



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1993

813

Martti Varmola

VILJELYMÄNNIKÖIDEN ALKUKEHITYSTÄ KUVAAVA  
METSÄKÖMALLI

A stand model for early development of Scots pine cultures

# FOLIA FORESTALIA

---

## **Julkaisija — *Publisher***

Metsäntutkimuslaitos  
*The Finnish Forest Research Institute*

## **Toimitus — *Editors***

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland  
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

## **Toimituskunta — *Editorial Board***

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, Eino Mälkönen

## **Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope***

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

*Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.*

## **Tilaukset — *Subscriptions***

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle. *Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.*

FOLIA FORESTALIA 813

**Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1993**

---

Martti Varmola

VILJELYMÄNNIKÖIDEN ALKUKEHITYSTÄ KUVAAVA  
METSIKKÖMALLI

A stand model for early development of Scots pine cultures

*Approved on 1.9.1993*

Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. *Folia Forestalia* 813. 43 p.

Tutkimuksessa esitetään mallit männyn viljelytaimikoiden puustotunnusten kehitykselle syntyhetkestä 10 metrin valtapituudelle tai 40 vuoden iälle asti. Tutkimusaineistona oli 100 koealaa Etelä-Suomen rannikolta Sodankylän korkeudelle saakka. Näistä 71 oli kylvetty ja 29 istutettu. Koealojen kehitystä oli kasvatietojen perusteella mahdollista seurata 15 vuoden ajan taaksepäin. Tämä kasvunlaskenta-aineisto (819 kasvujaksoa) muodosti eri mallien pääasiallisen laadinta-aineiston.

Kasvupaikan määrittämistä varten kehitettiin menetelmä pituusboniteetin ennustamiseksi valtapituuden ja sen viiden vuoden kasvun avulla. Pituusboniteettia käytettiin kasvupaikan hyvyuden kuvaajana. Valtapituuden kasvumallista johdettiin taimikoiden valtapituuden kehitys.

Kasvumallin perustaksi laadittiin kuoretoman pohjapinta-alan vuosittaista kasvua kuvaava malli. Kuoretoman pohjapinta-alan alkuarvo mallitettiin joko valtapituuden saavutettua rinnantasaa tai taimikonharvennuksen jälkeen. Runkoluvun, pituusboniteetin ja kuoretoman pohjapinta-alan avulla ennustettiin kuorellinen pohjapinta-ala. Tilavuus, keskipituus ja keskiläpimitta ennustettiin em. tunnusten ja valtapituuden kombinaatioiden avulla. Kasvumallilla voidaan simuloida istutus- ja kylvötaimikoiden kehityssarjoja eri kasvupaikoille.

Models for early development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cultures are presented. The sample consists of 100 temporary plots, of which 71 are seeded and 29 planted. Annual increments for fifteen years were measured. The data of 819 growing periods is used in analysis.

Sites are described using site indexes which are determined by dominant height and 5-year increment of dominant height. Site index estimates are compared with site indexes of forest site types. The development of dominant height is described using a 5-year increment model.

The base model describes current annual increment of basal area u.b. Initial state for growth models is given as basal area u.b., when either dominant height has reached 1.3 m or cleaning has been done. Bark, volume, mean height, and diameter models are also derived. Growth tables may be simulated for different sites and initial number of stems for planted or seeded, cleaned or uncleaned sapling stands with a dominant height of up to 10 m.

Keywords: *Pinus sylvestris*, early development, juvenile growth, growth model, basal area, site index.  
FDC 566+232+174.7 *Pinus sylvestris*.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, P.O. Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland.

ISBN 951-40-1324-7  
ISSN 0015-5543

Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

## SISÄLLYS

Käytetyt lyhenteet .....	4
1 JOHDANTO .....	5
2 TUTKIMUSAINEISTO .....	6
2.1 Metsiköiden valinta .....	6
2.2 Koelamittaukset .....	6
2.3 Metsikkötunnusten laskenta .....	7
2.4 Aineiston kuvaus .....	7
3 KASVUPAIKKOJEN LUOKITTELU .....	10
3.1 Vuokilan ja Väliahon malli .....	10
3.2 Välipituusmenetelmä .....	10
3.3 Välipituusmenetelmän laajennus .....	10
3.4 Pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus .....	11
3.5 Pituusboniteetin määrittäminen taimikossa .....	12
4 VALTAPITUUS .....	13
4.1 Kehitys rinnantasalle .....	13
4.2 Valtapituuden kehitys .....	14
5 METSIKÖN POHJAPINTA-ALAN KASVU .....	15
5.1 Lähtötilanne .....	15
5.2 Kuoreton pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnankorkeuden .....	15
5.3 Kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen .....	15
5.4 Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumalli .....	16
5.5 Kuorettoman pohjapinta-alan kehitys .....	18
6 APUMALLIT .....	19
6.1 Kuorimallit .....	19
6.2 Tilavuusmalli .....	19
6.3 Keskipituusmalli .....	20
6.4 Keskiläpimittamalli .....	21
7 TAIMIKOIDEN KASVUMALLIN SOVELTAMINEN .....	22
7.1 Vuokilan ja Väliahon mallit ja taimikoiden kasvumallit .....	22
7.2 Vertailu taimikonharvennuskokeisiin .....	22
7.3 Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus puustotunnuksiin ..	23
7.4 Kasvumallilla simuloitujen kehityssarjat .....	24
8 PÄÄTELMÄT .....	24
KIRJALLISUUS — REFERENCES .....	26
SUMMARY .....	28
Symbols .....	30
LIITTEET .....	31

## KÄYTETYT LYHENTEET

a, b <sub>1</sub> , b <sub>2</sub> , c <sub>i</sub>	mallin parametreja		
b	puun kuoren paksuus, mm		
b <sub>e</sub>	systemaattinen virhe absoluuttisena	$\frac{\sum(\hat{y} - y)}{n}$	
b <sub>e%</sub>	systemaattinen virhe suhteellisena	$100 \cdot \frac{\sum(\hat{y} - y)}{n}$	
d	puun rinnankorkeusläpimitta, cm		
DD	lämpösumma (>+5 °C), dd.		
D <sub>gM</sub>	pohjapinta-alamediaaniläpimitta, cm		
G	metsikön kuorellinen rinnankorkeuspohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha		
G <sub>u</sub>	metsikön kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha		
h	puun pituus, m		
H <sub>dom</sub>	valtapituus, hehtaaria kohden sadan paksuimman puun keskipituus, m		
H <sub>dom(h)</sub>	metsikön valtapituus, kun taimikko harvennettiin, m		
	H <sub>dom(h)</sub> = 0, kun taimikkoa ei ole harvennettu		
H <sub>gM</sub>	läpimittaa D <sub>gM</sub> vastaava keskipituus, m		
H <sub>100</sub>	pituusboniteetti, valtapituus sadan vuoden iällä		
i <sub>d</sub>	puun läpimitan kasvu rinnantasalla, cm/v		
I <sub>G</sub>	kuorellisen rinnankorkeuspohjapinta-alan vuotuinen kasvu, m <sup>2</sup> /ha/v		
I <sub>Gu</sub>	kuorettoman rinnankorkeuspohjapinta-alan vuotuinen kasvu, m <sup>2</sup> /ha/v		
I <sub>V</sub>	kuorellisen tilavuuden vuotuinen kasvu, m <sup>3</sup> /ha/v		
I <sub>V&gt;1,3</sub>	pituudeltaan yli 1,3 metriä olevien puiden kuorellisen tilavuuden vuotuinen kasvu, m <sup>3</sup> /ha/v		
I <sub>Hdom(5)</sub>	valtapituuden viiden vuoden kasvu, m		
I <sub>Hdom(2,5)</sub>	valtapituuden viiden vuoden kasvu alkaen 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta, dm		
ln(x)	luonnollinen logaritmi x:stä		
n	havaintojen lukumäärä		
N	metsikön runkoluku mukaanlukien alle 1,3 metriä pitkät taimet, kpl/ha		
R <sup>2</sup>	mallin selitysaste		
s	havaintojen keskihajonta		
S <sub>e%</sub>	mallin suhteellinen keskivirhe, %,		
	logaritmimalleissa	$100 \cdot \sqrt{e^{s_f^2} - 1}$	
		$100 \cdot \sqrt{\frac{\sum\left(\frac{\hat{y} - y}{\hat{y}}\right)^2}{n - 1}}$	
s <sub>f</sub>	mallin jäännöshajonta		
s <sub>m</sub>	selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta		
ST	syntytapaa kuvaava valemuuttuja (0 = istutus, 1 = kylvö)		
T	metsikön biologinen ikä, v		
T <sub>1,3</sub>	metsikön valtapuiden rinnankorkeusikä, v		
v	puun kuorellinen tilavuus, dm <sup>3</sup>		
V	metsikön kuorellinen tilavuus mukaanlukien alle 1,3 metriä pitkät taimet, m <sup>3</sup> /ha		
V <sub>&gt;1,3</sub>	metsikön pituudeltaan yli 1,3 metriä olevien puiden kuorellinen tilavuus, m <sup>3</sup> /ha		
$\bar{x}$	havaintojen keskiarvo		
y	muuttujan mitattu arvo		
$\hat{y}$	muuttujan mallilla estimoitu arvo		

# 1 Johdanto

Suomessa on uudistettu metsää viljellen lähes 5 milj. ha. Vuosituhannen vaihtumisen jälkeen Suomen metsistä lähes 30 % on viljelymetsiköitä, pääosin männiköitä. Suuri osa on silloin vielä taimikoita ja riukuvaiheen metsiköitä, mutta vanhimmat ovat jo lähellä päätehakkuuvaihetta. Niiden puuntuotannollinen merkitys tulee olemaan pinta-alaosuuttaan suurempi, painottuvathan viljelyt ja etenkin istutukset keskimääräistä paremmille kasvupaikoille.

Viljelymetsiköiden kasvututkimukset Suomessa rajoittuivat E.K. Cajanderin (1933) Etelä-Suomen viljelykuusikoiden kehitystä ja Kallion (1960) Etelä-Suomen harventamattomien kylvö-männiköiden rakennetta ja kehitystä selvittäneisiin tutkimuksiin, kunnes Vuokila & Väliaho (1980) julkaisivat viljeltyjen havupuumetsiköiden kasvatusmallit, jotka käsittävät metsiköiden kehityksen riukumetsävaiheesta päätehakkuuseen. Tässä matemaattisiin malleihin perustuvassa tutkimuksessa on esitetty laajat kasvu- ja tuotos-taulukot erilaisille harvennusohjelmille.

Suomessa on tutkittu runsaasti metsien uudistamisen onnistumista. Metsänviljelyn osalta tuloksia on tarkasteltu kirjallisuuskatsauksessa (Karjula ym. 1982). Eri tutkimukset ovat keskittyneet joillekin metsänuudistamisen osa-alueille ja maantieteellisesti rajatuille alueille. Koko maata koskevaksi tarkoitettu valtakunnan metsien uudistamisen inventointikin rajoittui kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueelle (Räsänen ym. 1985). Turvemaiden osalta vastaavat tulokset on esittänyt Peltonen (1986). Tutkimuksissa pääpaino on ollut uudistamistuloksen arvioinnissa eikä niinkään taimikoiden puustotunnusten kuvaamisessa. Lähinnä on kuvattu keskipituuden kehittymistä ja aikaa, joka kuluu yhden tai kahden metrin keskipituuden saavuttamiseen. Suojametsäalueen viljelytaimikoita koskevassa tutkimuksessa (Pohtila & Timonen 1980) on lyhyesti käsitelty myös taimikoiden iän mukaista tilavuuskehitystä.

Metsänviljelyketjujen laskentamalleissa (Hämäläinen ym. 1985, Parviainen ym. 1985) taimikoita kasvatetaan viiden metrin pituusvaiheeseen asti. Taimikoiden pituuskehitys on Parviaisen ym. (mt.) laskentaohjelmassa kuvattu Etelä-Suomessa tehtyjen käytännön uudistusalojen inventointitutkimusten perusteella ja Metsätehon laskentajärjestelmissä (Hämäläinen ym., mt.) Anderssonin

& Björkdahlin (1984) perkaustutkimuksen malleilla.

Kestokokeisiin perustuvia tuloksia taimikonharvennuksen vaikutuksista puustotunnusten kehittymiseen ovat esittäneet Parviainen (1978), Varmola (1982) ja Salminen & Varmola (1990). Nämäkin tutkimukset keskittyvät vain lyhyehköön ajanjaksoon nuoren metsän kehityksessä. Kylvötuppaiden harventamista on selvitetty Sirén (1956), joka myös laati luokituksen erilaisille kylvötuppastyypeille. Kinnunen (1986) on esittänyt esituloksia erilaisten harvennustapojen vaikutuksista tuppaiden kehittymiseen. Istutustaimikoiden laadullisia ominaisuuksia on viime aikoina tutkittu runsaasti (esim. Varmola 1980, Huuri ym. 1984, Kaunisto & Tukeva 1986), mutta näissäkin tutkimuksissa on vain sivuttu taimikoiden puustotunnusten kehittymistä.

Viljelytaimikon kehityksessä voidaan erottaa seuraavat vaiheet: istutus tai kylvö, runkolukumuutokset viljelytaimien lukumäärän vähentyessä ja luontaisesti syntyneiden taimien täydentäessä taimikkoa, hoitotoimenpiteiden eli perkauksen ja harvennuksen vaikutus sekä puuston kehitys. Suomalaisissa kasvu- ja tuotostutkimuksissa metsiköiden varhaiskehitys on yleensä jäänyt kuvaamatta. Ainoastaan metsälaskelmassa (MELA), jossa puustoa kasvatetaan puu puulta, mallit kattavat koko kiertoajan. MELAssa on kuvattu uusien puiden luontainen syntyminen, puiden kasvu pituuden ja läpimitan kasvumallin avulla ja puiden luontainen kuoleminen. Pituuskasvu on kuvattu jokaiselle puulle rinnankorkeuden saavuttamiskäntä ja sen jälkeen viiden vuoden pituuskasvuna (Ojansuu ym. 1991).

Kasvu- ja tuotostaulukoiden lähtökohdaksi on määrätynyt riukumetsävaihe monien tekijöiden tuloksena. Luontaisesti syntyneissä taimikoissa uusien puiden syntyminen ja tiheydestä aiheutuva kuoleminen merkitsevät runkoluvun suurta vaihtelua, ennen kuin metsikkö vakiintuu. Riukumetsävaiheessa valtapituuden ja pohjapinta-alan vuotuinen kasvu saavuttaa maksimin, ja sen jälkeisen ajan kuvaaminen matemaattisilla malleilla on helpompaa kuin koko kiertoajan kehityksen kuvaaminen. Riukumetsävaiheen valintaan kasvu- ja tuotostaulukoiden lähtökohdaksi on osittain vaikuttanut ainakin Suomessa myös se, että metsien uudistamisen tutkimus on perinteisesti kuulunut metsänhoidon kenttään ja met-

siköiden myöhemmän kehityksen tutkiminen metsänarvioimistieteeseen.

Viljelymetsätaloutta varten tarvitaan entistä tarkempaa tietoa metsiköiden kehityksestä. Etenkin nopea järeytyminen ja kiertoaikojen lyhentyminen lisäävät taimikkovaiheen kehityksen tuntemisen tärkeyttä. Metsikön puustotunnusten kuvaaminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa on tärkeää, jotta voidaan ennustaa metsikön myöhempi kehitys.

Tutkimuksen tavoitteiksi asetettiin viljelymänniköiden kehityksen kuvaaminen syntyhetkestä 10 metrin valtapituudelle asti, istutus- ja kylvömanniköiden kasvun ja kehityksen vertaaminen, taimikonharvennuksen vaikutusten tutkiminen ja kehityssarjojen esittäminen taimikko- ja riukumetsävaiheelle. Tutkimus täydentää siten olemassa olevia viljelymänniköiden kasvumalleja (Vuokila & Väliaho 1980), joissa päähuomio on ensiharvennuksen jälkeisessä kehityksessä.

Tutkimus liittyy Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnan (nykyisen metsänkasvatuksen tutkimusosaston) viljelymetsikkötutkimuksiin, jotka aloitettiin heti uuden tutkimussuunnan perustamisen jälkeen vuonna 1969. Tutkimuksen suunnitteli myös taimikoiden osalta prof. Yrjö Vuokila. Käytännön toteutuksesta huolehti silloinen metsänhoitaja Jouko Laasasenaho. Aineiston esikäsittelystä lähinnä varttuneiden viljelymänniköiden kasvatusmallien lähtökohtatilannetta varten huolehti Laasasenahon lisäksi VTL Timo Pekkonen. Olen saanut käyttööni valmiiksi tarkistetun aineiston, joka on osoittautunut vielä yli 15 vuotta aineiston keräämisen jälkeen erinomaiseksi. Opinnäytteenä julkaistun käsikirjoituksen (Varmola 1987) ovat lukeneet MML Hans G. Gustavsen, VTK Jaakko Heinonen, MMK Antti Isomäki, prof. Pekka Kilki, apul. prof. Laasasenaho, prof. Kari Mielikäinen, MMK Risto Ojansuu, prof. Simo Poso, dos. Hannu Saarenmaa, MMT Liisa Saarenmaa ja prof. Vuokila. Kaikilta heiltä olen saanut varteenotettuja huomautuksia työni suhteen. Englanninkielisen asun on tarkastanut BA Richard Foley. Lausun parhaat kiitokseni kaikille tutkimukseen myötävaikuttaneille henkilöille.

## 2 Tutkimusaineisto

### 2.1 Metsiköiden valinta

Tutkimuksen tarkoituksena oli viljelytaimikoiden ja taimien varhaiskehityksen tutkiminen erilaisissa kehitysolosuhteissa. Tutkimusalueena oli koko maa suojametsäaluetta lukuunottamatta ja perusjoukkona viljellyt taimikko- ja riukuvaiheen männiköt. Otanta rajoitettiin varttuneisiin taimikoihin ja riukumetsiin; aineiston keräämisen alkuperäiseksi tarkoitukseksi oli määritelty sen käyttö varttuneiden viljelymänniköiden kasvatusmallien lähtöpuustojen arviointiin (Vuokila & Väliaho 1980).

Tutkimuksen aineisto kerättiin neljän kenttäkauden aikana vuosina 1968–71. Työ aloitettiin Etelä-Suomesta ja sopivia kohteita etsittiin myöhemminä vuosina maan pohjoisimmista osista saakka. Otanta keskitettiin männyn metsätaloudellisesti tärkeille kasvupaikoille. Kylvö- ja istutusmänniköistä pyrittiin valitsemaan sekä harventamattomia että harvennettuja taimikoita. Harventamattomissa sallittiin kuitenkin perkaus, kunhan pääpuulajin taimia ei ollut harvennettu. Harvennukselta piti olla kulu- nut vähintään kolme vuotta. Harvennuksen tuli olla tapahtunut varhain, 1–2 metrin mittaisena. Viljelytiheyden tuli vaihdella mahdollisimman paljon.

### 2.2 Koealamittaukset

Metsiköistä selvitettiin seuraavat tunnusukset:

- metsätyyppi
- syntytyapa
- viljelytiheys
- ikä
- valtapituus
- rinnankorkeusikä
- taimikonkäsittelystä kulunut aika ja käsittelytapa
- poistuman runkoluku
- sijaintitiedot

Viljelytiheys mitattiin 3–4 tyyppisimmästä kohdasta erikseen rivi- ja taimivälinä. Metsikön ikä selvitettiin vuosikasvaimesta laskemalla ja puiden tyviltä kairaamalla. Tulokset varmistettiin maanomistajaa haastatteleamalla. Rinnankorkeusikä laskettiin koeuiden aritmeettisena keskiarvona. Taimikonkäsittelystä kulunut aika selvitettiin maanomistajalta ja mahdollisten lehtipuun kantojen avulla. Poistuman runkoluku laskettiin prosenttina puiden ja kantojen luvun jälkeen. Metsikön sijaintitietoina selvitettiin leveys- ja pituusaste sekä korkeus meren pinnasta.

Koemetsikköön rajattiin suorakaiteen muotoinen koeala, jonka tuli sisältää ainakin 200 tainta (istutus) tai taimiryhmää (kylvö). Koealan sivujen tuli kulkea istutus-



tai kylvörievien keskiväliltä, milloin rivit olivat selvästi havaittavissa. Koelan paikaksi valittiin tasainen, onnistunut kohta, jossa luonnontaimien osuuden tuli olla mahdollisimman vähäinen.

Puut luettiin 1 cm:n tasaavin luokin. Rinnankorkeutta lyhyemmät taimet laskettiin erikseen. Kuuset ja lehtipuut luettiin omia ryhminään. Männyt jaettiin kehityskelpoisiin ja -kelvottomiin. Kylvötäimikossa vain taimiryppään voimakkain taimi saattoi olla kehityskelpoinen. Myös luonnontaimi saattoi olla kehityskelpoinen, ei kuitenkaan koepuu.

Runkolukujakauman mittauksen yhteydessä valittiin ja merkittiin systemaattisesti 40 tainta tai taimiryvästä. Merkityistä puista puolet valittiin koepuiksi siten, että ne edustivat koko runkolukusarjaa ja koelaa sijainniltaan. Kehityskelpoisista koepuista mitattiin seuraavat tunnusluvut:

- pituus, dm
- rinnankorkeusläpimitta ristikkään, mm
- kuoren paksuus vastakkaisilta puolilta, mm
- elävän latvuksen alaraja, dm
- ikä
- rinnankorkeusikä
- kehityskelpoisuus
- pituuskasvut vuosittain (maksimi 15 v), cm
- mittaavuoden vajaa pituuskasvu, cm
- sädekasvu rinnantasalta (maksimi 15 v), 0,1 mm
- mittaavuoden vajaa sädekasvu, 0,1 mm

Lisäksi koepuista mitattiin osakorkeusläpimitat ristikkään millimetrin tarkkuudella seuraavilta korkeuksilta: 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ja 90 % puun pituudesta. Tietoja on käytetty pienten mäntyjen runkokäyrämallien laadinnassa (Kilkki & Varmola 1979) ja pienten mäntyjen tilavuusyhtälöiden laadinnassa (Varmola & Vuokila 1986). Koepuiden viidestä lähimmästä männystä mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys, kylvötuppaissa kuitenkin etäisyyden sijasta kirjattiin naapuripuun pituus.

