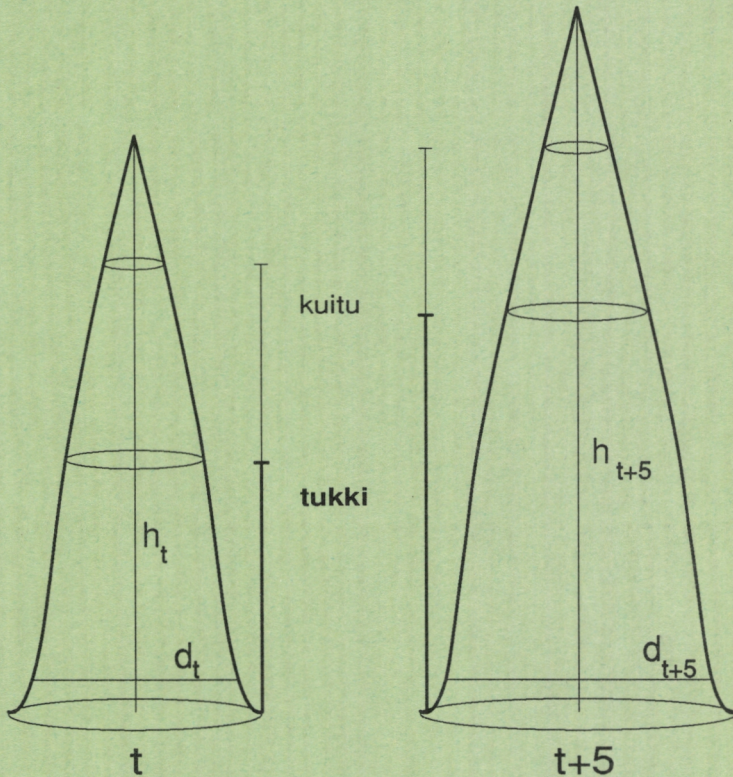


# METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 400



Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
Puuntuotoksen tutkimussuunta



$$iV_k = k/5 * (V_{t+5} - V_t)$$

## PYSTYMITATUN PUUSTON KASVUN LASKENTA PUUN KASVUMALLEILLA

Sauli Valkonen



**METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 400**

**Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
Puuntuotoksen tutkimussuunta**

**Pystymitatun puuston kasvun laskenta puun kasvumalleilla**

**Sauli Valkonen**

**Helsinki 1991**

ISBN 951-40-1190-2  
ISSN 0358-4283  
Valtion painatuskeskus  
Helsinki 1991

## Sisällys

1. Johdanto.....	5
2. Menetelmän periaatteet ja soveltaminen.....	7
3. MELAn kasvumallien soveltaminen.....	9
31. MELAn pääpiirteet.....	9
32. Malleihin tehdyt muutokset.....	11
33. Mallien testaus muutosten jälkeen.....	16
331. Testi INKA-kestokoeaineistossa.....	16
332. Puun iän ja valtaläpimitan estimaattien määrittäminen.....	22
333. Malleilla laskettu tilavuuskasvu PMP- aineistossa.....	23
4. Menetelmän soveltaminen PMP-systeemissä.....	35
5. Päätelmät.....	36
Kirjallisuus.....	39
Liitteet.....	40

## Merkinnät

## Puu

d	= rinnankorkeusläpimitta, cm
d <sub>6</sub>	= läpimitta 6 metrin korkeudella, cm
g	= puun poikkileikkauspinnan ala rinnankorkeudella, cm <sup>2</sup>
h	= pituus, m
I <sub>hx</sub>	= pituuden kasvu x vuoden jakson keskiarvona, m/v
I <sub>dx</sub>	= läpimitan kasvu x vuoden jakson keskiarvona, cm/v
I <sub>d<sub>6</sub>x</sub>	= 6 metrin korkeuden läpimitan kasvu x vuoden jakson keskiarvona, cm/v
I <sub>vx</sub>	= tilavuuden kasvu x vuoden jakson keskiarvona, m <sup>3</sup> /v tai %/v
s	= puulaji
t	= biologinen ikä, v
t <sub>1,3</sub>	= rinnankorkeudelta mitattu ikä, v

## Metsikkö tai koepuualue

D	= pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm
G	= pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha
T	= tilavuudella painotettu keski-ikä, v
DMAX	= VMI-koealan paksuimman puun läpimitta, cm
GMAX	= VMI-koealan paksuimman puun pohjapinta-ala, cm <sup>2</sup>
DMAX95	= koepuualueen runkolukusarjan 95-prosentiili, cm
V	= runkotilavuus, m <sup>3</sup>
I <sub>Vx</sub>	= runkotilavuuden kasvu x vuoden jakson keskiarvona, m <sup>3</sup> /v tai %/v
LS	= jakson 1951-80 keskimääräinen lämpösumma kynnyksarvolla 5 <sup>o</sup> C, d.d.
MT	= kasvupaikkatyyppi, koodit (taulukko 4)
OJI	= ojitustilanne: 0 = ojittamaton kangas, 1 = ojitettu kangas, 2 = ojittamaton suo, 3 = ojikko, 4 = muuttuma, 5 = turvekangas
ETM	= kasvupaikan minimietäisyys mereen (Itämeri), km

## Muita

R<sup>2</sup> = selitysaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin)

MELA-mallien esittelyssä (luku 31) on noudatettu mallin laatijoiden käyttämiä merkintöjä

## 1. Johdanto

Pystymitatun puuston tilavuus kasvaa, jos se pidetään hakkaamatta pystyvarastossa kasvukauden aikana. Leimikoiden koepuualueittaisiin kokonaistilavuuksiin lisätään nykyisessä pystymittaus- ja palkanlaskentasysteemissä (PMP) kasvun arvio kasvuprosenttien avulla. Vuotuiset kasvuprosentit saadaan liitteen 1 mukaisesta taulukosta metsälautakunnan, hakkuutavan, puulajivaltaisuuden ja poistettavan puuston keski-ikä perusteella. Koepuualueen kaikkien puu- ja puutavaralajien kasvuprosentti on menetelmässä yhtä suuri.

PMP-hoitokunta pyysi kesällä 1989 Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosastoa kehittämään parempi kasvunlaskentamenetelmä PMP-systeemin kuutiointiosaan. Se toivoi, että tutkimuksessa otettaisiin huomioon eräiden organisaatioiden arviot nykyisen menetelmän epäluotettavuudesta. Tällaisia tapauksia ovat mm:

- kasvun yliarvio yli-ikäisissä puustoissa
- kasvun aliarvio nuorissa metsissä
- puutavaralajien siirtymiä ei oteta huomioon
- puuston rakenteen ja puiden runkomuodon vaihtelun vaikutusta puun ja sen osien kasvuun ei oteta huomioon.

Metsän kehityksen simulointimalli (MELA) on alun perin suunnittelujärjestelmä, joka on laadittu Metsäntutkimuslaitoksessa suuralueiden pitkän ajan hakkuulaskelmia varten. Tässä tutkimuksessa MELAksi nimitetään valtakunnan metsien 7. inventoinnin (VMI7) aineistoon perustuvaa MELA-versiota. Selostus sen rakenteesta, toiminnasta ja ominaisuuksista on Siitosen (1983) sekä Ojansuun ym. (1991) julkaisuissa .

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on testata MELA-kasvumallien soveltumista kasvun laskentaan PMP-systeemissä. Tarkastelussa selvitetään, mitä muutoksia malleihin on tehtävä, miten muutokset vaikuttavat mallien antamiin tuloksiin sekä millaisia tuloksia malleihin perustuvalla menetelmällä saadaan nykyiseen menetelmään verrattuna. Mallit ohjelmoidaan osaksi PMP-systeemin kuutiointiosaa ja ohjelmien virheettömyys testataan.

Tämä tutkimus on tehty Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosastolla. Tutkimuksessa sovellettiin MMK Risto Ojansuun laatimia ja Ojansuun, MMK Jari Hynysen, MMK Jaana Koivusen ja FK Pirkko Luoman testaamia ja dokumentoimia malleja. Professorit Kari Mielikäinen ja Pekka Kilkki, MMK Risto Ojansuu ja MH Antti Ihalainen lukivat käsikirjoituksen ja tekivät siihen varteenotettuja huomautuksia. Jorma Sevander testasi ohjelman toiminnan. Marja-Liisa Herno piirsi kuvat ja laati taulukot.



## 2. Menetelmän periaatteet ja soveltaminen

Kasvu otetaan nyt laaditussa menetelmässä huomioon lisäämällä kunkin koepuun pituuteen ja läpimitaan malleilla laskettu kasvun ennuste. Kasvu ilmenee PMP-systeemin kuutiointiosan tuloksissa läpimittaluokittaitten yksikkötilavuuksien kasvuna. Lukupuiden runkolukusarjoihin ei näin tarvitse puuttua lainkaan.

Nykyisessä PMP-systeemissä mitataan koepuiden yläläpimitat vain poikkeustapauksissa. Yleensä ne estimoidaan malleilla puun läpimitan ja pituuden sekä metsikköä kuvaavien tunnusten perusteella. MELassa ei ole mallia, jolla voitaisiin ennustaa yläläpimitan kasvua. Sellaisia tapauksia varten, joissa yläläpimitat on mitattu, tutkittiin kuuden metrin korkeudelta mitatun läpimitan ( $d_6$ ) kasvun ennustamista rinnankorkeusläpimitan ( $d$ ) kasvun avulla. Metsäntutkimuslaitoksen *harvoin toistuvat harvennukset* -kestokoeaineistosta (Harkas; Vuokila 1986) laskettiin yläläpimitan kasvun suhde rinnankorkeusläpimitan kasvuun puun tilavuudella painottaen ja viiden vuoden jaksoina ( $I_{d_65} / I_{d5}$ ). Aineisto käsitti 23 koetta, joissa oli 4752 mäntyä ja kuusta. Koepuista 3905 kpl oli mitattu kaksi ja 847 kpl kolme kertaa. Puuston keski-ikä vaihteli 26 - 108 vuoteen. Kasvujen suhde oli keskimäärin 101,7 %. Tulos oli samanlainen kuin Vuokilan (1960) saama. Kuuden metrin korkeudelta mitatun läpimitan kasvu oli hänen tutkimuksessaan 50 - 80-vuotiaissa metsissä lehtomaisella kankaalla keskimäärin 85 - 109 %, tuoreella 102 - 108 % ja kuivahkolla kankaalla 102 - 107 % rinnankorkeusläpimitan kasvusta. Koepuun yläläpimitan kasvun ennusteena käytetään nyt laaditussa menetelmässä rinnankorkeusläpimitan kasvun ennustetta.

