ojansuu ja Henttonen 1983). Lämpösumman laskennassa käytettiin hyväksi tietoa kunkin metsikön leveyspiiristä, pituuspiiristä ja meren pinnan yläpuolisesta korkeudesta.

Vaikka kestokokeiden koeasetelmat vaihtelivat kokeittain, muodostivat ne hyvin laajan käsittelyvaihtelun sisältävän aineiston. Rajoituksia aineisto sen sijaan asettaa maantieteellisen alueen, sekapuustoisuuden ja kasvupaikkojen vaikutuksista tehtäville päätelmille. Aineisto kattaa vain Etelä- ja Keski-Suomen mäntytaimikot, joista pohjoisimmat kokeet olivat Muhoksella. Kokeet olivat hyvin puhtaita männiköitä, joista lehtipuut oli poistettu vallitsevan käytännön mukaisesti jo kokeen perustamisen yhteydessä. Lisäksi kaikki kokeet olivat kuivahkolla kankaalla.

## 2.4 Ensiharvennusten inventointiaineisto

Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden tutkimuksessa (IV) käytettiin aineistona Metsähallituksen mailla vuosina 1999–2000 koneellisesti hakattuja kuivahkon kankaan ensiharvennusmänniköitä, joita oli yhteensä 27. Metsiköt sijaitsivat kolmella osa-alueella: Keski-Suomessa Karstulan ja Viitasaaren alueilla, Pohjois-Pohjanmaalla Puolangalla sekä Itä-Lapissa Kemijärven ja Sallan alueella. Kuviot mitattiin kesällä 2000 kaistaleinventoinnilla. Kolme metriä leveiden kaistaleiden määrä ja etäisyys toisistaan riippuivat kuvion koosta ja muodosta. Kaistaleiden pituus vaihteli 250 metrin ja 450 metrin välillä. Kaistaleelta mitattiin puulajeittain jokaisen elävän puun rinnankorkeusläpimitta ja kannoista kantoläpimitta. Koeputiksi valittiin 20 erikokoista puuta metsikköä kohti, joista mitattiin pituus, rinnankorkeusläpimitta ja kantoläpimitta. Näiden koepuiden avulla ennustettiin jokaiselle kaadetulle puulle rinnankorkeusläpimitta ja pituus Näslundin (1936) yhtälöillä ennen hakkuuta. Metsiköiden valtapituus oli keskimäärin 13 metriä ja tiheys vaihteli 781–2146 puuta hehtaarilla ennen ensiharvennusta. Keski-Suomen metsiköt olivat tiheämpiä kuin Pohjois-Pohjanmaan tai Itä-Lapin metsiköt.

Aineisto oli kerätty alun perin selvittämään koneellisten ensiharvennusten metsänhoidollista tilaa (36 metsikköä). Tuloksia ensiharvennusaineistosta ovat julkaisseet aikaisemmin Mattila (2001), Mattila ym. (2002) sekä Huuskonen ym. (2004). Tämän tutkimuksen aineisto rajattiin kattamaan vain kuivahkojen kankaiden metsiköt sekä metsiköt, joissa runkoluku tai pohjapinta-ala ennen ensiharvennusta oli suurempi kuin vastaava suositus ensiharvennuksen jälkeen. Aineiston metsiköt sijaitsevat Metsähallituksen mailla ja ovat hoidettuja nuoria metsiä, joten niiden tarpeelliset taimikonhoitotoimenpiteet oli tehty.

### 3 MENETELMÄT

#### 3.1 Nuorten metsien kehityksen mallitus

##### 3.1.1 Metsikkötason kasvumallit

Metsikkötason kasvumallit nuorille tasaikäisille männiköille laadittiin sekamalleina (II). Malleilla voidaan ennustaa metsikön kehitys ensiharvennukseen asti (valtapituus 10–15 metriä tai metsikön ikä 30–40 vuotta, riippuen kasvupaikasta ja metsikön sijainnista). Mallit ja niiden laadinta on kuvattu yksityiskohtaisesti osajulkaisussa II. Sekamalli sisältää sekä kiinteitä että satunnaisvaikutusten parametreja. Yleinen lineaarinen sekamalli voidaan esittää seuraavassa muodossa (mm. Littell ym. 1996, Snijders ja Bosker 1999, McCulloch ja Searle 2001):

$$y = Xb + Zu + e, \quad (1)$$

missä  $y$  on selitettävän satunnaismuuttujan vektori,  $X$  kiinteiden parametrien selittäjien matriisi,  $Z$  satunnaisten parametrien selittäjien matriisi,  $b$  kiinteiden parametrien vektori,  $u$  satunnaisten parametrien vektori sekä  $e$  satunnaisen virhetermin vektori. Mallien laadinnassa käytettiin TINKA-aineiston kolmea mittauskertaa, joten saman metsikön eri mittauskerrat olivat korreloituneita. Tästä syystä satunnaistekijänä käytettiin metsikköä. Koska samasta metsiköstä oli vain kolme mittausta ja kolmen mittauskerran väliset ajanjaksot (5 ja 10 vuotta) olivat melko pitkät, ei metsiköiden sisäistä havaintojen välistä autokorrelaatiota ole otettu huomioon (vrt. Hall ja Bailey 2001).

Tässä työssä laadittiin lineaariset sekamallit pohjapinta-alalle ja tilavuudelle sekä valta- ja keskipituuden sekä valta- ja keskiläpimitan erotukselle. Selittävien muuttujien yhteisvaikutus selitettävään muuttujaan oli tulomuotoinen. Mallit linearisoitiin logaritmuunnoksella. Selittävinä tunnuksina käytettiin metsikköä ja kasvupaikkaa kuvaavia muuttujia.

Sekamalli voi olla myös epälineaarinen. Aidosti epälinearisessa mallissa on vähintään yksi parametri, jota ei voida kirjoittaa jonkin selittävän muuttujan kertoimeksi, eikä sitä voi linearisoida (Kangas 2001). Epälineaarista mallia laadittaessa mallin muoto joudutaan valitsemaan ennakkolta. Tässä työssä laadittiin epälineaariset sekamallit runkoluvun kehitykselle sekä valtapituuden ja valtaläpimitan kehitykselle.

Metsikön runkoluvun muutos mallitettiin iän funktiona seuraavasti (esimerkiksi Eerikäinen 2002):

$$N_2 = N_1 \left\{ (T_1 + \lambda) / (T_2 + \lambda) \right\}^\alpha + e, \quad (2)$$

missä  $N_2$  on runkoluku jakson lopussa ja  $N_1$  jakson alussa,  $T_1$  ja  $T_2$  ovat metsikön ikä jakson alussa ja lopussa.  $\alpha$  on parametri, jonka oletetaan riippuvan lineaarisesti metsikön tilaa kuvaavista tunnuksista (kasvupaikka, käsittelyt) ja joka sisältää myös metsiköiden välisen vaihtelun kuvaavan satunnaisen metsikkötekijän.  $e$  on satunnainen virhetermi. Kiinteä parametri  $\lambda$  parantaa mallin tilastollista selityskykyä. Aineistossa jakson pituus oli keskimäärin 8 vuotta, vaihteluväli 5–13 vuotta.

Chapman-Richardsin kasvumallin oletettiin kuvaavan sekä valtapituuden kehitystä (Fang ym. 2001, Hall ja Clutter 2004):

$$H_{dom} = \beta_1 \left\{ (1 - \exp(-\beta_2 T)) / (1 - \exp(-\beta_2 T_{ref})) \right\}^{\beta_3} + e \quad (3)$$

että valtaläpimitan kehitystä (Hall ja Bailey 2001):

$$D_{dom} = \beta_1 \left\{ 1 - \exp(\beta_2 (H_{dom} - 1,3)) \right\}^{\beta_3} + e, \quad (4)$$

missä  $H_{dom}$  on valtapituus (m),  $D_{dom}$  valtaläpimitta (cm),  $T$  metsikön ikä (vuosia),  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ja  $\beta_3$  asympotoottia, kasvunopeutta ja kasvukäyrän muotoa kuvaavia parametreja ja  $T_{ref}$  annettu referenssi-ikä (30 vuotta). Siten valtapituusmallissa  $\beta_1$  on metsikön valtapituus kun  $T = T_{ref}$ .  $\beta$ -parametrit ovat sekamalliparametreja, joiden oletetaan riippuvan lineaarisesti metsikköä ja kasvupaikkaa kuvaavista tunnuksista ja jotka sisältävät metsiköiden välisen vaihtelun kuvaavan satunnaisen metsikkötekijän.

Malleja laadittaessa testattiin useiden metsikköä ja kasvupaikkaa kuvaavien muuttujien ja niiden muunnoksien merkitsevyyttä. Muuttuja valittiin malliin, mikäli sille estimoitu parametri oli looginen, eikä mallin virhetermeissä havaittu systemaattista virhettä. Estimoitujen parametrien tuli olla tilastollisesti merkitseviä 5 %:n merkitsevyystasolla ( $p \leq 0,05$ ). Koska metsikön valtapituus, ikä ja pohjapinta-ala ovat vahvasti korreloituneita, mallien loogista käyttäytymistä testattiin myös simulointien avulla. Mallien laadinta-aineistoon kuului vain nuoria männiköitä, joten mallien looginen toimivuus varmistettiin myös mallien laadinta-aineiston ulkopuolella varttuneissa kasvatusmetsissä (ekstrapolointi).

### 3.1.2 Taimikonhoidon vaikutusta kuvaavat mallit

Taimikonhoidon vaikutusta metsikön tilaan ensiharvennussivaiheessa tutkittiin keskiläpimitan kehityksen, metsikön tilavuuden sekä ensiharvennuskertymän perusteella (III). Aikaisempien tutkimusten perusteella on todettu, että koko kiertoajan kuluessa harvennukset vähentävät metsikön kokonaistuotosta, mutta lisääntynyt kasvutila johtaa yksittäisten puiden läpimitan ja tilavuuden kasvuun (Assman 1970, Vuokila 1981). Sen sijaan puiden pituuskasvuun harvennukset eivät juuri vaikuta (Parviainen 1978, Salminen ja Varmola 1990, Pettersson 1993, Valinger ym. 2000, Mäkinen ja Isomäki 2004). Tästä syystä tutkimuksessa keskityttiin metsikön keskiläpimitan ja tilavuuden tarkasteluun. Tilavuustarkastelu ositettiin metsikön tilavuuteen ennen ensiharvennusta sekä ensiharvennuskertymään.

Metsikön keskiläpimitan kehitys mallitettiin läpimitta-pituusmallilla, joka ottaa huomioon myös metsikön tiheyden vaikutuksen:

$$D = \exp(a_0 + a_4 S) \times N_{ini}^{a_1} \times H_{dom}^{a_2} \times N^{a_3} \times e, \quad (5)$$

missä  $D$  on aritmeettinen keskiläpimitta kuoren päältä 1,3 metrin korkeudelta (rinnankorkeusläpimitta, cm) ja  $H_{dom}$  valtapituus (m). Mallituksessa käytettiin selitettävänä muuttujana metsikön aritmeettista keskiläpimittaa, joka on runkoluvulla painotettu keskiläpimitta, sillä se kuvaa hyvin metsikön tilaa taimikkovaiheessa. Metsikön valtapituutta käytettiin selittäjänä, koska se kuvastaa kasvupaikan ja metsikön iän vaikutusta. Lisäksi malliin otettiin mukaan metsikön runkoluku ennen taimikonhoitoa ( $N_{ini}$ ), runkoluku tarkasteluhetkellä ( $N$ ) sekä syntytapa kylvö ( $S$ ) dummy-muuttujana (perustaso on luontainen uudistaminen, sillä aineisto ei sisältänyt istutettuja metsiköitä).  $a_0$ – $a_4$  ovat mallin kiinteitä parametreja ja  $e$  on satunnainen virhetermi. Malli linearisoitiin logaritimuunnoksella ja estimoituihin lineaarisena sekamallina. Malli laadittiin sekamallina pitkittäisaineiston vuoksi (useita mittauksia samasta kokeesta). Satunnaistekijänä käytettiin metsikköä.

Metsikön keskiläpimitta missä tahansa valtapituusvaiheessa voidaan kuvata alkuperäisen keskiläpimitan ja sen kasvun avulla. Taimikonhoito kiihdyttää metsikön keskiläpimitan kas-



(*DD*) ja syntytapa (*S*) selittävät ensiharvennuskertymää ( $V_p$ ) ja  $e$  on satunnainen virhetermi, joka jaettiin metsikkö- ja satunnaisosaan.  $a_p$ ,  $i = 0...5$ , ovat mallin kiinteitä parametreja. Koska poistettavien puiden valinta (ala- tai yläharvennus) vaikuttaa kertymään, mallissa käytettiin lisäksi selittäjänä metsikön keskiläpimittojen suhdetta ennen ja jälkeen harvennuksen. Lisäksi ensiharvennuskertymän mallituksessa huomioitiin taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus.

### 3.2 Metsikön kehityksen simulointi

Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta metsikön tuotokseen ja tuottoon tutkittiin simuloimalla metsiköiden kehitys ensiharvennusta edeltävästä hetkestä aina päätehakkuuseen asti (IV). Metsiköiden kehitys ennustettiin MOTTI-ohjelmistolla (esimerkiksi Hynynen ym. 2002, Salminen ym. 2005). Simulointien lähtöpuustoina käytettiin tilannetta ennen harvennusta, joka saatiin määritettyä jäävistä puista ja hakkuukannoista tehdyistä mittauksista. Tutkimuksessa ei otettu huomioon ennen ensiharvennusvaihetta tapahtunutta luonnonpoistumaa tai taimikonhoidossa poistettuja pienpuita.

MOTTI-ohjelmiston avulla voidaan ennustaa vaihtoehtoisten metsänkäsittelymenetelmien vaikutus niin puun tuotokseen kuin taloudelliseen tuottoon. Tässä tutkimuksessa metsiköille ennustettiin viisi erilaista kehityssennustetta:

- VE1 Toteutunut ensiharvennus, joka perustui koneellisiin ensiharvennuksiin.
- VE2 Ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen pohjapinta-alasuositusta.
- VE3 Ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen runkolukusuositusta.
- VE4 10 vuotta viivästetty ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen pohjapinta-alasuositusta.
- VE5 10 vuotta viivästetty ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen runkolukusuositusta.

Ennustevaihtoehto 1 perustui todelliseen ensiharvennukseen, kun taas vaihtoehtoissa 2–5 ensiharvennuksen ajankohtaa ja ensiharvennuskriteeriä vaihdeltiin. Ensiharvennuksen käsittelyvaihtoehdot noudattivat Metsähallituksen ohjeita ja suosituksia. Toteutuneet ensiharvennukset (VE1) oli käytännössä tehty osassa metsiköistä suosituksia aikaisemmin. Ensiharvennuksen jälkeisissä harvennuksissa käytettiin aina pohjapinta-alaa harvennuskriteerinä. Ennusteissa harvennukset tehtiin heti, kun harvennusraja ylittyi. Päätehakkuun ajankohta määritettiin metsikön keskiläpimitan perusteella, joka oli Etelä-Suomessa 27 cm ja Pohjois-Suomessa 26 cm. Päätehakkuukriteerit perustuivat Metsähallituksen metsänhoito-ohjeisiin (Hokajärvi 1997), mutta ne vastasivat nykyisiä suosituksia edeltäneitä metsänhoidon suosituksia (Hyvän metsänhoidon suositukset 2001). Harvennusta ei kuitenkaan tehty, mikäli aika harvennuksen ja päätehakkuun välillä oli alle 10 vuotta.