### 2.3 Metsikkötunnusten laskenta

Valtapiisuuden kasvu selvitettiin pituusbonitointia varten niiden koepuiden pituuskasvujen avulla, jotka kuuluivat sadan paksuimman puun joukkoon. Muut metsikkötunnukset laskettiin koalojen peruslaskentaohjelmistolla (KPL) (Heinonen 1981). Laskennassa käytetyt tasoituskäyrät olivat:

$$\text{löpimitan kasvu: } i_d = a + b_1 \cdot d \quad (23.1)$$

$$\text{pituuskäyrä: } (h - 1,3) = d^2 / (a + b_1 \cdot d)^2 \quad (23.2)$$

$$\text{lukupuun tilavuus: } \ln(v) = a + b_1 \cdot d + b_2 \cdot \ln(2 + 1,25 \cdot d) \quad (23.3)$$

$$\text{koepuun tilavuus: } \ln(v) = a + b_1 \cdot \ln(d) + b_2 \cdot \ln(h) + b_3 \cdot \ln(h - 1,3) + b_4 \cdot d \quad (23.4)$$

$$\text{kuoren paksuus: } b = a + b_1 \cdot d \quad (23.5)$$

Koepuun tilavuutta kuvaava malli (23.4) antaa pienillä puilla harhaisen tuloksen, koska mallissa läpimitan lähestyessä nollaa tai pituuden lähestyessä 1,3 metriä myös tilavuus lähestyy nollaa. Myös malli (23.3) antaa liian pienen tilavuusestimaatin, kun läpimitta lähenee nollaa. Todellisuudessa 1,3 metrin mittaisen puun tilavuus on noin 0,2–0,3 dm<sup>3</sup> (Varmola & Vuokila 1986). Harhalla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä taimikoiden kokonaistilavuuksiin.

Maastomittauksissa erotettiin kehityskelpoiset ja -kelvottomat männyt ja puulaajeista kuuset ja lehtipuut omiksi luokikseen. Laskennassa kaikki männyt yhdistettiin kuitenkin yhdeksi luokaksi, koska homogeenisessa viljelytaimikossa taimet eivät muodosta selvää luokkia ja taimien luokittelu kehityskelpoisuuden perusteella on suuressa määrin subjektiivista. Lisäksi koepuut kuuluivat kaikki ”kehityskelpoisten” luokkaan, joten ”kehityskelvottomien” taimien metsikkötunnusten laskenta olisi ollut hankalaa.

Koalojen peruslaskentaohjelmisto on tarkoitettu lähinnä varttuneiden metsiköiden metsikkökohtaisten tulosten laskentaan. Valitsemalla läpimitan kasvun kuvaajaksi suora ja lukupuun tilavuuden kuvaajaksi logaritminen malli pyrittiin minimoimaan tasoituskäyrästä johtuvat epäloogisuudet. Pituuskäyräksi valittiin Näslundin malli, koska se aiheutti harvemmin epäjatkuvuuskohtia kuin esim. Prodanin pituusikäyriä.

KPL määrittää tilavuuden vain niille puille, joiden pituus on yli 1,3 m. Pienissä taimikoissa saattaa kuitenkin suuri osa puista olla alle rinnankorkeuden. Metsikön todellinen tilavuus tulee siten aliarvioiduksi ja vuotuinen tilavuuskasvu vastaavasti yliarvioiduksi. KPL:n laskemaan tilavuuteen tehtiin pienten puiden aiheuttama lisäys estimoimalla alle 1,3 m:n mitaisten taimien pituus eksponenttimallilla. Tilavuus laskettiin pituuteen perustavalla mallilla (Varmola & Vuokila 1986). Puiden edustama tilavuus lisättiin KPL:n vuosittain laskemaan tilavuuteen. Samoin meneteltiin jokaisena vuotena taaksepäin tarkasteltuna KPL:n runkoluvusta pois jääneiden taimien suhteen. KPL:n laskemien tilavuuksien ( $V_{s,1,3}$ ) ja myös pienet puut sisältävien tilavuuksien ( $V$ ) ero oli keskimäärin 0,17 m<sup>3</sup>/ha, suurimmillaan 2,28 m<sup>3</sup>/ha.

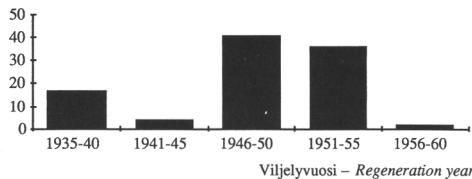
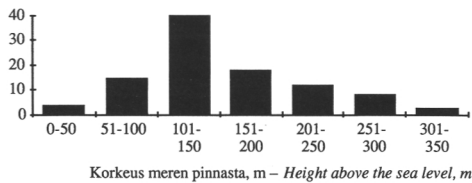
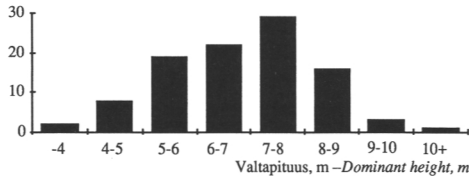
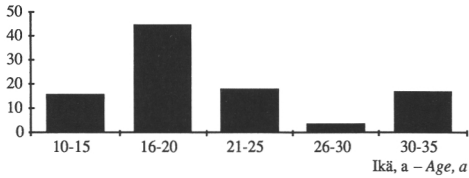
### 2.4 Aineiston kuvaus

Aineiston muodostaa 100 taimikkoa, joista 71 oli kylvetty ja 29 istutettu. 37 kylvötäimikossa oli tehty harvennus yhdistettynä usein perkaukseen. Muissa taimikonkäsitteilyä ei ollut tehty lainkaan (24) tai se oli ollut vain perkausta (10). Istutustaimikoista kolme oli sekä harvennettu että perattu, yhdeksän perattu. Sekä istutus- että kylvötäimikoista yksi oli lisäksi lannoitettu. Taimikonharvennuksesta kulunut aika vaihteli kahdesta 14 vuoteen, keskiarvona kuusi vuotta.

Taulukko 1. Koemetsiköiden kasvupaikkajakauma syntytaivoittain ja metsäkasvillisuusvyöhykeittäin.  
 Table 1. The distribution of the material on different sites according to the method of regeneration and vegetation zones.

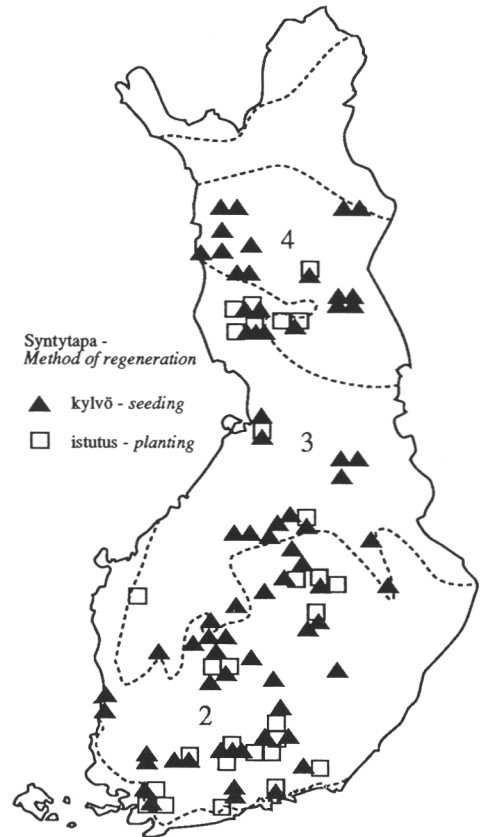
	Etelä-Suomi		Metsäkasvillisuusvyöhyke — Vegetation zone				Yhteensä — Total	
	kylvö seeding	istutus planting	Pohjanmaa–Kainuu kylvö seeding	Pohjanmaa–Kainuu istutus planting	Peräpohjola kylvö seeding	Peräpohjola istutus planting	kylvö seeding	istutus planting
Lehtomaiset kankaat <i>Rich sites</i>	–	2	–	–	–	–	–	2
Tuoreet kankaat <i>Damp sites</i>	5	8	7	4	9	3	21	15
Kuivahkot kankaat <i>Sub-dry sites</i>	28	9	14	3	7	–	49	12
Kuivat kankaat <i>Dry sites</i>	1	–	–	–	–	–	1	–
Yhteensä — Total	34	19	21	7	16	3	71	29

Metsiköiden lukumäärä –  
 Number of stands



Kuva 1. Koemetsiköiden jakauma iän, valtapiiuuden, sijaintikoikeuden ja viljelyvuoden mukaan.

Figure 1. The distribution of the study material according to age, dominant height, height above sea level, and regeneration year.



Kuva 2. Koemetsiköiden maantieteellinen jakauma. Metsäkasvillisuusvyöhykkeet: 2 = Etelä-Suomi, 3 = Pohjanmaa–Kainuu, 4 = Peräpohjola.

Figure 2. The geographical distribution of the study material. Vegetation zones: 2 = Etelä-Suomi, 3 = Pohjanmaa–Kainuu, 4 = Peräpohjola.

Taulukko 2. Koemetsiköiden metsikkötunnukset.  
Table 2. Stand characteristics of sample plots.

	$\bar{x}$	s	minimi minimum	maksimi maximum
N, kpl/ha — stems/ha	5107	4395	1327	24067
istutus — planting	3283	1095	1327	5460
kylvö — seeding	5812	4929	1594	24067
G, m <sup>2</sup> /ha	11,7	5,4	3,1	24,0
V, m <sup>3</sup> /ha	43,7	24,7	8,3	116,8
T <sub>1,3</sub> , a	13	5	5	28
T, a	21	6	12	35
H <sub>dom</sub> , m	6,8	1,4	3,7	10,1
Lämpösumma, dd	1070	180	735	1320
Temperature sum, dd				
Korkeus meren pinnasta, m	133	67	10	310
Height above sea level, m				
Koealan pinta-ala, m <sup>2</sup>	985	332	225	2000
Plot size, m <sup>2</sup>				
Viljelytiheys, kpl/ha	3260	990	1590	5930
Initial spacing, stems/ha				
Sekapuuston osuus, % N:stä				
Percentage of mixed trees	7,2	7,5	0	28,7

Yleisin kasvupaikkatyyppi on Etelä-Suomen kuivahkot kankaat (taulukko 1). Istutustaimikot keskittyvät jonkin verran rehevämille kasvupaikoille kuin kylvötaimikot yleisen uudistamiskäytännön mukaisesti.

Kun aineiston yhtenä tarkoituksena on kuvata myös varttuneiden viljelymänniköiden kasvatusmallien lähtökohtatilannetta, on luonnollista, että aineisto keskittyy ikäluokkiin 16–25 vuotta ja valtapituudelle 6–9 metriä (kuva 1). Vanhimmat taimikot sijaitsevat Pohjois-Suomessa ja Etelä-Suomen karuimmilla kasvupaikoilla (kuva 2).

Aineisto kattaa hyvin laajan alueen tiheysvaihtelun, vaikkakin viljelytiheydet poikkeavat nykyajan suosituksista (taulukko 2). Nykysuosituksia suuremmat viljelytiheydet johtuvat siitä, että aineiston suurin osa keskittyy 1940–50-luvuille (kuva 1), jolloin käytettiin yleisesti kylvöä ja noin 1,5×1,5 metrin rivi- ja taimiväliä viljelytyössä. Osittain suuret viljelytiheydet voivat aiheutua myös siitä, että koealat on rajattu taimikoiden parhaimpiin osiin. Runkoluvun keskiarvoa nostavat harventamattomat kylvötaimikot. Kehityskelpoisten taimien määrä vaihteli välillä 1300–4800 tainta/ha keskiarvon ollessa 2500 tainta/ha. Lämpösumman ja korkeusaseman mukaan taimikot kattavat vaihteluvälin eteläisimmästä Suomesta lähelle suojajametsäalueen rajaa.

Metsiköiden kehitystä oli kasvatietojen perusteella mahdollista seurata 15 vuoden ajan taaksepäin. Aineistossa on siten edustettuna taimikoiden kehitys rinnankorkeudelta alkaen. Kaikkiaan KPL:n laskentatiedoista muo-

Taulukko 3. Kasvuaineiston metsikkötunnukset.  
Table 3. Stand characteristics of the increment data.

	$\bar{x}$	s	minimi minimum	maksimi maximum
G, m <sup>2</sup> /ha	5,1	4,5	0,0	21,7
G <sub>u</sub> , m <sup>2</sup> /ha	4,1	3,7	0,0	17,6
V, m <sup>3</sup> /ha	18,0	17,0	0,3	90,9
V <sub>&gt;1,3</sub> , m <sup>3</sup> /ha	17,9	17,1	0,0	90,9
D <sub>gm</sub> , cm	5,3	2,6	0,2	13,9
H <sub>gm</sub> , m	3,9	1,5	1,3	8,1
H <sub>dom</sub> , m	4,5	1,7	1,5	9,2
I <sub>G</sub> , m <sup>2</sup> /ha/a	1,1	0,6	0,03	3,3
I <sub>G<sub>u</sub></sub> , m <sup>2</sup> /ha/a	0,9	0,5	0,02	2,6
I <sub>V</sub> , m <sup>3</sup> /ha/a	4,0	2,6	0,09	13,2
I <sub>V&gt;1,3</sub> , m <sup>3</sup> /ha/a	4,2	2,7	0,08	13,7

dostetussa aineistossa on vuoden mittaisia kasvujaksoja 819. Metsiköittäin kasvujaksot vaihtelivat harvennettu- ja kylvötaimikoiden vähimmillään kahdesta harventamattomien kylvötaimikoiden ja istutustaimikoiden enimmillään viiteentoista kasvujaksoon. Kasvunlaskenta-aineistossa valtapituuden minimi on 1,5 m, maksimi 9,2 m ja keskiarvo 4,5 m (taulukko 3). Vuotuisen tilavuuskasvun maksimiarvo, yli 13 m<sup>3</sup>/ha/v, vastaa Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan tilavuuskasvun maksimia pituusboniteetilla 30.

## 3 Kasvupaikkojen luokittelu

### 3.1 Vuokilan ja Väliahon malli

Kasvupaikat on Suomessa perinteisesti luokiteltu Cajanderin metsätyyppien mukaan (esim. Cajander 1949). Luokkamuuttujien käyttö matemaattisissa malleissa on kuitenkin ongelmallista, ja osa kasvupaikan hyvyyden antamasta informaatiosta voi jäädä käyttämättä. Esimerkiksi Etelä-Suomen kuivat kankaat kattavat pituusboniteetit 19,5–25,5 Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan. Tutkimuksessa päädyttiinkin pituusboniteettiin kasvupaikkaa kuvaavana muuttujana, koska tällöin mallituksessa päästiin jatkuvan muuttujan käyttöön.

Taimikoiden valtapituus vaihteli mittaushetkellä välillä 3,7–10,1 m. Vuokilan & Väliahon (1980) pituusboniteettimallin alarajaksi on määrätty 5,6–7,0 metriä. Taimikot olivat siten osittain tämän ikään ja valtapituuteen perustuvan mallin käyttöalueen alarajalla. Ensi vaiheessa taimikoille laskettiin pituusboniteetit em. mallilla. Pituusboniteeteiksi saatiin keskimäärin yhden luokan (=3 metriä) korkeampia arvoja kuin mitä niiden tulisi olla kasvupaikkatyyppien mukaan (Varmola 1984). Samansuuntaisia tuloksia saatiin aiemmassa taimikko- ja riukuvaiheen männiköiden harvennuksen jälkeistä kehitystä selvittäneessä tutkimuksessa (Varmola 1982), jossa suuri osa tutkimuksen VT-männiköistä luokiteltiin pituusboniteettiluokkiin 27 ja 30, kun käytettiin Vuokilan & Väliahon mallia. Se ei siten näyttänyt antavan nuorena metsikössä luotettavia tuloksia.

### 3.2 Välipituusmenetelmä

Hägglundin (1976) soveltamassa välipituusmenetelmässä riukuvaiheen taimikoiden pituusboniteetti saadaan mittaamalla valtapuiden viiden vuoden pituuskasvu alkaen 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta. Iän mitausta menetelmässä ei käytetä. Pituusboniteettiestimaatti saadaan seuraavalla mallilla:

$$\ln(H_{100}) = 3,76455 + 0,54467 \ln(I_{H_{100}(2,5)}) \quad (32.1)$$

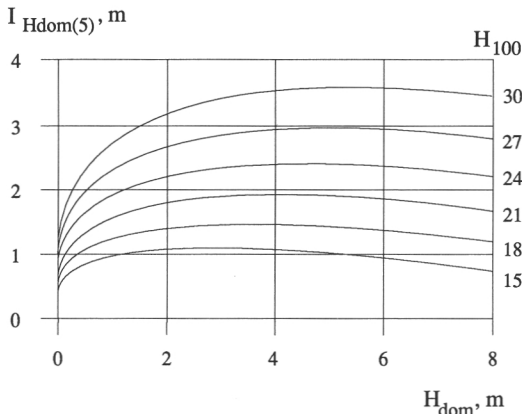
Jokaisesta koealan 20 koepuusta oli mitattu vuotuiset pituuskasvut enimmillään 15 vuotta taak-

sepäin. Näillä pituuskasvutiedoilla oli mahdollista laskea välipituusmenetelmän vaatima viiden vuoden pituuskasvu valtapuille. Kaikkiaan sadasta metsiköstä 21 metsikössä ei kuitenkaan ollut koepuita valtapuiden joukossa. Lisäksi 17 metsikössä pituuskasvuhavainnot eivät soveltuneet mallin vaatiman pituuskasvun laskentaan. Metsiköt olivat joko liian nuoria (ei riittävästi pituuskasvuhavaintoja 2,5 metrin yläpuolella) tai liian vanhoja (vähentämällä pituuskasvut ei päästy 2,5 metriin).

Pituusboniteetti voitiin näin ollen määrittää välipituusmenetelmällä 62 metsiköstä. Näissä mallin vaatima viiden vuoden pituuskasvu laskettiin keskimäärin kahden puun perusteella. Hägglundin välipituusmallin (32.1) soveltuvuutta koealojen pituusboniteettien määrittämiseen on tarkasteltu aiemmassa selvityksessä (Varmola 1984). Tuloksista ilmeni, että näin laskettujen pituusboniteettien ja metsätyyppien välinen vastaavuus oli suhteellisen hyvä. Vaihtelu metsätyyppien sisällä oli kuitenkin suurta. Hägglundin käyttämä aineisto on melko pieni ja lähes yksinomaan luontaisesti syntyneistä taimikoista kerätty. Koska etenkin suurimmassa yksittäisessä ositteessa eli Etelä-Suomen kuivahkoilla kankailla Hägglundin välipituusmenetelmällä saadut pituusboniteetit vastasivat metsätyyppien keskimääräisiä pituusboniteetteja huomattavasti paremmin kuin Vuokilan ja Väliahon mallilla lasketut, jatkoanalyysissä päätettiin käyttää välipituusmallia ja sen antamia pituusboniteettiestimaatteja lähtökohtana.

### 3.3 Välipituusmenetelmän laajennus

Ensi vaiheessa kehitettiin valtapuiden viiden vuoden tulevaa pituuskasvua ennustava malli, jossa selittävinä muuttujina olivat valtapituus ennen ennustejaksoa ja metsikön pituusboniteetti edellisessä alaluvussa kuvatulla tavalla laskettuna (ks. Elfving 1982, s. 52). Aineistona käytettiin niiden 62 metsikön tietoja, joista oli voitu laskea Hägglundin (1976) menetelmän mukainen pituusboniteetti. Havaintoja metsikköä kohti oli yleensä 11. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:



Kuva 3. Valtapituuden tulevan viiden vuoden pituuskasvu valtapiuuden funktiona.

Figure 3. The 5-year height growth of the dominant height as a function of dominant height.

$$\ln(I_{H_{dom}(5)}) = -3,34630 * + 0,270265 \ln H_{dom} + 0,01 + 1,18076 \ln(H_{100} - H_{dom}) + 0,0125849 H_{100} \quad (33.1)$$

$R^2 = 0,733$ ,  $s_m = 0,256$ ,  $s_r = 0,132$ ,  $s_{c\%} = 13,3$ ,  $b_{c\%} = 0,05$ ,  $n = 645$

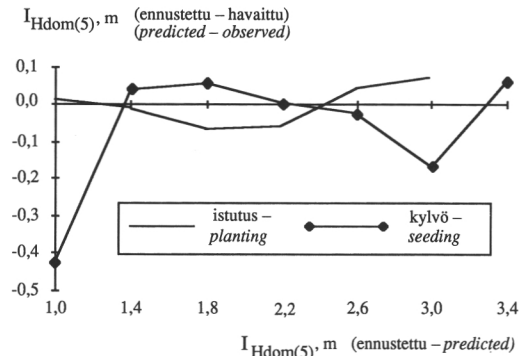
\* vakioon tehty logaritmin vaativa lisäys  $s_r^2/2$

Selittävään muuttajaan ( $\ln(H_{dom})$ ) on tehty pieni lisäys sen vuoksi, että alussa ( $H_{dom} = 0$ ) kasvukin jäisi muuten nolaksi. Muuttuja  $\ln(H_{100} - H_{dom})$  toimii mallissa asymptootina, joten pituuden kehityksen suhteen malli ei käyttäydy loogisesti, kun metsikön ikä lähenee sataa vuotta (kuva 3).

Mallin jäännösvaihtelu selittävän muuttujan suhteen on harhaton lukuunottamatta alkupäätä, jossa aineistossa saadaan kylvötaimikoissa selvä aliarvio kasvulle, kun viiden vuoden tuleva valtapiuuden kasvu on alle 1,2 m (kuva 4). Lisäselittäjinä kokeiltiin myös runkolukua ja syntytaapa. Näillä selittäjillä ei ollut merkitystä valtapiuuden kehityksessä.

Antamalla syöttötietoina valtapiuutus ja sen viiden vuoden kasvu pituusboniteetti voidaan laskea iteroimalla. Malli antaa siten mahdollisuuden estimoida pituusboniteetti muillakin valtapiuuden kasvun aloituskorkeuksilla kuin 2,5 m. Alle 2 m:n aloituskorkeus näytti kuitenkin antavan epäluotettavan estimaatin pituusboniteetille.

Niissä 62 metsiköissä, joista saatiin Hägglundin (1976) välipituusmenetelmän vaatimat mitaustiedot, pituusboniteetti perustuu kyseiseen malliin. Pituusboniteettiestimaatti laskettiin iteroimalla niille 17 metsikölle, joissa oli valtapiuuta koepuina, mutta ei soveliaista viiden vuoden pituuskasvua Hägglundin mallia varten. Näille



Kuva 4. Valtapiuuden viiden vuoden ennustetun ja mitatun kasvun ero selittävän muuttujan suhteen.