Laskennan kulku PMP-systeemin kuutiointiosassa on pääpiirtein seuraava:

Kunkin koepuun rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen lisätään kasvun estimaatti, ja puulle estimoidaan yläläpimitta. Koepuulle lasketaan runkokäyrän yhtälö ja se jaetaan laatuositteiksi. Kaikkien koepuiden runkokäyrät yhdistetään puu- ja runkolajeittaisiksi pituuden ja tilavuuden tasoitusyhtälöiksi. Koepuualueille laaditaan tasoitettujen tilavuuksien ja pölkytystulosten perusteella kuutiointitietorakenteet, joissa on taulukoitu runkolajien laatuositteiden yksikkötilavuudet läpimittaluokittain. Palstojen, lohkojen ja koepuualueiden kokonaistilavuudet lasketaan kertomalla yksikkötilavuudet läpimittaluokkien lukupuiden runkoluvuilla.

Kasvu lisätään läpimittaluokittaisiin yksikkötilavuuksiin seuraavin periaattein: Kuutioinnista ja pölkytyksestä saatavat koepuun tilavuustiedot, joissa kasvu on mukana, sijoitetaan kuutiointitietorakenteissa alkuperäisen läpimittaluokan kohdalle, vaikka puu kuuluisikin jo seuraavaan ylempään läpimittaluokkaan. Läpimittaluokan tasoitetut tunnuksat lasketaan käyttäen läpimittaluokan luokkakeskusta rinnankorkeusläpimittana. Luokkakeskuksen lukuarvoa kasvatetaan malleilla aivan kuten vastaavan kokoisten puiden läpimittoja. Kun läpimittaluokan tasoitetut tunnuksat poimitaan tasoituskäyriltä tämän "kasvatetun" luokkakeskuksen arvon perusteella, niissä otetaan samanaikaisesti huomioon sekä tasoituskäyrien siirtyminen että kuhunkin läpimittaluokkaan kuuluvien puiden läpimitan kasvu. Runkoa ei siirretä toiseen runkolajiin, vaikka sen kasvaneet dimensiot tämän sallisivatkin. Kasvun aiheuttamia siirtymiä runkolajista toiseen ei voida ottaa huomioon laskennallisesti.

### 3. MELAn kasvumallien soveltaminen

#### 31. MELAn pääpiirteet

MELAn kehityssimuloinnin ytimenä ovat puiden syntymisen, kasvamisen ja kuoleamisen mallit. Tässä tutkimuksessa sovellettiin seuraavia MELAn malleja (Ojansuu ym. 1991):

- FUNCTION YIG, puun pohjapinta-alan kasvu
- FUNCTION YIH, puun pituuden kasvu.

Kummankin mallin laadinta-aineisto on kankaiden osalta VMI7:n koepuukoealoista poimittu osite. Siitä on poistettu mm. sekametsät ja veroluokaltaan alentuneet metsät. Soilla läpimitan kasvumalli perustuu ojitettujen soiden inventointiaineistoon (Keltikangas ym. 1986).

Puun pohjapinta-alan kasvu on mallitettu puun tilan, kasvupaikan ja ympäristön kilpailun funktiona. Puun tila kuvataan sen läpimitalla ja iällä. Kilpailu kuvataan metsikön pohjapinta-alan tai koealan paksuimman puun avulla. Pohjapinta-alan kasvumalli on muotoa

$$I_{d5} = \beta_0 (1 + \beta_1 LS)^{\beta_2} (\text{diref} \cdot t^{\beta_3} + \beta_4 d) \quad (\text{kankaat})$$

$$I_{d5} = \beta_{01} \beta_{02} (1 + \beta_1 LS)^{\beta_2} (\text{diref} + \beta_4 d) \quad (\text{suot})$$

missä

$I_{d5}$  = rinnankorkeusläpimitan kasvun ennuste tulevalla 5-vuotiskaudella, cm

LS = lämpösumma, d.d.

diref = puun rinnankorkeusläpimitan kasvu läpimitan ja puuston pohjapinta-alan funktiona, cm

t = puun rinnankorkeusikä, v. Jos ikä < 30 v, niin t = 30 v.

d = puun kuoreton rinnankorkeusläpimita, cm

$\beta_0 \dots \beta_4$  = estimoituja parametrejä,  $b_0$  on estimoitu erikseen metsätyypeittäin

$\beta_{01}$  = estimoitu erikseen korville ja rämeille

$\beta_{02}$  = estimoitu erikseen kaikille ojitustilannekoodin arvoille ojitetuilla soilla.

Pituuden kasvumallit perustuvat valtapuiden pituutta iän mukaisesti estimoivaan funktioon

$$h = A (1 - e^{-k \cdot t}) (1 / (1 - m))$$

missä

$h$  = puun pituus

$t$  = puun rinnankorkeusikä

$k, m$  = mallin parametrejä

$$A = \beta_{mt} (\beta_1 + LS)^{\beta_2} (G/GMAX)^{\beta_3}$$

missä  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  ovat parametrejä ja  $\beta_{mt}$  on metsätyypeittäinen vakio.

Pituuskasvu on mallitettu olettaen, että puut noudattavat tulevassa kehityksessä mallien mukaista kehitystä iän funktiona. Pituuskasvumalli on siten muotoa

$$I_{h5} = h_5 (LS, t_5, g_0, GMAX_0) - h_0 (LS, t_0, g_0, GMAX_0)$$

missä indeksi  $0$  tarkoittaa tilannetta mittausjakson alussa ja  $5$  vuotta myöhemmin.

Soilla pituuskasvun estimaatti lasketaan kankaiden mallilla. Sitä korjataan kertoimilla  $0,6 - 1,0$  ojitustilanteen mukaan.

MELA-mallit on kalibroitu vastaamaan koko VMI7:n aineistosta mitattua koepuiden pohjapinta-alan ja pituuden kokonaiskasvua. Alueellinen harhattomuus on varmistettu metsälautakunnittaisilla korjauskertoimilla.

MELasta otettiin kasvumallien lisäksi aliohjelmat FUNCTION YGBTON ja YGBNEN (liite 3). Niillä muutetaan puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta kuorettomaksi tai päinvastoin. Selittäjinä ovat puun läpimitan lisäksi sen rinnankorkeusikä ja puulaji.

### **32. Malleihin tehdyt muutokset**

MELAn kasvumallien selittävät muuttujat poikkeavat jossain määrin PMP-systeemissä mitattavista ja määriteltävistä puiden ja metsiköiden tunnuksista. MELA-malleihin tehtiin seuraavat muutokset:

1. Simulointiaskeleen eli kasvujakson pituus on MELAssa viisi kasvukautta. PMP:ssä se ilmoitetaan viikon tarkkuudella, ja se voi vaihdella viikosta useaan vuoteen. Malleilla lasketaan aluksi viiden kasvukauden kasvun ennuste, jonka murto-osana saadaan eri pituisten jaksojen kasvu.

2. PMP-systeemissä ei tunneta puun ikää, joka on tärkeä muuttuja kasvufunktioissa. Henttosen (1989) ikämallien sovellutuksella (FUNCTION FAGE) lasketaan kullekin puulle rinnankorkeusiän estimaatti. Malli oli muotoa

$$t_d = f(d, s, D, T, MT, LS, OJI, ETM)$$

jossa

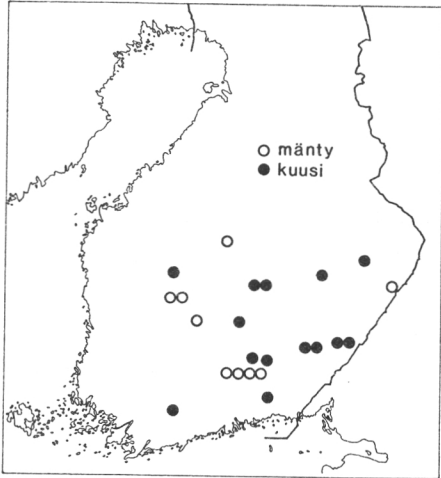
$t_d$  = puun rinnankorkeusikä  
 $d$  = puun rinnankorkeusläpimitta  
 $s$  = puulaji  
 $T$  = puuston keski-ikä  
 $D$  = puuston keskiläpimitta  
 $MT$  = kasvupaikkatyyppi  
 $LS$  = lämpösumma  
 $OJI$  = ojitustilanne  
 $ETM$  = etäisyys mereen.

Mallin selitys ja tarkempi esittely puuttuvat toistaiseksi. Malli antaa keskiläpimittaa pienemmille puille keski-ikää pienemmän iän ja sitä suuremmille puille suuremman iän.

3. Kasvupaikkaluokittelun yksinkertaistamiseksi soilla käytetään vain kahta ravinteisuustasoa: korvilla tasoa 3 (suursaraiset ja mustikkaiset suot) ja rämeillä tasoa 4 (piensaraiset ja puolukkaiset suot).

4. MELA-mallien muuttujaa, koealan paksuimman puun läpimitta (DMAX), ei voida selvittää pystymitatusta aineistosta. Sen tilalla käytetään koepuualueen runkolukusarjan 95-prosentiilia eli läpimittaa, jota suurempia puita on runkolukusarjassa 5 % (DMAX95).

