

11.08.93



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1993

805

Olli Salminen

MÄNNIKÖN JA KUUSIKON LIIKETALOUDELLINEN VAJAATUOTTOISUUS  
Profitability of growing understocked Scots pine and Norway spruce stands

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Kilpainen

# 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 805

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1993

---

Olli Salminen

MÄNNIKÖN JA KUUSIKON LIIKETALOUDELLINEN  
VAJAATUOTTOISUUS

Profitability of growing understocked Scots pine and  
Norway spruce stands

*Approved on 2.4.1993*

SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	3
1.1	Vajaatuottoisuuden käsite .....	3
1.2	Tutkimustehtävä .....	4
2	METSIKÖN UUDISTAMISKIIREELLISYYDEN MÄÄRITTÄMINEN .....	5
3	TUOTTOJEN JA KUSTANNUSTEN LASKENTAPERUSTEET .....	6
3.1	Toimintavaihtoehtojen muodostaminen .....	6
3.2	Puuston kehityksen simulointi .....	7
3.3	Puunkasvatuksen tuottojen ja kustannusten hinnoittelu .....	7
4	TULOKSET .....	8
4.1	Vähäpuustoisien metsikön uudistamiskiireellisyys .....	8
4.2	Maanarvon ja verotuksen vaikutus .....	13
4.3	Kasvun tason ja tukkipuun saannon vaikutus .....	15
5	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	17
	KIRJALLISUUS — REFERENCES .....	20
	SUMMARY .....	22
	Liitteet — Appendices .....	24

Salminen, O. 1993. Männikön ja kuusikon liiketaloudellinen vajaatuottoisuus. Summary: Profitability of growing understocked Scots pine and Norway spruce stands. *Folia Forestalia* 805. 27 p.

Tutkimuksessa määritetään liiketaloudellisin perustein puustoltaan alimman kasvatuskelpoisen männikön ja kuusikon metsikkötason tunnuksat. Puuston kasvattamisen ja uudistamisen edullisuuden vertailukriteerinä on nettotuottojen nykyarvo. Käsittelyvaihtoehtoihin sisältyvät kehityssennusteet perustuvat metsikkötason kasvumalleihin ja taloudellisesti parhaan toimintavaihtoehdon valinnassa sovelletaan dynaamista ohjelmointia.

Yksityisäloudellisesti kasvatuskelpoisen metsikön minimipohjapinta-ala oli 50–75 prosenttia nykyisiä vajaatuottoisuusohjeita alempana. Nykyisten ohjeiden voidaan ajatella kuitenkin sisältävän myös yhteiskunnan puunkasvatukselle asettamat tavoitteet. Em. minimipuustojen keskikasvu oli 15–60 prosenttia toistuvasti harvennettujen metsiköiden kasvusta. Erityisesti laskentakorko sekä puuston valtapituus ja ikä, mutta myös puulaji, kasvu-aiikka sekä tulevien puusukupolvien tuottoarvo vaikuttivat siihen, kuinka paljon olemassa olevaa puustoa tarvitaan ylläpitämään uudistamisrajan ylittävää arvokasvua. Puuston hakkaaminen tähän tilaan ei kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa.

A break-even technique based on the net present value is used to determine the stand characteristics of understocked pine and spruce stands profitable to grow. The Finnish Private Forests Act prohibits from leaving forest land idle after clear cutting, and so the problem of further growing of a understocked stand is similar to the optimal replacement of an old machine. Dynamic programming is applied to choose the best treatment alternatives for different initial stands.

The break-even curves were strongly affected by the cost of capital (interest rate) but also by the tree species, the dominant height and the age of the stand, site type, and the value of future tree generations. The present Finnish norms concerning the urgent regeneration of understocked stands were found out to require from the point of business economics far too high growing stock if the growth potential of a stand is fair enough (15–60 percent of the mean annual growth of normally stocked thinned stands).

Keywords: Understocked stands, dynamic programming, net present value, optimal replacement, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*  
FDC 65

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Resources, Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1299-2  
ISSN 0015-5543

Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

# 1 Johdanto

## 1.1 Vajaatuottoisuuden käsite

Suomessa on yleisesti hyväksytty metsätalouden tavoitteeksi koko kansantalouden tasolla puuntuotannon jatkuvuus ja sen tehokkuus (esim. Talousohjelmakomitean... 1960, Metsätaloustaloustieteen... 1981, Metsien hoidon ja käsittelyn... 1985), jolloin tehokkuudella on useimmiten tarkoitettu voimaperäisyyttä tai suurta määrää, ei niinkään taloudellista tehokkuutta. Keskeisenä tehtävänä on tällöin pidetty puunkasvatuksen tärkeimpien tuotannon tekijöiden, metsämaan ja kasvavan puuston, täysimääräistä hyväksikäyttöä. Käytännössä tämä on merkinnyt metsien käsittelyn säätelemistä erilaisin puuston uudistamista ja määrää koskevin metsiköittäisin toimintaohjein. Vajaatuottoisiksi näissä ohjeissa on luokiteltu puustot, jotka on katsottu ensisijaisesti uudistettaviksi.

Keskeisestä metsätaloudellisesta merkityksestä huolimatta vajaatuottoisuuden käsite on jäänyt yksikäsitteisesti määrittelemättä: käsitteellä on toisaalta metsänhoidollis-metsänmittausopillinen, toisaalta taloudellinen sisältö (Saari 1968). Käsitteen kaksinaisuus näkyy esimerkiksi Metsäkeskus Tapion nykyisissä metsänkäsittelysuosituksissa (Keskusmetsälautakunta ... 1989), joissa vajaatuottoiseksi määritellään metsikkö "mikäli sen uudistaminen jo ennen aikaisimman uudistamisajankohdan saavuttamista on puuntuotannollisesti ja taloudellisesti tarkoituksenmukaisempaa kuin metsikön edelleen kasvattaminen, tai mikäli aikaisimman uudistamisajankohdan jo sivuuttaneen metsikön kasvu on vähäinen".

Vajaatuottoisuus-käsite vakiintui 1940-luvun loppupuolella (Kalela 1945, Ilvessalo 1948), jolloin metsätalouden merkitys oli puunkäytön kasvun johdosta korostumassa, ja toisaalta osa metsistämme oli kulojen, kaskiviljelyn, tervanpolton ja harsintahakkuiden jälkeen enemmän tai vähemmän heikossa tilassa (Kalela 1945). Puun niukkuuden uhatessa puuntuotannon kohottaminen oli kansantalouden kannalta niin merkittävää, että vajaatuottoisuus sai käytännössä puuntuotannollisen sisällön. Vajaatuottoisiksi luokiteltujen metsien välitön uudistaminen oli hyvän metsänhoidon sekä metsänparannustöiden ohella keskeinen keino metsien tuotannollisen tilan kohottamiseksi ja valtakunnan puuhuollon turvaamiseksi.

Puusto on tiukasti tulkiten puuntuotannollisesti vajaatuottoinen, mikäli sen kasvu jää ohjekiertoaikaa noudattaen pienemmäksi kuin uuden kasvupaikalle sopivan puusukupolven kasvu samassa ajassa. Näin määritellen kyse on itse asiassa puuston fyysisestä tuottavuudesta: tuotoksen (nykypuuston kasvu) suhteesta panoksiin (ohjepuuston määrä ja kasvupaikan puuntuotoskyky). Ruotsin metsälaki (1979) esimerkiksi määrittelee selkeästi puuntuotannollisena käsitteenä läggproducerande skog 'alhaisen tuottavuuden metsät'.

Käytännön metsänkäsittelyohjeissa vajaatuottoisuuden määrittämistä on yksinkertaistettu olettamalla, että tietyt keskimääräiset puustotunnukset alittava metsikkö on vajaatuottoinen. Metsäkeskus Tapion ohjeiden mukaan (Keskusmetsälautakunta ... 1989) metsikkö on vajaatuottoinen, mikäli puuston kasvu on alle puolet hoidetun metsikön kasvusta tai metsikön runkoluku tai pohjapinta-ala ovat alle 70 % yksityismetsälain valvontaohjeiden vähimmäispuustosta. Em. rajat alittava metsikkö voidaan kuitenkin puuston tasa-asetoituuden, hyvän laadun ja kasvukunnon perusteella luokitella myös kehittämiskelpoiseksi.

Tutkimuksellisen pohjan metsiemme käsitteilylle, joihin vajaatuottoisuus on suhteutettu, ovat muodostaneet lukuisat kasvu- ja tuotostutkimukset. Näistä keskeisimpiä ovat Ilvessalon (1920) ja Koiviston (1959) kasvu- ja tuototaulukot mänty-, kuusi- ja koivumetsille, Sarvaksen tutkimukset harsinnan vaikutuksesta (1944) ja puolukka-tyypin kuusikoiden kasvusta (1951), Kuuselan (1956) ja Koiviston (1957) koivikoiden kehitystä, Nyyssösen männiköiden kehitystä (1952, 1954) ja havupuiden kiertoaikaa (1958) käsitelleet tutkimukset sekä Vuokilan tutkimukset kuusikoiden kehityksestä (1956) ja puustopääoman tasosta (mm. 1960, 1962, 1967, 1971). Muun muassa em. tutkimuksiin perustuen vajaatuottoisuus on pystytty tunnistamaan maastossa suhteellisen helposti mitattavilla puustotunnuksilla: puulaji, pohjapinta-ala, runkoluku, valtapitus ja ikä. Keskeisimmät puuntuotannollisen vajaatuottoisuuden syyt ovat vähäpuustoisuus, puuston vikaisuus, väärä puulaji ja puuston korkea ikä (esim. Vuokila 1980).

Taloudellisten laskelmien vaatimien perustietojen puute sekä epäilyt liiketaloudellisten kriteereiden, kuten esim. nettotuottojen nykyarvon,

metsätaloudellisesta mielekkyydestä ovat vaikeuttaneet vajaatuottoisuus-käsitteen liiketaloudellisen sisällön omaksumista. Taloudellisessa mielessä kaikki kannattavuuden optimiuralta poikenneet puustot ovat periaatteessa vajaatuottoisia. Näin laaja määritelmä ei kuitenkaan ole päätöksenteon kannalta rationaalinen, sillä viime kädessä on ratkaistava puuston uudistamisen ja kasvattamisen keskinäinen edullisuus. Puusto voidaan määritellä vajaatuottoiseksi, jos se on taloudellisin kriteerein mitattuna edullisempaa välittömästi uudistaa kuin kasvattaa (Kuusela 1967).

Metsikön käsittelyvaihtoehtojen, esim. uudistamisen ja kasvattamisen, yksityistaloudellista edullisuutta on mahdollista tarkastella joko metsiköittäisenä erilliskannattavuutena tai koko metsälön tasolla. Saaren (1968) mukaan ainoa oikea lähtökohta on metsälötaso, sillä "taloudellisuutta tai epätaloudellisuutta ei voida määrittää metsiköittäin käsittelemällä niitä irrallisina, metsälöitä ja omistajasta riippumattomina yksikköinä". Metsälötasolla vajaatuottoisuus etukäteen annettuna keskimääräisohjeena menettää merkityksensä, koska tietyissä olosuhteissa tietyille metsänomistajalle edullinen metsikön käsittelyvaihtoehto saattaa toisissa olosuhteissa ja toiselle metsänomistajalle olla epäedullinen. Saari ehdottaakin koko vajaatuottoisuus käsitteestä luopumista. Minimiarvoihin liittyvä vajaatuottoisuus voidaan kuitenkin määritellä metsikkötason käsitteenä, joka kuvaa vain yksittäisen metsikön muista metsiköistä riippumatonta uudistamiskiireellisyyttä.

Vajaatuottoiseksi luokiteltujen metsiköiden taloudellista uudistamiskiireellisyyttä ovat tutkineet vain Häyrinen (1976) ja Päivinen (1980) opinnäytetöissään. Häyrinen tarkasteli metsänkäsittelyohjeiden taloudellisuutta ja Päivinen mustikkatyyppin kuusikon uudistamiskiireellisyyttä. Vajaatuottoisuuden ongelmaa ovat sivunneet myös Kilkki & Väisänen (1969) ja Kilkki (1972) VT-männiköiden ja MT-kuusikoiden optimihakkuuohjelmiin kohdistuneissa tutkimuksissa. Saramäki (1978) ja Partanen (1990) ovat lisäksi selvittäneet lannoitettujen vajaatuottoisiksi luokiteltujen kuusikoiden kasvattamisen kannattavuutta.

## 1.2 Tutkimustehtävä

Suomessa metsien käsittelyohjeiden mukainen metsänkäsittely on toistaiseksi perustunut pääosin metsikkötalouteen, jossa metsiköiden hak-

kuutarve ja uudistamisajankohta päätetään kussakin metsikössä erikseen metsänhoidollisen tilan yleensä ratkaistessa toimenpiteen kiireellisyyden. Puunkasvatukseen uhrattujen taloudellisten panosten kasvaessa metsänkäsittelyohjeita on tarkasteltava myös metsänomistajan taloudelliselle toiminnalle asettamien tavoitteiden kannalta. Tässä tutkimuksessa vajaatuottoisen metsikön kasvattamisen ja uudistamisen vaihtoehtoja sekä uudistamisen kiireellisyyttä tutkitaan käyttäen edullisuuskriteerinä nettotuottojen nykyarvoa.

Taloudelliset kriteerit ovat käytännössä usein vaikeasti mitattavia. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kuvata esimerkkilaskelmin heti uudistettavan taloudellisesti vajaatuottoisen metsikön metsälliset puustotunnukset (pohjapinta-ala, valtapituus, ikä ja runkoluku). Taloudellinen vajaatuottoisuus saa näin käytännön metsänmittaus-tehtävissä helpommin määriteltävän muodon.

Tutkimuksessa tarkastellaan simuloinnin ja optimoinnin avulla puuston uudistamiskiireellisyyttä puuston määrän ja iän suhteen eri kasvupaikoilla. Päätöstilanne on todellisuuden yksinkertaistus, koska metsänkäsittelyvaihtoehtojen keskinäistä edullisuutta vertaillaan vain metsiköittäisenä erilliskannattavuutena, jolloin metsänomistajan muuta taloutta ja metsälön muita metsiköitä ei oteta huomioon. Uudistaminen tapahtuu lisäksi aina viljellen, vaikka Metsäkeskus Tapion nykyiset ohjeet sallisivat myös vajaatuottoiseksi luokitellun puuston luontaisen uudistamisen.

Puuston nykytilaan johtaneiden toimenpiteiden mielekkyyttä ei tutkita, koska aikaisemmat toimet ovat taloudellisesti katsottuna uponneita kustannuksia, joilla ei ole merkitystä edullisinta käsittelypäätöstä tehtäessä. Tämä oletamus ei anna oikeutusta esim. yksityismetsälain vastaisille hakkuille, koska lähtökohtatilanne otetaan annettuna. "Vajaatuottoisuuteen" johtaneiden hakkuiden liiketaloudellinen edullisuus voidaan kuitenkin aina kyseenalaistaa, jos ne ovat johtaneet poikkeamaan puunkasvatuksen liiketaloudelliselta optimiuralta.