Figure 4. The difference between the predicted and measured 5-year height growth of the dominant height in relation to the dependent variable.

metsiköille pituusboniteetti saatiin yksittäisten pituusboniteettiestimaattien keskiarvona. Havaintoja oli metsikköä kohti keskimäärin 9.

Niille 21 metsikölle, joissa ei ollut valtapiuuta koepuina, pituusboniteetti laskettiin seuraavasti. KPL:n laskennan antamilta metsiköittäisiltä pituuskäyriltä laskettiin vuosittaiset valtapiuuden arvot, jotka muutettiin pituuskasvumallin vaatimiksi havaintopareiksi ( $H_{dom}$ ,  $I_{H_{dom}(5)}$ ). Jokaiselle havaintoparille iteroitiin pituusboniteetti ja metsikön pituusboniteetti saatiin näiden havaintojen keskiarvona. Tämä sama menettely tehtiin myös muille metsiköille. Näin voitiin verrata KPL:n tuloksista iteroimalla laskettuja ja Hägglundin menetelmällä estimoituja pituusboniteetteja keskenään 59 metsikön aineistolla. KPL:n tiedoista iteroitujen pituusboniteettien keskiarvo (23,96) oli jonkin verran suurempi kuin Hägglundin mallilla estimoitujen (23,53), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää ( $T=0,919$ ). KPL:n tiedoista iteroidut pituusboniteetit hyväksyttiin edustamaan näiden 21 metsikön pituusboniteetteja.

### 3.4 Pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus

Hägglundin välipituusmallilla (32.1) ja valtapiuuden kasvumallilla (33.1) laskettujen pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus on esitetty taulukossa 4, jossa on myös Vuokilan ja Väliahon (1980) mallilla lasketut pituusboniteetit.

Eri pituusbonitointimenetelmiä voidaan verrata seuraavasti:

1. Vuokilan ja Väliahon mallilla saadaan metsätyyppiä vastaava pituusboniteetti rehevillä kasvupaikoilla. Karuilla kasvupaikoilla mallilla saadaan huomattava yliarvio.
2. Keskinkertaisilla kasvupaikoilla Vuokilan ja Väliahon mallilla saadaan keskimäärin yhden pituusboniteettiluokan (=3 metriä) yliarvio.
3. Välipituusmenetelmällä saadaan rehevillä kasvupaikoilla pituusboniteetille selvä aliarvio. Karuilla kasvupaikoilla myös välipituusmalli yliarvioi pituusboniteettia.
4. Keskinkertaisilla kasvupaikoilla välipituusmenetelmällä saadaan metsätyyppiä hyvin vastaava pituusboniteetti.

Metsätyyppien määrittäminen on ilmeisen vaikeaa taimikoissa. On kuitenkin epätodennäköistä, että suuri osa Etelä-Suomen puolukka-tyypiksi luokitelluista taimikoista kuuluisi mustikkatyyppien parhaimpaan osaan, jota Vuokilan & Väliahon (1980) mallilla saadut pituusboniteetit kyseisellä metsätyyppillä edellyttäisivät.

Tehdyn tarkastelun perusteella päädyttiin jatkossa käyttämään kasvupaikan kuvauksessa välipituusmenetelmällä estimoituja pituusboniteetteja, vaikkakin menetelmällä saatetaan saada liian pieni vaihtelu pituusboniteetteihin. Pituusboniteetit vaihtelivat kuitenkin 16:sta lähes 30:een (kuva 5), mikä vastaa hyvin Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa esitettyä metsätyyppien pituusboniteettivaihtelua.

Metsätyyppien sisällä pituusboniteettien vaihtelu on suurta. Esim. Etelä-Suomen kuivahkojen kankaiden pituusboniteetit vaihtelevat 20,5:stä

28,5:een. Kuivahkojen kankaiden vaihtelua luonnossa kuvaa se, että Vuokila ja Väliaho jakavat puolukka-tyypin kahteen osaan; VT+ (24) ja VT- (21).

Käytetyllä välipituusmenetelmällä lasketut taimikoiden pituusboniteetit vastaavat kaikkiaan melko hyvin metsätyyppien vastinpituusboniteetteja. Hägglundin (1976) välipituusmenetelmään perustuva pituusbonitointimalli näyttää sopivan siten hyvin Suomen oloihin. Valtapituuden kasvumallin (33.1) käyttö mahdollistaa pituusboniteetin estimoimisen Vuokilan & Väliahon (1980) mallin sovellusaluetta huomattavasti aiemmin ja myös Hägglundin mallia vapaamman mittauskorkeuden valinnan.

### 3.5 Pituusboniteetin määrittäminen taimikossa

Männyn viljelytaimikon pituusboniteetti voidaan estimoita kolmella eri tavalla. Epävarmin tapa on arvioida pintakasvillisuuden perusteella metsätyyppi ja määrittää taimikolle pituusboniteetti Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan metsätyyppien perusteella seuraavasti:

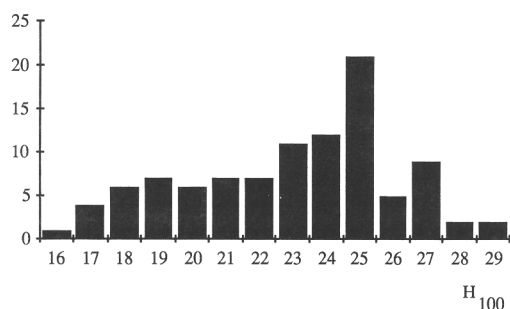
Pituusboniteetti	Etelä-Suomi	Pohjanmaa-Kainuu	Peräpohjola
30	OMT		
27	MT		
24	VT	MT	
21	VT-, CT+	VMT, VT	HMT, MT
18	CT	EVT	EVT
15	CT-, CIT+	ECT, CT	EMT
12	CIT	ErCIT	ErCIT, MCCIT

Taulukko 4. Koemetsiköiden pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus (Hä = välipituusmenetelmällä laskettu, Vla = Vuokilan ja Väliahon mallilla laskettu, **lihavoitu** = kasvupaikkatyyppiä vastaava Vuokilan ja Väliahon pituusboniteettiluokka, suluissa havaintojen lukumäärä).

Table 4. Comparison of site indexes and forest site types (Hä = estimated with intercept method, Vla = estimated with Vuokila and Väliaho's model, **bold** = Vuokila and Väliaho's site index class, number of observations in parentheses).

	Etelä-Suomi		Metsäkasvillisuusvyöhyke — Vegetation zone				Peräpohjola	
	Hä	Vla	Pohjanmaa-Kainuu		pohjoisosa		Hä	Vla
			eteläosa southern part	Vla	Hä	Vla		
Lehtomaiset kankaat <i>Rich sites</i>	27,1 <b>30</b>	30,1 (2)						
Tuoreet kankaat <i>Damp sites</i>	25,9 <b>27</b>	29,1 (13)	24,0 <b>21-24</b>	28,1 (5)	18,4	21,6 (6)	19,5 <b>21</b>	21,1 (12)
Kuivahkot kankaat <i>Sub-dry sites</i>	24,5 <b>21-24</b>	28,6 (37)	23,3 <b>18</b>	26,6 (13)	18,7	21,1 (4)	18,8 <b>15-18</b>	20,3 (7)
Kuivat kankaat <i>Dry sites</i>	24,3 <b>15-21</b>	28,2 (1)						

Metsiköiden lukumäärä –  
Number of stands



Kuva 5. Koemetsiköiden jakautuminen pituusboniteetti-luokkiin. Pituusboniteetit laskettu välipituusmenetelmällä (Hägglund 1976) ja valtapituuden kasvumallilla (33.1).

Figure 5. The distribution of the experimental stands in different site index classes; site indexes have been estimated using the intercept method (Hägglund 1976) and the dominant height growth model (33.1).

Tällä tavoin päästään korkeintaan 3 metrin tarkkuuteen.

Jos taimikosta tunnetaan ikä ja valtapituus, pituusboniteetti voidaan määrittää ikä-valtapituuskäyrästä kuten varttuneissakin metsiköissä joko nomogrammista (ks. kuva 7) tai käyttämällä malliin (33.1) sekä iterointiin ja kuutio-splini-interpolointiin perustuvaa laskentaohjelmaa. Menetelmän hankaluutena on pituusboniteetti-

käyrien läheisyys. Iän ja valtapituuden määrittämisvirheet tai valtapituuden häiriytynyt kehitys esim. tuhojen takia aiheuttavat helposti yhden pituusboniteettiluokan eron (=3 metriä). Esim. valtapituuden ollessa 4 metriä yhden vuoden virhe taimikon iässä muuttaa pituusboniteettia rehevällä kasvupaikalla 2 metriä.

Tarkin tapa määrittää pituusboniteetti on mitata valtapuiden pituus ennen kasvujaksoa ja viiden vuoden pituuskasvu. Pituusboniteetti saadaan joko nomogrammista (kuva 3) tai käyttämällä malliin (33.1) perustuvaa iterointiohjelmaa. Pituusboniteetti saadaan syöttämällä ohjelmaan mitattu valtapituus ja pituusboniteetin alkuarvo (esim. 15), vertaamalla mallilla (33.1) lasketua viiden vuoden valtapituuskasvua mitattuun ja muuttamalla pituusboniteettia pienein askelin suuremmaksi. Kun laskettu ja mitattu valtapituuden kasvu ovat riittävän lähellä toisiaan (<0,01 metriä), yhtälössä tällöin käytetty pituusboniteettiarvo hyväksytään taimikon pituusboniteetiksi. Menetelmä antaa luotettavan estimaatin vasta, kun valtapituus ennen kasvujaksoa on vähintään 2 metriä. Tälläkään menetelmällä ei siten saada luotettavaa pituusboniteettiestimaattia aivan nuorille taimikoille (valtapituus alle 3–4 metriä).

Pituusboniteetti voidaan luonnollisesti määrittää myös mallilla (32.1). Tällöin vaatimuksena on kuitenkin kiinteä mittauskorkeus, valtapuiden 2,5 metrin yläpuolella oleva oksakiehkura, josta ylöspäin valtapituuden viiden vuoden kasvu mitataan.

## 4 Valtapituus

### 4.1 Kehitys rinnantasalle

Taimikon kokonaisikä määritettiin joko maastossa vuosikasvaimia ja tyveltä kairattuja vuosilustoja laskemalla tai maanomistajalta saatujen tietojen perusteella. Istutusmänniköissä viljelyvuodesta kuluneeseen aikaan lisättiin taimien ikä, jotta päästiin kokonaisikäan (= biologinen ikä). Valtapuiden ja kaikkien koepuiden rinnankorkeusikien välinen ero oli keskimäärin hieman yli kaksi vuotta.

Valtapuiden rinnankorkeusikään tehtävää lisäystä kuvaamaan laadittiin mallit (41.1) ja (41.2). Mallien kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$(T-T_{1,3}) (\text{valtapuut}) = 11,5008 - 0,00675313H_{100}^2 \quad (41.1)$$

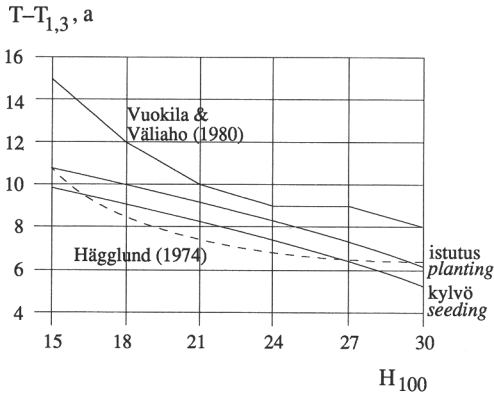
$$R^2 = 0,246, \quad s_m = 1,87, \quad s_f = 1,62, \quad s_{e\%} = 20,1, \\ b_{e\%} = -0,04, \quad n = 100$$

$$(T-T_{1,3}) (\text{valtapuut}) = 14,1787 - 0,00437779H_{100}^2 - \\ 0,00308839DD - 0,910448ST \quad (41.2)$$

$$R^2 = 0,324, \quad s_{e\%} = 18,9, \quad b_{e\%} = -0,02$$

Valtapuiden kasvunopeuteen vaikuttaa mallin (41.2) mukaan kasvupaikan lisäksi syntytapa yllättävästi siten, että kylvötaimikoissa alkukehitys on jonkin verran nopeampaa kuin istutustaimikoissa. Ero rinnantasalla on vajaa vuosi. Lämpösomma tuo lisäselitystä malliin siten, että samalla pituusboniteetilla edullisemmissa olosuhteissa alkukehitys on jonkin verran nopeampaa.

Kylvötaimikot saavuttavat rinnankorkeuden biologisella iällä mitaten keskimäärin vuoden istutustaimikoita aiemmin (kuva 6). Ilmiö on hyvin säännönmukainen lukuunottamatta aivan karuimpia kasvupaikkoja, joissa muutamat istutustaimikot ovat kehittyneet kylvettyjä nopeammin.



Kuva 6. Valtapuiden kokonaisiän ja rinnankorkeusiän ero eri tutkimusten mukaan.

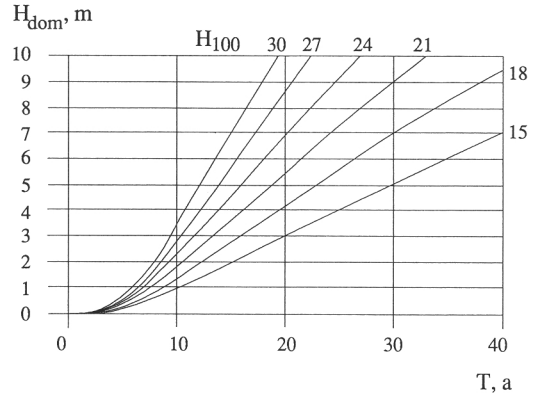
Figure 6. The difference between the total and breast height age of the dominant trees according to different studies.

Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan viljelytaimikoiden kehitys on 1–5 vuotta hitaampaa kuin tässä tutkimuksessa. Ero on suurin karuimmilla kasvupaikoilla ( $H_{100}=15-18$ ). Mallin (41.2) yhteensopivuus Hägglundin (1974) mallin kanssa on parempi (kuva 6).

Syntyvän vaikutus taimikoiden alkukehitykseen on ristiriitainen eri tutkimusten mukaan. Yleensä kehitysnopeutta on mitattu aikana, joka taimikolla on kulunut yhden metrin keskipituuden saavuttamiseen. Syntyvällä ei joko ole vaikutusta (Kinnunen & Nerg 1982, Räsänen ym. 1985, Saksa 1986), kylvö osoittautuu noin vuoden paremmaksi (Leikola ym. 1977, Pohtila & Timonen 1980) tai istutuksella päästään nopeampaan kehitykseen (Kinnunen & Linnimäki 1977, Pelkonen ym. 1982, Pohtila & Pohjola 1983, Rautiainen & Räsänen 1980). Pohjois-Suomessa istutus osoittautuu alkukehityksen osalta huomattavasti kylvöä nopeammaksi suojametsäaluetta lukuunottamatta. Tulokset ovat usein ristiriitaisia siten, että karummalla kasvupaikalla saadaan nopeampi alkukehitys (Kinnunen & Linnimäki 1977, Leikola ym. 1977) tai kasvupaikalla ei ole vaikutusta (Kinnunen & Nerg 1982, Räsänen ym. 1985, Saksa 1986).

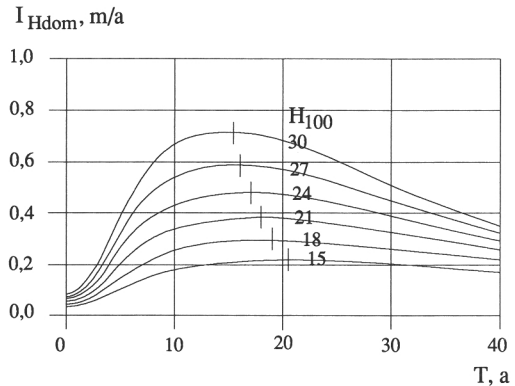
#### 4.2 Valtapituuden kehitys

Valtapituuden kehitys voidaan ennustaa pituuskasvumallilla (33.1) (kuva 7). Aineisto kattaa ikävälän 0–35 vuotta ja pituusboniteetit 16–29. Mallilla saadaan valtapituudet viiden vuoden välein. Vuosittaisiin arvoihin päästään käyttämällä



Kuva 7. Valtapituuden iän mukainen kehitys pituusboniteettien.

Figure 7. Dominant height-age curves in different site index classes.



Kuva 8. Valtapituuden vuotuinen kasvu. Pystyviivalla on osoitettu pituuskasvun kulminaatio.

Figure 8. The current annual increment of dominant height. Vertical lines show the culmination point of height increment.

esim. kuutioplini-interpolointia (kuva 8).

Pituuskehitysmallilla laskettua puuston kehitystä rinnantasalle verrattiin alaluvussa 41 esitetyn ikälisäysmallin tuloksiin.

$H_{100}$	15	18	21	24	27	30
	Ikälisäys valtapuiden rinnankorkeusikään, v					
malli (41.1)	10	9	9	8	7	5
malli (33.1)	11	9	8	7	6	6

Tulosten yhteensopivuus on hyvä. Yhden vuoden erot aiheutuvat lähinnä lukujen pyöristyksistä. Vertailu osoittaa, että valtapituuden kasvumallilla kuvattu kehitys on aineiston mukainen rinnankorkeudelle.



Valtapiisuuden vuotuinen kasvu saavuttaa maksiminsa varhaisella iällä. Mallilla laskettua kasvun kulminaatiota on seuraavassa asetelmassa verrattu Hägglundin (1974) esittämiin vastaaviin arvoihin.

H <sub>100</sub>	15	18	21	24	27	30
	Valtapiisuuden vuotuisen kasvun kulminaatio, v					
malli (33.1)	21	19	18	17	16	15
Hägglund (1974)	24	19	15	13	12	12

## 5 Metsikön pohjapinta-alan kasvu

### 5.1 Lähtötilanne

Suomalaiset kasvu- ja tuotostaulukot alkavat yleensä valtapiituudella 5–8 metriä (esim. Koivisto 1959, Vuokila & Väliaho 1980), jolloin pohjapinta-ala on 5–10 m<sup>2</sup>/ha. Valtapiisuus, kuten monet muutkin metsikkötunnukset, on tällöin jo ohittanut vuotuisen kasvun maksimin.

Tässä tutkimuksessa kasvumallien käytön lähtötilanteena on joko ajankohta, jolloin valtapiisuus saavuttaa 1,3 m (istutusmänniköt ja harvennattomat kylvötaimikot) tai taimikonharvennuksen ajankohta (harvennetut kylvötaimiköt). Kun valtapiisuus ylittää rinnankorkeuden, alkaa myös pohjapinta-alan kerääntyminen. Istutetuissa taimikoissa, joissa ei tehdä taimikonharvennusta, kehitys jatkuu ilman puustoon kohdistuvia toimenpiteitä ensiharvennukseen saakka.

Kylvötaimikoiden harvennuksessa poistetaan pieniläpimittaista puustoa ja taimikon pohjapin-

Hägglundin tutkimuksessa kulminaatiopiste ulottuu laajemmalle ikävälille eri kasvupaikoilla ja on keskimäärin hieman aikaisempi kuin tässä tutkimuksessa.

ta-ala pienenee. Taimikon kasvatuksen ja myös mallien lähtökohdan muodostaa taimikonharvennuksen jälkeinen tilanne. Harvennusta edeltävällä kehityksellä on yleensä vain vähän merkitystä, ja kehitys voidaan kuvata pelkästään valtapiituudella. Jos harvennus on tehty hyvin myöhäisessä riukumetsävaiheessa, saattaa harvennuspuulla olla jo merkitystä.

### 5.2 Kuoreton pohjapinta-ala valtapiisuuden ylitettyä rinnankorkeuden

Kuvattaessa pohjapinta-ala valtapiituudella 1,3 metriä käytettiin laskenta-aineistona havaintoja, joissa rinnakorkeusikä oli 1–3 vuotta. Havainnot rinnankorkeusikäällä 2–3 vuotta otettiin mukaan aineiston riittävyden varmistamiseksi. Mallin muuttajat ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(G_u) = -7,96624 * + 2,37655 \ln(H_{dom}-1,0) + 1,32263 \ln(H_{100}-10) + 0,325822 \ln(N) \quad (52.1)$$

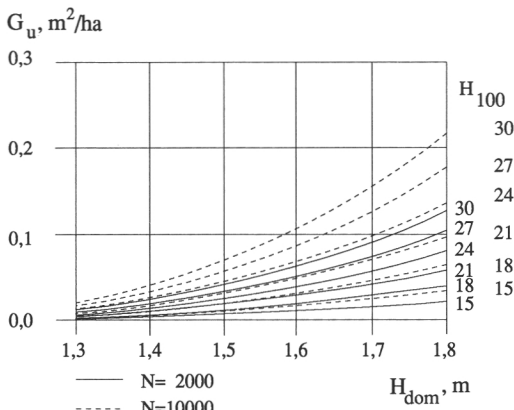
$$R^2 = 0,594, \quad s_r = 0,952, \quad s_m = 0,616, \quad s_{e\%} = 67,9, \\ b_{e\%} = 1,43, \quad n = 103$$

\* vakioon tehty logaritnimallin vaatima lisäksi  $s_e^2/2$

Syntytyapa ei osoittautunut merkittäväksi muuttujaksi. Toisaalta runkoluku osaltaan selittää syntytyapojen erilaisuuden vaikutusta lähtökohtatilanteen pohjapinta-alaan. Selittäviin muuttujiin tehtyjen muunnosten mukaan valtapiituudella 1,3 metriä pohjapinta-ala on välillä 0,0–0,03 m<sup>2</sup>/ha.

### 5.3 Kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen

Taimikonharvennuksen jälkeisen kuorettoman pohjapinta-alan mallin aineisto koostuu 33:sta harvennetusta taimikosta. Puuston valtapiisuus



Kuva 9. Kuoreton pohjapinta-ala valtapiisuuden ylitettyä rinnantasan.