5. PMP:ssä mitatut puut ovat poistettavia eli ilmeisesti keskimääräistä hidaskasvuisempia. MELA-mallien antamaa kasvun arviota on pienennettävä etenkin alaharvennusleimikoissa. Koska tutkimustieto PMP-leimikoiden kasvun tasosta puuttui, kasvun arviota oli pienennettävä korjauksella.



Kuva 1. Tutkimuksessa käytettyjen HARKAS-kokeiden sijainti.

VMI7:n aineistossa kiireellisesti uudistettavien uudistuskypsien metsiköiden kasvuprosentti oli n. 90 - 95 % kaikkien uudistuskypsien metsiköiden kasvuprosentista metsälautakunnittain. Lämpimän ja pituuden kasvu kerrotaan nyt laaditussa menetelmässä arvolla 0,9.

Lihtonen (1943) tutki harvennushakkuussa jäävien ja poistettavien puiden kasvua Etelä-Suomessa tuottohakkuulaskelmaa varten. Puuston keski-ikä vaihteli 35 - 100 v:een. Poistettavien puiden tilavuuskasvuprosentin suhde koko puuston tilavuuskasvuprosenttiin oli keskimäärin 0,75 (keskihajonta 0,12 ja koealoittaisen keskiarvon vaihteluväli 0,55 - 0,93).

Alaharvennuksessa poistettavien puiden läpimitan ja pituuden kasvun suhdetta koko puuston vastaaviin kasvuihin tutkittiin METLAN harvoim toistuvat harvennukset-kestokokeiden (HARKAS) aineistossa. Kokeita on kaikkiaan 57 (Vuokila 1986), joista poimittiin satunnaisesti 23 koetta (kuva 1). Niiden perusteella laadittiin mallit, joita käytetään korjaustekijöinä alaharvennusleimikoissa. Mallit ovat muotoa:

$$SU = \frac{1}{a + e^{b*d} + c*D}$$

jossa

SU = poistettavien puiden läpimitan tai pituuden kasvun suhde läpimittaluokan kaikkien puiden vastaavaan kasvuun

d = puun rinnankorkeusläpimitta

D = pohjapinta-alalla painotettu poistettavien puiden keskiläpimitta

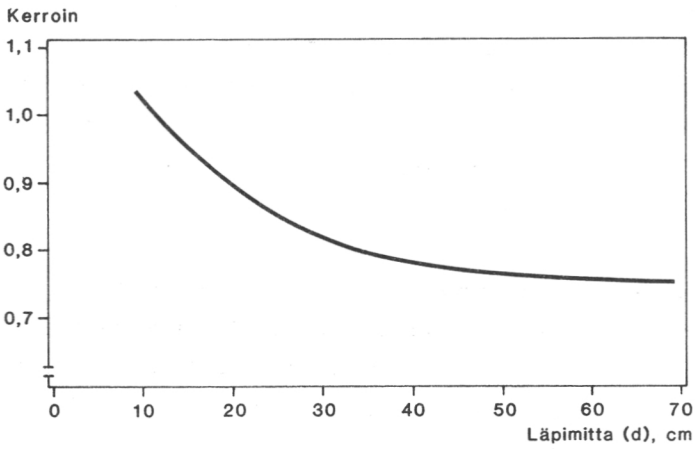
a,b,c = mallin parametreja

Läpimitan ja pituuden kasvun korjausmalleille estimoitiin parametrit erikseen:

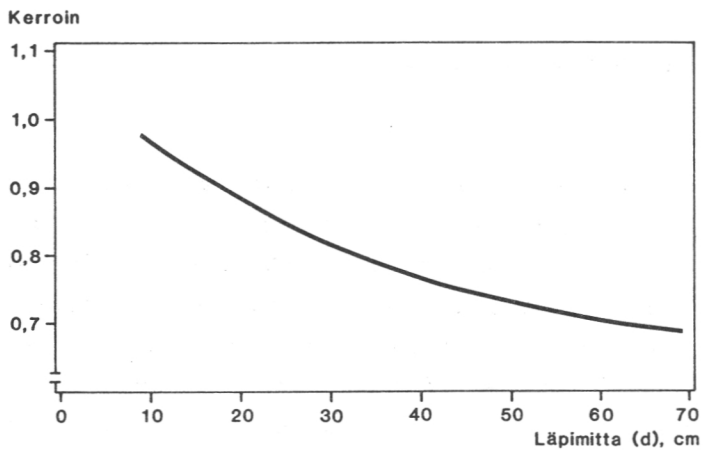
Malli	Selitettävä muuttuja	d:n kerroin	D:n kerroin	R <sup>2</sup>
Läpimitta	ln((1/SU)-0,65)	0,0430027	0,165776	0,42
Pituus	ln((1/SU)-0,75)	0,0807981	0,0098602	0,71

Aineiston 27 cm:ä suuremmissa läpimittaluokissa oli erittäin vähän poistettavia puita. Korjauskerroin asetettiin lähestymään suurissa läpimittaluokissa asympotoottisesti arvoja 0,65 (läpimittamalli) ja 0,75 (pituusmalli). Residuaalien tarkastelussa ei havaittu systemaattista virhettä puun läpimitan suhteen. Esimerkki mallien muodosta on esitetty kuvassa 2. Mallit antavat pienimmillä läpimittaluokilla (7 ja 9 cm) 1,00:aa suurempia arvoja, jos keskiläpimitta on pieni. Aineiston pienimmät poistettavat puut olivat kasvaneet yhtä nopeasti kuin kaikki puut keskimäärin. Tämä johtui siitä, että pienimmistä läpimittaluokista poistettiin alaharvennuksessa lähes kaikki puut. Korjauskertoimen maksimiarvoksi asetettiin siten 1,0.





Kuva 2a. Mallilla laskettu pituuden kasvun korjauskerroin läpimittaluokittain harvennuspuustossa, jonka keskiläpimitta on 19 cm.



Kuva 2b. Mallilla laskettu rinnankorkeusläpimitan korjauskerroin läpimittaluokittain harvennuspuustossa, jonka keskiläpimitta on 19 cm.

Päättehakkuiden ja kasvatushakkuiden korjauskertoimien käytön vaikutusta leimikon tilavuuskasvuprosenttiin tutkittiin taulukossa 6 esitetyissä testileimikossa. Leimikoiden keskimääräinen tilavuuskasvuprosentti oli korjauskertoimia käytettäessä 91,5 % korjaamattomasta tilavuuskasvuprosentista.

6. Muuttujien *lämpösumma* (LS) ja *etäisyys mereen* (ETM) estimaatteina käytetään niiden kunnittaisia keskiarvoja, jotka on laskettu kuntaan sattuneiden VMI7:n koealojen perusteella. Todellinen muuttujien arvo voi poiketa selvästi keskiarvosta Pohjois-Suomen laajojen kuntien eri osissa.

7. Alkuperäisessä MELAssa metsikön puuston pohjapinta-ala lasketaan koealan puista. PMP-sovelluksessa käytetään koepuualueen keskimääräistä puuston pohjapinta-alaa.

### **33. Mallien testaus muutosten jälkeen**

#### **331. Testi INKA-kestokoeaineistossa**

Mallien testaamisella haluttiin saada selville olivatko muutokset vaikuttaneet niiden luotettavuuteen. Metsäntutkimuslaitoksen talousmetsien INKA-kestokoeaineistosta (Gustavsen ym. 1988) poimitun otoksen puille laskettiin läpimitan ja pituuden kasvun ennusteet, ja niitä verrattiin mitattuihin kasvuihin. Saatuja tuloksia verrattiin Ojansuun ym. (1991) suorittaman testin tuloksiin.

Otos poimittiin niiltä kankaiden koealoilta, joita ei oltu käsitelty mittausten välillä. Kehitysluokan tuli olla kasvatusmetsä tai uudistuskypsä. Aineistoon ei sisältynyt vajaatuottoisia metsiä. Aineistosta poimittiin

systemaattinen otos kiintiömällä puun tilavuuden suhteen. Pohjois-Suomessa käytettiin lisäksi painokerrointa 0,5, koska siellä on selvästi enemmän koealoja kuin Etelä-Suomessa puuston tilavuutta tai toteutunutta hakkuumäärää kohti. Keskimäärin joka viides puu tuli otokseen. Otanta poikkesi Ojansuun ym. (1991) soveltamasta otannasta siinä, että tässä ei tehty optimaalista kiintiöintiä puulajin ja alueen mukaan.

Aineistossa tunnettiin koepuiden läpimitta ja pituus viiden vuoden jakson alussa ja lopussa. Niiden erotuksena laskettiin kasvut. Residuaali oli mallilla saadun estimaatin ja mitatun tunnuksen erotus ( $\hat{y} - y$ ). Käytettyjä tunnuslukuja:

$n$  = havaintojen lukumäärä

$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \hat{y} / n$  ennusteen keskiarvo

$b = \sum_{i=1}^n (\hat{y} - y) / n$  ennusteen harha

$RMSE^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y} - y)^2 / n$  ennusteen keskineliöpoikkeama

$bs(x) = b/\bar{y}$  ennusteen suhteellinen harha  
 (h) = pituuskasvussa  
 (d) = läpimitan kasvussa

$RMSEs = RMSE/\bar{y}$  ennusteen suhteellisen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri

Mallit aliarvioivat testiaineistossa läpimitan kasvua selvästi. Suhteellinen ero ( $bs(d)$ ) oli keskimäärin -11,7 %. Pituuskasvussa aliarvio oli pienempi:  $bs(h)$  oli keskimäärin -1,4 % (taulukko 1, a-c). Tilavuuskasvun aliarvio oli siten samaa suuruusluokkaa kuin Ojansuun ym. (1991) saama 8,7 %.

Taulukko 1a. Puuston pituuden kasvun ennusteen keskimääräisiä luotettavuustunnuksia INKA-aineistossa.