Vajaatuottoiseksi luokitellussa metsikössä taloudellisen tuloksen epävarmuutta lisäävät erityisesti epätietoisuus kasvun tasosta ja puutavara-lajien saannosta. Näiden tekijöiden merkitystä selvitetään herkkyysanalyysien avulla. Tutkittavat puustot ovat taimikkovaiheen ohittaneita tasakäisiä mänty- ja kuusimetsiköitä.

Haluan kiittää erityisesti MML Lauri Valstaa dynaamista ohjelmointia koskevista neuvoista sekä työn kuluessa käydyistä puunkasvatuksen optimointiin liittyneistä hedelmällisistä keskusteluista. Tutkimuksen viralliset ennakkotarkastajat tekivät käsikirjoitukseen varteenotettavia parannusehdotuksia. MMK, VTK Jukka Aarnio, prof.

Kari Mielikäinen, osastopäällikkö Urpo Nikunen, KTT Pekka Ollonqvist, MMK Mauno Pesonen ja MMK Markku Siitonen ovat lisäksi lukeneet käsikirjoituksen. Ph.D. Ashley Selby tarkisti ystävällisesti tutkimuksen englanninkielisen tiivistelmän kieliasun.

## 2 Metsikön uudistamiskiireellisuuden määrittäminen

Suomessa ei metsämaalla yleensä ole puunkasvatuksen poissulkevaa vaihtoehtoa ja yksityismetsäläki velvoittaa metsän uudistamiseen päätehakkuun jälkeen. Puuston uudistamiskiireellisyttä voidaan siten tutkia investointiongelmana, jossa vertailtavat vaihtoehdot ovat välitön uudistaminen ja edelleenkasvatus. Olemassa olevan puuston kasvatus on myös investointi, sillä realisoitavissa olevan puuston sitominen puuntuotantoprosessiin on uhraus, joka tehdään tulevien tuottojen saamiseksi.

Metsikön uudistamisen investointiongelma on osoitettu (esim. Gaffney 1957, Samuelson 1976, Johansson & Löfgren 1985) teoreettisesti oikein formuloiduksi, kun se perustuu Faustmannin (1849) esittämään laskentamalliin, joka on itse asiassa malli kannattavuuden klassisesta nykyarvomenetelmästä (päättymättömän jaksottaisen nykyarvo). Faustmannin maanarvon laskentamalli lähtee ratkaisussaan paljaan maan metsittämisestä. Ratkaistaessa olemassa olevan puuston uudistamiskiireellisyttä tavoitteena on sekä nykypuuston että tulevien puusukupolvien nettotuottojen summan nykyarvon maksimointi [2.1].

$$\text{Max}_{m \in M} NPV = \frac{\sum_{t=t_0}^T R_t^m (1+i)^{T-t} + SEV}{(1+i)^{t-t_0}} \quad [2.1]$$

$R_t^m$  = nettotulot;  $f(t, s_t, m | p, c)$   
 $s_t$  = metsikön tila hetkellä  $t$   
 $p$  = kantohintataso  
 $c$  = kustannustaso  
 $m$  = toimintavaihtoehto,  $m = 1, \dots, k$   
 $t$  = aika;  $t_0$ : laskentahetki,  $T$ : maksimi pitoaika  
 $M$  = toimintavaihtoehtojen joukko  
 $SEV$  = paljaan maan odotusarvo  
 $i$  = laskentakorko ( $p\%/100$ )

Jatkuvan ajan tehtävänä [2.2] ja olettaen, että puustoa ei harvenneta, ongelman [2.1] ratkaisu on triviaali [2.3]: puusto uudistetaan, kun sen arvokasvu (tuotto) alittaa puuston ja maan vaihtoehtoiskustannuksen. Puuston vaihtoehtoiskustannuksena on hyöty, jonka puuston realisoinnissa vapautuva pääoma tuottaisi muussa käytössä. Tätä hyötyä ilmentää laskentakorko pääoman tuoton yksikköhintana. Maan vaihtoehtoiskustannuksen muodostaa tulevien puusukupolvien tuotto (maanarvo), jolloin laskentakorko ilmaisee päätöksentekijän puunkasvatukselle asettaman tuottovaatimuksen.

kustannuksena on hyöty, jonka puuston realisoinnissa vapautuva pääoma tuottaisi muussa käytössä. Tätä hyötyä ilmentää laskentakorko pääoman tuoton yksikköhintana. Maan vaihtoehtoiskustannuksen muodostaa tulevien puusukupolvien tuotto (maanarvo), jolloin laskentakorko ilmaisee päätöksentekijän puunkasvatukselle asettaman tuottovaatimuksen.

$$\text{Max}_t NPV = [f(t|\cdot) + SEV]e^{-\delta t} \quad [2.2]$$

kun  
 $f(t|\cdot)$  = päätehakkuutulot  
 $\delta$  = jatkuvan ajan korko

$$f(t|\cdot) = \delta[f(t|\cdot) + SEV] \quad [2.3]$$

Tilamuuttujien suhteen differentioitumattomat tilayhtälöt sekä käytännössä ei-jatkuva-aikaiset harvennukset (edellä ei yksinkertaisuuden vuoksi ollut harvennuksia) johtavat analyttisen ratkaisun sijasta numeeristen menetelmien käyttöön. Tässä tutkimuksessa sovellettiin eteenpäin askeltavaa dynaamista ohjelmointia. Dynaaminen ohjelmointi soveltuu ongelmiin, jotka voidaan jakaa toisiaan seuraaviin vaiheisiin, joissa jokaisessa tehdään valintoja vaihtoehdoista siten, että tavoitefunktion arvo maksimoituu tai minimoituu (Dykstra 1984). Puunkasvatus on luonteeltaan dynaamista. Dynaamista ohjelmointia onkin käytetty verrattain runsaasti metsikön käsittelyn optimoinnissa (ks. esim. Valsta 1986).

Tutkimuksessa dynaamisen ohjelmoinnin vaiheet muodostettiin puuston kehityksen simuloinnin viisivuotissaksoista. Mallin tilamuuttujina olivat puuston tilavuus ( $V_j$ ) ja runkoluku ( $N_j$ ) jakson  $j$  alussa. Päätösmuuttujana oli harvennusvoimakkuus siten, että päätehakkuu edusti täydellistä (100 %) harvennusta, lepo nolla-harvennusta ja muut harvennukset saivat arvoja näiden väliltä. Päätökset tehtiin kunkin jakson alussa. Nettotuottojen maksimointitehtävä [2.1] formulointiin dynaamisen ohjelmoinnin tehtävänä [2.4] seuraavasti (ks. Brodie & Kao 1979, Valsta 1986):

$$NPV_j^*(V_j, N_j) = \max_{\{V_{j-1}, N_{j-1}\}} R_j[(V_j, N_j), (V_{j-1}, N_{j-1})] + NPV_{j-1}^*(V_{j-1}, N_{j-1}) + SEV_j \quad [2.4]$$

missä

$j = 1, \dots, T/n$ , jossa  $n$  jaksoon sisältyvien vuosien määrä

$NPV_j^*(V_j, N_j)$  = nettotuottojen nykyarvon maksimi jakson  $j$  alussa metsikölle  $(V_j, N_j)$ ,

$$NPV_{j=0}^*(V_{j=0}, N_{j=0}) = 0$$

$(V_{j-1}, N_{j-1})$  = metsiköiden joukko jakson  $j-1$  alussa, joista voi kehittyä metsikkö  $(V_j, N_j)$  hakkuun ja/tai kasvun seurauksena

$R_j[(V_j, N_j), (V_{j-1}, N_{j-1})]$  = diskontattu nettotulo, kun siirrytään optimaalisesti metsiköstä  $(V_{j-1}, N_{j-1})$  metsikköön  $(V_j, N_j)$

$SEV_j$  = seuraajapuuoskupolvien arvo,  $SEV_j$  saa arvon

$$SEV/(1+i)^{n-1}, \text{ jos metsikön tuleva tila on } V_j = 0, N_j = 0, \text{ muuten } SEV_j = 0$$

Tilamuuttujien ja ajan viritämää metsikön tilojen verkkoa yksinkertaistettiin soveltamalla "neighbourhood storage location" -menetelmää (Brodie & Kao 1979), jossa tilamuuttujien avulla määritellyt verkon yksittäiset pisteet ryhmitel-

lään läheisten pisteiden kanssa suuremmiksi pinnoiksi. Tilavuuden luokkavälinä ryhmittelyssä käytettiin  $5 \text{ m}^3$  ja runkoluvun luokkavälinä 20 puuta. Ryhmittely mahdollistaa tilamuuttujien jatkuvuuden, jolloin verkon yksittäisiä pisteitä ei ole tarpeen etukäteen määrittellä diskreetteinä arvoina. Tämä nopeuttaa ongelman ratkaisua ja mahdollistaa tilamuuttujien luonnolliset yhdistelmät.

Suomessa eteenpäin askeltavaa dynaamista ohjelmointia ja "neighbourhood storage location" -menetelmää puuston käsittelyn optimointiin on aiemmin soveltanut Valsta (1986, 1990). Taaksepäin askeltava dynaaminen ohjelmoiti olisi myös sovellettu tutkimusongelman ratkaisuun ja sillä olisi saavutettu luvussa 3.1 tarkemmin esiteltävien toimintavaihtoehtojen vertailun kannalta eräitä etuja. Toisaalta taaksepäin askeltava rekursio edellyttää kutakin mahdollista kiertoaikaa kohden erillisen ajan ja "neighbourhood storage location" -menetelmä ei ole mahdollinen. Kilkin & Väisänen (1969) sekä Kilkin (1972) ja Siitosen (1972) työt perustuvat taaksepäin askeltavaan dynaamiseen ohjelmointiin.

## 3 Tuottojen ja kustannusten laskentaperusteet

### 3.1 Toimintavaihtoehtojen muodostaminen

Taloudellisesti vajaatuottoisen (= heti uudistettavan) puuston metsällisten tunnusten määrittämiseksi etsittiin pohjapinta-alaa systemaattisesti kasvattaen kullekin puulajille ikäluokittain (20, 30, 40, ..., 120 vuotta) alin puuston taso, jolla parhaimman kasvatusvaihtoehdon nettotuottojen nykyarvo oli suurempi kuin puuston välittömästä uudistamisesta saatu nykyarvo. Puuston välittömästä uudistamisesta kertyvien hakkuutulojen ja tulevien puusukupolvien tuottoarvon (= maanarvo) summaa verrattiin siis ko. puuston vähintään 10 vuodella myöhennetyistä hakkuista kertyvien laskentahetkeen diskontattujen hakkuutulojen sekä tulevien puusukupolvien laskentahetkeen diskontattuun tuottoarvon summaan. Lähestymistapa noudatti kriittisen pisteen menetelmää (esim. Duerr ym. 1979), jota mm. Päivinen (1980) sekä Caulfield & Teeter (1988) ovat soveltaneet uudistettavan metsikön tunnusten määrittämiseen. Nykyarvot laskettiin käyttäen 1 ja 3 prosentin reaalisia laskentakorkoja, kun investointien keskimääräinen pitkän aikavälin reaali-tuotto on Suomessa ollut noin 2 prosenttia (Saario 1991).

Pohjapinta-alan lähtötaso oli  $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}$  ja sitä lisättiin  $0,5-2 \text{ m}^2$ :n askelin. Kunkin pohjapinta-alavaihtoehdon sisällä lähtöpuuston runkolukua vähennettiin puolestaan 25–100 puun askelin siten, että pohjapinta-alan ja runkoluvun määräämä puuston keskiläpimitta kasvoi Koiviston (1959) luonnonnormaalien metsiköiden tasosta Vuokilan & Väliähon (1980) kehityssarjojen mukaiselle tasolle.

Puuston käsittelyvaihtoehdot olivat välitön päätehakkuu, lepo sekä joukko eriasteisia harvennuksia. Päätehakkuu oli aina avohakkuu ja mahdolliset harvennukset kohdistuivat tasaisesti koko puustoon, ts. harvennuksissa keskiläpimitta ei muuttunut. Kasvatusvaihtoehdoissa lähtöpuustojen kehitystä simuloitiin viiden vuoden jaksoissa kasvupaikasta riippuen 120–140 vuoden ikään asti. Jokaisen viisivuotiskauden alussa muodostettiin kullekin edellisen jakson kasvatusvaihtoehdolle uudet päätehakkuu-, lepo- ja harvennusvaihtoehdot. Näin kullekin tutkitulle lähtöpuuston tasolle muodostui puuston määrästä ja simuloitukauden pituudesta riippuen 5000–200 000 kappaletta erilaisia käsittelyvaihtoehtoja.



### 3.2 Puuston kehityksen simulointi

Metsikön käsittelyvaihtoehtojen vertailua varten laadittiin puuston kehitystä ennustava malli (simulaattori). Tilavuuskasvun ennustamiseen käytettiin Gustavsenin (1992) erityisesti vähäpuustoisille metsiköille laatimia kasvuyhtälöitä (liite 1a). Selitettävänä muuttujana yhtälöissä on viiden vuoden absoluuttinen tilavuuskasvu ja selittävinä muuttujina ovat tilavuus, valtapituus, ikä, runkoluku ja lämpösomma. Ko. kasvumalleihin päädyttiin, koska muiden mallien (esim. Gustavsen 1977, Nyssönen & Mielikäinen 1978) on todettu (Mery 1983, Gustavsen 1992) antavan harvoissa puustoissa harhaisia tuloksia. Muiden mallien muuttujista puuttui lisäksi vähäpuustoisissa metsiköissä tärkeä runkoluku.

Lähtöpuustojen tilavuudet (pohjapinta-alan, muotoluvun ja pituuden tulo) jouduttiin laskemaan, koska lähtötilanteessa puuston määrää kuvaavana muuttujana annettiin pohjapinta-ala. Tilavuuden laskennassa tarvittavat muotoluvut saatiin Gustavsenin & Fagerstömin (1983) tutkimuksesta (liite 1c).

Valtapituuden kasvun ennustamiseen käytettiin Vuokilan & Väliähon (1980) yhtälöitä (liite 1b), joihin päädyttiin kokeilujen perusteella. Etenkin nuorten puustojen tulevan kehityksen ennustamiseen ko. yhtälöt soveltuivat esim. Gustavsenin (1980) malleja paremmin, koska ne eivät olleet yhtä herkkiä lähtöpuustojen alkuarvoille.

Laaditun metsikön kehitysmallin heikkoutena on, ettei se sisällä mallien puutteen vuoksi tuulesta, lumesta tms. aiheutuvaa puiden satunnaisista kuolemista. Kuitenkin esim. myrskytuhojen riski on suurin harvoissa metsiköissä. Puuston tilajärjestystä, joka puuntuotannollisista syistä vajaatuottoiseksi luokitellussa puustossa saattaa olla selvästi hoidettua puustoa huonompi, ei tutkimuksessa myöskään pystytty ottamaan huomioon. Tilajärjestys vaikuttaa sekä puuston kasvuun että kuolleisuuteen.

### 3.3 Puunkasvatuksen tuottojen ja kustannusten hinnoittelu

Puukauppatapana tutkimuksessa käytettiin pystykauppaa. Tällöin olemassa olevan puuston puunkasvatuksen tuotot ja kustannukset, kun veroja ei oteta huomioon, muodostuivat vain puun myynnistä saaduista kantorahatuloista. Hakkuupoistumien hinnoittamisessa tarvittavat puutavaralajijakaumat laskettiin Kilkin & Siitosen (1975)

Taulukko 1. Puutavaralajeittaiset kantohinnat.  
Table 1. The stumpage prices by timber assortments.