Taloudelliset kannattavuuslaskelmat perustuivat tehtyihin metsikön kehityksen ennusteisiin. Kuitu- ja tukkipuukertymät hakkuissa muutettiin rahamääräisiksi kantohinnoilla. Kantorahatulon laskennassa käytettiin reaalisia kantohintoja, jolloin nimelliset kantohinnat koko maan keskiarvoista vuodelta 2003 (Metsätalastollinen Vuosikirja 2003) deflatoitiin tukkuhintaindeksillä (Suomen Tilastollinen Vuosikirja 2003). Laskelmat tehtiin yksityisen metsänomistajan näkökulmasta kantohinnoilla, joten korjuukustannuksia ei ole otettu huomioon. Laskelmissa ensiharvennukselle ja koko loppukiertoajalle (ensiharvennuksesta päätehakkuuseen) määritettiin erikseen nykyarvot. Näin voitiin verrata eri ensiharvennusvaihtoehtoja erikseen ensiharvennusvaiheessa ja koko loppukiertoaikana. Lisäksi hintaherkkyysanalyysil-

lä tutkittiin suhdanteiden mahdollista vaikutusta kannattavuuteen ja edelleen vaihtoehtoisten ensiharvennustapojen paremmuusjärjestykseen. Hintaherkkyysanalyysissä perusvuotena oli vuosi 2003, ja hintavaihtelut tukki- ja kuitupuun osalta tarkasteltiin vuosien 1995–2003 väliseltä ajalta.

Metsikön kehityksen ennusteet ja niiden luotettavuus ovat riippuvaisia käytettävistä kasvumalleista. Osajulkaisun IV laskennat on tehty syksyllä 2004 ja silloin tutkijoiden käytössä olleella MOTTI-ohjelmiston versiolla. Tämän jälkeen MOTTI-ohjelmisto on kehittynyt paljon ja siihen on tehty uusia malleja. Osajulkaisuun IV tehtiin erillinen kasvuennusteiden luotettavuuden arviointi riippumattomalla kestokoeaineistolla. Luotettavuustarkastelun perusteella voitiin todeta, että pohjapinta-alan kehityksessä ei havaittu suuria eroja eikä systemaattista virhettä. Keskiläpimitan kehitys oli lievä aliarvio. MOTTI-ohjelmiston ennusteet yliarvioivat pitkällä ajanjaksolla (25 v.) luonnonpoistuman määrää, mutta 15 vuoden tarkasteluajanjaksolla ennustettu luonnonpoistuma vastasi hyvin todellisuudessa mitattua. Lisäksi MOTTI-ohjelmisto aliarvioi valtapituuden ja tilavuuden kehitystä, mutta koska tutkimuksessa vertailtiin eri käsittelyvaihtoehtoja yhdessä metsikössä kerrallaan, lienee harha samaa suuruusluokkaa eri vaihtoehtoissa.

Osajulkaisussa II laadittujen kasvumallien testauksessa käytettiin myös MOTTI-simulaattoria, jotta voitiin vertailla MOTTI-mallien ja metsikkötason kasvumallien vastaavuutta. Lisäksi metsikkötason kasvumalleja verrattiin aikaisemmin julkaistuihin malleihin (mm. Varmola 1993). Mallien vertailut ja MOTTI-simuloinnit tehtiin helmikuussa 2006, vuoden 2005 MOTTI versiolla 1.0.

Yhteenvedossa vertaillaan lisäksi keskiläpimitan ja tilavuuden mallien (II, III) ennusteita sekä MOTTI-ohjelmiston vastaavia ennusteita sekä vuoden 2005 että uusimmalla vuoden 2007 versioilla 2.0 (MOTTI 1.0 ja MOTTI 2.0).

## 4 TULOKSET

### 4.1 Nuorten männiköiden metsänhoidollinen tila

Nuorten männiköiden metsänhoidollista tilaa kuvattiin metsikön tiheyden, latvussuhteen ja ulkoisen laadun perusteella (I). Ulkoinen laatu perustui silmämääräiseen arviointiin ja tarkoittaa tässä tutkimuksessa puiden vikaisuuksia, kuten oksikuus, mutkaisuus, haaraisuus tai näiden yhdistelmänä monivikaisuus.

TINKA-aineiston nuorissa männiköissä ei ollut ylitheyttä, vaan pikemminkin metsiköt olivat harvoja. Keskimäärin metsiköiden tiheys oli 1925 kasvatuskelpoista puuta hehtaarilla. Metsiköissä, joissa ei ollut vielä tehty ensiharvennusta, 37 %:ssa tiheys jäi alle 1500 puuta hehtaarilla ja 12 %:ssa metsiköistä tiheys oli alle 1000 kasvatuskelpoista puuta hehtaarilla. Lämpösumma vaikutti metsikön tiheyteen. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa (pieni lämpösumma) lähellä ensiharvennusvaihetta (9–12 metrin valtapituusvaiheessa) metsikön runkoluku oli keskimäärin vain 1256 puuta hehtaarilla kun Etelä-Suomessa samassa valtapituusluokassa metsikön tiheys oli keskimäärin 2153 puuta hehtaarilla.

Kohtalaisen alhainen tiheys vaikutti myös siihen, että metsikössä latvussuhde oli melko suuri: elävän latvuksen osuus oli keskimäärin 69 % puun pituudesta. Metsikön valtapituus, keskiläpimitta ja lämpösumma vaikuttivat latvussuhteeseen. Latvussuhde pieneni metsikön valtapituuden kasvaessa ja tietyssä pituusvaiheessa latvussuhde oli suurin isoimmista läpimittaluokissa (Kuva 6). Elävän latvuksen osuus oli suurempi Pohjois-Suomessa (pieni lämpösumma) kuin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa ero latvussuhteissa eri valtapituusluokissa oli huomattavasti pienempi kuin Etelä-Suomessa.

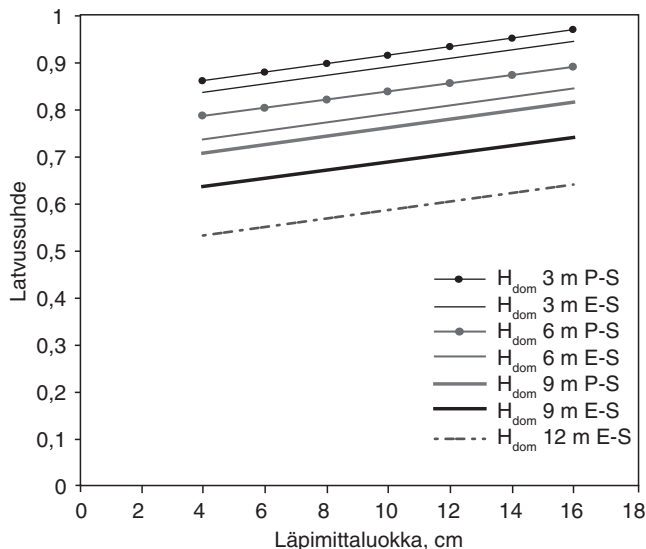
Puiden runkomuoto vaihteli nuorissa männiköissä maantieteellisen sijainnin mukaan. Pohjois-Suomessa metsikön keskiläpimitta oli suurempi samassa valtapituusvaiheessa kuin Etelä-Suomessa.

Nuorissa männiköissä oli paljon vikaisuuksia. Keskimäärin vain 54 %:ssa puita ei ollut laatuviikoja. Eniten oli mutkaisuutta (23 %), monivikaisuutta (13 %) sekä oksaisuutta (9 %). Monivikaisuus johtui useimmiten puiden oksaisuudesta ja mutkaisuudesta.

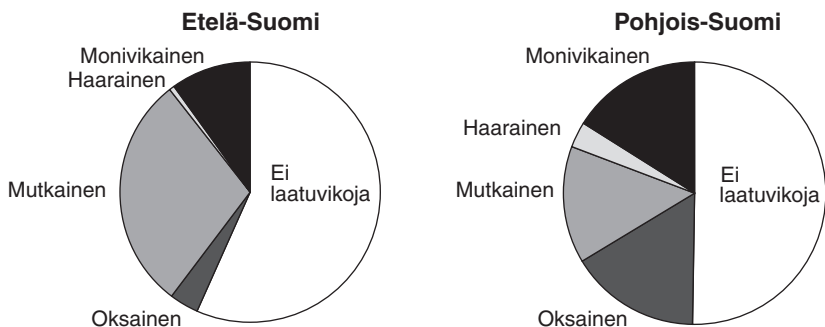
Ulkoinen laatu vaihteli metsikön lämpösumman, kasvupaikan ja syntytavan mukaan. Pohjois-Suomessa (pieni lämpösumma) puissa oli enemmän oksikkuutta ja haaraisuutta kuin Etelä-Suomessa, jossa taas mutkaisuus ja monivikaisuus olivat yleisempiä laatuviikoja (Kuva 7). Istutusmänniköissä oli enemmän laatuviikoja kuin kylvö- tai luontaisesti uudistetuissa männiköissä. Oksikkaiden, haaraisten ja monivikaisten puiden osuus lisääntyi istutusmänniköissä, jossa mutkaisia puita oli silti vähiten. Vähiten vikaisuuksia oli kuitenkin kuivahkon kankaan männiköissä. Rehevimmillä kasvupaikoilla erityisesti oksikkaiden ja monivikaisten puiden osuudet lisääntyivät. Kuitenkin syntytavalla oli suurempi vaikutus oksikkuuteen ja monivikaisuuteen kuin kasvupaikalla.

Taimikonhoidon vaikutus metsikön ulkoiseen laatuun oli vähäinen, vain mutkaisten puiden osuus oli hoidetuissa taimikoissa pienempi kuin hoitamattomissa. Etelä-Suomessa taimikonhoito vähensi puiden laatuviikoja, mutta Pohjois-Suomessa vastaavaa vaikutusta ei ollut.

Metsikön ulkoinen laatu vaihteli puiden eri kokoluokissa. Laatuviikoja oli eniten metsikön isoimmista puissa. Oksikkuutta ja monivikaisuutta oli eniten isoimmista puissa, kun taas mutkaisuutta oli enemmän pienemmissä kokoluokissa. Selvin ero ulkoisessa laadussa puiden eri kokoluokissa havaittiin Pohjois-Suomessa, jossa vain alle 20 %:ssa valtapuista ei ollut laatuviikoja.



**Kuva 6.** Metsikön keskimääräinen latvussuhde läpimitta- ja valtapituusluokittain ( $H_{dom}$ ) Etelä- ja Pohjois-Suomessa (E-S ja P-S). Mallin ennusteiden laskennassa käytettiin seuraavia metsikkötunnuksia: kuivahko kangas, luontainen uudistaminen, ei taimikonhoitoa ja lämpösusma 1065 d.d. (E-S) ja 815 d.d. (P-S). (Aineistossa ei ollut Pohjois-Suomessa valtapituudeltaan 12 metrisiä männiköitä, joten mallilla ei ole laskettu vastaavaa ennustetta.)



**Kuva 7.** Metsikön ulkoinen laatu Etelä- ja Pohjois-Suomessa eri vikaisuusluokkiin jaoteltuna.

## 4.2 Nuorten männiköiden kasvumallit

Nuorille tasaikäisille puutaille männiköille laadittiin koko maan kattavat metsikkötason kasvumallit (II). Mallit kattavat laajan käyttöalueen (koko maa, tyypillisimmät kasvupaikat männyille: kuiva kangas, kuivahko kangas, tuore kangas sekä kaikki syntyvat: luontainen kylvö ja istutus). Mallit laadittiin kehityskelpoisten puiden elossalolle, valtapituuden ja valtaläpimitan kasvulle sekä pohjapinta-alan ja tilavuuden muutokselle (Taulukko 3). Lisäksi laadittiin mallit läpimitan ja piteuden valtatunnusten ja keskitunnusten (aritmeettinen keskiarvo) erotukselle (Taulukko 3). Mallien rakenne, muuttujat ja parametrien arvot on esitetty yksityiskohtaisesti osajulkaisussa II.

**Taulukko 3.** Osajulkaisun II malleissa käytettävät selittävät tunnuksset. Mallitettavien muuttujien keskiarvo, keskihajonta sekä havaintojen määrä. Lisäksi esitetään mallien hyvyttä kuvaavina tunnuksina odotusarvon virhe (bias) ja keskineliöpoikkeaman neliöjuuri (RMSE).

Mallien selittävät tunnuksset	Mallit					Erotusmallit	
	Runkoluku kpl/ha	Valtapiuus m	Valtaläpimitta cm	Pohjapinta-ala m <sup>2</sup> /ha	Tilavuus m <sup>3</sup> /ha	Valtapiuus- keskipituus	Valtaläpimitta- keskiläpimitta
<b>Runkoluku</b>			x	x	x	x	x
<b>Valtapiuus</b>	x		x	x	x	x	
<b>Valtaläpimitta</b>						x	x
<b>Pohjapinta-ala</b>			x		x	x	x
<b>Ikä</b>	x	x		x			
<b>Taimikonhoito</b>	x						
<b>Synty tapa</b>		x	x	x		x	x
<b>Kasvupaikka</b>		x		x			
<b>Lämpösumma</b>		x	x				
<b>Järvisyys</b>		x	x				
<b>Merisyys</b>		x					
<b>Soistuminen</b>		x					
<b>Korkeus meren pinnan yläpuolella</b>		x					
<b>Keskiarvo</b>	a) 1562 b) 1525	6,7	11,2	6,8	33,2	1,9	4,9
<b>Keskihajonta</b>	a) 621 b) 725	3,5	5,9	7,4	47,6	0,9	2,4
<b>Havaintojen määrä</b>	331	534	534	534	534	534	534
<b>Bias</b>	19,56	0,02	0,00	-0,21	-0,13	0,02	-0,15
<b>RMSE</b>	402,80	1,12	1,18	2,60	3,85	0,39	0,76

a) jakson alussa, b) jakson lopussa

Laadittujen mallien perusteella voidaan tarkastella metsikön sijainnin, kasvupaikan ja syntyävän vaikutusta metsikön kehitykseen. Etelä-Suomessa metsikön valtapiuuden kehitys oli nopeampaa kuin Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomessa metsikön valtaläpimitta oli pienempi kuin samassa valtapiuusvaiheessa olevan metsikön Pohjois-Suomessa. Kun metsikön valtapiuus oli 10 metriä ja lämpösumma nousi 100 d.d., pieneni valtaläpimitta 0,5 cm. Metsikön kasvupaikka vaikutti selvästi metsikön valtapiuuden, pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitykseen. Esimerkiksi 30 vuoden iällä metsikön valtapiuus oli tuoreella kankaalla 0,8 metriä suurempi ja kuivalla kankaalla 1,4 metriä pienempi kuin kuivahkolla kankaalla. Istutusmänniköiden valtaläpimitta oli suurempi kuin luontaisesti syntyneiden tai kylvettyjen samassa valtapiuusvaiheessa olevien metsiköiden. Lisäksi istutusmänniköt olivat puustoltaan tasaisempia, sillä ero piteuden ja läpimitan valta- ja keskitunnusten välillä oli pienin istutusmänniköissä.

Kasvumalleja laadittaessa tutkittiin myös taimikonhoidon vaikutusta metsikön kehitykseen. Ainoastaan runkolukumallissa taimikonhoito oli tilastollisesti merkitsevä selittäjänä, tällöin taimikonhoito vähensi puiden kuolleisuutta.