Puulaji	n m	y m	b	bs (h) %	RMSE	RMSEs %
Mänty	955	0,820	0,029	3,7	0,175	22,1
Kuusi	703	0,930	-0,095	- 9,3	0,284	27,7
Rauduskoivu	79	0,899	0,158	21,3	0,293	39,5
Hieskoivu	35	0,928	0,153	19,8	0,237	30,6
Yht.	1772	0,869	-0,012	- 1,4	0,225	25,5

Taulukko 1b. Puuston läpimitan kasvun ennusteen keskimääräisiä luotettavuustunnuksia INKA-aineistossa.

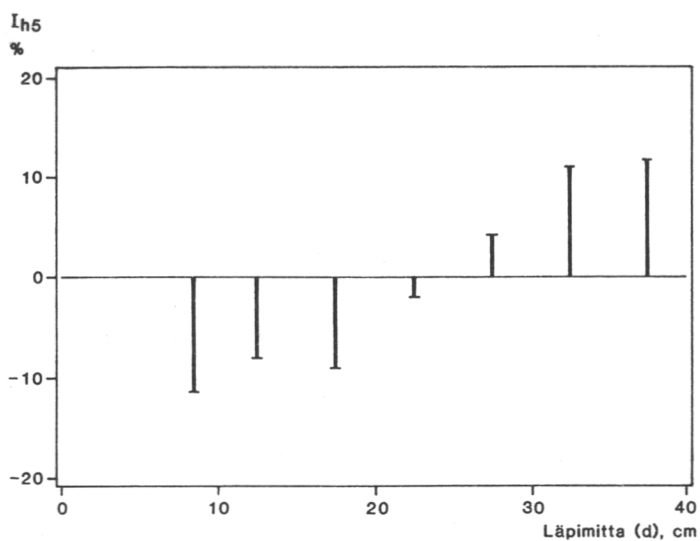
Puulaji	n	y cm	b cm	bs (d) %	RMSE	RMSEs %
Mänty	955	1,083	-0,113	- 9,5	0,352	29,4
Kuusi	703	1,365	-0,205	-13,1	0,466	29,7
Rauduskoivu	79	1,242	-0,292	-19,0	0,606	39,5
Hieskoivu	35	0,968	-0,194	-16,6	0,381	32,7
Yht.	1772	1,200	-0,160	-11,7	0,410	30,1

Taulukko 1c. Puuston pituden ja läpimitan kasvun suhteellinen harha (bs(h) ja bs(d)) INKA-aineistossa metsälautakunnittain.

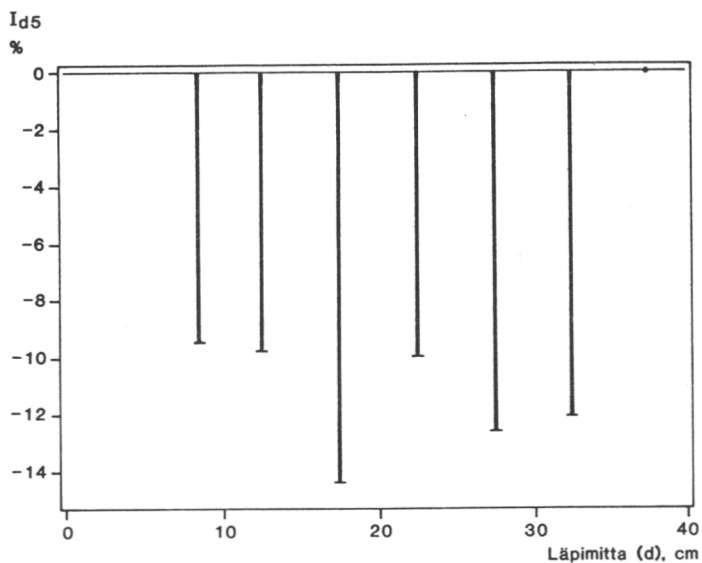
Mla	n	y	I <sub>h5</sub>	bs(h)	y	I <sub>d5</sub>	bs(d)	
		m	m	%	cm	cm	%	
1	87	1,006	0,290	40,5		1,160	-0,482	-29,3
2	153	1,016	0,105	11,5		1,296	-0,276	-17,5
3	26	1,108	-0,027	- 2,4		1,420	-0,207	-12,7
4	100	0,876	-0,264	-23,1		1,420	-0,384	-22,3
5	114	0,836	0,181	27,6		1,334	-0,151	-10,3
6	117	1,015	0,198	24,2		1,498	-0,315	-17,3
7	105	0,920	-0,006	- 0,6		1,203	-0,097	- 7,5
8	61	1,039	-0,192	-15,6		1,367	-0,564	-29,2
9	34	0,919	-0,072	- 7,3		1,188	0,000	0,0
10	119	0,807	-0,099	-10,9		1,188	-0,173	-12,7
11	177	1,125	-0,003	- 0,3		1,488	-0,212	-12,5
12	95	0,963	-0,012	- 1,2		1,248	0,113	9,9
13	61	0,933	0,047	5,3		1,220	0,014	1,2
14	49	1,124	-0,100	- 8,2		1,234	-0,047	- 3,7
16	215	0,519	-0,093	-15,2		0,807	0,031	4,0
17126	0,696	0,000	0,0	0,981		-0,015	- 1,5	
1871	0,574	-0,284	-33,1	0,883		-0,114	-11,4	
19	65	0,608	-0,136	-18,2		1,036	-0,077	- 6,9
Yht.	1775	0,869	-0,012	- 1,4		1,200	-0,160	-11,7

Mla = Metsälautakunta:

- |                   |                     |                       |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. Helsinki       | 8. Etelä-Karjala    | 16. Kainuu            |
| 2. Lounais-Suomi  | 9. Itä-Savo         | 17. Pohjois-Pohjanmaa |
| 3. Satakunta      | 10. Pohjois-Karjala | 18. Koillis-Suomi     |
| 4. Uusimaa-Häme   | 11. Pohjois-Savo    | 19. Lappi             |
| 5. Pirkanmaa-Häme | 12. Keski-Suomi     |                       |
| 6. Itä-Häme       | 13. Etelä-Pohjanmaa |                       |
| 7. Etelä-Savo     | 14. Vaasa           |                       |



Kuva 3a. Puun pituuden kasvun ja mallin antaman pituuden kasvun ero, % pituuden kasvusta, INKA-aineistossa.



Kuva 3b. Puun läpimitan kasvun ja mallin antaman läpimitan kasvun ero, % läpimitan kasvusta, INKA-aineistossa.

Muutetut mallit aliarvioivat pieniläpimittaisten puiden pituuskasvua ja yliarvioivat sitä suuriläpimittaisilla puilla (kuva 3a). Pituuskasvun suhteellisen eron riippuvuudelle läpimitasta estimoitiin regressiosuora

$$bs(h) = -0,01329 + 0,0004941 * d, R^2 = 0,19.$$

Männylle saatiin pieni ja koivulle suuri keskimääräinen yliarvio, kuuselle aliarvio (taulukko 1a). Alueelliset erot olivat suuria (taulukko 1c). Läpimitan kasvun ennusteen suhteellinen virhe ei korreloinut läpimitan kanssa ( $R^2 = 0,005$ , kuva 3b). Mitattu kasvu vaihteli testiaineistossa voimakkaammin kuin mallien antamat kasvun ennusteet. Koealojen välisen varianssin osuus kokonaisvariانسsista oli mallin estimaattien variانسsissa suurempi kuin mitattujen kasvujen variانسsissa (taulukko 2). Residuaalin  $bs(h)$  ja  $bs(d)$  variانسsista selvästi suurin osa oli koealojen sisäistä. Mallit estimoivat näin metsiköiden välisiä kasvueroja paremmin kuin yksittäisten puiden välisiä eroja.

Taulukko 2. Mitattujen ja laskettujen kasvujen sekä residuaalin variانسsikomponenttien estimaatit INKA-aineistossa.

Para- Variaatio- metri	Keski- arvo	Variانسsikomponentit		Kokonais- variانسsi	kerroin
		Koealojen välinen	Koealojen sisäinen		
$I_{d5}$ -mit.	1,36	0,164	0,382	0,546	0,54
$I_{d5}$ -malli	1,20	0,090	0,049	0,130	0,31
$I_{h5}$ -mit.	0,88	0,134	0,206	0,340	0,66
$I_{h5}$ -malli	0,87	0,068	0,063	0,131	0,42
$bs(h)$	0,01	0,060	0,164	0,224	47,32
$bs(d)$	0,16	0,071	0,313	0,384	3,87

Testissä käytetty INKA-koepuuaineisto poikkeaa ilmeisesti PMP-koepuuaineistosta. INKA-aineistossa on koealoja normaaleissa, kehittämiskelpoisissa metsissä vaihdellen taimikoista hakkuukypsiin metsiin. Yli-ikäisiä tai vajaatuottoisia metsiköitä ei ole ollenkaan. PMP:ssä metsiköiden ikä on vähintään 40 - 50 v, mutta keskimäärin selvästi tätä suurempi. PMP-leimikoiden pienet puut ovat ilmeisesti vanhempia kuin samankokoiset puut INKA-koealoilla, ja ne kuuluvat todennäköisemmin alempiin latvuskerrokseen kuin INKAN samankokoiset puut. Näin ollen mallien tuleekin antaa tilavuuskasvun aliarvioita INKA-aineistossa etenkin pienille puille.

### **332. Puun iän ja valtaläpimitan estimaattien määrittäminen**

Puun ikämallin vaikutusta kasvun arvioihin testattiin INKA-aineistossa. Kasvun estimaatteja, jotka oli saatu käyttämällä ikämallilla laskettuja puun rinnankorkeusikiä verrattiin estimaatteihin, jotka saatiin kun metsikön jokaisen puun iäksi asetettiin niiden keskimääräinen rinnankorkeusikä. Metsiköittäiset kasvun aliarviot pysyivät ennallaan. Pieniläpimittaisille puille saatiin ilman ikämallia pienempiä ja suurille suurempia kasvun estimaatteja kuin ikämallia käytettäessä.