Figure 9. Basal area u.b. when the dominant height has reached the breast height.

vaihteli 1,6 metristä 7,8 metriin (ka. 3,4 m). Mallin muuttujat ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(G_u+0,001) = -5,88434* + 2,19029\ln(H_{\text{dom}}-1,3) - 0,154263(H_{\text{dom}}-1,3) + 0,616342\ln(N) \quad (53.1)$$

$$R^2 = 0,940, \quad s_m = 1,45, \quad s_f = 0,374, \quad s_{e\%} = 38,7, \\ b_{e\%} = 0,40, \quad n = 33$$

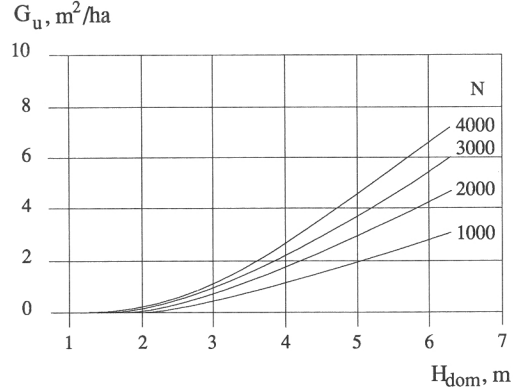
\* vakioon tehty logaritimmallin vaatima lisäys  $s_f^2/2$

Toisin kuin mallissa (52.1) kasvupaikka ei osoittautunut merkitseväksi selittäväksi muuttujaksi (kuva 10). Taimikonharvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan vaikuttaa myös metsikön aiempi tiheys. Mitä tiheämpänä taimikko on alkuvaiheessa kasvanut, sitä pienempi on harvennuksen jälkeinen pohjapinta-ala runkoluvun ollessa vakio. Taimikon tiheydestä ennen harvennusta ei kuitenkaan ollut tässä tutkimuksessa tietoa. Myös harvennustapa vaikuttaa harvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan.

Elfvingin & Hägglundin (1975) tutkimuksessa kasvupaikan parantuminen vaikutti pohjapinta-alaan tuotostmallien alkutilanteessa pienentävästi. Aineisto koostui harventamattomista koaloista. Hägglundin ym. (1979) tutkimuksessa kontortamännystä pituusboniteetilla ei ollut vaikutusta selitettäessä pohjapinta-ala. Vuokilan & Väliahon (1980) tutkimuksessa alkutilanteen (valtapituus 5–8 m) kuorellinen pohjapinta-ala suureni pituusboniteetin kasvaessa. Ero oli yhden pituusboniteetti luokan ( $\approx 3$  metriä) välillä 1,0–1,5 m<sup>2</sup>/ha runkoluvun ja valtapituuden ollessa vakio. Myös Frykin (1984) tutkimuksessa kasvupaikan paraneminen lisäsi taimikonharvennuksen jälkeistä pohjapinta-ala.

#### 5.4 Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumalli

Metsikön kasvua kuvataan tavallisesti joko pohjapinta-alan tai tilavuuden kasvuna, yksittäisen puun kasvua taas läpimitan ja piteuden kasvuna. Metsikön kasvutunnuksista kuorettoman pohjapinta-alan kasvu voidaan määrittää tarkasti sädekasvutietojen avulla, jos sädekasvut on mitattu virheettömästi ja puiden poikkileikkaus on pyöreä. Kuorellisen pohjapinta-alan kasvuun vaikuttaa kuoren paksuuden muutos. Tilavuuden kasvua ei voida suoraan mitata, vaan se perustuu eri aikoina laskettujen tilavuusestimaattien eroihin ja mahdollisen poistuman kasvuun. Näiden syiden takia taimikoiden kasvumallien perustaksi valittiin metsikön kuorettoman pohjapinta-alan vuotuinen kasvu.



Kuva 10. Kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen.

Figure 10. Basal area u.b. after cleaning.

Pohjapinta-alan kasvu voidaan jakaa eri komponentteihin. Kasvumalleissa on yleisesti oletettu Jonssonin (1969) esittämän teorian mukaan, että kasvutekijät vaikuttavat kokonaisuuteen tulomuotoisesti (ks. Eriksson 1976, Hägglund ym. 1979, Agestam 1985, Ekö 1985, Mielikäinen 1985). Teorian mukaan kasvun komponentit voidaan ilmaista kasvupaikan viljavuudella, biomassan määrällä ja biomassan kyvyllä tuottaa yhteyttämistuotteita (ks. Varmola 1987, s. 32).

Mitattua sädekasvua tai pohjapinta-alan kasvua korjataan tavallisesti kasvuindekseillä. Tämä on tärkeää silloin, kun aineisto kattaa vain lyhyen ajanjakson, esim. 5 vuotta. Tässä tutkimuksessa päätettiin käyttää korjaamattomia sädekasvuja (ks. Agestam 1985, s. 21) ja oletettiin, että vuotuiset vaihtelut kumoavat toisensa ja että ne voidaan sisällyttää satunnaiskomponenttiin  $\epsilon$ .

Syinä menettelyyn ovat seuraavat seikat. Vuotuisia kasvujaksoja metsikköä kohden on enimmillään 15, joten ilmastovaihtelut tasoittavat toisiaan. Taimikoissa, joissa sädekasvu on suurimmillaan, ilmaston vaikutus lienee pienimmillään (ks. Mikola 1950). Kasvuindeksit on usein laadittu vanhojen puiden sädekasvujen perusteella. Niiden käyttö taimien sädekasvutietojen korjaamiseen voisi aiheuttaa aineistoon lisähajontaa.

Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallin muodoksi valittiin tarkastelun perusteella:

$$I_{G_u} = c_1 H_{100}^{c_2} G_u^{c_3} e^{c_4 G_u} N^{c_5} e^{c_6 ST} e^{c_7 H_{\text{dom}}(h)} \quad (54.1)$$

ja logaritimuudossa

$$\ln(I_{G_u}) = \ln(c_1) + c_2 \ln(H_{100}) + c_3 \ln(G_u) + c_4 G_u + c_5 \ln(N) + c_6 ST + c_7 H_{\text{dom}}(h) \quad (54.2)$$

Pohjapinta-alan kasvun ajan suhteen kuvaa mallissa pohjapinta-ala, joka selitti kasvua ikää tai valtapituutta paremmin. Puuston määrää kuvattiin pohjapinta-alan lisäksi runkoluvulla ja kasvupaikan viljavuutta pituusboniteetilla. Lisäksi mallissa ovat selittävinä muuttujina syntytyapa ja taimikonharvennuksen ajankohta, joilla kuvataan taimikon mahdollisuuksia käyttää kasvupaikkaa hyväksi. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(I_{Gu}) = -7,43730 * + 1,67015 \ln(H_{100}) + 0,633976 \ln(G_u + 0,001) - 0,0864853(G_u + 0,001) + 0,232494 \ln(N) - 0,131731 ST - 0,0121400 H_{dom(h)} \quad (54.3)$$

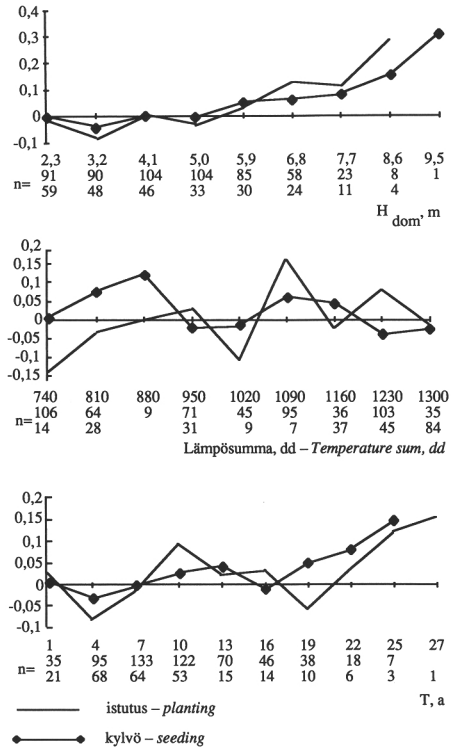
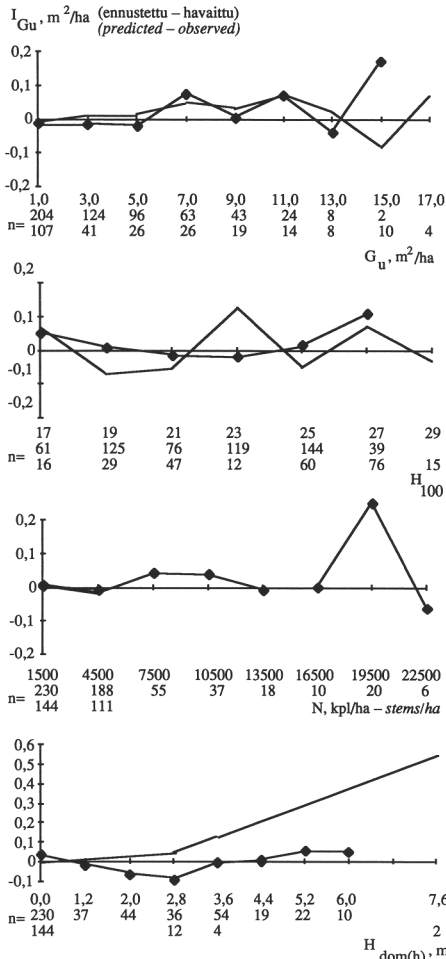
$R^2 = 0,881$ ,  $s_m = 0,745$ ,  $s_f = 0,258$ ,  $s_{e\%} = 26,2$ ,  
 $b_{e\%} = 0,16$ ,  $n = 819$

\* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys  $s_f^2/2$

Mallin käyttäytymistä on kuvattu jännösvaihtelukuvilla (kuva 11), joissa on esitetty luokittaiset ennustettujen ja havaittujen kasvujen erotusten keskiarvot ja havaintojen lukumäärät. Mallissa mukana olevien muuttujien lisäksi on esitetty mallin kulku lämpösunnan, valtapituuden ja valtapuiden rinnankorkeusiän suhteen.

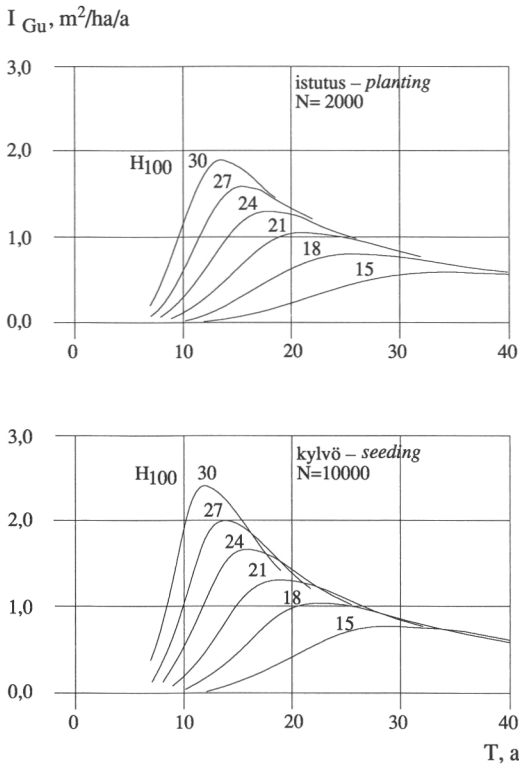
Mallissa mukana olevien muuttujien suhteen ei voida havaita systemaattisia virheitä. Ainoastaan muutamissa istutetuissa, myöhäisessä vaiheessa harvennetuissa taimikoissa malli on yliarvioinut pohjapinta-alan kasvua. Kyse on kuitenkin erikoistapauksista.

Valtapituuden suhteen malli ei ole harhaton, vaan yli 6 metrin valtapituudella mallilla saadaan yliarvio kuorettoman pohjapinta-alan kasvulle. Yliarvio näkyy kookkaimmissa taimikoissa, joskin lievempänä, myös iän suhteen. Lämpö-

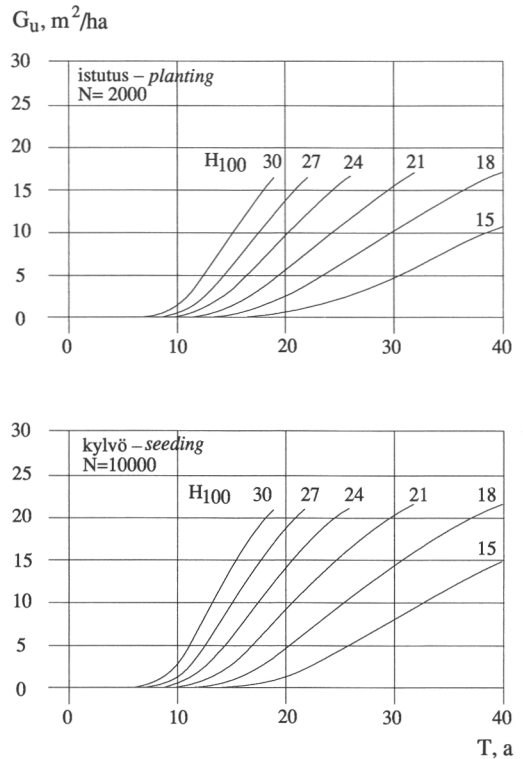


Kuva 11. Mallilla ennustettujen ja mitattujen pohjapinta-alan kasvujen erot selittävien muuttujien sekä valtapituuden, lämpösunnan ja metsikön iän suhteen.

Figure 11. Differences between predicted and observed increment of basal area u.b. in relation to independent variables, dominant height, temperature sum, and total age.



Kuva 12. Kuorettoman pohjapinta-alan vuotuinen kasvu. *Figure 12. Current annual increment of basal area u.b.*



Kuva 13. Kuorettoman pohjapinta-alan kehitys. *Figure 13. Development of basal area u.b.*

summan suhteen ei voida havaita systemaattisia poikkeamia.

Osittaiskorrelaatiokuvatarkastelussa (liite 1) muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle on annettu vakioina aineiston keskiarvot. Istutustaimikoissa kuorettoman pohjapinta-alan kasvu on suurempi kuin kylvötaimikoissa. Tasoero on suurimmillaan noin 0,2 m<sup>2</sup>/ha/v. Kuorettoman pohjapinta-alan kasvu saavuttaa maksimin melko aikaisessa vaiheessa eli pohjapinta-alan ollessa 7–8 m<sup>2</sup>/ha. Pituusboniteetin suhteen kuorettoman pohjapinta-alan kasvu on lähes suoraviivaisesti nouseva. Runkoluvun suhteen kasvu on myös nouseva, mitään vuotuisen kasvun maksimia ei saavuteta taimikko- ja riukuvaiheessa.

Taimikonharvennuksen ajankohta vaikuttaa hyvin vähän pohjapinta-alan kasvuun. Tämä voidaan tulkita siten, että pohjapinta-alan kasvu on suurin harventamattomissa taimikoissa ( $H_{dom(h)}=0$ ) ja mitä myöhemmin taimikko harvennetaan, sitä huonommin se kykenee reagoimaan harvennuksen aiheuttamaan kasvutilan lisääntymiseen. Kaiken kaikkiaan osittaiskorrelaatiokuvat osoittavat, että malli käyttäytyy selittävien muuttujien suhteen loogisesti ja oletusten mukaisesti.

## 5.5 Kuorettoman pohjapinta-alan kehitys

Kuorettoman pohjapinta-alan vuotuinen kasvu on esitetty kahtena esimerkkinä (kuva 12). Pohjapinta-alan alkuarvot on saatu mallilla (52.1). Tarkastelu on rajattu aineiston alueelle eli alle 10 metrin valtipituudelle ja alle 40 vuoden iälle.

Kasvun kulminaatio on sitä aikaisempi ja terävämpi, mitä parempi kasvupaikka on. Ennen maksimipistettä kasvu on sitä suurempi, mitä parempi kasvupaikka on. Kulminaatiopisteen jälkeen kasvukäyrät kuitenkin menevät ristiin etenkin, jos metsikön runkoluku on suuri. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että kokonaispohjapinta-alaa kuvaavat käyrät alkavat loitontumisen asemasta läheta toisiaan. Tämä lienee merkki siitä, että metsiköt ovat saavuttaneet itseharvennemen vaiheen.

Vuokilan & Väliahon (1980) tutkimuksessa kuorellisen pohjapinta-alan vuotuinen kasvu on sitä suurempi, mitä parempi kasvupaikka on, eikä mitään kasvukäyrien leikkaamista voi havaita ennen ensiharvennusta. Sen sijaan Hägglundin ym. (1979) kontortamänniköiden vuotuista kuorellista pohjapinta-alaa kuvaavat kasvukäyrät leik-

kaavat toisensa eri pituusboniteeteilla kulminaatiopisteen jälkeen iällä 30–50 vuotta.

Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallilla voidaan ennustaa pohjapinta-alan kehitys (kuva 13). Lähtöarvona annetaan pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnantasana (malli 52.1). Lähtöarvoilla laskettu vuotuinen kasvu lisätään pohjapinta-alaan. Tätä käytetään seuraavan vuoden alkuarvona, lasketaan uusi vuotuinen kasvu jne.

## 6 Apumallit

### 6.1 Kuorimallit

Sekä pohjapinta-ala että tilavuus ilmaistaan nykyisin kuorellisina mittoina. Pohjapinta-alan kasvumalli on kuoreton, joten kuorelliseen pohjapinta-alaan pääsemiseksi tarvitaan muuntomalli. Kuorettoman ja kuorellisen pohjapinta-alan suhde perustuu koepuiden kuorimittauksiin. Kuoren paksuuskin kasvaa puun koon kasvaessa. Puun kuoren paksuus kunkin kasvujakson (=1 vuosi) alussa laskettiin KPL:ssä sijoittamalla muunnettuun kuorikäyrään jakson alkua vastaava puun kuorettoman läpimitan estimaatti. Muunnettu kuorikäyrä on alkuperäinen kuorikäyrä muunnettuna siten, että se antaa kuoren paksuuden kuorettoman läpimitan funktiona (Heinonen 1981).

Muuntomallit kehitettiin sekä kuorettoman pohjapinta-alan muuntamiseksi kuorelliseksi että päinvastoin. Selitettäviksi muuttujiksi valittiin kuoriprosenttien logaritmit. Mallien kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(100 \cdot (G - G_u) / G_u) = -3,154938 * -0,0672189 \ln(G_u) + 2,47217 \ln(H_{100}) - 0,0711495 H_{100} + 0,0451761 \ln(N) \quad (61.1)$$

$$R^2 = 0,490, \quad s_m = 0,268, \quad s_f = 0,192, \quad s_e\% = 19,4, \\ b_{e\%} = 0,00, \quad n = 813$$

$$\ln(100 \cdot (G - G_u) / G) = -2,02088 * -0,0504664 \ln(G) + 1,91935 \ln(H_{100}) - 0,0534393 H_{100} - 0,0386639 \ln(N) \quad (61.2)$$

$$R^2 = 0,481, \quad s_m = 0,214, \quad s_f = 0,154, \quad s_e\% = 15,5, \\ b_{e\%} = -0,01, \quad n = 813$$

\* vakioon tehty logaritimmallin vaatima lisäys  $s_f/2$

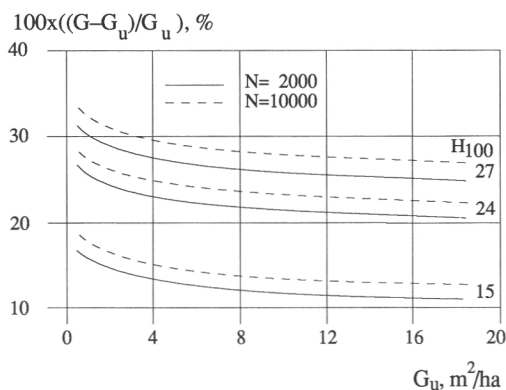
Kuoren osuus on sitä suurempi, mitä parempi kasvupaikka on (kuva 14). Pohjapinta-alan kasvaessa kuoren osuus pienenee ja on melko samansuuruinen kuorettoman pohjapinta-alan ylitettyä 5 m<sup>2</sup>/ha. Runkoluvun lisääntyminen lisää kuoren osuutta.

Pohjapinta-ala valtapituudella 10 metriä on jokseenkin riippumaton kasvupaikasta. Kasvupaikan vaikutus tulee esiin siinä, että hyvällä kasvupaikalla tietty pituus ja samalla pohjapinta-ala saavutetaan nopeammin kuin karulla kasvupaikalla. Vaikka pohjapinta-alan vuotuista kasvu kuvaavat käyrät leikkaavatkin toisiaan kulminaatiopisteen jälkeen, kehityskäyrien lähentymistä toisiinsa ei vielä voida havaita.

### 6.2 Tilavuusmalli

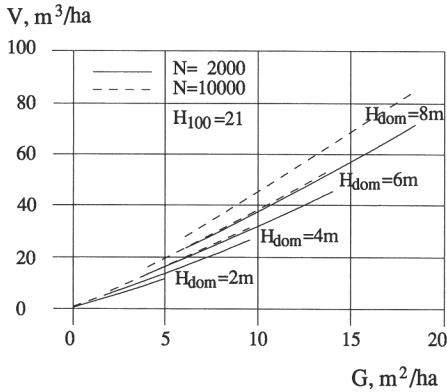
Tilavuusmalli kehitettiin kuvaamaan kuorellista tilavuutta. Tilavuudessa olivat mukana myös alle 1,3 metriä pitkät taimet (ks. alaluku 2.3), koska taimikkovaiheessa valtapituuden ylitettyä 1,3 metriä suurin osa tilavuudesta koostuu alle 1,3 m mittaisista puista. Kasvumallin perustana olevan kuorettoman pohjapinta-alan sijasta käytettiin selittävänä muuttujana kuorellista pohjapinta-ala. Kuorellisen pohjapinta-alan käyttöön päädyttiin siksi, että se on käytännössä metsiköstä helpommin mitattava tunnus.

Aiemmissa tutkimuksissa on yleensä päädytty tulomuotoisen mallin käyttöön (Eriksson 1976, Hägglund ym. 1979, Vuokila & Väliaho 1980, Fryk 1984, Agestam 1985, Ekö 1985). Myös tässä tutkimuksessa tulomuotoinen malli osoit-



Kuva 14. Kuoriprosentti kuorettoman pohjapinta-alan funktiona.

Figure 14. Bark percent as a function of the basal area u.b.



Kuva 15. Puuston tilavuus pohjapinta-alan funktiona valtapiteusluokittain.