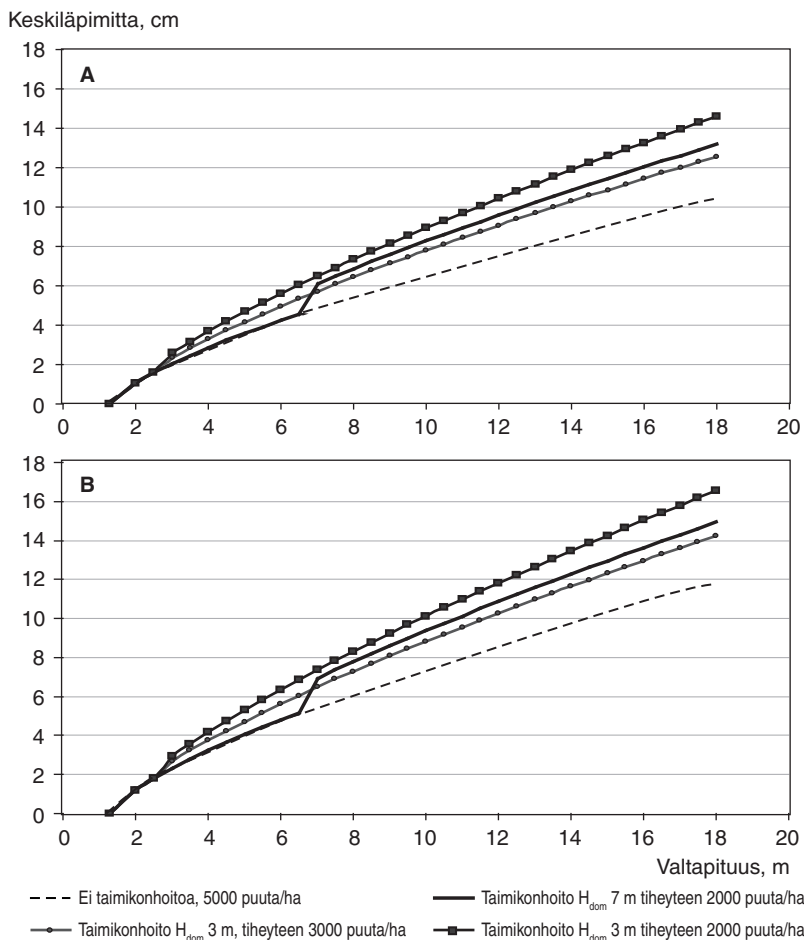
### 4.3 Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen vaikutus metsikön tuotokseen ja tuottoon

Taimikonhoitokokeilta mitattujen aineistojen avulla laadittiin erilliset mallit ennustamaan taimikonhoidon vaikutusta keskiläpimitan kasvuun ja metsikön tilavuuteen ensiharvennusvaiheessa (III) (Taulukko 4). Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta ensiharvennusvaiheen ja koko kiertoajan tuotokseen ja tuottoon tutkittiin simuloimalla metsikön kehitys aina päätehakkuuseen asti (IV).

Taimikonhoito, metsikön tiheys ja syntytyapa vaikuttivat metsikön keskiläpimitan kehitykseen (III). Taimikonhoito lisäsi metsikön aritmeettisen keskiläpimitan kasvua merkitsevästi (Kuva 8). Taimikonhoidon ajoituksella oli suurin vaikutus keskiläpimitan kasvuun, mutta myös taimikonhoidon voimakkuus vaikutti, jolloin aikainen ja voimakas taimikonhoito johdatti suurimpaan keskiläpimitaan ensiharvennusvaiheessa (Kuva 8). Toisaalta suuri metsikön

**Taulukko 4.** Osajulkaisun III malleissa käytettävät selittävät tunnuksat. Mallitettavien muuttujien keskiarvo, keskihajonta sekä havaintojen määrä. Lisäksi esitetään mallien hyvyttä kuvaavina tunnuksina odotusarvon virhe (bias) ja keskineliöpoikkeaman neliöjuuri (RMSE).

Mallien selittävät tunnuksat	Mallit		
	Keskiläpimita cm	Kokonaistilavuus m <sup>3</sup> /ha	Ensiharvennuskertymä m <sup>3</sup> /ha
Runkoluku	x	x	x
Valtapituus	x	x	x
Keskiläpimita		x	x
Taimikonhoidon ajoitus	x		x
Taimikonhoidon voimakkuus	x		x
Ensiharvennuksen ajoitus			x
Ensiharvennuksen voimakkuus			x
Harvennustapa			x
Syntytyapa	x		x
Lämpösumma		x	x
Keskiarvo	11,1	176	48,6
Keskihajonta	4,4	48	24,9
Havaintojen määrä	694	139	74
Bias	-0,002	0,055	0,180
RMSE	0,991	4,803	5,323



**Kuva 8.** Läpimitan kehitys luontaisesti syntyneissä (A) ja kylvömänniköissä (B) metsikön alkutiheydellä 5000 puuta hehtaarilla sekä eri taimikonhoidon ajoituksilla ( $H_{dom}$ ) ja voimakkuuksilla (tiheys taimikonhoidon jälkeen 2000 tai 3000 puuta hehtaarilla) (III).

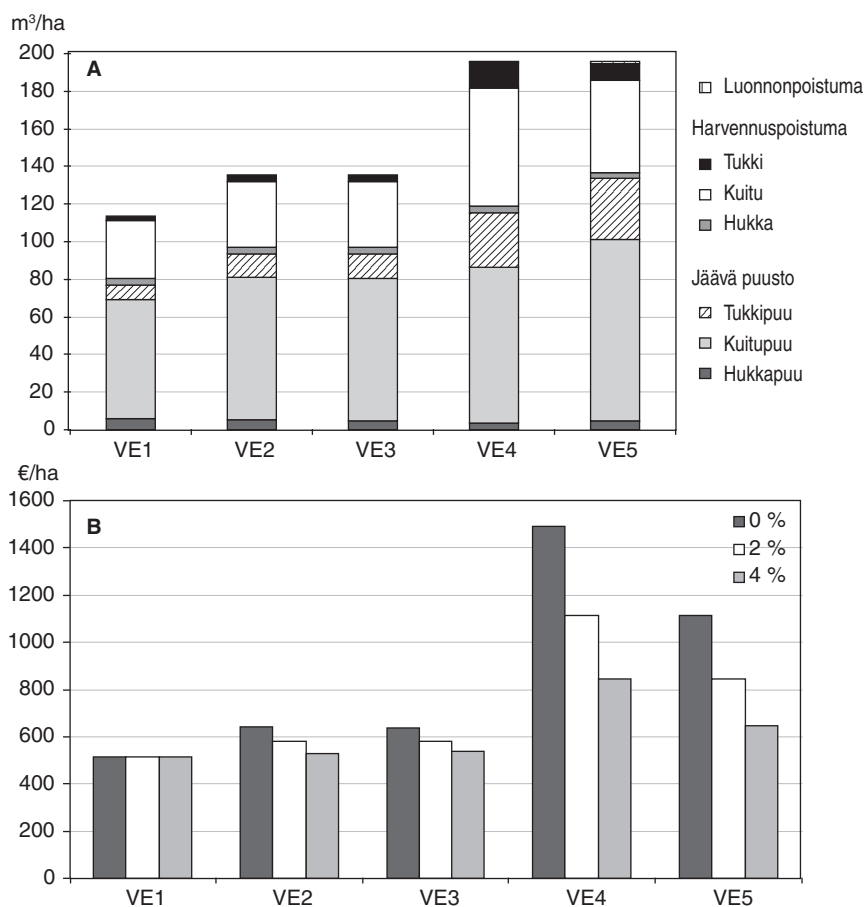
alkutiheys hidasti läpimitan kehitystä, tällöin metsikön tiheysero 5000 puusta 3000 puuhun hehtaarilla johti ensiharvennusvaiheessa 1,6 cm keskiläpimittaeroon. Kylvömänniköissä keskiläpimitan kehitys oli nopeampaa kuin luontaisesti uudistetussa männiköissä, ero oli n. 13 %.

Metsikön kokonaistilavuus ensiharvennusvaiheessa riippui metsikön tiheydestä ja tarkasteluhetkestä. Esimerkiksi metsikön kokonaistilavuus kaksinkertaistui valtapituuden kasvaessa 12 metristä ( $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) 16 metriin ( $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), kun metsikön tiheys oli 3000 puuta hehtaarilla (III).

Ensiharvennuskertymä riippui taimikonhoidosta, syntytavasta ja metsikön sijainnista (III). Mitä aikaisemmin taimikonhoito oli tehty, sitä suurempi oli ensiharvennuskertymä. Toisaalta mitä tiheämmäksi metsikkö oli jätetty taimikonhoidon jälkeen, sen suurempi oli ensiharvennuskertymä. Aikainen ja lievä (valtapituus 3 metriä, 3000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen) johti 40 % suurempaan ensiharvennuskertymään verrattuna myöhäiseen ja voimak-

kaaseen taimikonhoitoon (valtapituus 7 metriä, 2000 puuta hehtaarilla). Kylvömänniköissä ensiharvennuskertymä oli noin 17 % suurempi kuin luontaisesti uudistetuissa metsiköissä ja Etelä-Suomessa ensiharvennuskertymä oli suurempi kuin pohjoisemmassa.

Ensiharvennuskertymän suuruuteen vaikuttivat ensiharvennuksen ajoitus (valtapituus), voimakkuus (poistettavien puiden runkoluku) ja myös harvennustapa (III, IV). Myöhäinen ja voimakas ensiharvennus johti suurimpaan ensiharvennuskertymään. Ensiharvennuksen viivästämisen lähes tuplasi ensiharvennuskertymän 12 metrin valtapituusvaiheesta (55 m<sup>3</sup>/ha) 16 metrin valtapituuteen (99 m<sup>3</sup>/ha), kun taimikonhoito oli tehty 3 metrin valtapituusvaiheessa tiheyteen 2000 puuta hehtaarilla (III). Vastaavasti kuitupuukertymä kasvoi toteutuneesta tasosta noin 30:stä m<sup>3</sup>/ha (VE1) aina 60:een m<sup>3</sup>/ha (VE4) ja samalla myös tukkipuukertymä kasvoi (IV) (Kuva 9). Toisaalta luonnonpoistuma jäi hyvin pieneksi, vaikka ensiharvennusta viivästettiin 10 vuotta (IV). Poistettavien puiden valinta kuvaa harvennustapaa. Mitä suurem-

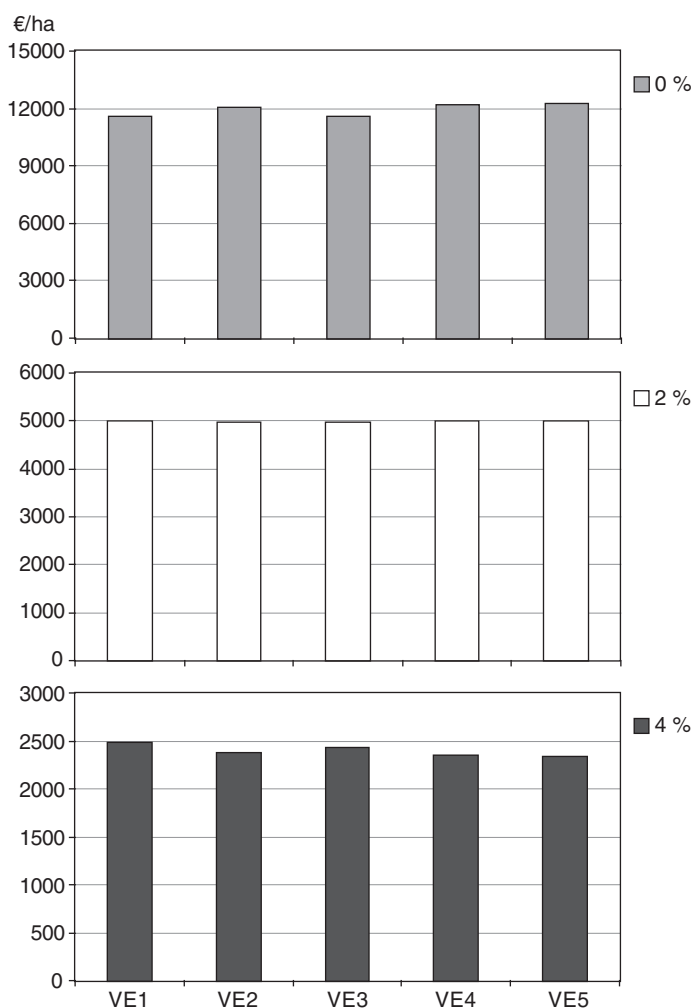


**Kuva 9.** Ensiharvennuspoistuma ja harvennuksen jälkeen jäävän kasvatettavan puuston määrä ensiharvennuskertymävaiheessa (A) sekä ensiharvennuskertymän kantorahatulot (B) 0 %, 2 % ja 4 % laskentakorkokannoilla eri ensiharvennuskertymävaihtoehdoilla (VE1...VE5). VE1 = toteutunut ensiharvennus, VE2 = pohjapinta-alasuositus, VE3 = runkolukusuositus, VE4 = 10 vuotta viivästetty pohjapinta-alasuositus ja VE5 = 10 vuotta viivästetty runkolukusuositus.

pi oli poistettavien puiden läpimitan suhde metsikön keskiläpimittaan ennen ensiharvennusta, sen suurempi oli ensiharvennuskertymä ja sitä selkeämmin harvennus tehtiin ns. yläharvennusperiaatteella (III).

Ensiharvennuksen viivästäminen (VE4) lisäsi myös hakkuusta kertyviä tuloja, sillä kantorahatulojen nykyarvo (4 %:n laskentakorkokanta) suureni keskimäärin 330 €/ha toteutuneeseen tasoon (VE1) verrattuna (IV) (Kuva 9). Kantohintojen vaihtelu tai laskentakorkokannan muutokset eivät ratkaisevasti vaikuttaneet eri ensiharvennustapojen väliseen kannattavuusjärjestykseen: 10 vuodella viivästetty pohjapinta-alasuositusten mukainen ensiharvennus osoitautui poikkeuksetta parhaimmaksi (IV).

Koko kiertoajan tuotokseen, vuotuisen keskituotokseen tai kantorahatulojen nykyarvoon ensiharvennuksen viivästämisellä ei ollut merkittävää vaikutusta, kun laskentakorkokantana käytettiin 0 %, 2 % tai 4 % (Kuva 10) (IV).



**Kuva 10.** Ensiharvennusvaihtoehtojen (VE1...VE5) mukaiset kantorahatulot koko kiertoajan aikana eri laskentakorkokannoilla. Koko kiertoajan kantorahatulot sisältävät myös ensiharvennuksen kantorahatulot.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Aineistojen kattavuus ja laatu

Tutkimus perustui empiirisiin aineistoihin, joiden perusteella selvitettiin nuorten männiköiden kehitystä sekä taimikonhoidon ja ensiharvennuksen vaikutusta metsikön kehitykseen. Tutkimuksessa käytetyt aineistot edustivat tasaisten ja melko puhtaiden männiköiden kehitystä hyvin. Aineistojen kattavuus maantieteellisesti, kasvupaikkojen ja syntytapojen suhteen oli hyvä. Osajulkaisujen II ja III aineistoissa nuorten männiköiden kehityksen seurantajakso oli myös pitkä ja seurantajakso sisälsi useita mittauskertoja. Käytettyjen aineistojen perustella voidaan tehdä tutkimustuloksista käytäntöön yleistettäviä johtopäätöksiä.

Metsiköiden tiheysvaihtelu oli pieni TINKA-aineistossa (I, II), mutta taimikonhoitokokeissa (III) tiheysvaihtelua oli enemmän. TINKA-aineistossa (I, II) taimikoiden tiheydet olivat suhteellisen alhaisia, vaikka miltei puoleessa taimikoista taimikonhoitoa ei ollut tehty koealojen seuranta-aikana. Tämä viittaa siihen, että aineistoon oli valikoitunut taimikoita, jotka oli perattu tai harvennettu ennen ensimmäistä mittausta, ts. jo hyvin varhaisessa taimikon kehitysvaiheessa. 1970–1980-luvuilla oli yleinen käytäntö tehdä taimikon varhaisperkaus tai harvennus jo aikaisessa kehitysvaiheessa (esimerkiksi Takala 1978b). Aikaisemmissa tutkimusaineistoissa käsittelemättömien taimikoiden tiheydet ovat olleet suurempia; luontaisesti syntyneiden tai kylvettyjen käsittelemättömien mäntytaimikoiden tiheydet ovat vaihdelleet 3000 rungosta jopa 10 000 runkoon hehtaarilla (esimerkiksi Parviainen 1978, Varmola 1982, 1996, Huuri ym. 1987). Nyt esitetyt tulokset (I, II) ovat sovellettavissa vain hoidettuihin mäntytaimikoihin.

Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus ensiharvennusvaiheeseen ja lopuksiertoaikaan perustui Metsähallituksen mailta mitattuun aineistoon (IV). Aineisto kattoi maan eri osat: Keski-Suomen, Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin. Metsiköt olivat hoidettuja, siis tarvittavat taimikonhoitotyöt oli tehty ajallaan eivätkä aineiston puustot olleet ylitiheitä. Aineisto edusti hyvin näiden alueiden hoidettujen kuivahkojen kankaiden männiköiden tilaa ensiharvennusvaiheessa.

Kaikista tutkimuksessa käytetyistä aineistosta (I–IV) puuttuu runsas sekapuusto, joten tuloksia voidaan soveltaa lähinnä puhtaisiin mäntytaimikoihin ja nuoriin männiköihin. Syynä aineiston sekapuuston vähäisyyteen on taimikonhoito, jossa on poistettu pääasiassa lehtipuuta, sekä kokeiden perustamisen aikana vallinnut käytäntö, että lehtipuusto poistetaan myös käsittelemättömiltä koealoilta (III).

Aineistojen keräyksessä virhettä aiheutuu siitä, että mittauksia tekevät useat eri henkilöt (esimerkiksi Haara 2005). Tässä tutkimuksessa virhelähteitä pyrittiin minimoimaan kouluttamalla maastomittajat ennen mittausten aloitusta ja käyttämällä yksityiskohtaisia ohjeita. Mittaajasta riippuva virheiden riski korostuu silmämääräisissä arvioinneissa, kuten osatutkimuksen I puiden ulkoisen laadun arvioinnissa. Ulkoisen laadun tarkastelu perustui laajaan TINKA-aineistoon, eikä näin laajassa mittauksessa ollut mahdollista mitata ulkoista laatua kovin yksityiskohtaisesti, koska päähuomio kiinnittyi puuston kasvu- ja tuotostunnuksiin. Puiden ulkoinen laatu luokiteltiin silmämääräisesti, joten tulokset antavat vain yleiskuvan puiden vikaisuuksista.

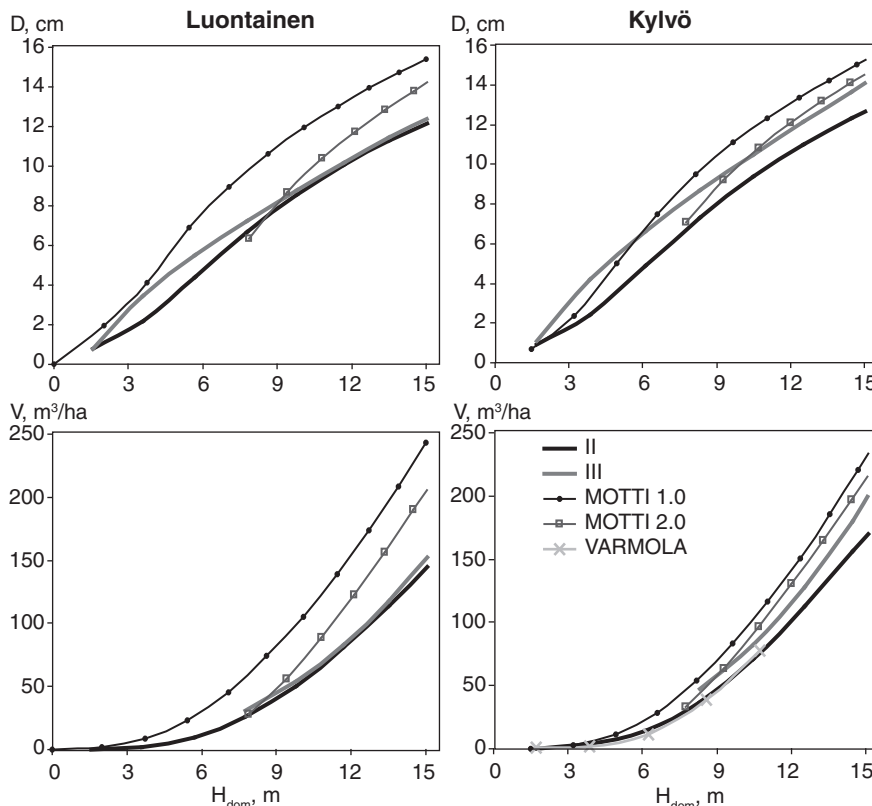
## 5.2 Mallien ja simulointien vertailu ja luotettavuus

Nuorille männiköille laadittiin koko maan kattavat metsikkötason kasvumallit (II). Näin laajalle käyttöalueelle (koko maa, kasvupaikat: kuiva kangas, kuivahko kangas, tuore kangas, syntyvat: istutus, kylvä, luontainen) ei nuorten männiköiden malleja ole aikaisemmin tehty Suomessa. Varmola (1993) on tehnyt nuorten männiköiden metsikkötason kasvumallin, joka kattaa maantieteellisesti koko Suomen, mutta se rajoittuu vain viljelymänniköihin ja kasvupaikkojen osalta käytännössä tuoreille ja kuivahkoille kankailla, sillä aineistossa kuivat kankaat (2 metsikköä) ja lehtomaiset kankaat (2 metsikköä) olivat hyvin suppeasti edustettuna. Tässä tutkimuksessa mallit laadittiin puiden elossaololle, valtapituuden ja valtaläpimitan kasvulle, pohjapinta-alan ja tilavuuden muutokselle sekä läpimitan ja pituuden valtatunnusten ja keskitunnusten (aritmeettinen keskiarvo) erotukselle. Malleja laadittaessa havaittiin, että taimikonhoidon vaikutus metsikkötunnusten kehitykseen ei tullut selkeästi näkyviin TINKA-aineistossa, joka koostui hoidetuista mäntytaimikoista. Tämän vuoksi taimikonhoitokokeilta mitattujen aineistojen avulla laadittiin erilliset mallit ennustamaan taimikonhoidon vaikutusta keskiläpimitan kasvuun ja metsikön tilavuuteen ensiharvennusvaiheessa (III). Malleja voidaan hyödyntää metsätalouden suunnittelussa vertailemalla taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutuksia metsikön nuoruusvaiheen kehitykseen ja ensiharvennuskertymään.

Metsikkötason kasvumallin (II) sekä keskiläpimitamallin (III) ennusteet keskiläpimitan kehityksestä suhteessa valtapituuteen ovat hyvin samansuuntaisia (Kuva 11). Lähtötilanteena vertailussa käytettiin kuivahkon kankaan männikköä Etelä-Suomessa (1200 dd.). Keskiläpimitamallia sovellettaessa käytettiin metsikkötason kasvumallin ennustetta runkoluvulle ja valtapituudelle. Kylvömänniköissä keskiläpimitamalli (III) antaa hiukan suurempia läpimittoja kuin kasvumalli (II). Tämä ero saattaa johtua siitä, että kestokokeet on yleensä perustettu puustoltaan keskimääräistä tasaisempiin ja paremmin uudistuneisiin metsiköihin. Sen sijaan kasvumallien laadinnassa käytetyn TINKA-aineiston voidaan olettaa kuvaavan metsiköitä keskimäärin, sillä TINKA-koealat ovat ns. piilokoealoja, joiden seuranta ei ole vaikuttanut metsikön käsittelyyn.

Tässä työssä laadittuja malleja (II, III) verrattiin myös MOTTI-ohjelmiston ennusteisiin. MOTTI-ohjelmiston ennusteet keskiläpimitan kehityksestä suhteessa valtapituuteen ovat suurempia kuin osajulkaisuissa II ja III laadittujen mallien ennusteet (Kuva 11). Ero on suurin luontaisesti syntyneissä männiköissä. Ero nyt laadittujen mallien ja MOTTI-ohjelmiston välillä kertoo puiden erilaisesta solakkuudesta: MOTTI-ohjelmistolla puiden läpimitan ja pituuden suhde on suurempi. Metsikön iän suhteen tarkasteltuna keskiläpimitan kehitys oli hyvin samansuuntainen kasvumallilla (II) ja MOTTI-ohjelmistolla (Kuva 12). Tämä tarkoittaa sitä, että saman valtapituuden saavuttaminen metsikössä kestää MOTTI-ohjelmiston ennusteen mukaan kauemmin kuin II mallin ennusteen mukaan. Läpimitan kehityksen mallissa (III) ei käytetty metsikön ikää selittäjänä, joten vertailua iän suhteen ei ole tehty III mallilla.

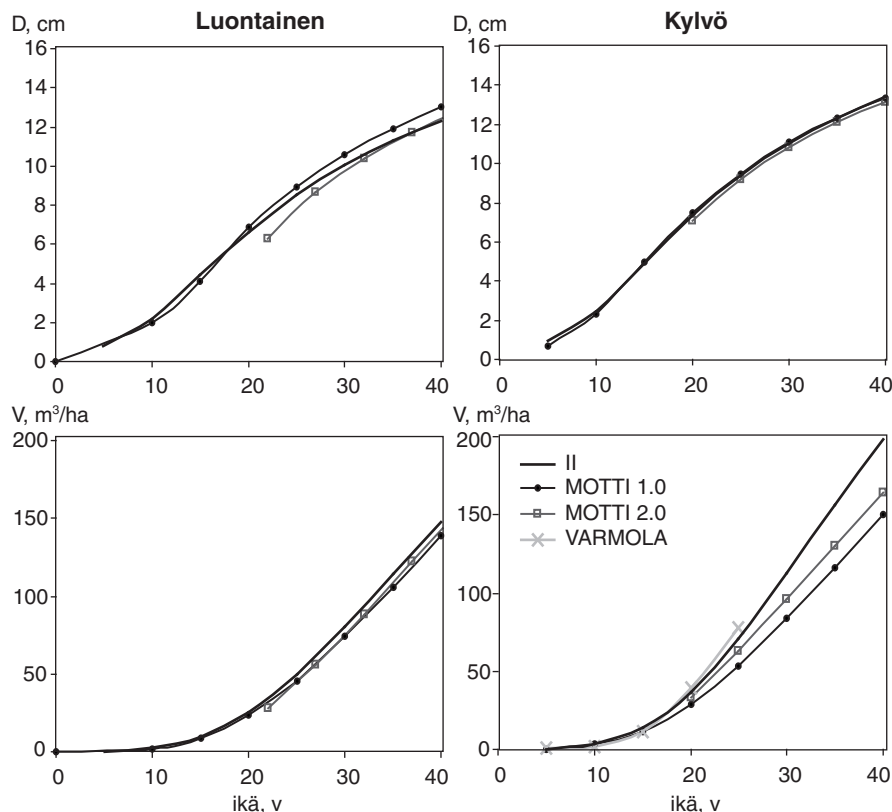
Metsikkötason kasvumalli (II) ja malli metsikön kokonaistilavuudelle ensiharvennusvaiheessa (III) antoivat hyvin samankaltaisia ennusteita metsikön kokonaistilavuudesta, kun tilavuutta tarkasteltiin suhteessa metsikön valtapituuteen (Kuva 11). Erityisesti luontaisesti syntyneissä metsiköissä nämä kaksi mallia antavat hyvin samanlaisia ennusteita. Kylvömännikössä kokonaistilavuuden kehitys (II) noudatti erittäin hyvin Varmolan (1993) tilavuusmallia sekä iän että valtapituuden suhteen tarkasteltuna (Kuva 11, Kuva 12). Nyt laadittujen mallien ja Varmolan (1993) mallien hyvä vastaavuus on osin yllättävää, sillä mallien laadinta-aineistot ovat erilaiset. Varmolan (1993) aineistossa koealan kohta valittiin metsikön tasaiseen ja hyvin onnistuneeseen kohtaan, kun taas TINKA-aineistossa koealan sijainti määräytyi VMI7 koealan keskipisteen perusteella. Sen sijaan MOTTI-ohjelmistolla lasketut ennusteet tilavuudesta



**Kuva 11.** Läpimitan ja tilavuuden kehitys luontaisesti syntyneissä ja kylvömänniköissä osatutkimusten II ja III malleilla sekä MOTTI-ohjelmiston 1.0 ja 2.0-versioilla valtapituuden ( $H_{dom}$ ) suhteen tarkasteltuna. Lisäksi on verrattu Varmolan (1993) kylvömännikön tilavuuskasvumallia. Lähtötilanteena VT männikkö, ikä 5 v., runkoluku 2000 puuta hehtaarilla, ei taimikonhoitoa, sijainti Etelä-Suomi (lämpösomma 1200 d.d., korkeus merenpinnasta 70 mpy., järviyysindeksi 5 %, merisyysindeksi 0 %). MOTTI 2.0-version tulokset esitetään 8 metrin valtapituusvaiheesta alkaen, kun laskennassa on siirrytty puutason malleihin. Lisäksi III mallin tilavuuden ennusteet on sovellettavissa vasta ensiharvennusvaiheessa, ja ne esitetään tässä 8 metrin valtapituusvaiheesta alkaen.

valtapituuden suhteen ovat suurempia kuin tässä tutkimuksessa laadittujen mallien (Kuva 11). Ero selittyy sillä, että ero keskiläpimitan kehityksestä siirtyy myös tilavuusennusteisiin. Sitä vastoin ennuste kylvömännikön tilavuudesta metsikön iän suhteen on pienempi MOTTI-ohjelmistolla kuin kasvumallilla (II) (Kuva 12). Tämä johtuu siitä, että MOTTI-ohjelmiston ennuste metsikön valtapituuden kehitykselle on pienempi kuin tässä työssä laadittujen mallien (II) ennuste. Sen sijaan luontaisesti syntyneissä männiköissä tilavuudessa ei ole eroa kasvumallin (II) ja MOTTI-ohjelmiston ennusteiden välillä iän suhteen tarkasteltuna (Kuva 12).

