



# FOLIA FORESTALIA

796

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1992

Hans Gustav Gustavsen

VÄHÄPUUSTOISTEN MÄNNIKÖIDEN JA KUUSIKOIDEN KEHITYS  
Development of understocked pine and spruce stands

# 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, SF-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 796

**Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992**

---

Hans Gustav Gustavsen

## VÄHÄPUUSTOISTEN MÄNNIKÖIDEN JA KUUSIKOIDEN KEHITYS

Development of understocked pine and spruce stands

*Approved on 26.8.1992*

### SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	4
2	TUTKIMUSAINEISTO .....	5
3	PERUSTEET JA MENETELMÄT .....	8
3.1	Kasvupaikkaluokittelu ja käsittelyohjelmat .....	8
3.2	Tilavuuskasvumallit ja apumallit .....	8
3.3	Metsiköiden kehityksen simulointi .....	10
4	VÄHÄPUUSTOISTEN HAVUMETSIKÖIDEN KEHITYS .....	11
4.1	Pohjapinta-alan kehitys .....	11
4.2	Tilavuuskehitys ja kokonaistuotos .....	11
4.3	Kasvuyhtälöiden ja kehityssarjojen luotettavuus .....	17
4.4	Vähäpuustoisien metsikön vajaatuoittoisuus .....	19
5	TULOSTEN TARKASTELU JA SOVELTAMINEN .....	21
	KIRJALLISUUS – REFERENCES .....	22
	SUMMARY .....	23
	LIITTEET – APPENDICES .....	27

Gustavsen, H.G. 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusiköiden kehitys. Summary: Development of understocked pine and spruce stands. *Folia Forestalia* 796. 29 p.

Tutkimuksessa kuvataan luontaisesti syntyneiden vähäpuustoisten männiköiden ja kuusiköiden kehitystä ensiharvennuksesta kiertoajan loppuun. Tutkimus perustuu valtakunnan metsien 3. (1951–53) ja 5. (1964–70) inventoinnin kangasmaiden koealojen mittaustuloksiin.

Tutkimuksessa on laadittu yhtälöitä vähäpuustoisten havumetsiköiden tulevan 5-vuotisjakson tilavuuskasvun arviointia varten. Niiden perusteella on piirretty graafisia kuvaajia vähäpuustoisten metsiköiden pohjapinta-alan kehityksestä eri kasvupaikoilla. Lisäksi on laadittu esimerkkilaskelmia vähäpuustoisen metsikön tilavuuskehityksestä ja pitkän ajan tuotoksesta. Tuloksia voidaan käyttää hakkuiden suunnittelussa metsikön vajaa-tuottoisuutta koskevissa taloudellisissa analyyseissä. Käytännön metsätaloudessa tulosten luotettavuus riippuu siitä, kuinka hyvin tutkimusaineiston metsiköt vastaavat nykymetsiä. Tulosten soveltaminen vaatii siten harkintaa ja varovaisuutta.

The aim of this study is to present models and information for the estimation of increment and yield in understocked stands. The material used in the study was sample plot data from the 3rd (1951–53) and the 5th (1964–70) National Forest Inventory.

Functions based on forest stand characteristics were developed for the estimation of volume increment (5-year period). Examples are given describing the development of basal area, volume and yield predicted by the functions. The reliability of the results depends mainly on the validity of the research material. Caution must therefore be used in the application of the increment functions.

Keywords: understocked stands, growth, yield.

FDC 174.7 *Pinus sylvestris* + 174.7 *Picea abies* + 562

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, PL 68, SF-80101 Joensuu, Finland.

ISBN 951-40-1243-7  
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

## Merkinnt – Symbols

### Metsikk – Stand

- $I_{V5}$  = tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu kuorineen,  $m^3/ha/5$  v  
*volume increment during the future 5-year period, incl. bark,  $m^3/ha/5$  yr*
- T = biologinen ikä, v  
*biological age, yrs*
- V = tilavuus kuorineen,  $m^3/ha$   
*volume, incl. bark,  $m^3/ha$*
- $Y_V$  = kokonaistuotos kuorineen kiertoajan kuluessa,  $m^3/ha$   
*total yield in cubic volume incl. bark during the rotation,  $m^3/ha$*
- G = pohjapinta-ala kuorineen,  $m^2/ha$   
*basal area incl. bark,  $m^2/ha$*
- N = runkoluku, kpl/ha  
*number of stems per hectare*
- D = keskiläpimitta (pohjapinta-alalla painotettu), cm  
*mean diameter (weighted by basal area), cm*
- $H_{dom}$  = valtapituus (sadan paksuimman puun keskipituus/ha), m  
*dominant height (mean height of 100 thickest trees/ha), m*
- $H_{100}$  = pituusboniteetti (valtapituus sadan vuoden biologisella iällä), m  
*site index: dominant height of the stand at the biological age of 100 years, m*
- F = muotoluku  
*breast height form factor*
- $$\frac{V}{G \cdot H_{dom}}$$
- TS = kasvupaikan lämpösumma (vuorokauden keskilämpötilan kynnysarvo on  $5^\circ C$ ), d.d.  
*the effective temperature sum on the site (the minimum effective temperature is  $5^\circ C$ ), d.d.*

### Muita – Others

- $s_f$  = jäännöshajonta  
*residual standard deviation (standard deviation of the dependent variable about the function)*
- $s_y$  = selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta  
*original standard deviation of the dependent variable*
- $R^2$  = selitysaste ( $R$  = yhteiskorrelaatiokerroin)  
*coefficient of determination ( $R$  = multiple correlation coefficient)*
- n = havaintojen lukumäärä  
*number of observations*
- ln = luonnollinen logaritmi  
*natural logarithm*
- ja = 5-vuotiskauden alku  
*beginning of the 5-year period*
- jl = 5-vuotiskauden loppu  
*end of the 5-year period*

# 1 Johdanto

Vajaatuottoisena pidetään yleisesti metsikköä, jonka puuston tuotto tai laatu on kasvupaikka huomioon ottaen niin heikko, että puustoa edelleen kasvattamalla metsänomistaja saa heikoman taloudellisen tuloksen kuin hän saisi aloittamalla kaiken alusta metsikön uudistamisesta lähtien. Uudistamista harkittaessa on otettava huomioon käytettävissä oleva työvoima ja teknologia sekä tuotot ja kustannukset.

Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisemien ohjeiden (Etelä- ja Pohjois-Suomen... 1981) mukaan metsikkö on vajaatuottoinen, mikäli se tuottaa lähimmän kymmenen vuoden aikana alle 60 % kasvupaikalle parhaiten sopivaa puulajia olevan, hoidetun metsikön rahallisesta tuotosta. Käytännössä raja ilmaistaan 60 %:na harvennusmallien ohjepohjapinta-alasta harvennuksen jälkeen. Tämä määrittely on kuitenkin muutettu Metsäkeskus Tapion (Metsänhoitosuosituskeskus 1989) uusissa ohjeissa, jotka ilmestyivät tämän tutkimuksen ollessa jo pääosiltaan valmiina.

Uusien ohjeiden mukaan metsikkö on vajaatuottoinen, mikäli sen uudistaminen ennen aikaisimman uudistamisajankohdan saavuttamista on puuntuotannollisesti ja taloudellisesti tarkoituksenmukaisempaa kuin metsikön edelleen kasvattaminen, tai mikäli aikaisimman uudistamisajankohdan jo sivuuttaneen metsikön kasvu on pieni (alle 50 % hoidetun metsikön kasvusta). Vähäpuustoisuuden vuoksi vajaatuottoisia ovat metsiköt, joissa kelvollisen puuston pohjapinta-ala on alle 70 % yksityismetsälain valvontaohjeen osoittamasta vähimmäispohjapinta-alasta (Yksityismetsälain... 1989). Aiempaan verrattuna puustoisuusvaatimuksia on alennettu 10–15 %.

Metsähallituksen ohjeissa (Ohjekirjeet... 1984) taimikko katsotaan vajaapuustoiseksi ja alue viljellään uudestaan, mikäli kehityskelpoisten viljely- ja luonnontaimien yhteismäärä on alle 40 % puulajin ja kasvupaikan mukaisesta ohjetihydestä. Varttuneempien metsiköiden vajaapuustoisuus perustuu Metsäkeskus Tapion harvennusohjeiden tapaan pohjapinta-aloihin ja runkolukuihin. Pohjapinta-alan minimi on kasvupaikasta riippuen ensiharvennusvaiheessa 60–70 % ja viimeisissä harvennuksissa 80–90 % harvennuksen jälkeisistä ohjetihyeksistä.

Valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI7) vajaatuottoisuus arvioidaan laadun perusteella.

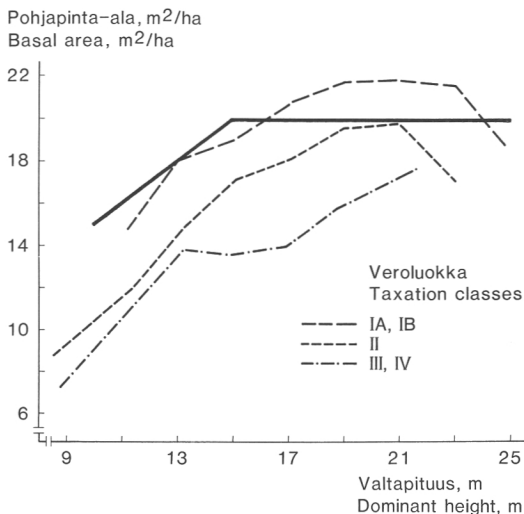
Laatuluokat 5–8 (jätemetsä, väärä puulaji, ylikäinen, muu uusittava) osoittavat metsikön vajaatuottoiseksi. Vertailukohteenä käytetään sopivaa puulajia olevaa täystiheää metsikköä, jonka kiertoajan kokonaistuotoksesta n. 40–45 % on tukkipuuta. Jos puuston tukkipuusoisuus on riittävä, mahdollinen vajaatuottoisuus arvioidaan pohjapinta-alan perusteella. Keskipituudeltaan 17 m lyhyemmässä metsikössä vajaatuottoisuusraja on 70 % ja tätä pidemmissä puustoissa 60 % harvennusmallien alarajasta (Kuusela & Salminen 1983, s. 9–10).

Vajaatuottoiset metsiköt ovat vähentyneet 1970-luvun lopulta lähtien. Vähennys on osittain todellista ja osittain valtakunnan metsien 7. inventoinnin (1977–83) uusittujen luokitusten aiheuttamaa. Inventoinnin mukaan vajaatuottoisia metsiä oli Etelä-Suomessa 8,5 % metsämaan pinta-alasta. Puustoa oli mäntyvaltaisissa vajaatuottoisissa metsissä 19,8 milj. m<sup>3</sup> (89 m<sup>3</sup>/ha, 223 100 ha), kuusivaltaisissa metsissä 29,1 milj. m<sup>3</sup> (104 m<sup>3</sup>/ha, 280 300 ha) ja lehtipuuvaltaisissa metsissä 33,2 milj. m<sup>3</sup> (82 m<sup>3</sup>/ha, 404 700 ha) (Kuusela & Salminen 1983, s. 9, 57–59, 67).

Valtakunnan metsien inventoinnit antavat käsityksen vajaapuustoisuuden ja sen aiheuttaman vajaatuottoisuuden laajuudesta. Vähäpuustoisten metsien kehityksestä ja puuntuotoskyvystä on olemassa vain vähän tutkimustietoa niin Suomessa kuin muissakin Pohjoismaissa. Ongelmaa on sivuttu muiden tutkimusten yhteydessä (Vuokila 1969, Hänninen 1974), mutta kokonaisuutena aihetta on tutkittu vain vähän (Päivinen 1989, Salminen 1989).

Vuokila (1969) ja Hänninen (1974, kuva 1) ovat tutkineet Suomen puustoisuutta valtakunnan metsien inventoinnin aineistosta, mutta he eivät selvittäneet vähäpuustoisten metsikön kasvua ja kehitystä. Ainoat kotimaiset aiheeseen liittyvät pysyvät kokeet ovat taimikoissa, joiden voimakkaimmissa harvennuksissa puuston tiheys on pudotettu runkolukuun 600 kpl/ha. Koska tällä hetkellä ei ole käytettävissä riittävää kestokoeaineistoa vähäpuustoisten metsiköiden kehityksen selvittämistä varten, oli tämän tutkimuksen ainoa mahdollisuus käyttää valtakunnan metsien inventoinnin aineistoja.

Ruotsissa on käytetty tilapäiskoaloja harvennuksella vähäpuustoiseksi saatettujen taimikoiden kehitystä tutkittaessa (Fryk 1984). Harven-



Kuva 1. Etelä-Suomen mäntyvaltaisten metsiköiden keskimääräinen pohjapinta-ala veroluokittain 1960-luvulla. Vertailuarvona (yhtenäinen viiva) Metsäkeskus Tapion ohjeiden mukainen pohjapinta-ala puolukkatyyppin männiköille (veroluokka II) hakkuun jälkeen (Hänninen 1974).

Fig. 1. Average basal area in pine-dominated stands in South Finland by tax classes in the 1960's, and compared with the recommendation of Forest Center Tapio (solid line) for a pine stand on the *Vaccinium* site type (tax class II) after thinning (Hänninen 1974).

nettujen taimikoiden kehitystä on simuloitu kasvumallein kiertoajan loppuun saakka (Bengtsson 1980). Vasta äskettäin perustettujen kesto-kokeiden myöhemmät mittaukset voivat paljastaa tulosten luotettavuuden. Norjassa on ilmentynyt kuusikoiden vajaapuustoisuutta koskeva tutkimus (Braastad 1983), jossa metsikön kehitystä ennustettiin hoidetun metsikön keskiläpimitan kasvumallilla. Kasvumallissa käytettiin kasvua alentavaa korjaustekijää simuloitaessa harvan ja epätasaisen kuusikon kehitystä. Simuloinnit, joissa lähtöpuuston runkoluvut vaihteli-

vat 400–1200 kpl/ha, ulottuivat noin 10 m:n pituusvaiheesta kiertoajan loppuun.

Vajaatuottoisuus on suhteellinen käsite ja se riippuu myös metsänomistajan taloudellisista tavoitteista. Ongelmana on lisäksi se, että metsikön vajaatuottoisuuden arvioiminen on monimutkainen ja arka metsäpoliittinen asia. Esimerkiksi yksityismetsien alueellisessa suunnittelussa vajaatuottoisia metsiä on löytynyt vähemmän kuin valtakunnan metsien inventoinnissa. Pääsyynä tähän ovat Nikusen (1983) näkemuserot, jotka johtuvat vajaatuottoisuuskäsitteen selkeän määrittelyn puuttumisesta (Salminen 1989).

Monilla on käsitys, että nykyiset vajaatuottoisuuden kriteerit ovat liian ankaria tai peräti virheellisiä (Kilki ym. 1977, Päivinen 1980, 1989). Joka tapauksessa hakkuiden suunnittelussa ja muissa metsikkölaskelmissa tarvitaan tietoa vähäpuustoisten metsiköiden kehityksestä. Laskelmiin liitettävien taloudellisten analyysien perusteella voidaan määrittää metsiköiden suhteellinen vajaatuottoisuus, johon myös koko metsälön tilanne vaikuttaa (Salminen 1989).