Puulaji <i>Tree species</i>	Kantohinta, mk/m <sup>3</sup> — Stumpage price, FIM/m <sup>3</sup>	
	Tukki Sawlog	Kuitu Pulpwood
Mänty — <i>Pine</i>	225	100
Kuusi — <i>Spruce</i>	180	120

simuloidusta aineistosta koostamalla puutavaralajimalleilla (liite 1d).

Raakapuunmarkkinoille on ominaista suhdannevaihteluista johtuva voimakas markkinahintojen heilahtelu. Yksittäiselle metsänomistajalle saattaa olla edullisinta yrittää ajoittaa puunmyyntinsä hintahuippujen kohdalle. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan lähdetty mallittamaan kantohintojen vuosittaista kehitystä, vaan käytettiin hakkuupoistumien hinnoittelussa hakkuuvuoden 1990/91 hintasuositussopimuksen mukaisia yksikköhintoja (taulukko 1).

Yhden hakkuuvuoden kantohinnat katsottiin tutkimuksen kannalta riittäviksi, koska tavoitteena ei ollut puunkasvatuksen absoluuttisen kannattavuuden selvittäminen, vaan puuston välittömän uudistamisen tai kasvattamisen edullisuuden vertailu. Puutavaralajien hintasuhteiden oletettiin säilyvän ennallaan, samoin kuin puunkasvatuksen kustannusten oletettiin kehittyvän kantorahatulojen kanssa samassa suhteessa. Käytetyt kantohinnat olivat varsin lähellä aikavälin 1978–1989 reaalisia keskihintoja. Pitkän aikavälin (1949–1989) kantohintatrendien avulla vuodelle 1990 ennustettuihin suhdannevaihtelusta puhdistettuihin arvoihin nähden hakkuuvuoden 1990/91 kantohinnat olivat mänty- ja koivutukin osalta noin 20 markkaa alemmat ja kuusitukin ja -kuidun suhteen noin 10 markkaa korkeammat. Erilliskannattavuuteen perustuvien laskelmien kannalta hakkuuvuoden 1990/91 kantohintojen käyttö yksikköarvoina oli siten yhtä perusteltua kuin hintatason nosto tai lasku.

Puun hintasuositussopimusten (1990/91) mukaisesti hakkuupoistumien hinnoittelun yhteydessä taulukon 1 ns. perusleimikon kantohintoja korjattiin leimikon järeyden ja tiheyden perusteella (liite 2). Näin yksikköhinnoissa pyrittiin jossain määrin ottamaan huomioon hakattavan puuston määrän ja sen käyttöarvon vaikutus puunostajan puustamaksukykyyn. Tähän liittyi myös tutkimuksessa käytetty harvennushakkuiden 20 m<sup>3</sup>/ha minimipoistumarajoite. Leimikon kokoa ei sen sijaan otettu mukaan hinnoitteluperusteisiin, koska se sisältää oletuksen metsälön koosta,

ts. metsälöstä leimikkokeskityksenä saatavista puumääristä. Metsäkuljetusmatkaan tai muihin korjuuolosuhteisiin liittyviä tekijöitä ei tutkimuksen yleistettävyyden vuoksi ollut syytä ottaa mukaan laskelmiin eikä mäntytukkirunkojen kuivaoksarajaan perustuvaa laatuhinnoittelua puolestaan ollut mahdollista sisällyttää hinnoitteluun. Poistettavan puuston järeys laskettiin yksinkertaisesti keskiarvona, ts. hakkupoistuma jaettiin poistetulla runkoluvulla.

Tulevien puusukupolvien tuottoarvoina eli ns. laskennallisina maanarvoina käytettiin tämän tutkimuksen tekijän laskemia viljelymetsiköiden (Vuokila & Väliaho 1980) dynaamiseen ohjelmointiin perustuvien optimikäsitelyohjelmien tuottoarvoja (taulukko 2). Kasvupaikan (= pituusboniteettiluokan)  $H_{100}$ -24 männikön maanarvoa sovellettiin myös saman kasvupaikan kuusikkoon, koska ko. kasvupaikalle kuusta ei seuraajapuusukupolveksi viljellä. Em. valmistumassa olevan viljelymetsiköitä koskevan tutkimuksen hinnoitteluperusteet ovat yhteneviä tämän tutkimuksen kanssa. Uuden puusukupolven aikaansaamiseen tarvittavat toimenpideketjut maanpinnan valmistuksesta taimikkovaiheen loppuun perustuvat Tehdaspuu Oy:n uudistamisalakortistosta

Taulukko 2. Nettotuottojen nykyarvon laskennassa käytetyt korkeimman maankoron tavoitteen mukaisesti lasketut viljelymetsiköiden maanarvot.

Table 2. The land expectation values of cultivated stands based on the Faustmann formula used in the net present value calculations.

Kasvupaikka Site type $H_{100}$	Maanarvo, mk/ha — Land expectation value, FIM/ha			
	Mänty — Pine		Kuusi — Spruce	
	Laskentakorkokanta — Interest rate, %			
	1	3	1	3
30	157365	21028	110183	13349
27	107030	11187	84120	7825
24	72561	5457	72561 <sup>c</sup>	5457 <sup>c</sup>

<sup>c</sup> Tulevat puusukupolvet mäntyä — Future tree generations are composed of pine

kerättyyn aineistoon (Hämäläinen & Salminen 1984). Aineisto käsittää myös huonosti onnistuneet uudistusalat, joten ketjut sisältävät näin myös uudistamiseen liittyvän epäonnistumisriskin. Metsänuudistamisen yksikköhinnat noudattavat Etelä-Suomen vuonna 1989 toteutuneiden metsänhoitotöiden vuoden 1990 rahanarvoon deflatoituja keskihintoja.

## 4 Tulokset

### 4.1 Vähäpuustoisen metsikön uudistamiskiireellisyys

Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusiköiden taloudellista kasvatuskelpoisuutta tutkittiin yhden ja kolmen prosentin laskentakoroilla kasvupaikoilla  $H_{100}$ -30, -27 ja -24. Taloudellisesti kasvatuskelpoisten puustojen minimipohjapinta-alat nousivat iän ja valtapituuden suhteen paremmilla kasvupaikoilla jyrkemmin kuin heikommilla ja 1 %:n laskentakorolla jyrkemmin kuin 3 %:n korolla (kuvat 1 a–c ja 2 a–c). Kasvupaikan puuntuotoskyky määräsi yhdessä olemassa olevan puuston kanssa nykypuuston välittömät ja tulevat hakkuumahdollisuudet ja korkokanta näiden hakkuumahdollisuuksien ajallisen arvostuksen. Laskentakorko määräsi myös tulevien puusukupolvien nettotuottojen arvostuksen ja myös siksi yhden prosentin korolla nykypuustoa tarvittiin selvästi enemmän ylläpitämään uudistamiskriteerin ylittävää arvokasvua.

Vähäpuustoinen männikkö kannatti uudistaa kasvupaikasta ja korkokannasta riippuen viimeistään 55–85 vuoden iässä ja vähäpuustoinen kuu-

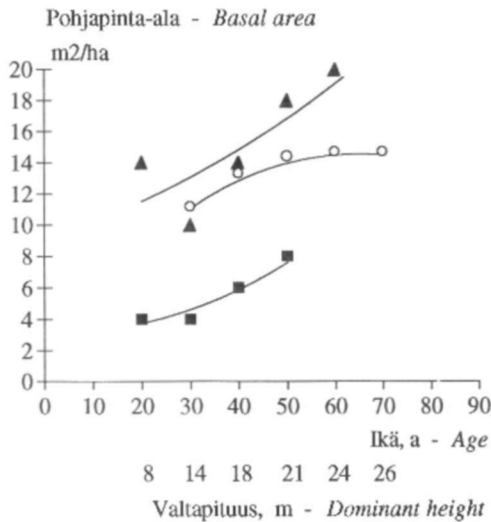
sikko viimeistään 65–95-vuotiaana (taulukko 3). Sekä männikön että kuusikon uudistamisiät olivat kasvupaikalla  $H_{100}$ -30 15 vuotta lyhyemmät kuin kasvupaikalla  $H_{100}$ -24. Korkokannan nousu yhdestä kolmeen alensi uudistamisiä myös keskimäärin 15 vuodella, koska korkeampi korko painotti laskentahetken nähden lähempänä olevia tuloja. Täyspuustoisen metsikön uudistamisen viivyttämiseksi esim. hakkaamalla puusto harvaan asentoon ei ainakaan metsikkötasolla

Taulukko 3. Vähäpuustoisten metsiköiden keskimääräiset uudistamisiät.

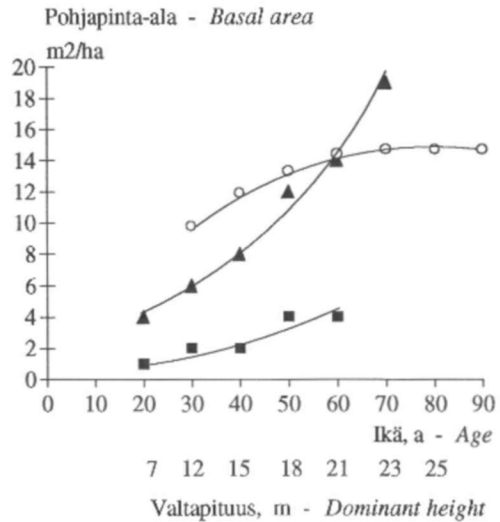
Table 3. The average regeneration ages of understocked stands.

Puulaji Species	Laskentakorkokanta Interest rate %	Päättähakuikä Regeneration age		
		Kasvupaikka — Site type		
		$H_{100}$ -30	$H_{100}$ -27	$H_{100}$ -24
Mänty — Pine	1	70	75	85
	3	55	60	70
Kuusi — Spruce	1	80	85	95
	3	65	70	80

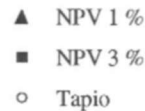
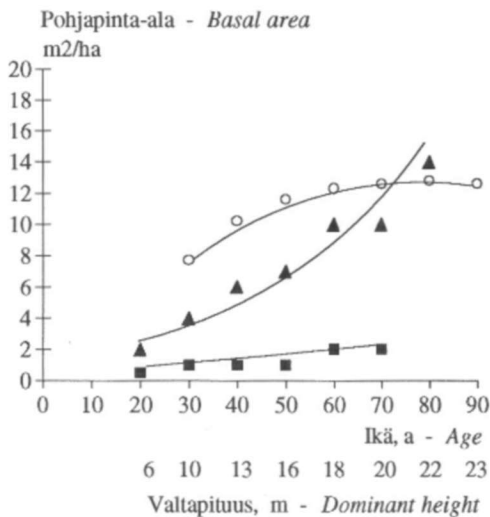
a) H100-30



b) H100-27



c) H100-24



Kuva 1. Nettotuottojen nykyarvon maksimointiin perustuvat ja Metsäkeskus Tapion ohjeiden (Tapio) mukaiset männikön vähimmäispohjapinta-alat kasvupaikoilla a) H<sub>100</sub>-30, b) H<sub>100</sub>-27 ja c) H<sub>100</sub>-24. Nettotuottojen nykyarvojen laskennassa käytetty sekä yhden (NPV 1 %) että kolmen prosentin (NPV 3 %) laskentakorkoa.

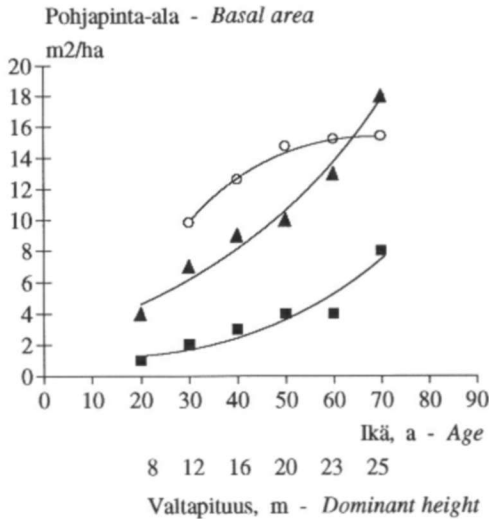
Figure 1. The minimum basal areas for further growing of pine stands on site types a) H<sub>100</sub>-30, b) H<sub>100</sub>-27 and c) H<sub>100</sub>-24 according to the net present value (NPV) calculations, and according to the present norms of the Central Forestry Board Tapio (Tapio). The NPV calculations are based on 1 (NPV 1 %) and 3 (NPV 3 %) percent interest rates.

ole taloudellisia perusteita, koska em. vähäpuustoisten metsiköiden uudistamisiat olivat nykyisiä Metsäkeskus Tapion ohjeita alemmat olettaen tietenkin, että raakapuulle on kysyntää.

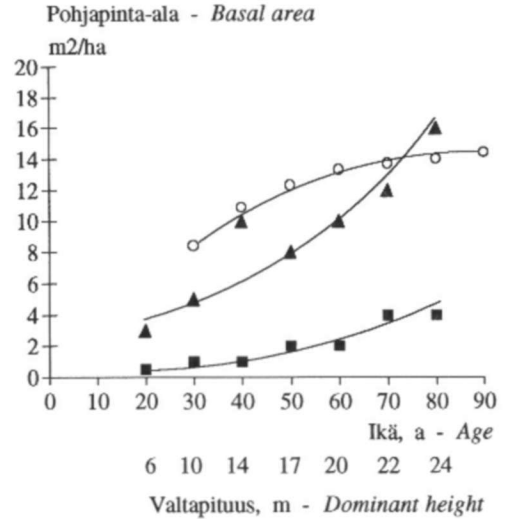
Kuvissa 1 ja 2 vähäpuustoisen metsikön kehityksen kannalta keskeinen valtapiuuden ja iän suhde vastasi toistuvasti harvennettujen metsiköiden kehityssarjoja (Koivisto 1959, Vuokila & Väliaho 1980). Taloudellisesti kasvatuskelpoisen puuston vähimmäispohjapinta-ala nousi kui-

tenkin nopeasti valtapiuus-ikä -suhteen heikettessä (kuvat 3 a–e ja 4 a–f). Tässä tutkimuksessa valtapiuus-ikä -suhteen heikkenemisellä tarkoitetaan tietyn kasvupaikan esim. määrämittaharsinnan tai muun hävittävän hakkuun tai tuhon aiheuttamaa valtapiuuden alennusta ko. kasvupaikan pituusboniteetin edellyttämään valtapiuuteen verrattuna. Puuston kasvatuskelpoisuuden alaraja nousi sitä nopeammin mitä korkeampi oli maan vaihtoehtoiskustannus ja alle 50-