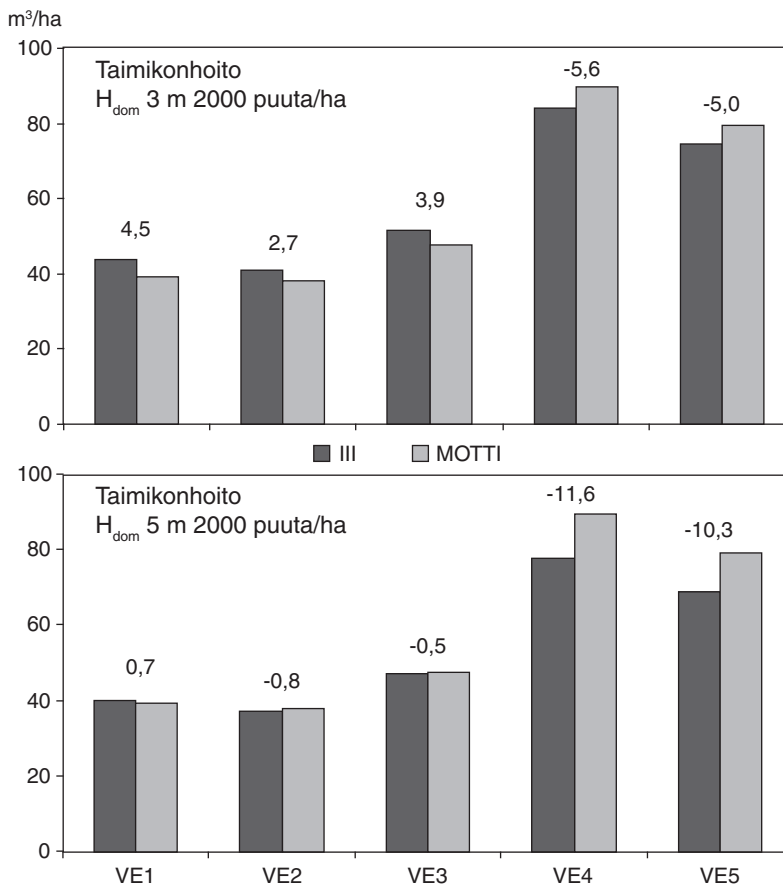
Koska kokonaistilavuusmalli (III) on laadittu käytettäväksi vain ensiharvennusvaiheessa, kuvassa 11 esitetään mallin ennusteet kahdeksan metrin valtapituusvaiheesta (aineiston minimi) alkaen. Lisäksi MOTTI-ohjelmiston 2.0-version metsikkötason ennusteet läpimitasta ja tilavuudesta esitetään (Kuva 11, Kuva 12) kahdeksan metrin valtapituusvaiheesta alkaen, jolloin laskennassa siirryttiin puutason malleihin. Lähtötilanne mallien vertailussa oli kuitenkin



**Kuva 12.** Läpimitan ja tilavuuden kehitys luontaisesti syntyneissä ja kylvömänniköissä osatutkimusten II ja III malleilla sekä MOTTI-ohjelmiston 1.0 ja 2.0 -versioilla iän suhteen tarkasteltuna. Lisäksi on verrattu Varmolan (1993) kylvömännikön tilavuuskasvumallia. Lähtötilanteena VT männikkö, ikä 5 v., runkoluku 2000 puuta hehtaarilla, ei taimikonhoitoa, sijainti Etelä-Suomi (lämpösumma 1200 d.d., korkeus merenpinnasta 70 mpy., järvisyyssindeksi 5 %, merisyyssindeksi 0 %). MOTTI 2.0 -version tulokset esitetään 8 metrin valtapituusvaiheesta alkaen, kun laskennassa on siirrytty puutason malleihin. Lisäksi III mallin tilavuuden ennusteet on sovellettavissa vasta ensiharvennusvaiheessa, ja ne esitetään tässä 8 metrin valtapituusvaiheesta alkaen.

kin kaikilla malleilla sama (VT männikkö, ikä 5 v., runkoluku 2000 puuta hehtaarilla, ei taimikonhoitoa, sijainti Etelä-Suomi (lämpösumma 1200 d.d., korkeus merenpinnasta 70 mpy., järvisyyssindeksi 5 %, merisyyssindeksi 0 %)).

Verrattaessa laadittuja ensiharvennuskertymämalleja (III) ja MOTTI-ohjelmiston ennusteita havaittiin, että erot mallien välillä olivat suhteellisen pieniä (Kuva 13). Vertailu tehtiin Metsähallituksen mailta mitattuihin kuivahkon kankaan metsiköihin (14 metsikköä) ja niistä ennustettuihin ensiharvennusvaihtoehtoihin Etelä-Suomessa. Metsiköt olivat joko luontaisesti syntyneitä tai kylvettyjä. Vertailuaineistoksi valittiin ensiharvennuskertymämallin (III) aineistoa vastaavat metsiköt sijainnin ja kasvupaikkojen suhteen. Metsiköistä ei ollut kuitenkaan käytössä tietoa taimikonhoidon ajoituksesta ja voimakkuudesta, joten laskelmissa käytettiin Metsähallituksen metsänhoito-ohjeiden (Hokajärvi 1997) mukaisia suosituksia, taimikonhoito 3–6 metrin pituusvaiheessa tiheyteen 1600–2500 puuta hehtaarilla.



**Kuva 13.** Taimikonhoidon ajoituksen vaikutus ensiharvennuskertymään. Vertailu laaditun mallin (III) ja MOTTI-ennusteiden (IV) välillä eri käsittelyvaihtoehdoilla (VE1...VE5). Laskennan lähtötietoina on Metsähallituksen Etelä-Suomen kuivahkon kankaan 14 metsikköä (syntytyypä luontainen tai kylvö). Lukuarvot pylväiden yläpuolella tarkoittavat III mallin ja MOTTI-ennusteiden eroa, m³/ha.

Ensiharvennuksen kertymämallit perustuvat kestokokeista mitattuihin puustotietoihin ja kokeilla tehdyt ensiharvennukset ovat perustuneet mittaajien puuvalintaan. Kestokokeet ovat keskimääräisiä metsiköitä tiheämpiä ja tilajärjestykseltään tasaisempia. Esimerkiksi ajourat eivät ole sisältyneet koeruutuihin. Viivästettäessä ensiharvennusta suositusajankohtaa 10 vuotta myöhemmäksi (VE4, VE5) ensiharvennuksen kertymämalli ennusti pienempiä kertymiä kuin MOTTI-ohjelmisto (IV). Mallien ero saattaa osaltaan johtua siitä, että kestokokeiden myöhäiset ensiharvennukset painottuivat maantieteellisesti Etelä-Suomeen. Syynä saattaa olla myös se, että MOTTI-ohjelmiston ennusteissa puiden solakkuus on erilainen (suurempi D/H suhde), jolloin kertymä ennustetaan suuremmaksi kuin mitä se todellisuudessa olisi. Puun tilavuuden mallitus MOTTI-ohjelmistossa perustuu puun rinnankorkeuslähpimitaan ja pituuteen, kun kestokoeaineistossa puiden tilavuudet on laskettu rinnankorkeuslähpimitan, kuuden metrin ylälähpimitan ja pituuden avulla, jolloin puiden runkomuoto on otettu tarkemmin huomioon. Viivästettäessä ensiharvennusta metsikön puiden koot eriytyvät: osa puista jää alisteiseen asemaan ja niiden kasvu hidastuu, kun taas osa pärjää kilpailussa ja kasvaa hyvin. Yksi mallien

eroon vaikuttava tekijä saattaa löytyä siitä, otetaanko MOTTI-ohjelmiston kehityssuunnusteissa puiden eriytyminen riittävän hyvin huomioon. Ensiharvennuskertymämalli reagoi hyvin voimakkaasti taimikonhoidon ajoitukseen ja voimakkuuteen, ja erot näiden kahden menetelmän välillä vaihtelivat suuresti riippuen sovellettavasta taimikonhoidosta.

Ensiharvennuksen ajoituksen tutkimus (IV) perustui ensiharvennusten metsänhoidollista tilaa kuvaavaan maastoaineistoon ja siitä laadittuihin kehityssuunnusteisiin. Tulosten luotettavuuteen vaikuttavat aineiston edustavuus ja suunnusteissa käytetyn menetelmän (MOTTI-ohjelmisto) luotettavuus. Luotettavuustarkastelu tehtiin riippumattomalla aineistolla (IV). Sen perusteella voitiin todeta, että MOTTI-ohjelmiston (tutkijaversio vuonna 2003) antamat pohjapinta-alan suunnusteet olivat luotettavia, mutta keskiläpimitan ja erityisesti valtapituuden ja tilavuuden kehitys oli suunnusteissa aliarvio. Vaikka MOTTI-suunnusteet aliarvioivat valtapituuden ja tilavuuden kehitystä, oli harha samaa suuruusluokkaa eri harvennusvaihtoehdoissa. Harha ei näin ollen vaikuttanut tutkimuksen päätarkoitukseen eli eri käsittelyvaihtoehtojen vertailuun. Valtapituuden aliarvio vaikutti kuitenkin ensiharvennuksen ajoitukseen, ja siksi suositusajankohtana ennustettu ensiharvennus hieman viivästyí MOTTI-ohjelmiston kasvusuunnusteiden aliarvioidessa todellista valtapituuutta. Eron todettiin olevan suuruudeltaan n. 10 cm vuodessa. Koko kiertoaikaa koskevissa laskelmissa metsiä käsiteltiin ensiharvennuksen jälkeen aina samojen sääntöjen (harvennusmalli ja päätehakkukriteeri) mukaan. Tulokset eivät siten edusta optimaalista metsän käsittelyä, vaan tilannetta, jossa kasvatusohjeita noudatetaan kirjaimellisesti ensiharvennuksen jälkeen.

Tutkimuksessa laaditut kasvumallit (II) soveltuvat hoidetuille, mäntyvaltaisille metsiköille. Osajulkaisussa II esitettyjä malleja ei tule käyttää ensiharvennuksen jälkeen, joten metsikön sijainnista ja kasvupaikasta riippuen mallien käyttöalue loppuu, kun metsikön valtapituus on 10–15 metriä tai ikä 30–40 vuotta. Mallit keskiläpimitan kehitykselle ja metsikön kokonaistilavuudelle ensiharvennusvaiheessa on laadittu luontaisesti syntyneille tai kylväen perustetuille kuivahkon kankaan männiköille Etelä- ja Keski-Suomessa. Keskiläpimitamalli (III) ei sovellu taimikoihin, joissa taimikonhoito toteutetaan alle 3 metrin valtapituusvaiheessa.

Kun metsikön kehitystä ennustetaan kiertoaajan loppuun, voidaan ensiharvennusvaiheessa siirtyä käyttämään olemassa olevia puutason malleja (esimerkiksi MOTTI). Siirtyminen metsikkötason malleista puutason malleihin voidaan tehdä niin, että puujoukko luodaan läpimita- ja pituusjakaumien avulla (esimerkiksi Päivinen 1980, Siipilehto ym. 2007). Tällöin tulee kuitenkin varmistua siitä, että metsikkötason tunnusten kehitys jatkuu loogisena myös puutason suunnusteissa. Siirryttäessä metsikkötason malleista jakaumamallien avulla puutason malleihin tulee varmistua eri mallien laadinta-aineistojen vastaavuudesta. Esimerkiksi MOTTI-ohjelmiston mallit perustuvat TINKA- ja INKA-aineistoista (taimikoiden ja kasvatusvaiheen talousmetsien metsikkökokeet) laadittuihin malleihin (Hynynen ym. 2002) ja näin ollen nyt laadittujen kasvumallien (II) ja MOTTI-ohjelmiston mallien aineistojen vastaavuus on hyvä. Toinen huomioon otettava tekijä malleista toiseen siirryttäessä on malleilla saadun tiedon hyödyntäminen seuraavan tason malleissa. Kun metsikkötason malleilla on kuvattu metsikön tila valta- ja keskitunnusten avulla (läpimita ja pituus), saadaan jakaumamalleihin tärkeää tietoa puuston rakenteesta. Tällöin on syytä varmistua siitä, että jakaumamalleissa todella käytetään kaikki ennakkotieto puuston rakenteesta hyödyksi, jotta jakaumat vastaisivat mahdollisimman hyvin metsikön todellista rakennetta.

Jatkossa tulisi laatia vastaavat koko maan kattavat metsikkötason kasvumallit puhtaille kuusikoille ja koivikoille sekä ennen kaikkea sekapuustoisille nuorille metsiköille. Malleissa tulisi ottaa huomioon vesakon ja taimikonhoidon vaikutukset kasvatuskelpoisten puiden kehitykseen.

### 5.3 Metsänhoidollinen tila

Tämän tutkimuksen mukaan nuorissa männiköissä ei ollut ylitiheyttä (I). Keskimäärin metsiköiden tiheys oli 1925 kasvatuskelpoista puuta hehtaarilla. Erityisen harvoja metsiköt olivat Pohjois-Suomessa lähellä ensiharvennusvaihetta, jolloin metsikön runkoluku oli keskimäärin vain 1256 puuta hehtaarilla. Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan metsikön tiheyden tulisi taimikonhoidon jälkeen olla 1800–2500 puuta hehtaarilla kasvatuksen tavoitteista ja metsikön sijainnista riippuen. Vastaavasti Varmola ja Salminen (2004) ovat todenneet 1600–2200 puuta hehtaarilla olevan riittävä tiheys takaamaan hyvän metsikön tuotoksen. Toisaalta, jos halutaan kasvattaa hyvälaatuaista sahapuuta, tulisi runkoluvun olla huomattavasti suurempi, kylvötaimikoissa 3000–4000 puuta hehtaarilla (Varmola 1996). Hyvänlaatuisen puuston kasvatuksessa Pohjois-Suomessa Ruha ja Varmola (1997) suosittelivat selvästi suurempaa tiheyttä taimikonhoidon jälkeen (2500 puuta hehtaarilla) kuin mitä tämän tutkimuksen mukaan nuorten männiköiden tiheys oli.

Alhainen metsikön tiheys johtaa siihen, että metsikön koko kasvupotentiaali ei ole käytössä. TINKA-aineiston metsiköissä, joissa ei ollut vielä tehty ensiharvennusta, 37 %:ssa tiheys jäi alle 1500 puuta hehtaarilla ja 12 %:ssa metsiköistä tiheys oli alle 1000 kasvatuskelpoista puuta hehtaarilla (I). Varmola ja Salminen (2004) ovat todenneet tiheyden 1000 puuta hehtaarilla johtavan jo merkittäviin tuotostappioihin. Lisäksi metsikön alhaisen tiheyden on havaittu aikaisemmissa tutkimuksissa lisäävän puiden oksikkuutta tai oksien paksuuskasvua (Fryk 1984, Lämsä ym. 1990, Mäkinen 1996, Mäkinen ja Colin 1998, Mäkinen 1999, Varmola ja Salminen 2004, Fahlvik ym. 2005, Ulvcróna ym. 2007).

Kohtalaisen alhainen tiheys vaikutti myös siihen, että metsiköissä latvussuhde oli melko korkea: elävän latvuksen osuus oli keskimäärin 69 % puun pituudesta. Kuitenkin Salmisen ja Varmolan (1990) tutkimuksen perusteella latvussuhde nuorissa männiköissä (keskipituus vaihteli 4 ja 14 metrin välillä) oli 45–65 % riippuen metsikön tiheydestä.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että puiden runkomuoto vaihteli jo nuorissa männiköissä maantieteellisen sijainnin mukaan. Metsikön läpimitta oli samassa valtapituusvaiheessa suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa (I, II). Lisäksi elävän latvuksen osuus oli suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa. Aikaisemmin Hakkila (1971) on viitanut Kalliolan (1971) julkaisemattomaan tulokseen, jonka mukaan Pohjois-Suomessa elävän latvuksen osuus puun pituudesta on suurempi kuin Etelä-Suomessa, mutta Hakkilan (1971) mukaan syynä on Pohjois-Suomen metsiköiden alhaisempi tiheys. Toisaalta taas Hynysen ym. (2002) latvussuhteen mallissa (aineistoon kuului myös osin sama TINKA-aineisto kuin tässä tutkimuksessa) maantieteellinen sijainti vaikutti tilastollisesti merkitsevästi latvussuhteen kehitykseen, vaikka metsikön tiheys oli selittäjänä mallissa.

Nuorissa männiköissä oli paljon vikaisuuksia (I). Ulkoisten laatuviikojen määrittely perustui mittaajien silmämääräiseen arvioon. Keskimäärin 54 %:ssa puita ei ollut laatuviikojaa. Eniten oli mutkaisuutta (23 %) ja monivikaisuutta (12 %) sekä oksaisuutta (9 %).

Pohjois-Suomen puissa oli selvästi enemmän oksikkuutta ja monivikaisuutta kuin Etelä-Suomessa, jossa taas mutkaisuus oli yleisempää (I). Tulos Pohjois-Suomen puiden oksikkuudesta on yllättävä, sillä yleisen käsityksen mukaan Pohjois-Suomen männyillä on kapea latvus. Sarvas (1964) on todennut Lapin nuorten ja keski-ikäisten mäntyjen latvuksen olevan silmiinpistävästi pitkä ja kapeahko ja oksat lyhyitä ja vaaka-asentoisia. Tämän tutkimuksen tuloksen luotettavuuteen vaikuttaa silmämääräisen arvioinnin luotettavuus ja arvioinnin vaihtelu metsiköiden ja eri mittaajien välillä. Huonompilaatuisessa metsikössä puu on saattanut saada luokituksen “normaali”, vaikka samanlainen puu olisi saanut hyvälaatuisessa metsikössä luokituksen “oksaainen”. Tulosta Pohjois-Suomen puiden oksikkuudesta voidaan pitää

kuitenkin suhteellisen luotettavana, sillä tulosta tukee osaltaan saman osatutkimuksen tulos Pohjois-Suomen metsiköiden korkeasta latvussuhteesta, jolloin oksat siis pysyvät elossa pitkään ja kasvavat näin ollen myös paksuutta.