Mallin herkkyyttä virheelle valtaläpimitan (DMAX95) määrittämisessä testattiin antamalla valtaläpimitalle todellista pienempiä ja suurempia arvoja. Keskimääräinen virhe kasvun arvioissa INKA-aineistossa, jos DMAX95:n määrittämisessä tehdään yhden läpimittaluokan (2 cm) virhe, on esitetty taulukossa 3. Virhe ei ollut suuri, koska kahden läpimittaluokan (4 cm) kokoista virhettä ei synny helposti, kun DMAX95 lasketaan koepuualueen runkolukusarjasta.



Taulukko 3. Keskimääräinen virhe mallilla lasketuissa kasvun arvioissa, jos DMAX:n määrittämisessä tehdään yhden läpimittaluokan (2 cm) aliarvio (INKA-aineisto).

d	Pituuden kasvu* (I <sub>h5</sub> )	Läpimitan kasvu* (I <sub>d5</sub> )
Keskimääräinen virhe, %		
- 15	+ 3,3	+ 2,7
16 - 25	+ 3,9	+ 5,4
26 - 35	+ 1,9	0
36 - 45	+ 1,9	-

\* DMAX oli muuttujana pituuden kasvumalleissa koko maassa, läpimitan kasvumalleissa vain Lapissa, Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakunnissa.

### 333. Malleilla laskettu tilavuuskasvu PMP-aineistossa

PMP-leimikoiden todellisia kasvutietoja ei ollut saatavissa. Testissä voitiin ainoastaan laskea koepuualueittaiset kasvun ennusteet malleihin perustuvalla menetelmällä ja verrata niitä nykyisessä menetelmässä käytettyihin. Samalla voitiin todeta ohjelmien virheetön toiminta.

Valtion tietokonekeskukseen laskettaviksi toimitetuista leimikoista otettiin 35 leimikon näyte. Poiminta ei ollut satunnainen, vaan näytteen haluttiin edustavan tasapuolisesti puun ostajia ja korjaajia sekä maan eri osia. Leimikoiden yleistiedot on esitetty taulukossa 4 ja vertailu taulukossa 5. Nykyisessä menetelmässä kaikkien runkolajien ja laatuosien tilavuuskasvuprosentti on vakio 40 v:n laajuisten ikäluokkien sisällä (liite 1).

Taulukko 4. Testileimikoiden yleistiedot

Leimikko (koe- puu- alue)	Metsä- lauta- kunta	Kasvu- paikka- tyyppi	Keski- ikä v	Pää- puu- laji	Pohja- pinta- ala m <sup>2</sup> /ha	Hakkuu- tapa	
1	15	4	160		1	25	1
2	17	3	170		2	15	1
3/1	5	4	125		1	16	1
3/2	5	4	110		2	25	1
4	7	3	100		1	20	1
6	4	3	100		2	26	1
7/1	12	3	70		2	28	2
7/2	12	3	90		2	15	1
8	11	3	60		2	27	2
9	9	3	85		1	19	1
10	13	4	85		1	40	1
11	3	3	70		2	25	2
12/3	12	4	75		1	24	2
13/1	5	3	115		1	34	1
13/2	5	3	60		1	29	2
14/1	3	3	85		2	32	1
14/2	3	3	60		2	30	2
15/1	3	3	90		2	27	1
15/2	3	3	60		2	28	2
16	2	3	55		2	27	2
17	12	3	77		1	27	2
18	6	3	70		2	24	2
19	6	3	80		2	35	2
20	6	2	70		2	26	2
21	6	3	90		2	30	1
22	6	4	90		1	23	1
23	8	4	100		1	32	1
24	8	4	80		1	28	2
25	8	4	60		1	30	2
26	8	4	90		1	24	1
27	8	3	105		1	24	1
28	8	3	90		2	30	1
29	10	2	55		2	28	2
30	11	3	70		1	28	2
31	7	3	45		2	25	2
32/1	7	5	70		1	16	2
32/2	7	4	70		1	27	2
33	9	2	55		2	34	2
34	9	3	80		2	33	2
35	12	3	90		2	28	2
36/1	12	3	70		1	28	2
36/2	12	3	70		2	30	2
37	4	3	70		2	28	2

## Metsälautakunta:

- |                   |                     |                       |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. Helsinki       | 8. Etelä-Karjala    | 15. Keski-Pohjanmaa   |
| 2. Lounais-Suomi  | 9. Itä-Savo         | 16. Kainuu            |
| 3. Satakunta      | 10. Pohjois-Karjala | 17. Pohjois-Pohjanmaa |
| 4. Uusimaa-Häme   | 11. Pohjois-Savo    | 18. Koillis-Suomi     |
| 5. Pirkanmaa-Häme | 12. Keski-Suomi     | 19. Lappi             |
| 6. Itä-Häme       | 13. Etelä-Pohjanmaa |                       |
| 7. Etelä-Savo     | 14. Vaasa           |                       |

Kasvupaikkatyyppi  
(kankaat):

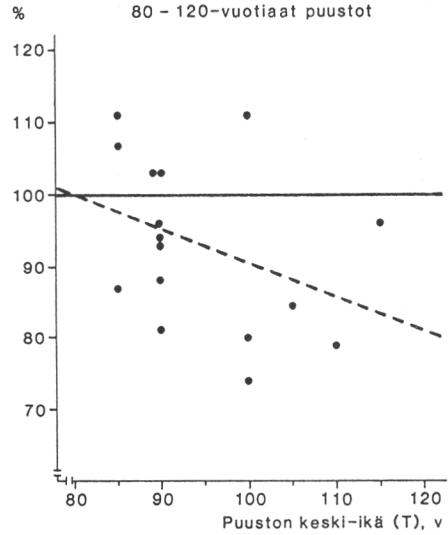
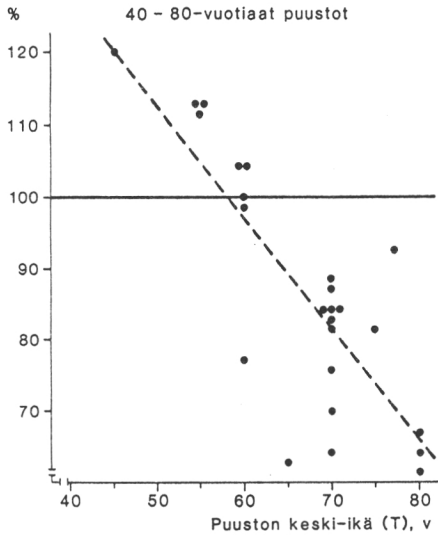
1. Lehto
2. Lehtomainen kangas
3. Tuore kangas
4. Kuivahko kangas
5. Kuiva kangas

## Pääpuulaji:

1. Mänty
2. Kuusi

## Hakkuutapa:

1. Uudistus
2. Kasvatus



Kuva 4. Malleilla lasketun koepuualueittaisen tilavuuskasvuprosentin suhde PMP-ohjeen taulukkoarvoon testileimikoissa ja vastaava regressiosuora.

Taulukko 5. Malleilla laskettu ja nykyisen PMP-ohjeen mukainen yhden kasvukauden tilavuuskasvuprosentti testileimikoissa.

Leimikko	Tilavuuskasvuprosentti ( $I_{V1}$ )	
	Nykyinen	Malli
Uudistusleimikot / -koepualueet		
1	1,9	2,1
2	1,8	1,5
3/1	2,1	2,0
3/2 ja 3	2,2	2,8
4	3,0	2,7
6	2,4	3,0
7/2	2,6	2,8
9	3,0	2,7
10	2,0	2,3
13/1	2,5	2,6
14/1	3,1	2,9
15/1	3,1	2,9
21	2,4	2,8
22	2,6	2,7
23	1,9	2,6
26	2,1	2,6
27	2,2	2,6
28	3,0	2,9
Harvennusleimikot / -koepualueet		
7/1	3,9	4,4
8	4,4	4,4
11	3,7	4,5
12/3	3,5	4,3
13/2	4,2	4,3
14/2	4,7	4,5
15/2	4,7	4,5
16	5,1	4,5
17	4,0	4,3
18	3,8	4,6
19	2,8	4,6
20	3,9	4,6
24	2,8	4,3
25	3,3	4,3
29	4,9	4,4
30	3,6	4,3
31	5,5	4,6
32/1	3,4	3,9
32/2	3,0	3,9
33	5,2	4,6
34	3,1	4,6
35	2,9	3,1
36/1	3,0	4,3
36/2	3,7	4,4
37	3,0	4,6

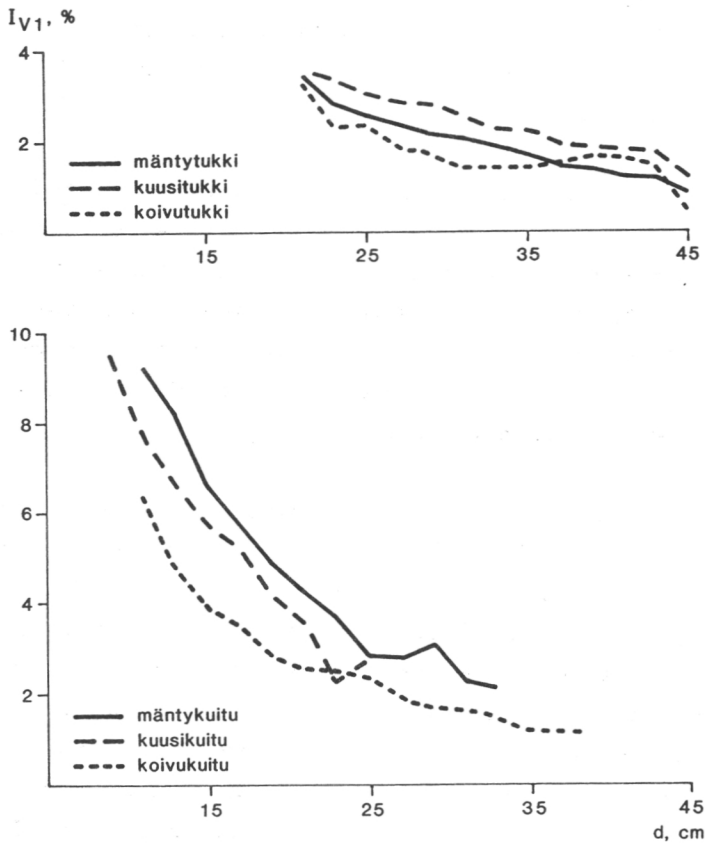
Kuvasta 4a ilmenee, että ikäluokassa 40 - 80 v malleilla laskettu ja nykyisen menetelmän mukainen kasvuprosentti olivat keskimäärin yhtä suuret luokan keskellä eli n. 60 v:n ikäisissä puustoissa. Vanhemmissa puustoissa mallit antoivat luokan sisällä nykyohjeen mukaista pienemmän ja sitä nuoremmassa suuremman kasvuprosentin. Koska testiaineistossa oli selvästi enemmän 60 - 80-vuotiaita kuin 40 - 60-vuotiaita koepuualueita, koko ikäluokan keskimääräinen kasvuprosenttien suhde (malli/nykyinen menetelmä) jäi 87 %:iin.