Figure 15. Volume as a function of the basal area u.b. in different dominant height classes.

tautui tilavuutta parhaiten selittäväksi. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(V) = 1,34449 * + 1,01788 \ln(G+0,3) + 0,0808575 (H_{dom}-1,3) - 0,212569 \ln(H_{100}) + 0,0000215926N \quad (62.1)$$

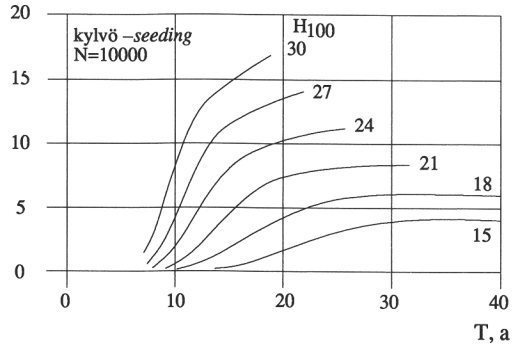
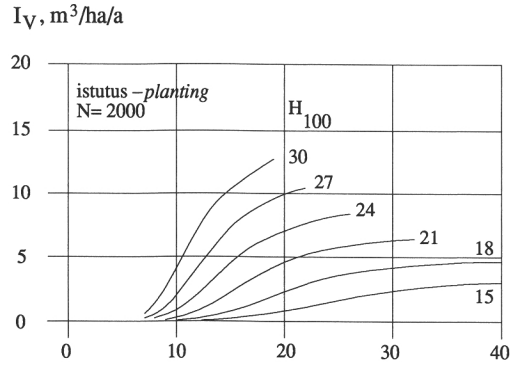
$$R^2 = 0,985, s_m = 1,99, s_r = 0,149, s_{e\%} = 15,0, b_{e\%} = -0,01, n = 753$$

\* vakioon tehty logaritimmallin vaatima lisäys  $s_r^2/2$

Tilavuuden varianssin homogenisoimiseksi ja mallin loogisuuden parantamiseksi pohjapinta-alaan tehtiin lisäys 0,3. Pohjapinta-ala selittää suurimman osan tilavuudesta. Pohjapinta-ala ja valtipiteus ovat keskenään korreloivia, joten näiden tekijöiden analysointi ei ole mahdollista tällä mallilla. Ainoastaan pituusboniteetin voi olettaa olevan muista selittävästä muuttujista riippumaton. Kasvupaikan paraneminen vähentää tilavuutta muiden tunnusten pysyessä vakiona eli rehevillä kasvupaikoilla metsikön muotoluku on pienempi kuin karuilla kasvupaikoilla. Malli on esitetty graafisesti kuvassa 15 pituusboniteetille 21.

Tilavuuskasvuun päästään käyttämällä kuoretoman pohjapinta-alan kasvumallia, muuntamalla pohjapinta-ala kuorelliseksi ja sijoittamalla tunukset tilavuusmalliin. Valtapiteuden kasvu saadaan valtipiteuden kasvumallilla (33.1) lasketujen valtipiteuksien erona. Vuotuinen tilavuuskasvu saadaan peräkkäisten vuosien tilavuuksien erotuksena.

Tilavuuden vuotuinen kasvu on taimikko- ja riukumetsävaiheessa jatkuvasti suureneva toisin kuin pohjapinta-alan kasvu (kuva 16). Etenkin tiheissä taimikoissa voidaan kuitenkin havaita



Kuva 16. Vuotuinen tilavuuskasvu.

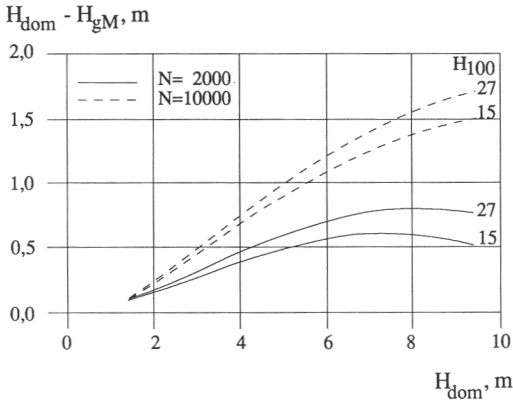
Figure 16. Current annual increment of volume.

tilavuuskasvun laantumista. Se ajoittuu hetkeen, jolloin valtipiteuden vuotuinen kasvu ohittaa maksimin. Harventamattomissa, karun kasvupaikan kylvötaimikoissa vuotuinen tilavuuden kasvu saavuttaa kulminaatiopisteen jo ennen kuin valtipiteus on 10 metriä (kuva 16).

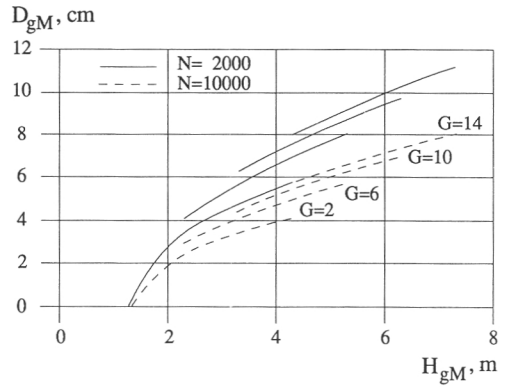
### 6.3 Keskipituusmalli

Useissa käytännön ohjeissa taimikonharvennuksen ajankohta ilmaistaan keskipituuden avulla. Keskipiteus voi olla joko aritmeettinen, pohjapinta-alalla painotettu tai pohjapinta-alamediaaniläpimittaa vastaava pituus. Erilaiset pohjapinta-alapainotukseen liittyvät keskipiteudet eivät taimikoissa eroa toisistaan kovinkaan paljon.

Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään pohjapinta-alamediaaniläpimittaa vastaavaa keskipiteutta ( $H_{GM}$ ). Se kuvattiin tulomuotoisella mallilla. Graafisen tarkastelun perusteella muutettiin tehtiin muutokset, jotka pakottavat keskipiteudeksi 1,3 metriä, kun valtipiteus on 1,4



Kuva 17. Valtapituuden ja keskipituuden ero.  
Figure 17. The difference of the dominant height and the height corresponding to the basal area median diameter.



Kuva 18. Pohjapinta-alamediaaniläpimitta vastaavan keskipituuden funktiona.  
Figure 18. Basal area median diameter as a function of corresponding height.

metriä. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(H_{gM}-1,3) = 0,673064* + 0,938063\ln(H_{dom}-1,4) + 0,0254534(H_{dom}-1,4) - 0,0848432\ln(N) - 0,057965\ln(H_{100}) \quad (63.1)$$

$$R^2 = 0,956, s_m = 0,749, s_f = 0,159, s_{e\%} = 16,0, b_{e\%} = 0,43, n = 750$$

\* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys  $s_f^2/2$

Valtapituus selittää suurimman osan keskipituuden vaihtelusta. Kasvupaikan paraneminen kasvattaa jonkin verran valtapituuden ja keskipituuden eroa (kuva 17). Tämä lienee osoitus siitä, että paremmalla kasvupaikalla puiden väliset pituuserot suurenevät ajan myötä enemmän verrattuna karumpiin kasvupaikkoihin. Mitä pienempi runkoluku on, sitä vähäisempi on valta- ja keskipituuden ero. Riippuvuus on looginen. Esim. taimikonharvennuksessa valtapituus ei muutu, mutta keskipituus suurenee, koska harvennuksessa poistetaan pääasiassa pieniä puita.

#### 6.4 Keskiläpimittamalli

Keskiläpimitan jokseenkin vakiintuneeksi tunnuksiksi on muodostunut pohjapinta-alamediaaniläpimitta ( $D_{gM}$ ), joka saadaan helpoimmin määriteltä relaskooppikoealalla. Läpimittatiedon avulla voidaan ennustaa runkoluku- ja pohjapinta-alajakaumia (Päivinen 1980, Kilkki & Päivinen 1986).

$D_{gM}$  ennustettiin tulomuotoisella mallilla. Malli muodostaa keskipituusmallin kanssa rekursiivisen malliketjun, jossa keskipituusmalli on edeltäjämalli ja keskiläpimittamalli seuraajamalli. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(D_{gM}) = 2,67841* + 0,481126\ln(H_{gM}-1,3) - 0,205268\ln(N) + 0,165314\ln(G) \quad (64.1)$$

$$R^2 = 0,968, s_m = 0,656, s_f = 0,117, s_{e\%} = 11,7, b_{e\%} = -0,02, n = 818$$

\* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys  $s_f^2/2$

Samalla keskipituudella ja runkoluvulla keskiläpimitta on sitä suurempi, mitä suurempi pohjapinta-ala on (kuva 18). Läpimitan ja piteuden välinen riippuvuus on lähes suoraviivaista, kun keskipituus on yli 2 metriä. Runkoluvun väheneminen suurentaa läpimittaa. Kun  $H_{gM}$  on 1,3 metriä, läpimitta on nolla.

## 7 Taimikoiden kasvumallin soveltaminen

### 7.1 Vuokilan ja Väliahon mallit ja taimikoiden kasvumallit

Viljelymänniköiden kasvatusmallien (Vuokila & Väliaho 1980) sovellusalueen alarajana on eri kasvupaikoilla valtapituus 5,6–7,0 metriä ja ikä 15–40 vuotta. Mallien alkuvaihe on siis päällekkäinen tämän tutkimuksen aineiston kanssa, ja tämä antaa mahdollisuuden tulosten vertailuun. On kuitenkin korostettava sitä, että yhteinen alue edustaa kummankin materiaalin reuna-alueita. Tämän tutkimuksen aineiston pääosan muodostaa vuosittainen kasvutieto ennen pohjapinta-alan ja valtapituuden vuotuisen kasvun maksimia. Vuokilan ja Väliahon aineisto taas edustaa kokonaisuudessaan em. vaiheen jälkeistä aluetta.

Erot tämän tutkimuksen ja Vuokilan & Väliahon (1980) tutkimuksen valtapituuksissa ovat sitä suuremmat, mitä parempi kasvupaikka on (kuva 19). Pääosa valtapituuden kehityksen eroista selittyy sillä, että Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa kehitys rinnantasalle on arvioitu tämän tutkimuksen tuloksia hitaammaksi (ks. kuva 6).

Valtapituuden kehityksen lisäksi vertailtiin tilavuuskasvua ja tilavuuden kehitystä. Vuokilan ja Väliahon aineiston pääosa on kylvettyjä männiköitä. Tämän tutkimuksen tilavuuskasvat laskettiin vertailua varten kylvömänniköille olettaen, että taimikonharvennus on tehty valtapituuden saavutettua 3 metriä. Harvennuksen jälkeiset runkoluvut olivat:  $H_{100}=27-30$ ;  $N=2000$ ,  $H_{100}=21-24$ ;  $N=1800$ ,  $H_{100}=15-18$ ;  $N=1600$  kpl/ha. Vertailukäyrät rajoitettiin taimikkomallien osalta valtapituudelle alle 10 metriä tai iälle alle 40 vuotta. Vuokilan ja Väliahon tutkimuksen arvot laskettiin kasvatusmallien sovellutusalueen alusta ensiharvennukseen asti.

Koska tämän tutkimuksen mukaan valtapituuden kehitys on nopeampaa kuin Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa, alkaa myös pohjapinta-alan kehitys aikaisemmin. Samasta syystä myös tilavuuskasvu on tämän tutkimuksen mukaan nopeampaa kuin Vuokilan ja Väliahon malleilla laskien (kuva 20). Erot tilavuuskasvussa ovat suhteellisesti samansuuruiset kuin valtapituuden kasvussa eli yhden pituusboniteettiluokan (3 metriä) verran.

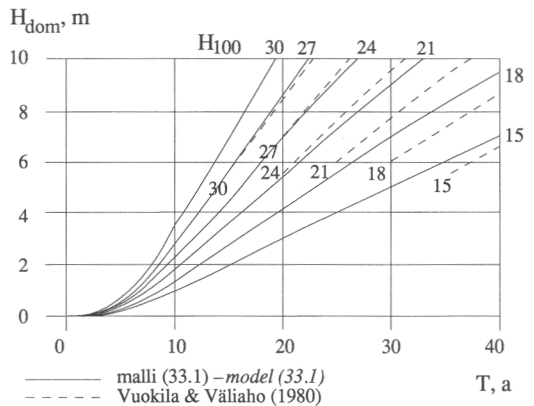
Erot tilavuuksissa ovat 10 metrin valtapituudella 10–30 m<sup>3</sup>/ha (kuva 21). Tilavuuskehityk-

sen erot tutkimusten välillä jäävät parhailla pituusboniteeteilla pienemmiksi kuin luokkaväli toisin kuin valtapituuden kehityksessä.

### 7.2 Vertailu taimikonharvennuskokeisiin

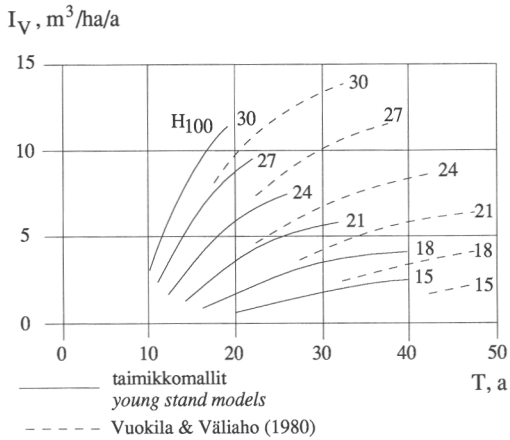
Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnalla perustettiin 1970-luvulla taimikonharvennuskokeita sekä luontaisesti syntyneisiin että kylvettyihin taimikoihin. Kokeiden yksityiskohtaiset tutkimussuunnitelmat on julkaissut Vuokila (1986, s. 76–81). Taimikoiden yleiskuvaus on julkaistu taimikoiden harvennuksen voimakkuutta selvittelleessä tutkimuksessa (Varmola 1982). Aineistosta valittiin tämän tutkimuksen kasvumallien testaamista varten kylvötaimikot, joita oli yhteensä 15 (162 koealaa). Kahdeksassa taimikossa (88 koealaa) metsikkötunnukset oli mitattu sekä harvennusvaiheessa että 4–7 vuotta myöhemmin. Neljästä metsiköstä (49 koealaa) oli tiedossa myös ensiharvennusvaiheen mittatiedot. Kaikki metsiköt olivat kuivahkon kankaan taimikoita yhtä VMT-taimikkoa lukuunottamatta. Yksityiskohtainen mallien testaaminen harvennuskoeaineistoon on esitetty aiemmin (Varmola 1987).

Kestokoeaineistolla tehty tarkastelu osoitti, että taimikoiden kasvumallien perustana oleva kuo-

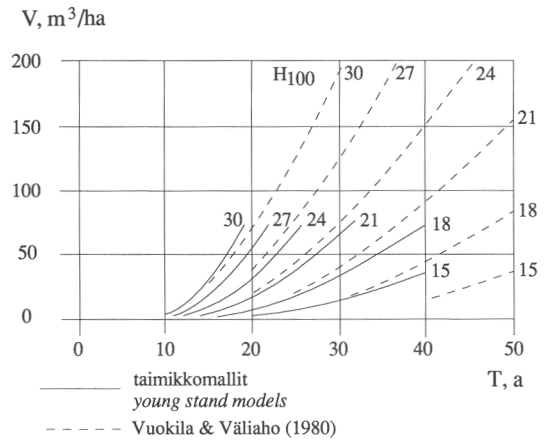


Kuva 19. Valtapituus-ikäkäyrästäöjen vertailu.  
Figure 19. The comparison of dominant height-age curves.





Kuva 20. Vuotuinen tilavuuskasvu verrattuna Vuokilan & Väliahon (1980) malleihin.  
 Figure 20. Current annual increment of volume compared with Vuokila & Väliaho's (1980) models.



Kuva 21. Tilavuuskehitys verrattuna Vuokilan & Väliahon (1980) malleihin.  
 Figure 21. The development of volume compared with Vuokila & Väliaho's (1980) models.

rettoman pohjapinta-alan kasvumalli antoi luotettavia tuloksia myös testiaineistossa. Tulokset ovat loogisia aina ensiharvennukseen saakka. Mallilla (54.3) saatu noin 8 %:n aliarvio on mitä ilmeisimmin seurausta testiaineiston kasvunmittausjakson tavanomaista suotuisammista kasvuolosuhteista. Tarkastelu osoitti kuitenkin, että aikaisessa vaiheessa harvennettujen taimikoiden osalta mallilla saadaan selvä kasvun aliarvio.

Taimikonharvennuksen jälkeiselle pohjapinta-alalle saatiin mallilla (53.1) selvä aliarvio. Tämä aiheutui tämän tutkimuksen taimikoiden kasvamisesta tiheämpinä kuin testiaineiston taimikot ennen taimikonharvennusta.

Pituusbonitointia varten kehitetyllä valtapituuden kasvumallilla (33.1) saatiin myös testiaineistossa loogisia tuloksia. Pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus osoittautui hyväksi. Eri ajankohtina lasketut pituusboniteetit eivät muuttuneet systemaattisesti, vaan testiaineiston metsiköiden valtapituuden kasvu noudatti mallin kulkua aina ensiharvennukseen asti.

Tilavuusmalli (62.1) ei sen sijaan antanut loogisia tuloksia valtapituuden ylitettyä 10 metriä. Jo laadinta-aineiston reuna-alueilla tulokset olivat epävarmoja. Keskipituusmalliin (63.1) liittyi testiaineistossa lähinnä tasoero. Keskiläpimittamallilla (64.1) saatiin yliarvio, kun lähestyttiin laadinta-aineiston rajoja.

Suurin ero testiaineiston ja laadinta-aineiston välillä oli metsiköiden tiheys ennen taimikon harvennusta. Testiaineiston useissa taimikoissa oli tehty kylvötupaiden hajoitus muutamia vuo-

sia ennen varsinaisen harvennuskokeen perustamista, mikä on epäilemättä vaikuttanut taimikoiden kehitykseen.

### 7.3 Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus puustotunnuksiin

Taimikonharvennuksella säädellään metsikön tiheyttä ja tilajärjestystä. Harvennus lisää puiden kasvutilaa ja nopeuttaa puiden järeytymistä. Mitä aiemmin taimikko harvennetaan, sitä nopeampaa on jäljelle jäävien puiden järeytyminen (Thernström 1982, Varmola 1982)

Kasvumalleilla tutkittiin taimikonharvennuksen ajankohdan vaikutuksia puustotunnuksiin olettamalla harvennus tehtäväksi, kun valtapituus ylittää 2, 4 tai 6 metriä. Harvennuksen jälkeiset runkoluvut olivat 1000 tai 2000 kpl/ha. Puustotunnukset on esitetty joko valtapituudella 10 metriä tai karummilla kasvupaikoilla iällä 40 vuotta (taulukko 5).

Aikaisen ja myöhäisen taimikonharvennuksen vaikutukset näkyvät selvimmän tilavuuksissa. Neljän metrin ero taimikon harvennushetken valtapituudessa aiheuttaa tilavuudessa noin 10 m³/ha eron lähestyttäessä ensiharvennusta. Pohjapinta-alalla mitaten ero on 2,0–2,5 m²/ha.

Voimakas harvennus vähentää puustopääomaa. Toisaalta jäljelle jäävät puut ovat taimikon kookkaimpia. Siten keskiläpimitta nousee jo pelkän

harvennuksen ansiosta. Ensiharvennusta lähes-  
tyttäessä ero keskiläpimitassa on 1–2 cm, kun  
runkoluku on joko 1000 tai 2000 kpl/ha.

#### 7.4 Kasvumallilla simuloitunut kehityssarjat

Liitteessä 2 on esitetty viljelymänniköiden kehi-  
tyssarjoja erikseen istutetuille ja kylvötaimikoil-  
le. Taulukot on rajattu 10 metrin valtapituudelle  
tai 40 vuoden iälle. Kylvötaimikoissa harvennus  
on oletettu tehtäväksi valtapituuden ylitettyä 3  
tai 6 metriä. Sekä istutettujen että harvennettujen  
kylvötaimikoiden runkoluvut ovat samat kuin  
Vuokilan & Väliahon (1980) taulukoissa eli seu-  
raavan asetelman mukaiset:

H <sub>100</sub>	N
27–30	2000
21–24	1800
15–18	1600

Taulukko 5. Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voi-  
makkuuden vaikutus puustotunnuksiin. Malleilla las-  
ketut pohjapinta-ala, tilavuus ja keskiläpimita, kun  
valtapituus on 10 metriä tai ikä 40 vuotta.

Table 5. The effect of the time and the strength of clea-  
ning on some stand characteristics. Basal area,  
volume and basal area median diameter estimated  
with models when the dominant height is 10 m or  
when age is 40 years.

H <sub>100</sub>	H <sub>dom(h)</sub>	H <sub>dom</sub>	G	V	D <sub>gM</sub>
N = 1000					
15	2,0	7,3	8,2	31,7	11,5
	4,1	7,3	7,7	29,7	11,4
	6,2	7,3	5,8	22,6	10,9
21	2,2	10,0	15,3	67,9	15,6
	4,3	10,0	14,5	64,6	15,4
	6,2	10,0	12,8	57,1	15,1
27	2,3	10,3	15,3	66,1	15,7
	4,5	10,3	14,5	62,6	15,6
	6,2	10,3	13,0	56,0	15,3
N = 2000					
15	2,0	7,3	10,8	42,4	10,2
	4,1	7,3	10,3	40,3	10,1
	6,2	7,3	8,3	32,7	9,7
21	2,2	10,0	18,8	85,3	13,6
	4,3	10,0	18,1	82,0	13,5
	6,2	10,0	16,5	75,0	13,3
27	2,3	10,3	19,0	83,7	13,8
	4,5	10,3	18,3	80,4	13,7
	6,2	10,3	16,8	74,0	13,5

## 8 Päätelmät

Tutkimuksen aineistona oli 100 männyn viljely-  
taimikkoa, joista laskettiin koepuiden kasvutie-  
tojen ja runkolukusarjan perusteella vuosittaiset  
metsikkötunnukset 2–15 vuoden jaksolle. Mallien  
laadinnassa oli siten käytettävissä enimmil-  
lään 819 havaintoa. Käyttämällä saman metsi-  
kön perättäisiä havaintoja pienennettiin kasvu-  
tunnuksiin liittyvää satunnaisvaihtelua verrattu-  
na poikkileikkausaineistoon. Samaan metsikköön  
liittyvät havainnot ovat keskenään korreloituneita,  
mikä olisi tullut ottaa huomioon regressio-  
mallien laadinnassa. Tämä ei kuitenkaan ollut  
mahdollista käytettävissä olleella tilasto-ohjel-  
malla ja ohjelma laski parametrien estimaatit ja  
niiden luotettavuustunnukset olettaen havainnot  
korreloimattomiksi. Tämä ei aiheuta harhaa pa-  
rametrien estimaatteihin mutta kylläkin luotetta-  
vuustunnuksiin ja t-testeihin. Mallien valinta pe-  
rustui ohjelmiston antamien tunnuslukujen lisäksi  
jäännösvaihtelu- ja osittaiskorrelaatiokuvaan, joilla  
selvitettiin mallien loogisuutta sekä mallien ja  
aineiston yhteensopivuutta.