Istutusmänniköissä oli enemmän laatuviikoja kuin kylvö- tai luontaisesti uudistetuissa männiköissä (I). Erityisesti monivikaisten puiden osuus lisääntyi istutusmänniköissä. Tämän tutkimuksen mukaan istutusmänniköissä oli kuitenkin vähiten mutkaisuutta. Tulos on yllättävä sillä usein on ajateltu, että istutusmänniköissä taimen istutusvirheet aiheuttavat rungon alaosaan mutkan (esim. Huuri 1976). On kuitenkin muistettava, että tämän tutkimuksen tuloksissa monivikaisuuteen sisältyi usein mutkaisuutta ja monivikaisuus oli yleistä istutusmänniköissä ja näin ollen tulos istutusmänniköiden vähäisestä mutkaisuudesta on osin epävarma. Puiden oksikkuuden istutusmänniköissä ovat todenneet aikaisemmin Vuokila (1982) ja Varmola (1996), jotka suosittelivat kylvöä tai luontaista uudistamista, mikäli halutaan kasvattaa korkealaatuista tukkipuuta. Toisaalta Strand ym. (1996) mukaan uudistamismenettelmällä on vain pieni vaikutus metsikön ulkoiseen laatuun ja suurin vaikutus on metsikön tiheydellä. Käytännössä metsikön tiheys riippuu uudistamistavasta.

Rehevimmillä kasvupaikoilla puissa oli enemmän laatuviikoja kuin karummilla kasvupaikoilla, erityisesti oksikkuus ja monivikaisuus lisääntyivät rehevillä kasvupaikoilla (I). Kuitenkin syntyvällä oli suurempi vaikutus oksikkuuteen ja monivikaisuuteen kuin kasvupaikalla. Tämä saattaa johtua siitä, että aineistosta puuttuivat kaikista rehevimmät kasvupaikat, eli lehtomaiset kankaat ja lehdot, jolloin kasvupaikkojen vaihtelu ei ollut niin suurta. Aikaisemmissa tutkimuksissa rehevän kasvupaikan on havaittu lisäävän puiden oksikkuutta ja oksien paksuutta (Turkia ja Kellomäki 1987, Lämsä ym. 1990, Uusvaara 1991, Mäkinen ja Colin 1998). Toisaalta on todettu, että karuilla kasvupaikoilla runkojen hyvä laatu saavutetaan hitaan kasvunopeuden ansiosta, sillä laatu riippuu suuresti nuoruusvaiheen kasvunopeudesta (Mäkelä ym. 2000b).

Laatuvikoja oli eniten metsikön isoimmissa puissa (I). Erityisesti oksikkuutta ja monivikaisuutta oli eniten isoimmissa puissa, kun taas mutkaisuutta oli enemmän pienemmissä kokoluokissa. Selvin ero ulkoisessa laadussa puiden eri kokoluokissa havaittiin Pohjois-Suomessa, jossa vain alle 20 %:ssa valtapuista ei ollut laatuviikoja. Vastaavanlaisia tuloksia puiden välisestä ulkoisen laadun vaihtelusta eri kokoluokissa ei ole juurikaan esitetty. Puiden välinen vaihtelu ulkoisessa laadussa vaikuttaa merkittävästi kasvatettavien puiden valintaan ensiharvennusvaiheessa. Tuloksiin vikaisuuksien vaihtelusta eri kokoluokissa sisältyy epävarmuustekijänä mittaajien silmämääräinen arviointi, jolloin on saattanut käydä niin, että samassa metsikössä isompi puu on luokiteltu oksaisemmaksi, koska isommalla puulla oksat yksinkertaisesti ovat paksumpia. Silmämääräisen arvioinnin ohjeistuksen mukaan puun koko tuli ottaa huomioon oksaisuutta määritettäessä (suul. lähde Timo Siitonen 30.1.2008). Toisaalta on loogista, että metsikön valtapuu on kasvattanut suuren latvuksen ja on myös paksuoksinen, koska hyvä kasvu on edellyttänyt riittävää kasvutilaa. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että mikäli halutaan kasvattaa laadukasta tukkipuustoa, tulee puiden valintaan kiinnittää huomiota myös myöhemmissä kasvatushakuissa. Pohjois-Suomessa ollut hyvin alhainen hyvälaatuisten valtapuiden määrä tarkoittaa käytännössä sitä, että hyvälaatuisia valtapuita ei ole tarpeeksi kasvatettavaksi kiertoajan loppuun asti.

#### **5.4 Taimikonhoito ja ensiharvennus**

Taimikonhoito lisäsi metsikön aritmeettisen keskiläpimitan kasvua merkitsevästi (III). Taimikonhoidon ajoituksella oli suurin vaikutus keskiläpimitan kasvuun, mutta myös taimikon-

hoidon voimakkuus vaikutti, jolloin aikainen ja voimakas taimikonhoito johti suurimpaan keskiläpimittaan ensiharvennusvaiheessa (III). Toisaalta suuri metsikön alkutiheys hidasti läpimitan kehitystä (III). Samansuuntaisia tuloksia voimakkaan ja aikaisen taimikonhoidon positiivisesta vaikutuksesta läpimitan kehitykseen ovat saaneet aikaisemmin mm. Varmola (1996) ja Varmola ja Salminen (2004), osin samasta aineistosta kuin tässä tutkimuksessa, sekä Ruha ja Varmola (1997) ja Varmola ym. (1998). Vastaavasti viimeaikaisissa tutkimuksissa Kanadassa on todettu, että taimikonhoito nopeuttaa merkittävästi metsikön keskiläpimitan kehitystä banksinmännyllä (*Pinus banksiana* (Lamb.)) (Tong ja Zhang 2005) ja kontortamännyllä (*Pinus contorta* (Doug.) var. *latifolia* Engelm.) (Johnstone 2005).

Etelä-Suomessa taimikonhoito vähensi puiden laatuviikoja, mutta Pohjois-Suomessa vastaavaa vaikutusta ei ollut (I). Todennäköisesti tämä johtui siitä, että Pohjois-Suomessa taimikot olivat harvempia, eikä taimikonhoitotarvetta ollut. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että alhainen metsikön tiheys ja aikainen tai voimakas taimikonhoito kiihdyttävät myös oksien paksuuskasvua ja alentavat näin ollen puiden ulkoista laatua (Kellomäki ja Tuimala 1981, Kellomäki ym. 1992, Agestam ym. 1998, Varmola ja Salminen 2004, Fahlvik ym. 2005, Ulvcróna ym. 2007).

Metsikön tiheys ja taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus vaikuttivat ensiharvennuskertymään (III). Mitä tiheämmäksi metsikkö oli jätetty taimikonhoidon jälkeen, sen suurempi oli ensiharvennuskertymä. Aikainen ja lievä (valtapituus 3 metriä, 3000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen) johti 40 % suurempaan ensiharvennuskertymään verrattuna myöhäiseen taimikonhoitoon (valtapituus 7 metriä, 2000 puuta hehtaarilla). Varmolan (1982) mukaan aikainen taimikonhoito (alle 4 metrin valtapituusvaiheessa) tiheyteen 1000 puuta hehtaarilla johti samaan kokonaistilavuuteen kuin 2000 puuta hehtaarilla 6–7 metrin valtapituusvaiheessa, mutta puuston järeys oli paljon suurempi aikaisen ja voimakkaan taimikonhoidon jälkeen. Salmisen ja Varmolan (1990) mukaan tiheyden lisääntyminen aina 3000–4000 runkoon hehtaarilla asti lisäsi tilavuuskasvua, mutta puiden järeytymistä ja kohtuullista käyttöpuukertymää ensiharvennuksessa ajatellen tulisi taimikonhoito tehdä tiheyteen 2000–2200 runkoa hehtaarilla. Vastaavasti viimeaikaisissa tutkimuksissa Kanadassa on havaittu taimikonhoidon positiivinen vaikutus ainespuutilavuuteen (Tong ja Zhang 2005, Johnstone 2005).

Myöhäinen ja voimakas ensiharvennus johti suurimpaan ensiharvennuskertymään (III). Ensiharvennuksen viivästäminen 12 metrin valtapituusvaiheesta 16 metrin valtapituusvaiheeseen tai vastaavasti 10 vuodella kaksinkertaisti ensiharvennuksen ainespuukertymän (III, IV). Samansuuntaisiin tuloksiin ovat päätyneet aikaisemmin Hynynen ja Saramäki (1995) sekä Hynynen ja Arola (1999). Ensiharvennuksen viivästäminen edellyttää kuitenkin, että taimikonhoito on tehty ajallaan.

Verrattaessa ainespuukertymiä tulee ottaa huomioon tulosten suora riippuvuus käytetyistä läpimittakriteereistä: mitkä ovat olleet minimilatvaläpimitat kunkin puulajin tukille ja kuidulle, sekä käytetyt pölliin pituudet. Tässä tutkimuksessa käytettiin Suomessa yleisesti käytettyjä keskimääräisiä läpimittakriteerejä, joskin kriteerit poikkesivat hiukan toisistaan osajulkaisun III ja IV välillä, sillä IV osajulkaisun läpimittakriteerit perustuivat Metsähallituksen käytäntöihin. Mäntykuidun latvaläpimittaraja oli III osajulkaisussa 7 cm ja IV julkaisussa 6 cm. Tämä ero johtuu muutoksista käytännön metsätaloudessa, nykyään vallitsevana käytäntönä on 6 cm:n minimiläpimita, kun aikaisemmin minimilatvaläpimita mäntykuidulle oli 7 cm. Eroa läpimittakriteereissä osajulkaisujen välillä oli myös hiukan tukkipuiden minimiläpimittavaatimuksissa, IV osajulkaisussa oli pienemmät läpimittavaatimukset. Tästä syystä varsinaisten kuutiomäärien vertailun sijasta on yleensä luotettavampaa käyttää eri tutkimuksissa verrattujen vaihtoehtojen käsittelyjen välisiä suhteellisia eroja.

Ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodella lisäsi myös hakkuusta kertyviä tuloja, sillä kantorahatulojen nykyarvo (4 %:n laskentakorkokanta) suureni keskimäärin 330 €/ha toteutuneeseen tasoon verrattuna (IV). Kantohintojen vaihtelu tai laskentakorkokannan muutokset eivät ratkaisevasti vaikuttaneet eri ensiharvennustapojen väliseen kannattavuusjärjestykseen: 10 vuodella viivästetty pohjapinta-alasuositusten mukainen ensiharvennus osoittautui poikkeuksetta parhaimmaksi.

Ensiharvennuksen viivästämisellä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta kiertoajan tuotokseen, vuotuisen keskituotokseen eikä myöskään kantorahatulojen nykyarvoon, kun laskentakorkokantana käytettiin joko 2 % tai 4 % (IV). Vastaavia tutkimustuloksia kiertoajan loppuun asti ulottuvista laskelmista tuotoksesta ja tuotosta eri ensiharvennusvaihtoehdoilla ei ole aikaisemmin esitetty. Laskelmissa käytettiin kaikissa ensiharvennusvaihtoehdoissa samoja kantohintoja, jotta kannattavuusvertailu eri vaihtoehtojen välillä voitiin toteuttaa siten, että mahdolliset erot kannattavuuksissa johtuisivat ainoastaan vaihtoehtojen erilaisista hakkuukertymistä, eikä niinkään puutavaralajien yksikköhinnoista. Lisäksi samoja yksikkökantohintoja sovellettiin myös muissa harvennuksissa ja päätehakkuussa.

Käytännössä kuitenkin leimikoiden hinnoittelu pohjautuu pääsääntöisesti leimikon ominaisuuksiin, eritoten keskijäretyteen ja kokonaiskertymään. Tämä hinnoittelumekanismi toimii myös ensiharvennusleimikossa: ensiharvennusleimikosta, jossa valtapituus on esimerkiksi 16 metriä, ollaan valmiita tarjoamaan parempi kantohinta kuin ensiharvennusleimikosta, jossa valtapituus on 12 metriä. Lisäksi ensiharvennuksen, muiden harvennusten ja päätehakkuun kantohinnoissa on käytännössä eroa. Eron kantohinnoissa voidaan arvella olevan luokkaa 3–5 €/m<sup>3</sup> (suul. lähde Matti Sirén 25.1.2008). Pienin kantohinta samasta puutavaralajista maksetaan poikkeuksetta ensiharvennusleimikosta.

Tässä tutkimuksessa käytettiin samoja keskimääräisiä kantohintoja sekä kaikissa hakkuissa että kaikilla ensiharvennusvaihtoehdoilla. Mikäli viivästetystä ensiharvennuksesta olisi maksettu korkeampaa kantohintaa kuin suositusajankohtana tehdystä, korostaisi tämä entistään kannattavuuseroja viivästetyn ensiharvennuksen hyväksi. Tämä tulos on riippumaton laskentakorkokannasta. Sen sijaan viivästetyn ensiharvennuksen korkeamman kantohinnan vaikutusta koko kiertoajan kannattavuuteen ja edelleen eri vaihtoehtojen välisiin eroihin ei voida varmuudella arvioida tässä esitettyjen tulosten perusteella. Sen sijaan voidaan todeta, että kuutiomääräisissä ainespuukertymissä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja koko kiertoajan tuotosvertailussa ensiharvennusvaihtoehtojen kesken. Tämä puolestaan viittaa siihen, ettei viivästetyn ensiharvennuksen korkeampi yksikkökantohinta ainakaan heikennä koko kiertoajan mukaista kannattavuutta, kun tätä verrataan suositusten mukaisen ensiharvennusvaihtoehdon koko kiertoajan kannattavuuteen.

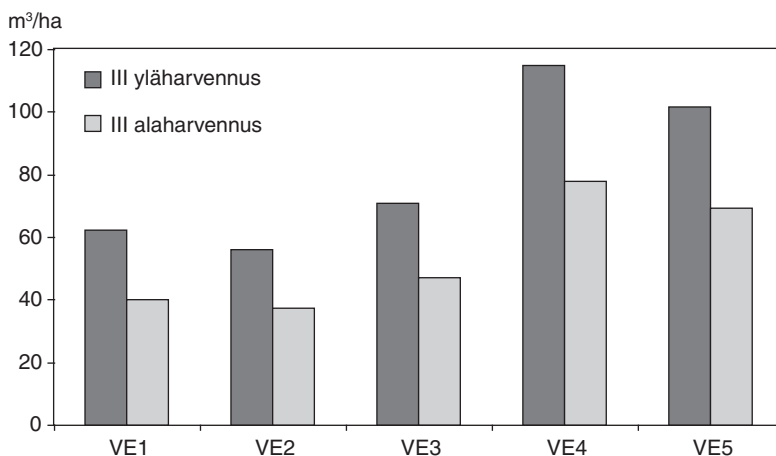
Kun tarkastellaan ensiharvennuksen voimakkuuden ja viivästäminen vaikutuksia, on erotettava kaksi seikkaa: myöhäisen ensiharvennuksen tuoma taloudellinen hyöty ja harvennuksen viivästyttämisestä tai voimakkuudesta aiheutuvat haitalliset tekijät, kuten riski tuotostappioista tai tuhoriskit. Ensiharvennuksen viivästäminen lisää hakkuutulota, koska ensiharvennuskertymä ja tukkipuuosuus suurenevät. Sen sijaan ensiharvennuksen viivästäminen metsänhoidolliset vaikutukset tulevat näkyviin metsän kehityksessä pidemmän ajan kuluessa. Tämän tutkimuksen (IV) perusteella ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodella lisää ensiharvennuskertymää ja tukkipuuosuutta, mutta ei vaikuta heikentävästi koko kiertoajan tuotokseen.