80 - 120-vuotiaissa puustoissa malleilla lasketun tilavuuskasvuprosentin keskiarvo oli 93 % nykyohjeen mukaisesta (kuva 4b). Yli 120-vuotiaista puustoista oli vain kolme koepuualuetta. Malleilla laskettu kasvu oli 105 % nykyisen ohjeen mukaisesta.

Tilavuuskasvun arvioiden eroja tutkittiin kymmenessä leimikossa runkolajeittain. Kasvuprosentti pieneni yleensä tasaisesti läpimitan kasvaessa; esimerkki tästä on esitetty kuvassa 5. Poikkeamia esiintyi lukupuiden maksimiläpimittaa suuremmissa ja minimiläpimittaa pienemmissä läpimitaluokissa, joissa käytetään normaalista poikkeavaa tilavuuden tasoituskäyrää.

Malleilla estimoidun läpimitan ja pituuden kasvun vaikutus puutavaralajeittaisiin tilavuuskasvuprosentteihin riippuu puuston runkomuodosta ja rakenteesta sekä annetuista pölkytysparametreista. Jos päättymiskorkeuksia ei oltu annettu, kuidun ja latvan osuus kasvoi suhteellisesti vähemmän tai se pieneni. Niissä runkolajeissa, joissa suurelle osalle rungoista oli määritetty tukkiosan päättymiskorkeuksia, kuidun ja latvan osuus kasvoivat järeiden puutavaralajien osuutta voimakkaammin (taulukko 6). Tällaisissa tapauksissa koko päättymiskorkeuden ylitt-

tävä osa menee kuiduksi. Tukkiosan tilavuuden lisäys muodostuu silloin pelkästään tukkipölkkyjen läpimittojen kasvusta. Päätymiskorkeus annetaan vain silloin kun järeän laatuluokan osa rungosta päättyy vian alapuolelle.



Kuva 5. Tilavuuskasvuprosentin riippuvuus puun koosta runkolajeittain leimikossa nro 9.

Taulukko 6. Runkopuun ja järeiden puutavaralajien yhden kasvukauden tilavuuskasvu runkolajeittain testileimikoissa.

Runkolaji	Alku- tilavuus m <sup>3</sup>	Tilavuuskasvu	
		m <sup>3</sup>	%
<u>Leimikko 1 (Pyhäsalmi)</u>			
11 MÄT			
Tukki	167,6	5,2	3,1
Kuitu + latva	68,8	- 1,3	- 1,9
Yht.	236,3	3,9	1,6
12 MÄK	107,3	2,6	2,4
22 KUK	0,6	0,0	3,1
31 KOT			
Tukki	2,6	0,1	4,2
Kuitu + latva	1,0	- 0,0	- 2,0
Yht.	3,6	0,1	2,5
32 KOK	8,8	0,4	4,1
Kaikkiaan	357,0	6,9	1,9
<u>Leimikko 2 (Taivalkoski)</u>			
11 MÄT			
Tukki	607,8	5,1**	0,8**
Kuitu + latva	265,6	3,0	1,1
Yht.	873,5	8,1	0,9
12 MÄK	436,7	5,3	1,2
21 KUT			
Tukki	2708,8	44,5**	1,6**
Kuitu + latva	1176,1	17,0	1,4
Yht.	3902,6	61,5	1,6
22, 26 KUK	4544,0	90,3	2,0
32 KOK	2355,0	55,3	2,4
86 KELO	50,9	0,0	0,0
Kaikkiaan	12162,5	220,5	1,8

Leimikko 3 (Kuru)  
Koepuualue 1

11 MÄT			
Tukki	3799,8	104,4	2,8
Kuitu + latva	<u>608,1</u>	<u>- 15,9</u>	<u>- 2,6</u>
Yht.	4407,9	88,5	2,0
12 MÄK	229,7	7,6	3,3
13 MÄ			
Tukki	8,0	0,5	5,9
Pikkutukki	157,5	5,8	3,7
Kuitu + latva	<u>32,0</u>	<u>- 0,1</u>	<u>- 0,3</u>
Yht.	197,4	6,2	3,1
21 KUT			
Tukki	1031,5	21,9	2,1
Kuitu + latva	<u>123,6</u>	<u>- 0,5</u>	<u>- 0,4</u>
Yht.	1155,1	21,3	1,8
22, 23, 26 KUK	136,4	4,4	3,2
31 KOT			
Tukki	9,7	0,2*	1,5*
Kuitu + latva	<u>2,7</u>	<u>0,0</u>	<u>1,1</u>
Yht.	12,4	0,2	1,4
32 KOK	46,2	1,5	3,2
Kaikkiaan.	6185,0	129,6	2,1

Koepualueet 2 ja 3

11 MÄT			
Tukki	919,1	17,6	1,9
Kuitu + latva	<u>96,3</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>
Yht.	1015,4	18,5	1,8
12, 13 MÄK	12,6	0,3	2,6
21 KUT			
Tukki	1908,4	42,2	2,2
Kuitu + latva	<u>259,6</u>	<u>5,5</u>	<u>2,1</u>
Yht.	2168,0	47,7	2,2
22, 26 KUK	168,3	5,5	3,3
23 KU			
Tukki	0,0	-	-
Pikkutukki	114,0	3,8	3,3
Kuitu	<u>26,1</u>	<u>0,1</u>	<u>0,4</u>
Yht.	140,1	3,9	2,8



31 KOT			
Tukki	105,8	1,5**	1,4**
Kuitu + latva	<u>63,3</u>	<u>3,1</u>	<u>4,9</u>
	169,0	4,6	2,7
32 KOK	54,1	1,4	2,6
Kaikkiaan	3727,4	81,9	2,2

Leimikko 4 (Pertunmaa)

11 MÄT			
Tukki	197,4	6,9	3,5
Kuitu + latva	<u>48,3</u>	<u>- 0,5</u>	<u>- 1,0</u>
Yht.	246,5	6,4	2,6
12 MÄK	52,6	2,1	4,0
21 KUT			
Tukki	99,5	2,8	2,8
Kuitu + latva	<u>21,6</u>	<u>0,7</u>	<u>3,0</u>
Yht.	121,0	3,5	2,9
22, 26 KUK	68,6	2,8	4,1
31 KOT			
Tukki	44,3	0,7**	1,6**
Kuitu + latva	<u>34,2</u>	<u>1,0</u>	<u>2,9</u>
Yht.	79,5	1,7	2,2
32 KOK	162,5	5,2	3,2
Kaikkiaan	730,6	21,7	3,0

Leimikko 6 (Tammela)

11 MÄT			
Tukki	28,6	0,6	2,2
Kuitu + latva	<u>3,9</u>	<u>0,0</u>	<u>0,5</u>
Yht.	32,5	0,6	2,0
12 MÄK	0,8	0,0	3,7
21 KUT			
Tukki	959,3	25,0	2,6
Kuitu + latva	<u>111,5</u>	<u>- 0,3</u>	<u>- 0,2</u>
Yht.	1070,8	24,7	2,3
22, 26 KUK	69,9	2,4	3,4

31 KOT			
Tukki	4,8	0,0**	0,6**
Kuitu + latva	<u>3,8</u>	<u>0,1</u>	<u>2,1</u>
Yht.	8,6	0,1	1,3
32 KOK	6,2	0,2	2,4
Kaikkiaan	1188,7	28,0	2,4

Leimikko 7 (Keuruu)  
Koepuualue 1

11 MÄT			
Tukki	4,5	0,1**	2,0**
Kuitu + latva	<u>0,8</u>	<u>0,0</u>	<u>1,2</u>
Yht.	5,3	0,1	1,9
12 MÄK	9,7	0,5	5,3
21 KUT			
Tukki	20,3	0,7**	3,5**
Kuitu + latva	<u>8,5</u>	<u>0,2</u>	<u>1,8</u>
Yht.	28,8	0,9	2,9
22 KUK	56,1	2,4	4,2
31 KOT			
Tukki	1,4	0,0	2,8
Kuitu + latva	<u>0,9</u>	<u>0,0</u>	<u>1,1</u>
Yht.	2,3	0,1	2,6
32 KOK	7,7	0,4	4,8
Kaikkiaan	109,9	4,3	3,9

Koepuualue 2

11 MÄT			
Tukki	14,9	0,2*	1,3*
Kuitu + latva	<u>1,6</u>	<u>0,2</u>	<u>10,0</u>
Yht.	16,5	0,4	2,2
12 MÄK	0,7	0,0	2,7
21 KUT			
Tukki	331,9	7,0	2,1
Kuitu + latva	<u>58,2</u>	<u>3,0</u>	<u>5,1</u>
Yht.	390,1	10,0	2,6
22 KUK	28,6	1,1	3,9