Viljelymänniköiden alkukehitys oli tutkimuk-  
sen mukaan jonkin verran aiemmin esitettyä no-  
peampaa. Sekä valtapituuden, pohjapinta-alan että  
tilavuuskasvun ero Vuokilan & Väliahon (1980)  
kasvatusmalleihin oli suunnilleen yhden pituus-  
boniteettiluokan (3 metriä) verran riukumetsä-  
vaiheessa. Ero aiheutui pääasiassa siitä, että Vu-  
okilan ja Väliahon tutkimuksessa kehitys rinnan-  
tasalle on arvioitu noin kaksi vuotta hitaammak-  
si kuin minkä tämä tutkimus osoitti.

Näiden kahden tutkimuksen mallien yhteenso-  
vittaminen voidaan tehdä korjaamalla metsikön  
ikää em. erolla ja sijoittamalla korjattu ikä Vu-  
okilan & Väliahon (1980) malliin. Toinen mah-  
dollisuus on käyttää kuutiosplinitasoitusta valta-  
pituuden kehityksen yhteensovittamisessa (ks.  
Borders ym. 1984).

Taimikoiden pituusboniteetit estimoitettiin Hägg-  
lundin (1976) välipituusmenetelmään perustu-  
valla mallilla ja siihen perustuvalla valtapituu-  
den kasvumallilla. Vaikka Hägglundin mallin  
perustana oleva aineisto onkin melko pieni, näytti

malli soveltuvan hyvin myös suomalaisiin oloihin. Muutamat Etelä-Suomen lehtomaisten ja tuoreiden kankaiden taimikoiden pituusboniteetit jäivät kuitenkin selvästi alhaisemmiksi kuin mikä niiden tulisi olla metsätuotantokäytön mukaan. Tämä saattaa aiheutua Hägglundin mallin harhaisuudesta kaikkein parhaimmilla kasvupaikoilla. Mallilla ei hevin saada pituusboniteettia yli 30:ksi. Samaan seikkaan viittaa myös Elfvingin (1983) selvitys, jossa kaikkein rehevimpien kasvupaikkojen taimikoissa pituuskasvumenetelmä antoi pienempiä pituusboniteettiasteita kuin kasvupaikkatekijöihin perustuva malli.

Valtapituuden kasvumallia voidaan käyttää paitsi valtapituuden kehityksen ennustamisessa myös pituusboniteetin estimoinnissa. Hägglundin (1976) malli rajoittuu tapauksiin, joissa pituuskasvu on mitattu määrättyltä korkeudelta. Tämän tutkimuksen mallissa ei sen sijaan olla riippuvaisia määrätystä aloituskorkeudesta. Jäänösvaihtelukuvia tarkastelemalla näytti kuitenkin ilmeiseltä, että valtapituuden tulee olla vähintään kaksi metriä, ennen kuin mallia voidaan käyttää.

Kasvumallien lähtötilanne kuvattiin kuorettona pohjapinta-alana joko valtapituuden ylitettyä rinnantasan (harventamattomat) tai taimikonharvennuksen jälkeen (harvennetut). Viimeksimainitussa mallissa selittävinä muuttujina olivat vain valtapituus ja runkoluku harvennuksen jälkeen. Aineiston mukaan kasvupaikalla ei ollut vaikutusta harvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan. Muiden tutkimusten tulokset ovat tässä suhteessa ristiriitaisia. On selvää, että taimikonharvennusta edeltävä metsikön tiheys ja harvennustapa vaikuttavat harvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan. Tiheydestä ennen harvennusta samoin kuin harvennustavasta ei kuitenkaan ollut tietoa, joten niitä ei voitu ottaa malliin mukaan selittäviksi muuttujiksi.

Kasvumallien perustana oli kuoretton pohjapinta-alan vuotuista kasvua kuvaava malli. Mallin rakenne noudatteli Jonssonin (1969) esittämää teoriaa pohjapinta-alan kasvuun vaikuttavista tekijöistä. Mallin loogisuus tarkistettiin sekä jäännösvaihtelu- että osittaiskorrelaatiokuvilla.

Testiaineistossa mallilla saatiin kuuden vuoden kasvujaksolla pohjapinta-alalle noin 8 %:n aliarvio jakson loppujankohdan mitattuun pohjapinta-alaan verrattuna. Eron tulkittiin aiheutuvan pääasiassa testiaineiston suhteellisen lyhyen kasvujakson keskimääräistä edullisemmista kasvuolosuhteista. Tiihosen (1983) kasvuindeksien keskiarvo em. jaksolla oli 115, kun laadinta-aineiston kasvunjaksojen kasvuindeksien keski-

arvo oli 95.

Metsikön synty tapa oli pohjapinta-alan kasvumallissa valemuuttujana. Istutustaimikossa kasvu on mallin mukaan aina jonkin verran suurempi kuin kylvötaimikossa. Tasoero selittyy sillä, että istutustaimikossa puilla on alusta alkaen tasainen tilajärjestys. Kylvötaimikossa tilajärjestys on ennen tuppaiden harventamista ryhmittäinen. Myös harvennuksen jälkeen kasvu jäi kylvömänniköissä pienemmäksi kuin istutustaimikossa. Kasvumallit kuvasivat hyvin kylvömänniköiden kehitystä testiaineistonkin mukaan. Istutustaimikoista ei testiaineistoa ollut saatavilla. Syntyvän vaikutusta taimikoiden kasvuun ei siten voitu varmistaa erillisellä aineistolla.

Taimikonharvennuksen vaikutusta selitti pohjapinta-alan kasvumallissa harvennuhetken valtapituus. Pohjapinta-alan kasvu oli sitä pienempi, mitä myöhemmin taimikko harvennettiin. Vähentäminen oli lievää ja suoraviivaista. Puustotunnusten tarkastelu 10 metrin valtapituudella osoitti, että malli käyttäytyi loogisesti ja aiempien tutkimusten mukaisesti. Testiaineisto kuitenkin osoitti, että mallilla saatiin aliarvio pohjapinta-alan kasvulle, kun taimikko oli harvennettu aikaisessa vaiheessa eli valtapituudella alle 4 metriä. Kun toisaalta on osoitettu, että vain aikaisella harvennuksella saadaan aikaan nopea järetyminen (esim. Thernström 1982, Varmola 1982), on ilmeistä, että taimikonharvennuksen vaikutus on mallissa kuvattu liian lievästi.

Taimikoiden tilavuus ennustettiin tutkimuksessa kuorellisen pohjapinta-alan, valtapituuden, runkoluvun ja pituusboniteetin avulla. Tilavuudessa olivat mukana myös alle 1,3 metrin mittaiset taimet, joiden osuus on huomattava valtapituuden vasta ylitettyä rinnantasan.

Tutkimuksen mallit kuvaavat metsikkötunnusten kehitystä. Runkoluku- tai pohjapinta-alajakamia kuvaavilla malleilla metsiköiden rakenne voitaisiin kuvata tarkemmin. Taimikkovaiheessa em. jakaumien tunteminen ei kuitenkaan ole ensiarvoisen tärkeää. Jakaumien merkitys korostuu, kun tarvitaan tietoa tukki- ja kuitupuuosuuksista. Taimikkomallien sovellusalueen ylärajalla, valtapituudella 10 metriä kuitupuun osuus on harvennetuissa taimikoissa noin 80 %, joten ensiharvennusvaiheessa kuitupuun määrällä on jo merkitystä. Puutavaralajien estimointi katsottiin kuitenkin soveltuvan tarvittaessa Vuokilan & Väliähon (1980) malleilla tehtäväksi.

Kasvumalleihin kuuluvat myös luonnonpoistumaa ja uusien taimien syntymistä kuvaavat mallit. Luonnonpoistumaa on yleensä kuvattu metsikkökohtaisilla malleilla (esim. Hägglund

ym. 1979, Agestam 1985, Näslund 1986). Viljelytiheyksien ja mittaushetken runkolukujen analysointi tutkimusaineistossa osoitti, että viimeksimainittu oli joissakin tapauksissa jopa suurempi kuin viljelytiheys. Tämä kertoi toisaalta luontaisen taimiaineuksen täydentävästä vaikutuksesta ja toisaalta pienestä kuolleisuudesta. On oletettavaa, että harvennetuissa taimikoissa kuolleisuus on hyvin pientä ensiharvennukseen mennessä, minkä osoitti myös testiaineisto. Erillisiä kuolemismalleja ei siten tarvita ainakaan harvennetuissa taimikoissa. Syntymismallien merkitys korostuu luontaisesti uudistetuihin taimikoissa.

Missään mallissa ei käytetty selittävänä muuttujana taimikon ikää, joka sinänsä on helposti määriteltävissä viljelytaimikossa. Iän käyttöä ei katsottu tarpeelliseksi malleissa, koska pituusboniteetti itsessään sisältää tietoa metsikön iästä ja valtapituudesta. Pituusboniteetti saadaan taimikkovaiheessa varmimmin estimoitua pituuskasvun avulla. Jos taimikkoa on jossain vaiheessa kohdannut tuho ja sen kehitys on tuhon takia

hidastunut, voidaan ikään perustuvilla malleilla saada huomattavan väärä arvio kehitykselle. Valtapituutta ei myöskään käytetty pohjapinta-alan kasvumallissa suoraan selittävänä muuttujana, vaikka sillä olisi selitysarvoa ollutkin. Syyinä menettelyyn oli se, että valtapituus ajan suhteen muuttuvana tunnuksena väärinä olisi kasvumalleja, jos sen kehityksessä tapahtuisi häiriöitä. Kuoretonta pohjapinta-alaa lukuunottamatta mallissa mukana olevat muut selittävät muuttujat ovat ajan suhteen muuttumattomia.

Tutkimuksen aineistona olivat hyvin onnistuneet, täystiheät taimikot. Mallit kuvaavat siten viljelymänniköiden ideaalista kehitystä taimikkovaiheessa samoin kuin Vuokilan ja Väliahon mallit myöhäisemmällä iällä. Siitä, millainen vähennys malleihin olisi tehtävä ”arkitaimikoissa”, ei ole tietoa. On kuitenkin ilmeistä, että etenkin harvennetuissa taimikoissa puiden kasvutila voidaan järjestää tasaiseksi, ja kehitys noudattelee taimikkomalleja edellyttäen, että taimikoissa ei tapahdu runkoluvun muutoksia.

## Kirjallisuus — References

- Agestam, E. 1985. En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Summary: A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion, Rapport 15. 150 s.
- Andersson, S.-O. & Björkdahl, G. 1984. Om björkstubbkottens höjdtveckling i ungdomsskedet. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3-4: 61-67.
- Borders, B.E., Bailey, R.L. & Ware, K.D. 1984. Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method. *Forest Science*, 30(2): 411-423.
- Cajander, E.K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. *Communicationes Instituti Forestales Fenniae* 19(3). 101 s.
- Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. *Acta Forestalia Fenniae* 56. 69 s.
- Ekö, P.M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provtytor. Summary: A growth simulator for Swedish forests, based on data from the national forest survey. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel, Rapport 16. 224 s.
- Elfving, B. 1982. HUGIN's ungskogstaxering 1976-1979. Projekt HUGIN, Sveriges lantbruksuniversitet, Rapport 27. 87 s.
- 1983. Ståndortsindex på HUGIN's ungskogstaxering. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel. Moniste. 11 s.
- & Hägglund, B. 1975. Utgångslägen för produktionsprognoser. Tall och gran i Sverige. Summary: Initial stands for yield forecasts. Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 38. 75 s.
- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 41. 291 s.
- Fryk, J. 1984. Tillstånd och produktion i röjda ungskogar med låga stamantal. En studie utförd på AB Iggesund Bruks marker i Hälsingland. Summary: Wide spacing after cleaning of young forest stands — stand properties and yield. A study carried out at AB Iggesund Bruk in central Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 13. 248 s.
- Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 41 s.
- Huuri, O., Lähde, E. & Huuri, L. 1984. Tiheyden vaikutus istutusmännikön laatuun. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 167. 22 s.
- Hägglund, B. 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Summary: Site index curves for Scots pine in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 31. 54 s.
- 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 39. 66 s.

- , Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. Projekt HUGIN, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 13. 133 s.
- Hämäläinen, J., Kaila, S. & Keskinen, S. 1985. Laskenta-systemi metsänviljelyn menetelmien vertailuun. Metsätehon katsaus 18. 4 s.
- Jonsson, B. 1969. Studier över den av väderleken orsakade variationen i årsringsbredderna hos tall och gran i Sverige. Summary: Studies of variations in the widths of annual rings in Scots pine and Norway spruce due to weather conditions in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 16. 297 s.
- Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. 116 s.
- Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta Forestalia Fenniae 71(3). 78 s.
- Kaunisto, S. & Tukey, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemaila. Summary: Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat. Folia Forestalia 646. 36 s.
- Kilkki, P. & Päivinen R. 1986. Weibull function in the estimation of the basal area dbh-distribution. Seloste: Weibull-funktio pohjapinta-alan läpimittajakauman estimoinnissa. Silva Fennica 20(2): 149–156.
- & Varmola, M. 1979. A nonlinear simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Silva Fennica 13(4): 293–303.
- Kinnunen, K. 1986. Männyn kylvötuppaiden harventamisesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 215. 19 s.
- & Linnimäki, J. 1977. Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa. Summary: Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia. Folia Forestalia 329. 32 s.
- & Nerg, J. 1982. Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä. Abstract: State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forests of western Finland. Folia Forestalia 535. 16 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(8). 49 s.
- Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P. K. & Taimisto, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967–1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967–1975. Folia Forestalia 312. 27 s.
- Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 133. 79 s.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvatustutkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 38(5). 131 s.
- Näslund, B.-Å. 1986. Simulering av skador och avgång i ungskog och deras betydelse för beståndsutvecklingen. Summary: Simulation of damage and mortality in young stands and associated stand development effects. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel, Rapporter 18. 147 s.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) — Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.
- Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia Forestalia 346. 40 s.
- , Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Metsänuudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma ”VILJO”. Summary: A calculation system for the comparison of forest regeneration chains. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 179. 93 s.
- Pelkonen H., Tuomi, P. & Valtanen, J. 1982. Männyn viljelytaimikoiden kunto 10 vuoden iällä Taivalkoskella. Summary: Survival of pine on reforested sites in the northern Finland. Folia Forestalia 511. 23 s.
- Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemaila kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978–1979. Folia Forestalia 679. 26 s.
- Pohtila, E. & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–1972 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970–1972. Silva Fennica 17(3): 201–224.
- & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. Folia Forestalia 453. 18 s.
- Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. Folia Forestalia 442. 28 s.
- Rautiainen, O. & Räsänen, P.K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968–1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968–1976. Folia Forestalia 426. 24 s.
- Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland: Results from the inventories in 1978–1979. Folia Forestalia 637. 30 s.
- Saksa, T. 1986. Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa.

- Summary: The development of Scots pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland. *Folia Forestalia* 644. 60 s.
- Salminen, H & Varmola, M. 1990. Puolukkatyyppien kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. *Folia Forestalia* 752. 29 s.
- Sirén, G. 1956. Männyn taimistojen käsittelystä. Summary: The treatment of pine seedling stands. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 1: 5–12.
- Thernström, P-O. 1982. Några resultat från sex röjningsförsök med röjning i tallungskog vid olika beståndsalder. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för Skogsproduktion. Examenarbete 3. 69 s.
- Tiihonen, P. 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 545. 8 s.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia Forestalia* 451. 21 s.
- 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. *Folia Forestalia* 524. 31 s.
- 1984. Taimikoiden pituusbonitoinnin ongelmia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 148: 148–151.
- 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Lisen-siaattityö. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Konekirjoite. 89 s.
- & Vuokila, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for small-sized pines. *Folia Forestalia* 652. 24 s.
- Vuokila, Y. 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 239. 229 s.
- & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communications Institutii Forestales Fenniae* 99(2). 271 s.

*Total of 53 references*

## Summary

### A stand model for early development of Scots pine cultures

#### Introduction

Artificial regeneration has been used in Finland on a large scale since the 1950s. Nowadays the artificially regenerated area is about 140 000 ha per year. This equals half of the area regenerated annually. The total area of cultures is nearly 5 mill. ha.

Growth and yield models for Scots pine cultures in Finland have been created by Vuokila & Väliäho (1980). These models contain the development of stands from pole stage (dominant height 5–8 m) to the final cutting. In most Fennoscandinavian growth and yield tables (e.g. Koivisto 1959, Eriksson 1976, Hägglund et al. 1979, Vuokila & Väliäho 1980, Agestam 1985, Ekö 1985) the development of stands is described only from the pole stage on. In this study stand models for the early development of Scots pine cultures up to 10 m of dominant height are presented. The following stand characteristics are described; basal area both over and under bark, basal area median diameter and corresponding height, dominant height, and volume. Application of models is discussed in relation to models for older stands.

#### Material

The data consist of 100 temporary plots. They cover practically all sites suitable for artificial regeneration of Scots pine in Finland (Table 1). The geographical distribution is from southernmost Finland (60° N) to above the Arctic Circle (67° 30' N) (Fig. 2). The stands have been selected subjectively in order to get as wide a variety as possible in relation to density and site. Twenty-nine stands were planted, the rest seeded. In 37 seeded stands cleaning had been done 2 to 14 years before measurement.

The size of plot varies from 225 to 2000 m<sup>2</sup>, with at least 200 plants calipered, from which 20 sample trees were selected. Besides the normal tree characteristics (Table 2) height increments (max 15 a), and radial increment at breast height (max 15 a) were measured. At the time of measurement dominant height varied from 3.7 to 10.1 m, age from 12 to 35 years (Fig. 1), and density from 1300 to 24 000 stems/ha.

The basis for the analysis is the increment data (Table 3). It contains 819 annual increment periods in all. In all static variables values are presented as those in the beginning of the corresponding growing period. Volumes also include trees under 1.3 m high, which in small stands are of great importance.

## Site indexes

Site index curves based on height and age can be used in stands over at least 5 to 8 m of dominant height. In any case it is risky to estimate a site index with such a model when dominant height is under 10 m as in the study material. The use of a site index model for Scots pine cultures (Vuokila & Väliaho 1980) gave as a mean value 3 m higher than should have been supposed on the basis of forest site types (see Cajander 1949).

Instead of height-age model another method was used. Hägglund (1976) has developed a model for site classification in young stands ("interceptmethod") based on the 5-year increment of dominant height beginning from the height of 2.5 m. This model seems to suit well in the study material. As mean values site indexes are equal to indexes of different forest site types, but the deviation in a single forest site type is less than when using the dominant height-age model.

In Hägglund's model (1976) the starting point for height growth is fixed, 2.5 m. To be able to estimate site index with different starting points a height growth model (33.1) was derived.

The model describes the development of dominant height (Fig. 7). Annual values can be derived by cubic spline interpolation when 5-year points of dominant heights are known (Fig. 8). Site indexes are calculated by iteration. Iteration was used in 38 stands, where no value for Hägglund's method was available.

In spite of the difficulties in determining forest site type in a young stand the correspondence between calculated site indexes and those of different forest site types was considered rather good (Table 4). Also the deviation of site indexes, which are determined by Hägglund's model and by equation (33.1) cover the range of sites used in artificial regeneration in Finland (Fig. 5).

## Basal area growth model

The base model for the simulation system is that of current annual increment of basal area u.b (54.3). As in many other studies, a multiplicative model was used. The model is described in two examples (Fig. 12), where the first represents a typical planted stand and the second a normal density seeded stand without cleaning. The development curves are limited to 10 m of dominant height (Fig. 13).

In a dense stand growth curves on different sites cross each other. This is a sign of overdensity and a need for thinning. A similar pattern of crossing has been recognized by Hägglund et al. (1979) with Lodgepole pine.

## Other models

In order to get an initial state for basal area two models were derived. The first model (52.1) describes basal area u.b. when the dominant height has reached 1.3 m, i.e. the breast height age is 1, as a function of dominant height, site index and stem number (Fig. 9). In the second model (53.1), which gives basal area u.b. after cleaning, site index had no significance as an independent variable (Fig. 10). According to other studies site index seems to have a negative effect (Elfving & Hägglund 1975), a positive effect (Vuokila & Väliaho 1980), or no effect (Hägglund et al. 1979) on the basal area after cleaning or thinning. These conflicting results show that different models lack some important variables, e.g. density before thinning and method of thinning.

Bark models (61.1 and 61.2) were derived for converting basal area u.b. to that o.b. and vice versa (Fig. 14). Volume is described by basal area, dominant height, site index, and stem number (Model 62.1 and Fig. 15). Basal area median diameter (Model 64.1 and Fig. 18) and corresponding height (Model 63.1 and Fig. 17) were modelled, too. Current annual volume increment, which is counted as the difference between annual values, is presented in two examples (Fig. 16).

Particularly in a dense, uncleaned stand the current annual volume increment curve has a clear turning point when dominant height is about 7 m. This equals the culmination point of the current annual increment of both basal area and dominant height.

## Application of model

In Finland growth and yield of Scots pine cultures are described by Vuokila & Väliaho's models (1980) from the pole stage on (dominant height 5–8 m). The upper limit of models in this study is 10 m of dominant height or 40 years of age. Thus a comparison between both models can be made for the common area.

According to this study dominant height reaches breast height on average two years earlier than in Vuokila and Väliaho's study (Fig. 6). This can be seen as a quicker development of dominant height up to 10 m (Fig. 19). The difference between the two studies in site indexes is about one class (3 m).

The same phenomenon can be seen in volume growth (Fig. 20). While the development of dominant height is faster in this study, the cumulation of basal area begins earlier, too. Basal area is the main dependent variable in the volume model and thus affects volume growth strongly. The difference for volume growth between the two studies is, however, smaller than for dominant height.

## Growth tables

Growth tables are of interest for e.g. a forest manager, who wants to estimate the state of a cultivated Scots pine stand and its development. The following initial values are required: site index, stem number and, in seeded stands, time of cleaning. Stem number can vary from 500 to 20 000 stems/ha, site index ( $H_{100}$ ) from 15 to 30, and the time of cleaning from 1.5 to 8.0 m of dominant height. Tables are restricted to 10 m of dominant height as the upper limit or, on poorer sites, to an age of 40 (see appendix 2).