Vaikka tämän (IV) ja aiempienkin tutkimusten (Hynynen ja Saramäki 1995, Hynynen ja Arola 1999) perusteella voidaan todeta ensiharvennuksen viivästäminen olevan kannattavaa niin tuotoksen kuin tuoton suhteen, liiallisella ylitiheydellä on monia haitallisia vaikutuksia puuston jatkokehitykseen. Harventamattomissa, tiheissä metsiköissä latvussuhde pienenee metsikön ikääntyessä (Heikinheimo 1953). Harvennuksen ehkäisevän vaikutuksen män-

nyn elävän latvuksen osuuden pienenemiseen ovat tutkimuksissaan todenneet mm. Varmola (1982), Salminen ja Varmola (1990) ja Hynynen ja Saramäki (1995). Tämän tutkimuksen perusteella luonnonpoistuman osuus ei vielä kasvanut suureksi, vaikka ensiharvennusta viivästettiin 10 vuotta. Luonnonpoistuman osuus oli pieni siitäkin syystä, että tutkimusmetsiköt olivat hoidettuja ja Lapissa jopa suhteellisen harvoja mittaushetkellä.

Tehdyissä metsikön kehityssennusteissa ei ole otettu huomioon mahdollisia tuhoriskejä. Aikaisempien kotimaisten tutkimustulosten perusteella männikön myöhäinen ensiharvennus 16 metrin valtapituudella ei altistanut kasvatettavia puita lumi- tai tuulituhoille sen enempää kuin suositusajankohtana tehdyt harvennukset (Hynynen ja Arola 1999). Sen sijaan Persson (1975) ja Valinger ym. (1994) ovat todenneet tuuli- ja lumituhoriskin kasvavan tiheissä hoitamattomissa metsiköissä. Toisaalta voimakkaiden harvennusten on puolestaan todettu lisäävän tuulituhojen määrää muutama vuosi hakkuun jälkeen (Persson 1975, Laiho 1987). Tässä tutkimuksessa vaihtoehtoiset kehityssennusteet noudattivat kuitenkin varsin maltillisia metsänkäsittelyitä ensiharvennuksesta lähtien, joten myös tuhoriskien voitiin olettaa kohdentuvan samanlaisina eri käsittelyvaihtoehdoissa.

Tehdyissä ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden tarkasteluissa ei ole otettu huomioon metsikön laatua ja sen vaikutusta ensiharvennukseen tai kertymään. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan nuorissa männiköissä on paljon vikaisuuksia ja metsiköt suhteellisen harvoja (I). TINKA-aineisto sekä Metsähallituksen ensiharvennusaineisto (IV) olivat hoidettuja, suhteellisen harvoja nuoria männiköitä. Metsikön heikko ulkoinen laatu vaikuttaa puiden valintaan ensiharvennusvaiheessa, mikäli halutaan kasvattaa laadukasta tukkipuustoa. Tällöin ensiharvennus tulisikin tehdä laatuharvennuksena, jossa poistetaan myös isompia huonolaatuisia puita. Ensiharvennuskertymämallissa (III) otettiin huomioon poistettavien puiden läpimitta suhteessa metsikön läpimittaan ennen ensiharvennusta. Vuokilan (1977) mukaan tulee ensiharvennuksessa kiinnittää erityistä huomiota juuri metsikön harvennustapaan. Mikäli ensiharvennus tehdään yläharvennuksena, jolloin suurimpia puita poistetaan, kasvaa ensiharvennuksen kertymä (Kuva 14). Käytännön toteutuksena laatuharvennus ja yläharvennus ovat hyvin samankaltaisia, mutta näiden kahden menetelmän ero johtuu erilaisista tavoitteista.



**Kuva 14.** Ensiharvennuskertymän vertailu ylä- ja alaharvennuksella (III malli) eri käsittelyvaihtoehdoilla (VE1... VE5 (IV)). Yläharvennus vastaa laatuharvennusta, jolloin suurimpia huonolaatuisia puita poistetaan ensiharvennusvaiheessa. Laskennan lähtötietoina on Metsähallituksen Etelä-Suomen kuivahkon kankaan 14 metsikköä (syntytyyppä luontainen tai kylvö).

Laatuharvennuksen tavoitteena on kasvattaa hyvälaatuisia tukkipuuta, kun taas yläharvennuksen tavoitteena on lisätä välittömiä hakkuutuloja (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Laatuharvennuksen, jossa poistetaan huonolaatuisia päävaltapuita, ja yläharvennuksen ero on myös ajoituksessa, sillä laatuharvennus tulee tehdä ajoissa, jotta parempilaatuisten lisävaltapuiden latvus ei ehdi supistua liikaa (Niemistö 1994).

Käytettävissä olleista tutkimusaineistoista johtuen tässä työssä jäi selvittämättä nuorten männiköiden hoitamattomuuden vaikutukset metsiköiden kehitykseen ja ensiharvennuksen kannattavuuteen ja toteutukseen. Jatkossa olisi myös mielenkiintoista tarkastella taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta aina kiertoajan loppuun asti. Tämän tutkimuksen myötä heräsi kysymys myös metsikön järeyden ja siitä johtuvien kantohintojen vaihteluiden merkityksestä eri harvennusvaihtoehtojen kannattavuuteen koko kiertoaikana.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ KÄYTÄNNÖN METSÄTALOUTEEN

Tämän väitöskirjatutkimuksen tarkoituksena oli tutkia metsikön sijainnin, kasvupaikan, syntytavan ja metsänhoidon vaikutusta metsikön kehitykseen nuorissa männiköissä ja arvioida vaikutuksia aina ensiharvennukseen ja koko kiertoajan loppuun asti. Työssä tutkittiin nuorten tasaisten ja puhtaiden männiköiden kehitystä sekä taimikonhoidon ja ensiharvennuksen vaikutusta metsikön tuotokseen ja tuottoon. Tutkimustulosten perusteella voidaan tehdä seuraavia käytäntöön sovellettavia johtopäätöksiä:

1. Nuorten, 1970–1980-luvulla perustettujen, männiköiden tiheys on kohtalaisen alhainen. Ennen ensiharvennusta metsikön tiheys jää 37 %:ssa metsiköistä alle 1500 puuta hehtaarilla. Tämä tarkoittaa sitä, että metsikön ensiharvennuskertymä ja myös ensiharvennuksen taloudellinen kannattavuus jää näissä tapauksissa alhaiseksi.
2. Nuorissa männiköissä on paljon ulkoisia laatuviikoja. Heikko laatu yhdistettynä kohtalaisen alhaiseen tiheyteen johtaa laatuharvennustarpeeseen, mikäli halutaan kasvattaa laatu-puuta. Männiköiden alhainen tiheys mahdollistaisi ensiharvennuksen viivästämisen, jolloin ensiharvennuksen kannattavuus paranisi, mutta ensiharvennus laatuharvennuksena tulee kuitenkin tehdä ajoissa.
3. Pohjois-Suomessa nuoret männiköt ovat melko harvoja ja niissä on paljon ulkoisia laatuviikoja. Pohjois-Suomessa vain 20 % metsikön valtapuista on hyvälaatuisia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaikki kiertoajan loppuun kasvatettavat puut eivät ole hyvälaatuisia.
4. Istutusmänniköt ovat puustoltaan tasaisempia kuin kylvö- tai luontaisesti syntyneet männiköt. Istutusmänniköissä ulkoisia laatuviikoja on eniten. Puuston tasakokoisuus antaa kuitenkin mahdollisuuksia laatuharvennuksen toteuttamiseen.
5. Aikainen ja lievä taimikonhoito (valtapituus 3 metriä, tiheys 3000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen) lisää ensiharvennuskertymää 40 %:lla verrattuna myöhäiseen ja voimakkaampaan taimikonhoitoon (valtapituus 7 metriä, tiheys 2000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen). Taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta ensiharvennuksen ainespuukertymään voidaan tarkastella tässä työssä laadituilla malleilla käytännön metsäsuunnittelutilanteissa.
6. Ensiharvennuksen ainespuukertymä kaksinkertaistuu, kun ensiharvennusta viivästetään 12 metrin valtapituusvaiheesta 16 metrin valtapituusvaiheeseen tai vastaavasti 10 vuodel-la. Ensiharvennuksen viivästäminen edellyttää, että taimikonhoito on tehty ajallaan eikä metsikön laatu- ja kantoaikoja tarvitse kiinnittää erityistä huomiota.
7. Ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodel-la lisää ensiharvennuksen kantorahatuloja 65 % (330 €/ha, 4 %:n laskentakorkokannalla). Kantohintojen vaihtelu tai laskentakorkokannan muutokset eivät heikennä ensiharvennuksen viivästämisen kannattavuutta hoidetuissa nuorissa metsissä. Käytännössä viivästetyn ensiharvennuksen suhteellinen kannattavuus ensiharvennusvaiheessa voi olla tässä esitettyä suurempikin, mikäli yksikkökantohinta on

suurempi viivästetyssä ensiharvennuksessa suuremman keskijäreiden ja käyttöpuukertymän vuoksi.

8. Ensiharvennuksen viivästämisellä 10 vuodella ei ole merkittävää vaikutusta puustoltaan tasaisissa ja hyvälaatuisissa nuorissa männiköissä koko kiertoajan tuotokseen ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) tai kantorahatulosten nykyarvoon ( $\text{€}/\text{ha}$ ) 0–4 %:n laskentakorkokannoilla.

Metsänkasvatus on ketju metsänhoitotoimenpiteitä, jossa edellisillä hoitotoimenpiteillä on aina vaikutusta seuraaviin toimiin. Viimeaikainen laaja selvitys uudistamistuloksen laadusta osoitti Etelä-Suomessa olevan runsaasti harvoja pieniä mäntytaimikoita, syynä tähän on luontaisen uudistamisen käyttö liian rehevillä kasvupaikoilla (Saksa ym. 2005). Näiden metsiköiden kasvatusketjua pohdittaessa voidaan hyödyntää nyt saatuja tuloksia ja laadittuja kasvumalleja. Lisäksi metsänkasvatuksen tavoitteet vaikuttavat suuresti metsänhoitotoimien toteutukseen. Tässä työssä saadut tulokset nuorten männiköiden vikaisuuksista korostavat laatuharvennuksen tarpeellisuutta, mikäli tavoitteena on hyvälaatuisen sahapuutavaran tuottaminen. Mikäli metsikön ulkoiseen laatuun ei tarvitse kiinnittää erityistä huomiota ja lähtötilanteena on hoidettu nuori kasvatusmetsä, kannattaa ensiharvennusta viivästyttää.

## KIRJALLISUUS

- Aaltonen, V.T. 1934. Metsänhoito-opin alkeet. 260 s.
- 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.
- Andersson, B. 1993. Lövträdens inverkan på små tallars (*Pinus sylvestris*) överlevnad, höjd och diameter. SLU, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter 36. 36 s.
- Andersson, S.O. 1985. Treatment of young mixed stands with birch and conifers. Julkaisussa: Hägglund, B. & Peterson, G. (toim.). Broadleaves in boreal silviculture - an obstacle or an asset? SLU, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter nr 14. s. 127–161.
- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study - Studies in the Organic Production, Structure, Increment and Yield of Forest Stands. Pergamon Press. Oxford. 506 s.
- Borg, A. 1931. Metsänviljelys. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio, 7. lisätty painos. s. 77–84.
- 1938. Metsänviljelys. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio, 8. painos. s. 54–59.
- Bruce, D. & Wensel, L.C. 1987. Modelling forest growth; Approaches, definitions and problems. Julkaisussa: Ek, A.K., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (toim.). Forest growth and prediction. Vol 1. Proceedings of the IUFRO Conference, August 23–27, 1987. Minneapolis, Minnesota, USA. USDA Forest Service, North Central Forest Experimental Station. General Technical Report NC-120: 1–8.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. & Bailey, R.L. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons. 333 s.
- Eerikäinen, K. 2002. A site dependent simultaneous growth projection model for *Pinus kesiya* plantations in Zambia and Zimbabwe. *Forest Science* 48(3): 518–529.
- Eerola, S. 1983. Tyypilannoituksen vaikutus nuoren männikön kehitykseen puolukkatyypillä. Metsänhoitotieteen laudaturtyö yleistä metsätutkimtoa varten. Opinnäytetyö. Helsingin yliopisto. 39 s + liitteet.
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsrimeres effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. SLU, Institutionen för skogsproduktion. Rapport nr 42. 135 s.
- Fahlvik, N., Ekö, P.M. & Pettersson, N. 2005. Influence of precommercial thinning grade on branch diameter and crown ratio in *Pinus sylvestris* in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 243–251.
- & Nyström, K. 2006. Models for predicting individual tree height increment and tree diameter in young stands in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(1): 16–28.
- Fang, Z., Bailey, R.L. & Shiver, B.D. 2001. A multivariate simultaneous prediction system for stand growth and yield with fixed and random effects. *Forest Science* 47(4): 550–562.
- Fryk, J. 1984. Tillstånd och production i röjda ungskogar med låga stamantal. En studie utförd på AB Iggesunds bruks marker i Hälsingland. SLU, Institutionen för skogsproduktion. Rapport nr 13. 248 s. + liitteet.
- Gustavsen, H.G., Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet -suunnitelmat, mittausmenetelmät ja aineistojen rakenteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 292. 212 s.

- Haara, A. 2005. The uncertainty of forest management planning data in Finnish non-industrial forestry (Väitöskirja). *Dissertationes Forestales* 8. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, 34 s. + 5 osajulkaisua.
- Hakkila, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75(1). 60 s.
- Hall, D.B. & Bailey, R.L. 2001. Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *Forest Science* 47(3): 311–321.
- & Clutter, M. 2004. Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics* 60: 16–24.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Jalkanen, R. & Mäkitalo, K. 2004. Metsänviljelyn onnistuminen Lapin yksityismetsissä vuosina 1984–1995. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2004: 3–20.
- Heikinheimo, O. 1944. Metsänhoito. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio, 10. painos. s. 54–72.
- 1947. Metsänhoito. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio, 11. painos. s. 51–69.
- 1951. Metsänistutukset huokeammiksi ja yleisemmiksi. *Metsälehti* 45: 1–2.
- 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 41(5): 1–39.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma. KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Hokajärvi, T. (toim.) 1997. Metsänhoito-ohjeet. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 10. 58 s.
- Huuri, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä - tiedustelun tuloksia. *Folia Forestalia* 265. 22 s.
- , Lähde, E. & Huuri, L. 1987. Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen. *Folia Forestalia* 685. 48 s.
- Huuskonen, S., Ojansuu, R. & Hynynen, J. 2004. Ensiharvennuksen toteutuksen vaikutus metsikön tuotokseen ja tuottoon. *Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja* 53. 56 s.
- Hynynen, J. & Saramäki, J. 1995. Ensiharvennuksen viivästymisen ja harvennusvoimakkuuden vaikutus nuoren männikön kehitykseen. *Folia Forestalia -Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 99–113.
- & Arola, M. 1999. Ensiharvennusajankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen kannattavuuteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 5–23.
- & Niemistö, P. 2001. Kannattava puuntuotanto - tavoitteellista metsänhoitoa vai taloudellista optimointia. *Metsätieteen aikakauskirja* 2001(1): 45–49.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, H. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 835. 116 s.
- Hyppönen, M. & Hyvönen, J. 2000. Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapin yksityismetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2000: 589–602.
- & Kemppe, T. 2002. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus männyn siemenpuualan taimettumiseen Etelä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2002: 19–27.
- , Hyvönen, J., Mäkitalo, K., Riissanen, N., Sepponen, P. 2001. Maanmuokkauksen vaikutus luontaisesti uudistetun mäntytaimikon kehitykseen Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2001: 5–18.