Tässä tutkimuksessa käsitellään vain puuston vähäisyydestä johtuvan kasvun aiheuttamaa vajaatuottoisuutta. Vähäpuustoinen metsikkö tarkoittaa tutkimuksessa metsikköä, jossa puuston määrä eli pohjapinta-ala, tilavuus tai runkoluku ovat alle hoidetun metsikön harvennussmallin ohjearvojen. Kasvumalleilla ennustetaan luontaisesti syntyneiden, eri syistä vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitystä ensiharvennusvaiheesta kiertoajan loppuun. Metsikkö voi olla harva jo syntymästään, tai se on voitu saattaa vähäpuustoiseksi erittäin voimakkaalla harvennuksella. Tutkimuksessa tarkastellaan myös miten hyvin olemassa olevilla, keskimääräisille talousmetsille (Gustavsen 1977) ja hoidetuille metsille (Mielikäinen 1975, Nyysönen & Mielikäinen 1978) laadituilla kasvumalleilla voidaan ennustaa vähäpuustoisen metsikön kehitystä.

## 2 Tutkimusaineisto

Tutkimuksen aineisto poimittiin valtakunnan metsien 3. inventoinnin (VMI3; 1951–53, Ilvessalo 1951) ja 5. inventoinnin (VMI5; 1964–70, Kuusela & Salminen 1969) koaloista (Gustavsen 1977). Pyrkimyksenä oli saada maan kaikkiin vähäpuustosiin mänty- ja kuusivaltaisiin metsiköihin soveltuvia tuloksia. VMI3:n 1950-luvun alus-

sa mitatut aineistot voitiin katsoa yhä sovellutuskelpoiksi, koska kysymys ei ollut inventointitutkimuksesta, vaan vähäpuustoisen metsikön kehityksen selvittämistä puustotunnusten avulla.

VMI3:n koala-aineiston teki erityisen arvokkaaksi mitattujen ympyräkoalojen suuri koko (0,1 ha) ja koe-

puiden suuri lukumäärä (10–20 kpl/koeala). VMI5:n relaskooppikoealoilla oli keskimäärin vain 7–8 koeputta, mutta toisaalta tämän inventoinnin aineisto edusti paremmin nyky metsien käsittelyvaihtoehtoja kuin VMI3:n aineisto.

Tutkimukseen valittiin ainoastaan metsiköitä, joiden valtapituus ylitti 10 m. Mukaan otettiin kaikki koemetsiköt, joiden sekä pohjapinta-ala että runkoluku olivat alle Metsäkeskus Tapion (Metsänhoitosuosituksen 1989) ja metsähallituksen (Ohjekirjeet... 1984, 1985) harvennus-

malleissa esitettyjen hakkuun jälkeisten ohjearvojen. Valinta tehtiin erikseen kunkin kasvupaikkaryhmän (mänty: tuore, kuivahko, kuiva kangas; kuusi: lehtomainen, tuore, kuivahko kangas) kuudessa valtapituusluokassa (10,1–12,0, 12,1–14,0, 14,1–16,0, 16,1–18,0, 18,1–20,0 ja yli 20 m). Aineiston rajaamisessa käytettiin erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomen metsien harvennusmalleja. Valinnassa käytetyt pohjapinta-alan ja runkoluvun rajat olivat esim. Etelä-Suomen tuoreella (mänty) ja lehtomaisella (kuusi) kankaalla seuraavat:

	Valtapituusluokka, m					
	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0	20,1+
Mänty:						
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha	14	15	16	17	18	19
Runkoluku, kpl/ha	1300	1100	850	700	600	450
Kuusi:						
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha	13	14,5	16	18	19	20
Runkoluku, kpl/ha	1300	1100	950	800	700	500

Taulukko 1. Koealojen jakautuminen lämpösummavyöhykkeittäin vähäpuustoisten männiköiden ja kuusiköiden aineistossa.

Table 1. Distribution of the sample plots according to effective temperature sum regions in understocked pine and spruce stands.

	Lämpösomma, d.d. – Effective temperature sum, d.d.						
Puulaji Tree species	–900	901– 1000	1001– 1100	1101– 1200	1201– 1300	1301– 1400	Kaikki All
Koealojen lukumäärä – Number of sample plots							
Mänty – Pine	48	146	202	174	82	82	734
Kuusi – Spruce	37	54	82	114	62	24	373

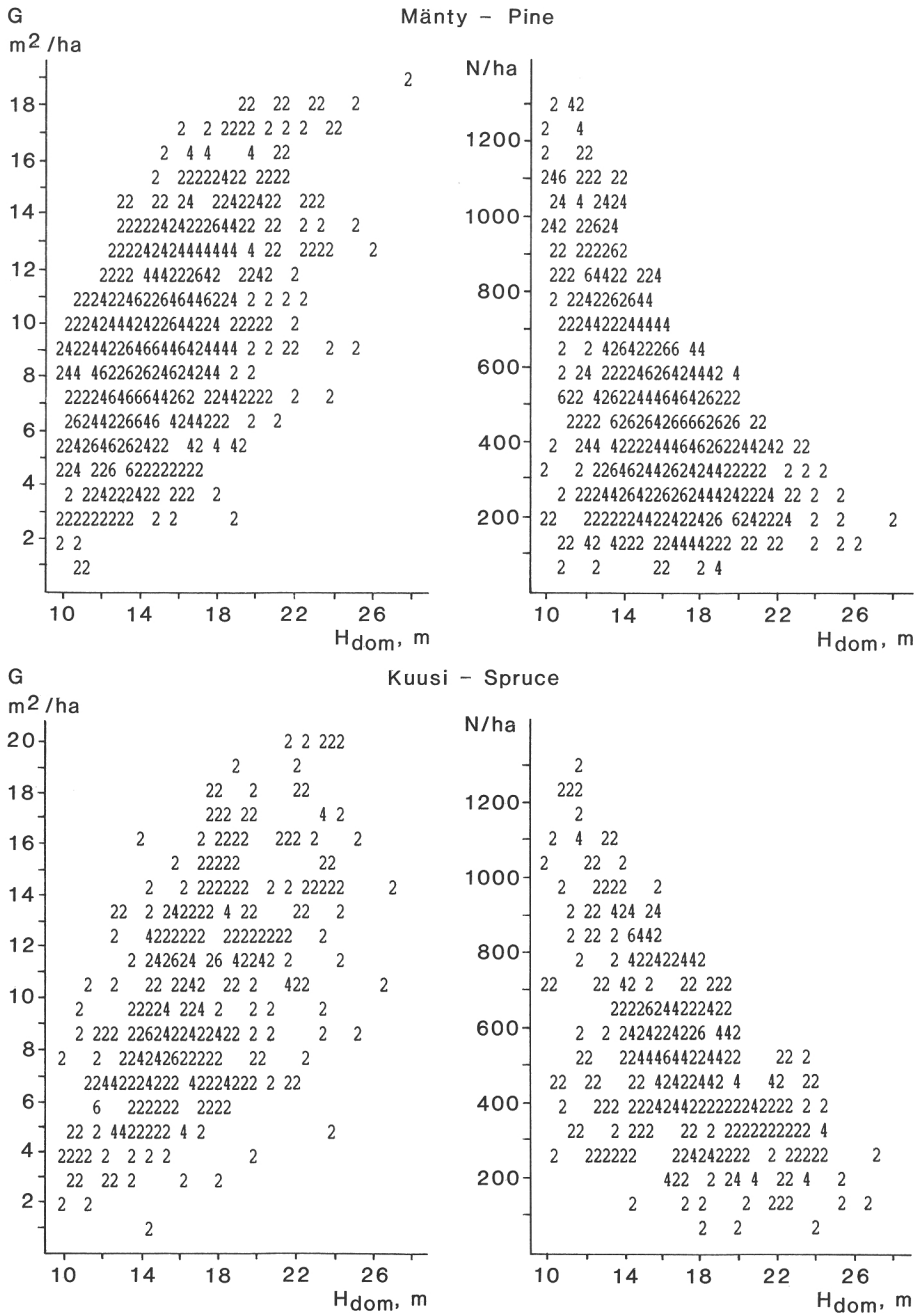
Taulukko 2. Muuttujien keskiarvot ja vaihtelualueet (vrt. kuva 2.)

Table 2. The means and ranges of the variables in the study material (cf. Fig. 2).

Muuttuja*) Variable	Männiköt: 734 Pine stands: 734			Kuusikot: 373 Spruce stands: 373		
	Keskiarvo Mean value	Minimi-arvo Min. value	Maksimi-arvo Max. value	Keskiarvo Mean value	Minimi-arvo Min. value	Maksimi-arvo Max. value
D	17,4	5,6	37,3	18,0	5,8	35,2
G	9,4	1,1	19,0	10,0	1,2	19,8
H <sub>dom</sub>	15,7	10,1	27,9	16,9	10,1	26,9
V	67,2	3,0	227,1	73,4	6,0	208,9
I <sub>V5</sub>	13,0	1,8	49,4	17,6	4,1	49,1
TS	1100	650	1375	1098	750	1350
H <sub>100</sub>	18,1	12,0	31,2	21,5	12,1	32,9
N	506	61	1299	543	71	1228
T	84	24	228	78	30	171

\*) ks. merkintöjen selitykset – cf. list of symbols





Kuva 2. Pohjapinta-alan (G) ja runkoluvun (N) vaihtelu valtapituuden ( $H_{dom}$ ) mukaan vähäpuustoisten metsiköiden aineistossa.  
 Fig. 2. The variation of basal area (G) and of stem number (N) according to dominant height ( $H_{dom}$ ) in the understocked stands.

Näin valittu tutkimusaineisto käsitti 734 vähäpuus-  
toista männikköä ja 373 kuusikkoa (taulukot 1 ja 2, kuva  
2).

Lasketut puustotunnukset inventointiaineistoissa ku-  
vaavat tilavuuskasvua (menneen 5-vuotiskauden kasvu)  
lukuunottamatta mittaushetken tilannetta. Osa puusto-  
tunnuksista, kuten kuoreton pohjapinta-ala sekä keskipi-  
tuus viisi vuotta aiemmin, saatiin valmiiksi laskettuina  
VMI5:n tuloksista. Suurin osa puustotunnuksista muu-  
tettiin vastaamaan 5-vuotijakson alkutilannetta (tauluk-  
ko 2). Muutosten jälkeen inventoinnin tilavuuskasvu  
vastasi tulevan 5-vuotijakson kasvua.

Puustotunnukset runkolukua lukuunottamatta lasket-  
tiin vähentämällä koepuiden perusteella lasketut (läpi-  
mitta-, pituus- ja tilavuus-) kasvit mittaushetken arvoista.  
Suurin osa mittaushetken puustotunnuksista, kuten  
tilavuus, runkoluku- ja keskipituusjakauma, ikä ja valta-  
pituus, otettiin suoraan VMI3:n laskentalomakkeilta.  
Niiden laskenta ja arviointi on esitetty Ilvessalon julkai-  
suissa (1951, 1956). Puuston pohjapinta-ala on laskettu  
runkolukusarjan perusteella, keskiläpimita ja keskipi-  
tuus läpimitalluokkien pohjapinta-aloilla painottaen. In-

ventoinnin (VMI3) kuorettomat tilavuuskasvuluvut  
muunnettiin kuorellisiksi puuston kuorellisen ja kuoret-  
toman tilavuuden suhteella.

Kuorellinen läpimitan kasvu laskettiin VMI3:n aineis-  
tosta koepuiden keskimääräisen kuoren paksuuden pe-  
rusteella ja VMI5:n aineistosta mittaushetken kuorellisen  
ja kuorettoman pohjapinta-alan suhteella. Kasvujak-  
son alkujankohdan kuorellinen pohjapinta-ala lasket-  
tiin VMI5:n osalta käyttäen kuorellisen ja kuorettoman  
tunnuksen mittaajankohdan suhdetta. Valtapituudet  
jakson alussa laskettiin keskipituuden perusteella Hän-  
nisen (1974) yhtälöllä. VMI5:n puustotunnusten lasken-  
ta on esitetty Kuuselan & Salmisen julkaisussa (1969).  
Puuston runkoluku kasvujakson alussa (N<sub>ja</sub>) laskettiin  
molemmista aineistoista käyttämällä kasvujakson alun  
ja lopun pohjapinta-alojen ja läpimittojen suhdetta ( $G_{ja}/$   
 $D_{ja} = a$ ,  $G_{jl}/D_{jl} = b$ ) sekä runkolukua kasvujakson lopus-  
sa (N<sub>jl</sub>). Laskenta perustui oletuksiin, että pohjapinta-  
alan ja keskiläpimitan suhde oli runkoluvun kuvaaja, ja  
että kasvujakson alun ja lopun runkolukujen suhde oli  
sama kuin kuvaajien keskinäinen suhde eli  $N_{ja}/N_{jl} = a/b$ .

## 3 Perusteet ja menetelmät

### 3.1 Kasvupaikkaluokittelu ja käsittelyohjelmat

Kasvupaikkojen luokitus perustui luontaisesti  
syntyneiden talousmänniköiden ja -kuusikoiden  
pituusboniteettimalleihin (Gustavsen 1980) ja  
metsätyyppeihin. Pituusboniteettiluokkien ja  
metsätyyppien rinnastus noudatti likimain ai-  
empien selvitysten tuloksia (Gustavsen 1980).  
Metsätyypit olivat välttämättömiä harvennus-  
mallien soveltamisessa ja lähtöpuuston sekä tu-  
lostien arvioinnissa. Kehityksen simuloinnissa  
sovellettiin Metsäkeskus Tapion (Metsänhoito-  
suositukset 1989) ja metsähallituksen (Ohjekir-  
jeet... 1984, 1985) laatimia Etelä- ja Pohjois-  
Suomen metsien käsittelyohjeita ja käytettiin  
seuraavia ohjekierroaikoja:

	Mänty			Kuusi		
	Metsä- tyyppi	H <sub>100</sub>	Ikä, v	Metsä- tyyppi	H <sub>100</sub>	Ikä, v
Etelä-Suomi	MT	27	80	MT	25,5	90
	VT	24	90			
Pohjois-Suomi	MT	19,5	115	MT	19,5	110
	VT-	18	130			

### 3.2 Tilavuuskasvumallit ja apumallit

Tutkimuksessa tarkasteltiin ensin, kuinka hyvin  
vähäpuustoisten metsiköiden kasvu voidaan en-  
nustaa luontaisesti syntyneille talousmetsille ja  
hoidetuille metsille laadituilla kasvumalleilla  
(Gustavsen 1977; yhtälöt 1 ja 2, Mielikäinen  
1975; kaksi ennusteyhtälöä, Nyyssösen & Mie-  
likäinen 1978; yhtälöt 17 ja 19). Mielikäisen  
(1975) ja Nyyssösen & Mielikäisen (1978) yh-  
tälöt perustuvat samaan aineistoon ja myös niis-  
sä käytetyt muuttujat ovat pääosin samoja.

Laasasenahon & Päivisen (1986) mukaan kas-  
vumalleille ennustetut kasvut poikkeavat todell-  
isesta kasvusta monista syistä. Eräs syy on mal-  
lien laadinta- ja soveltamisaineistojen yhteenso-  
pimattomuus. Yhtälöiden antamien ja mitattu-  
jen kasvujen erotuksia, residuaaleja, tarkastel-  
tiin yksi-, kaksi- ja kolmiulotteisin taulukoin,  
joissa eri metsikkötunnukset vaihtelivat aineis-  
ton koko peittävyysalueella. Kaikkia testitulok-  
sia ei ole kuitenkaan esitetty (liite 2) niiden  
laajuuden vuoksi.