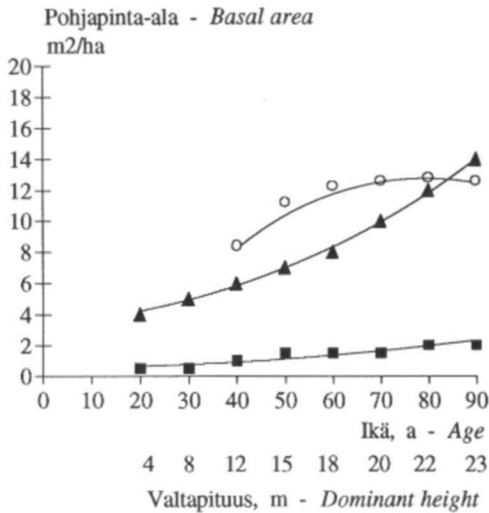
a) H100-30



b) H100-27



c) H100-24



▲ NPV 1 %  
■ NPV 3 %  
○ Tapio

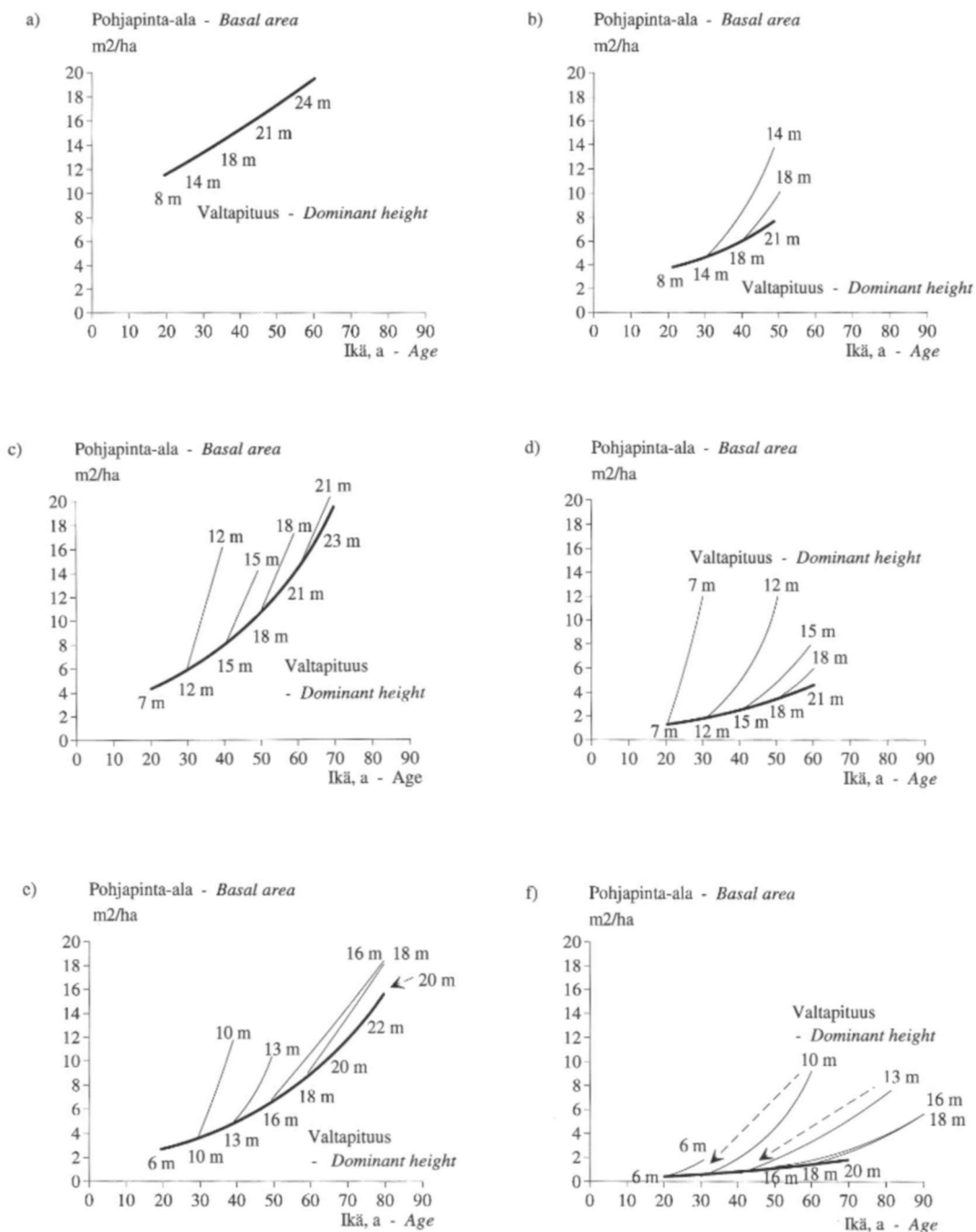
Kuva 2. Nettotuottojen nykyarvon maksimointiin perustuvat ja Metsäkeskus Tapion ohjeiden (Tapio) mukaiset kuusikon vähimmäispohjapinta-alat kasvupaikoilla a) H<sub>100</sub>-30, b) H<sub>100</sub>-27 ja c) H<sub>100</sub>-24. Nettotuottojen nykyarvojen laskennassa käytetty sekä yhden (NPV 1 %) että kolmen prosentin (NPV 3 %) laskentakorkoa.

Figure 2. The minimum basal areas for further growing of spruce stands on site types a) H<sub>100</sub>-30, b) H<sub>100</sub>-27 and c) H<sub>100</sub>-24 according to the net present value (NPV) calculations, and according to the present norms of the Central Forestry Board Tapio (Tapio). The NPV calculations are based on 1 (NPV 1 %) and 3 (NPV 3 %) percent interest rates.

vuotiaissa puustoissa nopeammin kuin vanhemmissa. Kuvien 3 ja 4 tulokset ovat esimerkinomaisia, sillä kaikkia valtapiuuden ja iän vaihtoehtoja ei ole mahdollista tarkastella.

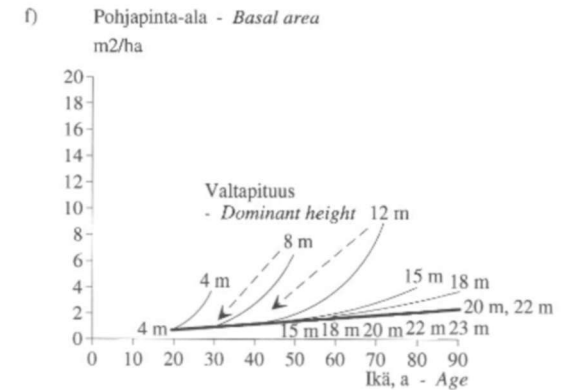
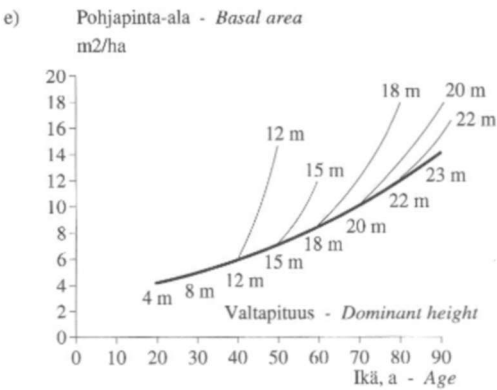
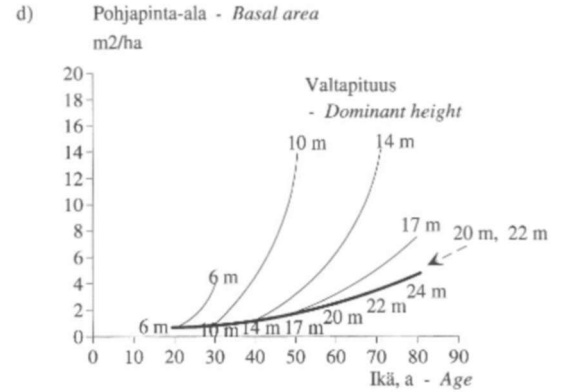
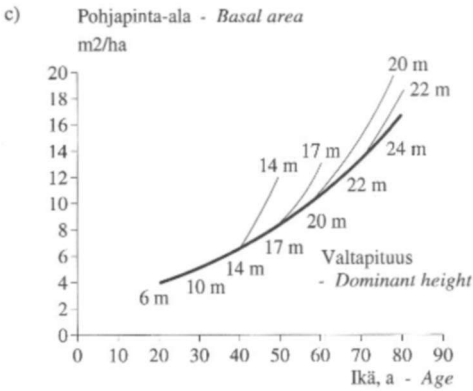
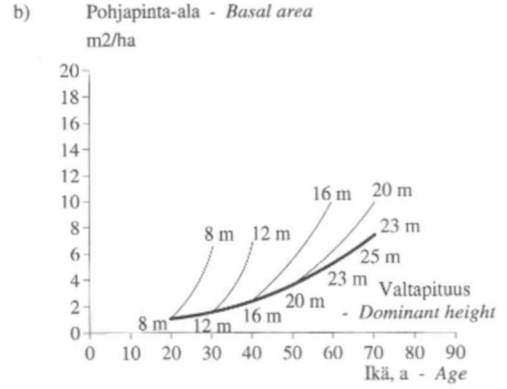
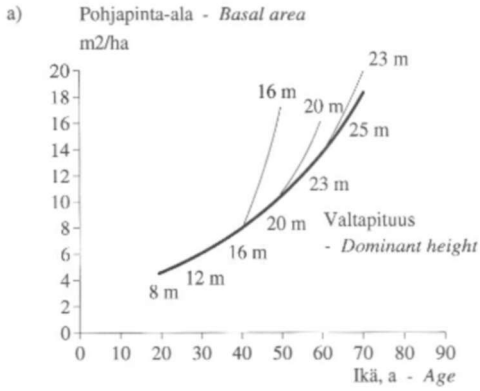
Kuvien 1 ja 2 minimipohjapinta-aloja vastaavat alimmat runkoluvut laskettiin oletamalla puuston suurimmaksi mahdolliseksi keskiläpimitaksi toistuvasti harvennettujen metsiköiden (Koivisto 1959, Vuokila & Väliaho 1980) saman kasvupaikan ja saman valtapiuuden omaavien

puustojen keskiläpimitä. Yhden prosentin laskentakorolla kasvupaikalla H<sub>100</sub>-30 nykypuuston edelleenkasvatus oli uudistamista edullisempaa, kun männikössä oli iästä riippuen 500–1000 runkoa ja kuusikossa 300–400 runkoa hehtaarella (taulukko 4). Kasvupaikalle H<sub>100</sub>-24 puuston edelleenkasvatukseen riitti yhden prosentin nykyarvolaskelmissa männikössä 250–400 kpl/ha ja kuusikossa 250–1000 runkoa/ha. Kolmen prosentin laskentakorkoa sovellettaessa minimirunkoluvut



Kuva 3. Valtapiisuuden vaikutus olemassa olevan taloudellisesti kasvatuskelpoisen männikön vähimmäispohjapinta-alaan.  
 Figure 3. The impact of dominant height on the minimum basal area of pine stand profitable to grow further.

Kasvupaikka — Site type	Laskentakorkokanta — Interest rate	Kasvupaikka — Site type	Laskentakorkokanta — Interest rate
a) $H_{100-30}$	1 %	d) $H_{100-27}$	3 %
b) $H_{100-30}$	3 %	e) $H_{100-24}$	1 %
c) $H_{100-27}$	1 %	f) $H_{100-24}$	3 %



Kuva 4. Valtapiisuuden vaikutus olemassa olevan taloudellisesti kasvatuskelpoisen kuusikon vähimmäispohjapinta-alaan.  
Figure 4. The impact of dominant height on the minimum basal area of spruce stand profitable to grow further.

Kasvupaikka — Site type	Laskentakorkokanta — Interest rate
a) H <sub>100</sub> -30	1 %
b) H <sub>100</sub> -30	3 %
c) H <sub>100</sub> -27	1 %

Kasvupaikka — Site type	Laskentakorkokanta — Interest rate
d) H <sub>100</sub> -27	3 %
e) H <sub>100</sub> -24	1 %
f) H <sub>100</sub> -24	3 %

Taulukko 4. Taloudellisen kasvatuskelpoisuuden mukaiset minimirunkoluvut (metsikön keskiläpimitta vastaa saman valtapituuden ja iän omaavien toistuvasti harvennettujen puustojen keskiläpimittaa).

Table 4. The minimum number of trees still profitable to grow (the mean diameter of stand is equivalent to the normally stocked thinned stands with the same age and dominant height).

Kasvupaikka Site type H <sub>100</sub>	Laskentakorkokanta Interest rate %	Runkoa/ha — Stems/ha							
		20	30	Lähtöpuuston ikä — Initial age of stand, a				80	90
				40	50	60	70		
<b>Mänty — Pine</b>									
30	1	1000	600	500	500	600	—	—	—
	3	400	200	200	300	—	—	—	—
27	1	800	400	350	400	350	400	—	—
	3	200 <sup>1</sup>	100	100	100	100	—	—	—
24	1	400	300	300	300	250	300	250	—
	3	100 <sup>1</sup>	100	75	50 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	—	—
<b>Kuusi — Spruce</b>									
30	1	400	350	350	300	300	350	—	—
	3	150	150	150	100	100	—	—	—
27	1	350	350	400	250	250	250	300	—
	3	100 <sup>1</sup>	100 <sup>1</sup>	50 <sup>2</sup>	75	50 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	—	—
24	1	1000	500	400	300	250	250	250	250
	3	100 <sup>1</sup>	100 <sup>1</sup>	100	50 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>	—

<sup>1)</sup> Lähtöpuuston pohjapinta-ala (alle 1 m<sup>2</sup>/ha) tilavuuskasvumallien laadinta-aineiston ulkopuolella

The basal area of initial stand (below 1 m<sup>2</sup>/ha) is outside the range of the data the volume growth functions are based on

<sup>2)</sup> Lähtöpuuston runkoluku (alle 75 runkoa/ha) tilavuuskasvumallien laadinta-aineiston ulkopuolella

The number of trees (below 75 stems/ha) of initial stand is outside the range of the data the volume growth functions are based on

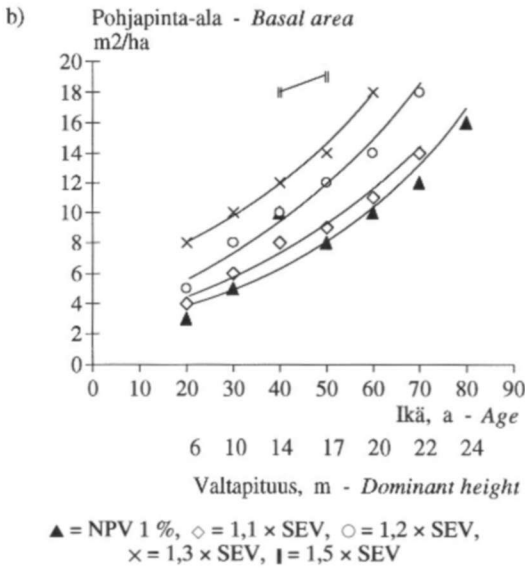
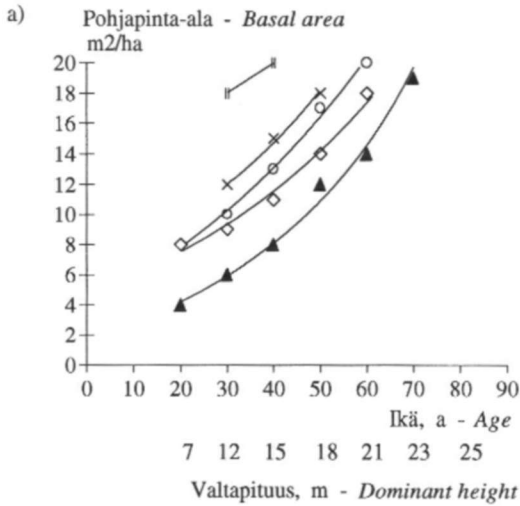
olivat kasvupaikan H<sub>100</sub>-30 männikössä 200–400 kpl/ha ja kuusikossa 100–150 kpl/ha sekä kasvupaikalla H<sub>100</sub>-24 sekä männyllä että kuusella 50–100 kpl/ha. Edellä esitetyt runkoluvut ovat eräänlaisia ”hyvien runkojen” laskennallisia minimejä, sillä runkojen keskiläpimitta ja valtapituus vastasivat toistuvasti harvennettujen viljelymetsiköiden lukuja (ks. edellä). Saman valtapituuden ja pohjapinta-alan omaavat tiheimmät ja keskiläpimitaltaan siten pienemmät puustot olivat kaikki myös kasvatettavia.