31 KOT			
Tukki	2,5	0,0 <sup>**</sup>	1,2 <sup>**</sup>
Kuitu + latva	<u>1,1</u>	<u>0,1</u>	<u>4,7</u>
Yht.	3,5	0,1	2,3
32 KOK	0,7	0,0	1,4
Kaikkiaan	440,2	11,6	2,6

Leimikko 8 (Iisalmi)

11 MÄT			
Tukki	2,6	0,1 <sup>**</sup>	2,7 <sup>**</sup>
Kuitu + latva	<u>1,3</u>	<u>0,0</u>	<u>0,8</u>
Yht.	3,9	0,1	2,0
12 MÄK	4,2	0,2	4,2
21 KUT			
Tukki	104,1	6,6	6,3
Kuitu + latva	<u>38,3</u>	<u>- 1,8</u>	<u>- 4,8</u>
Yht.	142,5	4,7	3,3
22, 26 KUK	332,3	15,9	4,8
31 KOT			
Tukki	8,0	0,2 <sup>**</sup>	2,0 <sup>**</sup>
Kuitu + latva	<u>6,6</u>	<u>0,3</u>	<u>4,5</u>
Yht.	14,7	0,5	3,1
32 KOK	82,9	4,3	5,1
Kaikkiaan	580,5	25,6	4,4

Leimikko 9 (Kerimäki)

11 MÄT			
Tukki	273,0	7,5 <sup>*</sup>	2,8 <sup>*</sup>
Kuitu + latva	<u>43,5</u>	<u>1,2</u>	<u>2,8</u>
Yht.	316,5	8,8	2,8
12 MÄK	6,6	0,2	3,3
21 KUT			
Tukki	59,7	2,2	3,6
Kuitu + latva	<u>8,6</u>	<u>0,1</u>	<u>1,6</u>
Yht.	68,3	2,3	3,4
22, 26 KUK	26,5	1,6	6,1

31 KOT			
Tukki	64,2	1,4**	2,2**
Kuitu + latva	<u>23,7</u>	<u>0,9</u>	<u>3,7</u>
Yht.	87,9	2,3	2,6
32 KOK	15,8	0,7	4,5
42 HAK	1,4	0,0	2,8
Kaikkiaan	522,9	15,9	3,0

Leimikko 10 (Vimpeli)

11 MÄT			
Tukki	213,8	3,8	1,8
Kuitu + latva	<u>66,0</u>	<u>0,7</u>	<u>1,1</u>
Yht.	279,8	4,5	1,6
12 MÄK	185,4	4,0	2,2
21 KUT			
Tukki	64,9	1,3	2,0
Kuitu + latva	<u>17,1</u>	<u>0,4</u>	<u>2,1</u>
Yht.	82,0	1,6	2,0
22 KUK	32,5	0,9	2,7
32 KOK	143,6	3,2	2,3
Kaikkiaan	723,3	14,3	2,0

Leimikko 11 (Huitinen)

11 MÄT			
Tukki	17,2	0,4*	2,6*
Kuitu + latva	<u>5,1</u>	<u>0,2</u>	<u>4,1</u>
Yht.	22,3	0,7	2,9
12 MÄK	2,8	0,2	5,7
21 KUT			
Tukki	193,0	9,4	4,9
Kuitu + latva	<u>40,6</u>	<u>- 1,9</u>	<u>- 4,6</u>
Yht.	233,6	7,6	3,2
22, 26 KUK	72,0	3,6	4,9
31 KOT			
Tukki	9,8	0,3**	3,0**
Kuitu + latva	<u>3,6</u>	<u>0,1</u>	<u>3,0</u>
Yht.	13,4	0,4	2,8

32 KOK	78,4	3,4	4,3
62 LEK	22,6	0,9	3,8
Kaikkiaan	445,1	16,5	3,7

---

\* Runkolajin koepuista yli 30 %:lla järeän osan päättymiskorkeus.

\*\* Runkolajin koepuista yli 60 %:lla järeän osan päättymiskorkeus.

Runkolajit:	11 MÄT = mäntytukki	26 KUK = kuusikuitu
	12 MÄK = mäntykuitu	31 KOT = koivutukki
	13 MÄ = mänty, pikkutukki	32 KOK = koivukuitu
	21 KUT = kuusitukki	42 HAK = haapakuitu
	22 KUK = kuusikuitu	62 LEK = lehtikuitu
	23 KU = kuusi, pikkutukki	86 = kelo

#### 4. Menetelmän soveltaminen PMP-systeemissä

Laadittua menetelmää ei voida käyttää nykyisessä PMP-systeemissä sellaisenaan. Käyttäjien omissa PMP-systeemeissä ns. peruslaskennan tulosten on oltava kasvatamattomia tilavuuksia. Kasvu lisätään niihin vasta silloin, kun lohkon tai leimikon hakkuuajankohta on varmistettu. Kasvun estimaatti on siis edelleen ilmoitettava kasvujakson kasvuprosenttina. Laadittua menetelmää käytetään siten seuraavasti:

Kuutiointiohjelmalla lasketaan koepuualueen kunkin runkolajin laatuosille kolme eri yksikkötilavuutta:

- ilman kasvun lisäämistä
- tilavuus, johon on lisätty yhden kasvukauden kasvu
- tilavuus, johon on lisätty kolmen kasvukauden kasvu.

Laatuosien yksikkötilavuuksien erotuksina saadaan runkolajeittain järeän osan, kuituosan ja latvahukkapuun keskimääräiset tilavuuskasvut yhdelle ja kolmelle kasvukaudelle. Toteutuneen kasvujakson pituuden perusteella valitaan kumpaa näistä käytetään. Jos kasvujakso on 0 - 2 kasvukauden pituinen, käytetään yhden kasvukauden kasvua. Jos se on pitempi kuin kaksi kasvukautta, käytetään kolmen kasvukauden kasvua. 4 - 5 vuotta pitempiä jaksoja tuskin esiintyy. Toteutuneen kasvujakson ja valitun jakson pituuden osamäärällä kerrotaan kukin kasvuprosentti, jolloin saadaan kasvujakson tilavuuskasvuprosentit. Niitä käytetään kunkin palstan, lohkon ja leimikon puutavarylajien kasvun laskennassa.

Näin menetellen ei päästä yhtä tarkkaan kasvun estimointiin kuin alunperin oli suunniteltu. Kasvu olisi silloin lisätty suoraan mallien mukaisena kunkin ositteen läpimittaluokittaiseen yksikkötilavuuteen.

## 5. Päätelmät

Selvityksessä tutkittiin MELAn kasvumallien soveltumista PMP-systeemin kasvun laskentaan. Kasvun estimaattien tuli olla nyky menetelmässä käytettyjä luotettavampia ja tarkempia. Menetelmässä tuli ottaa nykyistä paremmin huomioon puuston rakenteen vaikutus kokonaiskasvuun ja kasvun jakautumiseen puutavaralajeittain. Laadittujen ohjelmien tuli toimia virheettömästi, eikä menetelmä saanut aiheuttaa merkittävää lisätyötä maastossa.

MELAn malleista otettiin puun pohjapinta-alan ja pituuden kasvumallit sekä muunnosmalleja. Malleihin jouduttiin tekemään muutoksia. Alkuperäisten mallien muuttujia korvattiin malleilla tai vakioilla, jos niiden laskeminen

pystymittausaineistosta ei ollut mahdollista. Muutetut ohjelmat testattiin ja ne liitettiin osaksi PMP-kuutiointiohjelmaa. Uuden ohjelman toiminta testattiin.

Ohjelman toiminnassa ei havaittu virheitä, kun sitä testattiin 35 leimikolla. Nykyisten PMP-mittausten ja määritysten lisäksi tarvitaan tieto vain metsikön ojitus-tilanteesta. Kasvun taso muutosten jälkeen testattiin laskemalla INKA-kestokoeaineistosta poimitulle koepuutokselle kasvun estimaatit. Niitä verrattiin alkuperäisten mallien samassa testauksessa antamiin tuloksiin. Malleilla saatu läpimitan kasvun arvio oli 11,7 % ja pituuden kasvun arvio 1,4 % pienempi kuin INKA-aineiston mitattu kasvu. Pienten puiden pituuskasvun estimaatit olivat keskimäärin pienempiä ja suurten puiden suurempia kuin INKA-aineistossa.

Alkuperäiset kasvumallit perustuivat koeala-aineistonsa kaikkiin puihin, kun taas PMP-aineistoon sisältyy vain hakkuussa poistettavia puita. Alkuperäisten mallien antama tulosta on pienennettävä, koska hakkuissa poistetaan heikkokasvuisimpia puita. Kasvatushakkuita varten laadittiin korjausmallit poistuvien puiden läpimitan ja pituuden kasvulle. Mallit pienensivät eniten suurten läpimitaluokkien puiden kasvuestimaatteja. Sekä korjausmallit että päätehakuussa käytetyt läpimitan ja pituuden kasvujen korjauskertoimet pienensivät mallien antamia tilavuuskasvuestimaatteja keskimäärin n. 10 %. Korjauskertoimet yli 30 cm paksuilla puilla olivat epävarmoja aineiston vähäisyyden vuoksi. Koepuualueittaiset tilavuuskasvun ennusteet olivat hyvin lähellä nykyisin käytettyjä taulukkoarvoja.

Läpimitan ja pituuden kasvun aiheuttama muutos rungon osien ja siitä apteerattavien puutavaralajien tilavuuksiin riippuu puuston rakenteesta, puiden runkomuodosta,

apteerausparametreista sekä kasvuajasta. PMP-systeemissä puiden runkokäyrät lasketaan rinnankorkeus- ja yläläpimitan sekä pituuden perusteella. Malleilla vaikutetaan suoraan muiden paitsi yläläpimitan arvoihin. Jos yläläpimitat on poikkeuksellisesti mitattu, niiden arvioidaan kasvavan yhtä paljon kuin rinnankorkeusläpimittojen.