Lyhyesti voitiin todeta, että Mielikäisen (1975)  
ja Nyyssösen & Mielikäisen (1978) kehittämät  
männyn ja kuusen yhtälöt sekä Gustavsenin

(1977) kuusen yhtälö antoivat harhaisia tuloksia. Yhtälöillä lasketut kasvuluvut puustotunnusten tietyillä vaihtelualueilla olivat systemaattisesti joko liian suuria tai pieniä. Yliarviointia tapahtui yleisesti puustotunnusten koko vaihtelualueella. Aliarviointia esiintyi lähinnä vain metsiköissä, joiden ennustettu kasvu oli alle 10–15 m<sup>3</sup>/ha/5 v ja puustopääoma alle 20–25 m<sup>3</sup>/ha. Sitä vastoin Gustavsenin (1977) laatima männyn kasvuyhtälö antoi melko harhattomia jäänösvaihteluita eri puustotunnusten suhteen yleensä. Ainoastaan valtapituusboniteetin suhteen esiintyi lievää yliarviointia kasvupaikkojen koko vaihtelualueella.

Yhtälöiden harhattomuutta testattiin F-testin avulla. Aineisto luokiteltiin ennustetun kasvun suhteen 16 luokkaan (esimerkki liitteessä 1) ja testattiin, oliko jokaisen luokan residuaalin odotusarvo yhtäaikaaisesti nolla (hypoteesi). Testisuureen havaittu ( $F_{hav}$ ) arvo oli kaikkien yhtälöiden osalta suurempi kuin F-taulukon antama arvo merkitsevyytasolla 0,01. Testi vahvisti käsitystä, että aiemmat yhtälöt antavat harhaisia

tuloksia tutkimusaineistossa. Testitulokset esim. Gustavsenin (1977) mänty-yhtälön osalta:  $F_{hav} = 2,13 > F_{0,01(16,718)} = 2,04$ .

Koska aiemmin laaditut kasvuyhtälöt eivät johdaneet tyydyttävään tulokseen, kehitettiin tutkimusaineiston perusteella kaksi uutta yhtälöä (yhtälöt 32.1 ja 32.2). Toinen syy uusien mallien laatimiseen oli, että vanhoista malleista puuttui muuttujia (esim. runkoluku), jotka ovat tärkeitä pyrittäessä kuvaamaan harvan, vähäpuustoisin metsikön kehitystä. Yhtälöiden selittäviksi muuttujiksi otettiin tilavuuden, valtapituuden ja iän lisäksi puuston runkoluku (N) ja kasvupaikan lämpösomma (TS). Uusien yhtälöiden residuaalien vaihtelu (liite 1 ja 2) oli keskimäärin pienempi ja satunnaisempi kuin em. hoidetuille metsille laadittujen yhtälöiden. Laaditut uudet yhtälöt eivät osoittaneet selviä systemaattisia virheitä, minkä vuoksi niitä päätettiin käyttää vähäpuustoisin metsikön kehityksen ennustamiseen. Vähäpuustoisille havumetsiköille laaditut tilavuuskasvuyhtälöt ovat seuraavat:

	Kerroin <i>Coefficient</i>	Muuttuja <i>Variable</i>	Kertoimen keskivirhe <i>Standard error</i>	t-arvo <i>t-value</i>	
<b>Mänty – Pine</b>					
$\ln(I_{vs}) =$	0,6773		0,2151	2,91	(32.1)
	+0,3763	$\cdot \ln(V)$	0,0206	18,24	
	+0,9441	$\cdot \ln(H_{dom}/T)$	0,0416	22,67	
	+0,2415	$\cdot \ln(N)$	0,0198	12,19	
	+0,0003	$\cdot TS$	0,0001	3,24	
$s_y =$	0,564				
$s_f =$	0,322				
$R^2 =$	0,677				
$n =$	734				
<b>Kuusi – Spruce</b>					
$\ln(I_{vs}) =$	0,8864		0,3145	2,64	(32.2)
	+0,3922	$\cdot \ln(V)$	0,0279	14,06	
	+0,8970	$\cdot \ln(H_{dom}/T)$	0,0690	13,00	
	+0,1569	$\cdot \ln(N)$	0,0339	4,62	
	+0,0006	$\cdot TS$	0,0002	3,73	
$s_y =$	0,560				
$s_f =$	0,330				
$R^2 =$	0,656				
$n =$	373				

Kaikkien tässä tutkimuksessa käytettyjen yhtälöiden vakiotermeissä on korjattu virhe, joka syntyy kun selitettävänä muuttujana on kasvun logaritmimuunnos. Alkuperäisiin vakiotermeihin on tämän takia lisätty  $s_f^2/2$ .

Puuston kehityksen laskennassa tarvittiin myös eräitä apumalleja. Puuston tilavuus muunnettiin

pohjapinta-alaksi (tietyissä tapauksissa päinvas-toin pohjapinta-ala tilavuudeksi) mallilla:

$$G = \frac{V}{F \cdot H_{dom}} \quad (32.3)$$

Muotoluku (F) laskettiin Gustavsenin & Fagerströmin (1983; yhtälöt 3 ja 7) ja valtapituuden kehitys ( $H_{\text{dom}}$ ) Gustavsenin (1980) kehittämällä malleilla. Puuston keskiläpimitan (D) arviointia

Mänty – *Pine*

$$\ln(D) = 2,1810 + 0,0522 \cdot H_{\text{dom}} + 0,0010 \cdot T - 0,0005 \cdot N \quad (32.4)$$

t-arvo 49,08 24,12 5,20 -20,95

t-value

$s_y = 0,3255$

$s_f = 0,1538$

$R^2 = 0,777$

$n = 734$

Kuusi – *Spruce*

$$\ln(D) = 2,0273 + 0,0546 \cdot H_{\text{dom}} + 0,0015 \cdot T - 0,0004 \cdot N \quad (32.5)$$

t-arvo 32,63 19,89 5,21 -10,68

t-value

$s_y = 0,3073$

$s_f = 0,1442$

$R^2 = 0,782$

$n = 373$

### 3.3 Metsiköiden kehityksen simulointi

Vähäpuustoisien metsikön simulointilaskelmissa lähtöpuusto kuvattiin tilavuuden, pohjapinta-alan, runkoluvun, valtapituuden, iän, muotoluvun ja keskiläpimitan avulla. Tunnuksille laskettiin alkuarvot tutkimusaineiston perusteella. Alkupuuston läpimittojen oletettiin edustavan sekä harvana kasvaneen että tietyssä vaiheessa (esim. ensiharvennusvaiheessa) voimakkaalla hakkuulla käsitellyn puuston arvoja. Simulointilaskelmat aloitettiin 13 m:n valtapituusvaiheesta (ensiharvennusvaihe), jolloin vastaava metsikön ikä oli kasvupaikasta riippuen 32–78 v.

Vähäpuustoisien metsikön tulevaa tilavuuskehitystä ennustettiin tilavuuskasvuyhtälöillä 32.1 ja 32.2. Pohjapinta-ala laskettiin viiden vuoden välein muotoluvun, valtapituuden ja kasvun verran lisääntyneen tilavuuden (apumalli 32.3), ja keskiläpimita puolestaan tilavuuden ja runkoluvun avulla (apumallit 32.4 ja 32.5). Simuloinnissa oletettiin, että runkolukuun kuului kehityskelpoisia puita, joiden oletettiin kasvavan pätehhäkkyyteen saakka ilman myrsky- tai muitakaan tuhoja.

Koko kiertoaikaa koskevissa laskelmissa oletettiin, että puuston kasvu oli hoidetun metsikön kasvumallin mukainen sen jälkeen, kun vähäpuustoisien metsikön pohjapinta-ala ylitti harvennusmallin hakkuun jälkeisen ohjetheyden.

varten metsikön eri kehitysvaiheissa (ei lähtövaiheen) laadittiin aineiston perusteella seuraavat yhtälöt:

Harvennuksia tehtiin vain, jos puuston pohjapinta-ala saavutti ko. harvennusmallin leimausrajan vähintään 12–15 vuotta ennen kiertoajan loppua. Simuloinnissa ei otettu huomioon luonnonpoistumaa, uusien puiden syntymistä eikä puiden epäsäännöllistä tilajärjestystä metsikössä. Keskimääräisenä lämpösumma-arvona (TS) käytettiin Etelä-Suomessa 1150 d.d. ja Pohjois-Suomessa 930 d.d.

Tutkimuksessa simulointiin vertailuna esimerkiksi myös hoidettujen metsiköiden kehityksestä Gustavsenin kasvumalleilla (1977; yhtälöt 4, 7, 13, 16 ja 23). Ensiharvennusvaiheessa olevan lähtöpuuston alkutunnukset, kuten esim. pohjapinta-ala ja runkoluku, olivat näissä vertailulaskelmissa ko. harvennusmallin mukaiset.

Sekä vähäpuustoiseksi hakatun että hoidetun metsikön koko kiertoaikaa koskevissa laskelmissa tarvittiin arvio metsikön kokonaistuotoksesta ensiharvennukseen mennessä. Arvio tehtiin hakkuin käsitellyille metsiköille aiemmin laadituista kasvu- ja tuotostaulukoista (Nyyssönen 1954, Vuokila 1956, 1967 ja Koivisto 1972). VT-männikön ( $H_{100} = 24$ ) kokonaistuotos 13 m:n valtapituuteen mennessä oli 145 m<sup>3</sup>/ha ja MT-kuusikon ( $H_{100} = 25,5$ ) 155 m<sup>3</sup>/ha. Ensiharvennuskertymä saatiin kokonaistuotoksen ja ensiharvennuksessa kasvamaan jääneen puuston tilavuuksien erotuksena.

## 4 Vähäpuustoisten havumetsiköiden kehitys

### 4.1 Pohjapinta-alan kehitys

Pohjapinta-alan kehityksen kuvaajat havainnollistavat harvana syntyneen tai voimakkaasti hakatun männikön ja kuusikon pohjapinta-alan kehitystä ensiharvennusvaiheesta lähtien (kuvat 3–6). Näin voidaan olettaa, koska tutkimusaineistot edustavat sekä 1950-luvun (VMI3) että 1960–70 -luvun (VMI5) harvapuustoisia metsiköitä.

Vähäpuustoisten metsiköiden kehityskäyrät on simuloitu kasvuyhtälöillä 32.1 ja 32.2. Tarkasteltavia vaihtoehtoja on tulosten selkeyden takia karsittu, mutta esitettyjen pohjapinta-alan kehityskäyrien perusteella voidaan arvioida myös muita lähtötilanteita. Kuivissa on esitetty runkoluvun ja keskiläpimitan arvot simuloitien lähdevaiheessa, sekä keskiläpimita kiertoajan lopussa tai puuston pohjapinta-alan saavuttaessa harvennusmallien harvennuksen jälkeisen tason.

Seuraavilla kaavoilla (41.1 ja 41.2) voidaan laskea summittaisesti pohjapinta-alan kehitystä (kuvat 3–6) vastaava tilavuuskehitys :

$$\text{Mänty - Pine: } V = 0,458 \cdot G \cdot H_{\text{dom}} \quad (41.1)$$

$$\text{Kuusi - Spruce: } V = 0,425 \cdot G \cdot H_{\text{dom}} \quad (41.2)$$

Kaavojen vakiot ovat tämän tutkimuksen simuloitimalleissa käytettyjen muotolukujen keskiarvoja. Valtapituus ja pohjapinta-ala arvioidaan esitettyjen pohjapinta-alan kuvaajien perusteella.

### 4.2 Tilavuuskehitys ja kokonaistuotos

Ensiharvennusvaiheessa olevien vähäpuustoisten VT-männiköiden ja MT-kuusikoiden simuloitu tilavuuskehitys taulukoissa 3 ja 4 vastaa kuvassa 6 esitettyä pohjapinta-alan kehitystä. Simuloidut kehityssarjat havainnollistavat pääomaltaan ja tiheydeltään vaihtelevien vähäpuustoisten metsiköiden tilavuuskehitystä. Kehitys käsittää ajan ensiharvennusvaiheesta siihen saakka, kunnes lähtöpuuston runkotilavuus saavuttaa hoidetun talousmetsikön harvennuksen jälkeisen tason.

Tutkimusaineiston mukaan 13 m:n valtapietusvaiheen saavuttaneiden, pohjapinta-alaltaan yhtä tiheiden MT-kuusikoiden ja VT-männiköiden runkoluvuissa on eroja. Vähäpuustoiset kuu-

Taulukko 3. Ensiharvennusvaiheen,  $H_{\text{dom}} = 13$  m,  $T = 38$  v, vähäpuustoisen VT-männikön ( $H_{100} = 24$ ) tilavuuskehitys Etelä-Suomessa (ks. pohjapinta-alan kehitys, kuva 6 ja teksti).

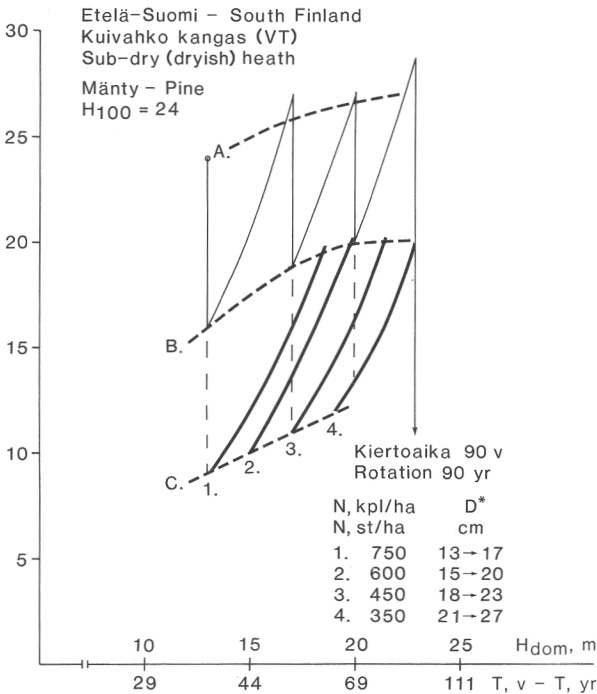
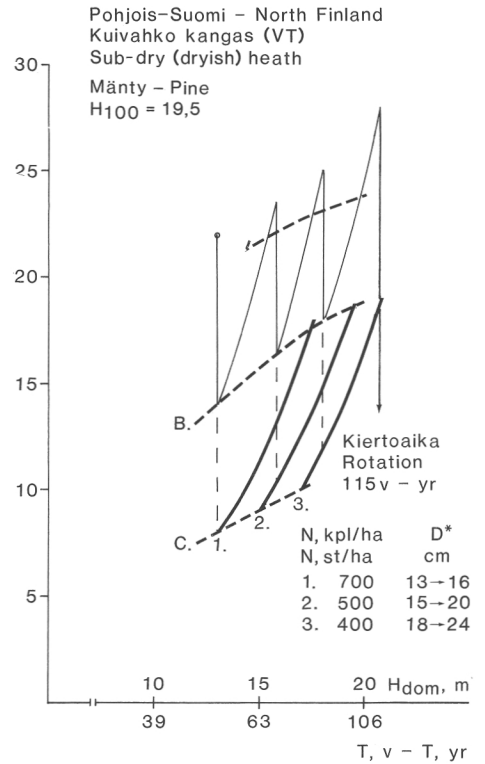
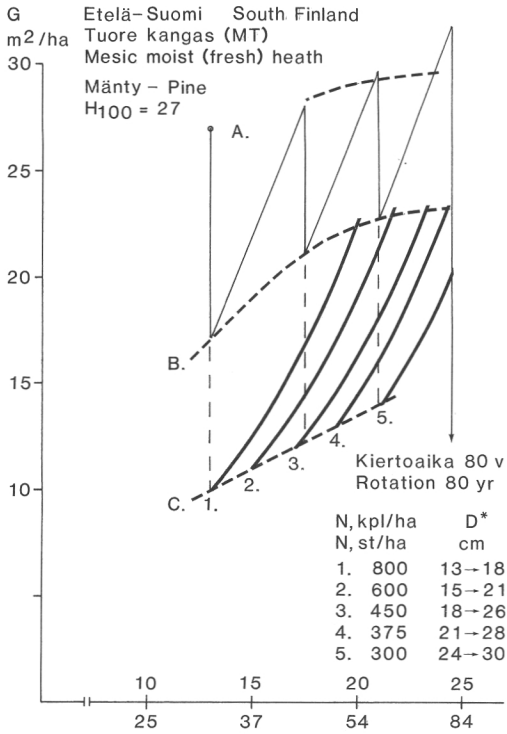
Table 3. The stand volume development in understocked pine stands at the first thinning stage,  $H_{\text{dom}} = 13$  m,  $T = 38$  yr, on *Vaccinium* site type ( $H_{100} = 24$ ) in South Finland (cf. the basal area development in Fig. 6 and the text).