## SYMBOLS

$a, b_1, b_2, c_i$	parameters of a model
$b$	bark thickness of a tree, mm
$b_c$	absolute bias $\frac{\sum(\hat{y} - y)}{n}$
$b_{c\%}$	relative bias $100 \cdot \frac{\sum(\hat{y} - y)}{n}$
$d$	breast height diameter, cm
$DD$	temperature sum ( $>+5$ °C), degree days
$D_{gM}$	basal area median diameter, cm
$G$	basal area at breast height over bark, m <sup>2</sup> /ha
$G_u$	basal area at breast height under bark, m <sup>2</sup> /ha
$h$	tree height, m
$H_{dom}$	dominant height, mean height of 100 thickest trees/ha, m
$H_{dom(h)}$	dominant height at cleaning, m =0 in uncleaned stands
$H_{gM}$	mean height corresponding to $D_{gM}$ , m
$H_{100}$	site index, dominant height at the age of 100 years
$i_d$	diameter increment at breast height, cm/a
$I_G$	current annual increment of basal area at breast height o.b., m <sup>2</sup> /ha/a
$I_{Gu}$	current annual increment of basal area at breast height u.b., m <sup>2</sup> /ha/a
$I_V$	current annual increment of volume o.b., m <sup>3</sup> /ha/a
$I_{V>1,3}$	current annual increment of volume of trees over 1.3 meter in height, m <sup>3</sup> /ha/a
$I_{Hdom(5)}$	5-year growth of dominant height, m
$I_{Hdom(2,5)}$	5-year growth of dominant height from the first whorl above 2,5 m, dm

## Conclusions

In young stands the method for estimating site index with 5-year dominant height growth is considered adequate. With a dominant height growth model no fixed starting point is needed. However, when the dominant height is under 2 m, estimation of site index will be uncertain.

The simulation system contains the estimation of main stand characteristics excluding mortality. This is partly due to the lack of proper material for either the mortality of plants or the birth of new, naturally regenerating plants. On the other hand, mortality is not obvious after cleaning as the test material showed.

The early development of a stand is an interesting part in the whole time of rotation. Changes are rapid and many characteristics reach their culmination in annual increment. How different models which describe the early and later development can be combined, has to be solved before different models for the whole rotation time can be used.

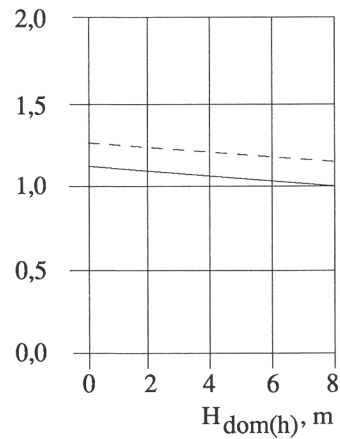
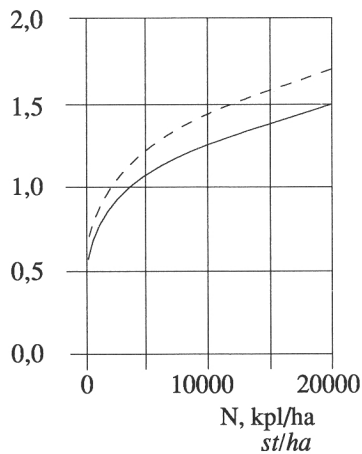
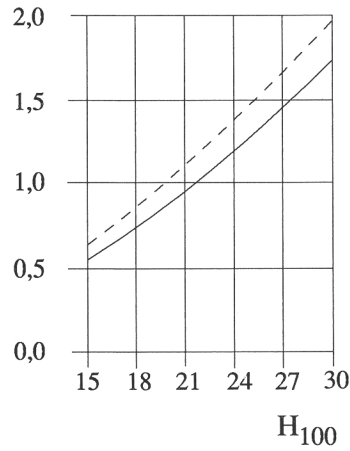
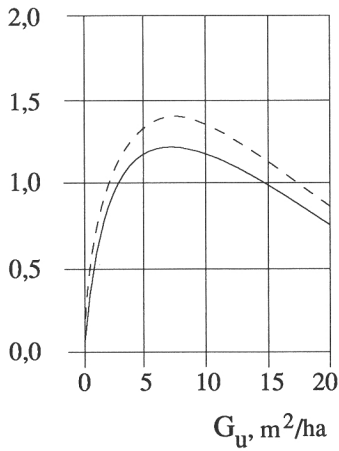
$\ln(x)$	natural logarithm of x
$n$	number of observations
$N$	number of stems including trees under 1.3 meter in height, stems/ha
$R^2$	degree of determination
$s$	standard deviation of observations
$s_{c\%}$	relative standard error of the model, %, in logarithmic models $100 \cdot \sqrt{e^{s_f^2} - 1}$
	in other models $100 \cdot \sqrt{\frac{\sum\left(\frac{\hat{y} - y}{\hat{y}}\right)^2}{n - 1}}$
$s_f$	residual error of a model
$s_m$	standard deviation of dependent variable
$ST$	dummy variable describing the way of regeneration (0 = planting, 1 = seeding)
$T$	total age, a
$T_{1,3}$	breast height age of dominant trees, a
$v$	volume of a tree o.b, dm <sup>3</sup>
$V$	volume o.b. including trees under 1.3 meter in height, m <sup>3</sup> /ha
$V_{>1,3}$	volume o.b. without trees under 1.3 meter in height, m <sup>3</sup> /ha
$\bar{x}$	mean of observations
$y$	observed value of a variable
$\hat{y}$	estimated value of a variable



**Liite 1.** Pohjapinta-alan kasvumallin osittaiskorrelaatiokuvat selittävien muuttujien suhteen. Muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle on annettu vakiona aineiston keskiarvot ( $G_u=3,6$ ,  $H_{100}=22,5$ ,  $N=5000$ ,  $H_{dom(h)}=3,6$ ).

**Appendix 1.** Partial correlations of basal area u.b. in relation to independent variables. Other variables than that being studied are given constant values ( $G_u=3.6$ ,  $H_{100}=22.5$ ,  $N=5000$ ,  $H_{dom(h)}=3.6$ ).

$I_{G_u}$ ,  $m^2/ha/a$



----- istutus – *planting*

———— kylvö – *seeding*

Liite 2. Kasvumallilla simuloituja kehityssarjoja.  
Appendix 2. Growth tables simulated with models.

Istutus -planting									
H <sub>100</sub> = 30									
N = 2000									
T	T <sub>1,3</sub>	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	I <sub>G</sub>	I <sub>v</sub>
1		0.08							
2		0.19							
3		0.33							
4		0.53							
5		0.82							
6		1.20							
7	1	1.67	1.55	1.1	0.08	0.12	0.82	0.28	0.63
8	2	2.21	2.01	2.2	0.30	0.40	1.45	0.60	1.41
9	3	2.81	2.51	3.3	0.75	1.00	2.86	1.03	2.59
10	4	3.44	3.04	4.5	1.54	2.02	5.45	1.49	4.08
11	5	4.10	3.60	5.6	2.71	3.52	9.54	1.92	5.70
12	6	4.78	4.19	6.7	4.21	5.43	15.24	2.21	7.23
13	7	5.48	4.80	7.8	5.96	7.65	22.47	2.36	8.53
14	8	6.18	5.44	8.9	7.83	10.01	31.00	2.38	9.56
15	9	6.89	6.10	9.9	9.72	12.39	40.57	2.31	10.39
16	10	7.61	6.78	10.8	11.57	14.70	50.96	2.19	11.07
17	11	8.32	7.48	11.7	13.32	16.89	62.03	2.06	11.68
18	12	9.03	8.20	12.6	14.97	18.95	73.71	1.92	12.23
19	13	9.73	8.93	13.4	16.51	20.87	85.93	1.79	12.75

Istutus -planting									
H <sub>100</sub> = 27									
N = 2000									
T	T <sub>1,3</sub>	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	I <sub>G</sub>	I <sub>v</sub>
1		0.07							
2		0.16							
3		0.29							
4		0.46							
5		0.70							
6		1.01							
7	1	1.40	1.30	0.0	0.02	0.03	0.64	0.10	0.22
8	2	1.84	1.69	1.4	0.09	0.12	0.87	0.24	0.57
9	3	2.32	2.11	2.3	0.28	0.37	1.43	0.48	1.15
10	4	2.84	2.54	3.3	0.64	0.85	2.58	0.78	1.99
11	5	3.38	2.99	4.3	1.25	1.62	4.58	1.12	3.05
12	6	3.93	3.46	5.2	2.13	2.74	7.63	1.44	4.22
13	7	4.50	3.95	6.2	3.26	4.18	11.85	1.70	5.38
14	8	5.07	4.46	7.1	4.62	5.88	17.23	1.88	6.44
15	9	5.66	4.99	8.0	6.12	7.76	23.67	1.97	7.33
16	10	6.25	5.53	8.9	7.69	9.73	31.00	1.98	8.05
17	11	6.84	6.08	9.8	9.28	11.71	39.05	1.94	8.64
18	12	7.43	6.64	10.6	10.84	13.65	47.70	1.87	9.13
19	13	8.01	7.21	11.3	12.34	15.51	56.83	1.78	9.54
20	14	8.59	7.79	12.1	13.78	17.29	66.37	1.68	9.90
21	15	9.16	8.38	12.8	15.13	18.97	76.27	1.58	10.23
22	16	9.73	8.97	13.4	16.41	20.55	86.50	1.49	10.54

<b>Istutus -planting</b>									
<b>H<sub>100</sub> = 24</b>									
<b>N = 1800</b>									
<b>T</b>	<b>T<sub>1,3</sub></b>	<b>H<sub>dom</sub></b>	<b>H<sub>gM</sub></b>	<b>D<sub>gM</sub></b>	<b>G<sub>u</sub></b>	<b>G</b>	<b>V</b>	<b>IG</b>	<b>I<sub>v</sub></b>
1		0.07							
2		0.14							
3		0.25							
4		0.39							
5		0.58							
6		0.84							
7		1.15							
8	1	1.50	1.40	0.6	0.03	0.03	0.68	0.09	0.21
9	2	1.89	1.74	1.5	0.09	0.12	0.89	0.19	0.46
10	3	2.30	2.10	2.3	0.24	0.32	1.34	0.35	0.85
11	4	2.73	2.47	3.1	0.51	0.66	2.19	0.54	1.38
12	5	3.17	2.84	4.0	0.94	1.20	3.58	0.76	2.04
13	6	3.63	3.23	4.8	1.54	1.96	5.62	0.98	2.79
14	7	4.09	3.64	5.6	2.32	2.94	8.41	1.18	3.57
15	8	4.56	4.05	6.4	3.27	4.12	11.98	1.34	4.34
16	9	5.03	4.48	7.2	4.36	5.46	16.32	1.46	5.04
17	10	5.51	4.91	8.0	5.54	6.93	21.36	1.53	5.65
18	11	5.99	5.35	8.7	6.79	8.46	27.01	1.56	6.17
19	12	6.47	5.80	9.4	8.06	10.02	33.18	1.56	6.60
20	13	6.95	6.26	10.1	9.33	11.58	39.78	1.53	6.96
21	14	7.42	6.72	10.8	10.58	13.11	46.74	1.48	7.26
22	15	7.88	7.18	11.4	11.79	14.59	54.00	1.43	7.52
23	16	8.34	7.64	12.0	12.96	16.02	61.52	1.37	7.75
24	17	8.79	8.11	12.6	14.09	17.39	69.27	1.31	7.94
25	18	9.24	8.57	13.2	15.16	18.70	77.21	1.25	8.12
26	19	9.67	9.03	13.7	16.19	19.95	85.34	1.19	8.28

Istutus - <i>planting</i> $H_{100} = 21$ $N = 1800$									
T	$T_{1,3}$	$H_{dom}$	$H_{gM}$	$D_{gM}$	$G_u$	G	V	$I_G$	$I_v$
1		0.06							
2		0.12							
3		0.21							
4		0.33							
5		0.48							
6		0.68							
7		0.92							
8		1.20							
9	1	1.50	1.40	0.6	0.02	0.02	0.67	0.06	0.14
10	2	1.82	1.69	1.3	0.06	0.08	0.82	0.12	0.29
11	3	2.16	1.98	2.0	0.16	0.20	1.11	0.21	0.52
12	4	2.50	2.28	2.7	0.32	0.41	1.63	0.32	0.82
13	5	2.86	2.58	3.4	0.58	0.73	2.45	0.45	1.21
14	6	3.22	2.90	4.0	0.95	1.19	3.65	0.60	1.65
15	7	3.59	3.22	4.7	1.44	1.78	5.31	0.74	2.14
16	8	3.96	3.55	5.4	2.04	2.52	7.45	0.87	2.65
17	9	4.34	3.88	6.0	2.75	3.40	10.10	0.99	3.16
18	10	4.72	4.22	6.7	3.57	4.39	13.26	1.08	3.64
19	11	5.10	4.56	7.3	4.46	5.47	16.90	1.15	4.08
20	12	5.48	4.91	7.9	5.42	6.62	20.98	1.20	4.47
21	13	5.86	5.26	8.5	6.41	7.82	25.45	1.22	4.80
22	14	6.23	5.61	9.1	7.42	9.04	30.25	1.23	5.09
23	15	6.60	5.97	9.6	8.44	10.27	35.33	1.22	5.33
24	16	6.97	6.32	10.2	9.46	11.48	40.66	1.20	5.54
25	17	7.33	6.68	10.7	10.45	12.68	46.20	1.17	5.71
26	18	7.69	7.03	11.2	11.43	13.84	51.91	1.13	5.86
27	19	8.04	7.38	11.7	12.37	14.98	57.77	1.10	5.98
28	20	8.39	7.74	12.1	13.29	16.08	63.75	1.06	6.09
29	21	8.72	8.09	12.6	14.18	17.14	69.84	1.02	6.19
30	22	9.06	8.43	13.0	15.04	18.16	76.03	0.99	6.27
31	23	9.38	8.78	13.4	15.86	19.15	82.30	0.95	6.34
32	24	9.70	9.12	13.8	16.66	20.09	88.64	0.91	6.40

<b>Istutus - <i>planting</i> H<sub>100</sub>= 18 N = 1600</b>									
<b>T</b>	<b>T<sub>1,3</sub></b>	<b>H<sub>dom</sub></b>	<b>H<sub>gM</sub></b>	<b>D<sub>gM</sub></b>	<b>G<sub>u</sub></b>	<b>G</b>	<b>V</b>	<b>I<sub>G</sub></b>	<b>I<sub>v</sub></b>
1		0.05							
2		0.10							
3		0.17							
4		0.27							
5		0.39							
6		0.54							
7		0.72							
8		0.93							
9		1.16							
10	1	1.40	1.30	0.1	0.01	0.01	0.66	0.02	0.07
11	2	1.66	1.55	0.9	0.03	0.03	0.72	0.05	0.13
12	3	1.92	1.78	1.5	0.07	0.08	0.85	0.09	0.23
13	4	2.19	2.02	2.1	0.14	0.18	1.08	0.14	0.36
14	5	2.46	2.26	2.6	0.26	0.32	1.45	0.21	0.54
15	6	2.74	2.51	3.2	0.43	0.52	1.98	0.28	0.74
16	7	3.03	2.76	3.7	0.66	0.80	2.73	0.36	0.98
17	8	3.31	3.01	4.2	0.96	1.16	3.71	0.44	1.25
18	9	3.61	3.27	4.8	1.32	1.59	4.96	0.52	1.54
19	10	3.90	3.53	5.3	1.76	2.11	6.50	0.60	1.83
20	11	4.19	3.79	5.9	2.26	2.71	8.33	0.67	2.13
21	12	4.48	4.06	6.4	2.82	3.38	10.45	0.73	2.42
22	13	4.77	4.32	6.9	3.44	4.11	12.87	0.78	2.69
23	14	5.06	4.59	7.4	4.11	4.89	15.57	0.83	2.95
24	15	5.35	4.86	7.9	4.81	5.72	18.52	0.86	3.18
25	16	5.64	5.12	8.3	5.54	6.57	21.70	0.88	3.39
26	17	5.92	5.39	8.8	6.29	7.45	25.09	0.89	3.58
27	18	6.20	5.66	9.2	7.05	8.35	28.68	0.90	3.75
28	19	6.47	5.93	9.7	7.81	9.24	32.42	0.90	3.89
29	20	6.74	6.19	10.1	8.58	10.14	36.31	0.89	4.01
30	21	7.01	6.45	10.5	9.34	11.03	40.32	0.88	4.12
31	22	7.27	6.72	10.9	10.09	11.90	44.43	0.86	4.21
32	23	7.53	6.98	11.3	10.83	12.77	48.64	0.85	4.28
33	24	7.78	7.24	11.6	11.56	13.61	52.92	0.83	4.35
34	25	8.03	7.49	12.0	12.27	14.44	57.27	0.81	4.40
35	26	8.28	7.75	12.3	12.96	15.25	61.67	0.79	4.45
36	27	8.52	8.00	12.6	13.64	16.04	66.12	0.77	4.48
37	28	8.75	8.24	13.0	14.29	16.80	70.60	0.75	4.52
38	29	8.98	8.49	13.3	14.94	17.55	75.12	0.73	4.54
39	30	9.20	8.73	13.6	15.56	18.27	79.66	0.70	4.56
40	31	9.42	8.97	13.9	16.17	18.98	84.22	0.68	4.58

Kylvö - seeding			H <sub>100</sub> = 27			N = 2000		H <sub>dom(h)</sub> = 3,4		
T	T <sub>1,3</sub>	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	I <sub>G</sub>	I <sub>v</sub>	
1		0.07								
2		0.16								
3		0.29								
4		0.46								
5		0.70								
6		1.01								
7	1	1.40								
8	2	1.84								
9	3	2.32								
10	4	2.84								
11	5	3.38	2.99	4.2	1.08	1.41	4.06	0.87	2.40	
12	6	3.93	3.46	5.1	1.76	2.28	6.46	1.11	3.28	
13	7	4.50	3.95	6.0	2.64	3.40	9.74	1.33	4.20	
14	8	5.07	4.46	6.9	3.69	4.72	13.94	1.49	5.10	
15	9	5.66	4.99	7.8	4.88	6.21	19.05	1.60	5.93	
16	10	6.25	5.53	8.6	6.16	7.81	24.98	1.66	6.67	
17	11	6.84	6.08	9.4	7.48	9.47	31.65	1.67	7.32	
18	12	7.43	6.64	10.2	8.82	11.14	38.97	1.64	7.88	
19	13	8.01	7.21	11.0	10.14	12.78	46.85	1.60	8.37	
20	14	8.59	7.79	11.7	11.43	14.38	55.22	1.54	8.80	
21	15	9.16	8.38	12.4	12.67	15.92	64.02	1.48	9.19	
22	16	9.73	8.97	13.1	13.86	17.40	73.21	1.41	9.55	

Kylvö - seeding			H <sub>100</sub> = 24			N = 1800		H <sub>dom(h)</sub> = 3,2		
T	T <sub>1,3</sub>	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	I <sub>G</sub>	I <sub>v</sub>	
1		0.07								
2		0.14								
3		0.25								
4		0.39								
5		0.58								
6		0.84								
7		1.15								
8	1	1.50								
9	2	1.89								
10	3	2.30								
11	4	2.73								
12	5	3.17	2.84	3.9	0.83	1.07	3.25	0.60	1.63	
13	6	3.63	3.23	4.7	1.31	1.67	4.88	0.76	2.19	
14	7	4.09	3.64	5.4	1.92	2.43	7.07	0.91	2.78	
15	8	4.56	4.05	6.2	2.65	3.34	9.85	1.05	3.40	
16	9	5.03	4.48	7.0	3.49	4.39	13.25	1.16	3.99	
17	10	5.51	4.91	7.7	4.43	5.55	17.24	1.24	4.55	
18	11	5.99	5.35	8.4	5.43	6.79	21.78	1.29	5.06	
19	12	6.47	5.80	9.1	6.48	8.08	26.84	1.31	5.51	
20	13	6.95	6.26	9.8	7.55	9.40	32.36	1.32	5.91	
21	14	7.42	6.72	10.4	8.62	10.72	38.27	1.30	6.26	
22	15	7.88	7.18	11.1	9.69	12.02	44.53	1.28	6.57	
23	16	8.34	7.64	11.7	10.74	13.30	51.10	1.25	6.85	
24	17	8.79	8.11	12.2	11.75	14.55	57.95	1.21	7.09	
25	18	9.24	8.57	12.8	12.74	15.75	65.05	1.17	7.31	
26	19	9.67	9.03	13.4	13.70	16.92	72.36	1.12	7.51	

Kylvö - seeding			$H_{100} = 21$	$N = 1800$	$H_{dom(h)} = 3,2$				
T	$T_{1,3}$	$H_{dom}$	$H_{gM}$	$D_{gM}$	$G_u$	G	V	$I_G$	$I_V$
1		0.06							
2		0.12							
3		0.21							
4		0.33							
5		0.48							
6		0.68							
7		0.92							
8		1.20							
9	1	1.50							
10	2	1.82							
11	3	2.16							
12	4	2.50							
13	5	2.86							
14	6	3.22	2.90	4.0	0.88	1.10	3.42	0.48	1.34
15	7	3.59	3.22	4.6	1.27	1.58	4.77	0.58	1.71
16	8	3.96	3.55	5.2	1.74	2.16	6.48	0.68	2.10
17	9	4.34	3.88	5.9	2.30	2.85	8.57	0.78	2.49
18	10	4.72	4.22	6.5	2.94	3.62	11.07	0.86	2.88
19	11	5.10	4.56	7.1	3.64	4.48	13.95	0.92	3.26
20	12	5.48	4.91	7.7	4.40	5.40	17.21	0.97	3.61
21	13	5.86	5.26	8.2	5.20	6.37	20.81	1.00	3.93
22	14	6.23	5.61	8.8	6.04	7.37	24.74	1.02	4.22
23	15	6.60	5.97	9.3	6.88	8.39	28.97	1.03	4.48
24	16	6.97	6.32	9.8	7.74	9.43	33.45	1.03	4.72
25	17	7.33	6.68	10.4	8.60	10.46	38.17	1.02	4.92
26	18	7.69	7.03	10.8	9.45	11.48	43.09	1.01	5.10
27	19	8.04	7.38	11.3	10.29	12.49	48.19	0.99	5.26
28	20	8.39	7.74	11.8	11.12	13.48	53.46	0.97	5.41
29	21	8.72	8.09	12.2	11.92	14.44	58.86	0.94	5.53
30	22	9.06	8.43	12.6	12.71	15.38	64.40	0.91	5.64
31	23	9.38	8.78	13.1	13.48	16.30	70.04	0.89	5.74
32	24	9.70	9.12	13.5	14.22	17.18	75.78	0.86	5.83