#### 4.2 Maanarvon ja verotuksen vaikutus

Maanarvon muutos laskee tai nostaa puuston edelleenkasvatuksen vaihtoehtokustannusta. Tehyjen rajausten (pystykaupat, metsänviljely) mukaisesti maanarvon eli tässä tutkimuksessa viljeltyjen, kasvatuksen optimiuraa noudattavien tulevien puusukupolvien nettotuottojen nykyarvon suuruuteen vaikuttavat vain kantohinnoissa ja uudistamiskustannuksissa tapahtuvat muutokset. Maanarvo kasvaa, jos kantohinnat kohoavat suhteellisesti uudistamiskustannuksia enemmän ja päinvastoin. Maanarvon aleneminen lisää olemassa olevan puuston kasvatuksen kannattavuutta, joten tässä tarkastellaan vain maanarvon nousun vaikutuksia. Tulokset esitetään kasvupaikalle H<sub>100</sub>-27.

Maanarvolla on keskeinen merkitys kasvatettavan puuston minimipohjapinta-aloihin (kuva 5), koska se sisältää tulevien puusukupolvien aiheuttaman vaihtoehtokustannuksen nykypuuston kasvatukselle. Yhden prosentin laskentakorolla maanarvon 10 %:n nousu kohotti taloudellisesti kasvatuskelpoisen männikön minimipohjapinta-aloja keskimäärin 3 m<sup>2</sup>:llä (kuva 5a) ja kuusikon 1 m<sup>2</sup>:llä (kuva 5b). Kiertoajat lyhenivät vastaavasti noin 10 vuodella. Männikössä 10 %:n maanarvon nousu siirsi taloudellisen minimipohjapinta-alan lähelle Tapion minimirajaa. Kuusikossa Tapion suositukset ylitettiin, kun maanarvo nousi 30 %. Kolmen prosentin laskentakorolla maanarvon nousun vaikutukset olivat paljon pienemmät, sillä männyn minimipohjapinta-alat kohosivat 0,5–1 m<sup>2</sup>/ha kutakin maanarvon 10 %:n nousua kohden ja kuusikossa vasta maanarvon 50 %:n kasvu vaikututti minimipohjapinta-alan tasoon.

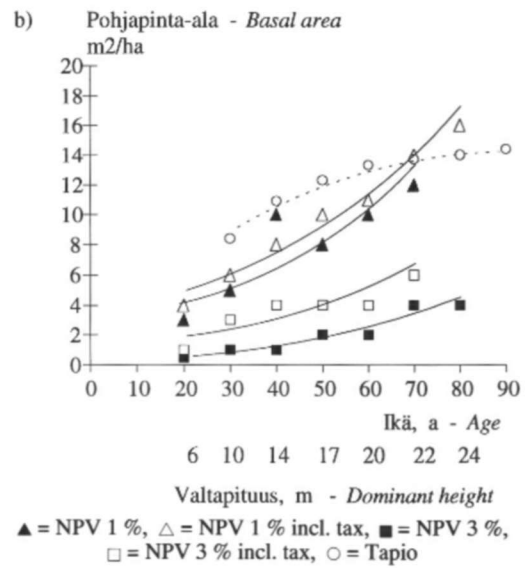
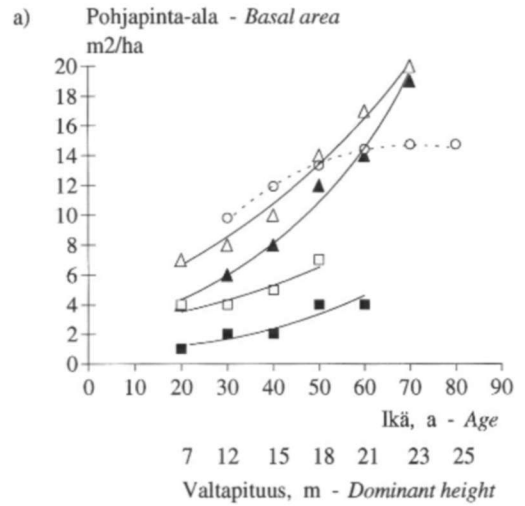
Verotus lisää sekä olemassa olevan että tulevien puusukupolvien puunkasvatuksen kustannuksia. Puunmyyntituloihin perustuva suhteellinen verotus ei kuitenkaan vaikuta eri käsittelyvaihtoehtojen keskinäiseen kannattavuuteen, sillä se vähentää kaikkien vaihtoehtojen kannattavuutta suhteellisesti yhtä paljon. Maaperän puuntuotoskykyyn perustuva pinta-alaverotus sen sijaan lisää olemassa olevan puuston kasvatuksen kustannuksia puuston tasosta tai käsittelyvaihto-



Kuva 5. Maanarvon (SEV) vaikutus taloudellisesti kasvatuskelpoisen a) männikön ja b) kuusikon vähimmäispohjapinta-alaan kasvupaikalla H<sub>100-27</sub>. Netto-tuottojen nykyarvot laskettu 1 %:n korolla. "NPV 1 %" on peruslaskelman tulos.

Figure 5. The impact of the soil expectation value (SEV) on the minimum basal area of a) pine and b) spruce stand profitable to grow further on site type H<sub>100-27</sub>. The interest rate of the net present value calculations is 1 %. "NPV 1 %" is the result of the basic run.

ehdosta riippumatta absoluuttisesti yhtä paljon, joten pinta-alaverotuksella on selvästi hyvään metsänhoitoon ohjaava vaikutus. Pinta-alaverotus nostikin alimman kasvatuskelpoisen puuston tasoa (kuva 6a–b), männyllä hieman enemmän kuin kuusella ja kolmen prosentin laskentakorol-



Kuva 6. Pinta-alaverotuksen vaikutus taloudellisesti kasvatuskelpoisen a) männikön ja b) kuusikon vähimmäispohjapinta-alaan kasvupaikalla H<sub>100-27</sub>. Netto-tuottojen nykyarvot laskettu 1 ja 3 %:n korolla.

Figure 6. The impact of the soil productivity tax on the minimum basal areas of a) pine b) spruce stand still profitable to grow further on site type H<sub>100-27</sub>. The interest rates of the net present value calculations are 1 (NPV 1 %) and 3 (NPV 3%) percent

la enemmän kuin yhden prosentin korolla, sillä korkeampi korko painotti lähiajan kustannuksia (veroja) enemmän.



Taulukko 5. Optimiertoajan mukainen keskimääräinen kasvu alimpien taloudellisesti kasvatuskelpoisten lähtöpuustojen eri ikäluokille.  
 Table 5. Mean annual increment of lowest understocked stands profitable to grow further based on the optimal rotations of each initial stand age class.

Kasvupaikka Site type H <sub>100</sub>	Laskentakorkokanta Interest rate %	Keskimääräinen kasvu — Mean annual increment, m <sup>3</sup> /ha/a							
		Lähtöpuuston ikä — Initial age of stand, a							
		20	30	40	50	60	70	80	90
<b>Mänty — Pine</b>									
30	1	7,2	5,5	4,9	4,5	4,6	—	—	—
	3	3,7	2,3	2,2	2,5	—	—	—	—
27	1	5,4	3,9	2,8	3,2	2,8	3,7	—	—
	3	2,2	1,4	1,0	1,0	0,9	—	—	—
24	1	3,7	2,8	2,5	2,3	2,0	1,8	2,1	—
	3	1,3	1,2	0,9	0,5	0,5	0,4	—	—
<b>Kuusi — Spruce</b>									
30	1	7,1	5,7	4,7	3,9	4,0	3,3	—	—
	3	3,3	2,6	2,2	1,7	1,1	—	—	—
27	1	5,2	4,5	4,9	2,8	2,4	2,1	2,5	—
	3	2,2	1,9	1,2	1,3	1,2	0,8	—	—
24	1	5,2	4,3	3,7	2,9	2,1	1,8	1,8	1,7
	3	1,8	1,5	1,3	1,3	0,9	0,8	0,6	—

### 4.3 Kasvun tason ja tukkipuun saannon vaikutus

Vajaatuottoisuutta lähentyvän puuston käsittelyvaihtoehtojen taloudellisen mielekkyyden arviointia vaikeuttaa epävarmuus sekä kasvun tasosta että puutavaralajien, lähinnä tukkipuun, saannosta. Kasvun vaikutusta tutkittiin alentamalla tilavuuskasvumallien 5-vuotisjakson kasvua 10, 20, 30 ja 50 prosentilla ja pituuskasvumallien 5-vuotisjakson kasvua 10, 20, 30, 50, 70 ja 90 prosentilla. Puutavaralajimallien mukaista tukkipuun saantoa alennettiin puolestaan 10, 20, 30, 50 ja 100 prosentilla. Viimeisessä (100 %) vaihtoehdossa oletettiin siis kaiken hakattavan ainespuun olevan kuitupuuta. Tulevien puuskupolvi- en viljelymetsiköiden kasvumalleihin (Vuokila & Väliäho 1980) em. tasomuutoksia ei tehty. Tämän luvun herkkyysanalyysit laskettiin esimerkin vuoksi vain kasvupaikalle H<sub>100-27</sub>.

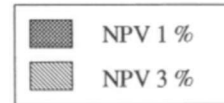
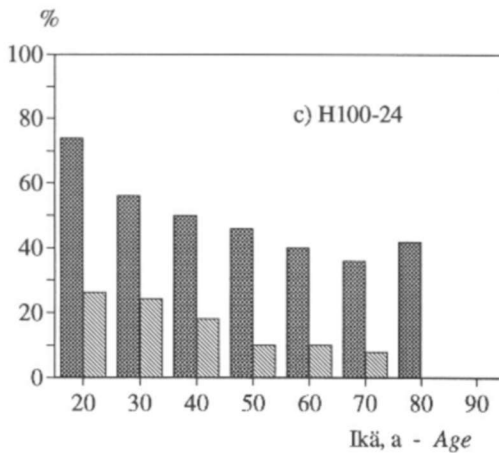
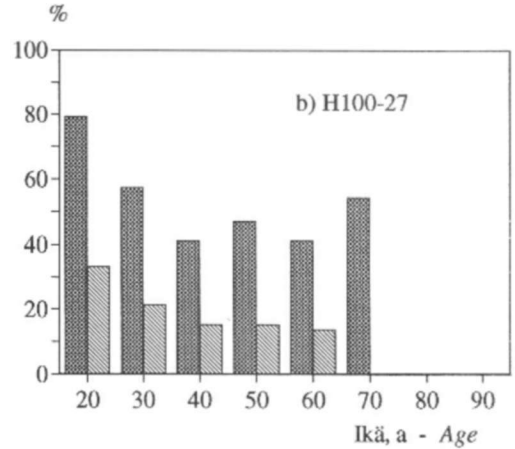
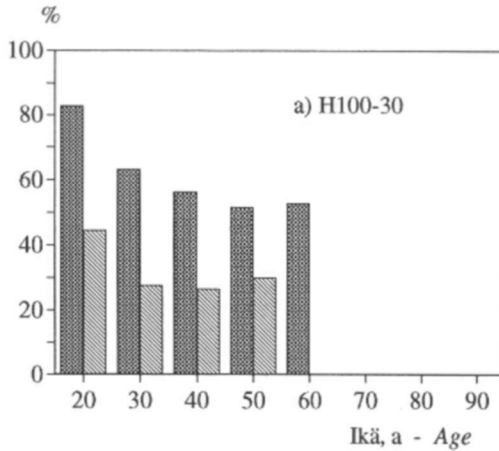
Puusto oli taloudellisessa mielessä (luku 4.1) vielä kasvatuskelpoista, kun kiertoajan keskimääräinen kasvu oli yhden prosentin nettonykyarvolaskelmissa männyllä 40–80 ja kuusella 30–100 % sekä kolmen prosentin laskelmissa männyllä 15–45 ja kuusella 10–40 % toistuvasti harvennettujen metsiköiden (Koivisto 1959, Vuokila & Väliäho 1980) keskimääräisestä kasvusta (kuvat 7 ja 8). Kasvun absoluuttinen taso vaihteli huomattavasti kasvupaikasta, puulajista, puuston iästä ja korkokannasta riippuen (taulukko 5).

Gustavsenin (1992) mallien mukaisesti laske-

tun viisivuotisjakson tilavuuskasvun vähentyesä 30 %:lla tai enemmän olemassa olevan kasvupaikan H<sub>100-27</sub> männikön tai kuusikon kasvatus ei ollut enää 1 %:n laskentakorolla kannattavaa (kuva 9a,c). Kolmen prosentin korolla 5-vuotisjakson tilavuuskasvun vähennys 50 %:lla johti puuston välittömään uudistamiseen (kuva 9b,d). Metsäkeskus Tapion vajaatuottoisuusohjeen yläpuolelle taloudellisesti kasvatuskelpoisen männikön vähimmäispohjapinta-ala kohosi, kun 5-vuotisjakson tilavuuskasvun vähennys 1 %:n laskentakorolla oli 10 %. Kuusikossa Tapion vajaatuottoisuusraja ylittyi kasvun tason laskiessa 20 %. Kolmen prosentin laskentakorolla kasvatuskelpoisen puuston vähimmäismäärä ei missään vaiheessa saavuttanut Tapion normeja.

Tilavuuskasvun alentaminen lyhensi 1 ja 3 %:n korkokannoilla olemassa olevan puuston kiertoaika noin 10 vuodella kutakin 10 %:n vähennystä kohden. Tilavuuskasvun vähentymisestä huolimatta kiertoajan keskimääräinen vuotuinen kasvu säilyi kasvupaikalla H<sub>100-27</sub> kuvien 7 ja 8 sekä taulukon 5 mukaisella tasolla. Tilavuuskasvumalleihin tehdyn tasovähennyksen kompensoi puuston tilavuuden nousun aikaansaama kasvunlisäys.

Lähtöpuuston valtapituudella oli keskeinen merkitys puuston kasvatuskelpoisuuteen (ks. esim. kuvat 3 ja 4) ja valtapituus oli myös selittäjänä tilavuuskasvumalleissa, joten tulosten herkkyyttä myös pituuskasvumallien tasoon tutkittiin. Viisivuotisjakson pituuskasvun alentaminen vai-



Kuva 7. Alimman taloudellisesti kasvatuskelpoisen männikön optimikiertoajan mukainen keskikasvu suhteessa toistuvasti harvennetun männikön kasvuun (=100 %).

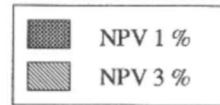
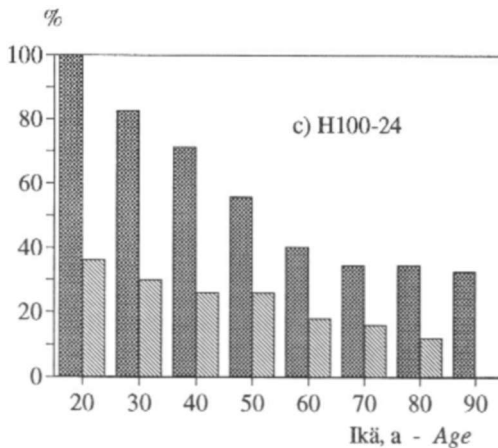
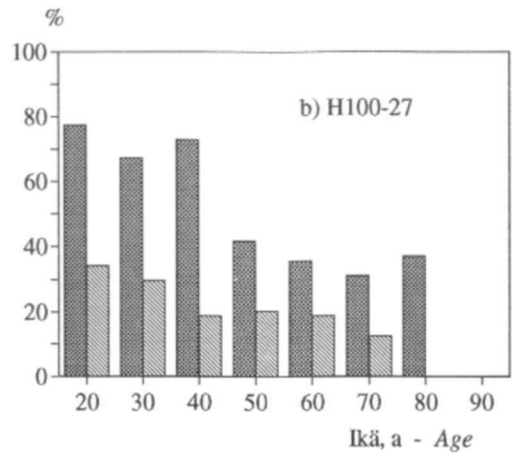
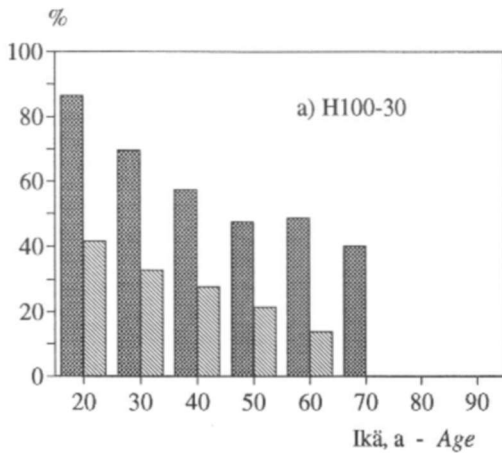
Figure 7. Mean annual increment of lowest pine stand still profitable to grow further as compared to normally stocked thinned stand (=100 %).

kutti kuitenkin vain nuorten 20–40-vuotiaiden metsiköiden kasvatuskelpoisuuteen. Varttuneemissa puustoissa, joissa lähtöpuuston valtapituus ylitti 15–18 m, viisivuotisjakson pituuskasvun alentuminen 50–90 %:lla kohotti minimipohjapinta-aloja vain vähän. Näin suuri pelkkä pituuskasvun alennus ei kuitenkaan ole realistinen, sillä pituus- ja paksuuskasvu eivät yleensä alene yksitellen.

Tukkipuun saannon vähentyminen vaikutti 1 %:n laskekentäkorolla erityisesti kasvatuskelpoisen männikön minimipohjapinta-alaan (kuva 10 a). Kuusikon tukkipuun saanto sai sen sijaan laskea 1 %:n laskelmissa puutavaralajimalleihin nähden 30–50 % ennenkuin kasvatuskelpoisuuden raja nousi (kuva 10 b). Tähän olivat syynä kuusen tukki- ja kuitupuun pieni hintaero ja kuusen mäntyä myöhempi kasvun kulminoituminen.

Kolmen prosentin laskentakorolla taloudellisen kasvatuskelpoisuuden alaraja alkoi nousta selvästi vasta, kun tukkipuun saanto väheni männiköissä 30 %:lla ja kuusikoissa yli 50 %:lla.

Tukkipuun saannon vähentäminen lyhensi selvästi olemassa olevan puuston jäljellä olevaa pitoaikaa, sillä tulevien puusukupolvien oletettiin tuottavan tukkipuuta järeyteen perustuvien puutavaralajimallien mukaisesti. Mikäli männikkö oli laadultaan niin heikkoa, ettei siitä saatu tukkipuuta kasvatuskelpoisuus päättyi 1 %:n laskentakorolla heti ja 3 %:n laskelmissa 40–50-vuotiaana puuston siirtyessä tukki- ja kuitupuun arvokynnykselle. Kuusen nykypuustoa kannatti kuitupuunakin kasvattaa 1 %:n laskelmissa 50 vuotiaaksi ja 3 %:n laskentakorolla aina 70 vuoden ikään asti.



Kuva 8. Alimman taloudellisesti kasvatuskelpoisen kuusikon optimikiertoajan mukainen keskikasvu suhteessa toistuvasti harvennetun kuusikon kasvuun (=100 %).

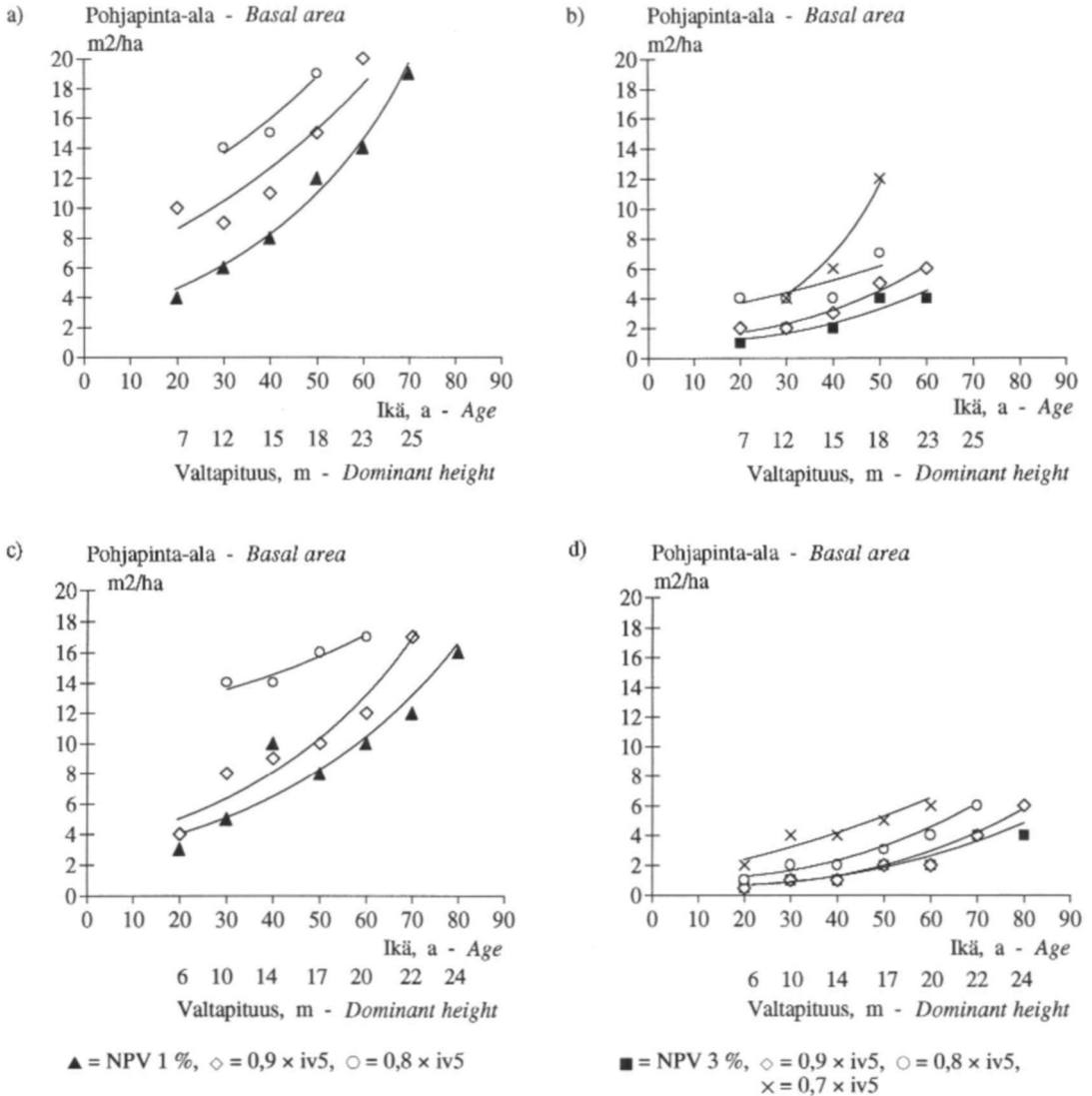
Figure 8. Mean annual increment of lowest spruce stand still profitable to grow further as compared to normally stocked thinned stands (=100 %).

## 5 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Periaatteessa kaikki kannattavuuden optimikäsitteilyohjelmasta poikenneet puustot ovat vajaantuottoisia, mutta metsänomistajan on kuitenkin viime kädessä päätettävä kasvattaako vai uudistaako hän optimuralta poikenneen puuston. Olemassa olevan puuston kasvattamisen ja uudistamisen edullisuuden vertailu edellyttää eri toimintavaihtoehtojen seurausten ennustamista ja arvottamista nykypuuston osalta pitoajan loppuun ja tulevien puusukupolvien osalta aina ikuisuuteen. Puuston lähtötilanne on tällöin kuvattava riittävän tarkasti ja käytettävien kasvumallien

on oltava luotettavia ja sopivia ongelman analysointiin. Tarkastelujakson pidentyessä myös tuottojen ja kustannusten hinnoitteluun ja arvottamiseen liittyvä epävarmuus kasvavaa. Kantohinnat, puunkasvatuksen kustannukset ja korkokanta olivat kuitenkin kaikissa laskelmissa kiinteät yli ajan, koska käsittelypäätösten kannalta suurimman epävarmuuden katsottiin kohdistuvan vähäpuustoisten metsiköiden kasvun tasoon ja puutavaralajien saantoon.

Puuston kehitystä voidaan ennustaa joko puutai metsikkötason kasvumalleja käyttäen. Puu-



Kuva 9. Tilavuuskasvun tason alentumisen vaikutus taloudellisesti kasvatuskelpoisen männikön ja kuusikon vähimmäispohjapinta-alaan kasvupaikalla H<sub>100-27</sub>. Nettotuottojen nykyarvot on laskettu 1 ja 3 %:n korolla. "NPV 1 %" ja "NPV 3 %" ovat peruslaskelman mukaiset tulokset.

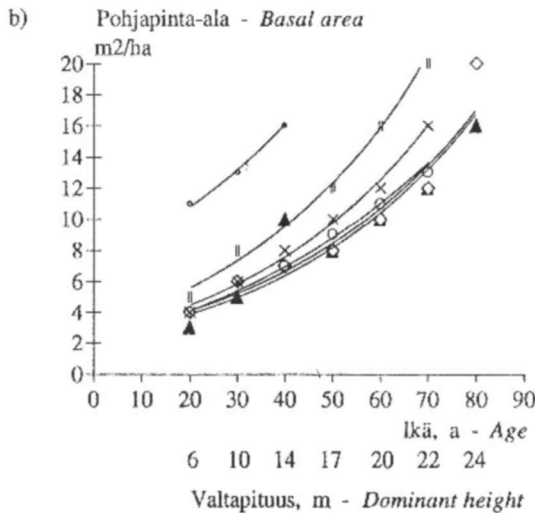
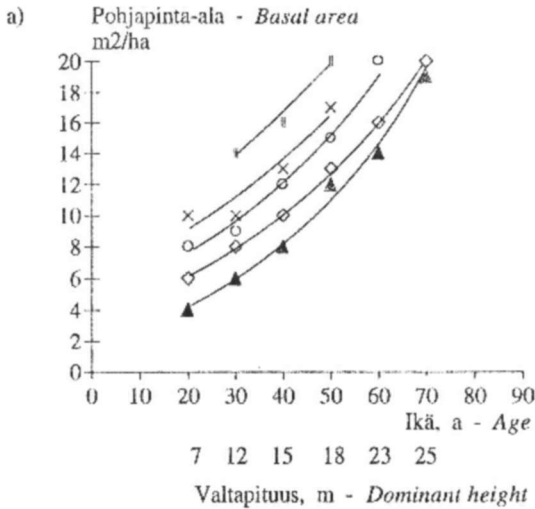
Figure 9. The impact of volume growth level on the minimum basal areas of pine and spruce stands still profitable to grow further on site type H<sub>100-27</sub>. The interest rates of the net present value calculations are 1 and 3 percent. "NPV 1 %" and "NPV 3 %" are the results of the basic run.

a) Männikkö, laskentakorko 1 % — Pine stand, interest rate 1 %  
 b) Männikkö, laskentakorko 3 % — Pine stand, interest rate 3 %

c) Kuusikko, laskentakorko 1 % — Spruce stand, interest rate 1 %  
 d) Kuusikko, laskentakorko 3 % — Spruce stand, interest rate 3 %

tason malleilla pystytään paremmin kuvaamaan esim. puuston epätasaisen rakenteen vaikutus metsikön kehitykseen (Botkin ym. 1972). Tässä tutkimuksessa päädyttiin kuitenkin metsikkömalleihin, sillä vähäpuustoisille mänty- ja kuusimetsiköille oli olemassa erityiset Gustavsenin (1992)

laatimat metsikkötason kasvumallit. Metsikkömalleissa informaatio lisäksi tiivistyy muutamaaan käytännössä helposti mitattavaan muuttujaan. Tutkimuksessa olemassa oleva puusto kuvattiin kasvupaikan, puulajin, iän, valtapituuden, runkoluvun ja pohjapinta-alan avulla. Näiden muut-



▲ = NPV 1 %, ◇ = 0,9 × S %, ○ = 0,8 × S %,  
× = 0,7 × S %, ¶ = 0,5 × S %, ° = 0 × S %

Kuva 10. Tukkipuun saannon alentumisen vaikutus taloudellisesti kasvatuskelpoisen  $H_{100-27}$  a) männikön ja b) kuusikon vähimmäispohjapinta-alaan. Nettotuottojen nykyarvot laskettu 1 %:n korolla. "NPV 1 %" on peruslaskelman tulos.

Figure 10. The impact of sawtimber reduction on the minimum basal areas of a) pine and b) spruce stands still profitable to grow further on site type  $H_{100-27}$ . The interest rate of the net present value calculations is 1 percent. "NPV 1 %" is the result of the basic run.

tujien oletettiin antavan riittävästi informaatiota metsikön käsittelyvaihtoehtojen valintaan. Kaikkia em. muuttujien todellisuudessa esiintyviä yhdistelmiä ei ole julkaisussa mahdollista tarkastella, joten tulokset perustuvat esimerkkilaskelmiin. Tutkimuksen yhteydessä laaditulla tietokoneohjelmalla on kuitenkin minkä tahansa em. muuttujien avulla kuvatus männikön ja kuusikon edelleenkasvatuksen ja uudistamisen keskinäinen edullisuus laskettavissa.

Nettotuottojen nykyarvon maksimointiin perustuva minimipohjapinta-ala, joka riitti vähäpuustoisen metsikön edelleenkasvatukseen, oli kasvupaikasta, puuston iästä ja valtapituudesta riippuen yhden prosentin laskentakorolla männynllä 2–20 m<sup>2</sup>/ha ja kuusella 3–18 m<sup>2</sup>/ha. Kolmen prosentin laskentakorolla sekä männyn että kuusen minimipohjapinta-alat vaihtelivat 0,5–8 m<sup>2</sup>/ha. Edellä esitettyjä pohjapinta-aloja vastaavat laskennalliset minimirunkoluvut olivat yhden prosentin laskentakorolla 250–1000 kpl/ha ja kolmella prosentilla 50–400 kpl/ha. Em. kasvatuskelpoisuuden alarajat koskevat vain jo olemassa olevaa vähäpuustoista metsikköä. Sen sijaan puuston tarkoituksellinen saattaminen tähän tilaan synnyttää metsikkötasolla aina taloudellisia tappioita (vrt. esim. Pesonen & Hirvelä 1992, Valsta 1986, 1992).

Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon, että kasvatuskelpoisuuden alarajat laskettiin simuloitujen metsiköiden avulla, mikä ei välttämättä vastaa todellisuutta. Puuston tilajärjestystä tai puiden satunnaista kuolleisuutta ei esimerkiksi pystytty ottamaan huomioon. Molemmat seikat nostaisivat todennäköisesti ainakin runkoluvultaan erittäin harvojen (50–100 puuta/ha) metsiköiden kasvatuskelpoisuuden alarajaa, koska harvojen puustojen tuhoalttius on erittäin suuri. Tutkimuksessa kasvatuskelpoiseksi saadun metsikön, jonka pohjapinta-ala on noin 1 m<sup>2</sup>/ha ja/tai runkoluku on alle 100 puuta/ha, edelleenkasvatuksen kannattavuuteen on suhtauduttava suurin varauksin, sillä kasvumallien laadinta-aineistossa (Gustavsen 1992) männikön alin runkoluku oli 61 ja kuusikon 71 puuta hehtaarilla, vastaavasti männikön alin pohjapinta-ala oli 1,1 ja kuusikon 1,2 m<sup>2</sup>/ha.

Vähäpuustoisten metsiköiden peruslaskelmisissa (luku 4.1) valtapituuden kehitys noudatti toistuvasti harvennettujen metsiköiden kehityssarjoja. Metsikön uudistamiskiiressä tarkasteltiin siksi myös puustoissa, joiden valtapituus ja keskiläpimitta olivat selvästi Koiviston (1959) sekä Vuokilan & Väliähon (1980) kehityssarjoja alemmat. Puuston uudistamisraja nousi nopeasti

valtapituuden ollessa selvästi jäljessä kasvupaikan valtapituuden potentiaalisesta kehityksestä. Jättöpuustojen kasvatusta ei siten useimmiten ole taloudellisesti mielekäästä.

Käytetyissä tilavuuskasvumalleissa valtapituus ja ikä olivat keskeisiä selittäviä muuttujia. Mallit voivat siten yliarvioida kasvua ja mahdollistaa näin varsin matalan kasvatuskelpoisen puuston tason, mikäli kasvumallien laadinta-aineisto on valtapituus-ikä -suhteeseen nähden systemaattisesti alemmalla tasolla.

Hakkuiden puutavaralajijakaumaan eivät vaikuttaneet laatutekijät (oksikkuus, vikaisuus), vaan se määräytyi yksinomaan keskirungon koon perusteella. Keskirungon kokoon perustuva apteeraus yliarvioi tukin osuuden etenkin nuorissa ja vikaantuneissa puustoissa. Puutavaralajimallien mukainen tukkipuun saanto sai kylläkin vähentyä männyllä 20 % ja kuusella 50 % yhden prosentin laskentakorolla kasvupaikalla  $H_{100-27}$  ennen kuin nykyiset Tapijon vajaatuottoisuusohjeiden mukaiset alarajat ylittyivät. Mikäli kasvupaikan  $H_{100-27}$  männikkö oli laadultaan niin heikkoa, ettei siitä kertynyt tukkipuuta kasvatuskelpoisuus päättyi 1 %:n laskentakorolla heti ja 3 %:n laskelmissa puuston siirtyessä tukki- ja kuitupuun arvokynnykselle. Olemassa olevaa kuusikkoa kannatti kuitupuunakin kasvattaa 1 %:n laskelmissa 50 vuotiaaksi ja 3 %:n laskentakorolla aina 70 vuoden ikään asti.

Olemassa olevan puuston edelleenkasvatukseen riittävä vähimmäispohjapinta-ala oli 1/2–1/6 Metsäkeskus Tapijon keskimääräisten vajaatuottoisuusohjeiden tasosta. Pinta-alaverotuksen ottaminen mukaan tarkasteluun kohotti kasvatuskelpoisen puuston minimipohjapinta-alan lähemmäs Tapijon ohjeita. Puun myyntituloihin

perustuva verotus ei sen sijaan vaikuttanut olemassa olevan puuston käsittelyvaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen. Häyrisen (1976) ja Päivisen (1980) laskelmien mukaan kasvatuskelpoisen puuston minimipohjapinta-ala on 1/2–1/4 Tapijon ohjeista. Tosin Päivinen ei löytänyt kolmen prosentin korkovaatimuksella niin vähäpuustoista alle 70-vuotiaista mustikkatyyppin kuusikkoa, jossa välitön uudistaminen olisi ollut edelleenkasvatusta edullisempi vaihtoehto. Alin Päivisen tutkimin minimipohjapinta-ala oli 2 m<sup>2</sup>/ha. Kilkin & Väisäsen (1969) mukaan suurimmat taloudelliset tappiot syntyvät ”ylitiheän” puuston kasvatamisesta ja toisaalta harvojen puustojen välittömästä uudistamisesta.

Tapijon vajaatuottoisuusrajat perustuvat puuntuotannollisiin minimivaihtoehtoihin; liiketaloudellisessa mielessä niistä näyttää kuitenkin puuttuvan korkovaatimus. Mikäli metsänomistaja uskoo metsänkasvatukseen riskittömyyteen eikä pääoman puute rajoita hänen investointejaan ja tulojen ajoittumiselle ei ole preferenssejä, niin nollakorkoon perustuvat ohjeet ovat myös taloudellisesti hyväksyttävissä. Tässä tutkimuksessa pääomalle asetettiin 1 ja 3 %:n tuottovaatimukset. Molemmat korkokannat ovat suhteellisen alhaisia ja usein käytettyjä puunkasvatukseen edullisuuslaskelmissa. Tämän tutkimuksen tuloksia ja Metsäkeskus Tapijon vajaatuottoisuusohjeita vertaillaessa on kuitenkin syytä muistaa, että Tapijon ohjeiden voidaan ajatella sisältävän myös puuntuotannon kansantaloudellisia hyötyjä, jolloin olemassa olevan vähäpuustoisen metsikön edelleenkasvatukseen yhteiskunnallinen vaihtoehtokustannus on huomattavasti yksityistaloudellista vaihtoehtokustannusta suurempi.

## Kirjallisuus — References

- Botkin, D.B., Janak, J.F. & Wallis, J.R. 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology* 60: 849–872. ISSN 0022-0477.
- Brodie, J.D. & Kao, C. 1979. Optimizing thinning in Douglas-fir with three descriptor dynamic programming to account for accelerated diameter growth. *Forest Science* 25(4): 665–672. ISSN 0015-749X.
- Caulfield, J.P. & Teeter, L.D. 1988. Using break-even analysis for replanting decisions in damaged pine stands. *Southern Journal of Applied Forestry* 12(3): 186–189. ISSN 0148-4419.
- Duerr, W.M., Teeguarden, D.E., Christiansen, N.B. & Guttenberg, S. 1979. Forest resource management: decision-making principles and cases. W.B. Saunders Company, Philadelphia. 612 s. ISBN 0-7216-3223-8.
- Dykstra, D.P. 1984. Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill, New York. 318 s. ISBN 0-07-018552-2.
- Faustmann, M. 1849. Berechnung des Wertes, welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung* 25: 441–455. ISSN 0002-5852. [Reprinted in English (1968): Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. Julkaisussa: Gane, M. (toim.). Martin Faustmann and evolution of discounted cash flow.

- Commonwealth Forest Institute Papers 42. University of Oxford. s. 25–55.]
- Gaffney, M.M. 1957. Concepts of financial maturity of timber and other assets. Agricultural Economics Information Series 62. North Carolina State College, Department of Agricultural Economics. Raleigh. 105 s.
- Gustavsen, H. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtiöt. Summary: Finnish volume increment functions. *Folia Forestalia* 331. 37 s. ISBN 951-40-0306-3, ISSN 0015-5543.
- 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valpituuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia Forestalia* 454. 31 s. ISBN 951-40-0479-5, ISSN 0015-5543.
- 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys. Summary: Development of understocked pine and spruce stands. *Folia Forestalia* 796. 29 s. ISBN 951-40-1243-7, ISSN 0015-5543.
- & Fagerström, H. 1983. Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran- och björkbestånd. Summary: The variation of the breast height form factor for pine, spruce and birch stands in Finland. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu. *Folia Forestalia* 576. 32 s. ISBN 951-40-0644-5, ISSN 0015-5543.
- Hämäläinen, J. & Salminen, O. 1984. Eräitä tuloksia Tehdaspuu Oy:n havuumeetsiköiden uudistamisketjuista sekä niiden kustannuksista. Metsäntutkimuslaitos. Konekirjoite. 20 s.
- Häyrinen, I. 1976. Metsiköiden käsittelyohjeet. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 39 s.
- Ivessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. *Acta Forestalia Fennica* 15(4). 94 s. ISSN 0001-5636.
- 1948. Yksityismetsiemme heikkoudet ja niiden korjaaminen. Keskusmetsäseura Tapio, Helsinki. 28 s.
- Johansson, P.-O. & Löfgren, K.-G. 1985. The economics of forestry and natural resources. Blackwell, Oxford. 292 s. ISBN 0-63-114162-6.
- Keskusmetsälautakunta Tapio 1989. Metsänhoitosuositukses. Helsinki. 54 s.
- Kalela, E.K. 1945. Metsät ja metsien hoito. WSOY, Porvoo. 368 s.
- Kilki, P. 1972. Metsikön hakkuuohjelman optimointi. Julkaisussa: Harvennuspuun korjuu. Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunta. SITRA, Helsinki. s. 119–137.
- & Väisänen, U. 1969. Determination of the optimum cutting policy for the forest stand by means of dynamic programming. Seloste: Metsikön optimihakkuuohjelman määrittäminen dynaamisen ohjelmoinnin avulla. *Acta Forestalia Fennica* 102. 23 s. ISSN 0001-5636.
- & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. *Acta Forestalia Fennica* 145. 33 s. ISBN 951-651-020-5, ISSN 0001-5636.
- Koivisto, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 51(8). 49 s. ISSN 0026-1610.
- Kuusela, K. 1956. Hakkuilla käsiteltyjen koivikoiden rakenteesta ja kasvusta. Summary: On the structure and growth of birch stands treated with cuttings. *Silva Fennica* 90(3). 21 s. ISSN 0037-5330.
- 1967. Vajaatuottoisen metsikön käsite valtakunnan metsien inventoinnissa. *Tapio* 1967(4): 67–70. ISSN 0357-7090.
- Mery, G. 1982. Sobre la precision de la estimacion de los incrementos volumetricos de rodales. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 95 s.
- Metsien hoidon ja käsittelyn työryhmän raportti 1985. Metsä 2000 ohjelmajaosto. Talousneuvosto. Helsinki. 113 s. ISBN 951-46-8663-2.
- Metsätaloustieteiden osamietintö II 1981. Komiteamietintö 1981:67. Helsinki. 323 s. ISBN 951-46-4275-9, ISSN 0356-9470.
- Nyysönen, A. 1952. Puiden kasvusta ja sen määrittämisestä harsintamänniköissä. Summary: On tree growth and its ascertainment in selectively cut scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(4). 20 s. ISSN 0026-1610.
- 1954. Hakkuuksilla 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. ISSN 0001-5636.
- 1958. Kiertoaika ja sen määrittäminen. Summary: Rotation and its determination. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 49(6). 87 s. ISSN 0026-1610.
- & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. *Acta Forestalia Fennica* 163. 40 s. ISBN 951-651-038-8, ISSN 0001-5636.
- Partanen, J. 1990. Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitusreaktio ja lannoituksen kannattavuus. Pro gradu -työ. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsäntuotantotiede. 45 s.
- Pesonen, M. & Hirvelä, H. 1992. Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa. Summary: Thinning models based on profitability calculations for southern Finland. *Folia Forestalia* 800. 35 s. ISBN 951-40-1268-2, ISSN 0015-5543.
- Päivinen, R. 1980. Mustikkatyyppien kuusikon kasvattamisen ja uudistamisen edullisuudesta. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsätalouden liiketieteen laitos. 32 s.
- Puun hintasuositussopimukset 1.4.1990–31.3.1991. Maataloustuottajien Keskusliiton Metsävaltuuskunnan ja Teollisuuden Puuyhdistyksen sopimus.
- Saari, E. 1968. Vajaatuottoisen metsikön ja metsämaan käsite. Summary: The notion of reduced yield stands and forest soils. *Silva Fennica* 2(3): 195–209. ISSN 0037-5330.
- Saario, S. 1991. Trendi: yli 70 kuvaa ja taulukkoa pörssikurssien ja niihin vaikuttavien tekijöiden kehityksestä pitkällä tähtäimellä. Summary: Visual perspectives of financial cycles and trends in Finland. Weilin

- + Göös, Hämeenlinna. 161 s. ISBN 951-35-5245-4.
- Samuelson, P.A. 1976. Economics of forestry in an evolving society. *Economic Inquiry* 14: 466–492. ISSN 0095-2583, ISSN 0043-3640.
- Saramäki, J. 1978. Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus. Summary: Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland. *Folia Forestalia* 352. 14 s. ISBN 951-40-0339-X, ISSN 0015-5543.
- Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestamplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 33(1). 268 s. ISSN 0026-1610.
- 1951. Tutkimuksia puolukkatyyppien kuusikoista. Summary: Investigations into the spruce stands of Vaccinium type. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(1). 82 s. ISSN 0026-1610.
- Siitonen, M. 1972. Dynaaminen malli metsikön optimihakkuuohjelman määrittämiseksi. Summary: A dynamic programming model for the determination of the optimal cutting schedule for a forest stand. *Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja* 2. ISSN 0355-1164
- Talousohjelmakomitean osamietintö II 1960. Tuotantopoliittinen ohjelma. Komiteamietintö 1960:9. Helsinki. 150 s.
- Valsta, L. 1986. Mänty- ja rauduskoivusekametsikön hakkuuohjelman optimointi. Summary: Optimizing thinning and rotation for mixed, even-aged pine-birch stands. *Folia Forestalia* 666. 23 s. ISBN 951-40-0751-4, ISSN 0015-5543.
- 1990. A comparison of numerical methods for optimizing even aged stand management. *Canadian Journal of Forestry* 20(7): 961–969. ISSN 0045-5067.
- 1992. An optimization model for Norway spruce management based on individual-tree growth models. Seloste: Kuusikon käsittelyn optimointi puittaisiin kasvumalleihin perustuen. *Acta Forestalia Fennica* 232. 20 s. ISBN 951-40-1263-1, ISSN 0001-5636.
- Vuokila, Y. 1960. Männen kasvusta ja sen vaihtelusta harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. Summary: On growth and its variations in thinned and unthinned Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(7). 38 s. ISSN 0026-1610.
- 1962. The effect of thinnings on the yield of pine and birch stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 55(12). 12 s. ISSN 0026-1610.
- 1967. Eriasteisin kasvutushakkuun käsiteltyjen mäntiköiden 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. ISSN 0026-1610.
- 1971. Harvennuskallit luontaisesti syntyneille mäntiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. *Folia Forestalia* 99. 18 s. ISSN 0015-5543.
- 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. 1 painos. WSOY, Porvoo. 256 s. ISBN 951-0-09916-3.
- & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatuskallit. 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.

*Total of 53 references*

## Summary

### Profitability of growing understocked Scots pine and Norway spruce stands

In Finland society controls stand treatment by rules and statutes. The main emphasis is to keep the forest land in efficient production. One important norm has been linked to the notion of reduced yield stands. The term is from the late 1940's when the forest industry started a rapid expansion and there was concern concerning wood adequacy. The term describes stands in which regeneration is the most urgent measure. Though the notion has both a silvicultural and an economic interpretation (Saari 1968), it is mainly used in the former context. The silvicultural criterion for a stand of reduced yield classification is the low growth level caused by e.g. overmaturity, inferior tree species or sparse growing stock (understocking). The silvicultural content is based on several growth and yield studies. On the other hand, there are only few economic studies.

The reasons for the lack of economic research are: 1) the long time horizon and therefore the uncertainty rela-

ting to the applicability of growth models, 2) scepticism concerning the applicability of economic criteria for purposes of timber growing, and perhaps the most important, 3) the problem of the reduced yield has been understood to be more a question of good silviculture than economics. However, according to Kuusela (1967) and Saari (1968) the problem is especially an economic one, but the economic criteria have been lacking in the operational instructions. The aim of this study is to identify the economic break-even basal areas of stands as a function of stand age and dominant height. The study mainly deals with understocking but also to some extent with overmaturity. The studied tree species are Scots pine and Norway spruce, the two most important tree species in Finland.

The study is based on stand level analysis, although the decision to regenerate a stand ought to be made at the forest level taking into account the goals and the whole



economic situation of a forest owner. However, at the forest level it is not possible to obtain anything but quite trivial invariances because each decision making situation is unique.

The criterion used to decide whether to regenerate a stand is the present value of the future net incomes (NPV). The NPV-calculations were made using 1 and 3 percent interest rates. The study is based on the sales at the stumpage (table 1 and app. 2). Logging costs are omitted. The Finnish Private Forests Act prohibits leaving forest land idle after clear cutting, and so the problem of further growing of an understocked stand can be formulated as the problem of the optimal replacement of an old machine (formula 2.1). The formula 2.1 maximizes the net revenues from the existing stand and the net revenues from the future tree generations i.e. the soil expectation value of cultivated stands calculated according to the Faustmann formula (see table 2). Formula 2.2 presents the continuous version of the problem, of which analytical solution is the trivial one (2.3). However, the in-practice discrete thinnings and nondifferentiable equations with regard to the state variables transformed problem into a dynamic programming one (2.4). Formula 2.4 is presented as a forward recursion problem, but the backward recursion technique could also have been used with some benefit. The solution procedure is made more effective using the neighbourhood storage location method (Brodie & Kao 1979). State variables are volume ( $V_j$ ) and the number of trees ( $N_j$ ) and  $j$  is the stage.

A stand simulator was developed for the evaluation of the long-term consequences of treatment alternatives. The construction of the simulator was based on the stand level models listed in Appendix 1. During the simulation period, the possible actions were thinning, no thinning and clear cutting and the driving equations were the volume growth (Gustavsen 1992) and the dominant height growth (Vuokila & Väliäho 1980). The simulation time varied from 20 to 120 years depending on the initial stand age. The actions were considered to occur at the beginning of each 5-year period.

The minimum basal areas based on the maximization of the net present value varied for pine from 2 to 20 m<sup>2</sup>/ha and for spruce from 3 to 18 m<sup>2</sup>/ha at the 1 % and for both pine and spruce from 0,5 to 8 m<sup>2</sup>/ha at the 3 % interest rate (figs. 1 and 2).

The present norms of the central forestry administration (Central Forestry Board Tapio) were at a much higher level. Taking into account the soil productivity tax that by the year 2006 will be abolished, the break-even basal areas approached the administration's norms (fig. 6). On the other hand, the new Finnish forest taxation system

based on realized income does not affect the comparisons.

The minimum number of trees per hectare corresponding to the basal areas above, were from 250 to 1000 at 1 % and from 50 to 400 at the 3 % interest rate (table 5). The mean diameters of the trees were equivalent to the diameters of the studies by Koivisto (1959) and Vuokila & Väliäho (1980).

The break-even basal areas of the NPV-calculations, figures 1 and 2, were based on assumption that the dominant height-age ratio is equivalent to the normally stocked thinned stands (Koivisto 1959, Vuokila & Väliäho 1980). If the ratio became worse the minimum basal areas went up rather quickly (figs. 3 and 4).

When considering the applicability of the results, it has to take into account that the results were obtained using stand level models that cannot handle the spatial distribution or the random mortality of trees. Both conditions would raise the break-even basal areas. Both the lowest basal areas (below 1 m<sup>2</sup>/ha) and number of trees (below 75 stems/ha) were outside the range of the data upon which the volume growth functions were based. The long time horizon and consequently the long growth projections also caused some uncertainty that might affect on the applicability of the results. The price level was assumed to be constant over time, i.e. the unit prices for returns and costs were stable. In reality, this is not a valid approach because in the long run prices will fluctuate considerably. However, the main sources of uncertainty related to understocked stands were considered to originate from the volume and height growth projections and the distribution of timber assortments. The impacts of these factors, and the rise of soil expectation values were studied applying sensitivity analyses (figs. 5, 9, 10). The sensitivity analyses were made only for the site index  $H_{100-27}$ .

The base results (ch. 4.1) and the sensitivity analyses (ch. 4.2–4.3) showed that the interest rate is the most important factor when defining if a stand is economically of interior return. The present minimum basal area norms based on the growth level were too severe from the business economic point of view. It is often more profitable to grow a fairly sparse stand than to regenerate it although the growth potential of an understocked stand is rather poor (figs. 7 and 8, table 6). In such cases, the current (or the future) value growth of standing timber is greater than the alternative costs from the postponed net revenues of clear cutting and future tree generations. However, the results are not guidelines for thinnings because they deal with already sparse stands and thinning down to that level would always cause economic losses.

**Liite 1.** Puuston kehityksen ennustamisessa ja hakkuupoistumien hinnoittelussa käytetyt kasvu- ja puutavaralajimallit.

**Appendix 1.** *The growth and timber assortment models.*

**a) Tilavuuden kasvumallit - Volume growth models**

Mänty - *Scots pine* (Gustavsen 1992)

$$\ln(I_{VS}) = 0,677325 + 0,37626 \ln(V) + 0,94407 \ln(H_{dom}/T) + 0,24148 \ln(N) + 0,00031 TS$$

Kuusi - *Norway spruce* (Gustavsen 1992)

$$\ln(I_{VS}) = 0,886355 + 0,39222 \ln(V) + 0,89702 \ln(H_{dom}/T) + 0,15689 \ln(N) + 0,00059 TS$$

**b) Valtapituuden kasvumallit - Dominant height increment models**

Mänty - *Scots pine* (Vuokila & Väliäho 1980)

$$P_{H_{dom}} = -0,40006 + 434,52 / (H_{dom}^{0,4} T^{1,1}) - 124,51 / (H_{dom}^{0,4} T^{1,1})^2$$

Kuusi - *Norway spruce* (Vuokila & Väliäho 1980)

$$P_{H_{dom}} = -0,41018 + 616,40 / (H_{dom}^{0,55} T^{1,05}) - 3592,9 / (H_{dom}^{0,55} T^{1,05})^2$$

**c) Muotolukumallit - Form factor models**

Mänty - *Scots pine* (Gustavsen & Fagerström 1983)

$$F_{\bar{H}} = 0,48255 + 0,05941 [3,18 - \ln(\bar{H})]^{1,8} - 0,01387 X$$

Kuusi - *Norway spruce* (Gustavsen & Fagerström 1983)

$$F_{\bar{H}} = 0,49479 + 0,04298 [3,1 - \ln(\bar{H})]^{2,3} - 0,00012 T - 0,00843 X$$

d) Puutavaralajimallit - Timber assortment models

Mänty - Scots pine (Kilkki & Siitonen 1975)

$$S_{\bar{v}} = 100 - \frac{\exp(3,069 - 0,7718 \ln(\bar{v}))}{\sqrt{0,4131 [\ln(\bar{v})]^2 + 1,558 \ln(\bar{v}) + 1,50203} - 0,001735 [\ln(\bar{v}) + 2,816]^4}$$

$$W_{\bar{v}} = \exp(-1,458 - 1,337 \ln(\bar{v}) - 0,2239 \cdot 10^{-7} [0,5386 - \ln(\bar{v})]^{10} - 0,3097 \cdot 10^{-11} [\ln(\bar{v}) + 5,386]^{15}) + 0,2$$

Kuusi - Norway spruce (Kilkki & Siitonen 1975)

$$S_{\bar{v}} = 100 - \frac{\exp(3,228 - 0,7019 \ln(\bar{v}))}{\sqrt{0,3033 [\ln(\bar{v})]^2 + 1,068 \ln(\bar{v}) + 0,9483}}$$

$$W_{\bar{v}} = \exp(-1,290 - 1,298 \ln(\bar{v}) - 0,3521 \cdot 10^{-7} [0,2636 - \ln(\bar{v})]^{10} - 0,3706 \cdot 10^{-12} [\ln(\bar{v}) + 5,256]^{17}) + 0,3$$

**Liite 1.** jatkoa  
*Appendix 1. continued*

**Merkinnät - Symbols**

$I_{V5}$	= tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu - <i>volume growth during the following 5-year period</i> - $m^3/ha/5a$
$P_{Hdom}$	= tulevan 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen valtapituuden kasvuprosentti - <i>mean annual increment percentage of dominant height during the following 5-year period</i> - $\%/a$
$F_H$	= puuston keskipituuteen perustuva muotoluku - <i>form factor determined using mean height</i>
$S_{\%}$	= tukkipuuprosentti - <i>sawtimber percent</i> - $\%$
$W_{\%}$	= hukkapuuprosentti - <i>wastewood percent</i> - $\%$
$V$	= puuston tilavuus - <i>stand volume</i> - $m^3/ha$
$v$	= metsikön puiden keskikoko - <i>mean size of all trees</i> - $m^3$
$H_{dom}$	= metsikön valtapituus - <i>dominant height</i> - $m$
$H$	= metsikön keskipituus - <i>mean height</i> - $m$
$G$	= metsikön pohjapinta-ala - <i>stand basal area</i> - $m^2/ha$
$T$	= metsikön biologinen ikä - <i>biological age of the stand</i> - $a$
$N$	= runkoluku, kpl/ha - <i>number of trees per hectare</i>
$TS$	= lämpösumma - <i>temperature sum</i> - $d.d$
$H_{100}$	= valtapituusboniteetti - <i>site index, dominant height at the age of 100 years</i>
$X$	= dummy muuttuja - <i>dummy variable</i> $X = 1, H_{100} > 25$ $X = 0, H_{100} < 25$

**Liite 2. Kantohintojen korjaustekijät.**  
**Appendix 2. Stumpage price adjustments.**

**Järeyskorjaus**

*The adjustment caused by the average stem size*

Tukkipuu  
Sawtimber

Käyttöosa <i>The usable part of stem</i> m <sup>3</sup>	Korjaus, mk/m <sup>3</sup> <i>Adjustment, FIM/m<sup>3</sup></i>	
	Mänty <i>Pine</i>	Kuusi <i>Spruce</i>
-0.300	-4	-8
0.301-0.400	-2	-4
0.401-0.500	0	0
0.501-0.600	+2	3
0.601-	+4	5

Kuitu

*Pulpwood*

Keskiläpimitta, d <sub>1,3</sub> <i>The average dbh</i> cm	Korjaus, mk/m <sup>3</sup> <i>Adjustment, FIM/m<sup>3</sup></i>	
	Mänty <i>Pine</i>	Kuusi <i>Spruce</i>
7	-25	-30
9	-15	-20
4	-5	-10
13	0	0
15	+5	+10
7	+10	+20
19+	+15	+30

**Tiheyskorjaus**

*The adjustment caused by the volume removed per hectare*

Leimikon tiheys <i>The volume removed</i> m <sup>3</sup> /ha	Korjaus, mk/m <sup>3</sup> <i>Adjustment, FIM/m<sup>3</sup></i>
-30	-8
31-60	-3
61-100	0
101-150	+3
151-	+5





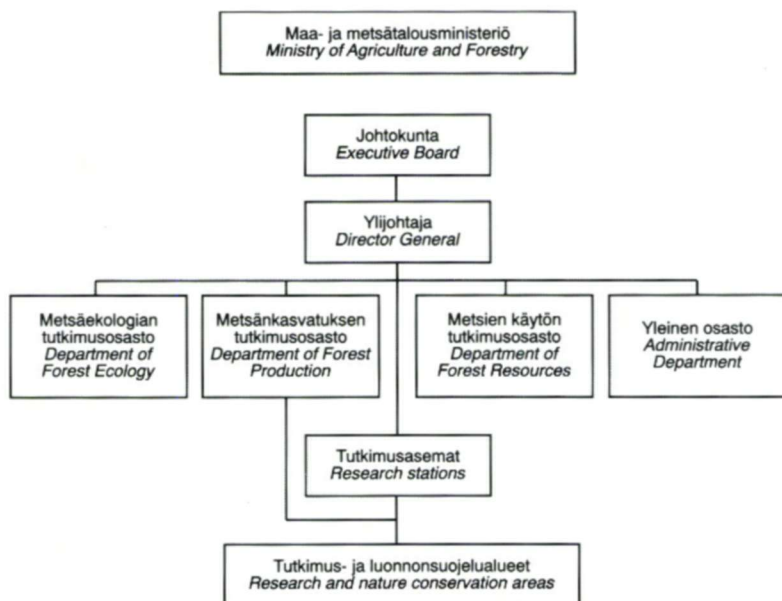








# METSÄNTUTKIMUSLAITOS — THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE



## **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



- 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 Petäjistö, Leena & Selby, J. Ashley: Piensahojen kehittämisedellytykset.  
Small sawmill development possibilities.
- No 796 Gustavsen, Hans Gustav: Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys.  
Development of understocked pine and spruce stands.
- No 797 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula Teuvo: Harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviiljelmällä.  
Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry.
- No 798 Ollonqvist, Pekka & Kajanus, Miika: Metsänomistajan taloudellisten tavoitteiden merkitys metsänuudistamistavan valinnassa.  
Significance of private forest owners' economic goals in the forest stand regeneration decision.
- No 799 Penttinen, Markku: Tulos- ja kustannuslaskentamallien soveltuvuus yhteismetsätalouteen.  
Applicability of profit and cost accounting models to jointly-owned forests.
- No 800 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa.  
Thinning models based on profitability calculations for southern Finland.
- No 801 Mäkinen, Harri & Uusvaara, Olli: Lannoituksen vaikutus männyn oksikuuteen ja puuaineen laatuun.  
Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine.
- 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 mittaukseen.  
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.