		G, m <sup>2</sup> /ha				
		5	7	9	11	13
		N, kpl/ha - St/ha				
		475	625	750	825	900
T, v	$H_{\text{dom}}$ , m	V, m <sup>3</sup> /ha				
38	13,0	29,5	41,4	53,2	65,0	76,9
43	14,6	45,7	61,0	75,7	89,8	103,8
48	15,9	64,4	83,3	101,0	117,4	133,6
53	17,1	85,3	107,8	128,5	147,3	165,6
58	18,1	107,8	134,0	157,8	178,9	
63	19,1	131,7	161,8	188,6		
68	19,9	156,6	190,6			
73	20,7	182,5	220,4			
78	21,4	209,1				
83	22,1	236,2				
88	22,7	263,7				

Taulukko 4. Ensiharvennusvaiheen,  $H_{\text{dom}} = 13$  m,  $T = 44$  v, vähäpuustoisen MT-kuusikon ( $H_{100} = 25,5$ ) tilavuuskehitys Etelä-Suomessa (ks. pohjapinta-alan kehitys, kuva 6 ja teksti).

Table 4. The stand volume development in understocked spruce stands at the first thinning stage,  $H_{\text{dom}} = 13$  m,  $T = 44$  yr, on *Myrtillus* site type ( $H_{100} = 25,5$ ) in South Finland. (cf. the basal area development in Fig. 6 and the text).

		G, m <sup>2</sup> /ha				
		5	7	9	11	13
		N, kpl/ha - St/ha				
		675	750	850	925	975
T, v	$H_{\text{dom}}$ , m	V, m <sup>3</sup> /ha				
44	13,0	26,1	36,6	47,0	57,5	67,9
49	14,5	42,3	55,3	68,1	80,6	92,8
54	16,0	61,9	77,5	92,6	107,1	121,1
59	17,3	84,6	102,7	120,2	136,7	152,4
64	18,5	110,1	130,6	150,5	169,0	
69	19,7	138,0	161,0	183,3		
74	20,8	168,2	193,6			
79	21,8	200,3	228,1			
84	22,8	234,1				
89	23,7	269,5				

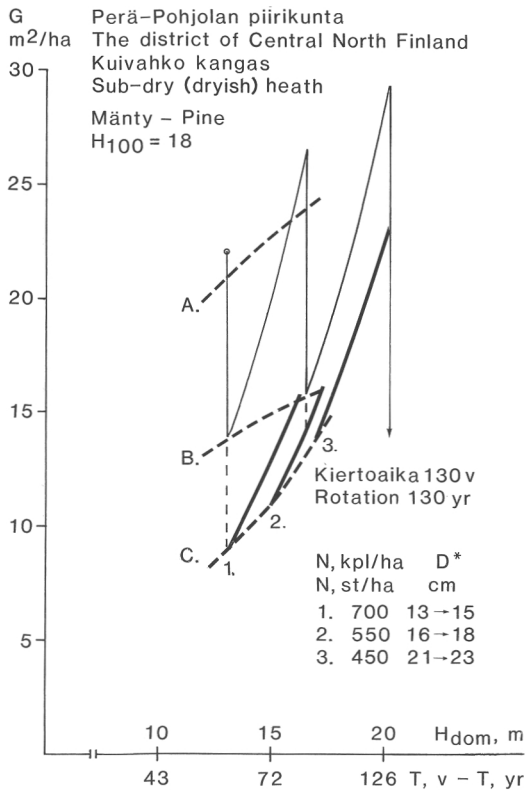


- A. Ennen harvennusta - Before thinning  
B. Harvennuksen jälkeen (keskimääräinen taso) - After thinning (average level)  
C. 60% B:sta - 60% of the B-level

\* Keskiläpimitan alku- ja loppuarvot (ks. teksti)  
Initial and end values of the mean diameter (cf. the text)

Kuva 3. Vähäpuustoisten männiköiden pohjapinta-alan kehitys (C) verrattuna Metsäkeskus Tapion harvennusmallin (A, B) mukaisesti hoidetun männikön kehitykseen.

Fig. 3. The development of basal area in understocked pine stands (C) in relation to the development in pine stands (normally stocked) treated with thinnings according to the models of Forest Center Tapio (A, B).



- A. Ennen harvennusta - Before thinning  
B. Harvennuksen jälkeen - After thinning  
C. Hyväksyttävä minimi - Acceptable minimum level

\* Keskiläpimitan alku- ja loppuarvot (ks. teksti)  
Initial and end values of the mean diameter (cf. the text)

Kuva 4. Perä-Pohjolan kuivahkon kankaan vähäpuustoisien männikön pohjapinta-alan kehitys (C) verrattuna metsähallituksen harvennusmallin (A, B) mukaisesti hoidetun männikön kehitykseen.

Fig. 4. The development of basal area in an understocked pine stand (C) on sub-dry (dryish) heath in relation to the development in a pine stand (normally stocked) treated with thinnings according to the model of the National Board of Forestry for the district of central north Finland (A, B).

sikot ovat runkoluvulla mitaten keskimäärin tiheämpiä kuin männiköt. Tämä vaikuttaa myös aineistojen keskiläpimittoihin, jotka ovat kuusikoissa n. 1 cm pienempiä. Myös kuusikon tilavuus on jonkin verran pienempi kuin pohjapinta-alaltaan yhtä tiheän männikön (taulukot 3 ja 4, rivi 1). Koska tulokset edustavat myös kasvu-

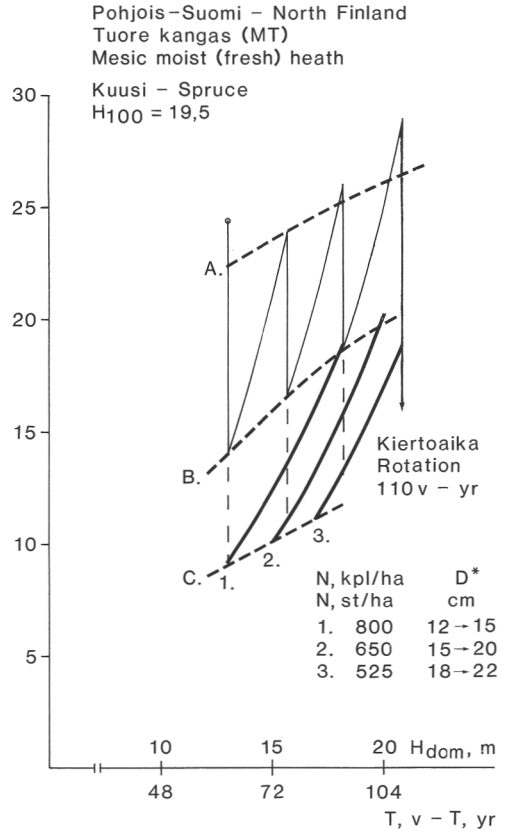
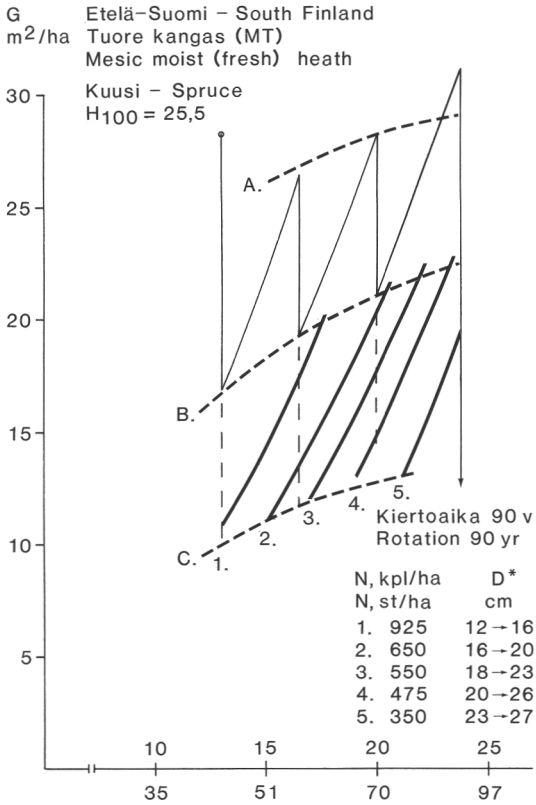
paikaltaan ja puustoboniteetiltaan erilaisia vähäpuustoisia metsiköitä, ei tilavuuskehityksen ja kokonaistuotoksen (taulukot 5 ja 6) puulajikohtainen vertailu ole kovin luotettavaa eikä tarkoituksenmukaista.

Nykymetsissä vähäpuustoisuus johtuu useammin huonosta uudistustuloksesta kuin liian voimakkaista ensiharvennuksista. Tällaisen vähäpuustoisena syntyneen metsikön ennustettu kehitys on esitetty taulukossa 5. Lähtöpuuston tunnuksiset jotka samalla kuvaavat puuston siihenas-tista kokonaistuotosta, ovat taulukoissa 3 ja 4. Männikön ikä on simuloinnin alussa 13 m:n pituudella 38 v ja kuusikon ikä 44 v.

Toista vaihtoehtoa edustavat tulokset nähdään taulukosta 6, jossa esitetään ensiharvennusvaiheessa vähäpuustoiseksi hakatun VT-männikön ja MT-kuusikon koko kiertoajan kokonaistuotos. Laskennan lähtökohdat ovat muuten samat kuin taulukossa 5, mutta tuotosluvut sisältävät myös voimakkaassa ensiharvennuksessa poistetun puuston. Esimerkkitapausten ensiharvennuspoistuma saadaan arvioituksi taulukoiden 5 ja 6 tuotoslukupien erotuksena.

Viimeksimainitun laskelman (myös hoidetun metsikön tuotoslaskennan) lähtökohdat ovat olleet täystiheä männikkö ja kuusikko ennen voimakasta ensiharvennusta. Täystiheän männikön kokonaistuotos on ensiharvennusvaiheeseen mennessä 145 m<sup>3</sup>/ha ja kuusikon 155 m<sup>3</sup>/ha (merkitty pohjapinta-aloina kuvassa 6). Tästä on puuston määrää vähennetty eritasoisin ensiharvennuksin (taulukko 6, tilanne ensiharvennuksen jälkeen). On syytä korostaa tuotostulosten teoreettisuutta ja epävarmuutta, joka aiheutuu saman kasvuyhtälön käytöstä sekä vähäpuustoisena syntyneen että harvaksi hakatun metsikön kehityksen ennustamisessa.

Vähäpuustoisien ja harvennusmallin mukaisesti hoidetun metsikön tuotoksen vertailu (taulukot 5 ja 6) on perusteltua siksi, että metsissämme on edelleen eri syistä vähäpuustoisia metsiköitä. Vertailu osoittaa, että vähäpuustoiseksi hakattu kasvatusmetsikkö, joka jätetään kasvamaan kiertoajan loppuun, aiheuttaa tuotostappiota, mutta paljon vähemmän kuin huonosti uudistettu, alusta asti harvapuustoinen metsikkö. Suhteellinen tuotostappio on puulajeilla likimain sama, vaikka vähäpuustoisien ja hoidetun kuusikon ensiharvennuspoistumien absoluuttinen ero on suurempi kuin männyn. Eräiden harvennuskokkeiden tulokset tukevat nyt saatua tulosta.



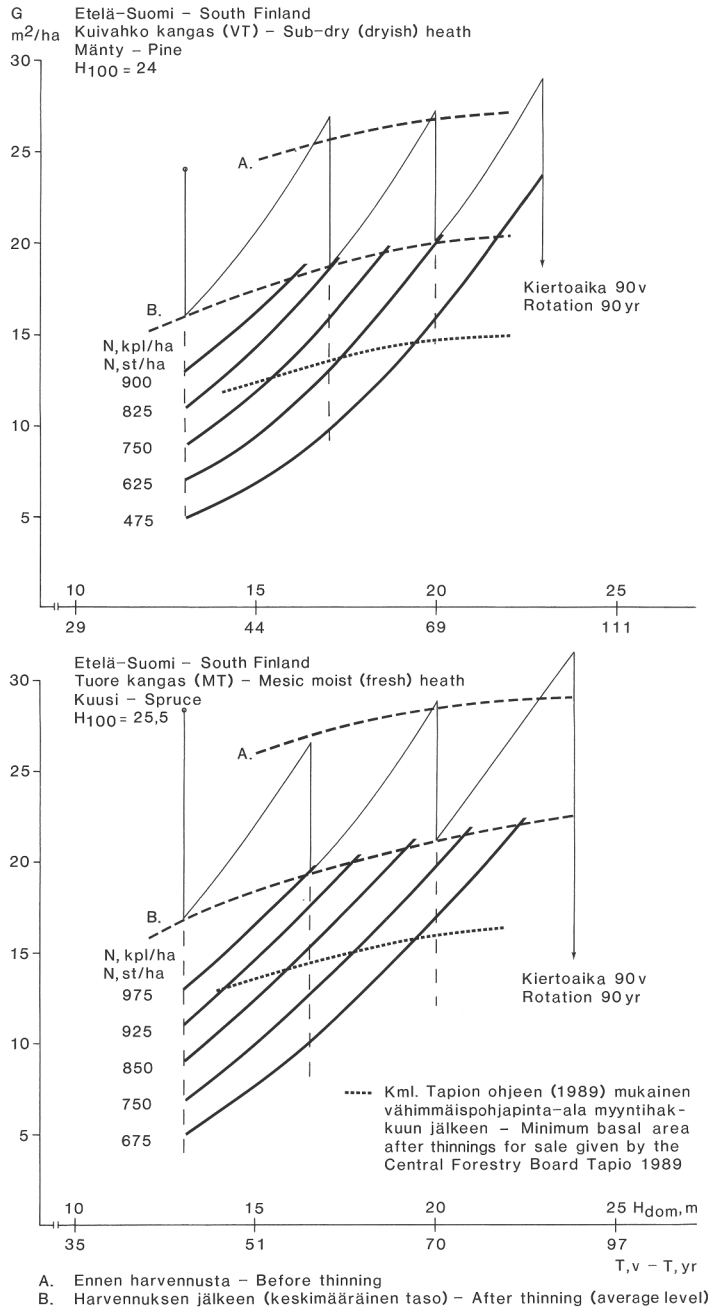
- A. Ennen harvennusta – Before thinning  
 B. Harvennuksen jälkeen (keskimääräinen taso)  
 After thinning (mean level)  
 C. 60% B:sta – 60% of the B-level

- \* Keskiläpimitan alku- ja loppuarvot  
 (ks. teksti)  
 Initial and end values of the mean  
 diameter (cf. the text)

Kuva 5. Vähäpuustoisten kuusikoiden pohjapinta-alan kehitys (C) verrattuna Metsäkeskus Tapion harvennusmallin (A, B) mukaisesti hoidetun kuusikon kehitykseen.