- , Hyvönen, J. & Valkonen, S. 2002. Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen Lapin yksityismetsissä 1960-, 1970- ja 1980-lukujen siemenpuuhakkuissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 559–574.
- , Alenius, V., Valkonen, S. 2005. Models for the establishment and height development of naturally regenerated *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 347–357.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja 22/2006. 100 s.
- Hyttiäinen, K. & Tahvonen, O. 2002. Economics of forest thinning and rotation periods for Finnish conifer cultures. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 274–288.
- Hämet-Ahti, L., Palmén, A., Alanko, P. & Tigersted, P.M.A. 1992. Suomen puu- ja pensaskasvio. 2. uudistettu painos. 373 s.
- Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut. Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. *Acta Forestalia Fennica* 15. 94 s.
- Johnsen, K., Samuelson, L., Teskey, R., McNulty, S. & Fox, T. 2001. Process models as tools in forestry research and management. *Forest Science* 47(1): 2–8.
- Johnstone, W.D. 2005. The effects of juvenile spacing on 7-year old Lodgepole pine in Central British Columbia. *Western Journal of Applied Forestry* 20(3): 160–166.
- Kalela, E.K. 1945. Metsät ja metsien hoito. 368 s.
- Kangas, A. 2001. Mallien käyttö. Julkaisussa: Maltamo, M. & Laukkanen, S. (toim.). Metsää kuvaavat mallit. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. *Silva Carelica* 36. s. 223–239.
- & Päivinen, R. 1994. Metsän mittaus. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. *Silva Carelica* 27. 172 s.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/1999. 38 s.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. Lisää hyvinvointia monimuotoisista metsistä. Maa- ja metsätalousministeriö 31.1.2008. 52 s.
- Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. 116 s.
- Kauttu, K. 1971. Metsänviljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja 16. uudistettu painos. s. 122–135.
- Kellomäki, S. 1984. Havaintoja puuston kasvatustiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. *Silva Fennica* 18: 101–114.
- 1988. Metsänhoito. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. *Silva Carelica* 8. 403 s.
- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. *Folia Forestalia* 478. 27 s.
- , Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatukskasvatus. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Keskimölä, A., Heikkinen, E. & Keränen, K. (toim.) 2007. Pohjois-Suomen metsänhoitosuositukset 2007. Metsäkeskus. 58 s.
- Kinnunen, K. 1993. Männyn kylvön ja luontaisen uudistamisen näkymät. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Seinäjoella 1993. s. 27–35.
- 2001. Viljelymentelmät. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 139–147.

- & Linnimäki, J. 1977. Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa. *Folia Forestalia* 329. 32 s.
- & Mäki-Kojola, S. 1980. Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa. *Folia Forestalia* 449. 18 s.
- & Nerg, J. 1982. Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä. *Folia Forestalia* 535. 16 s.
- & Nerg, J. 1983. Istutustaimikoiden tila 11–12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä. *Folia Forestalia* 546. 20 s.
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine after release in Southern Finland. *Silva Fennica* 27(3): 179–194.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 51(8). 49 s.
- Korhonen, K.T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Pitkänen J. & Tuomainen, T. 2006. Suomen metsävarat 2004–2005. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2006: 183–221.
- Kubin, E. 2001. Luontaiset taimettamismenetelmät. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). *Onnistunut metsänuudistaminen*. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 134–138.
- Kuusipalo, J. 1996. Suomen metsätyypit. Kirjayhtymä Oy. 144 s.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. 451 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Laiho, O. 1987. Metsiköiden alttius tuulituhoille Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 706. 24 s.
- Lampola, S. 1991. Kasvatustiheyden ja lannoituksen vaikutus kylvömännikön tuotokseen ensiharvennukseen mennessä. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ maatalous- ja metsätieteiden kandidaatin tutkintoa varten*. Helsingin yliopisto. 45 s. + liitteet.
- Lappalainen, M. 2003. Ensiharvennusten metsänhoidollinen tila ja siihen vaikuttavat tekijät Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. 56 s. + 2 liitettä.
- Lehto, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. *Acta Forestalia Fennica* 66(2). 106 s.
- 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuuspuumenetelmässä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(4). 140 s.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. & Wolfinger, R.D. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 633 s.
- Lämsä, P., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1990. Nuorten mäntyjen oksikkuuden riippuvuus puuston rakenteesta ja kasvupaikan viljavuudesta. *Folia Forestalia* 746. 22 s.
- Mattila, S. 2001. Koneellisten ensiharvennusten metsänhoidollinen tila, siihen vaikuttavat metsikkötekijät ja niiden arviointimenetelmät Metsähallituksen mailla. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. 81 s. + 11 liitettä.
- Mattila, S., Hallman, E., Hokajärvi, T., Leinonen, K. & Puttonen, P. 2002. Koneellisten ensiharvennusten metsänhoidollinen tila - kesän 2000 maastoinventoinnin tulokset. *Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja* 45. 58 s.
- McCulloch, C.E. & Searle, S.R. 2001. Generalized, linear and mixed models. John Wiley & Sons. New York. 325 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2003. Metsäntutkimuslaitos. 385 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2006. Metsäntutkimuslaitos 438 s.

- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 776. 22 s.
- & Valkonen, S. 1995. Kaksijaksoisen kuusi-koivu -sekametsikön kasvu. The growth of two-storied spruce and birch mixed stand. *Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 81–97.
- Montero, G., Cañellas, I., Ortega, C. & Del Rio, M. 2001. results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain). *Forest Ecology and Management* (145): 151–161.
- Munro, D.D. 1974. Forest growth models - a prognosis. Julkaisussa: Fries, J. (toim.). Growth models for tree and stand simulation. IUFRO Working party S4.01-4 Proceedings of meetings in 1973. Royal college of forestry. Department of forest yield research. Research notes 30: 7–21.
- Mäkelä, A., Landsberg, J., Ek, A.R., Burk, T.E., Ter-Mikaelian, M., Ågren, G.I., Oliver, C, D. & Puttonen, P. 2000a. Process-based models for forest ecosystem management: current state of the art and challenges for practical implementation. *Tree Physiology* 20: 289–298.
- , Mäkinen, H., Vanninen, P., Hynynen, J., Kantola, A. & Mielikäinen, K. 2000b. Männiköiden tuotoksen ja laadun ennustaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 794. 89 s.
- Mäkinen, H. 1996. Effect of intertree competition on branch characteristics of *Pinus sylvestris* families. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 129–136.
- 1999. Effect of stand density on radial growth of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1216–1224.
- & Colin, F. 1998. Predicting branch angle and branch diameter of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1686–1696.
- & Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* (201): 311–325.
- , Hynynen, J. & Isomäki, A. 2005. Intensive management of Scots pine stands in southern Finland: First empirical results and simulated further development. *Forest Ecology and Management* (215): 37–50.
- Männiköitä harvennetaan usein liian kovalla kädellä. 28.4.2003. [WWW-dokumentti]. <http://metsavastaa.net/index.cfm?docID=7473>. [Viitattu 12.5.2003].
- Niemistö, P. 1994. Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käyttäen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1994: 19–32.
- Nikkola, A. 1985. Kasvatustiheyden ja lannoituksen vaikutus riukuvaiheen männiköiden laatuun. *Metsänhoitotieteen pro gradu -työ maatalous- ja metsätieteiden kandidaatin tutkintoa varten*. Helsingin yliopisto. 60 s + liitteet.
- Nilsson, U. & Gemmel, P. 1993. Changes in growth and allocation of growth in young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* due to the competition. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 213–222.
- Norokorpi, Y. 1983. Männyn luontainen uudistaminen Lapissa. Julkaisussa: *Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105. s. 57–71.
- Nyström, K. 2001. Growth models for young stands. Development and evaluation of growth models fore commercial forests in Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 180. 31 s. + 5 osajulkaisua.
- & Kexi, M. 1997. Individual tree basal area growth models for young stands of Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 97: 173–185.

- Nyysönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. *Acta Forestalia Fennica* 60(4). 194 s.
- Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 29(1). 169 s.
- Oinonen, E. 1956. Männiköiden luontaisen uudistumisen edellytyksistä Lapin kangasmailla eräiden taimivaroja selvittävien inventointien valossa. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* (6–7): 225–230.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärien paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. *Silva Fennica* 17(2): 143–160.
- Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. *Folia Forestalia* 346. 40 s.  
— 1991. Metsän uudistaminen. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Metsäkeskus Tapion julkaisuja 21. uudistettu painos. s. 151–165.
- Persson, P. 1975. Stormskador på skog-uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. *Rapporter och Uppsatser* 36. 294 s.
- Pettersson, N. 1992. Inverkan av planteringsförbandet på volum och struktur i tall- och granbeståndet. SLU, Institutionen för skogsproduktion. *Rapport nr 30*. 58 s.
- Pettersson, N. 1993. The effect of density after precommercial thinning on volume and structure in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 528–539.
- Pohjoismainen sahatavara. Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet. 1994. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. Föreningen Svenska Sågverksmän, Treindustriens Tekniska Forening. 64 s.
- Pukkala, T., Miina, J. & Kellomäki, S. 1998. Response to different thinning intensities in young *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 141–150.
- Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. *Folia Forestalia* 442. 28 s.
- Rautiainen, O. & Räsänen, P.K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa. *Folia Forestalia* 426. 24 s.
- Ruha, T. & Varmola, M. 1997. Precommercial thinning in naturally regenerated Scots pine stands in northern Finland. *Silva Fennica* 31(4): 401–415.
- Ruotsalainen, M. 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 51 s.
- Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. *Folia Forestalia* 637. 30 s.
- Räsänen, T., Kaila, S., Kokkila, T., Lehtonen, M., Mäkelä, A., Nikinmaa, E., Ruuska, J. & Valkonen, S. 2004. Taimikon kehityksen ja käsittelyiden simulointi. *Metsätehon raportti* 174. 37 s.
- Saksa, T. 1989. Männyn taimikoiden tila aurauksen ja äestysaloilla Etelä-Savossa. *Folia Forestalia* 733. 32 s.
- , Nerg, J. & Tuovinen, J. 1990. Havupuutaimikoiden tila 3–8 vuoden kuluttua istutuksesta tuoreilla kankailla Pohjois-Savossa. *Folia Forestalia* 753. 30 s.
- , Kankaanhuhta, V., Kalland, F. & Smolander, H. 2005. Uudistamistuloksen laatu Etelä-Suomen yksityismetsissä ja keskeisimmät kehittämiskohteet. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2005: 67–73.
- Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyyppin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. *Folia Forestalia* 752. 29 s.

- & Varmola, M. 1993. Influence of initial spacing and planting design on the development of young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Silva Fennica* 27(1): 21–28.
- , Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49: 103–113.
- Sarvas, R. 1949. Siemenpuuhakkuu männikön uudistushakkuuna Etelä-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(5). 43 s.
- 1964. Havupuut. WSOY. 531 s.
- Siipilehto, J., Sarkkola, S. & Mehtätalo, L. 2007. Comparing regression estimation techniques when predicting diameter distributions of Scots pine on drained peatlands. *Silva Fennica* 41(2): 333–349.
- Sirén, G. 1956. Männyn taimistojen käsittelystä. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 1: 5–12.
- Skogsstatistisk årsbok 2007. Skogstyrelsen. 345 s.
- Snijders, T.A.B. & Bosker, R.J. 1999. Multilevel analysis. An introduction to basic and advanced multilevel modeling. SAGE Publications Inc., London. 266 s.
- Suomen Tilastollinen Vuosikirja 2003. Tilastokeskus. Vol. 98. 704 s.
- Strand, S., Sines, H. & Dietrichson, J. 1996. Tømmerkvalitet - naturlig foryngelse eller planting av furu (*Pinus sylvestris*). Summary: Timber quality - natural regeneration or planting of Scots pine (*Pinus sylvestris*). Rapport fra Skogforsk 5/97: 1–11.
- Takala, P. 1978a. Metsänviljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja, 18. uudistettu painos. s. 124–136.
- Takala, P. 1978b. Taimikon hoito. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja, 18. uudistettu painos. s. 137–143.
- Tham, Å. 1988. Stand volume functions for young mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) silver birch (*Betula pendula* Roth) and European birch (*Betula pubescens* Ehrh.). SLU, Institutionen för skogsproduktion. Rapport nr 22. 16 s.
- Tong, Q.J. & Zhang, S.Y. 2005. Impact of initial spacing and precommercial thinning on jack pine tree growth and stem quality. *The Forestry Chronicle* 81(3): 418–428.
- Turkia, K. & Kellomäki, S. 1987. Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimittaan. *Folia Forestalia* 705. 16 s.
- Ulvcrona, K. A., Claesson, S., Sahlén, K. & Lundmark, T. 2007. The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*. *Forestry* 80(3): 323–335.
- Uusvaara, O. 1991. Havaintoja nuorten istutusmänniköiden oksikkuudesta ja puuaineen laadusta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 377. 56 s.
- Valkonen, S. 1997. Viljelykuusikoiden alkukehityksen malli. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1997: 321–347.
- 2005. Metsän uudistaminen. Julkaisussa: Rantala, S. (toim.). Metsäkoulu. 5. täysin uudistettu laitos. Metsäkustannus Oy, Helsinki. s. 55–80.
- Valinger, E., Lundqvist, L. & Brandel, G. 1994. Wind and snow damage in a thinning and fertilisation experiment in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(2): 129–134.
- , Elfving, B. & Mörling, T. 2000. Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management* (134): 45–53.
- Valtakunnan metsien 10. inventointi. Maastotyön ohjeet 2006. Koko Suomi. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. Moniste. 105 s.
- Valtanen, J. 1984. Männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuudet. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Oulussa 1984. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 158: 37–50.

- 1985. Muokattujen alueiden luontainen taimettuminen Keski-Pohjanmaalla. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 28.11.1985. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206. s. 58–67.
- 1998. Männy luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 693. 77 s.
- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests. CAB International. Wallingford, England. 312 s.
- Varmola, M. 1980. Männy istutustaimistojen ulkoinen laatu. *Folia Forestalia* 451: 1–21.
- 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. *Folia Forestalia* 524: 1–31.
- 1993. A stand model for early development of Scots pine cultures. *Folia Forestalia* 813. 43 s.
- 1996. Nuorten viljelymänniköiden tuotos ja laatu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 585. 70 s + 6 liitettä.
- 2001. Taimikonhoito. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 169–177.
- & Salminen, H. 2004. Timing and intensity of precommercial thinning in *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 142–151.
- , Kolström, T. & Mehtätalo, E. 1998. The effect of release cutting on the growth and external quality of the dominant trees in a *Pinus sylvestris* stand established by spot sowing. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 151–159.
- Vestjordet, E. 1977. Avstandsregulering av unge furu- och gran-bestand: I: Materiale, stabilitet, dimensjonsfordeling, m.v. Summary: Precommercial thinning of young stands of Scots pine and Norway spruce: I: Data, stability, dimension distribution, etc. *Meddelser fra Norsk Institutt for Skogforskning* 33: 309–436.
- Vuokila, Y. 1960. Männy kasvusta ja sen vaihteluista harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(7). 38 s.
- 1962. The effect of thinnings on the yield of pine and birch stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 55(12). 11 s.
- 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. *Folia Forestalia* 141. 37 s.
- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. *Folia Forestalia* 298. 17 s.
- 1980. Metsän kasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. 256 s.
- 1981. Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen. *Folia Forestalia* 468. 13 s.
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. *Folia Forestalia*. 523. 55 s.
- 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s.
- Wallenius, T. 2007. Lapista löytyi ennätysvanha mänty. 6.8.2007. <http://www.metla.fi/tiedotteet/2007/2007-08-06-vanhin-puu.htm>. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 9.2.2008].
- Yli-Vakkuri, P. 1961. Tutkimuksia männy kylvöalojen metsittymisvaiheesta. *Acta Forestalia Fennica* 74. 47 s.
- , Räsänen, P.K. & Solin, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 2. 92 s.