Kylvö - seeding			H <sub>100</sub> = 18		N = 1600		H <sub>dom(h)</sub> = 3,0		
T	T <sub>1,3</sub>	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	I <sub>G</sub>	I <sub>V</sub>
1		0.05							
2		0.10							
3		0.17							
4		0.27							
5		0.39							
6		0.54							
7		0.72							
8		0.93							
9		1.16							
10	1	1.40							
11	2	1.66							
12	3	1.92							
13	4	2.19							
14	5	2.46							
15	6	2.74							
16	7	3.03	2.76	3.7	0.66	0.81	2.74	0.30	0.84
17	8	3.31	3.01	4.2	0.92	1.11	3.58	0.36	1.04
18	9	3.61	3.27	4.7	1.22	1.47	4.63	0.42	1.26
19	10	3.90	3.53	5.2	1.57	1.89	5.88	0.48	1.48
20	11	4.19	3.79	5.7	1.97	2.37	7.36	0.53	1.71
21	12	4.48	4.06	6.2	2.42	2.90	9.07	0.58	1.93
22	13	4.77	4.32	6.7	2.91	3.48	11.01	0.62	2.16
23	14	5.06	4.59	7.2	3.44	4.10	13.17	0.66	2.37
24	15	5.35	4.86	7.6	4.00	4.76	15.54	0.69	2.58
25	16	5.64	5.12	8.1	4.59	5.46	18.12	0.72	2.77
26	17	5.92	5.39	8.5	5.20	6.17	20.89	0.74	2.95
27	18	6.20	5.66	9.0	5.83	6.91	23.84	0.75	3.11
28	19	6.47	5.93	9.4	6.46	7.66	26.95	0.76	3.26
29	20	6.74	6.19	9.8	7.11	8.41	30.21	0.76	3.40
30	21	7.01	6.45	10.2	7.76	9.17	33.61	0.76	3.52
31	22	7.27	6.72	10.6	8.40	9.93	37.13	0.75	3.62
32	23	7.53	6.98	10.9	9.05	10.68	40.75	0.75	3.72
33	24	7.78	7.24	11.3	9.68	11.43	44.47	0.74	3.81
34	25	8.03	7.49	11.6	10.31	12.16	48.28	0.73	3.88
35	26	8.28	7.75	12.0	10.94	12.89	52.16	0.71	3.95
36	27	8.52	8.00	12.3	11.55	13.60	56.10	0.70	4.00
37	28	8.75	8.24	12.6	12.15	14.30	60.11	0.69	4.05
38	29	8.98	8.49	12.9	12.74	14.99	64.16	0.67	4.10
39	30	9.20	8.73	13.2	13.31	15.66	68.25	0.66	4.13
40	31	9.42	8.97	13.5	13.88	16.31	72.39	0.64	4.16



<b>Kylvö - seeding</b>									
			<b>H<sub>100</sub> = 15</b>		<b>N = 1600</b>		<b>H<sub>dom(h)</sub> = 3,1</b>		
<b>T</b>	<b>T<sub>1,3</sub></b>	<b>H<sub>dom</sub></b>	<b>H<sub>gM</sub></b>	<b>D<sub>gM</sub></b>	<b>G<sub>u</sub></b>	<b>G</b>	<b>V</b>	<b>I<sub>G</sub></b>	<b>I<sub>V</sub></b>
1		0.04							
2		0.09							
3		0.14							
4		0.21							
5		0.30							
6		0.41							
7		0.55							
8		0.70							
9		0.86							
10		1.04							
11		1.22							
12	1	1.41							
13	2	1.61							
14	3	1.81							
15	4	2.01							
16	5	2.22							
17	6	2.43							
18	7	2.64							
19	8	2.86							
20	9	3.07	2.81	3.8	0.70	0.82	2.88	0.22	0.64
21	10	3.29	3.01	4.2	0.89	1.04	3.52	0.25	0.75
22	11	3.50	3.20	4.5	1.11	1.29	4.28	0.28	0.87
23	12	3.72	3.39	4.9	1.35	1.57	5.15	0.32	0.99
24	13	3.93	3.59	5.3	1.63	1.89	6.14	0.35	1.11
25	14	4.15	3.78	5.7	1.93	2.24	7.25	0.37	1.24
26	15	4.36	3.97	6.0	2.26	2.61	8.49	0.40	1.36
27	16	4.57	4.17	6.4	2.61	3.01	9.85	0.43	1.48
28	17	4.78	4.36	6.7	2.98	3.44	11.33	0.45	1.60
29	18	4.99	4.55	7.1	3.37	3.89	12.93	0.47	1.72
30	19	5.19	4.74	7.4	3.79	4.36	14.65	0.49	1.83
31	20	5.39	4.94	7.7	4.21	4.85	16.47	0.50	1.93
32	21	5.59	5.13	8.1	4.65	5.35	18.41	0.51	2.03
33	22	5.79	5.31	8.4	5.10	5.86	20.43	0.52	2.12
34	23	5.98	5.50	8.7	5.56	6.38	22.55	0.53	2.21
35	24	6.18	5.69	9.0	6.03	6.92	24.76	0.54	2.28
36	25	6.36	5.87	9.3	6.50	7.45	27.04	0.54	2.36
37	26	6.55	6.05	9.6	6.98	7.99	29.40	0.54	2.42
38	27	6.73	6.23	9.8	7.46	8.53	31.82	0.54	2.48
39	28	6.91	6.41	10.1	7.93	9.08	34.30	0.54	2.53
40	29	7.09	6.59	10.4	8.41	9.62	36.83	0.54	2.58

Kylvö - seeding			H <sub>100</sub> = 27	H <sub>dom(h)</sub> = 6,2						
T	T <sub>1,3</sub>	N	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	IG	Iv
1			0.07							
2			0.16							
3			0.29							
4			0.46							
5			0.70							
6			1.01							
7	1	10000	1.40	1.30	0.0	0.03	0.05	0.81	0.17	0.45
8	2	10000	1.84	1.64	1.0	0.16	0.22	1.26	0.44	1.20
9	3	10000	2.32	2.00	1.7	0.49	0.66	2.46	0.86	2.47
10	4	10000	2.84	2.38	2.4	1.15	1.52	4.93	1.38	4.22
11	5	10000	3.38	2.78	3.2	2.22	2.91	9.16	1.90	6.21
12	6	10000	3.93	3.19	3.9	3.70	4.81	15.37	2.29	8.10
13	7	10000	4.50	3.62	4.6	5.50	7.10	23.46	2.51	9.63
14	8	10000	5.07	4.06	5.2	7.47	9.61	33.10	2.56	10.75
15	9	10000	5.66	4.52	5.8	9.50	12.17	43.85	2.49	11.52
16	10	2000	6.25	5.53	8.2	4.66	5.94	19.11	1.53	5.95
17	11	2000	6.84	6.08	9.1	5.88	7.47	25.07	1.59	6.72
18	12	2000	7.43	6.64	9.9	7.15	9.06	31.78	1.61	7.39
19	13	2000	8.01	7.21	10.6	8.44	10.67	39.17	1.60	7.97
20	14	2000	8.59	7.79	11.4	9.73	12.27	47.14	1.56	8.48
21	15	2000	9.16	8.38	12.1	10.98	13.83	55.61	1.51	8.92
22	16	2000	9.73	8.97	12.8	12.20	15.34	64.54	1.45	9.32

Kylvö - seeding			H <sub>100</sub> = 24	H <sub>dom(h)</sub> = 6,5						
T	T <sub>1,3</sub>	N	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	IG	Iv
1			0.07							
2			0.14							
3			0.25							
4			0.39							
5			0.58							
6			0.84							
7			1.15							
8	1	10000	1.50	1.39	0.4	0.04	0.06	0.87	0.16	0.45
9	2	10000	1.89	1.68	1.1	0.17	0.22	1.32	0.37	1.02
10	3	10000	2.30	1.99	1.7	0.45	0.59	2.34	0.66	1.93
11	4	10000	2.73	2.31	2.3	0.96	1.26	4.27	1.02	3.12
12	5	10000	3.17	2.63	2.9	1.76	2.28	7.38	1.38	4.48
13	6	10000	3.63	2.97	3.5	2.85	3.66	11.86	1.70	5.85
14	7	10000	4.09	3.32	4.1	4.20	5.36	17.71	1.92	7.06
15	8	10000	4.56	3.68	4.6	5.73	7.28	24.77	2.04	8.05
16	9	10000	5.03	4.05	5.2	7.37	9.32	32.82	2.07	8.79
17	10	10000	5.51	4.42	5.7	9.03	11.39	41.60	2.04	9.32
18	11	10000	5.99	4.81	6.2	10.67	13.43	50.93	1.96	9.71
19	12	1800	6.47	5.80	8.6	4.65	5.82	19.49	1.20	4.83
20	13	1800	6.95	6.26	9.3	5.62	7.03	24.32	1.25	5.32
21	14	1800	7.42	6.72	10.0	6.63	8.27	29.64	1.26	5.77
22	15	1800	7.88	7.18	10.6	7.66	9.54	35.41	1.27	6.16
23	16	1800	8.34	7.64	11.3	8.69	10.80	41.56	1.25	6.50
24	17	1800	8.79	8.11	11.9	9.72	12.05	48.07	1.23	6.81
25	18	1800	9.24	8.57	12.5	10.72	13.28	54.87	1.20	7.07
26	19	1800	9.67	9.03	13.0	11.70	14.48	61.94	1.16	7.31

Kylvö - seeding			$H_{100} = 21$	$H_{dom(h)} = 6,2$						
T	$T_{1,3}$	N	$H_{dom}$	$H_{gM}$	$D_{gM}$	$G_u$	G	V	IG	Iv
1			0.06							
2			0.12							
3			0.21							
4			0.33							
5			0.48							
6			0.68							
7			0.92							
8			1.20							
9	1	10000	1.50	1.39	0.4	0.03	0.04	0.85	0.11	0.30
10	2	10000	1.82	1.64	1.0	0.11	0.15	1.15	0.23	0.64
11	3	10000	2.16	1.89	1.5	0.29	0.38	1.80	0.40	1.17
12	4	10000	2.50	2.15	1.9	0.61	0.78	2.97	0.62	1.87
13	5	10000	2.86	2.41	2.4	1.10	1.40	4.84	0.85	2.71
14	6	10000	3.22	2.68	2.9	1.79	2.25	7.55	1.09	3.62
15	7	10000	3.59	2.96	3.4	2.67	3.34	11.17	1.29	4.52
16	8	10000	3.96	3.24	3.9	3.72	4.63	15.69	1.45	5.35
17	9	10000	4.34	3.53	4.4	4.90	6.08	21.03	1.56	6.05
18	10	10000	4.72	3.82	4.8	6.17	7.64	27.09	1.61	6.62
19	11	10000	5.10	4.12	5.2	7.49	9.25	33.71	1.62	7.06
20	12	10000	5.48	4.42	5.6	8.82	10.87	40.78	1.60	7.40
21	13	10000	5.86	4.72	6.0	10.14	12.47	48.17	1.56	7.65
22	14	1800	6.23	5.61	8.3	4.35	5.33	18.07	0.93	3.69
23	15	1800	6.60	5.97	8.9	5.12	6.26	21.76	0.96	4.01
24	16	1800	6.97	6.32	9.4	5.92	7.23	25.77	0.99	4.30
25	17	1800	7.33	6.68	9.9	6.73	8.21	30.07	0.99	4.57
26	18	1800	7.69	7.03	10.5	7.56	9.21	34.64	1.00	4.80
27	19	1800	8.04	7.38	10.9	8.39	10.20	39.44	0.99	5.01
28	20	1800	8.39	7.74	11.4	9.21	11.19	44.44	0.98	5.19
29	21	1800	8.72	8.09	11.9	10.03	12.17	49.63	0.96	5.35
30	22	1800	9.06	8.43	12.3	10.83	13.13	54.98	0.94	5.49
31	23	1800	9.38	8.78	12.7	11.61	14.06	60.46	0.92	5.61
32	24	1800	9.70	9.12	13.2	12.38	14.98	66.07	0.89	5.71

Kylvö - seeding			$H_{100} = 18$		$H_{dom(h)} = 6,2$					
T	$T_{1,3}$	N	$H_{dom}$	$H_{gM}$	$D_{gM}$	$G_u$	G	V	IG	Iv
1			0.05							
2			0.10							
3			0.17							
4			0.27							
5			0.39							
6			0.54							
7			0.72							
8			0.93							
9			1.16							
10	1	10000	1.40	1.30	0.1	0.01	0.02	0.81	0.05	0.14
11	2	10000	1.66	1.51	0.7	0.05	0.06	0.94	0.10	0.30
12	3	10000	1.92	1.71	1.1	0.13	0.16	1.24	0.18	0.54
13	4	10000	2.19	1.92	1.5	0.28	0.35	1.78	0.29	0.88
14	5	10000	2.46	2.12	1.9	0.52	0.64	2.66	0.42	1.31
15	6	10000	2.74	2.33	2.3	0.86	1.06	3.97	0.56	1.80
16	7	10000	3.03	2.55	2.7	1.33	1.63	5.77	0.71	2.35
17	8	10000	3.31	2.77	3.0	1.92	2.33	8.12	0.84	2.91
18	9	10000	3.61	2.99	3.4	2.62	3.18	11.03	0.96	3.46
19	10	10000	3.90	3.21	3.8	3.42	4.14	14.49	1.06	3.97
20	11	10000	4.19	3.43	4.2	4.31	5.20	18.46	1.14	4.42
21	12	10000	4.48	3.66	4.5	5.27	6.34	22.89	1.19	4.81
22	13	10000	4.77	3.89	4.8	6.27	7.53	27.70	1.21	5.13
23	14	10000	5.06	4.12	5.2	7.29	8.74	32.83	1.22	5.39
24	15	10000	5.35	4.34	5.5	8.32	9.96	38.22	1.21	5.60
25	16	10000	5.64	4.57	5.8	9.34	11.17	43.82	1.19	5.76
26	17	10000	5.92	4.80	6.1	10.35	12.36	49.57	1.16	5.88
27	18	1600	6.20	5.66	8.4	4.00	4.77	16.64	0.67	2.66
28	19	1600	6.47	5.93	8.9	4.57	5.43	19.30	0.69	2.85
29	20	1600	6.74	6.19	9.3	5.15	6.12	22.14	0.71	3.02
30	21	1600	7.01	6.45	9.7	5.76	6.83	25.17	0.72	3.18
31	22	1600	7.27	6.72	10.1	6.37	7.55	28.35	0.73	3.33
32	23	1600	7.53	6.98	10.5	6.99	8.27	31.67	0.73	3.46
33	24	1600	7.78	7.24	10.9	7.61	9.00	35.13	0.73	3.58
34	25	1600	8.03	7.49	11.2	8.23	9.73	38.71	0.73	3.68
35	26	1600	8.28	7.75	11.6	8.85	10.46	42.39	0.72	3.77
36	27	1600	8.52	8.00	11.9	9.47	11.18	46.16	0.71	3.85
37	28	1600	8.75	8.24	12.3	10.08	11.89	50.02	0.70	3.92
38	29	1600	8.98	8.49	12.6	10.68	12.59	53.94	0.69	3.99
39	30	1600	9.20	8.73	12.9	11.27	13.28	57.93	0.68	4.04
40	31	1600	9.42	8.97	13.2	11.86	13.96	61.97	0.67	4.08

Kylvö - seeding										
H <sub>100</sub> = 15      H <sub>dom(h)</sub> = 6,2										
T	T <sub>1,3</sub>	N	H <sub>dom</sub>	H <sub>gM</sub>	D <sub>gM</sub>	G <sub>u</sub>	G	V	I <sub>G</sub>	I <sub>V</sub>
1			0.04							
2			0.09							
3			0.14							
4			0.21							
5			0.30							
6			0.41							
7			0.55							
8			0.70							
9			0.86							
10			1.04							
11			1.22							
12	1	10000	1.41	1.31	0.1	0.01	0.01	0.82	0.02	0.08
13	2	10000	1.61	1.48	0.5	0.03	0.03	0.89	0.05	0.15
14	3	10000	1.81	1.63	0.9	0.07	0.08	1.05	0.09	0.27
15	4	10000	2.01	1.79	1.2	0.14	0.17	1.31	0.14	0.42
16	5	10000	2.22	1.95	1.5	0.26	0.31	1.73	0.20	0.62
17	6	10000	2.43	2.11	1.8	0.42	0.50	2.35	0.27	0.85
18	7	10000	2.64	2.27	2.1	0.65	0.77	3.20	0.34	1.11
19	8	10000	2.86	2.43	2.4	0.94	1.11	4.31	0.42	1.41
20	9	10000	3.07	2.60	2.7	1.30	1.53	5.72	0.50	1.71
21	10	10000	3.29	2.76	3.0	1.73	2.03	7.43	0.57	2.03
22	11	10000	3.50	2.93	3.3	2.22	2.60	9.46	0.64	2.34
23	12	10000	3.72	3.09	3.5	2.78	3.24	11.80	0.70	2.63
24	13	10000	3.93	3.26	3.8	3.38	3.94	14.43	0.75	2.91
25	14	10000	4.15	3.42	4.1	4.04	4.70	17.34	0.80	3.16
26	15	10000	4.36	3.59	4.3	4.73	5.50	20.51	0.83	3.39
27	16	10000	4.57	3.75	4.6	5.45	6.32	23.90	0.85	3.59
28	17	10000	4.78	3.92	4.8	6.19	7.17	27.48	0.86	3.75
29	18	10000	4.99	4.08	5.1	6.94	8.04	31.24	0.87	3.89
30	19	10000	5.19	4.25	5.3	7.70	8.91	35.13	0.87	4.01
31	20	10000	5.39	4.41	5.5	8.46	9.78	39.14	0.86	4.11
32	21	10000	5.59	4.57	5.8	9.21	10.64	43.25	0.85	4.18
33	22	10000	5.79	4.74	6.0	9.96	11.49	47.43	0.84	4.24
34	23	10000	5.98	4.90	6.2	10.69	12.33	51.68	0.82	4.29
35	24	1600	6.18	5.69	8.4	3.98	4.58	16.62	0.48	1.93
36	25	1600	6.36	5.87	8.7	4.39	5.05	18.55	0.49	2.03
37	26	1600	6.55	6.05	9.0	4.82	5.54	20.58	0.50	2.12
38	27	1600	6.73	6.23	9.3	5.26	6.04	22.70	0.51	2.21
39	28	1600	6.91	6.41	9.6	5.71	6.55	24.90	0.51	2.29
40	29	1600	7.09	6.59	9.9	6.16	7.06	27.19	0.52	2.36





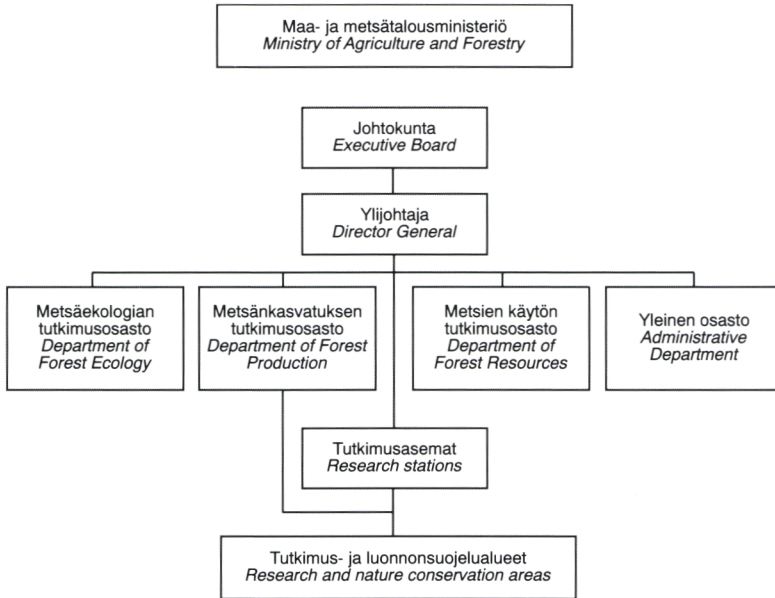








METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



**Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute***

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

**Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

**Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

**Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä

**Tutkimusasemat — *Research Stations***

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



1993

- No 802 Pesonen, Mauno, Jämsä, Jari & Hirvelä, Hannu: Harvennushakkuiden edullisuusvertailu metsälötasolla.  
Profitability comparisons of thinnings at the forest holding level.
- No 803 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Ketjukarsinta ensiharvennusmännikön korjuuratkaisuna.  
Flail delimiting in the first commercial thinning of Scots pine.
- No 804 Saarilahti, Martti: Mikroaalto-sondin soveltuvuus hakekuorman käyttöarvon mittaamiseen.  
Measuring of the chip load properties using microwave sounding.
- No 805 Salminen, Olli: Männikön ja kuusikon liiketaloudellinen vajaatuottoisuus.  
Profitability of growing understocked Scots pine and Norway spruce stands.
- No 806 Verkasalo, Erkki: Koivupuutavaran vikaantuminen pitkittyneessä metsävarastoinnissa ja sen vaikutus viulun saantoon, laatuun ja arvoon.  
Deterioration of birch timber during prolonged storage in the forest and its effect on the yield, quality and value of rotary-cut veneer.
- No 807 Rossi, Seppo, Varmola, Martti & Hyppönen, Mikko: Pellonmetsitysten onnistuminen Lapissa.  
Success of afforestation of old fields in Finnish Lapland.
- No 808 Juntunen, Marja-Liisa & Suomäki, Hanna-Leena: Ikääntyvät metsäkoneyrittäjät ja hakkuun koneellistuminen.  
Aging forest machine contractors and the mechanization of wood harvesting.
- No 809 Heikkilä, Risto, Lilja, Arja & Härkönen, Sauli: Rauduskoivuntaimien toipuminen latvan katkeamisen jälkeen.  
Recovery of young *Betula pendula* trees after stem breakage.
- No 810 Kaunisto, Seppo, Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä.  
Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests.
- No 811 Kaitera, Juha & Jalkanen, Risto: Surmakka Rikkilehdon männikössä Sallassa.  
*Gremmeniella abietina* on Scots pine in Rikkilehto stand in Salla, northern Finland.
- No 812 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Harvennusmetsien määrä ja harvennushakkuiden liiketaloudellinen merkitys.  
Amount of thinning forests and profitability of thinnings in Finland.
- No 813 Varmola, Martti: Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli.  
A stand model for early development of Scots pine cultures.