Fig. 5. The development of basal area in understocked spruce stands (C) in relation to the development in spruce stands (normally stocked) treated with thinnings according to the models of Forest Center Tapio (A, B).





Kuva 6. Runkoluvun vaikutus ensiharvennusvaiheessa ( $H_{dom} = 13$  m) vähäpuustoiseksi hakatun tai harvana syntyneen, eteläsuomalaisen VT-männikön ja MT-kuusikon pohjapinta-alan kehitykseen. Vertailuna on esitetty Metsäkeskus Tapion harvennussmallien mukaisesti hoidetun talousmetsikön kehitys (A, B).

Fig. 6. The effect of the initial density at the first thinning stage ( $H_{dom} = 13$  m) on the basal area development in understocked pine stands of the *Vaccinium* and spruce stands of the *Myrtillus* site type in South Finland. An example is shown of the basal area development in stands (normally stocked) treated with thinnings according to the models of Forest Center Tapio (A, B).

Taulukko 5. Etelä-Suomen vähäpuustoisena syntyneen metsikön ja Metsäkeskus Tapion harvennusmallin mukaisesti hoidetun metsikön koko kiertoajan (90 v) kokonaistuotos (Yv) (ks. kuva 6 ja teksti).

Table 5. The yield (Yv) during the rotation of 90 years in stands which are understocked, as a result of failed regeneration, and in normally stocked stands treated with thinnings according to the thinning guides of Forest Center Tapio (cf. Fig. 6 and the text).

VT-männikkö, H <sub>100</sub> = 24 <i>Pine stand, Vaccinium site type</i>				MT-kuusikko, H <sub>100</sub> = 25,5 <i>Spruce stand, Myrtillus site type</i>			
G m <sup>2</sup> /ha	N kpl/ha st/ha	Yv m <sup>3</sup> /ha/ 90 v – yr	%	G m <sup>2</sup> /ha	N kpl/ha st/ha	Yv m <sup>3</sup> /ha/ 90 v – yr	%
<b>Hoidettu metsikkö – Normally growing stand</b>							
16	1200	501	100	17	1300	504	100
<b>Vähäpuustoinen metsikkö – Understocked stand</b>							
13	900	414	83	13	975	388	77
11	825	390	78	11	925	371	74
9	750	361	72	9	850	348	69
7	625	326	65	7	750	312	62
5	475	272	54	5	675	277	55

Taulukko 6. Etelä-Suomen vähäpuustoiseksi hakatun metsikön ja Metsäkeskus Tapion harvennusmallin mukaisesti hoidetun metsikön koko kiertoajan (90 v) kokonaistuotos (Yv) (ks. kuva 6 ja teksti).

Table 6. The yield (Yv) during the rotation of 90 years in stands which are understocked, as a result of heavy first thinnings, and in normally stocked stand treated with thinnings according to the thinning guides of Forest Center Tapio (cf. Fig. 6 and the text).

VT-männikkö, H <sub>100</sub> = 24 <i>Pine stand, Vaccinium site type</i>				MT-kuusikko, H <sub>100</sub> = 25,5 (27/24) <i>Spruce stand, Myrtillus site type</i>			
G m <sup>2</sup> /ha	N kpl/ha st/ha	Yv m <sup>3</sup> /ha/ 90 v – yr	%	G m <sup>2</sup> /ha	N kpl/ha st/ha	Yv m <sup>3</sup> /ha/ 90 v – yr	%
<b>Hoidettu metsikkö – Normally growing stand</b>							
16	1200	501	100	17	1300	504	100
<b>Vähäpuustoinen metsikkö – Understocked stand</b>							
13	900	483	96	13	975	475	94
11	825	470	94	11	925	469	93
9	750	453	90	9	850	456	90
7	625	430	86	7	750	431	86
5	475	387	77	5	675	406	81

### 4.3 Kasvuyhtälöiden ja kehityssarjojen luotettavuus

Yhtälöillä 32.1 ja 32.2 ennustetun ja mitatun kasvun erojen tarkastelu laskenta-aineistossa ei paljastanut systemaattisia virheitä. Tämä ei kuitenkaan takaa kasvuyhtälöiden harhattomuutta käytännön sovelluksissa tai toisissa testiaineistoissa. Jos oletetaan yhtälöiden olevan harhattomia, voidaan jäännöshajonnan perusteella arvioida yhtälöiden suhteellisen keskivirheen (satunnaisvirhe  $100 \cdot s_p$ ) olevan 30 % ennustettaessa metsikön 5-vuotisjakson kasvua.

Esitettyjen pohjapinta-alan kehityssarjojen tilastollista luotettavuutta ei pystytä arvioimaan. Pohjapinta-ala on laskettu tilavuuden ja apumalleista arvioidun valtapituuden sekä tuotetun perusteella, joihin kaikkiin voi sisältyä virheitä. Kasvuyhtälöiden aiheuttama satunnaisvirhe ei myöskään välttämättä tasaannu peräkkäisissä, viiden vuoden jaksoina tehtävissä simulointilaskelmissa. Kun tulevan 5-vuotisjakson kasvu ennustetaan mm. edellisen jakson lopussa mitatun puuston tilavuuden avulla, huomataan tietty korrelaatio kasvun ja tilavuuden välillä. Vaikkei kasvuyhtälöön liittyisikään systemaattista virhettä, voi tämä korrelaatio aiheuttaa harhaisia tilavuuden ja pohjapinta-alan kehityssarjoja. Simuloidun pohjapinta-alan ja tilavuuden virheen suuruus riippuu ratkaisevasti simulointiajasta. Vaikka kasvuennusteessa on suuri suhteellinen virhe, on lyhyen simulointiajan jälkeen ennustetun tilavuuden ja pohjapinta-alan suhteellinen virhe pieni jollei lähtöpuustona ole aivan nuori taimikko.

Kasvuyhtälöissä ei ole mukana muuttujaa, joka kuvaisi hakkuun suoranaista vaikutusta kasvuun. Yhtälöissä harvennushakkuun vaikutus kasvuun tulee kuitenkin otetuksi huomioon alentuneen tilavuuden ja runkoluvun avulla. Regressioanalyysillä kehitellyn kasvuyhtälön luotettavuus on riippuvainen laadinta-aineistosta, mikä tässä tutkimuksessa sisältää sekä vähäpuustoiseksi syntyneitä että hakattuja metsiköitä. Osa hakatuista metsiköistä (VMI3) edustaa 1950-luvun käsittelyä harsintoineen. Se vähentää ensiharvennusvaiheessa vähäpuustoiseksi hakatun metsikön tuotosarvion luotettavuutta.

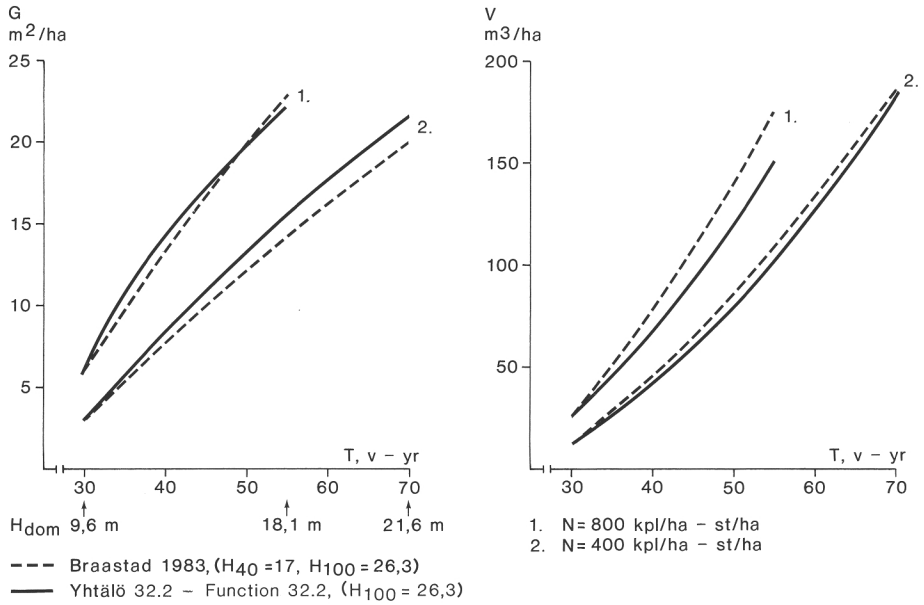
Taulukon 6 tuotoslukujen perusteella ei ole syytä tehdä pitkälle meneviä päätelmiä puulajien reagoinnista hakkuisiin. Tarkkaa analyysiä koelapuustojen aiemmasta käsittelystä ei voitu tehdä, koska tietoja ei ole inventointien yhteydessä kerätty. Luotettavia tuloksia voimakkaan hakkuun aiheuttamasta tuotostappiosta saadaan

vasta pysyvältä harvennuskokeilta, joissa metsikön runkoluku on pudotettu ensiharvennusvaiheessa kerralla 300–400 kpl:n tiheyteen hehtaaria kohden.

Koska Suomessa ei ole laajoja vähäpuustoitien metsien kehitystä kuvaavia kestokoeala-aineistoja, voidaan tulosten luotettavuudesta saada käsitys vain vertaamalla niitä aiempiin tutkimustuloksiin. Tutkimusten vähäisyys ja simulointilaskelmien erilaiset lähtökohdat vaikeuttavat kuitenkin vertailua. Jonkinlaisen käsityksen tulosten luotettavuudesta tarjoavat Braastadin (1983), Frykin (1984) ja Erikssonin (1990) tutkimukset (kuvat 7, 8 ja 9). Myös näissä tutkimuksissa puuston kehitys on simuloitu kasvuyhtälöillä.

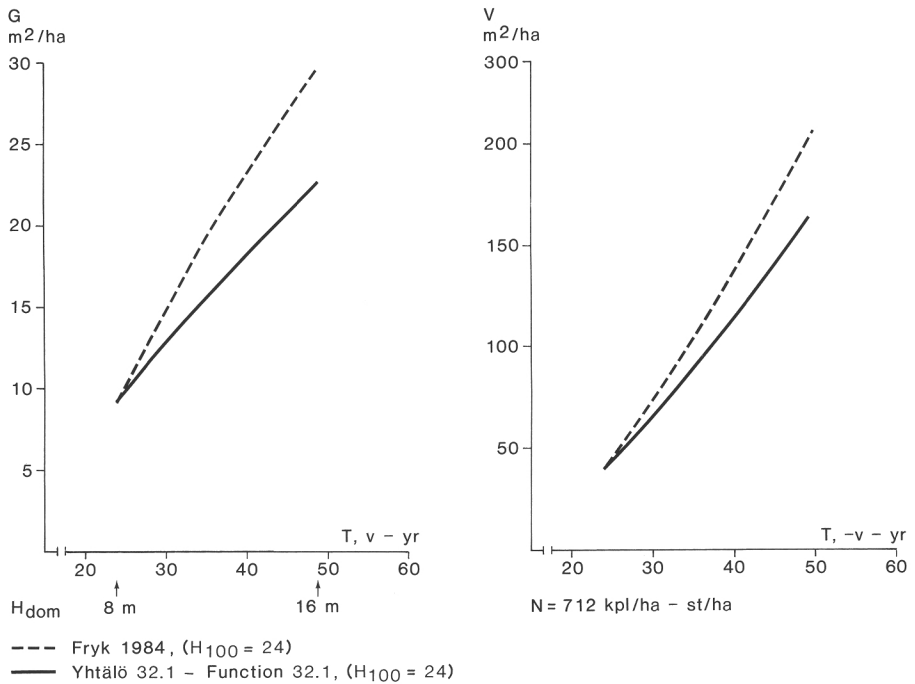
Braastadin saamat tutkimustulokset sekä pohjapinta-alan ja tilavuuden kehityksestä että vähäpuustoiseksi syntyneen metsikön kokonaistuotoksesta tukevat tämän tutkimuksen päätelmiä. Tulos on sama, jos lähtökohtana käytetään tietyn kehitysvaiheen (esim. 13 m:n valtapituus) pohjapinta-alaa ja vertaillaan molempien tutkimusten kehityssarjoja. Braastadin mukaan vähäpuustoiset kuusikot (tiheys 400 ja 800 kpl/ha), joiden pohjapinta-alat ovat n. 7 ja 12 m<sup>2</sup>/ha 13 m:n pituusvaiheessa, tuottavat kiertoajan kuluessa harventamatta 58 % ja 80 % hoidetun metsikön (2000 kpl/ha) tuotoksesta. Taulukossa 5 vastaavat tuotosluvut ovat 62 % ja 76 % (7 m<sup>2</sup>, 750 kpl/ha ja 12 m<sup>2</sup>, 950 kpl/ha). Vertailu on mielenkiintoinen, sillä Braastadin tutkimuksessa on hoidetun metsikön kasvuyhtälöä korjattu lisämuuttujalla (keskiläpimitta). Tulosten testaamiseen Braastadilla oli käytettävissään kestokoeala-aineistoa.

Frykin (1984) männiköiden tuotossarjat poikkeavat selvästi nyt esitettävistä (kuva 8). Vertailussa jää epäselväksi, onko Frykin tutkimuksessa kuvattu varsinaisesti vähäpuustoisia metsiä. Esimerkiksi 4 m:n valtapituusvaiheessa harvennuksen jälkeen runkolukuun on luettu kaikki 1,3 m pitemmät puut (600 kpl/ha). 10 v myöhemmin, simuloinnin lähtövaiheessa (n. 8 m), mukaan on otettu kaikki yli 5 cm paksummat puut (712 kpl/ha). Alkupohjapinta-ala on 8 m:n pituusvaiheessa n. 9 m<sup>2</sup>/ha eli suurempi kuin tässä tutkimuksessa 13 m:n pituusvaiheessa (kuva 6), jolloin taas Frykin kehityssarjan mukaan se on jo n. 22 m<sup>2</sup>/ha. Kiertoajan (90 v) kokonaistuotos on Frykin harventamattomassa, harvassa männikössä selvästi suurempi, kuin tämän tutkimuksen harvana syntyneen männikön tuotos. Vertailututkimuksessa on käytetty normaalimetsille tarkoitettua ns. Huginin kasvatus-



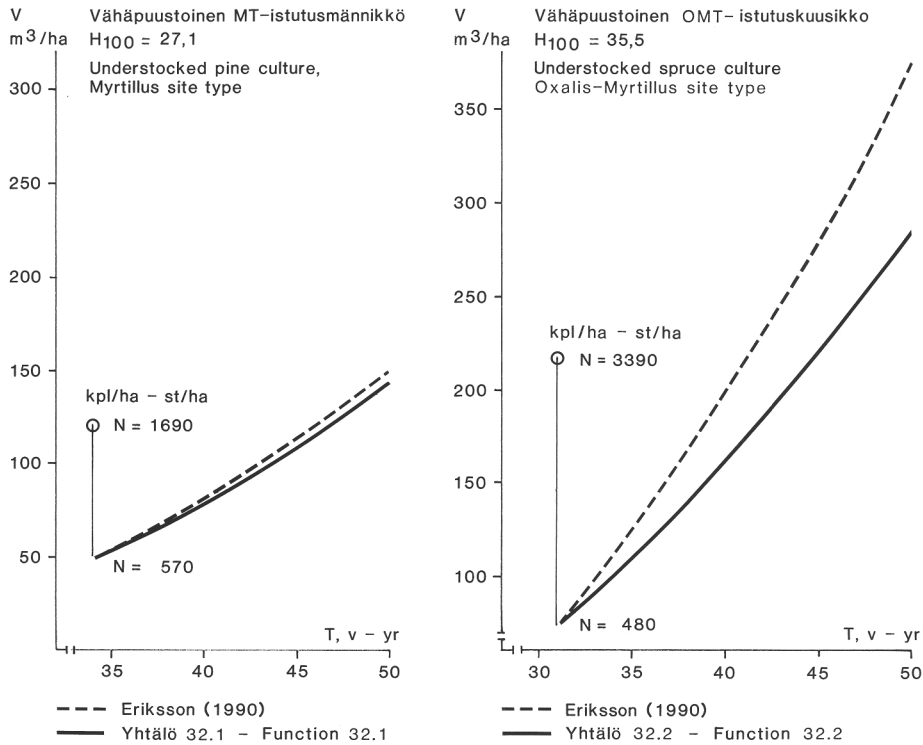
Kuva 7. Vähäpuustoisien MT-kuusikon pohjapinta-alan ja tilavuuden simuloitu kehitys verrattuna Braastadin (1983) tutkimustuloksiin.

