

# ACTA FORESTALIA FENNICA

Vol. 145, 1975

METSIKÖN PUUSTON SIMULOINTIMENETELMÄ JA SIMU-  
LOITUUN AINEISTOON PERUSTUVIEN PUUSTOTUNNUS-  
MALLIEN LASKENTA

*SIMULATION OF ARTIFICIAL STANDS AND DERIVATION  
OF GROWING STOCK MODELS FROM THIS MATERIAL*

Pekka Kilkki ja Markku Siitonen



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

## **Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat**

**ACTA FORESTALIA FENNICA.** Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittää yhden tutkimuksen.

**SILVA FENNICA.** Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä kirjoitelmia ja lyhyehköjä tutkimuksia. Ilmestyy neljästi vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistoon, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

## **Publications of the Society of Forestry in Finland**

**ACTA FORESTALIA FENNICA.** Contains scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, contain one treatise each.

**SILVA FENNICA.** Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland.

ALKUSANAT

**METSIKÖN PUUSTON SIMULOINTIMENETELMÄ JA  
SIMULOITUUN AINEISTOON PERUSTUVIEN  
PUUSTOTUNNUSMALLIEN LASKENTA**

PEKKA KILKKI ja MARKKU SIITONEN

Helsinki, tammiukuussa 1975

PEKKA KILKKI      MARKKU SIITONEN

*SUMMARY:*

*SIMULATION OF ARTIFICIAL STANDS AND DERIVATION  
OF GROWING STOCK MODELS FROM THIS MATERIAL*

2-050-123-100 X2821

HELSINKI 1975

METSÄKÖN PUUSTON SIMULOINTIMENETELMÄ JA  
SIMULOIDUN PUUSTON KÄYTTÖ  
PUUSTOTUNNUSMALLIN LASKENTA

ACTA FORESTALIA FINNICA. Sisältää ajankohtaisia Suomen metsätaloutta ja sen perustalta käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisesti kahdesti vuodessa, josta kukin sisältää yhden osan. Artikkelit käsittelevät metsätaloutta ja sen perustalta käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisesti kahdesti vuodessa.

Tilaukset ja julkaisujen hankinnat osoitetaan Suomen metsätalouden tutkimuskeskukseen, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

Publications of the Society of Forestry in Finland

ACTA FORESTALIA FINNICA. Contains scientific articles mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volume which appears irregularly twice a year contains mainly scientific articles dealing with Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office, Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland.

ISBN 951-651-020-5

Hämeenlinna 1975, Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino

Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella jo useita vuosia käynnissä olleen hakkuulaskelmamenetelmätutkimuksen yhteydessä on jouduttu erillisin selvityksin hankkimaan tarvittavia perustietoja. Erään keskeisen ongelman ovat muodostaneet metsikön puustotunnusten välisiä relaatioita kuvaavat mallit. Alustavana selvityksenä valmistui aiheesta metsänhoitaja MATTI RUOTSALAISEN metsänarvioimistieteen laudaturtyönä esittämä tutkimus. Tekijät ovat tämän työn antamien virikkeiden pohjalta laatineet yhdessä

tutkimussuunnitelman. KILKKI on laskenut pääosan regressioyhtälöistä ja kirjoittanut lopullisen tutkimusraportin. SIITONEN on tehnyt työssä käytetyn tietokoneohjelmiston ja laatinut käsikirjoituksen lukuun 2.

Professori KULLERVO KUUSELA ja metsänhoitaja JOUKO LAASASENAHO ovat lukeeet käsikirjoituksen. Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö ja Suomen Akatemia ovat tukeneet työtä rahallisesti.

Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille työn valmistumista edesauttaneille henkilöille ja laitoksille.

Helsinki, tammikuussa 1975

PEKKA KILKKI MARKKU SIITONEN

Puustotunnusmallien (vrt. KILKKI 1973) laadinta ei ole yksinkertaista, jos se voidaan perustaa tarkasteltavien metsikköiden perusjoukosta objektiivisesti poimitaan näytteeseen, jossa näytteeseen kuuluvista metsikköistä olisi riittävän suuria koisia selvitely malleissa tarvittavat tunnukset. Tällaisen näytteen saattaisivat muodostaa esimerkiksi valtakunnan metsien inventointia yhteydessä paikallistetut metsikkökoenalat. Objektiviiseen näytteeseen perustuvien mallien etuna on se, että ne saattavat omaan perusjoukkoon sovellettuna antaa keskimäärin harhattomia tuloksia, vaikka malleissa olisi kaikkia tarpeellisia selittäviä muuttujia. Esimerkkeinä tällaisista malleista ovat valtakunnan metsien inventointitulosten perusteella lasketut metsikön kuutiokasvuprosenttia ennustavat sarjat, joihin selittävinä muuttujina ovat ainastaan metsikön pääpuulaji ja ikä (RAJALA 1970). Pienen kokonsa vuoksi eivät valtakunnan metsien inventointikoalat kuitenkaan yleensä soveltu metsikköiden puustotunnusmallien laadintaan riittävästi.

Objektiivisia näytteenotto menetelmiä käytettäessä on vaikeaa saada riittävän määrän halutun tyyppisiä metsikköitä näytteeseen. Tästä syystä on puustotunnusmallien laadintaan tarkoitettui koalat usein valittu subjektiivisesti (vrt. esim. NYRÄNEN 1954b; VOONIA 1956). Subjektiivisesti valittujen koalojen suurimpana heik-

Perusteena on mahdollista luoda simulomalla sellainen puujoukkojen joukko, joka varsin tarkasti vastaa metsikköiden metsikköistä objektiivisesti poimitun metsikkökoenalanäytettä. Käytännössä ei tähän tarvittavaa informaatiota ole kuitenkaan saatavissa. Myös kustannustekijät asettavat rajoituksia sille, miten tarkoin puujoukkojen jakaumia kuvataan. Näistä syistä ovat erää simulomalla saatujen puujoukkojen rakenteet että puujoukkojen jakauma likiäryviä odellisuudesta.

Jotta simulomalla saadut puujoukot olisivat käyttökelpoisia puustotunnusmallien laadinnassa, niiden on täytettävä kaksi perusedellytystä. Ensiksikin puujoukkojen rakenteen on oltava riittävästi samanlainen kuin niissä metsikköissä, joihin malleja sovelletaan. Toiseksi puujoukkojen vaihteluun on oltava vähintään yhtä laaja kuin sovelletussuureita metsikköissä. Toisinnassa ehdon täyttämiseen tuetaan luonnossa vaikeuksia. Sen sijaan toinen ehto ei aiheuta ongelmia. Edellä esitetyt kaksi ehtoa täyttävään simulointiin aiemmin perustuvat mallit ovat käyttökelpoisia, mikäli ne ovat riittävästi herkkäsuureita kaikissa puustotunnusten suhteissa.

## SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1. Johdanto .....	5
2. Puujoukkojen simulointi .....	7
21. Menetelmä .....	7
22. VMI5-aineisto .....	8
23. Puujoukkoa kuvaavan jakauman määrittäminen .....	9
24. Simuloitu aineisto .....	11
3. Puustotunnusmallien laadinta .....	14
31. Menetelmä .....	14
32. Muotolukumallit .....	16
33. Puutavaralajimallit .....	20
34. Arvomallit .....	26
4. Tulosten tarkastelu .....	28
5. Tiivistelmä .....	30
Kirjallisuutta .....	31
Summary .....	32
Liite .....	33

Historiallinen tutkimus 1975

Paikka Kirjuri Markku Sironen

ISBN 951-651-030-4

Hämeenlinna 1975, Arvi A. Karvonen Oy:n kirjapaino

## 1. JOHDANTO

Metsikön puuston tunnuksat ovat mitattavuudeltaan varsin erilaisia. Eräitä tunnuksia, kuten tulevaa kasvua, ei edes voida mitata. Tästä syystä on metsänarvioimistieteessä jo kauan pyritty kehittämään malleja, joita käyttäen metsiköstä vaikeasti mitattavien tunnusten arvot saadaan estimoitua toisten helpommin mitattavien tunnusten perusteella. Esimerkkeinä näistä malleista ovat ns. relaskoopitulukset (NYSSÖNEN 1954a) ja lukuisat metsikön puuston kasvua ennustavat yhtälöt ja kasvusarjat. Tällaisten mallien aineistona ovat yleensä olleet metsiköistä mitatut metsikkökoealat.

Puustotunnusmallien (vrt. KILKKI 1973) laadinta olisi yksinkertaisinta, jos se voitaisiin perustaa tarkasteltavien metsiköiden perusjoukosta objektiivisesti poimittuun näytteeseen, jossa näytteeseen kuuluvista metsiköistä olisi riittävän suurelta koealalta selvitetty malleissa tarvittavat tunnuksat. Tällaisen näytteen saattaisivat muodostaa esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä paikallistetut metsikkökoealat. Objektiiviseen näytteeseen perustuvien mallien etuna on se, että ne saattavat omaan perusjoukkoonsa sovellettuna antaa keskimäärin harhattomia tuloksia, vaikkei malleissa olisikaan kaikkia tarpeellisia selittäviä muuttujia. Esimerkkeinä tällaisista malleista ovat valtakunnan metsien inventointitulosten perusteella lasketut metsikön kuutiokasvuprosenttia ennustavat sarjat, joissa selittävinä muuttujina ovat ainoastaan metsikön pääpuulaji ja ikä (RAJALA 1970). Pienen kokonsa vuoksi eivät valtakunnan metsien inventointikoealat kuitenkaan yleisesti sovellu metsiköiden puustotunnusmallien laadinnan aineistoksi.

Objektiivisia näytteenottomenetelmiä käytettäessä on vaikeaa saada riittävää määrää halutuntyyppisiä metsiköitä näytteeseen. Tästä syystä on puustotunnusmallien laadintaan tarkoitettua koealaa usein valittu subjektiivisesti (vrt. esim. NYSSÖNEN 1954b; VUOKILA 1956). Subjektiivisesti valittujen koealojen suurimpana heik-

koutena on niiden perusteella laadittujen mallien mahdollinen harhaisuus. Harhaisuuden vaaraa voidaan kuitenkin vähentää ottamalla malleihin mukaan kaikki mahdolliset selittävät muuttujat ja soveltamalla malleja vain aineiston vaihtelualueelle.

Vaikka käytettäisiin subjektiivistakin valintaa, saattaa riittävän laajan ja edustavan koealajoukon mittaaminen osoittautua liian työlääksi. Tästä syystä on viime aikoina pyritty todellisten koealojen tilalla käyttämään simuloituja puujoukkoja (vrt. esim. RISVAND 1970; VÄLIAHO ja VUOKILA 1973; RUOTSALAINEN 1974). Simulointi perustuu siihen, että jokainen puujoukko voidaan kuvata puujoukon muiden tunnusten jakaumana. Jakauman ulottuvuuksia ovat esimerkiksi puulaji, läpimitta, pituus, kapeneminen, sädekasvu ja pituuskasvu.

Periaatteessa on mahdollista luoda simuloimalla sellainen puujoukkojen joukko, joka varsin tarkasti vastaa metsäalueen metsiköistä objektiivisesti poimittua metsikkökoealanäytettä. Käytännössä ei tähän tarvittavaa informaatiota ole kuitenkaan saatavissa. Myös kustannustekijät asettavat rajoituksia sille, miten tarkoin puujoukkojen jakaumia kuvataan. Näistä syistä ovat sekä simuloimalla saatujen puujoukkojen rakenteet että puujoukkojen jakauma likiarvoja todellisuudesta.

Jotta simuloimalla saadut puujoukot olisivat käyttökelpoisia puustotunnusmallien laadinnassa, niiden on täytettävä kaksi perusedellytystä. Ensiksikin puujoukkojen rakenteen on oltava riittävän samanlainen kuin niissä metsiköissä, joihin malleja aiotaan soveltaa. Toiseksi puujoukkojen vaihtelualueen on oltava vähintään yhtä laaja kuin sovellutusalueen metsiköissä. Ensimmäisen ehdon täyttäminen tuottaa simuloinnissa vaikeuksia. Sen sijaan toinen ehto ei aiheuta ongelmia. Edellä esitetyt kaksi ehtoa täyttävään simuloituun aineistoon perustuvat mallit ovat käyttökelpoisia, mikäli ne ovat riittävän harhattomia kaikkien puustotunnusten suhteen.

Tämän tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) puuntuotantomallissa tarvittavien tasaikäisten mänikköiden, kuusikoiden ja koivikoiden puuston tilaa kuvaavien mallien laatiminen Etelä- ja Keski-Suomen alueelle. Laadittavissa puustotunnusmalleissa ovat selitettävänä muuttujina seuraavat metsikön puuston tilaa kuvaavat tunnuksset:

1. Kuorellinen kuutiomäärä
2. Puutavaralajien osuudet
3. Puustokuutiometrin arvo

Kun käytettävissä ei ollut sopivaa mitattua aineistoa ja koska haluttiin saada kokemuksia simuloinnin käytöstä, päätettiin tarvittava aineisto luoda simuloimalla.

Yleisellä puuntuotantomallilla tarkoitetaan sellaista mallia, jossa puuntuotantoa voidaan kuvata puuston tilan ja puuston kasvun välillä. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli.

Yleisellä puuntuotantomallilla tarkoitetaan sellaista mallia, jossa puuntuotantoa voidaan kuvata puuston tilan ja puuston kasvun välillä. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli.

Yleisellä puuntuotantomallilla tarkoitetaan sellaista mallia, jossa puuntuotantoa voidaan kuvata puuston tilan ja puuston kasvun välillä. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli.

Yleisellä puuntuotantomallilla tarkoitetaan sellaista mallia, jossa puuntuotantoa voidaan kuvata puuston tilan ja puuston kasvun välillä. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli.

Yleisellä puuntuotantomallilla tarkoitetaan sellaista mallia, jossa puuntuotantoa voidaan kuvata puuston tilan ja puuston kasvun välillä. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli.

Yleisellä puuntuotantomallilla tarkoitetaan sellaista mallia, jossa puuntuotantoa voidaan kuvata puuston tilan ja puuston kasvun välillä. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli. Tällainen malli on yleensä yksivaiheinen, jolloin puuston tilaa kuvaavat tunnuksset ovat puuston tilaa kuvaavien mallien avulla laskettuja. Tällainen malli on esimerkiksi KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) malli.



## 2. PUUJOUKKOJEN SIMULOINTI

### 21. Menetelmä

Puujoukkojen simuloinnin lähtökohtana oli olettamus, että minkä tahansa tasaikäisen yhden puulajin muodostaman metsikön puusto voidaan kuvata pelkällä rinnankorkeusläpimitta-pituusjakaumalla menettämättä tutkimuksen tavoitteena olevien mallien laadinnassa tarvittavaa olennaista informaatiota. Läpimitta-pituusjakauma,  $f(d,h)$ , ilmaistaan läpimitan reunajakaumalla,  $f(d)$ , ja läpimitan suhteen ehdollisella pituusjakaumalla,  $f(h|d)$ , jotka molemmat ovat betajakaumia (vrt. LOETSCH ym. 1973):

$$(1) \quad f(x) = c(x - a)^{\alpha} (b - x)^{\gamma}$$

jossa  $x$  = satunnaismuuttuja

$c$  = skaalauskerroin

$a$  = jakauman alaraja

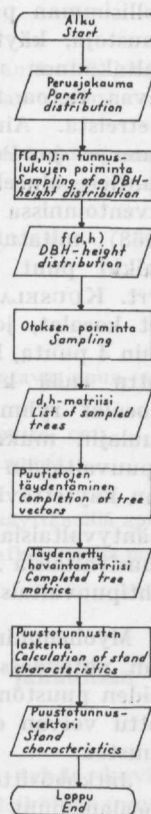
$b$  = jakauman yläraja

$\alpha$  ja  $\gamma$  = jakauman muodon määrittävät parametrit.

Jatkossa läpimitan reunajakaumaa kutsutaan myös läpimittajakaumaksi ja läpimitan suhteen ehdollista pituusjakaumaa pelkästään pituusjakaumaksi. Vaikka jakaumat määritetään jatkuvina, perustuu jatkokäsittely jakaumista poimittuihin äärellisiin puujoukkoihin.

Yhden puujoukon simuloinnin ja tunnusten laskennan vaiheet nähdään kuvassa 1. Simulointi aloitetaan hakemalla puujoukon läpimitta-pituusjakauman määrittäville parametreille satunnaisarvot annetuista jakaumista. Näin määritetystä puujoukosta poimitaan halutun suuruinen satunnaisotos. Puille saadaan alkuperäisinä tunnuksina rinnankorkeusläpimitta ja pituus sekä luonnollisesti puulaji, joista johdetaan tarvittavat lisätunnukset. Yksityisten puiden muodostamasta havaintomatriisista lasketaan haluttujen puustotunnusten estimaatit otoksen edustamalle puujoukolle. Otokseen tulevaa puujoukkoa voidaan pitää myös perusjoukkona, jolloin siitä lasketut puustotunnukset eivät enää ole estimaatteja, vaan tarkkoja arvoja.