Nyt laaditulla menetelmällä saatavat kasvun arviot ovat ilmeisesti luotettavimmillaan tavanomaisissa talousmet-  
sissä. Koska mallit eivät pysty käsittelemään erikois-  
tapauksia, niitä ei suositella käytettäväksi, jos kasvun  
arvioidaan olevan poikkeuksellisen nopeaa tai hidasta.  
Tällaisia ovat esimerkiksi vajaapuustoiset nuoret metsi-  
köt, tuhoalueet, erittäin yli-ikäiset puustot ja erikoi-  
set kasvupaikat.

Mallin todellinen luotettavuus voitaisiin selvittää vain vertaamalla mallilla saatavia tuloksia todellisten PMP-  
leimikoiden mitattuihin kasvuihin. Tarkimpia tuloksia  
saataisiin suoraan PMP-leimikoiden kasvutietojen  
perusteella laadituilla malleilla. MELA-mallien  
käyttökelpoisuutta vähentää se, että niiden alkuperäinen  
käyttötarkoitus on toinen. Malleihin tulisi lisätä  
muuttujia ja eräitä muuttujia pitäisi vaihtaa toisiin,  
jos haluttaisiin parantaa mallien luotettavuutta.

Kehitettyä menetelmää ei voida täysin hyödyntää PMP-  
systeemeissä. Niissä on edelleen käytettävä runkolajien  
laatuositteiden keskimääräisiä kasvuprosentteja, eikä  
kasvua voida lisätä suoraan kuutioiden tuloksiin. Menet-  
tely johtaa eri ositteiden välisten kasvuestimaattien  
vaihtelun pienenemiseen tilavuuden kokonaiskasvun pysy-  
essä muuttumattomana.



## Kirjallisuus

- Gustavsen, H., Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988.  
Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittausmenetelmät ja aineistojen rakenteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 292. 212 s.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, I. & Seppälä, K. 1983. Vuosina 1930-1978 ojitetut suot: Ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930-1978. Results from field surveys of drained areas. Acta Forestalia Fennica 193. 83 s.
- Lihtonen, V. 1943. Tutkimuksia metsän puuston muodostumisesta. Tuottohakkuulaskelma. Helsinki. Acta Forestalia Fennica 51(2). 214 s.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) - Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.
- Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system based on data from the Finnish national forest inventory. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja 17: 195-207.
- Vuokila, Y. 1960. Männyn runkomuodon muutoksesta. Metsätaloudellinen aikakauslehti 9: 306-308.
- Vuokila, Y. 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.

Liite 1. PMP-systeemissä käytettävät tilavuuskasvu-  
prosentit. PMP-hoitokunnan ohje (1989).

Keskimääräiset kasvuprosentit metsälautakuntaryhmittäin

Metsä- lautakunnat	Puulaji- valtaisuus	Ikäluokkaryhmä ja hakkuutapa					
		alle 40 harv.	41-80 harv. avoh.	81-120 harv. avoh.	121-160 harv. avoh.		
Helsinki	mäntyvaltaiset	7,8	3,6	2,5	2,7	2,0	1,7
Vaasa	kuusivaltaiset	8,9	3,7	2,7	2,4	2,2	1,7
Lounais-Suomi							
Satakunta	mäntyvaltaiset	8,9	4,3	3,0	3,1	2,6	1,9
Etelä-Karjala	kuusivaltaiset	7,4	4,5	3,3	2,9	2,9	2,6
Uusimaa-Häme							
Itä-Häme	mäntyvaltaiset	8,9	3,9	3,5	3,1	2,7	2,3
Etelä-Savo	kuusivaltaiset	7,8	4,6	3,2	3,0	2,8	2,5
Itä-Savo							
Pirkka-Häme							
Keski-Suomi	mäntyvaltaiset	8,9	4,3	3,5	2,7	2,6	2,0
Pohjois-Savo	kuusivaltaiset	7,8	4,4	3,4	3,1	2,8	2,0
Pohjois-Karjala							
Etelä-Pohjanmaa	mäntyvaltaiset	8,2	4,3	3,1	2,7	2,3	2,1
Keski-Pohjanmaa	kuusivaltaiset	7,4	4,3	3,5	2,8	2,6	2,0
Pohjois-Pohjanmaa	mäntyvaltaiset		4,2		2,5	2,1	1,8
	kuusivaltaiset		4,4		2,8	1,7	1,5
Kainuu	mäntyvaltaiset		4,1		2,0	1,7	1,5
	kuusivaltaiset		3,5		2,3	2,0	1,7
Lappi ja Koillis-Suomi	mänty- ja kuusi- valtaiset		4,3		2,2	2,1	2,0
Avohakkuu yli 160 v.	Pohjois-Karjala		mäntyvalt.	1,7	kuusivalt.	1,2	
	Etelä-Pohjanmaa		"	1,7	"	1,2	
	Keski-Pohjanmaa		"	1,7	"	1,2	
	Pohjois-Pohjanmaa		"	1,3	"	1,3	
	Kainuu		"	1,2	"	1,3	
	Lappi		"	1,2	"	1,2	

Kasvukaudeksi katsotaan 19.5. - 19.7. välinen aika.

Yksi viikko vastaa 1/10 kasvukauden kasvusta.

Koepuualueen kasvuprosentti määritetään poistettavan puuston tilavuuden suhteen vallitsevan hakkuun mukaisesti.

Näitä kasvuprosentteja suositetaan käytettäväksi korkeintaan kahden peräkkäisen vuoden kasvun laskemiseksi.

Liite 2. PMP-ohjelmaan lisätyt FORTRAN77-kieliset aliohjelmat ja niissä käytetyt muuttujat.

SUBROUTINE D6DATA

Kunnan yleistietojen lukeminen sinne sattuneiden VMI7:n koealojen keskiarvojen mukaisesti

KUN = kunnan numero  
 YKO = y-koordinaatti yhtenäiskoordinaatistossa  
 XKO = x-koordinaatti yhtenäiskoordinaatistossa  
 MPY = korkeus merenpinnasta, m  
 LS = lämpösumma, d.d.  
 MERI = etäisyys Suomen- tai Pohjanlahteen, km  
 ML = metsälautakunnan numero

SUBROUTINE KASVU

Puun läpimitan ja pituuden kasvun ennuste

MESI = MELA-tietueen ohjausvektori (ks. YIH ja YIG)  
 T = puun MELA-tietue  
 YIG = puun pohjapinta-alan kasvun ennuste 5 v:n jakson keskiarvona,  $\text{cm}^2$   
 YIH = puun pituuden kasvun ennuste 5 v:n jakson keskiarvona, m  
 IPLX = puulaji MELAn koodina  
 MTYPE = metsätyyppi MELAn koodina  
 IALA = alaryhmä MELAn koodina  
 AGV = puuston keskimääräinen rinnankorkeusikä, v  
 OJI = ojitustilanne MELAn koodina  
 DMAX = koepuualueen valtaläpimitta, cm  
  
 DKESKI = koepuualueen G:llä painotettu keskiläpimitta, cm  
 ALS = lämpösumma, d.d.  
 CER = keskiläpimitan puun kuorettoman ja kuorellisen g:n suhde  
 GG = metsikön kuoreton pohjapinta-ala  
 SD = läpimitan kasvun korjauskerroin harvennusleimikossa  
 SH = pituuden kasvun korjauskerroin harvennusleimikossa  
 AIKA = kasvupäivien lukumäärä

## FUNCTION YIG

Puun pohjapinta-alan kasvu

YIG = puun pohjapinta-alan kasvun ennuste 5 v:n  
jakson keskiarvona,  $\text{cm}^2$   
 X = puun MELA-tietue  
 MESI = MELA-tietueen ohjausvektori, jossa:  
 MESI (9) = metsälautakunta  
 (11) = lämpösumma  
 (23) = alaryhmä  
 (24) = metsätyyppi  
 (25) = kuivatustilanne  
 (41) = puulaji  
 (42) = puun kuoreton pohjapinta-ala,  $\text{cm}^2$   
 (45) = puun rinnankorkeusikä, v

## FUNCTION YIH

Puun pituuskasvu

YIH = puun pituuskasvun ennuste 5 v:n jakson keski-  
arvona, m (muut tiedot samat kuin YIG:ssä)

## FUNCTION YGBTON, FUNCTION YGBNEN

Puun kuorettoman g:n estimointi kuorellisesta ja puun kuorellisen  
g:n estimointi kuorettomasta

YGBTON = puun kuoreton pohjapinta-ala,  $\text{cm}^2$   
 YGBnen = puun kuorellinen pohjapinta-ala,  $\text{cm}^2$   
 GB = puun kuorellinen/kuoreton g,  $\text{cm}^2$   
 PL = puulaji  
 AG = puun rinnankorkeusikä, v

## FUNCTION FAGE

Puun rinnankorkeusiän estimointi sen d:n ja puuston keskimääräisen  
rinnankorkeusiän perusteella.

AGE = puun rinnankorkeusikä, v  
 TYP = metsätyyppi  
 TEM = lämpösumma, d.d.  
 DRA = kuivatustilanne  
 DIS = etäisyys Suomen- tai Pohjanlahteen  
 S = puulaji  
 CD = puuston ppa:lla painotettu keskiläpimita, cm  
 CA = puuston keskimääräinen rinnankorkeusikä  
 ED = puun ja keskiläpimitan puun läpimitat, cm

## SUBROUTINE PAPU

Koepualueen puuston keski- ja valtaläpimitta runkolukusarjoista

KPANR       = koepualueen numero  
RLS         = runkolukusarjojen summavektori  
DXG         = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta  
DPAPU       = valtaläpimitta 95 %:n kohdalta runkoluku-  
              sarjasta





ISBN 951-40-1190-2

ISSN 0358-4283

Valtion painatuskeskus  
Kampin VALTIMO  
Helsinki 1992