Fig. 7. Simulated basal area and volume development in an understocked spruce stand on the Myrtillus site type by Braastad (1983) and from the present study.



Kuva 8. Vähäpuustoisien VT-männikön pohjapinta-alan ja tilavuuden simuloitu kehitys verrattuna Frykin (1984) tutkimuksen tuloksiin.

Fig. 8. Simulated basal area and volume development in an understocked pine stand on Vaccinium site type by Fryk (1984) and from the present study.



Kuva 9. Vähäpuustoiseksi hakattujen viljelymetsiköiden simuloitu kehitys verrattuna eteläruotsalaisten (Götaland) kestokoealametsiköiden kehitykseen (Eriksson 1990).

Fig. 9. Simulated and measured volume development on permanent sample plots in understocked stands from heavy first thinning in South Sweden (Götaland, Eriksson 1990).

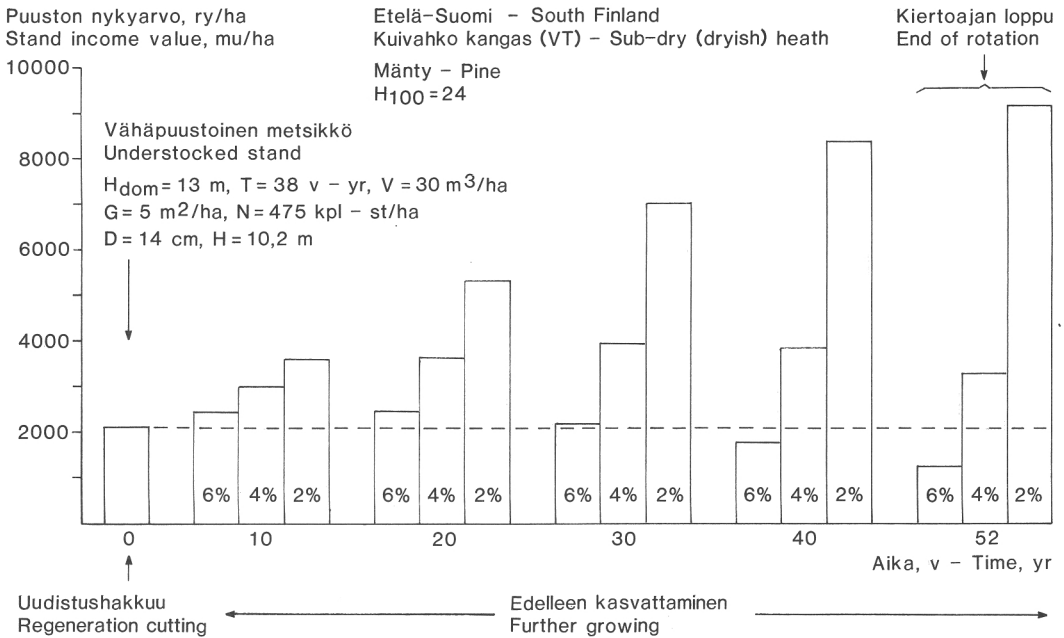
ohjelmaa ja kasvumalleja, joiden tutkimuksen tekijäkin epäilee johtaneen kasvun ja tuotoksen yliarviointiin.

Ruotsissa on aloitettu v. 1966 laaja, koko maan kattava kestokoealoihin perustuva tutkimus (Eriksson 1990). Siinä tutkitaan eri harvennustapojen ja -voimakkuuksien lisäksi lannoituksen vaikutusta puuston kasvuun ja tuotokseen. Koesarjan selvittää mm. yhden voimakkaan ensiharvennuksen vaikutusta kiertoajan kokonais- tuotokseen. Kahden Etelä-Ruotsissa (Götaland) sijaitsevan kestokoealan (1 mänty- ja 1 kuusi- koeala) mittaustulosten perusteella saadaan kuva istutusmännikön kehityksestä harvennuksen jälkeisellä 16-vuotisjaksolla ja istutuskuusikon kehityksestä 19-vuotisjaksolla (kuva 9). Puuston kehitys harvennuksen jälkeen simuloitiin vertailun vuoksi myös tämän tutkimuksen kasvuyhtälöillä. Männyllä kasvuyhtälöön perustuva tilavuuskehitys on likimain sama kuin kestokoealalta mitattu. Sen sijaan istutuskuusikon kehitys tulee selvästi aliarvioiduksi luontaisesti

syntyneen kuusikon kasvuyhtälöllä. Tulokset ovat loogisia ja aiempien tuotostutkimusten mukaisia. Luontaisesti syntyneen männikön ja viljelymännikön kasvussa tai tuotoksessa ei ole yleensä havaittu suuria eroja. Istutuskuusikon ja luontaisesti syntyneen kuusikon tuotosero on yleisesti tunnettu. Tämän tutkimuksen kasvuyhtälön laadinta-aineistoon ei sisälly niin viljavia kasvupaikkoja, kuin mitä ruotsalainen koe- metsikkö kuvassa 9 edustaa ( $H_{100} > 33$ ).

#### 4.4 Vähäpuustaisen metsikön vajaatuottoisuus

Metsäkeskus Tapion uudessa metsänkäsittely- ohjeessa (Metsänhoitosuosituksen 1989) metsikön vajaatuottoisuuden määrittäminen on kytkeyty kasvavan puuston edelleen kasvattamisen tai uudistamisen edullisuuteen. Vaihtoehtojen (kasvattaa tai hakata) puitteissa tutkitaan, onko vähäpuustoinen metsikkö vajaatuottoinen vai ei.



Kuva 10. Erään eteläsuomalaisen, puolukkatyyppin ensiharvennusvaiheen (13 m) männikön uudistamisen ja edelleen kasvattamisen edullisuusvertailu (vrt. kuva 6).

Fig. 10. The profitability calculation for the determination of low yielding in an understocked pine stand at the first thinning stage (13 m) on the *Vaccinium* site type in South Finland (cf. Fig. 6).

Tapauskohtaisesti ratkaistaan, miten metsikköä pitäisi tästä eteenpäin käsitellä. Aiemmissa ohjeissa käytetty hoidetun metsikön tuotto tai tuotos ei ole realistinen vaihtoehto, kun tutkitaan vähäpuustoisessa tilassa olevaa metsikköä. Heti uudistushakkuun jälkeen jää metsikön tilalle vain paljas maa uuden metsikön perustamista varten. Hyvin hoidettu ja kasvava metsikkö saadaan aikaan vasta pitkän ajan kuluttua tulevaisuudessa.

Kuvassa 10 on esimerkki kasvavan, vähäpuustoisesta metsikön kasvatuksen kannattavuudesta nykyarvomenetelmällä laskettuna. Siinä tarkastellaan ko. metsikön edelleen kasvattamista kiertoajan loppuun (10, 20, 30, 40 ja 52 v) verrattuna metsikön välittömään avohakkuuseen. Nykyarvo (rahayksikkö (ry)/ha) on puuston hakkuuarvon ja maan arvon summa. Metsikköä edelleen kasvatettaessa hakkuuarvon ja maan arvon summa on 10, 20, 30, 40 ja 52 vuoden diskontattu arvo (nykyarvo). Summa-arvon laskennassa on käytetty samaa maan arvoa kaikissa vaihtoehtoisissa. Puuston arvo on määritetty lasketun vähäpuustoisesta metsikön tilavuuksien ja Nyysösen & Ojansuon (1982, s. 35) esittämän puustokuutiometrin arvotaulukon perusteella. Laskelmassa käytettiin tukkipuun hintana 100 ja

kuitupuun hintana 50 rahayksikköä kuutiometriä kohden.

Vastaavia maan arvoja laskettaessa käytettiin Tapion taskukirjan (Oksanen-Peltola 1991) maanarvotaulukoita (Etelä-Suomen VT-tyyppin keskimääräinen arvo 1700 mk/ha) ja pitkän ajan puutavaralajeittaisia keskihintataulukoita (Etelä-Suomen tukkipuun ja kuitupuun keskimääräiset hinnat 224 mk ja 98 mk/m<sup>3</sup>). Laskennassa käytettiin Vuokila & Väliähon (1980) viljelymänniköiden tuotostaulukoita. Arvioitujen tukkipuun ja kuitupuun osuudet kiertoajan kokonaistuotoksesta olivat: 0,73 ja 0,27. Maan arvo 750 ry/ha saatiin kertomalla luku 1700 luvulla 0,44 ((100/224) · 0,73 + (50/98) · 0,27 = 0,44).

Tulokseksi saatiin, että puustopääomataso ollessa niinkin alhainen kuin 30 m<sup>3</sup>/ha, pohjapinta-alana 5 m<sup>2</sup>/ha, metsikköä ei ole taloudellisesti mielekästä uudistaa korkovaatimuksen ollessa 2 tai 4 %. Toisin sanoen vähäpuustoinen männikkö ei ole vajaatuottoinen, ja se kannattaa jättää kasvamaan kiertoajan loppuun saakka, jos korkovaatimus on 4 % tai sitä pienempi. Käytettäessä 6 %:n korkoa ovat edelleen kasvattaminen ja pikainen uudistamishakkuu melko tasavertaisia vaihtoehtoja. Tällä korkokannalla metsikön voidaan katsoa olevan lähellä vajaa-

tuottoisuusrajaa. Tuloksia tulkittaessa tulisi ottaa huomioon, että maan arvo ja optimaalinen kiertoaika ovat korosta riippuvia.

Tulokset ovat yhteneväisiä aiempien, kuusikon uudistamisrajan selvittämistä koskevien tut-

kimusten kanssa (Häyrinen 1976, Päivinen 1980, 1989). Näissä tutkimuksissa ensiharvennusmetsiköt olivat vieläkin vähäpuustoisempia kuin tässä tutkimuksessa.

## 5 Tulosten tarkastelu ja soveltaminen

Tulosten soveltaminen riippuu kasvuyhtälöiden luotettavuudesta, joka on sidoksissa laadinta-aineistoon. Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että kehitettyjä kasvuyhtälöitä (32.1 ja 32.2) ei ole testattu erilliseen riippumattomaan aineistoon. Tulevaisuudessa vertailutuloksia saadaan pysyville harvennuskokeilta, joilla puustoa on jo ensiharvennusvaiheessa harvennettu voimakkaasti. Vasta tällöin voidaan luotettavammin päätellä, heikentääkö voimakas harvennus nuoren männikön kiertoajan kasvua enemmän kuin kuusikon, sekä sitä kuvaavatko kasvuyhtälöt yhtä hyvin sekä vähäpuustoiseksi syntyneen että harvaksi hakatun metsikön kehitystä.

Tulosten tilastomatemaaattista luotettavuutta voidaan tarkastella ainoastaan kasvuyhtälöiden osalta laadinta-aineistossaan. Tarkastelu osoitti yhtälöiden antavan harhattomia kasvuennusteita laadinta-aineistossaan. Jäännöshajonnan perusteella voidaan arvioida yhtälöiden suhteellisen keskivirheen (satunnaisvirhe) olevan 30 % metsikön 5-vuotisjakson kasvua ennustettaessa.

Puuston pohjapinta-alan ja tilavuuden kehityssarjojen tilastollisesta luotettavuudesta ei voida tehdä tarkkaa arviota. Syynä tähän on se, että simulointilaskelmissa käytetään kasvuyhtälöiden lisäksi myös apuyhtälöitä, joihin liittyvät omat virheensä. Lisäksi vähän tutkittu ongelma on ennustettuun tilavuuskasvuun perustuvan puuston kehityksen harha pitkällä aikavälillä.

Aiemmat tutkimukset, kuten Braastadin (1983) simuloinnit ja Erikssonin (1990) kestokoealaimittaukset (kuvat 7 ja 9, mäntykoeala), antavat tukea tämän tutkimuksen tuloksille. Näin kasvuyhtälöitä voidaan käyttää sekä vähäpuustoiseksi hakatun että harvana syntyneen metsikön kasvun ennustamiseen.

Frykin (1984) runkoluvultaan harvojen mäntyaimikoiden (kuva 8) ja Erikssonin (1990) voimakkaasti harvennettujen viljelykuusikoiden tulokset (kuva 9, kuusikoeala) poikkeavat sen sijaan selvästi nyt esitetyistä. Mainituissa vertailuissa simulointilaskelmien lähtökohdat ovat tämän aineiston sovellusalueen ulkopuolelta. Fry-

kin tutkimuksessa lähtöpuuston valtapituus on ollut selvästi alle 10 m, ja lisäksi hänen tutkimuksessaan on käytetty hoidetuille metsille laadittua kasvumallia. Mallia ei ole testattu kestokoealaimittauksiin perustuvaan aineistoon kuten Braastadin tutkimuksessa. Erikssonin aineistoa edustava koemetsikkö on puolestaan selvästi viljavampi, kuin tämän tutkimuksen metsiköt. Kasvuyhtälöllä simuloidun kuusikon hitaampaa kehitystä voidaan pitää johdonmukaisena tulokseena.

Edellä esitetyn perusteella voidaan päätellä, että kasvuyhtälöitä (32.1 ja 32.2) ja niillä lasketuja kehityssarjoja pitäisi soveltaa laadinta-aineistonsa tunnusten vaihtelualueilla. Saatujen tulosten käytännön luotettavuus riippuu paljon myös siitä, kuinka hyvin inventoinnissa mitatut vähäpuustoiset metsiköt vastaavat nykymetsiä. Tutkimusaineisto käsittää eri syistä vähäpuustoisia metsiköitä. VMI3:ssa osa hakatuista metsiköistä edustaa 1950-luvun käsittelyä harsintoineen. Tältä osin VMI5:n koealapuustot edustavat paremmin nykymetsien käsittelyä.