Simulointia ja puustotunnusten laskentaa varten valmistettiin tietokoneohjelmis-



Kuva 1. Puujoukon simulointi ja puustotunnusten laskenta. — Simulation of the growing stock of the stand, and calculation of its characteristics

to, joka annettujen parametritietojen perusteella tuottaa halutun määrän metsikön puustotietoja jäljitteleviä puustotunnusvektoreita. Mänty, kuusi ja koivu ovat mahdollisia puulajeja.

Simuloinnin eri vaiheissa tarvittavat satunnaisluvut muodostettiin ohjelmalla, joka tuottaa tasan jakautuneita pseudosatunnaislukuja väliltä 0 ... 1 annetun siemenluvun perusteella. Jotta jokaisella ajokerralla olisi saatu toisistaan poikkeavia satunnaislukuja, siemenluvun alkuarvoon tehtiin pieni ajopäivämäärän ja kellonajan mukaan määräytyvä muutos. Näiden satunnaislukujen perusteella tuotettiin ohjelmassa tarvittavat satunnaisluvut halutulta väliltä joko tasa-jakauman tai betajakauman suhteessa.

## 22. VMI5-aineisto

Jotta simuloimalla saadut puujoukot olisivat muistuttaneet rakenteeltaan mahdollisimman paljon todellisten metsiköiden puustoja, käytettiin simuloinnissa hyväksi valtakunnan metsien inventoinneista saatavaa tietoa metsiköiden puustojen parametreista. Aineistoksi valittiin ne Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueelta valtakunnan metsien V inventoinnissa (KUUSELA ja SALOVAARA 1968) mitatut relaskooppikoealat, joilta kaikki puut oli mitattu kuutiokoealuina (vrt. KUUSELA ja SALMINEN 1969). Sellaiset koealat, joille oli sattunut vähemmän kuin 4 puuta, hylättiin, koska niiden ei katsottu enää kuvaavan metsikön puustoa. Koealat ryhmiteltiin koealametsikön pääpuulajin mukaan mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisiin koealoihin, joita oli kaikkiaan käytettävissä seuraavat määrät:

mäntyvaltaisia .....	525 kpl
kuusivaltaisia .....	785 »
lehtipuuvaltaisia .....	131 »

Myöhemmin hylättiin mallien laadinnan yhteydessä vähäinen määrä koealoja, joiden puuston ei missään tapauksessa katsottu voivan edustaa tasaikäisen metsikön puustoa.

Jatkokäsittelyssä oletettiin, että kaikki koealan puut kuuluivat vallitsevaan puulajiin. Lehtipuuvaltaisilla koealoilla koivu oletettiin vallitsevaksi puulajiksi.

Mittaustiedoista saatiin kullekin koealan puulle:

1. d Rinnankorkeusläpimitta, cm
2. h Pituus, m

Näistä tunnuksista sekä puulajista johdettiin puille lisäksi seuraavat tunnuksat:

3. g Pohjapinta-ala, m<sup>2</sup>
4. v Kuorellinen kokonaiskuutiomäärä, m<sup>3</sup>
5. t Tukkipuun osuus, %
6. k Kuitupuun osuus, %
7. r Hakkuutähteen osuus, %
8. w Yksikköarvo, mk/m<sup>3</sup>

Pohjapinta-ala laskettiin ympyrän alan kaavalla. Kokonaiskuutiomäärä, männyn ja kuusen tukkipuuosuus sekä kaikkien

puiden hakkuutähdeosuus laskettiin metsänhoitaja JOUKO LAASASENAHON tekijäin käyttöön antamalla julkaisemattomilla yhtälöillä. Yhtälöissä ovat selittävinä muuttujina puulaji, rinnankorkeusläpimitta ja pituus. Koivun tukkipuuosuus määritettiin Tapion taskukirjasta (1971, ss. 244... 245) mukailuilla taulukoilla. Kuitupuun osuus saatiin vähentämällä tukkipuun ja hakkuutähteen osuukien summa sadasta.

Puutavaralajien minimikokovaatimukset olivat seuraavat:

Kuitupuuta saadaan puusta, jonka rinnankorkeusläpimitta on vähintään 7 cm ja kuitupuuosan kuutiomäärä vähintään 8 litraa. Tukkipuuta saadaan puusta, jonka rinnankorkeusläpimitta on vähintään 17 cm ja tukkiosan kuutiomäärä vähintään 100 litraa. Lisäksi tukkipuun kuituosan on männyllä oltava vähintään 14 litraa ja kuusella sekä koivulla vähintään 30 litraa.

Puun yksikköarvo laskettiin hinnoittamalla tukkipuosa ja kuitupuosa niiden yksikköhintoilla ja jakamalla osien arvojen summa kokonaiskuutiomäärällä. Puutavaralajit hinnoiteltiin seuraavilla oletettua tienvarsihintatasoa vastaavilla yksikköhintoilla:

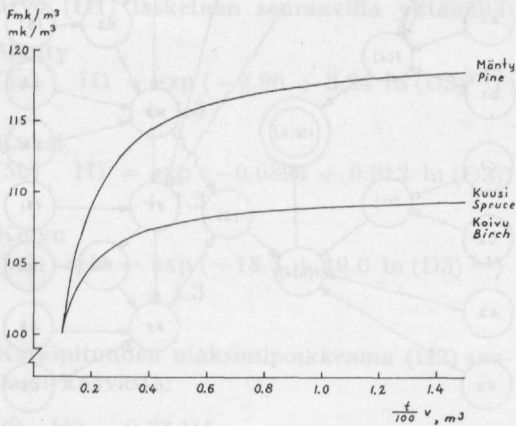
	tukkipuu		kuitupuun
	minimi	maksimi	
	mk/m <sup>3</sup>		
mänty .....	100	120	55
kuusi .....	100	110	63
koivu .....	100	110	50

Kuitupuun yksikköhinta oletettiin täten aina vakioksi. Sen sijaan tukkipuun yksikköhinnan oletettiin muuttuvan tukkiosan kuutiomäärän funktiona. Tukkipuun yksikköhinnan riippuvuus tukkiosan kuutiomäärästä laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$(2) \quad w_1 = p_2 / \left( 1 + \frac{100u(p_2 - p_1)}{t v p_1} \right)$$

jossa  $w_1$  = tukkipuun yksikköhinta, mk/m<sup>3</sup>  
 $p_1$  = tukkipuun minimihinta, »  
 $p_2$  = tukkipuun maksimihinta, »  
 $u$  = alhaisin hyväksyttävä tukkiosan kuutiomäärä, m<sup>3</sup>

Kaava (2) takaa sen, että tukkipuun yksikköhinnaksi tulee  $p_1$ , kun tukkiosan kuutiomäärä on  $u$ . Yksikköhinta lähestyy asymptoottisesti maksimiarvoa  $p_2$ , kun tukkiosan kuutiomäärä kasvaa. Kuvassa 2 esitetään kaavalla (2) lasketut tukkipuun yksikköhinnat tukkiosan kuutiomäärän funktiona puulajeittain käytettäessä edellä annettuja tukkipuun hintoja.



Kuva 2. Tukkipuun yksikköhinta puulajin ja tukkiosan kuutiomäärän funktiona. — Unit price of the saw logs ( $w_1$ ) as a function of the tree species and volume of the saw-timber part of the stem.

Puille lasketut tiedot tiivistettiin koealoittain seuraaviksi puustotunnuksiksi:

1. Runkoluku
2. G Pohjapinta-ala,  $m^2/ha$
3. V Kuorellinen kuutiomäärä,  $m^3/ha$
4. F Puuston muotoluku
5. FH Puuston muotokorkeus
6. T Tukkipuun osuus, %
7. K Kuitupuun osuus, %
8. R Hakkuutähteen osuus, %
9. W Puustokuutiometrin arvo,  $mk/m^3$
10.  $\bar{d}$  Pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta, cm
11. a NÄSLUNDIN (1936) pituuskäyräyhtälön (3) parametri a
12. b NÄSLUNDIN pituuskäyräyhtälön parametri b
13.  $\bar{h}$  Pituuskäyrältä saatu pohjapinta-alamediaanipuun läpimittaa vastaava pituus, m

14. v Keskipuun kuutiomäärä, joka saatiin keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona samoilla malleilla kuin yksityisten puiden kuutiomäärät (vrt. s. 8),  $m^3$
15. f Keskipuun muotoluku
16. Läpimitan vaihteluväli
17. Läpimitan reunajakauman keskihajonta
18. Läpimitan reunajakauman vinous
19. Pituuden vaihteluväli
20. Pituuden reunajakauman keskihajonta
21. Pituuden reunajakauman vinous

NÄSLUNDIN (1936) pituuskäyrän yhtälö:

$$(3) \quad h_1 = 1.3 + \frac{d^2}{(a + bd)^2}$$

jossa  $h_1$  = pituuskäyrältä saatava puun pituus, m

$d$  = rinnankorkeusläpimitta, cm

$a, b$  = pituuskäyrän parametrit

Pituuskäyrän parametrit saadaan käyttämällä apumuuttujaa,  $Z = d / \sqrt{h - 1.3}$ , ja ratkaisemalla normaaliyhtälöt.

### 23. Puujoukkoa kuvaavan jakauman määrittäminen

VMI5-aineistosta ei voitu tehdä kovin pitkälle meneviä päätelmiä metsiköiden puustojen läpimittajakaumista. Tästä syystä läpimittajakaumia koostettaessa pyrittiin ainoastaan siihen, että jakaumien vaihtelualue kattoi kaikki mahdolliset todellisuuksissa esiintyvät jakaumatyyppit. Samaa periaatetta noudattaen määritettiin myös osa ehdollisen pituusjakauman parametreista. Sen sijaan pituuskäyrä, joka ilmaisee tiettyä läpimittaa vastaavan pituuden odotusarvon, määritettiin kokonaan VMI5-aineiston perusteella saaduista pituuskäyrän parametrien jakaumista.

Seuraavassa luetellaan kaikki simuloinnissa tarvittavat parametrit, tasajakaumien minimi ja maksimit sekä vakioiden arvot. Läpimitat on ilmaistu senttimetreinä ja pituudet metreinä.

Symboli Arvo Selitys

A1 1 ... 3 Läpimittajakauman parametri a

A2 1 ... 3 Pituusjakauman parametri a

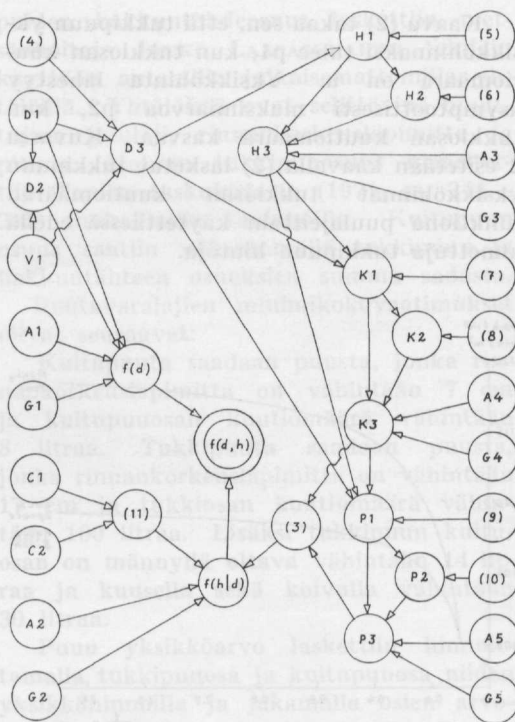
- A3 4 Keskipituusjakauman parametri  $\alpha$
- A4 4 Pituuskäyrän b-parametrijakauman  $\alpha$
- A5 3 Pituuskäyrän a-parametrijakauman  $\alpha$
- C1 2 ... 5 Pituuden maksimipoikkeamayhtälön (11) vakiotermi
- C2 0.05 ... 0.3 Pituuden maksimipoikkeamayhtälön (11) kulmakerroin
- D1 1 ... 20 Läpimittajakauman alaraja
- D2 Läpimittajakauman yläraja
- D3 Arvioitu keskiläpimitta
- G1 1 ... 10 Läpimittajakauman parametri  $\gamma$
- G2 1 ... 3 Pituusjakauman parametri  $\gamma$
- G3 4 Keskipituusjakauman parametri  $\gamma$
- G4 4 Pituuskäyrän b-parametrijakauman  $\gamma$
- G5 3 Pituuskäyrän a-parametrijakauman  $\gamma$
- H1 Keskipituuden odotusarvo
- H2 Keskipituuden maksimipoikkeama odotusarvosta
- H3 Keskipituus
- K1 Pituuskäyrän b-parametrin odotusarvo
- K2 Pituuskäyrän b-parametrin maksimipoikkeama odotusarvosta
- K3 Pituuskäyrän b-parametri
- P1 Pituuskäyrän a-parametrin odotusarvo
- P2 Pituuskäyrän a-parametrin maksimipoikkeama odotusarvosta
- P3 Pituuskäyrän a-parametri
- V1 5 ... 35 Läpimittajakauman vaihteluväli

Läpimitta-pituusjakauman määrittäjät on esitetty nuolikaaviona kuvassa 3.

Läpimittajakauman alaraja (D1), vaihteluväli (V1),  $\alpha$  (A1) ja  $\gamma$  (G1) saadaan satunnaislukuina tasajakaumista, joiden maksimit ja minimiit on annettu edellä esitettyssä luettelossa. Jakauman alaraja ja vaihteluväli määrittävät jakauman ylärajan (D2). D1, D2, A1 ja G1 yhdessä määrittävät beta-jakauman, jota käytetään läpimitan reunajakaumana  $f(d)$ .

Pituusjakauma määritetään pituuskäyrän ja sen jäännösvaihtelua kuvaavan jakauman avulla.

Parametrit a (P3) ja b (K3) määrittävät pituuskäyrän. VMI5-aineistoa tarkasteltaessa löydettiin välitöntä yhteisvaihtelua vain pituuskäyrän b-parametrin ja keskipituuden välillä sekä pituuskäyrän



Kuva 3. Läpimitta-pituusjakauman määrittävät parametrit ja yhtälöt. — *Determination of the DBH-height distribution.*

parametrien välillä. Tarkemmassa analyysissä kuitenkin todettiin, että pituuskäyrän parametrit olivat vahvassa korrelaatiossa sekä keskenään että keskiläpimitan ja keskipituuden kanssa. Korrelaatiot olivat epälineaarisia ja ne tulivat esille vasta usean muuttujan yhteisvaihteluna. Tätä yhteisvaihtelua kuvaamaan laadittiin VMI5-aineiston perusteella regressioyhtälöt ja niiden jäännösvaihtelua kuvaavat jakumat.

Pituuskäyrän parametrien määrittäminen on ketjutettu siten, että ensin lasketaan läpimittajakauman alarajan (D1) ja vaihteluvälin (V1) perusteella pohjapinta-alamediaanipuun likimääräinen läpimitta kaavalla:

$$(4) \quad D3 = D1 + 0.6 V1$$

Kaavan todettiin antavan käyttötarkoitukseen riittävän luotettavia tuloksia. Tämän jälkeen haetaan läpimittaa vastaavana ehdollisena satunnaislukuina keskipi-

tuus (H3). Keskiläpimitan ja keskipituuden perusteella saadaan ehdollisena satunnaislukuna pituuskäyrän b-parametri (K3). Viimeiseksi haetaan pituuskäyrän a-parametri (P3) keskiläpimitan, keskipituuden ja b-parametrin suhteen ehdollisena satunnaislukuna.

Kaavalla (4) saatua arvioitua keskiläpimittaa vastaava keskipituuden odotusarvo (H1) lasketaan seuraavilla yhtälöillä:

Mänty

$$(5a) \quad H1 = \exp(-2.96 + 3.24 \ln(D3)^{0.5}) + 1.3$$

Kuusi

$$(5b) \quad H1 = \exp(-0.0894 + 0.913 \ln(D3)) + 1.3$$

Koivu

$$(5c) \quad H1 = \exp(-18.5 + 19.0 \ln(D3)^{0.1}) + 1.3$$

Keskipituuden maksimipoikkeama (H2) saadaan kaavasta:

$$(6) \quad H2 = 0.33 H1$$

Keskiläpimittaa (D3) vastaava keskipituus (H3) poimitaan satunnaislukuna betajakaumasta, jonka alarajana on  $H1 - H2$ , ylärajana  $H1 + H2$ ,  $\alpha$ -parametrina (A3) vakio 4 ja  $\gamma$ -parametrina (G3) samoin vakio 4.

Pituuskäyrän parametrin b odotusarvo (K1) lasketaan seuraavilla yhtälöillä:

Mänty

$$(7a) \quad K1 = \exp(-0.897 + 0.215 \ln(D3) - 0.518 \ln(H3))$$

Kuusi

$$(7b) \quad K1 = \exp(-1.26 - 0.184 \ln(H3))$$

Koivu

$$(7c) \quad K1 = \exp(14.4 - 15.2 \ln(H3)^{0.06})$$

Maksimipoikkeama odotusarvosta saadaan kaavasta:

$$(8) \quad K2 = 0.4 K1$$

Parametrin b lopullinen arvo (K3) saadaan satunnaislukuna betajakaumasta, jonka alarajana on  $K1 - K2$ , ylärajana  $K1 + K2$ ,

$\alpha$ -parametrina vakio 4 ja  $\gamma$ -parametrina vakio 4.

Pituuskäyrän parametrin a odotusarvo (P1) saadaan seuraavista yhtälöistä:

Mänty

$$(9a) \quad P1 = 10 \ln(1.92 + 0.796 \ln(D3)^{0.4} - 0.252 \ln(H3)^{1.1} - 1.14 \ln(\ln(100K3)))$$

Kuusi

$$(9b) \quad P1 = 10 \ln(3.20 + 0.196 \ln(D3) - 0.0579 \ln(H3)^2 - 2.11 \ln(\ln(100K3))^{0.5})$$

Koivu

$$(9c) \quad P1 = 10 \ln(2.12 + 0.117 \ln(D3) - 0.0439 \ln(H3)^2 - 0.907 \ln(\ln(100K3)))$$

Maksimipoikkeama odotusarvosta lasketaan kaavalla:

$$(10) \quad P2 = 10 \ln(0.016 + 0.05 |P1 - 1.16|)$$

Lopullinen a:n arvo poimitaan satunnaislukuna betajakaumasta, jonka alarajana on  $P1 - P2$ , ylärajana  $P1 + P2$ ,  $\alpha$ -parametrina vakio 3 ja  $\gamma$ -parametrina vakio 3.

Pituuden maksimipoikkeama (h2) pituuskäyrältä saadusta arvosta (h1) oletettiin yhtä suureksi molempiin suuntiin ja se lasketaan kaavalla:

$$(11) \quad h2 = C1 + C2 h1$$

Betajakauma, jonka alarajana on  $h1 - h2$ , ylärajana  $h1 + h2$ ,  $\alpha$ -parametrina  $A2$  ja  $\gamma$ -parametrina  $G2$  määrittää ehdollisen pituusjakauman. Parametrit  $C1$ ,  $C2$ ,  $A2$  ja  $G2$  saadaan satunnaislukuina tasajakaimista edellä esitetyssä luettelossa annetuilta väleiltä.

Kun läpimitan reunajakauma ja läpimitan suhteen ehdollinen pituusjakauma yhdistetään, on läpimita-pituusjakauma kokonaisuudessaan määritetty.

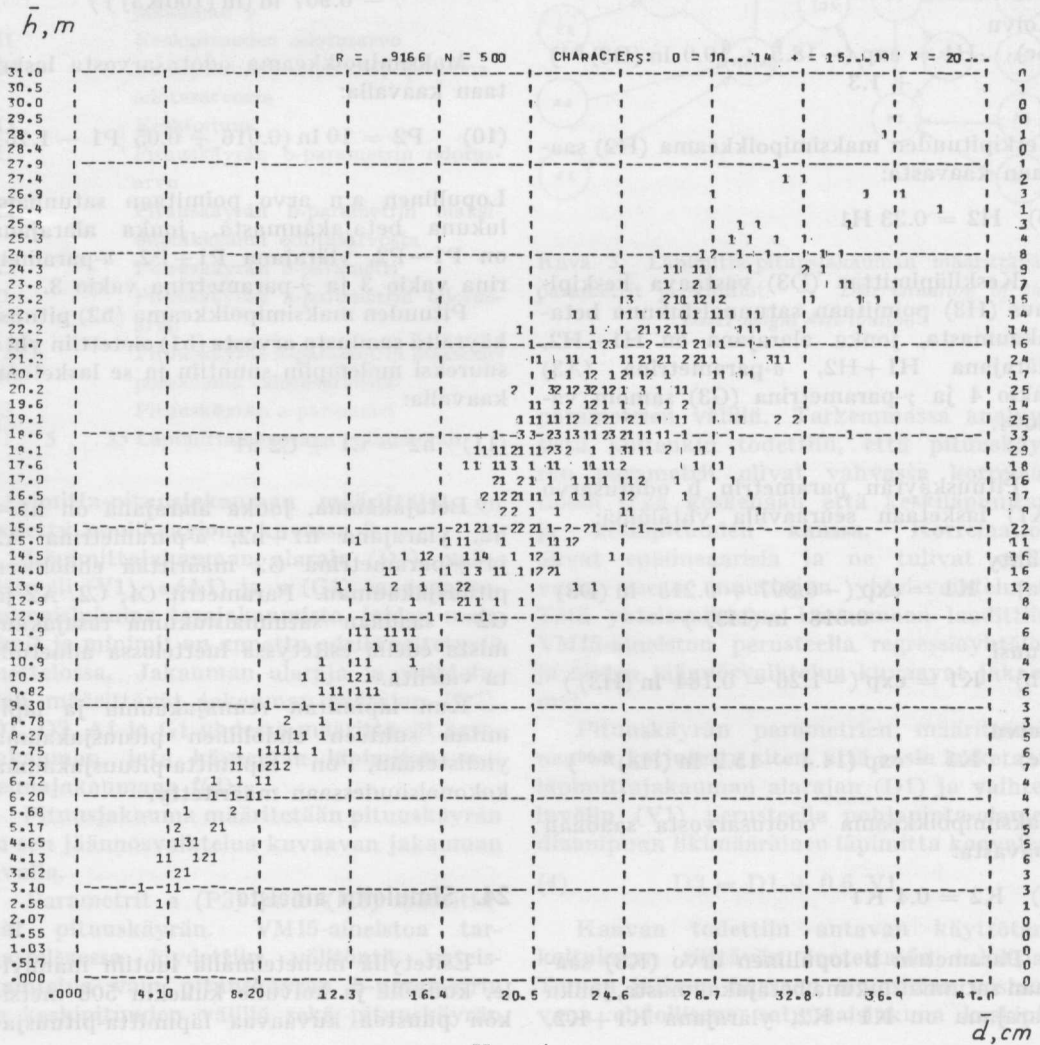
## 24. Simuloitu aineisto

Esitetyllä menetelmällä luotiin männylle, kuuselle ja koivulle kullekin 500 metsikön puustoa kuvaavaa läpimita-pituusja-

kaumaa. Jokaisesta jakaumasta otettiin 100 puun otos. Puut poimittiin siten, että ensin haettiin läpimitta satunnaislukuna läpimitan reunajakaumasta. Tämän jälkeen poimittiin puun pituus satunnaislukuna läpimittaa vastaavasta ehdollisesta pituusjakaumasta. Otoksen puille laskettiin samat johdetut puutunnukset ja puustotunnukset kuin VMI5-aineistossa (s. 9).

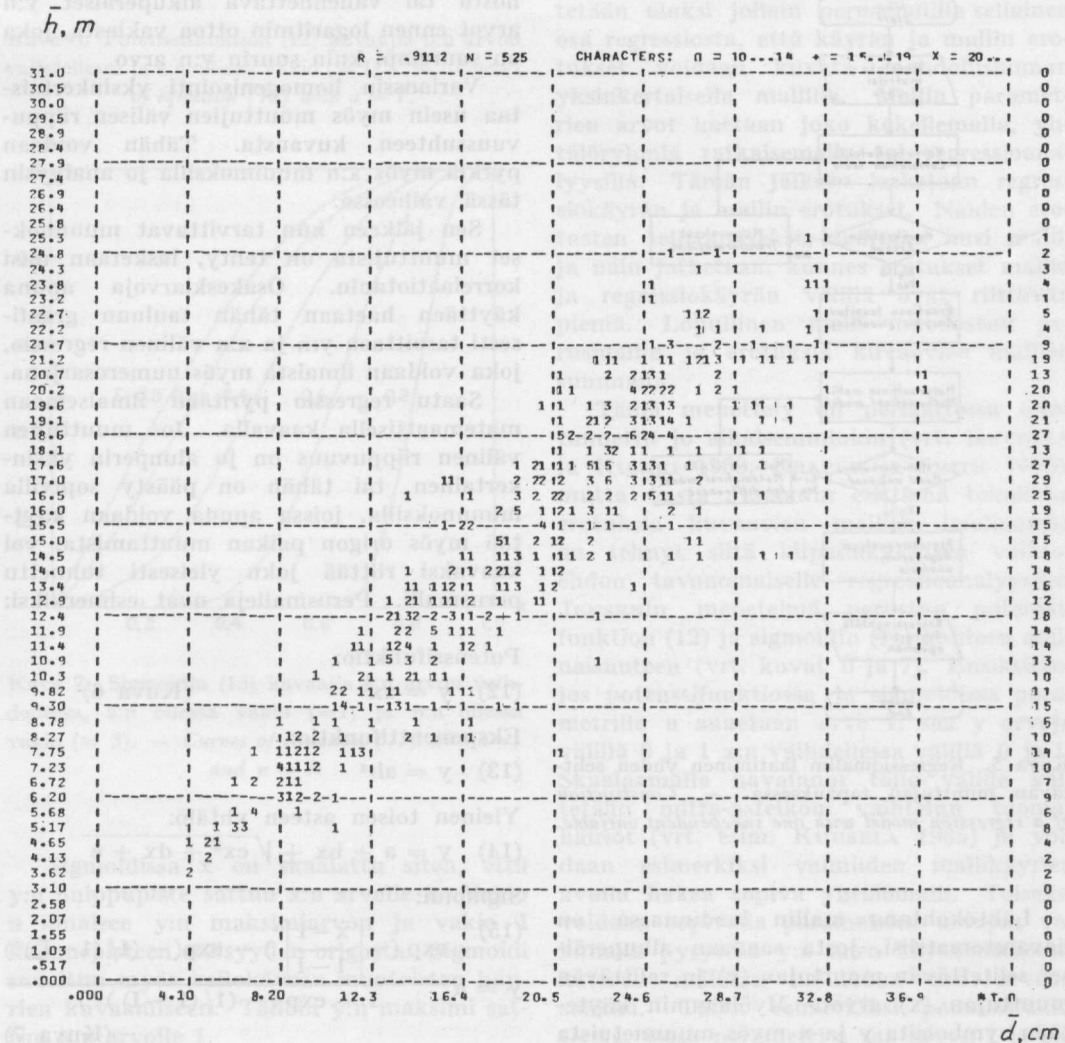
Jotta aineiston laitaosille olisi tullut riittävästi havaintoja, otettiin sekä pieniä että järeitä puita käsittäviä jakaumia enemmän kuin simulointi satunnaisesti toteutettuna olisi tuottanut. Esimerkkinä simuloimalla saaduista puustoista on liitteessä annettu puustotiedot 50 satunnaisesti valitusta mäntyjoukosta.

Kuva 4. Keskiläpimitan ja keskipituuden korrektiontaulu. a. Simuloitu mäntyaineisto. b. VMI5-männiköt. — Correlation table of the basal area median diameter and height. a. Simulated pine stands b. Sample plots in the national forest inventory.



Kuva 4 a

Simuloimalla saatuja puustoja verrattiin VMI5-aineistoon tarkastelemalla puustojen parametrien välisiä korrelaatiotauluja. Tarkastelu osoitti, että simuloimalla saatujen puujoukkojen parametrien jakaumat olivat likimain samanlaisia kuin VMI5-aineistossa. Esimerkkinä simuloitujen puujoukkojen vaihtelualueesta on kuvassa 4a mäntyaineistosta saatu keskilämpimän ja keskipituuden korrelaatiotaulu. Vertailukohteenä on kuvassa 4b VMI5-aineistosta saatu korrelaatiotaulu. Kuvista näkyy, että simuloitun aineiston vaihtelualue kattaa tyydyttävästi VMI5-aineiston vaihtelualan.

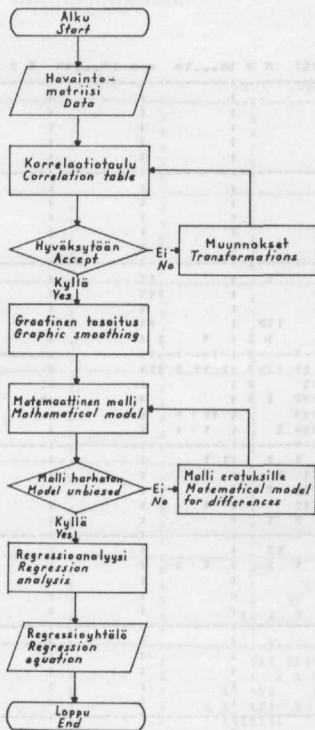


Kuva 4 b

### 3. PUUSTOTUNNUSMALLIEN LAADINTA

#### 31. Menetelmä

Puuston tilaa kuvaavien mallien laadintamenetelmänä oli regressioanalyysi. Mallien muodon määrittäminen perustui suureksi osaksi JENSENIN (1973) esittämiin ajatuksiin. Silloin kun mallissa on vain yksi selittävä muuttuja, voidaan regressiomalli laatia kuvan 5 osoittaman kaavion mukaisesti.



Kuva 5. Regressiomallin laatiminen yhden selittävän muuttujan tapauksessa. — Construction of a regression model with one independent variable.

Lähtökohtana mallin laadinnassa on havaintomatriisi, josta saadaan alkuperäiset selitettävän muuttujan (y) ja selittävän muuttujan (x) arvot. Myöhemmin käytetään symboleita y ja x myös muunnetuista

arvoista. Havainnot esitetään korrelaatiotauluna, josta nähdään x:n funktiona sekä y että y:n varianssi. Mahdollinen y:n varianssin homogenisointi saadaan aikaan erilaisilla muunnoksilla, joista logaritmuunnos on yleisin. Ennen logaritmin ottoa voidaan y:stä joko vähentää tai siihen lisätä positiivinen vakio varianssin homogeenisuuden parantamiseksi. Jos varianssi suurenee selitettävän muuttujan arvon pienessä, on varianssin homogenisointi käytettävä esimerkiksi eksponenttimuunnosta tai vähennettävä alkuperäiset y:n arvot ennen logaritmin ottoa vakiosta, joka on suurempi kuin suurin y:n arvo.

Varianssin homogenisointi yksinkertaistaa usein myös muuttujien välisen riippuvuussuhteen kuvausta. Tähän voidaan pyrkiä myös x:n muunnoksilla jo analyysin tässä vaiheessa.

Sen jälkeen kun tarvittavat muunnokset muuttujista on tehty, lasketaan uusi korrelaatiotaulu. Osakeskiarvoja apuna käyttäen haetaan tähän tauluun graafisesti tasoitetaan y:n ja x:n välinen regressio, joka voidaan ilmaista myös numerosarjana.

Saatu regressio pyritään ilmaisemaan matemaattisella kaavalla. Jos muuttujien välinen riippuvuus on jo alunperin yksinkertainen, tai tähän on päästy sopivilla muunnoksilla, joissa apuna voidaan käyttää myös origon paikan muuttamista, voi kaavaksi riittää joku yleisesti tunnettu perusmalli. Perusmalleja ovat esimerkiksi:

Potenssifunktio:

$$(12) y = ax^b \quad (\text{Kuva 6})$$

Eksponenttifunktio:

$$(13) y = ab^x$$

Yleinen toisen asteen yhtälö:

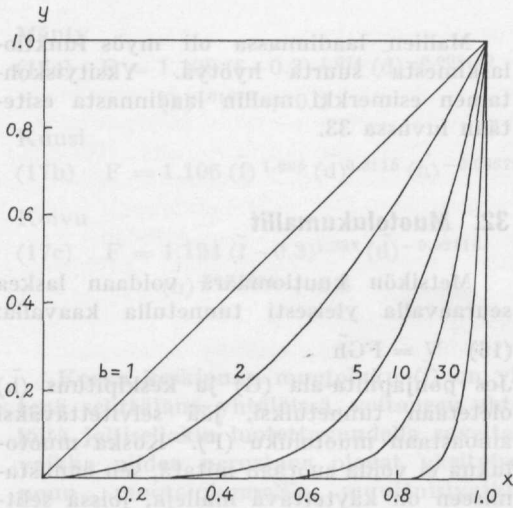
$$(14) y = a + bx \pm \sqrt{cx^2 + dx + e}$$

Sigmoidi:

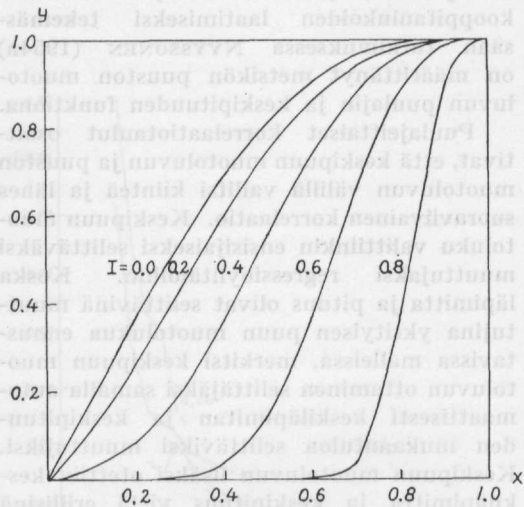
$$(15) y = a \frac{\exp\left(-\left|\frac{x-1}{1-I}\right|^n\right) - \exp\left(-\left(1/(1-I)\right)^n\right)}{1 - \exp\left(-\left(1/(1-I)\right)^n\right)}$$

(Kuva 7)





Kuva 6. Potenssifunktion (12) kuvaajia  $b$ :n arvon vaihdelta ja  $a$ :n ollessa vakio ( $= 1$ ). — Curves of equation (12) with  $a = 1$ .



Kuva 7. Sigmoidin (15) kuvaajia  $I$ :n arvon vaihdelta,  $a$ :n ollessa vakio ( $= 1$ ) ja  $n$ :n ollessa vakio ( $= 3$ ). — Curves of equation (15) with  $a = 1$  and  $n = 3$ .

Sigmoidissa  $x$  on skaalattu siten, että  $y$ :n huippupiste sattuu  $x$ :n arvolle 1. Vakio  $a$  ilmaisee  $y$ :n maksimiarvon ja vakio  $I$  käänne pisteen etäisyyden origosta. Sigmoidi soveltuu myös kellokäyrän muotoisten käyrien kuvaamiseen. Tällöin  $y$ :n maksimi sattuu  $x$ :n arvolle 1.

Mahdollisten muunnostenkin jälkeen on  $y$ :n ja  $x$ :n välinen regressio usein niin monimutkainen, ettei mikään yleisesti tunnettu perusmalli yksin riitä sitä kuvaamaan. Perinteinen tapa on tässä tilanteessa kokeilla yhtälöitä, joissa useat  $x$ :n muunnokset ovat selittävinä muuttujina.

Esimerkiksi valikoivassa regressioanalyysissä suuresta joukosta  $x$ :n muunnoksia poimitaan lopulliseen yhtälöön ne, joiden yhdistelmä antaa käytettyjen kriteereiden mukaan parhaan  $y$ :n selitysmallin.

JENSENIN (1973) esittämä menetelmä poikkeaa olennaisesti valikoivasta regressioanalyysistä tai sitä jäljittelevästä kokeiluun perustuvasta regressiomallien laadinnasta. JENSENIN menetelmässä selitetään aluksi jollain perusmallilla sellainen osa regressiosta, että käyrän ja mallin erotukset voidaan kuvata mahdollisimman yksinkertaisella mallilla. Mallin parametrien arvot haetaan joko kokeilemalla, yhtälöryhmiä ratkaisemalla tai regressioanalyysillä. Tämän jälkeen lasketaan regressiokäyrän ja mallin erotukset. Näiden erotusten selittämiseksi laaditaan uusi malli, ja näin jatketaan, kunnes erotukset mallin ja regressiokäyrän välillä ovat riittävän pieniä. Lopullinen malli muodostuu perusmallin ja erotuksia kuvaavien mallien summana.

Tämä menettely on periaattessa ollut tunnettu jo aikaisemminkin (vrt. KUUSELA ja KILKKI 1963; DRAPER ja SMITH 1966), mutta vasta JENSENIN esittämä tekniikka erotuksia kuvaavien mallien laadinnassa on tehnyt siitä kilpailukykyisen vaihtoehdon tavanomaiselle regressioanalyysille. JENSENIN menetelmä perustuu potenssifunktion (12) ja sigmoidin (15) kahteen ominaisuuteen (vrt. kuvat 6 ja 7). Ensiksikin, jos potenssifunktiossa ja sigmoidissa parametrille  $a$  annetaan arvo 1, saa  $y$  arvoja välillä 0 ja 1  $x$ :n vaihdelta välillä 0 ja 1. Skaalaamalla havainnot tälle välille vältetään mitta-asteikon vaihtelun tuomat häiriöt (vrt. esim. KUUSELA 1965) ja voidaan esimerkiksi valmiiden mallikäyrien avulla hakea sopiva yhtälömalli. Toiseksi voidaan sopivalla parametrien arvojen valinnalla pysyttää  $y$ :n arvo käytännöllisesti katsoen nollassa haluttuun  $x$ :n arvoon saakka. Täten esimerkiksi potenssifunktiossa, jossa parametri  $a$  saa arvon 1 ja pa-

rametri  $b$  arvon 10,  $y$  poikkeaa merkittävästi nollassa vasta  $x:n$  arvolla 0.6. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että kuvattaessa  $y:tä$   $x:n$  funktiona summan muotoisella lausekkeella termi  $x^{10}$  alkaa vaikuttaa merkittävästi vasta  $x:n$  arvosta 0.6 alkaen (vrt. kuva 6). Jos regressiokäyrän ja perusmallin erotuksia voidaan kuvata termillä  $x^{10}$ , tämä termi voidaan lisätä suoraan perusmalliin ilman, että se vaikuttaa olennaisesti  $x:n$  arvoilla 0...0.6.

Viimeisenä vaiheena mallin laadinnassa on mallin kertoimien tarkentaminen koko aineistoa käyttäen. Tämä tapahtuu normaalilla regressioanalyysillä. Tässä yhteydessä on myös mahdollista tarkentaa aikaisemmasta analyysistä saatuja parametrien arvoja kokeilemalla esimerkiksi potenssi-funktion eksponenteille alkuperäistä arvoa lähellä olevia arvoja. Regressioanalyysissä on muunnettu  $y$  selitettävänä muuttujana. Selittävinä muuttujina voivat olla kaikki edellisessä tarkastelussa löydetty  $x:n$  muunnokset erikseen. Toisena vaihtoehtona on yhdistää joko kaikki tai osa  $x:n$  muunnoksista yhdeksi muuttujaksi. Mikäli mallin tulisi kulkea origon kautta, on syytä tehdä regressioanalyysi ilman vakiotermiä.

JENSENIN julkaisussa on kuvattu lukuisia eri tilanteisiin soveltuvia mallin laadintatapoja. Samassa julkaisussa on esitelty myös menetelmän käyttöä silloin, kun mallissa on kaksi tai useampia selittäviä muuttujia. On ilmeistä, että juuri näissä tapauksissa esitetty »Matchacurve»-tekniikka antaa suurimman hyödyn. Tässä tutkimuksessa tekniikkaa sovellettiin kuitenkin vain tilanteisiin, joissa oli yksi selittävä muuttuja.

Käytännön apuvälineenä mallien rakentamisessa oli Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksessa UNIVAC 1108-tietokoneelle kehitetty korrelaatiotaulu- ja regressioanalyysiohjelmisto, joka uusittiin tämän työn yhteydessä korrelaatiotaulun osalta täysin ja regressioanalyysin osalta osittain. Ohjelmistossa on pääpaino mahdollisimman havainnollisen visuaalisen tarkastelun aikaansaamisessa. Korrelaatiotauluohjelmalla on mahdollista tuottaa myös kolmiulotteisia kuvia. Kolmas ulottuvuus saadaan esille ilmaisemalla taulussa frekvenssien asemasta kolmannen muuttujan suhteelliset arvot symboleilla.

Mallien laadinnassa oli myös funktiolaskimesta suurta hyötyä. Yksityiskohmainen esimerkki mallin laadinnasta esitetään luvussa 33.

## 32. Muotolukumallit

Metsikön kuutiomäärä voidaan laskea seuraavalla yleisesti tunnetulla kaavalla:

$$(16) V = FG\bar{h}$$

Jos pohjapinta-ala ( $G$ ) ja keskipituus ( $\bar{h}$ ) oletetaan tunnetuiksi, jää selvitettäväksi ainoastaan muotoluku ( $F$ ). Koska muotolukua ei voida suoraan mitata, sen ennustamiseen on käytettävä malleja, joissa selittävinä muuttujina ovat metsiköstä mitattavissa olevat tunnuksat. Metsikön puuston muotolukua selittävinä muuttujina on yleisesti käytetty puulajia, keskiläpimittää ja keskipituutta (PRODAN 1965). Ns. relaskooppitaulukoiden laatimiseksi tekemässään tutkimuksessa NYSSÖNEN (1954a) on määrittänyt metsikön puuston muotoluvun puulajin ja keskipituuden funktiona.

Puulajeittaiset korrelaatiotaulut osoittivat, että keskipuun muotoluvun ja puuston muotoluvun välillä vallitsi kiinteä ja lähes suoraviivainen korrelaatio. Keskipuun muotoluku valittiinkin ensisijaiseksi selittäväksi muuttujaksi regressioyhtälöihin. Koska läpimitta ja pituus olivat selittävinä muuttujina yksityisen puun muotolukua ennustavissa malleissa, merkitsi keskipuun muotoluvun ottaminen selittäjäksi samalla automaattisesti keskiläpimitan ja keskipituuden mukaantuloa selittäviksi muuttujiksi. Keskipuun muotoluvun lisäksi otettiin keskiläpimitta ja keskipituus vielä erillisinä lisäselittäjinä puuston muotolukua ennustaviin malleihin. Männikössä nämä muuttujat eivät osoittautuneet tarpeellisiksi, mutta ne pidettiin kuitenkin mukana mallien yhtenäisyyden säilyttämiseksi.

Kaikista muuttujista otettiin logaritmit ennen regressioanalyysia. Männyllä ja koi-vulla puuston muotoluvusta vähennettiin vakio 0.3 ennen logaritmin ottoa varianssin homogenisoimiseksi. Sama vähennys tehtiin myös keskipuun muotoluvusta. Eri puulajeille saatiin seuraavat puuston muotolukuyhtälöt, joihin on tehty logaritmi-muunnoksesta aiheutuva tasokorjaus:

Mänty

$$(17a) F = 1.109 (\bar{f} - 0.3)^{1.074} (\bar{d})^{-0.008100} (\bar{h})^{0.01670} + 0.3$$

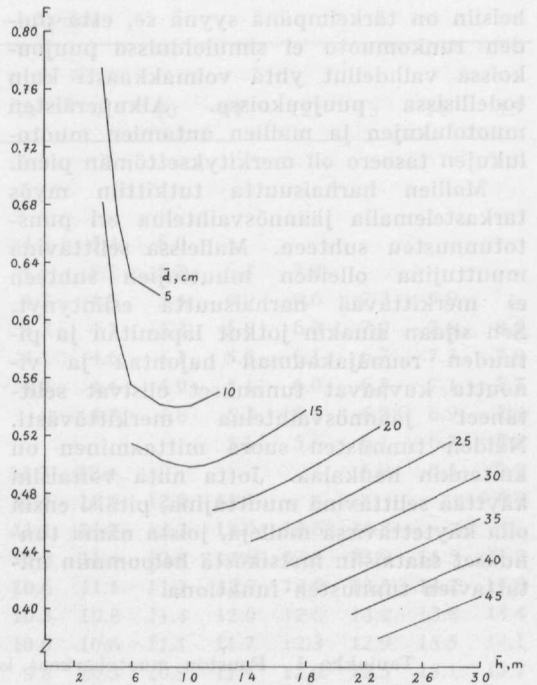
Kuusi

$$(17b) F = 1.106 (\bar{f})^{1.095} (\bar{d})^{0.2115} (\bar{h})^{-0.03379}$$

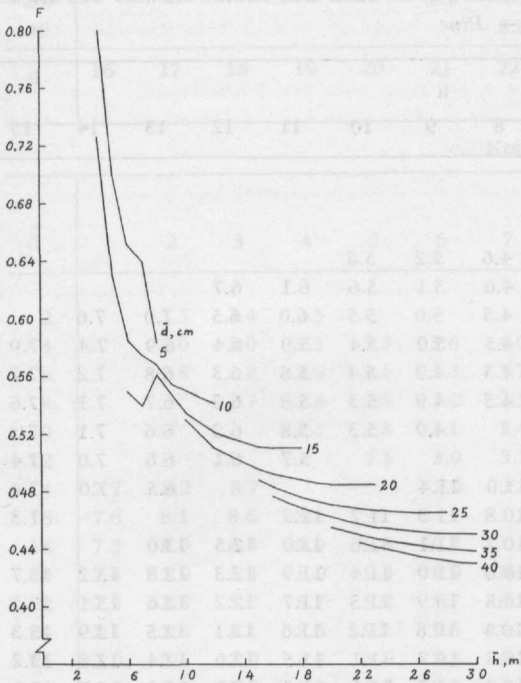
Koivu

$$(17c) F = 1.194 (\bar{f} - 0.3)^{1.032} (\bar{d})^{-0.02116} (\bar{h})^{-0.02034} + 0.3$$

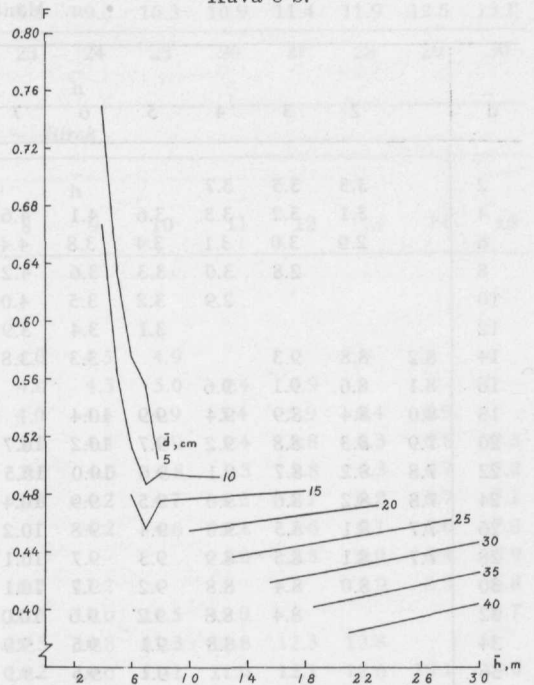
Koska keskipuun muotoluku ( $\bar{f}$ ) on yhtenä selittäjänä yhtälöissä, voitaneen yhtälöitä joltisellakin luotettavuudella soveltaa, vaikka niiden perustana olevat yksityisen puun muotolukumallit muuttuisivatkin. Yhtälöiden keskipuunvirheet laskettiin vertaamalla alkuperäisiä muotolukuja yhtälöillä saatuihin muotolukuihin. Variaatiokerroin oli männyllä ja kuusella 1.3 ja koivulla 1.5 prosenttia. Suhteellisen pieniin keskipuun-



Kuva 8 b.



Kuva 8 a.



Kuva 8 c.

Kuva 8. Puuston muotoluku keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona. a. Mänty, b. Kuusi, c. Koivu. — Form factor of the growing stock as a function of the basal area median diameter and height. a. Pine, b. Spruce, c. Birch.

heisiin on tärkeimpänä syynä se, että puiden runkomuoto ei simuloituissa puujoukoissa vaihdellut yhtä voimakkaasti kuin todellisissa puujoukoissa. Alkuperäisten muotolukujen ja mallien antamien muotolukujen tasoero oli merkityksettömän pieni.

Mallien harhaisuutta tutkittiin myös tarkastelemalla jäännösvaihtelua eri puustotunnusten suhteen. Malleissa selittävinä muuttujina olleiden muuttujien suhteen ei merkittävää harhaisuutta esiintynyt. Sen sijaan ainakin jotkut läpimitan ja pituuden reunajakauman hajontaa ja vinoutta kuvaavat tunnuksot olisivat selittäneet jäännösvaihtelua merkittävästi. Näiden tunnusten suora mittaaminen on kuitenkin hankalaa. Jotta niitä voitaisiin käyttää selittävinä muuttujina, pitäisi ensin olla käytettävissä malleja, joista nämä tunnuksot saataisiin metsiköstä helpommin mitattavien tunnusten funktiona.

Muotolukuyhtälöiden antamat arvot on esitetty graafisesti kuvassa 8. Muotolukujen kuvaajat eivät ole säännönmukaisia metsiköissä, joiden puuston keskipituus on alle 10 metriä. Tämä johtuu siitä, että alle 8 metrin pituisille puille sovellettiin eri muotolukuyhtälöä kuin 8 metriä pitemmille puille. Tämä aiheutti epäjatkuvuuskohdan yksityisten puiden muotolukujen kuvaajissa, mikä osittain tasoittuneena näkyy myös puuston muotoluvuissa.

Taulukossa 1 on esitetty muotolukuyhtälöihin perustuvat muotokorkeudet (FH) keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona. Taulukossa 2 on esitetty muotolukuyhtälöihin perustuvat hehtaarikohtaiset kuutiomäärät keskipituuden ja pohjapinta-alan funktiona. Tällöin on oletettu, että keskipituuden ja keskiläpimitan välillä vallitsevat yhtälöiden (5a), (5b) ja (5c) ilmaiset relaatiot. Nämä NYSSÖSEN (1954a) re-

Taulukko 1. Puuston muotokorkeus keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona.

Table 1. Form height (FH) of the growing stock as a function of the basal area median diameter and height.  
a. Mänty — Pine

$\bar{d}$	$\bar{h}$														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2	3.5	3.5	3.7												
4	3.1	3.2	3.3	3.6	4.1	4.6									
6	2.9	3.0	3.1	3.4	3.8	4.4	4.6	5.2	5.8						
8		2.8	3.0	3.3	3.6	4.2	4.6	5.1	5.6	6.1	6.7				
10			2.9	3.2	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.6		
12				3.1	3.4	3.9	4.5	5.0	5.4	5.9	6.4	6.9	7.4	7.9	
14	8.2	8.8	9.3		3.3	3.8	4.5	4.9	5.4	5.8	6.3	6.8	7.2	7.7	
16	8.1	8.6	9.1	9.6			4.5	4.9	5.3	5.8	6.2	6.7	7.1	7.6	
18	8.0	8.4	8.9	9.4	9.9	10.4		4.9	5.3	5.8	6.2	6.6	7.1	7.5	
20	7.9	8.3	8.8	9.2	9.7	10.2	10.7			5.7	6.1	6.6	7.0	7.4	
22	7.8	8.2	8.7	9.1	9.6	10.0	10.5	11.0	11.4			6.5	7.0	7.4	
24	7.8	8.2	8.6	9.0	9.5	9.9	10.4	10.8	11.3	11.7	12.2			7.3	
26	7.7	8.1	8.5	9.0	9.4	9.8	10.2	10.7	11.1	11.6	12.0	12.5	13.0		
28	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.6	11.0	11.4	11.9	12.3	12.8	13.2	13.7
30		8.0	8.4	8.8	9.2	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.2	12.6	13.1	13.5
32			8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.1	12.5	12.9	13.3
34				8.8	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	12.0	12.4	12.8	13.2
36					9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1
38						9.5	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0
40							9.8	10.2	10.6	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9
$\bar{d}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
									$\bar{h}$						

b. Kuusi — Spruce

$\bar{d}$	$\bar{h}$														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2		3.4	3.5	3.7											
4		3.0	3.1	3.2	3.5	3.9	4.5								
6		2.8	2.8	3.0	3.3	3.7	4.2	4.8	5.4	6.0					
8			2.7	2.8	3.1	3.5	4.0	4.5	5.1	5.7	6.3	7.0			
10				2.7	3.0	3.3	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.6	7.3	7.9	
12					2.9	3.2	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.3	7.0	7.6	8.2
14	8.5	9.2	9.9			3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.6	6.1	6.7	7.3	7.9
16	8.3	8.9	9.5	10.2				4.0	4.4	4.9	5.4	6.0	6.5	7.1	7.7
18	8.0	8.6	9.2	9.8	10.5	11.1			4.3	4.8	5.3	5.8	6.3	6.9	7.4
20	7.8	8.3	8.9	9.5	10.2	10.8	11.4				5.1	5.6	6.1	6.7	7.2
22	7.6	8.1	8.7	9.3	9.9	10.5	11.1	11.7	12.4				6.0	6.5	7.0
24	7.4	7.9	8.5	9.0	9.6	10.2	10.8	11.4	12.0	12.7	13.3				6.8
26	7.2	7.7	8.2	8.8	9.4	9.9	10.5	11.1	11.7	12.3	13.0	13.6	14.3		
28	7.0	7.5	8.0	8.6	9.1	9.7	10.2	10.8	11.4	12.0	12.6	13.3	13.9	14.5	15.2
30		7.3	7.8	8.4	8.9	9.4	10.0	10.6	11.1	11.7	12.3	12.9	13.5	14.2	14.8
32			7.6	8.2	8.7	9.2	9.7	10.3	10.8	11.4	12.0	12.6	13.2	13.8	14.4
34				7.9	8.5	9.0	9.5	10.0	10.6	11.1	11.7	12.3	12.9	13.5	14.1
36					8.2	8.7	9.3	9.8	10.3	10.9	11.4	12.0	12.5	13.1	13.7
38						8.5	9.0	9.5	10.1	10.6	11.1	11.7	12.2	12.8	13.4
40							8.8	9.3	9.8	10.3	10.9	11.4	11.9	12.5	13.1
$\bar{d}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

c. Koivu — Birch

$\bar{d}$	$\bar{h}$														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2		3.3	3.4	3.5											
4		3.0	3.0	3.1	3.3	3.6	4.0								
6		2.8	2.8	2.9	3.1	3.3	3.7	4.0	4.5	4.9					
8			2.7	2.8	2.9	3.2	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4	5.9			
10				2.7	2.8	3.1	3.4	4.0	4.4	4.9	5.4	5.9	6.4	6.9	
12					2.8	3.0	3.3	3.9	4.4	4.9	5.4	5.8	6.3	6.8	7.3
14	7.7	8.2	8.7			2.9	3.2	3.8	4.3	4.8	5.3	5.8	6.3	6.7	7.2
16	7.6	8.1	8.6	9.1				3.8	4.2	4.7	5.2	5.7	6.2	6.7	7.1
18	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0			4.2	4.6	5.1	5.6	6.1	6.6	7.0
20	7.4	7.9	8.4	8.9	9.4	9.9	10.4				5.0	5.5	6.0	6.4	6.9
22	7.3	7.8	8.2	8.7	9.2	9.7	10.2	10.7	11.2				5.9	6.3	6.8
24	7.1	7.6	8.1	8.6	9.1	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0				6.7
26	7.0	7.5	7.9	8.4	8.9	9.4	9.9	10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8		
28	6.9	7.3	7.8	8.2	8.7	9.2	9.7	10.2	10.6	11.1	11.6	12.1	12.6	13.1	13.6
30		7.2	7.6	8.1	8.5	9.0	9.5	10.0	10.4	10.9	11.4	11.9	12.4	12.9	13.4
32			7.5	7.9	8.4	8.8	9.3	9.8	10.2	10.7	11.2	11.7	12.2	12.7	13.2
34				7.7	8.2	8.6	9.1	9.6	10.0	10.5	11.0	11.4	11.9	12.4	12.9
36					8.0	8.5	8.9	9.4	9.8	10.3	10.7	11.2	11.7	12.2	12.6
38						8.3	8.7	9.2	9.6	10.1	10.5	11.0	11.4	11.9	12.4
40							8.5	8.9	9.4	9.8	10.3	10.7	11.2	11.7	12.1
$\bar{d}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

laskooppitaulukoita vastaavat taulukot antanevat keskimäärin oikeita tuloksia Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälaulukuntien alueilla. Verrattaessa taulukoiden arvoja NYYSSÖSEN taulukoiden arvoihin voidaan todeta, että männiköissä molemmat antavat likimain samoja tuloksia. Sen sijaan yli 18 metrin pituisissa kuusikoissa ja koivikoissa nyt laaditut taulukot antavat alempia kuutiomääriä kuin NYYSSÖSEN taulukot. 28 metrin pituisissa kuusikoissa ero on jo 10 prosenttia ja 26 metrin pituisissa koivikoissa 13 prosenttia. Todellisuudessa ero on vieläkin suurempi, sillä nyt käytetyt yksityisen puun kuutioimisytälöt antanevat esimerkiksi lyhyemmästä kannosta johtuen 2...3 prosenttia korkeampia kuutiomääriä kuin NYYSSÖSEN taulukoiden perustana olevat ILVESSALON (1948) kuutioimistaulukot.

Taulukon 2 arvot ovat aliarvioita keskimääräistä parempimuotoisissa metsiköissä ja yliarvioita keskimääräistä huonompimuotoisissa metsiköissä.

Tästä syystä onkin taulukon 1 käyttö suositeltavampaa, koska siinä myös keskiläpimitta vaikuttaa puuston muotokorkeuteen.

### 33. Puutavaralajimallit

Puutavaralajimallit laadittiin puulajeittain vain tukkipuun ja hakkuutähteen prosenttiosuuksien ennustamiseksi, sillä kuitupuun osuus saadaan vähentämällä tukkipuun ja hakkuutähteen osuuksien summa sadasta. Malleissa oli selittävänä muuttujana keskipuun kuutiomäärä. Keskiläpimitta ja keskipituus olisivat yhdessä tehokkaampia selittäviä muuttujia kuin keskipuun kuutiomäärä, mutta niiden arvoja ei tunneta tämän tutkimuksen lähtökohtana olleessa puuntuotantomallissa (vrt. KILKKI ja PÖKÄLÄ 1975).

Taulukko 2. Keskipituuteen ja pohjapinta-alaan perustuvat metsikön puuston kuutioimistaulukot Keski-Suomen ja Pohjois-Savon alueelle.

Table 2. Volume of the growing stock as a function of the basal area and mean height.

#### a. Mänty — Pine

G	$\bar{h}$												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
6	20	22	27	33	38	42	47	52	56	60	64	68	72
8	26	30	36	43	50	57	63	69	75	80	86	91	97
10	33	37	45	54	63	71	79	86	93	100	107	114	121
12	40	45	55	65	75	85	94	103	112	121	129	137	145
14	46	52	64	76	88	99	110	121	131	141	150	160	169
16	53	60	73	87	100	113	126	138	149	161	172	183	193
18	59	67	82	98	113	127	141	155	168	181	193	205	217
20	66	74	91	108	125	141	157	172	187	201	215	228	241
22	72	82	100	119	138	156	173	189	205	221	236	251	265
24	79	89	109	130	150	170	188	207	224	241	258	274	290
26	86	97	118	141	163	184	204	224	243	261	279	297	314
28	92	104	127	152	175	198	220	241	262	281	301	319	338
30	99	112	136	163	188	212	236	258	280	301	322	342	362
32	105	119	146	173	200	226	251	275	299	322	344	365	386
34	112	127	155	184	213	240	267	293	318	342	365	388	410
36	118	134	164	195	225	255	283	310	336	362	387	411	434
38	125	141	173	206	238	269	298	327	355	382	408	434	458
40	132	149	182	217	250	283	314	344	374	402	430	456	483

b. Kuusi — *Spruce*

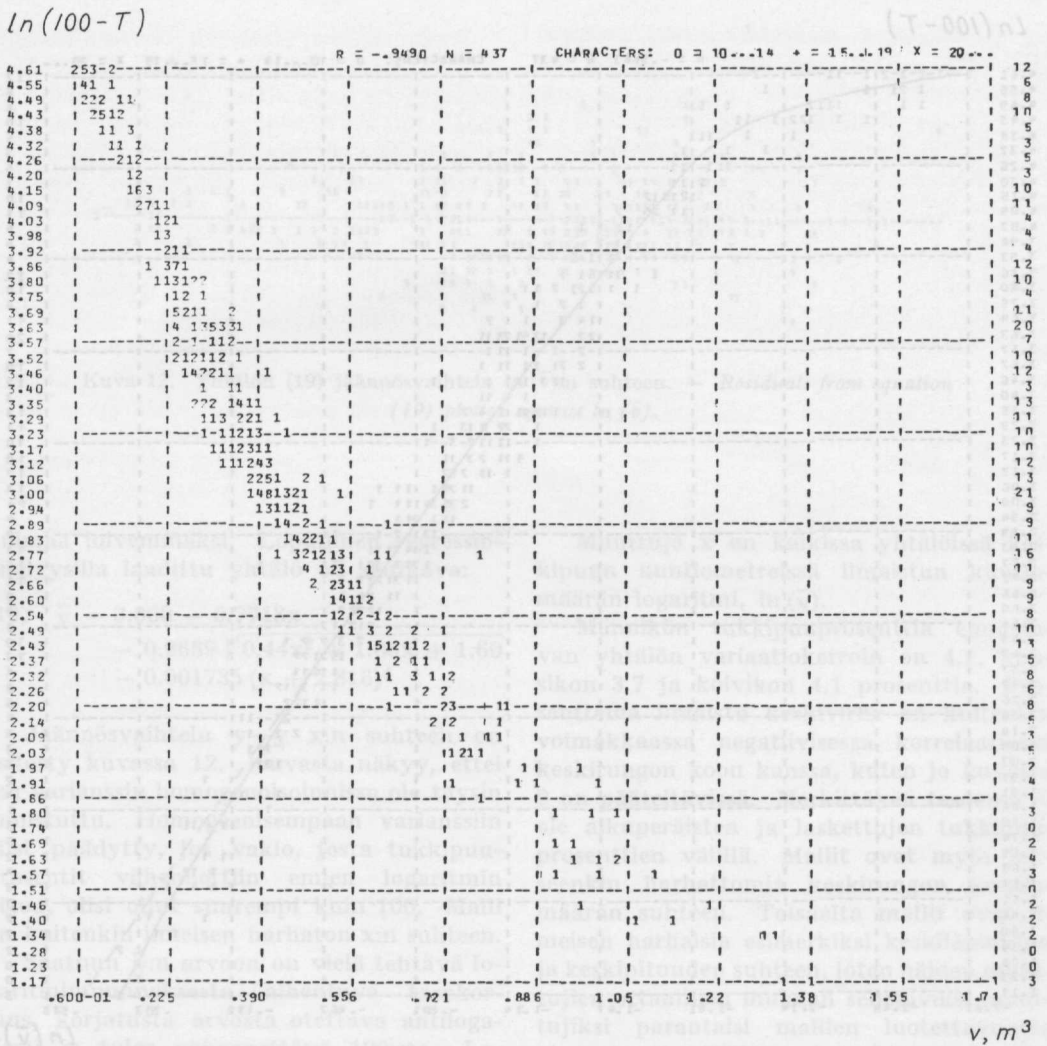
G	$\bar{h}$												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
6	20	22	27	31	36	41	46	51	55	60	64	68	71
8	27	29	35	42	49	55	61	68	74	79	85	90	95
10	34	37	44	52	61	69	77	85	92	99	106	113	119
12	40	44	53	63	73	83	92	101	111	119	128	135	143
14	47	51	62	73	85	96	107	118	129	139	149	158	167
16	54	58	71	84	97	110	123	135	147	159	170	181	191
18	60	66	80	94	109	124	138	152	166	179	191	203	214
20	67	73	88	105	121	138	154	169	184	199	213	226	238
22	74	80	97	115	133	151	169	186	203	219	234	248	262
24	80	88	106	126	146	165	184	203	221	238	255	271	286
26	87	95	115	136	158	179	200	220	239	258	276	293	310
28	94	102	124	147	170	193	215	237	258	278	298	316	334
30	100	110	133	157	182	206	230	254	276	298	319	339	357
32	107	117	142	168	194	220	246	271	295	318	340	361	381
34	114	124	150	178	206	234	261	288	313	338	361	384	405
36	121	132	159	189	218	248	276	304	332	358	383	406	429
38	127	139	168	199	230	261	292	321	350	378	404	429	453
40	134	146	177	210	243	275	307	338	368	397	425	452	476

c. Koivu — *Birch*

G	$\bar{h}$												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
6	19	20	24	30	35	40	45	49	53	56	58	60	60
8	25	27	32	39	47	53	60	65	70	75	78	80	80
10	32	34	40	49	58	67	75	82	88	93	97	100	100
12	38	41	48	59	70	80	90	98	106	112	117	120	120
14	44	48	56	69	82	94	105	115	123	131	136	140	140
16	51	54	64	79	93	107	120	131	141	149	156	160	160
18	57	61	72	89	105	120	134	147	158	168	175	180	180
20	63	68	80	99	117	134	149	164	176	186	194	200	200
22	70	75	88	108	128	147	164	180	194	205	214	220	220
24	76	82	96	118	140	160	179	196	211	224	233	240	240
26	82	88	104	128	152	174	194	213	229	242	253	260	260
28	89	95	112	138	163	187	209	229	247	261	272	280	280
30	95	102	120	148	175	200	224	245	264	280	292	300	300
32	101	109	128	158	187	214	239	262	282	298	311	320	320
34	108	116	136	168	198	227	254	278	299	317	331	340	340
36	114	122	144	178	210	240	269	295	317	336	350	360	360
38	120	129	152	187	222	254	284	311	335	354	370	380	380
40	127	136	160	197	233	267	299	327	352	373	389	400	400







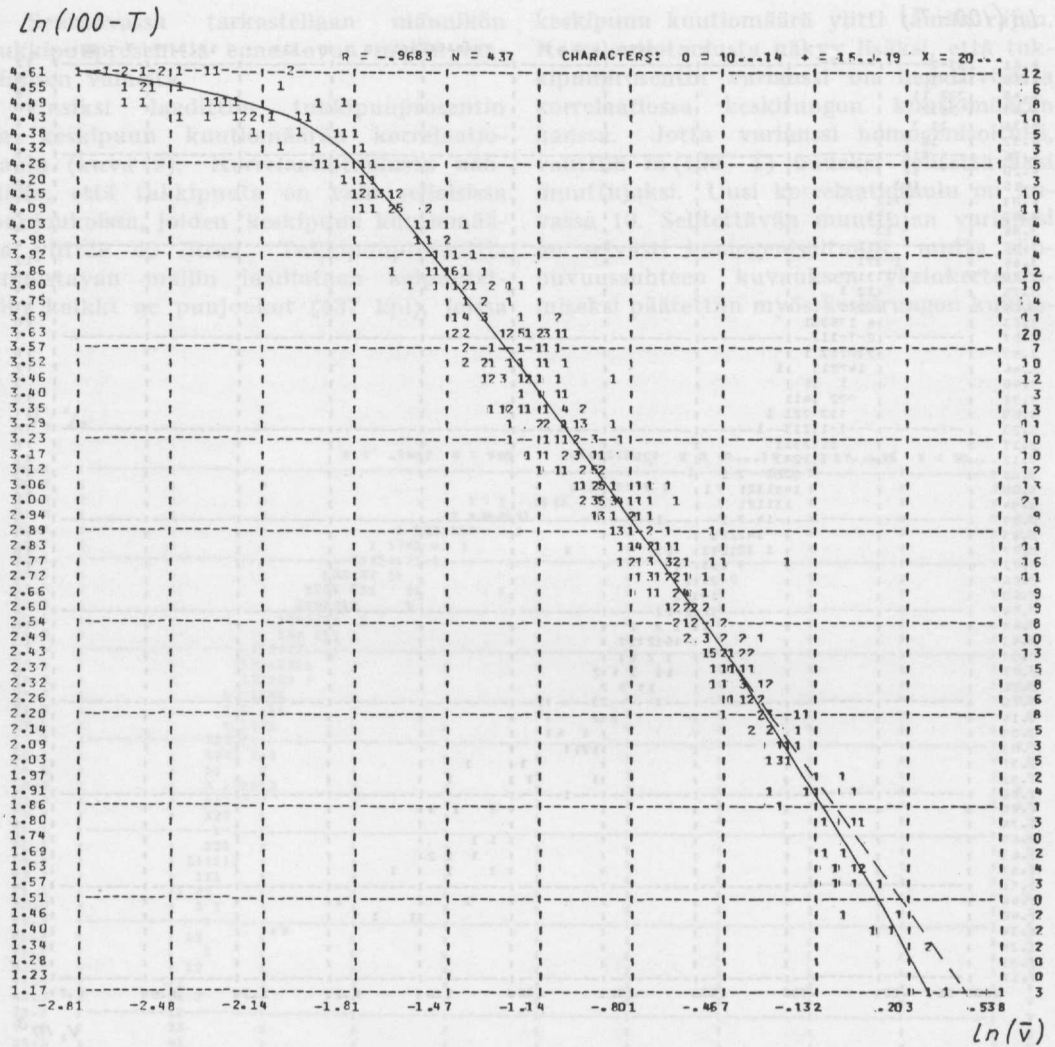
Kuva 10. Tukkipuuprosentin ja keskipuun kuutiomäärän korrelaatiotaulu simuloidussa mäntyaineistossa tukkipuuprosentin muunnoksen jälkeen. — Correlation table of  $\ln(100-T)$  and  $\bar{v}$  in simulated pine stands.

määrästä ottaa logaritmi. Tämän muunnoksen jälkeinen korrelaatiotaulu on esitetty kuvassa 11. Saatu korrelaatiotaulu, jossa  $y = \ln(100-T)$  ja  $x = \ln(\bar{v})$ , hyväksyttiin matemaattisen mallin laatimisen lähtökohdaksi.

Ensin korrelaatiotaulun pisteparvi tasoitettiin käsivaraisesti osakeskiarvoja apuna käyttäen (vrt. kuva 11). Saadun käyrän alkuosa muistuttaa hyperbeliä, mutta loppuosassa käyrä kaartuu hyperbeliä voimak-

kaammin. Perusmalliksi riippuvuussuhdetta selittämään valittiin hyperbeli. Hyperbelin kaavan  $(ay^2 + bx^2 + cxy + dy + ex = f)$  vakiot ratkaistiin hakemalla hyperbeliä muistuttavalta käyrän alkuosalta viisi  $(x,y)$  havaintoparia ja ratkaisemalla näin saatu viiden yhtälön yhtälöryhmä vakioiden suhteen. Tulokseksi saatiin seuraava  $y:n$  suhteen ratkaistu yhtälö:

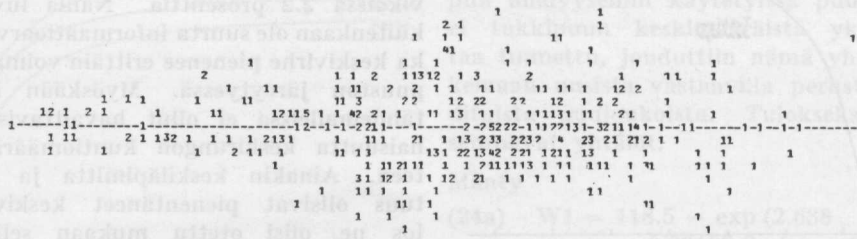
$$(18) \quad y = 3.04 - 0.79x - \sqrt{0.44x^2 + 1.66x + 1.60}$$



Kuva 11. Tukkipuuprosentin ja keskipuun kuutiomäärän korrelaatiotaulu simuloidussa mäntyaineistossa molempien muuttujien muunnosten jälkeen. — Correlation table of  $ln(100-T)$  and  $ln(\bar{v})$  in simulated pine stands.

Tarkasteltaessa graafisesti tasoitettua käyrän (yhtenäinen viiva) ja hyperbelin (katkoviiva) erotuksia (vrt. kuva 11) todettiin, että erotusten selittäjäksi soveltui parhaiten sigmoidi. Koska erotukset olivat absoluuttisilta arvoiltaan varsin pieniä, päätettiin kuitenkin tyytyä yksinkertaisempaan potenssifunktioon. Jos hyperbelin yhtälö (18) olisi hyväksytty käyrän alkuosalle sellaisenaan, olisi erotuksia selittä-

vän termin  $((x + 2.816)^k)$  eksponentin arvon ollut oltava vähintään 8, jottei uusi muuttuja pääsisi häiritsemään mallia  $-0.4$ :ä pienemmillä  $x$ :n arvoilla. Lopullisessa yhtälössä, johon päädyttiin kokeilemalla regressioanalyysissä eri eksponentin arvoja, eksponentiksi tuli 4. Tämä merkitsi sitä, että käyrän alkuosaa kuvaavan hyperbelin sivujen välinen kulma muuttui jonkin verran käsivaraisesti tasoitettussa käyrässä saatua



Kuva 12. Yhtälön (19) jäännösvaihtelu  $\ln(\bar{v})$ :n suhteen. — *Residuals from equation (19) plotted against  $\ln(\bar{v})$ .*

kulmaa loivemmaksi. Lopullinen regressio-analyysillä laadittu yhtälö oli seuraava:

$$(19) \hat{y} = 3.060 - 0.7718x - 0.9689 \sqrt{0.44x^2 + 1.66x + 1.60} - 0.001735(x + 2.816)^4$$

Jäännösvaihtelu  $y - \hat{y}$  x:n suhteen on esitetty kuvassa 12. Kuvasta näkyy, ettei y:n varianssin homogenoisoinnissa ole täysin onnistuttu. Homogeenisempaan varianssiin olisi päädytty, jos vakio, josta tukkipuuprosentit vähennettiin ennen logaritmin ottoa, olisi ollut suurempi kuin 100. Malli on kuitenkin ilmeisen harhaton x:n suhteen.

Saatuun  $\hat{y}$ :n arvoon on vielä tehtävä logaritmuunnoksesta aiheutuva tasokorjaus, korjatusta arvosta otettava antilogaritmi ja tulos vähennettävä 100:sta. Lopullinen männikön yhtälö on seuraava:

$$(20a) T = 100 - \exp(3.069 - 0.7718x - \sqrt{0.4131x^2 + 1.558x + 1.409} - 0.001735(x + 2.816)^4)$$

Kuusikon tukkipuuprosenttiyhtälöksi saatiin:

$$(20b) T = 100 - \exp(3.228 - 0.7019x - \sqrt{0.3033x^2 + 1.068x + 0.9483})$$

Koivikon tukkipuuprosenttiyhtälöksi tuli seuraava yhtälö:

$$(20c) T = 100 - \exp(2.964 - 0.8766x - \sqrt{0.1382x^2 + 0.4241x + 0.3259} - 0.1515 \cdot 10^{-4}(0.7526 - x)^8 + 0.02994(x + 2.816)^3)$$

Muuttuja x on kaikissa yhtälöissä keskipuun kuutiometreissä ilmaistun kuutiomäärän logaritmi,  $\ln(\bar{v})$ .

Männikön tukkipuuprosenttia ennustavan yhtälön variaatiokerroin on 4.1, kuusikon 3.7 ja koivikon 4.1 prosenttia. Prosentteina ilmaistu keskivirhe on kuitenkin voimakkaassa negatiivisessa korrelaatiossa keskirungon koon kanssa, kuten jo kuvasta 9 on pääteltävissä. Merkittävää tasoeroa ei ole alkuperäisten ja laskettujen tukkipuuprosenttien välillä. Mallit ovat myös jokseenkin harhattomia keskirungon kuutiomäärän suhteen. Toisaalta mallit ovat ilmeisen harhaisia esimerkiksi keskiläpimitan ja keskipituuden suhteen, joten näiden muututtujen ottaminen mukaan selittäviksi muututtujiksi parantaisi mallien luotettavuutta olennaisesti. Tällöin ei keskipuun kuutiomäärä enää ehkä olisikaan tarpeen selittäjänä muuttujana.

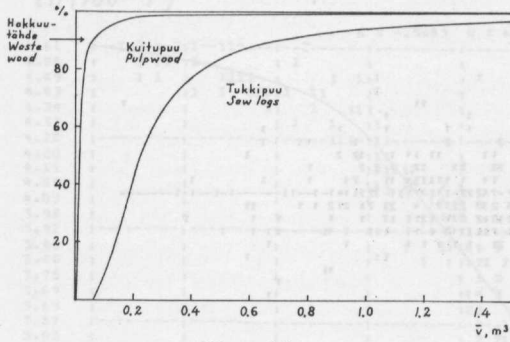
Metsikön hakkuutähdeprosenttia ennustavat yhtälöt olivat eri puulajeilla seuraavat:

Mänty

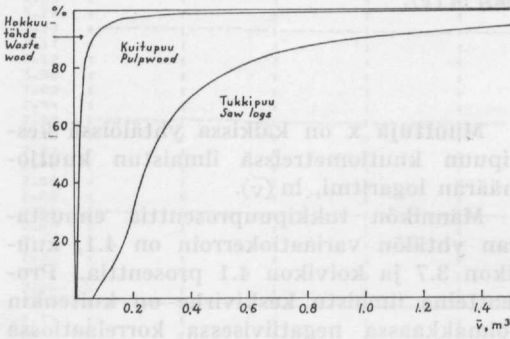
$$(21a) R = \exp(-1.458 - 1.337x - 0.2239 \cdot 10^{-7}(0.5386 - x)^{10} - 0.3097 \cdot 10^{-11}(x + 5.386)^{15}) + 0.2$$

Kuusi

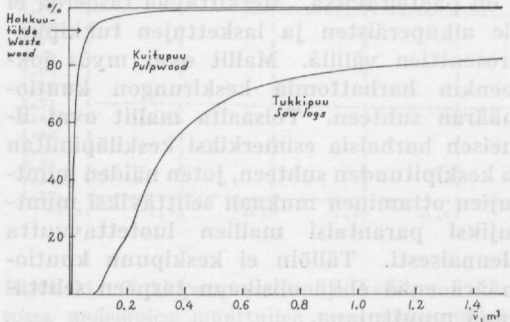
$$(21b) R = \exp(-1.290 - 1.298x - 0.3521 \cdot 10^{-7}(0.2636 - x)^{10} - 0.3706 \cdot 10^{-12}(x + 5.256)^{17}) + 0.3$$



Kuva 13 a.



Kuva 13 b.



Kuva 13 c.

Kuva 13. Puuston jakautuminen puutavaralajeihin keskipuun kuutiomäärän funktiona. a. Mänty, b. Kuusi, c. Koivu. — *Distribution of the growing stock into timber assortments as a function of the basal area median tree volume. a. Pine, b. Spruce, c. Birch.*

Koivu

$$(21c) \quad R = \exp(-1.199 - 1.275x - 0.1522 \cdot 10^{-7} (0.7526 - x)^{10} - 0.1445 \cdot 10^{-11} (x + 5.356)^{15}) + 0.15$$

Yhtälöissä  $x = \ln(\bar{v})$ .

Hakkuutähdetyhtälöiden variaatiokerroin oli männiköissä 1.8, kuusikoissa 2.5 ja koivikoissa 2.2 prosenttia. Näillä luvuilla ei kuitenkaan ole suurta informaatioarvoa, koska keskivirhe pienenee erittäin voimakkaasti puuston järeytyessä. Myöskään hakkuutähdemalleissa ei ollut havaittavissa harhaisuutta keskirungon kuutiomäärän suhteen. Ainakin keskiläpimitta ja keskipituus olisivat pienentäneet keskivirhettä, jos ne olisi otettu mukaan selittäviksi muuttujiksi.

Saatujen yhtälöiden mukainen puuston jakautuminen puutavaralajeihin on esitetty kuvassa 13.

### 34. Arvomallit

Puustokuutiometrin arvoa ennustavat mallit laadittiin kahdella menetelmällä. Ensimmäisessä menetelmässä puustokuutiometrin arvoa ennustettiin puulajeittain suoraan keskipuun kuutiomäärällä. Tuloksena tästä analyysistä olivat seuraavat yhtälöt:

Mänty

$$(22a) \quad W = 120 - \exp(3.019 - 0.6950x - \sqrt{0.3828x^2 + 1.366x + 1.334} + 0.2883 \exp(-0.2087 | -5.379 - x|^4))$$

Kuusi

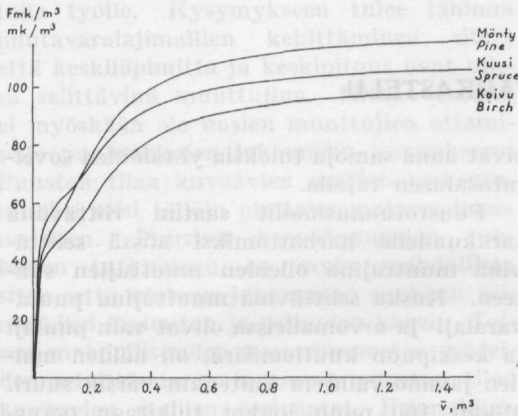
$$(22b) \quad W = 110 - \exp(2.647 - 0.6688x - \sqrt{0.2420x^2 + 0.8338x + 0.7346} + 0.2979 \exp(-0.2011 | -5.249 - x|^5))$$

Koivu

$$(22c) \quad W = 105 - \exp(3.022 - 0.5877x - \sqrt{0.2380x^2 + 0.8111x + 0.7170} + 0.2906 \exp(-0.3554 | -5.356 - x|^{3.5}) + 0.7913 \cdot 10^{-16} (x + 5.356)^{20})$$

Myös näissä malleissa muuttuja  $x$  on keskipuun kuutiometreissä ilmaistun kuutiomäärän logaritmi. Yhtälöiden graafiset kuvaajat on esitetty kuvassa 14. Yhtälöiden variaatiokertoimet olivat männikössä 2.6, kuusikoissa 2.5 ja koivikoissa 3.4 prosenttia. Mallit olivat jokseenkin harhattomia keskipuun kuutiomäärän suhteen.

Edellä esitetyt yhtälöt ovat käyttökelpoisia silloin, kun puun hintataso pysyy muuttumattomana tai muuttuu siten, että



Kuva 14. Puuston arvo keskipuun kuutiomäärän funktiona. — Unit value of the growing stock ( $W$ ) as a function of the basal area median tree volume.

kaikkien puutavaralajien hinnat muuttuvat suhteellisesti yhtä paljon. Tällöin uudet puustokuutiometrin arvot saadaan kertomalla yhtälöistä saadut arvot tarvittavalla korjauskertoimella. Jos puutavaralajien hintasuhteissa tapahtuu muutoksia, eivät nämä yhtälöt ole enää käyttökelpoisia.

Toisessa menetelmässä puustokuutiometrin arvon ennustaminen perustuu kaavaan:

$$(23) \quad W = \frac{T}{100} W_1 + \frac{K}{100} W_2$$

jossa  $W_1$  = tukkipuun keskimääräinen yksikköhinta

$W_2$  = kuitupuun yksikköhinta

Kuitupuun ja tukkipuun prosentiosuudet saadaan yhtälöillä (20) ja (21). Jos oletetaan, kuten tässä tutkimuksessa, että kuitupuun hinta on vakio puuston järeydestä riippumatta, on tukkipuun keskimääräinen yksikköhinta ainoa tuntematon tekijä yhtälössä.

Tukkipuun keskimääräisen yksikköhinnan ennustamiseksi laadittiin puulajeittain

yhtälöt, joissa keskipuun kuutiomäärä on selittävänä muuttujana. Koska aikaisempiin analyyseihin käytetyissä puujoukoissa ei tukkipuun keskimääräistä yksikköhintaa tunnettu, jouduttiin nämä yhtälöt laskemaan uusista vastaavilla perusteilla laadituista puujoukoista. Tulokseksi saatiin seuraavat yhtälöt:

Mänty

$$(24a) \quad W_1 = 118.5 - \exp(2.638 - 0.02100(\ln(\bar{v}) + 2.816)^{2.4})$$

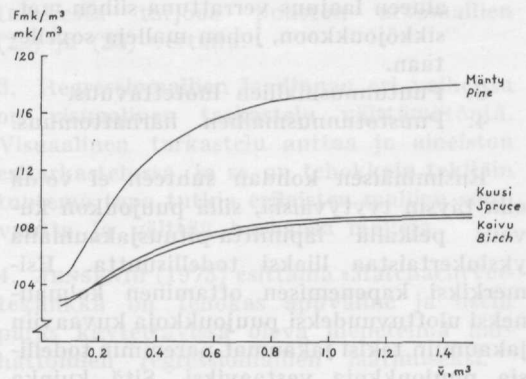
Kuusi

$$(24b) \quad W_1 = 109.4 - \exp(1.931 - 0.1736(\ln(\bar{v}) + 2.816)^{2.5})$$

Koivu

$$(24c) \quad W_1 = 109.1 - \exp(1.822 - 0.1042(\ln(\bar{v}) + 2.816)^{3.0})$$

Yhtälöiden graafiset kuvaajat on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Tukkipuuston keskimääräinen yksikköhinta keskipuun kuutiomäärän funktiona. — Average unit price of the saw logs ( $W_1$ ) as a function of the basal area median tree volume.

Yhtälöillä saadut tukkipuun keskimääräiset yksikköhinnat sijoitettiin kaavaan (23). Simuloidussa aineistossa testattuna saatiin kaavalla lähes samansuuruiset variatiokertoimet kuin kaavoilla (22a, b ja c).

#### 4. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä työssä on laadittu KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) puuntuotantomallissa tarvittavat puuston tilaa kuvaavat mallit sekä kehitetty tällaisten mallien laatimismenetelmä. Täten tutkimuksessa laaditut puustotunnusmallit voidaan nähdä myös vain eräänä mallien laatimismenetelmän sovellutuksena. Esitetyillä puutavaralaji- ja arvomalleilla ei lienekään kovin laajaa käyttöä puuntuotantomallin ulkopuolisissa tehtävissä.

Laadittujen puustotunnusmallien luotettavuus riippuu seuraavista tekijöistä:

1. Simuloitujen puujoukkojen rakenteen yhtäpitävyys todellisten metsiköiden puustojen kanssa.
2. Simuloitujen puujoukkojen vaihtelualueen laajuus verrattuna siihen metsikköjoukkoon, johon malleja sovelletaan.
3. Puutunnusmallien luotettavuus.
4. Puustotunnusmallien harhattomuus.

Ensimmäisen kohdan suhteen ei voida olla täysin tyytyväisiä, sillä puujoukon kuvaus pelkällä läpimitta-pituusjakaumalla yksinkertaistaa liiaksi todellisuutta. Esimerkiksi kapenemisen ottaminen kolmanneksi ulottuvuudeksi puujoukkoja kuvaaviin jakaumiin tekisi jakaumat paremmin todellisia puujoukkoja vastaaviksi. Sitä, kuinka paljon puustotunnusmallit tästä muuttuisivat, ei voida sanoa. Varmaa kuitenkin on, että mallien keskivirhe suurenisi. Myös puujoukkojen rakenteen lähtökohtana olutta VMI5-aineistoa voidaan arvostella, koska koealoilla olleet puustot eivät kovin hyvin kuvaa todellisten metsiköiden puustoja.

Toisen kohdan suhteen voitaneen sen sijaan olla tyytyväisiä, sillä todellisten tasaikäisten metsiköiden puustojen löytymisen simuloitujen aineistojen vaihtelualueen ulkopuolelta lienee Etelä- ja Keski-Suomessa jокseenkin harvinaista. Puun kuutiomäärää ennustavat mallit eivät olleet tämän tutkimuksen tarkoituksiin joka suhteessa tyydyttäviä, sillä pienten ja suurten puiden yhtälöt

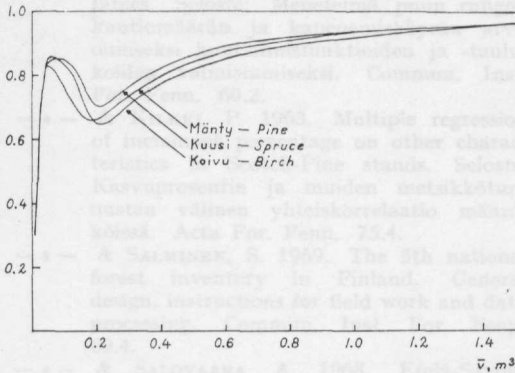
eivät anna samoja tuloksia yhtälöiden sovellutusalueen rajalla.

Puustotunnusmallit saatiin riittävällä tarkkuudella harhattomiksi niissä selittävinä muuttujina olleiden muuttujien suhteen. Koska selittävinä muuttujina puutavaralaji- ja arvomalleissa olivat vain puulaji ja keskipuun kuutiomäärä, oli näiden mallien jäännösvaihtelu kuitenkin varsin suuri. Mikäli 100 puun joukot tulkitaan perusjoukoiksi eikä vain otoksiksi niistä, voidaan jäännösvaihtelua kokonaisuudessaan pitää mallien harhaisuutena joidenkin mallista puuttuvien selittävien muuttujien suhteen, sillä simuloidussa aineistossa ei esiinny esimerkiksi mittausvirheistä aiheutuvaa vaihtelua. Malleja sovellettaessa onkin varauduttava siihen, että ainakin osa mallien virheestä osoittautuu harhaksi, jonka suuruus vaihtelee metsikköjoukosta toiseen. Tätä vaaraa ei olisi silloin, jos mallien laadinta perustuisi riittävän suuriin metsikkökoealoihin ja nämä koealat olisi poimittu objektiivisena näytteenä siitä metsikköjoukosta, johon malleja aiotaan soveltaa (vrt. s. 5).

Simuloituja aineistoja käytettäessä olisikin pyrittävä malleihin, joissa olisivat mukana kaikki selityksastetta parantavat selittävät muuttujat. Täten keskivirhe ja samalla myös potentiaalinen harha tulisi mahdollisimman pieneksi. Tämän jälkeen olisi todellista metsikkökoeala-aineistoa käyttäen laadittava mallit kaikkien niiden selittävien muuttujien ennustamiseksi, joita ei malleja sovellettaessa mitata metsiköistä. Täten esimerkiksi puuston muotolukumalissa voisivat selittävinä muuttujina olla läpimitan ja pituuden reunajakaumien keskijajonnat ja vinoudet. Näiden ennustamiseksi olisi todellisista metsikköaineistoista laadittava mallit, joissa selittävinä muuttujina olisivat esimerkiksi boniteetti, metsikön ikä, metsikön perustamistapa jne. Mallilla saatujen tulosten luotettavuutta heikentävät luonnollisesti selittävien muuttujien mittausvirheet.

Käytetyille mallien laatimismenetelmälle on löydettävissä lukuisia sovellutuksia. Osa niistä merkitsee välitöntä jatkoa

tälle työlle. Kysymykseen tulee lähinnä puutavaralajimallien kehittäminen siten, että keskiläpimitta ja keskipituus ovat niissä selittävinä muuttujina. Mitään estettä ei myöskään ole uusien muuttujien ottamiselle puujoukkojen jakaumien kuvaukseen. Puuston tilaa kuvaavien mallien tarkentamiseksi olisi tällöin otettava mukaan kape-neminen. Puuston kasvutunnusten suhteiden tutkiminen on myös mahdollista siten, että otetaan jakaumaan mukaan esimerkiksi läpimitan ja pituuden kasvu. Toisen mahdollisuuden kasvutunnusten suhteiden selvittämiseen tarjoavat puuston tilaa kuvaavien mallien derivaatat. Esimerkkeinä sovellutuksista ovat puuston arvomalleista kuutiomäärän suhteen derivoimalla lasketut kuutiokasvuprosentin ja arvokasvuprosentin suhteet (vrt. SIITONEN 1972), jotka on esitetty kuvassa 16. Näihin tuloksiin on kuitenkin suhtauduttava suurin varauksin, sillä keskirungon kuutiomäärä lisääntyy vain poikkeustapauksissa samalla nopeudella kuin koko puuston kuutiomäärä.



Kuva 16. Puuston kuutiokasvu- ja arvokasvu-prosentin suhde puulajin ja keskirungon kuutiomäärän funktiona. — *Ratio between the volume and value increment percentages of the growing stock as a function of the tree species and the basal area median tree volume.*

Puujoukkojen simulointimenetelmä on käyttökelpoinen tutkittaessa otantamenetelmien luotettavuutta esimerkiksi metsikkökoealan mittauksessa tai pystymittauksessa. Simulointiperiaatetta voidaan soveltaa myös tuotettaessa yksityisiä puita tai useita metsiköitä käsittäviä metsäalueita

erilaisiin metsänarvioinnin ja metsätalouden suunnittelun tutkimustarpeisiin.

Tutkimuksesta saadut kokemukset vahvistavat seuraavia päätelmiä:

1. Ennen tämänkaltaisen tutkimuksen aloittamista on tehtävä esimerkiksi edeltäjämatriisiteknikalla (LANGERFORS 1973) systeemi-analyysi, josta selviää, mihin tutkimuksen tuloksia käytetään ja mitä tietoja tarvitaan tutkimuksen toteuttamiseksi. Systeemi-analyysin jälkeen pystytään myös metsästä tehtävät mittaukset keskittämään tarkoituksenmukaisiin kohteisiin, jottei mitata sellaista, mikä voidaan johtaa aiemmin mitatuista tiedoista.

2. Ennen regressiomallin laadintaan ryhtymistä on analysoitava, mitä muuttujaa kannattaa käyttää selitettävänä muuttujana. Tällöin on kaikki triviaalilla tavalla selitettävä vaihtelu poistettava selitettävästä muuttujasta. Esimerkin tällaisen analyysin aikaansaamasta mallin yksinkertaistumisesta tarjoaa puuston arvomallien (22) ja (23) vertailu.

3. Regressiomallien laadinnan eri vaiheissa on visuaalinen tarkastelu välttämätöntä. Visuaalinen tarkastelu auttaa jo aineiston esitarkastelussa, ja se on tehokkain tekijän tuntema tapa tutkia erilaisten mallien sopivuutta ja välttää harhaisia malleja.

4. JENSENIN (1973) esittämä »Matchacurve»-tekniikka on tehokas apuväline ja usein paras käytettävissä oleva menetelmä harhottomien regressiomallien laatimiseksi.

5. Selitysasteen ( $R^2$ ) ja sen johdannaisten käyttäminen regressiomallien hyvyyden ilmaisimena ei ole suositeltavaa. Selitysaste soveltuu vain samassa aineistossa samaa muuttujan muunnosta ennustavien mallien keskinäiseen vertailuun. Tässäkään tilanteessa selitysaste ei korvaa visuaalista tarkastelua ja on tämän lisänä lähes tarpeeton, joskus jopa harhaanjohtava. Korkea selitysaste ei koskaan todista ulkopuoliselle tutkimuksen lukijalle sitä, että mallin rakentaja olisi onnistunut työssään erityisen hyvin. Korkea selitysaste sen sijaan usein osoittaa, ettei kohdassa 2 mainittua triviaalilla tavalla selittyvää vaihtelua ole poistettu selitettävästä muuttujasta ennen regressioanalyysia.

eräisiin metsänvayloihin ja metsäntuotantotiloihin. Tutkimuksessa saadut kokemukset vaikuttavat päätöksiin.

## 5. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on laadittu KILKIN ja PÖKÄLÄN (1975) puuntuotantomallissa tarvittavat puuston tilaa kuvaavat mallit. Koska sopivaa mitattua metsikköaineistoa ei ollut käytettävissä, tarvittava aineisto luotiin simuloimalla. Metsiköiden puujoukot kuvattiin läpimitta-pituusjakaumina. Kukin jakauma määritettiin läpimitan reuna-jakaumalla ja läpimitan suhteen ehdollisella pituusjakaumalla, joita molempia kuvattiin betajakaumilla.

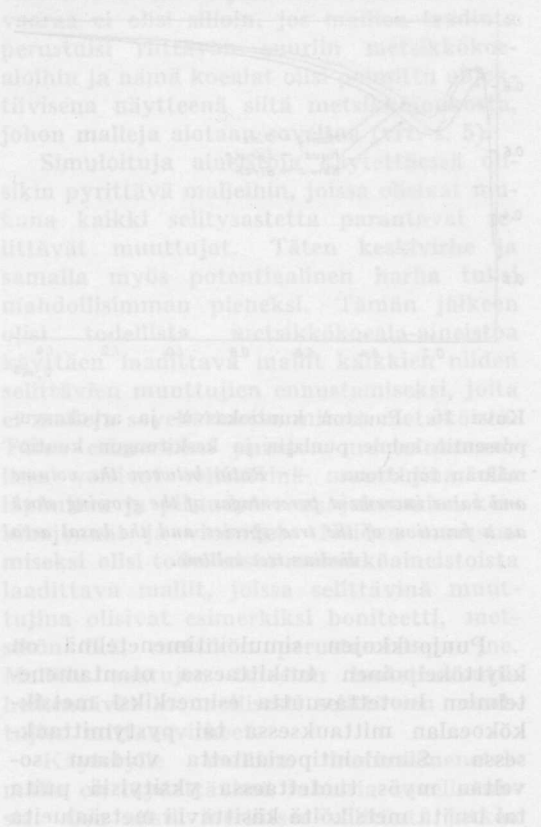
Jotta simuloitu aineisto olisi vastannut mahdollisimman tarkoin todellisuutta, hankittiin perusinformaatio metsiköiden puustojen rakenteesta valtakunnan metsien V inventoinnissa Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueelta mitatuilta koaloilta.

Kehitettyä simulointisysteemillä tuotettiin 1500 sadan puun puujoukkoa, jotka jakautuivat tasan männyn, kuusen ja koi-

lun kesken. Puujoukoille laskettiin puustotunnusmallien laadinnassa tarvittavat metsikkötunnukset.

Mallien muodon määrittämisessä käytettiin hyväksi JENSENIN (1973) kehittämää »Matchacurve»-tekniikkaa. Mallit laadittiin puulajeittain puuston muotoluvun, tukkipuuprosentin, hakkuutähdeprosentin ja puustokuutiometrin arvon ennustamiseksi. Muotolukumalleissa olivat selittävinä muuttujina keskipuun muotoluku, keskiläpimita ja keskipituus. Muissa malleissa oli puulajin lisäksi selittävänä muuttujana vain keskipuun kuutiomäärä.

Puuntuotantomallin ulkopuolella käytettäväksi soveltuvat kehitetyistä malleista parhaiten puuston muotolukumallit. Niiden käytön helpottamiseksi on laskettu taulukot sekä muotokorkeuden että hehtaarikohtaisen kuutiomäärän ennustamiseksi.





## KIRJALLISUUTTA

- DRAPER, N. & SMITH, H. 1966. Applied regression analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki.
- JENSEN, C. E. 1973. Matchacurve-3: Multiple-component and multidimensional mathematical models for natural resource studies. USDA Forest Service Research Paper INT-146.
- KILKKI, P. 1973. Metsänmittausoppi. Tiedonantaja 7. Metsänarvioimistieteen laitos. Helsingin yliopisto.
- » — & PÖKÄLÄ, R. 1975. A long-term timber production model and its application to a large forest area. Seloste: Pitkän ajan puuntuotantomalli ja sen sovellutus Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueella. Acta For. Fenn. 143.
- KUUSELA, K. 1965. A method for estimating the volume and taper curve of tree stem and for preparing volume functions and tables. Seloste: Menetelmä puun rungon kuutiomäärän ja kapenemiskäyrän arvioimiseksi kuutioimisfunktioiden ja -taulukoiden valmistamiseksi. Commun. Inst. For. Fenn. 60.2.
- » — & KILKKI, P. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scotch-Pine stands. Seloste: Kasvuprosentin ja muiden metsikkötunnusten välinen yhteiskorrelaatio männiköissä. Acta For. Fenn. 75.4.
- » — & SALMINEN, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Commun. Inst. For. Fenn. 69.4.
- » — & SALOVAARA, A. 1968. Etelä-Savon, Etelä-Karjalan, Itä-Savon, Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Keski-Suomen metsävarat vuosina 1966-67. Summary: Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Savo, Etelä-Karjala, Itä-Savo, Pohjois-Karjala, Pohjois-Savo and Keski-Suomi in 1966-67. Folia For. 42.
- LANGFORS, B. 1973. Theoretical analysis of information systems. Fourth edition. Studentlitteratur. Sweden.
- LOETSCH, F., ZÖHRER, F. & HALLER, K. E. 1973. Forest Inventory II. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- NYYSSÖNEN, A. 1954a. Metsikön kuutiomäärän arviointi relaskoopin avulla. Summary: Estimation of stand volume by means of relascope. Commun. Inst. For. Fenn. 44.6.
- » — 1954b. Hakkuilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60.4.
- NÄSLUND, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 28.1.
- PRODAN, M. 1965. Holzmesslehre. J. D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main.
- RAJALA, J. 1970. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964-68. Folia For. 95.
- RISVAND, J. 1970. Middelprisberegninger for partier av traer. Summary: Calculations of mean price for samples of trees. Medd. Norske Skogsforsøksv. 100, XXVII.
- RUOTSALAINEN, M. 1974. Metsikön tilaa kuvaavien puustotunnusten väliset relaatiot. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsinki.
- SIITONEN, M. 1972. Dynaaminen malli metsikön optimihakkuuohjelman määrittämiseksi. Summary: A dynamic programming model in the determination of the optimal cutting schedule for a forest stand. Tiedonantaja 2. Metsänarvioimistieteen laitos. Helsingin yliopisto.
- Tapion taskukirja. 1971. 16. painos. Kirjayhtymä. Helsinki.
- VUOKILA, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusiköiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in Southern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 48.1.
- VÄLIAHO, H. & VUOKILA, Y. 1973. A system for simulation of the development of stem-diameter distributions. Seloste: Runkolukusarjan kehityksen simulointimenetelmä. Commun. Inst. For. Fenn. 78.9.

## Summary:

### SIMULATION OF ARTIFICIAL STANDS AND DERIVATION OF GROWING STOCK MODELS FROM THIS MATERIAL

The purpose of this study was that of providing a long-term timber production model (KILKKI and PÖKÄLÄ 1975) with growing stock models. The paper is divided into two parts; the first is concerned with generation of the stand data through Monte-Carlo simulation. The growing stock of each stand was described by a DBH-height distribution. The necessary information on the relationships between the stand characteristics was derived from sample plots measured in the national forest inventory of Finland. A total of 1 500 pine, spruce, and birch stands, each comprising 100 trees were provided by simulation.

In the second part, models predicting the form factor, timber assortment distribution, and value of the growing stock were derived through regression analysis for each species of tree. The predicting variables included the form factor of the basal area median tree, basal area median diameter, and height in the form factor models. In the timber assortment and value models, the only predicting variable was the volume of the basal area median tree. The «Matchacurve»-technique (JENSEN 1973) was employed in derivation of the regression models.

Liite. 50 simuloidun männikön puustotunnuksia.  
*Appendix. Stand characteristics of 50 simulated pine stands.*

F	FH	T	K	R	W	$\bar{d}$	a	b	$\bar{h}$	$\bar{v}$	$\bar{f}$
.481	7.5	60.6	37.6	1.8	88.2	22.3	1.09	.216	15.6	.298	.489
.485	9.9	75.2	23.7	1.1	97.3	21.4	1.16	.174	20.5	.354	.480
.473	9.5	83.8	15.4	.8	104.2	25.3	1.71	.163	20.1	.476	.471
.461	9.4	90.2	9.3	.5	109.6	29.8	1.79	.168	20.4	.661	.463
.484	8.1	74.0	24.9	1.1	96.0	23.0	1.33	.196	16.8	.338	.484
.472	8.5	88.4	11.0	.5	108.0	29.5	1.70	.187	18.1	.581	.470
.461	10.9	90.0	9.4	.6	109.7	28.0	1.87	.145	23.7	.670	.460
.482	8.2	75.1	23.9	1.0	97.5	23.8	1.31	.196	17.1	.367	.481
.468	9.9	82.4	16.8	.8	103.5	25.5	2.46	.128	21.1	.505	.469
.475	8.5	80.3	18.8	.9	101.0	24.8	1.98	.166	17.9	.411	.477
.478	8.4	79.0	20.1	.9	100.4	24.7	.98	.208	17.6	.406	.478
.498	6.9	59.5	39.1	1.4	85.7	21.0	1.05	.231	13.9	.239	.499
.830	3.3	.0	2.0	98.0	1.1	4.3	2.06	.132	4.0	.005	.798
.474	10.3	79.5	19.5	.9	101.5	24.3	1.14	.174	21.7	.474	.471
.462	10.9	91.5	8.0	.5	110.9	28.8	1.43	.162	23.6	.704	.458
.499	8.7	41.0	56.6	2.4	76.6	17.9	1.05	.190	17.4	.217	.495
.484	8.7	52.5	45.3	2.2	83.4	19.4	1.58	.163	18.0	.259	.490
.460	9.9	93.2	6.4	.4	112.1	31.0	1.74	.167	21.4	.743	.459
.453	10.0	95.8	3.9	.3	114.6	35.1	1.04	.189	22.1	.970	.452
.481	9.4	78.0	21.0	1.0	99.4	22.8	.87	.196	19.6	.382	.478
.455	11.5	92.1	7.4	.5	111.5	29.7	2.49	.120	25.3	.796	.455
.481	9.5	75.8	23.1	1.1	97.5	22.0	1.27	.176	19.7	.358	.480
.476	9.0	82.3	16.9	.8	102.8	25.0	1.32	.185	18.9	.441	.474
.521	7.0	15.3	80.0	4.7	60.4	14.3	1.40	.188	13.5	.111	.515
.471	10.3	81.8	17.3	.9	102.8	24.3	1.23	.170	21.9	.476	.471
.523	7.3	8.8	86.4	4.8	56.8	13.9	1.71	.159	13.9	.108	.516
.435	11.8	96.3	3.4	.3	115.4	37.2	2.16	.139	27.1	1.294	.440
.485	8.0	81.1	18.1	.8	101.6	25.0	1.29	.204	16.6	.391	.481
.481	8.7	62.9	35.7	1.4	90.0	21.3	2.30	.136	18.0	.312	.484
.475	10.9	80.5	18.6	.9	101.9	23.4	1.10	.168	22.9	.464	.472
.548	5.0	.0	85.6	14.4	47.1	11.4	1.73	.208	9.0	.050	.548
.572	4.5	.0	77.7	22.3	42.7	9.5	1.61	.219	7.9	.032	.564
.489	9.8	67.1	31.4	1.4	90.6	19.9	1.12	.174	20.0	.301	.486
.471	8.3	79.0	20.2	.8	101.5	28.0	.95	.214	17.5	.513	.474
.506	7.0	28.4	69.5	2.2	67.6	17.7	1.70	.186	13.9	.172	.505
.465	9.0	83.1	16.1	.8	103.9	26.7	1.58	.176	19.4	.510	.470
.492	7.7	75.8	23.3	1.0	96.9	22.9	1.63	.193	15.6	.315	.488
.473	9.8	83.5	15.8	.8	103.9	24.7	1.30	.174	20.8	.469	.471
.495	7.8	68.3	30.4	1.3	90.5	20.8	.83	.223	15.7	.262	.492
.482	8.9	76.6	22.4	1.0	98.0	22.6	1.16	.190	18.5	.357	.480
.503	7.6	24.3	73.2	2.5	65.4	17.0	1.48	.182	15.1	.172	.503
.475	9.3	82.6	16.6	.8	103.1	24.6	1.87	.158	19.5	.440	.474
.514	5.9	13.9	80.9	5.2	59.2	15.1	1.22	.231	11.5	.107	.522
.480	8.7	79.4	19.7	.9	100.4	24.5	1.12	.199	18.0	.406	.477
.483	9.8	69.4	29.3	1.2	93.6	21.2	1.52	.158	20.3	.343	.481
.484	8.8	74.3	24.6	1.1	96.1	21.9	.73	.210	18.3	.333	.482
.500	8.8	61.4	37.0	1.7	85.7	18.7	2.25	.127	17.7	.240	.492
.475	7.9	86.9	12.6	.5	106.8	30.3	.94	.224	16.7	.569	.475
.490	7.8	60.6	37.9	1.5	86.6	20.6	1.78	.175	15.9	.259	.491
.492	9.1	62.3	36.3	1.4	89.1	20.2	1.38	.173	18.5	.288	.486







KILKKI, PEKKA and SIITONEN, MARKKU O.D.C. 524.31 + 525.1  
+ 652.3

1975. Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. ACTA FORESTALIA FENNICA 145. 33 p. Helsinki.

The paper is divided into two parts; the first is concerned with generation of the stand data through Monte-Carlo simulation. The growing stock of each stand was described by a DBH-height distribution. A total of 1 500 pine, spruce, and birch stands, each comprising 100 trees were provided by simulation. In the second part, models predicting the form factor, timber assortment distribution, and value of the growing stock were derived through regression analysis for each species of tree. The »Matchacurve»-technique (JENSEN 1973) was employed in derivation of the regression models.

Authors' address: Department of Forest Mensuration and Management, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

KILKKI, PEKKA and SIITONEN, MARKKU O.D.C. 524.31 + 525.1  
+ 652.3

1975. Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. ACTA FORESTALIA FENNICA 145. 33 p. Helsinki.

The paper is divided into two parts; the first is concerned with generation of the stand data through Monte-Carlo simulation. The growing stock of each stand was described by a DBH-height distribution. A total of 1 500 pine, spruce, and birch stands, each comprising 100 trees were provided by simulation. In the second part, models predicting the form factor, timber assortment distribution, and value of the growing stock were derived through regression analysis for each species of tree. The »Matchacurve»-technique (JENSEN 1973) was employed in derivation of the regression models.

Authors' address: Department of Forest Mensuration and Management, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

KILKKI, PEKKA and SIITONEN, MARKKU O.D.C. 524.31 + 525.1  
+ 652.3

1975. Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. ACTA FORESTALIA FENNICA 145. 33 p. Helsinki.

The paper is divided into two parts; the first is concerned with generation of the stand data through Monte-Carlo simulation. The growing stock of each stand was described by a DBH-height distribution. A total of 1 500 pine, spruce, and birch stands, each comprising 100 trees were provided by simulation. In the second part, models predicting the form factor, timber assortment distribution, and value of the growing stock were derived through regression analysis for each species of tree. The »Matchacurve»-technique (JENSEN 1973) was employed in derivation of the regression models.

Authors' address: Department of Forest Mensuration and Management, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

KILKKI, PEKKA and SIITONEN, MARKKU O.D.C. 524.31 + 525.1  
+ 652.3

1975. Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. ACTA FORESTALIA FENNICA 145. 33 p. Helsinki.

The paper is divided into two parts; the first is concerned with generation of the stand data through Monte-Carlo simulation. The growing stock of each stand was described by a DBH-height distribution. A total of 1 500 pine, spruce, and birch stands, each comprising 100 trees were provided by simulation. In the second part, models predicting the form factor, timber assortment distribution, and value of the growing stock were derived through regression analysis for each species of tree. The »Matchacurve»-technique (JENSEN 1973) was employed in derivation of the regression models.

Authors' address: Department of Forest Mensuration and Management, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.





# ACTA FORESTALIA FENNICA

## EDELLISIÄ NITEITÄ — PREVIOUS VOLUMES

- VOL. 132, 1973. LEO HEIKURAINEN ja KUSTAA SEPPÄLÄ.  
Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Summary: Regionality and Continuity of Stand Growth in Old Forest Drainage Areas.
- VOL. 133, 1973. TAUNO KALLIO.  
*Peniophora gigantea* (Fr.) Masee and Wounded Spruce (*Picea abies* (L.) Kart.). Seloste: *Peniophora gigantea* ja kuusen vauriot.
- VOL. 134, 1973. KIM VON WEISSENBERG.  
Indirect Selection For Resistance to Fusiform Rust in Loblolly Pine. Seloste: Epäsuora valinta *Cronartium fusiforme*-kestävyyden lisäämiseksi Loblolly-männyllä (*Pinus taeda* L.).
- VOL. 135, 1974. HEIKKI VESIKALLIO.  
Yksityismetsälöiden alueelliset yhdentymisratkaisut puunkorjuun ja metsänhoitotöiden kustannusten kannalta. Summary: Regional Cooperation in Farm Forests. Possibilities to Control the Costs of Wood Harvesting and Silvicultural Operations.
- VOL. 136, 1974. ANTTI ISOMÄKI and TAUNO KALLIO.  
Consequences of Injury Caused by Timber Harvesting Machines on the Growth and Decay of Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Seloste: Puunkorjuukoneiden aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun.
- VOL. 137, 1974. TAUNO KALLIO.  
Bacteria Isolated from Injuries to Growing Spruce Trees (*Picea abies* L.) Karst.). Seloste: Kasvavien kuusten vaurioista eristetyt bakteerit.
- VOL. 138, 1974. TAUNO KALLIO and PEKKA TAMMINEN.  
Decay of Spruce (*Picea abies* (L.) in the Åland Islands. Seloste: Ahvenanmaan kuusien lahovikaisuus.
- VOL. 139, 1974. JUHANI PÄIVÄNEN.  
Nutrient Removal from Scots Pine Canopy on Drained Peatland by Rain. Seloste: Ravinteiden siirtyminen sadeveden mukana latvustosta maahan turvemaan männikössä.
- VOL. 140, 1974. OLAVI ISOMÄKI.  
Sahateollisuuden kuorintajätteen käyttömahdollisuudet. Erityisesti käyttö maanparannusaineena ja kasvualustana. Summary: Using Possibilities of Barking Waste in Sawmill Industry. Specially Using as a Soil Improver and Substrate for Plants.
- VOL. 141, 1974. ROBERT T. BROWN and PEITSA MIKOLA.  
The Influence of Fruticose Soil Lichens Upon the Mycorrhizae and Seedling Growth of Forest Trees. Seloste: Jäkälien vaikutuksesta puiden mykoritsoihin ja taimien kasvuun.
- VOL. 142, 1974. MATTI PALO.  
Goal-setting for Finnish Forest Research Policy of the 1970's. Seloste: Suomen metsäntutkimuspolitiikan suuntaviivat 1970-luvulla.
- VOL. 143, 1975, PEKKA KILKKI and RAIMO PÖKÄLÄ.  
A Long-term Timber Production Model and its Application to a Large Forest Area. Seloste: Pitkän ajan tuotantomalli ja sen sovellutus Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueelle.
- VOL. 144, 1975, YRJÖ ILVESSALO ja MIKKO ILVESSALO.  
Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotto-kyvyn valossa. Summary: The Forest Types of Finland in the Light of Natural Development and Yield Capacity of Forest Stands.

**KANNATTAJAJÄSENET — UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR**

**CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR  
SUOMEN METSÄTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO  
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO  
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA  
SUNILA OSAKEYHTIÖ  
OY WILH. SCHAUMAN AB  
OY KAUKAS AB  
KEMIRA OY  
G. A. SERLACHIUS OY  
KYMIN OSAKEYHTIÖ  
KESKUSMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO  
KOIVUKESKUS  
A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ  
TEOLLISUUDEN PUUYHDISTYS  
OY TAMPELLA AB  
JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ  
KEMI OY  
MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO  
VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA  
VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ  
OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY  
SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS  
OY HACKMAN AB  
YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ  
RAUMA-REPOLA OY  
OY NOKIA AB, PUUNJALOSTUS  
JAAKKO PÖYRY & CO**