Tutkimustuloksia voidaan käyttää hyväksi tehtäessä puuntuotannollisia ja taloudellisia analyysejä metsikön vajaatuottoisuudesta. Käytännöllä on mahdollisuus tehdä omia simulointilaskelmia, joissa määritetään tämän tutkimuksen tapaan lähtöpuuston tietyt tunnuksat ja käytetyt tilavuuskasvuyhtälöt. Toinen vaihtoehto on läheteä arvioimaan tilavuuden ja valtapituuden kehitystä simuloiduilta kehityskäyriä (kuvat 3–6). Tilavuuteen päästään valtapituuden ja pohjapinta-alan perusteella kaavoilla 41.1 ja 41.2. Kolmas vaihtoehto on käyttää suoraan taulukkoja 3–4 (myös 5 ja 6), mikäli kyseessä on eteläsuomalainen, luontaisesti syntynyt VT-männikkö tai MT-kuusikko.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että ensiharvennusvaiheessa olevan vähäpuustoisien havumetsikön pohjapinta-alan kehitys on nopeaa. Kiertoajan kuluessa se saavuttaa yleensä ko. harvennusmallien hakkuun jälkeisen ohjepohjapinta-alan, jos lähtöpuuston pohjapinta-ala on n.

60 % harvennusmallien ohjetasosta. Ensiharvennusvaiheessa olevan metsikön pohjapinta-ala voi tällöin olla 5–7 m<sup>2</sup>/ha ja runkoluku 500–700 kpl/ha. Näin suotuisa metsikön kehitys edellyttää kuitenkin sitä, että puusto säästyy tuhoilta.

Tutkimuksessa on esimerkki (kuva 10) siitä, miten tuloksia voidaan käyttää vähäpuustoisien kasvatusmetsikön vajaatuottoisuuden määrittämiseen. Tämän yksinkertaisen kannattavuuslaskelman periaate on Metsäkeskus Tapion uusien ohjeiden (Metsänhoitosuosituksen 1989) mukainen. Laskelman tulokset ovat hyvin samankaltaisia kuin Häyrisen (1976) ja Päivisen (1980) saamat tulokset. Kasvattaminen on kannattavam-

paa kuin välitön avohakkuu myös erittäin vähäpuustoisissa metsiköissä.

Metsikön vähäpuustoisuudella ja siitä johtuvalla mahdollisella vajaatuottoisuudella on tärkeä käytännön merkitys. Jatkossa tarvitaan vaihtoehtoisia rahalaskelmia vähäpuustoisien metsän taloudellisen vajaatuottoisuuden määrittämiseksi. Ongelman selvittäminen on jo aloitettu Metsäntutkimuslaitoksessa (Salminen 1989). Tuotolaskelmissa joudutaan ottamaan huomioon perushintojen ja kustannusten lisäksi puuston laatu, puutavaralajirakenne, puiden ryhmittäisyys metsikössä sekä luonnonpoistuma ja tuhot.

## Kirjallisuus – References

- Bengtsson, G. 1980. Projekt Hugin. Sammanfattande slutrapport. Summary: The Hugin project. Final summary report. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten, Umeå. Hugin 21. 95 s.
- Braastad, H. 1983. Produktionsnivået i glissen og ujamn granskog. Summary: Yield level in *Picea abies* stands with low initial density and irregular spacing. Norsk institutt for skogforskning. Rapport 7. 42 s. ISSN 0333-001X.
- Eriksson, H. 1990. Hur har det gått med höggallingen? Sveriges Skogsvårdsförbundet Tidskrift 2. 15 s.
- Etelä- ja Pohjois-Suomen metsien käsittelyohjeet 1981. Keskusmetsälautakunta Tapion julk. 3. 20 s.
- Fryk, J. 1984. Tillstånd och produktion i röjda ungskor med låga stamantal. En studie utförd på AB Iggesunds Bruks marker i Hälsingland. Summary: Wide spacing after cleaning of young forest stands – stand properties and yield. A study carried out at AB Iggesunds Bruk in central Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Rapport 13. 248 s. ISBN 91-576-1958-1, ISSN 0348-7636.
- Gustavsen, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. *Folia Forestalia* 331. 37 s. ISBN 951-40-0306-3. ISSN 0015-5543.
- 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valptiuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia Forestalia* 454. 31 s. ISBN 951-40-0479-5, ISSN 0015-5543.
- & Fagerström, H. 1983. Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran- och björkbestånd. Summary: The variation of breast height form factor for pine, spruce and birch stands in Finland. Tiivistelmä: Männy, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu. *Folia Forestalia* 576. 32 s. ISBN 951-40-0644-5, ISSN 0015-5543.
- Hänninen, T. 1974. Harvennusmetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the Southern half on Finland. *Folia Forestalia* 208. 32 s. ISBN 951-40-0120-6.
- Häyrinen, I. 1976. Metsiköiden käsittelyohjeet. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 39 s.
- Ilvessalo, Y. 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national survey of the forests of Finland. Plan and instructions for field work. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 39(3). 67 s.
- 1956. Suomen metsät vuosista 1921–24 vuosiin 1951–53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921–24 to 1951–53. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 47(1). 227 s.
- Kilkki, P., Kuusela, K. & Siitonen, M. 1977. Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla. Summary: Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland. *Folia Forestalia* 307. 61 s. ISBN 951-40-0272-5, ISSN 0015-5543.
- Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Abstract: On the development of Scots pine stands in Central Finland. *Folia Forestalia* 142. 19 s. ISBN 951-40-0017-X.
- Kuusela K. & Salminen, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 69(4). 72 s.
- & Salminen, S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979–1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977–1982. Summary: Forest resources in the six northernmost forestry board districts of South Finland 1979–1982 and the whole of South Finland 1977–1982. *Folia Forestalia* 568. 79 s. ISBN 951-40-0636-4, ISSN 0015-5543.
- Metsänhoitosuositus 1989. Yksityismetsälain noudattamisen valvontaohjeet. Keskusmetsälautakunta Tapion julk. 55 s.
- Mielikäinen, K. 1975. Männiköiden ja kuusiköiden kuu-



- tiokasvuyhtälöt ja niiden laatiminen. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 103 s.
- Nikunen, U. 1983. Alueellinen suunnittelu etenee. Alueellisen suunnittelun ja valtakunnan metsien inventoinnin tulosten vertailu. *Metsä ja Puu* 1: 14–15, 18.
- Nyysönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. *Acta Forestalia Fennica* 60(4). 194 s.
- & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. *Acta Forestalia Fennica* 163. 40 s. ISBN 951-651-038-8.
- & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. *Acta Forestalia Fennica* 179. 52 s. ISBN 951-651-054-X.
- Ohjekirjeet vajaanpuustoisten metsien käsittelystä. 1984. Metsähallituksen julk. Monistheet 106–108. 12 s. + liitt.
- Ohjekirjeet metsien käsittelystä Perä-Pohjolan, Etelä-Suomen ja Pohjanmaan piirikunnassa. 1985. Metsähallituksen julk. Monistheet 110–112. 98 s. + liitt.
- Oksanen-Peltola, L. 1991. Metsän arvon määrittäminen. Julkaisussa: Tapion taskukirja. 21. painos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki. s. 338–358. ISBN 952-90-2711-7.
- Päivinen, R. 1980. Mustikkatyyppin kuusikon kasvattamisen ja uudistamisen edullisuudesta. Metsätalouden liiketieteen laudatur-työ. Helsingin yliopisto. 32 s.
- 1989. Vajaatutkittu vajaatuotto. *Metsä ja Puu* 3: 32–33.
- Salminen, O. 1989. Vajaatuottoisuus liiketaloudellisena ongelmana. Julkaisussa: Tervo, M. & Valsta, L. (toim.). *Metsästä markkinoille. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 330: 39–45. ISBN 951-40-1053-1, ISSN 0358-4283.
- Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in southern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 48. 138 s.
- 1967. Eriasteisin kasvatushakkuihin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for Southern Central-Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 63(2). 123 s.
- 1969. Harvennusmenetelmät ja harvennusmetsiköt etenkin koneellisen puunkorjuun kannalta. Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunta (HAKO). Helsinki. 147 s.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s. ISBN 951-40-0452-3, ISSN 0026-1610.
- Yksityismetsälain valvontaohje määrittää vähimmäismetsänhoidon tason. 1989. *Metsälehti* 19. s. 3.

*Total of 33 references*

## Summary

### Development of understocked pine and spruce stands

#### Introduction

Understocking (low density) is one of many reasons for a stand to be low-yielding. This study deals only with the problem of growth and development in understocked natural conifer stands in Finland.

According to the 7th National Forest Inventory (1977–1983), the area of low-yielding conifer stands in South Finland was 8.5 % of the total forest land. The growing stock volume in low-yielding stands is comprised of 33.2 million m<sup>3</sup> (404 700 ha – 82 m<sup>3</sup>/ha) for deciduous-dominated stands, 19.8 million m<sup>3</sup> (223 100 ha – 89 m<sup>3</sup>/ha) for pine-dominated stands and 29.1 million m<sup>3</sup> (280 300 ha – 104 m<sup>3</sup>/ha) for spruce-dominated stands.

In Finnish private forestry, economic criteria form the basis for determining low-yielding stands. According to the present rules for private forestry given by the Central

Forestry Board Tapio (Metsänhoitosuositus 1989), a stand is low-yielding when it is more profitable to regenerate it immediately than to let it continue to grow.

In practice, determination of a low-yielding stand is linked to the absolute basal area of the stand. In the new instructions from Tapio, the limit has been changed to 70 % of the allowable minimum basal area after sale thinnings (cf. Fig. 6).

The rules for deciding, in practice, what is or is not a low-yielding stand suffer from the lack of research results based on the use of permanent sample plots located in understocked stands. Data from the temporary plots in the National Forest Inventories are, at this moment, the best material for making growth studies about understocked stands in different parts of the country.

The main purpose of this investigation is to test and to develop volume increment functions describing the

development of understocked natural conifer stands, and to give some simulation results (examples) based on these functions.

## Research material

The material covers the whole country and is comprised of sample plot data from the 3rd National Forestry Inventory (1951–53, Ilvessalo 1951) and the 5th Inventory (1964–70, Kuusela & Salminen 1969).

Because the aim of the study is to examine the increment in understocked stands, the material consists only of sample plots which have a lower density (both stem number of trees and basal area) than the recommended minimum values in the thinning guides used for practice. The systematic selection of the research material was done separately for the different site types and for the six dominant height classes (10.1–12.0, 12.1–14.0, 14.1–16.0, 16.1–18.0, 18.1–20.0 and over 20 metres).

The basic material in this study consists of 734 sample plots representing understocked pine and 373 representing understocked spruce stands (cf. Table 1). The variables used, along with their, minimum and maximum values are shown in Table 2; Fig. 2 illustrates the variation in basal area and stem number by dominant height.

A weakness of the material is that the stand structure in the early 1950's in Finland was not exactly the same as today. However, the majority of the sample plots are from the 5th Inventory (from the end of 1960's to the beginning of the 1970's) and thus help to correct for this discrepancy.

## Methods and assumptions

### *Site classification*

The site classification systems used in the study are the height-age system for natural conifer stands in Finland (Gustavsen 1980) and the Finnish forest site type system. The relation between these two classification systems and the rotation ages are represented in section 3.1.

The rotation ages are those recommended for private forestry in South and North Finland by the Central Forestry Board Tapio and the state forestry by the National Board of Forestry.

### *Models used in the study*

The increment examination was started testing the volume increment percent functions for predicting the future 5-year period in normally stocked pine and spruce stands

published by Mielikäinen (1975), Nyyssönen & Mielikäinen (1978) and by Gustavsen (1977). It must be pointed out, that the functions by Mielikäinen (1975) and Nyyssönen & Mielikäinen (1978) have been developed from the same research material. The differences (residual errors) between the increment measured from the research material and the increment predicted by these functions showed systematic trends. For this reason, and due to the fact that there was no long-term permanent plot data available for correcting the above functions, two new volume increment functions (32.1 and 32.2) were developed from the research material. The intercept values in the functions are corrected for the logarithmic transformation error of the dependent variable.

Some other models have been used in the simulation for estimation of the basal area (model 32.3) and the mean diameter (models 32.4 and 32.5). The dominant height ( $H_{\text{dom}}$ ) was estimated from the functions developed by Gustavsen 1980 (p. 12 and 14) and the form factor ( $F$ ) from the functions by Gustavsen & Fagerström (1983, functions 3 and 7).

### *Simulation of the stand development*

The development of the understocked stand was simulated using the models (32.1–32.5) and initial stand characteristics as volume, basal area, number of stems per hectare, dominant height, form factor, biological age and mean diameter, all estimated from the research material. The lowest initial dominant height was 13 metres (called the first thinning stage); the corresponding biological age ranged from 32 to 78 years depending on the fertility of the site. In the increment functions for understocked stands the mean values, 1150 d.d. for South Finland and 930 d.d. for North Finland, are used.

The volume development was simulated by adding the 5-year period increment, estimated on the basis of the volume increment functions, to the initial stand volume. The stand volumes calculated for every 5-year period were transformed to stand basal area according to the model 32.3.

In the simulation procedures for the understocked stand, no thinnings are assumed except in the cases where the basal area of the stand reaches the upper limits (A) in the thinning guides 15–20 years before the end of the rotation. The development of an understocked stand is assumed to be similar to that of normally stocked stand when the basal area is higher than the minimum level (B) after thinning (cf. Fig. 3).

No allowance has been made for natural self thinning (mortality), irregular spacing or ingrowth of new trees in the simulation of stand development. The development of the dominant height in an understocked stand is

assumed to be similar to the development in a normally stocked stand.

The development in normally stocked stands treated with the thinnings set forth in the thinning guides were simulated (cf. Figs. 3–6) using the increment functions by Gustavsen (1977, functions 4, 7, 13, 16 and 23).

The yield, prior to the first thinning stage, was estimated from the earlier published growth and yield tables for stands treated with thinnings by Nyssönen 1954, Vuokila 1956, 1967 and Koivisto 1972. The yield values used were 145 m<sup>3</sup>/ha in pine on *Vaccinium site type* ( $H_{100} = 24$ ) and 155 m<sup>3</sup>/ha in spruce stand on *Myrtillus site type* ( $H_{100} = 25,5$ ) in South Finland.

## Results

### *The development of understocked natural stands*

Basal area development in understocked pine and spruce stands

The results in Figs. 3–6 are limited to the most important sites and to fixed initial heights and basal area levels (C). This is because of the numerous alternatives available for the starting values in the simulation process.

The basal area development for other initial levels, however, can be estimated from the curves by interpolation. Transformation of the volume to stand basal area can be calculated using the formulas 41.1 and 41.2.

A more precise estimation is obtained by using the growth functions 32.1 and 32.2 and simulation.

### Volume development and yield in the rotation

The results, in terms of volume, concerning an understocked stand growing from the first thinning phase (13 m in Fig. 6) are presented in Tables 3 and 4. It is assumed that these volumes represent stands which are understocked as a result of either heavy thinnings or poor regenerations.

Tables 5 and 6 present the corresponding yield values over the entire rotation (according to Fig. 6) for the understocked stands and a normally stocked stand.

No decision, for example, regarding the reaction of the tree species to heavy first thinnings, can be made from Table 6, because of the differences in site, initial number of stems per hectare and initial volume before and after thinnings. The volume removal in the assumed first thinnings in Table 6 can be calculated as the difference between the yield values of the understocked stands in Tables 5 and 6.

### *Reliability of the increment functions and the simulation results*

The functions 32.1 and 32.2 may lead to considerable errors (> 30 %) in the estimation of individual stands. Tested against the research material, no clear systematic errors could be stated for these functions (cf. Appendices 1 and 2).

No statistical estimation of the reliability of the simulation results could be calculated due to the possibility of different errors in the other models used. The simulated development could also be connected with systematic errors caused by the correlation between the predicted 5-year increment in one period and the input volume for calculating the following 5-year period increment. This can occur even if the functions give no systematic errors.

The results by Braastad (1983), concerning Norwegian spruce stands with low density and irregular spacing, agree very well with simulated development and yield values in this study (Fig. 7). The slope of the basal area development curves are very similar, over the rather long period examined, in spite of the fact that Braastad has used a quite different model (stand diameter increment model) in the simulation calculations.

The volume development simulated in Fig. 9 from function 32.1 for a single permanent sample plot in heavily thinned pine culture in South Sweden (Götaland, cf. Eriksson 1990) fits very well to the measured volume data. The development for a similar spruce culture plot, however, is clearly underestimated by the spruce function 32.2. However, it must be pointed out that the site type ( $H_{100} = 35,5$ ) was not represented in the research material (cf. Table 2) and spruce cultures were only slightly represented.

The simulated development of young Swedish pine stands with wide spacing after cleaning according to Fryk (1984) differ clearly from the results obtained by function 32.1 (Fig. 8). The very long simulation period and the information about the initial stem numbers, basal areas and the functions used, give the impression that the results by Fryk are not valid for understocked stands according to the meaning used in the present investigation.

### *Decision of low yielding stands*

An example of the profitability calculation for a pine stand (cf. Fig. 6) is presented in Fig. 10. The values of the stand in different phases (after 10, 20, 30, 40, 52 years) together with the base value (constant for all alternatives = 750 <sup>mu</sup>/m<sup>3</sup> (where <sup>mu</sup> = monetary unit), are discounted to time 0. The relative value of a cubic metre of wood was estimated on basis of mean diameter and height using a sawtimber stumpage price of 100 <sup>mu</sup>/m<sup>3</sup>, a

pulpwood stumpage of  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2$  and the tables given by Nyysönen & Ojansuu 1982 (p. 35).

The results of this calculation are very similar to earlier investigations done in Finland. In general, it is more profitable to let an understocked stand continue to grow than to clear-cut it immediately.

### **Practical application of the results**

The main results of the investigation are the volume increment functions 32.1 and 32.2 and the simulated examples of the development of understocked stands presented in Figs. 3–6 and in Tables 3–6. The results can be applied in management planning by making growth and alternative profitability calculations for stands which have low density as a result of poor regenerations or heavy thinnings.

The results indicate that an understocked natural conifer stand which attains the minimum level after thinning (B-level in the thinning guide), has a basal area of  $5\text{--}7 \text{ m}^2/\text{ha}$  and a stem number of  $500\text{--}700$  stems/ha at 13 metres stage.

The reliability of the results depends mainly on the validity of the research material. Caution must be used in the application of the increment functions. The value range of each variable limits the use of the functions. The functions do not appear to be suitable for simulation of growth development in stands with average dominant heights below  $9\text{--}10 \text{ m}$  or in spruce culture stands.

The simplified profitability calculation (example in Fig. 10) carried out in this study must be enlarged, with more attention paid to stand assortment, quality, mortality, spacing, and realistic price and cost factors.

**Liite 1.** Kasvuyhtälöiden 32.1 ja 32.2 virheet (residuaalit) tutkimusaineistossa ennustetun kasvun  $\hat{y}(I_{v,s}, \text{m}^3/\text{ha}/5 \text{ v})$  mukaan.  $y$  = mitattu kasvu.

**Appendix 1.** Errors (residuals) in the increment functions 32.1 and 32.2 according to predicted increment  $\hat{y}(I_{v,s}, \text{m}^3/\text{ha}/5 \text{ yr})$ .  $y$  = measured increment.

Yhtälöllä ennustetun kasvun ( $\hat{y}$ ) luokka Predicted increment ( $\hat{y}$ ) class	Mänty – Pine		Yhtälöllä ennustetun kasvun ( $\hat{y}$ ) luokka Predicted increment ( $\hat{y}$ ) class	Kuusi – Spruce	
	Yhtälö 32.1 Function 32.1			Yhtälö 32.2 Function 32.2	
	$\hat{y} - y$	n		$\hat{y} - y$	n
-4,0	-0,22	6			
4,1-6,0	-0,10	47			
6,1-8,0	-0,36	105	-8,0	-0,03	21
8,1-10,0	+0,57	116	8,1-10,0	+0,75	48
10,1-12,0	-0,06	107	10,1-12,0	-0,46	43
12,1-14,0	-0,25	95	12,1-14,0	+0,03	32
14,1-16,0	+0,15	71	14,1-16,0	-0,88	36
16,1-18,0	+0,26	48	16,1-18,0	-0,83	37
18,1-20,0	+1,98	40	18,1-20,0	-0,55	28
20,1-22,0	-1,68	27	20,1-22,0	+1,33	25
22,1-24,0	-0,58	24	22,1-24,0	-0,88	24
24,1-26,0	-2,96	13	24,1-26,0	-0,74	17
26,1-28,0	+1,29	14	26,1-28,0	-1,77	18
28,1-30,0	+1,27	11	28,1-30,0	-2,20	9
30,1-32,0	-6,26	5	30,1-32,0	+0,22	13
32,1-	+4,29	5	32,1-34,0	+9,40	10
			34,1-36,0	+8,25	6
			36,1-	+0,54	6

**Liite 2.** Eri kasvuyhtälöiden virheet (residuaalit) tutkimusaineistossa ( $I_{v5}$ ,  $m^3/ha/5$  v) ikä- ja tilavuusluokittain.

**Appendix 2.** Errors (residuals) of three different increment functions in the research material ( $I_{v5}$ ,  $m^3/ha/5$  yr) by stand age and volume classes.

Mänty – Pine

Metsikön tilavuus (V) Stand volume (V) $m^3/ha$		Metsikön ikä (T), v Stand age (T), yr					
		1–30	31–50	51–70	71–90	91–110	111+
1–20	1	-1,04	+1,82	+0,33	-0,65	-1,67	+1,13
	2	-2,78	+0,07	-0,77	-1,40	-1,96	+1,13
	3	-5,79	-2,20	-1,97	-2,32	-2,38	+0,57
		(1)	(9)	(10)	(6)	(2)	(1)
21–40	1	+1,85	-1,11	+0,31	+0,30	-0,15	-1,25
	2	+4,61	-1,29	-0,08	+0,22	-0,71	-1,38
	3	+2,57	-1,61	+0,20	+0,67	-0,33	-1,01
		(6)	(18)	(41)	(52)	(21)	(8)
41–60	1	-3,80	-0,65	+0,58	-0,02	-0,16	+0,84
	2	+0,67	+0,97	+0,57	-0,05	+0,01	+0,89
	3	-1,61	+2,25	+2,11	+1,32	+1,08	+1,42
		(1)	(22)	(50)	(54)	(44)	(24)
61–80	1		+1,20	+0,57	-0,33	+0,32	-0,32
	2		+2,67	-0,24	+0,06	+0,19	+0,08
	3		+4,70	+2,39	+1,90	+1,63	+0,93
			(9)	(26)	(42)	(32)	(26)
81–100	1	+17,22	-2,41	-1,79	+0,86	-0,38	+0,24
	2	+27,91	+0,66	-2,42	+0,76	-0,08	+0,69
	3	+25,15	+2,85	+0,64	+3,08	+1,58	+1,42
		(1)	(8)	(27)	(24)	(21)	(22)
101–120	1		-3,14	+3,38	+0,92	+0,19	-0,25
	2		+0,58	+2,38	+1,09	+0,81	+0,65
	3		+3,09	+5,19	+3,48	+2,47	+1,43
			(4)	(7)	(19)	(13)	(11)
121+	1		+3,98	-1,94	-1,12	-0,04	+1,63
	2		+5,10	-1,99	-1,45	-0,20	+1,68
	3		+7,35	+0,70	+1,20	+1,70	+2,43
			(2)	(17)	(20)	(18)	(15)
Kaikki All	1	+2,61	-0,48	+0,01	+0,04	-0,06	+0,28
	2	+5,94	+0,56	-0,40	+0,05	-0,05	+0,57
	3	+3,69	+1,29	+1,25	+1,52	+1,22	+1,25
		(9)	(72)	(178)	(217)	(151)	(107)
Koko aineisto Whole material (734)	1	+0,02					
	2	+0,12					
	3	+1,36					

1 = Yhtälö 32.1 – Function 32.1

2 = Gustavsenin (1977) yhtälö (1) – Function (1) according to Gustavsen (1977)

3 = Nyssönen & Mielikäisen (1978) yhtälö (17) – Function (17) according to Nyssönen & Mielikäinen (1978)

( ) Havaintojen lukumäärä – Number of observations

Kuusi – *Spruce*

Metsikön tilavuus (V) Stand volume (V) m <sup>3</sup> /ha		Metsikön ikä (T), v Stand age (T), yr					
		1–30	31–50	51–70	71–90	91–110	111+
1–20	1		–0,73	+0,02	–0,44		
	2		–2,26	–0,65	–1,52		
	3		–1,43 (9)	–1,32 (5)	–1,85 (3)		
21–40	1	+2,21	+0,11	+0,61	+0,95	+0,18	
	2	+2,98	+1,22	+0,77	+0,73	–0,24	
	3	+3,29 (1)	+0,02 (14)	–0,64 (23)	–0,80 (13)	–1,58 (11)	
41–60	1		+3,48	+0,37	–1,10	+0,27	+1,52
	2		+4,64	+0,70	–1,20	+0,74	+1,87
	3		+3,33 (10)	–0,70 (35)	–2,42 (27)	–0,42 (6)	+0,72 (9)
61–80	1		+0,50	–0,25	–0,43	–0,65	+0,74
	2		+3,66	+0,99	–0,25	+1,33	+1,92
	3		+2,33 (5)	0,00 (22)	–1,02 (12)	+0,24 (11)	+1,31 (15)
81–100	1		+15,84	–2,51	–1,69	+0,47	–1,63
	2		+20,53	–1,44	–1,51	+0,82	–0,75
	3		+20,26 (1)	–1,43 (18)	–0,97 (17)	+1,51 (11)	–0,15 (11)
101–120	1			–1,16	–2,97	–3,93	+0,40
	2			+1,02	–3,95	–4,02	+1,89
	3			+1,88 (15)	–1,86 (7)	–1,75 (7)	+3,86 (2)
121–140	1			+1,59	+1,66	+0,99	–1,96
	2			+2,75	+1,00	+1,12	–0,81
	3			+5,29 (9)	+4,18 (6)	+4,10 (6)	+2,69 (3)
141+	1		–1,90	+4,52	+4,26	–3,49	–0,45
	2		+6,13	+2,84	+1,91	–5,06	+0,29
	3		+8,04 (1)	+8,31 (8)	+8,10 (16)	+2,32 (2)	+5,30 (2)
Kaikki All	1	+2,21	+1,16	+0,07	+0,05	–0,50	+0,02
	2	+2,98	+2,20	+0,77	–0,47	–0,11	+0,94
	3	+3,29 (1)	+1,51 (40)	+0,52 (135)	+0,31 (101)	+0,30 (54)	+1,21 (42)
Koko aineisto Whole material (373)	1	+0,09					
	2	+0,47					
	3	+0,63					

1 = Yhtälö 32.2 – *Function 32.2*

2 = Gustavsenin (1977) yhtälö (2) – *Function (2) according to Gustavsen (1977)*

3 = Nyyssönen & Mielikäisen (1978) yhtälö (19) – *Function (19) according to Nyyssönen & Mielikäinen (1978)*

( ) Havaintojen lukumäärä – *Number of observations*

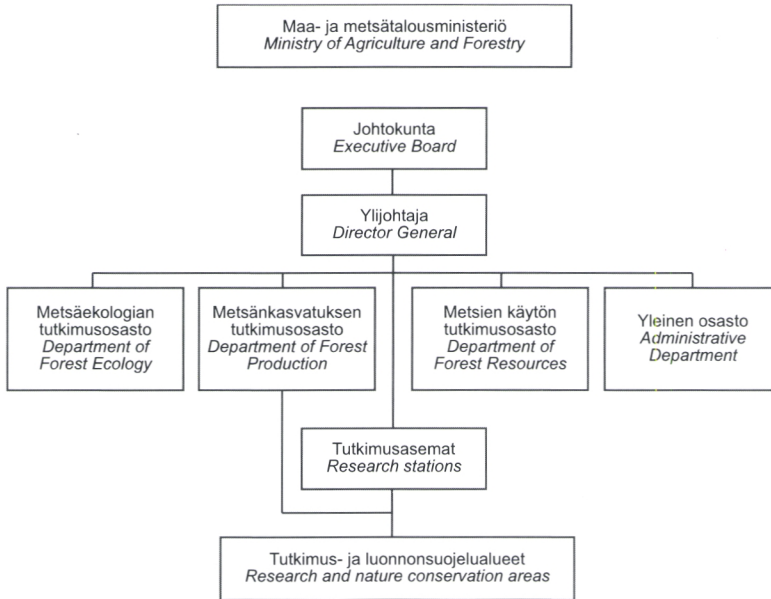








METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



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

Unioninkatu 40 A, SF-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 (Arne Reunala)

**Tutkimusasemat — *Research Stations***

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 784 Siekkinen, Virpi & Pajuoja, Heikki: Suomen piensahat 1990.  
Small sawmills in Finland, 1990.
- No 785 Kinnunen, Kaarlo: Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen.  
Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of Scots pine.
- No 786 Ihalainen, Antti, Korhonen, Kari T. & Varjo, Jari: Puiden käyttöosan mittauksiin perustuva metsurimittaus.  
Estimation of harvested timber volume using treewise measurements made during felling.
- No 787 Päivinen, Risto, Nousiainen, Merja & Korhonen, Kari T.: Puutunnusten mittaamisen luotettavuus.  
Accuracy of certain tree measurements.
- No 788 Saarilahti, Martti: Turpeen kokoonpuristuvuus ja tiealueen kuivatuspaineuman arviointi.  
Compressibility of peat and estimation of drainage settlement of a road right-of-way.
- No 789 Voipio, Raili & Laakso, Tapio: Pienikokoisten puiden maanpäällisen biomassan kemiallinen koostumus.  
Chemical composition of the above ground biomass of small-sized trees.
- No 790 Aarne, Martti (toim.-ed.): Metsätilastollinen vuosikirja 1990–91.  
Yearbook of forest statistics, 1990–91.
- No 791 Valkonen, Sauli: Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa.  
Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland.
- No 792 Toppinen, Anne & Tervo, Mikko: Sahatavaran viennin ennakoivat suhdannekuvaajat.  
Composite leading indicators of Finnish sawnwood exports.
- No 793 Lähde, Erkki: Luontaisen kuusivaltaisen taimikon kehitys lehtomaisella kankaalla.  
Development of *Picea abies*-dominated naturally established sapling stand.
- No 794 Rikala, Risto: Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen.  
Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings.
- No 795 Petäjästä, Leena & Selby, J. Ashley: Piensahojen kehittämisedellytykset.  
Small sawmill development possibilities.
- No 796 Gustavsen, Hans Gustav: Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusiköiden kehitys.  
Development of understocked pine and spruce stands.
- No 797 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula Teuvo: Harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviljelmällä.  
Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry.