

ACTA FORESTALIA FENNICA

179

METSIKÖN PUUTAVARALAJIRAKENTEEN, ARVON JA
ARVOKASVUN ARVIOINTI

*ASSESSMENT OF TIMBER ASSORTMENTS, VALUE AND
VALUE INCREMENT OF TREE STANDS*

Aarne Nyysönen & Risto Ojansuu



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA 1982

**METSİKÖN PUUTAVARALAJIRAKENTEEN,
ARVON JA ARVOKASVUN ARVIOINTI**

Aarne Nyysönen & Risto Ojansuu

Summary

**ASSESSMENT OF TIMBER ASSORTMENTS,
VALUE AND VALUE INCREMENT OF TREE STANDS**

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittelee 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, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland. The subscriptions should be addressed to: Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 1, SF-00100 Helsinki 10, Finland.

NYYSSÖNEN, A & OJANSUU, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta For. Fenn. 179:1—52.

Tutkimuksessa on aluksi käsitelty männiköiden ja kuusiköiden puutavaralajirakenteen ja rungon tukkiosan keskijäreiden sekä näiden muutosten määrittämistä. Tältä pohjalta on edetty puustokuutiometrin arvon ja sen kasvun määrittämiseen sekä edelleen metsikön puuston arvon ja arvokasvun arviointiin. Näiden menetelmien kehittämisen päätavoite on ollut luoda entistä paremmat edellytykset metsiköiden suhteellista uudistamiskypsyttä koskevalle päätöksenteolle.

Tutkimuksen tulokset yhdistettyinä eräisiin aiempiin tutkimustuloksiin merkitsevät sitä, että tiettyjen metsässä verraten helposti määritettävien tunnusten avulla saadaan arviot seuraavista metsikkötiedoista: runkotilavuus, puustokuutiometrin rakenne sekä tukkiosan keskijäreys ja hinta samoin kuin puustokuutiometrin arvo, tilavuuskasvu ja arvokasvu.

Arviointimenetelmien luotettavuutta sekä laadinta-aineistoissa että testiaineistoissa on kuvattu yksityiskohtaisesti lukuisain taulukoiden avulla. Niissä on yleensä esitetty jäännöshajonnat ja systemaattiset poikkeamat ryhmitämällä metsiköt keskiläpimitan mukaisesti.

Esimerkkejä tutkimuksen tulosten soveltamismahdollisuuksista ovat seuraavat: 1) Kasvu- ja tuotostaulukoiden esittämän metsikön iänmukaisen kehityksen täydentäminen puuston arvoa ja arvokasvua koskevilla tunnuksilla. 2) Metsiköiden suhteellisen uudistamiskypsyyden määrittäminen. 3) Metsikön uudistamiskypsyyden arviointi yleensä. 4) Puuston puutavaralajirakenteen selvitys hakkuulaskelmia tai -ehdotuksia tehtäessä. 5) Metsän ja metsiköiden arvon laskenta.

The paper is the final report of a study on the estimation of value increment and inherent variables of Scots pine and Norway spruce stands. The study was made at the Department of Forest Mensuration and Management of the University of Helsinki. The main aim was to obtain improved criteria for decision-making concerning the priority of stands for regeneration.

The construction of various estimation models and their reliability are discussed in detail. The study, together with some previous papers, has resulted in a system which on the basis of a number of easily assessed stand variables gives for the stands concerned the volume of stems, percentages of timber assortments, stumpage value, volume increment and value increment.

The following examples are given with regard to the practical application of the results, in addition to the determination of the relative maturity of stands: 1) The study of various trends in stand development; the comparison between the volume and value variables. 2) The estimation of timber assortments, needed for a cutting budget, trees marked for felling etc. 3) The calculation of the value of forests.

ALKUSANAT

Tämä julkaisu on Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen pitkäaikaisen tutkimusprojektin loppuraportti. Niin kuin tutkimuksen johdannosta käy ilmi, ovat monet henkilöt osallistuneet vuosien kuluessa tehtyihin töihin. Julkaisun tekijöistä Nyysönen on vastannut tutkimuksen suunnittelusta ja erilaisista järjestelyistä sekä laatinut käsikirjoituksen. Ojansuun tehtävänä ovat olleet mallien kehittäminen ja testaus ja osaltaan

myös raportin luonnokset. Helsingin yliopiston tarjoamien työntekomahdollisuuksien ohessa on valtion maatalous-metsätieteellinen toimikunta ollut tutkimustyön pääasiallinen rahoittaja.

Helsinki, huhtikuu 1982.

*Aarne Nyysönen
Risto Ojansuu*

ODC 525.1 + 564 + 652.3 + 653
ISBN 951-651-054-X

Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino
Hämeenlinna 1982

SISÄLLYS

Merkinnät — Symbols	5
1. JOHDANTO	6
2. TUTKIMUSAINEISTO	8
3. MALLIT JA NIIDEN LAADINTA	12
31. Puustokuutiometrin rakenne	12
311. Tukkipuuprosentti	12
312. Hakkuutähdeprosentti ja tukkiosan keskijäreys	13
32. Puustokuutiometrin arvo	14
33. Arvokasvuprosentti	15
4. MALLIEN LUOTETTAVUUS	19
41. Erillismallit	19
42. Puustokuutiometrin arvo	21
43. Arvokasvuprosentti	22
5. TULOSTEN TARKASTELU	24
6. TULOSTEN KÄYTTÖ	26
7. YHDISTELMÄ JA PÄÄTELMÄ	28
KIRJALLISUUTTA	30
SUMMARY	31
TAULUKOT 8–29	33

Merkinnät — Symbols

M	= metsätyyppi <i>forest site type</i>	C _{sv}	= tukkiosan keskitilavuuden suhteellinen muutos seuraavana 5-vuotiskautena <i>relative change of the mean volume of the saw timber portion of a stem in the next 5-year period</i>
L	= puulaji <i>tree species</i>	P _v	= vuotuinen tilavuuskasvuprosentti kaavalla $P_v = 20 \cdot \frac{V_5 - V_0}{V_0}$ missä V ₀ = tilavuus nykyhetkellä ja V ₅ = tilavuus 5 vuoden kuluttua <i>annual volume-increment percentage given by the above formula in which V₀ = volume now, and V₅ = volume in 5 years time</i>
T	= ikä, vuotta (a) <i>age, years (a)</i>	P _a	= vuotuinen arvokasvuprosentti (vrt. kuva 8 s.) <i>annual value-increment percentage (ct. Fig. 8 p.)</i>
D	= keskiläpimitä (pohjapinta-alan mediaani), cm <i>mean diameter (median of basal area), cm</i>	I _v	= tilavuuskasvu, m ³ /ha/v <i>volume increment, m³/ha/yr</i>
H	= keskipituus (keskiläpimitä vastaaavan puun pituus), m <i>mean height (corresponding to the mean-diameter tree), m</i>	I _a	= arvokasvu, mk/ha/v <i>value increment, mk/ha/yr</i>
G	= pohjapinta-ala, m ² /ha <i>basal area, m²/ha</i>	\bar{y}	= selitettävän muuttujan keskiarvo <i>mean of the dependent variable</i>
V	= runkotilavuus kuorineen, m ³ /ha <i>stem volume including bark, m³/ha</i>	b	= systemaattinen poikkeama <i>systematic deviation</i>
a	= puustokuutiometrin arvo, rahayksikköä ry/m ³ (tai mk/m ³) <i>value of the wood cubic meter, monetary units mu/m³</i>	S _m	= selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta <i>original standard deviation of the dependent variable</i>
A	= metsikön arvo, mk/ha <i>stand value per ha</i>	S _f	= jäännöshajonta <i>residual standard deviation</i>
S _%	= tukkipuuprosentti <i>saw timber percentage</i>	S _r	= jäännöshajonta ilman systemaattista poikkeamaa <i>residual standard deviation excluding systematic deviation</i>
S _v	= runkojen tukkiosan keskitilavuus, m ³ <i>mean volume of the saw timber portion of a stem, m³</i>	S _e	= mallin suhteellinen keskivirhe <i>relative standard error of a model</i>
S _q	= tukkipuun hinta, mk/m ³ <i>stumpage of saw timber trees, mk/m³</i>	R ²	= selitysaste <i>degree of determination</i>
S _a	= puustokuutiometrin tukkiosan arvo, mk/m ³ <i>value of saw timber portion of the wood cubic metre, mk/m³</i>	ry	= rahayksikkö <i>monetary unit</i>
K _%	= kuitupuuprosentti <i>pulp wood percentage</i>	mu	= monetary unit
K _q	= kuitupuun hinta, mk/m ³ <i>stumpage of pulp wood, mk/m³</i>	Alaindeksit:	0 = nykytila 5 = tila 5 vuoden kuluttua
K _a	= puustokuutiometrin kuitupuuosan arvo, mk/m ³ <i>value of pulp wood portion of the wood cubic metre, mk/m³</i>	Sub-indices:	0 = present stage 5 = stage in 5 years
W _%	= hakkuutähdeprosentti <i>waste percentage</i>		
C _{S%}	= tukkipuuprosentin suhteellinen muutos seuraavana 5-vuotiskautena <i>relative change of the saw timber percentage in the next 5-year period</i>		
C _{W%}	= hakkuutähdeprosentin suhteellinen muutos seuraavana 5-vuotiskautena <i>relative change of the waste percentage in the next 5-year period</i>		

1. JOHDANTO

Metsien uudistamista koskevia päätöksiä on meillä tehty varsin erilaisin perustein. Toisinaan ovat etualalla olleet metsikön metsänhoidolliseen tilaan liittyvät seikat, toisinaan taas korjuutekniset tai puiden järeysuhteita koskevat näkökohdat. Käytettävien kriteerien joukkoon on pitkään kaivattu taloudellisia osoittimia, esim. tietoja metsikön arvokasvuun kehittymisestä. Jo vuosisadan alussa Ericsson (1903, s. 88) totesi kysymyksen arvokasvusta käyvän sitä tärkeämmäksi, mitä enemmän metsien hoidossa nojataan taloudellisiin perusteisiin. Tutkimustulosten niukkuuden takia ovat käytännölliset mahdollisuudet arvokasvuun huomioonottamiseen kuitenkin tähän mennessä olleet vähäiset. Esim. yritys metsikön arvokasvua koskevan erikoistutkimuksen suorittamiseksi Metsäntutkimuslaitoksessa vuodesta 1948 lähtien jäi sikseen.

Metsien käsittelyä ja sen mukana metsikön uudistamisen ajankohtaa koskevat kysymykset ovat 1950-luvulta lähtien olleet toistuvasti esillä niillä metsätalouden suunnittelukursseilla, joita Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen toimesta on järjestetty pääosin yksityismetsissä. Perusteita uudistuskypsyden arvioinnille ovat tarjonneet mm. kiertoaikaa koskevien tutkimusten tulokset (Nyyssönen 1958); samat, jotka osaltaan olivat pohjana keskusmetsälautakunta Tapion myöhemmin, v. 1974, antamille metsikön uudistuskypsyden määrittäystä koskeville ohjeille (vrt. Mietola 1978, s. 150-151). Kun suunnittelukursseilla tunnettiin erityistä tarvetta uudistamisen kiireellisyyden ja suhteellisen uudistuskypsyden määrittämiseen, ryhdyttiin metsikköaloilla vuodesta 1964 alkaen suorittamaan arvokasvulaskelmia. Niiden tulokset antoivat uutta väriä metsikköanalyysiin, ja saatuja opetuksia voitiin käsitellä myös kaksilla v. 1965 pidetyillä metsänhoitajien oppituoлипäivillä.

Kasvun jatkumisesta tulevana lähikautena oli edellä mainituissa laskelmissa jouduttu tekemään tiettyjä oletuksia. Näiden oikeellisuutta voitiin testata Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston ylläpitämien kestokoealojen mittaustulosten avulla selvittämällä puiden läpimitta- ja pituussuh-

teiden muutosta lähikautena. Mutta arvokasvun käyttö yleisesti metsikön uudistuskypsyden päättelyssä ei ole mahdollista, ellei käytävissä ole menetelmiä metsikön arvokasvuun ja siihen liittyvien tunnusten arvioimiseksi ilman yksityiskohtaisia mittauksia. Näiden menetelmien kehittämiseen tähtäävä tutkimus käynnistyi varsinaisesti v. 1969. Sen keskeiset tulokset selostetaan tässä tutkimusraportissa.

Metsikön arvokasvuun ja siihen kuuluvan puuston arvon arviointisysteemin laadinta on tässä tutkimuksessa liitetty vanhastaan käytettyihin perustunnuksiin: puuston tilavuuteen ja tilavuuskasvuun. Etenemällä vaiheittain näiden sekä puutavaralajien määrittämisen kautta voidaan turvata tulosten käytön joustavuus ja yleistämiskelpoisuus. Olennaista on perustaa arviointi muutamaa metsässä helpposti ja luotettavasti määritettävissä oleviin tunnuksiin. Huomioon on otettava se, että tuloksia käsittelevä päätös tekoon käytettäessä on kyse metsikön tulevasta suorituskyvystä. Niinkään on puuston järeytymiseen liittyvä yksikköhinnan kohoaminen, "laatuksivu", sisällytettävä uuden systeemin osaksi.

Varsin keskeiseksi tehtäväksi nyt kysymyksessä olevissa tutkimuksissa on muodostunut metsikön puutavaralajirakenteen määrittäminen. Varhemmista tutkimuksista rakenteen arvioimiseksi on mainittava Lihtosen (1942) esittämä metsikön puutavaralajien nopea määrittäminen, jossa puulajin ja arvioidun tai mitatun tukkipuuprosentin avulla ennustetaan paperipuun ja halkopuun prosentit. Kuusela (1964; vrt. Nyyssönen 1965) totesi metsikön puutavaralajisuhteiden läheisen riippuvuuden metsikön keskiläpimitasta ja keskipituudesta. Tiuhonon (1974) esitti puuston jakamista kuitupuuihin ja tukkipuihin, jolloin kummankin luokan puutavaralajit saataisiin luokan keskiläpimitan perusteella. Kilkki ja Siitonen (1975) laativat metsikön puutavaralajirakenteen mallit pohjapinta-alakeskipuun funktiona.

Edellä viitatu selvitykset tarjosivat aineksia runsaat 10 vuotta vireillä olleisiin arvokasvututkimuksiin. Tänä aikana tehdyistä töistä esitetään seuraavassa lyhyt yhteenveto.

Yliopistollisiin metsänarvioimisen harjoi-

tustöiden ohjeisiin oli vuodesta 1964 lähtien sisällytetty kuvaus arvokasvuun laskemisesta ja Poso oli julkaissut v. 1965 artikkelin ns. v-arvon nopeasta määrittämisestä. Ensimmäisinä tutkimusvuosina valmistuneissa kirjoituksissa oli huomattava paino puukohtaisilla selvityksillä. Metsikön arvon määrittäystä silmälläpitäen Lallukka (1970) kokeili regressiomallia, jossa selittävinä muuttujina olivat tukkipuun ja kuitupuun yksikköhintojen lisäksi metsikön pääpuulaji, runkoluku, pohjapinta-ala, keskiläpimitta ja keskipituus. Laasasenaho ja Sevola (1971) laskivat tutkimukseensa "Mänty- ja kuusirunkojen puutavarasuhteet ja kantoarvot" yhtälöitä ja taulukoita rungon tukkipuun ja hukkapuuprosenteille, kuutiojalkamäärälle, arvolle sekä muuntokertoimille. Sevola (1972) laski lisäksi puustokuutiometrin arvomallit männiköille ja kuusikoille kolmella tukkipuun ja kuitupuun hintasuhteella metsikön keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona. Hän teki jonkin verran työtä myös puutavaralajimallien laatimiseksi. Näiden suuren merkityksen

takia Virkki (1976) laati männiköitä koskevan selvityksen uudelta pohjalta ja käyttäen tällä välin uusittuja puutavaran mittayksiköitä. Tilavuuskasvua on käsitelty eri julkaisuissa (Nyyssönen ja Mielikäinen 1978). Tässä lueteltujen töiden lisäksi on mainittava Nyyssönen (1974) koko systeemiä koskeva katsaus sekä Ojansuun (1980) olennaisilta osiltaan käsilläolevaan julkaisuun sisältyvä tutkimus. Samoin on nyt hyödynnetty Loikkasen (1982) tekemiä luotettavuuslaskelmia.

Tässä julkaisussa käsitellään männikön ja kuusikon puutavaralajirakenteen ja rungon tukkiosan keskijäreyden sekä näiden muutosten määrittämistä. Näin saadulta pohjalta edetään puustokuutiometrin arvon ja sen kasvun määrittämiseen sekä edelleen metsikön puuston arvon ja arvokasvuun arviointiin. Julkaisussa selostetaan tutkimusaineistoja ja niihin perustuvien mallien laadintaa ja luotettavuutta sekä viitataan tutkimustulosten käytön eri mahdollisuuksiin.

2. TUTKIMUSAINEISTO

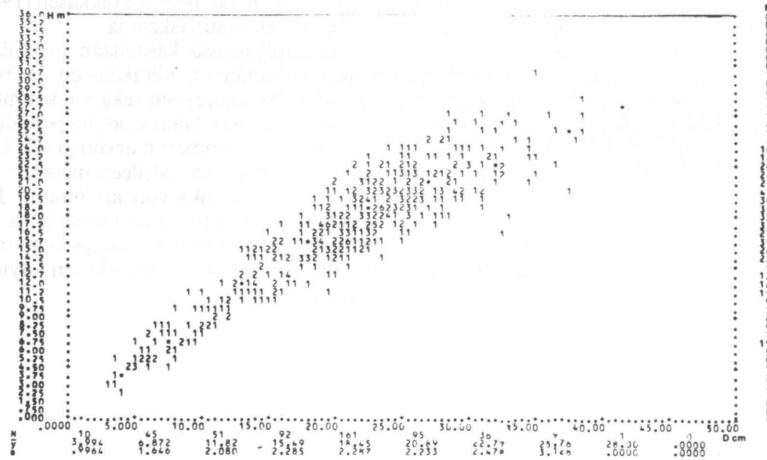
Arvosavututkimukset on jouduttu pääosin perustamaan aiemmin kerättyihin aineistoihin (vrt. Nyyssönen ja Mielikäinen 1978, p. 8-9). Metsikön puustokutiometrin rakenteen ja arvon selvittämiseen oli lähinnä tarjolla kaksi

aineistoa, joita molempia Virkki (1976) käytti laatimaan tutkielmassa: Nyyssösen (1954, 1958) aineistot sekä Kilkin ja Siitosen (1975) valtakunnan metsien 6. inventoinnin perusteella simuloimat puujoukot. Kun edelliset

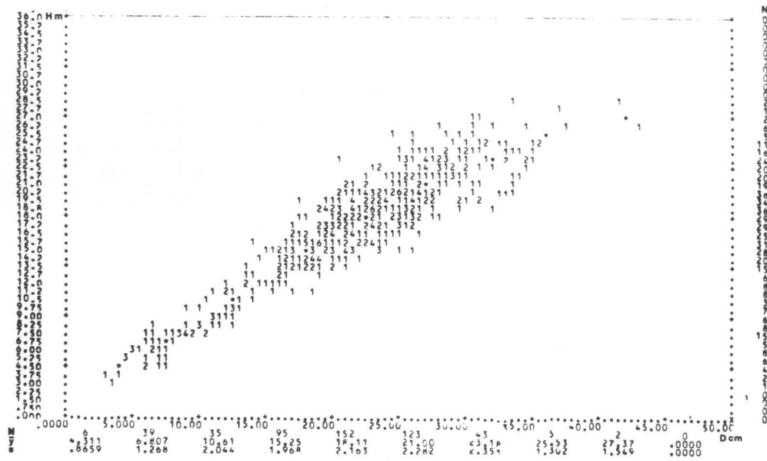
koskevat etupäässä vain männiköitä, on simulointiaineistolla tämän tutkimuksen laskelmissa keskeinen merkitys. Lisäksi on eri vaiheisiin ollut käytettävissä huomattava joukko Metsäntutkimuslaitoksen kestokokeista poimittuja männikkö- ja kuusikkokoealoja. Tulosten testaukseen oli lisäksi tarjolla yliopistollisista metsänarvioimisen harjoitustöistä peräisin olevia aineistoja.

Kilkin ja Siitosen (1975) tekemä simulointi on tuottanut

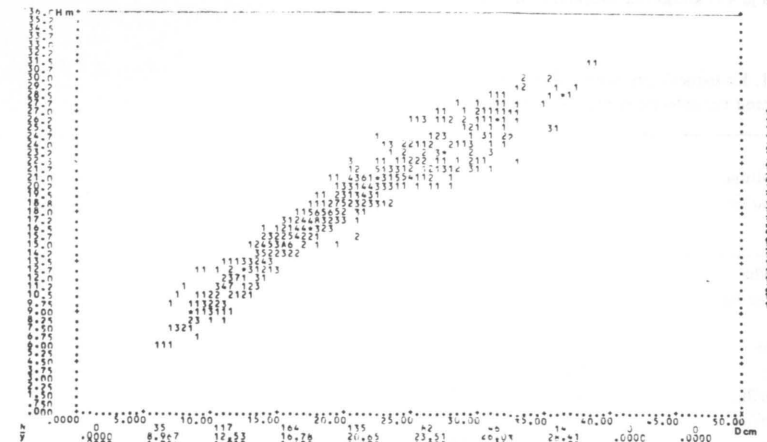
Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueiden mittaustulosten perusteella sekä männylle että kuuselle 500 sadan puun joukkoa. Ne on kuvattu rinnan- korkeusläpimitan jakaumalla ja sen suhteen ehdollisella pituusjakaumalla. Puujoukkojen keskiläpimitat ja keskipituudet näkyvät kuvista 1 ja 2. Puujoukkojen tilavuudet ja puutavaralajit on laskettu puittain Laasasenahon puula- jiin, rinnankorkeusläpimitaan ja pituuteen perustuvilla



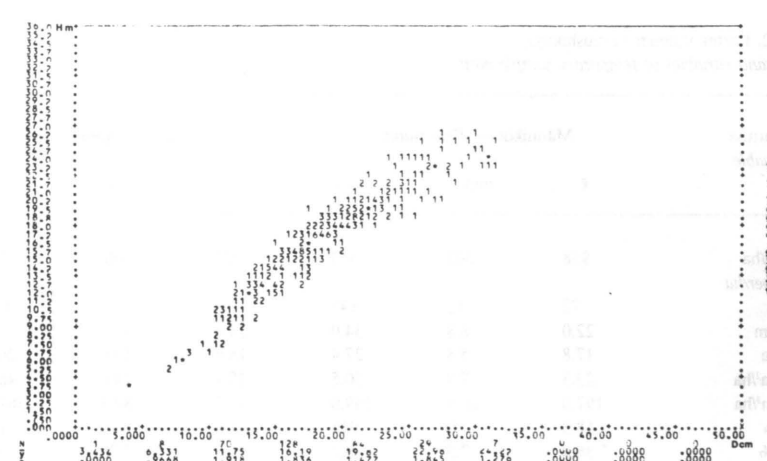
Kuva 1. Simulointimänniköiden keskiläpimitan (D) ja keskipituuden (H) korrelaatio.
Fig. 1. Correlation between the basal-area median diameter (D) and height (H). Simulated pine stands.



Kuva 2. Simulointikuusikoiden keskiläpimitan (D) ja keskipituuden (H) korrelaatio.
Fig. 2. Correlation between the basal-area median diameter (D) and height (H). Simulated spruce stands.



Kuva 3. Kestokoealamänniköiden keskiläpimitan (D) ja keskipituuden (H) korrelaatio.
Fig. 3. Correlation between the basal-area median diameter (D) and height (H). Pine stands, permanent sample plots.



Kuva 4. Kestokoealakuusikoiden keskiläpimitan (D) ja keskipituuden (H) korrelaatio.
Fig. 4. Correlation between the basal-area median diameter (D) and height (H). Spruce stands, permanent sample plots.

malleilla. Kuitupuun minimivaatimus malleissa on 8 dm³, d_{1,3} vastaavasti 7 cm; tukkipuun osalta minimikoot ovat 100 dm³ ja 17 cm.

Simulointiaineistoa käytettäessä katsottiin eri vaiheissa tietyt rajaukset tarpeelliseksi. Jäljempänä kuvattavien tukkipuuprosenttimallien aineistosta rajattiin pois ne keskiläpimitta- ja keskipituusluokat, joissa tukkipuuta ei esiintynyt. Männiköissä pienin mukaan tullut keskiläpimitta oli 10 cm ja pienin keskipituus 8 m. Kuusikoissa vastaavat rajat olivat 12 cm ja 10 m. Aineistoihin jäi 445 männikköä ja 435 kuusikkoa. Hakkuutähdeprosenttimal-

lien aineistosta poistettiin taas ne keskiläpimitalluokat, joissa kaikki runkopuu oli hakkuutähdettä. Pienin mukaan tullut keskiläpimitta oli männiköissä 6.5 cm ja kuusikoissa 5.5 cm. Aineistoihin jäi 478 männikköä ja 491 kuusikkoa. Metsikön puustokuutiometrin arvon laskentaan tarvittavia metsikön tukkiosan keskijäreysmalleja varten jouduttiin simuloimaan Kilkin ja Siitosen (1975) ohjelmistolla uudet puujoukot, sillä alkuperäisissä aineistoissa ei kaikkia tarvittavia tunnuksia oltu laskettu. Aineistosta rajattiin ennen mallien laadintaa kaikki ne puujoukot, joissa tukkipuuta ei esiintynyt. Lopulliseen aineistoon jäi 422

männikköä ja 421 kuusikkoa. Lisäaineisto vastasi peittävydeltään alkuperäistä puutavaralajimallien laadinta-aineistoa.

Metsäntutkimuslaitoksen kestokoeala-aineisto sisälsi 61 männikkökoealaa ja 32 kuusikkokoealaa Etelä- ja Keski-Suomesta. Mittauskertoja oli männiköistä 564 ja kuusikoista 317. Puustokuutiometrin rakenteen muutosmallit perustettiin vain 5 vuoden mittausjaksoihin, joita kertyi männiköistä 112 ja kuusikoista 71. Aineiston tilavuus ja puutavaralajirakenne laskettiin samoin perustein kuin simulointiaineiston. Siihen kuuluu käsitteilyltään varsin erilaisia koealoja, luonnontilaisista aina erittäin voimakkaasti harvennetuihin saakka. Männikkökoealojen kasvu-

paikkajakauma ulottuu CT:stä OMT:hen tavallisimman metsätyyppin ollessa VT. Kaikki kuusikkokoealat ovat tuoreilta kankailta. Keskiläpimitat ja -pituudet käyvät ilmi kuvista 3 ja 4. Lisäksi taulukosta 1 saadaan tietoja eräistä aineiston keskitunnuksista kunkin mittausjakson alussa, samoin kuin tilavuuskasvusta.

Mallien luotettavuuden testauksessa käytetyt, metsänarvioimisen harjoitustöissä vuosina 1973-1979 mitatut metsikkökoealat ovat eri tahoilta maan eteläpuolikosta. Koealoista 70 on pääosin VT:n ja MT:n männiköitä sekä 104 lähinnä MT:n ja OMT:n kuusikoita. Taulukosta 2 nähdään mittaustuloksiin perustuvia metsiköiden tunnus-

Taulukko 1. Kestokoealojen tunnuslukuja mittausjakson alussa.

Table 1. Stand variables on permanent sample plots at the beginning of the measurement period.

Muuttuja Variable	Männiköt — Pine stands			Kuusikot — Spruce stands		
	\bar{x}	min	max	\bar{x}	min	max
Runkoluku/ha Stem number/ha	1997	264	122990	1313	264	3093
T a	42	19	108	54	21	84
D cm	16.1	6.0	31.1	18.3	7.4	27.3
H m	15.1	5.7	26.4	16.6	5.7	26.1
G m ² /ha	21.1	9.1	39.3	25.9	8.0	52.2
V m ³ /ha	161.8	43.2	362.5	218.9	27.0	543.2
S %	31.0	0.0	93.3	35.7	0.0	88.5
K %	58.3	6.2	92.8	59.0	10.8	94.4
S _v dm ³	184	0	803	209	0	606
I _v m ³ /ha/a	7.5	2.3	15.4	9.7	1.2	19.7

Taulukko 2. Kertakoealojen tunnuslukuja.

Table 2. Stand variables of temporary sample plots.

Muuttuja Variable	Männiköt — Pine stands			Kuusikot — Spruce stands		
	\bar{x}	min	max	\bar{x}	min	max
Runkoluku/ha Stem number/ha	958	342	2833	977	180	3750
T a	72	15	145	79	35	125
D cm	22.0	8.8	34.0	23.6	10.8	38.6
H m	17.8	5.8	27.4	18.9	10.0	26.3
G m ² /ha	23.3	7.9	50.5	25.4	14.6	46.9
V m ³ /ha	197.0	26.9	599.0	215.7	87.3	387.6
S %	58.3	0	91.8	61.4	0	91.9
K %	36.9	7.5	89.2	35.6	7.78	9.9
S _v dm ³	342	0	933	189	0	1077
I _v m ³ /ha/a	5.6	1.2	12.5	6.0	2.4	19.1



3. MALLIT JA NIIDEN LAADINTA

31. Puustokuutiometrin rakenne

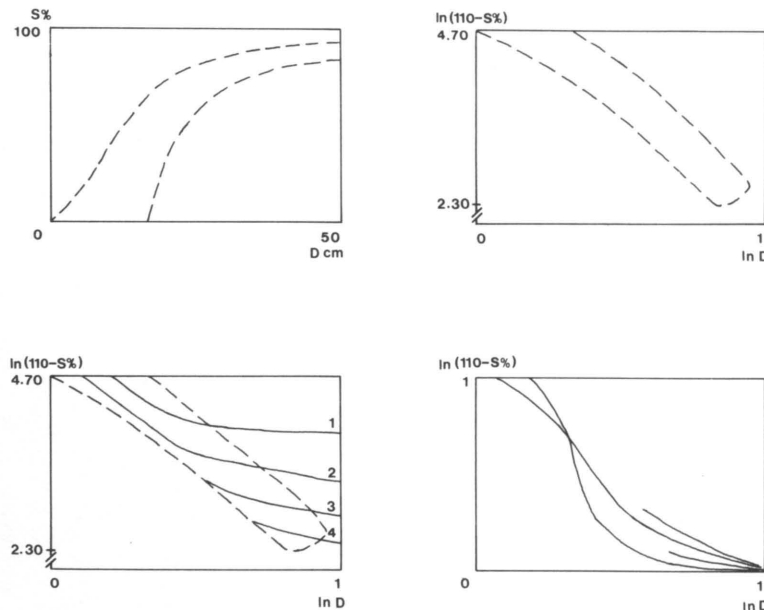
311. Tukkipuuprosentti

Kun runkopuun kokonaistilavuus jaetaan tukkipuuhun, kuitupuuhun ja hakkuutähteeseen, yhden puutavaralajin osuus voidaan aina laskea, mikäli kaksi muuta tunnetaan. Metsikön iän tai jonkin järeyttä kuvaavan tunnuksen funktiona metsikön tukkipuuprosentin kuvaaja on nouseva käyrä ja hakkuutähdeprosentin kuvaaja laskeva käyrä; näillä ei ole paikallisia ääriarvoja ja niillä on vain yksi käännepeiste. Kuitupuuprosentin kuvaajalla sen sijaan on maksimi ja kaksi käännepeistettä. Koska kuitupuuprosentin kuvaaja on näin ollen muita kuvaajia monimutkaisempi, on perusteltua laatia mallit tukkipuu- ja hakkuutähdeprosentteille ja laskea kuitupuuprosentti erotuksena.

Tukkipuuprosenttimalli laadittiin havaintoaineiston visuaaliseen tarkasteluun perustuvalla "matchacurve"-menetelmällä (vrt. Jensen 1973 sekä Kilkki ja Siitonen 1975). Perusfunktiona on sigmoidi, joka monipuolisuutensa takia soveltuu hyvin nyt kysymyksessä olevien mallien laadintaan:

$$\text{sig}_k = \frac{\exp\left(-\left|\frac{x_k-1}{1-i_k}\right|^n\right) - \exp(-(1-i_k)^{n_k})}{1 - \exp(-(1-i_k)^{n_k})} \cdot b_k + a_k$$

Argumentin x_k ollessa välillä (0,1) on sigmoidi aidosti nouseva käyrä. Potenssi n_k määrää käyrän jyrkkyyden ja parametri i_k käännepeisteen etäisyyden origosta. Parametrien a_k ja b_k avulla sigmoidi voidaan skaalata halutulle vaihteluvälille. Alaindeksi k ilmaisee sigmoidin numeron mallissa, joka koostuu useas-



Kuva 5. Tukkipuuprosenttimallien laadinta. Selitykset tekstissä. Katkoviiva osoittaa aineiston vaihtelua, yhtenäinen viiva laadittuja osamalleja.

Fig. 5. Construction of the models for saw timber percentages. See text for explanations. Broken line: variation of the data; Continuous line: partial models constructed.

ta sigmoidista. Sigmoidista käytetään lyhennettyä merkintää $\text{sig}_k (x_k, a_k, b_k, n_k, i_k)$.

Kun mallissa on kaksi selittävää muuttujaa, tapahtuu mallin laadinta matchacurve-tekniikalla kolmessa vaiheessa. Ensiksi valitaan jompi muuttujista mallin pääselittäjäksi. Apuselittäjä jaetaan mahdollisimman homogeenisiin luokkiin. Jokaiselle luokalle laaditaan oma regressiomalli, jossa selittävänä muuttujana on mallin pääselittäjä. Kaikissa malleissa käytetään samaa perusfunktiota. Toisessa vaiheessa laaditaan ensimmäisen vaiheen mallien parametreille mallit, joissa selittävänä muuttujana on mallin apuselittäjä. Kolmannessa vaiheessa yhdistetään ensimmäinen ja toinen vaihe sijoittamalla ensimmäisen vaiheen perusmallin parametrien paikalle toisen vaiheen mallit.

Tukkipuuprosenttimallien laadinnan periaatetta voidaan tarkastella kuvan 5 avulla. Keskiläpimitta valittiin malliin pääselittäjäksi, koska selittävän ja selitettävien muuttujien välisiä korrelaatiotauluja tarkastelemalla keskiläpimitan ja tukkipuuprosentin välinen korrelaatio havaittiin kiinteämmäksi kuin keskipituuden ja tukkipuuprosentin välinen korrelaatio.

Kun tukkipuuprosentin varianssi oli negatiivisessa korrelaatiossa tukkipuuprosentin kanssa (vrt. kuvan osa a), homogenisoitiin varianssi ottamalla uudeksi selitettäväksi muuttujaksi $\ln(110-S\%)$. Samalla otettiin keskiläpimitasta luonnollinen logaritmi riippuvuussuhteen yksinkertaistamiseksi. Uusi pääselittäjä skaalattiin siten, että se sai arvon 0 aineiston alarajalla ja arvon 1 keskiläpimitan ollessa 50 cm (osa b).

Seuraavassa vaiheessa otettiin uusien muuttujien väliseen korrelaatiotauluun keskipituus mukaan luokittelumuuttujana. Selitettävän muuttujan ja mallin pääselittäjän väliset riippuvuudet tasoitettiin graafisesti pituusluokittain. Tasoituksia jatkettiin aineiston ulkopuolelle pääselittäjän arvoon 1 saakka, missä tukkipuun määrän oletettiin saavuttavan pituusluokittaisen maksiminsa (osa c). Tämän jälkeen tukkipuuprosentin maksimin muunnokselle $\ln(110-S\%)$ laadittiin matchacurve-menetelmällä malli (S_{\max}), jossa selittävänä muuttujana käytettiin keskipituutta ja perusfunktiona sigmoidia. Malli sai männiköissä muodon

$$S_{\max} = \text{sig}_6 (H_6, a_6, b_6, n_6, i_6) + c_2 \cdot (1-H_7)^3$$

ja kuusikoissa muodon

$$S_{\max} = \text{sig}_6 (H_6, a_6, b_6, n_6, i_6) + \text{sig}_7 (H_7, a_7, b_7, n_7, i_7)$$

Aineiston havainnot skaalattiin pituusluokittain välille (0,1) S_{\max} estimaatin avulla (osa d).

Tämän jälkeen tehtävänä oli etsiä kokeilemalla sigmoidi sig_1 , joka parhaiten vastasi tärkeimpien pituusluokkien tasoituskäyriä. Kun tasointi ei onnistunut yhdellä perusfunktiolla, tehtiin perusmallin ja tasoituskäyrien erotuksia selittävät korjausmallit sig_2 ja sig_3 . Koska keskimääräinen keskiläpimitan mukainen tasointi jäi harhaiseksi keskipituuden suhteen, laadittiin sig_1 :n parametreille n_1 ja i_1 mallit keskipituuden funktiona. Laadintaan käytettiin piirrosta d. Siitä saatiin kullekin keskipituusluokalle sigmoidin parametrien arvot yhden selittävän muuttujan matchacurve-tekniikalla. Saatujen parametrien n ja i arvot tasoitettiin keskipituuden funktiona ja saatiin mallit

$$n_1 = \text{sig}_4 (H_4, a_4, b_4, n_4, i_4)$$

ja

$$i_1 = \text{sig}_5 (H_5, a_5, b_5, n_5, i_5)$$

Mallit n_1 ja i_1 sijoitettiin perusmallin parametrien paikalle ja kokonaismallin parametrit c_0 ja c_1 tarkistettiin tavallisella lineaarisella regressioanalyysillä. Mallista otettiin eksponenttifunktio, joka vähennettiin luvusta 110. Samalla tehtiin mallin vakioon c_0 eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus.

Tukkipuuprosenttimallit saivat yleisen muodon

$$S_{\%} = 110 - \exp(c_0 + c_1 S_{\max} (\text{sig}_1 + \text{sig}_2 + \text{sig}_3))$$

Mallien parametrien arvot on esitetty taulukossa 8 (s. 33).

312. Hakkuutähdeprosentti ja tukkiosan keskijäreys

Metsikön hakkuutähdeprosenttimallit ja tukkiosan keskijäreysmallit laadittiin valikoidun regressioanalyysillä jäljittelevällä kokeiluun ja aineiston visuaaliseen tarkasteluun perustuvalla menetelmällä. Selittävänä muuttujana käytettiin molemmissa malleissa metsikön pohjapinta-alakeskipuun läpimittaa ja sitä vas-

taavaa pituutta. Hakkuutähdeprosenttimallien jäännösvarianssi homogenoitiin ottamalla selittävästä muuttujasta luonnollinen logaritmi. Mallien yleiseksi muodoksi saatiin

$$W_{\%} = \exp(c_1 + c_2 \ln D + c_3 (\ln D)^2 + c_4 (1.4/\ln D)^2 + c_5 \ln(35-H))$$

Vakiotermin on tehty eksponenttimuunnoksen vaatima tasokorjaus. Hakkuutähdeprosenttimallin parametrien arvot on esitetty seuraavassa asetelmassa:

	männiköt	kuusikot
c_1	28.07	25.71
c_2	-12.93	-12.82
c_3	1.415	1.496
c_4	-9.026	-8.406
c_5	.1460	.6134

Metsikön tukkiosan keskijäreysmallin yleiseksi muodoksi saatiin

$$S_v = 100 + c_1 (\ln D - c_5)^n + c_2 (H - c_6) + c_3 (H - c_6)^2 + c_4 (H - c_6)^3$$

Koska parametrille c_5 annettiin tukkipuuprocenttimallin aineiston keskiläpimitan alarajan luonnollisen logaritmin arvo ja parametrille c_6 keskipituuden alarajan arvo, antaa malli aineiston alarajalla tukkiosan keskijäreydelle arvon 0.1 m^3 . Mallin parametrien arvot ovat:

	männiköt	kuusikot
c_1	230.9	346.7
c_2	5.419	14.51
c_3	-1.3550	-1.597
c_4	.5300	.1350
c_5	2.30	2.48
c_6	8.00	10.0
n	4.00	3.00

Männikön ja kuusikon puustokuutiometrin rakenne, selittävinä muuttujina metsikön keskiläpimita ja keskipituus, esitetään taulukoissa 9 ja 10 (s. 34).

32. Puustokuutiometrin arvo

Metsikön puustokuutiometrin arvoa laskettaessa on lähtökohtana ollut se tosiasia, että tukkipuulla ja kuitupuulla on oma erillinen hintatasonsa suomalaisessa kantohintajärjes-

telmässä. Kun pyrkimyksenä oli kehittää mahdollisimman joustava menettely arvon määrittämiseksi, tukkipuun perushintaa kuutiometriä kohti merkittiin 100:lla ja kuitupuun hintaa tähän suhteutettulla vapaasti välittävällä luvulla eli rahayksiköllä (ry).

Kysymys järeiden mukaisesta hintaporrastuksesta saattaa olla aiheellinen jo kuitupuulla, koska pienikokoisten puiden korjuukustannukset tilavuusyksikköä kohti ovat suuremmat kuin suurempien puiden. Hintasuositussopimuksissa esiintyy sen mukaisesti runkojen käyttöosan keskimääräiseen järeiden perustuvia porrastuksia (vrt. Puun hintasuositukset... 1980). Kuitupuuta saadaan kuitenkin myös tukkirunkojen latvaosista, joten porrastamisessa on vaikeuksia. Kun sen käytännöllinen merkitys olisi lisäksi ollut verraten vähäinen nyt kysymyksessä olevissa laskelmissa, on järeiden mukainen hintaporrastus rajoitettu vain tukkipuuhun.

Tukkipuulle sovelletaan yleisesti jonkinlaista yksikköhinnan järeysporrastusta. Tukan nettoarvo sahalla tilavuusyksikköä kohti nousee selvästi latvaläpimitan kasvaessa niinkuin Heiskanen ja Asikainen (1969, s. 98-99) ovat todenneet. Heidän esittämänsä porrastusta sovelsivat Laasasenaho ja Sevola (1971) laskeessaan havupuurunkojen kantoarvoja. Järeiden vaikutuksen huomioonottamiseksi olisi tietenkin mahdollista lähteä laskelmissa sahalla ja pyrkiä vähentämään kaikki kustannukset, kunnes päästäisiin kantohintaan (vrt. esim. Lallukka 1970). Tästä yrityksestä kuitenkin luovuttiin. Sen jälkeen kun oli selvitetty käytännössä 1970-luvulla sovellettuja hintaporrastuksia, päädyttiin kuvan 6 yläosasta näkyviin hintasuhteisiin. Molemmilla puulajeilla suhteellinen kantohinta on 100 ry/m^3 tukkiosan keskijäreiden ollessa 400 dm^3 , mutta 100 dm^3 tukkipuuta sisältävän rungon hinta on männyllä 80 ja kuusella 90 ry/m^3 ja vähintään 700 dm^3 tukkipuuta sisältävän rungon hinta männyllä 120 ja kuusella 110 ry/m^3 . Hintaporrastus on selvästi jalostusarvon edellyttämää lievempi ja myös vähän pienempi kuin se, minkä Harve (1940) totesi kantohintoissa vuosina 1934-1939 ja mitä esim. Nyssösen (1958) käytti kiertoaikalaskelmissaan. Toisaalta se on selvästi viime vuosien kantohintasuosituksissa käytettyä voimakkaampi (vrt. Puun hintasuositukset... 1980).

Metsikön tukkiosan keskijäreiden nojaavan hintamallin laatimiseksi edellä selostetulla

Tukkiosan hintamallien parametrien arvot ovat:

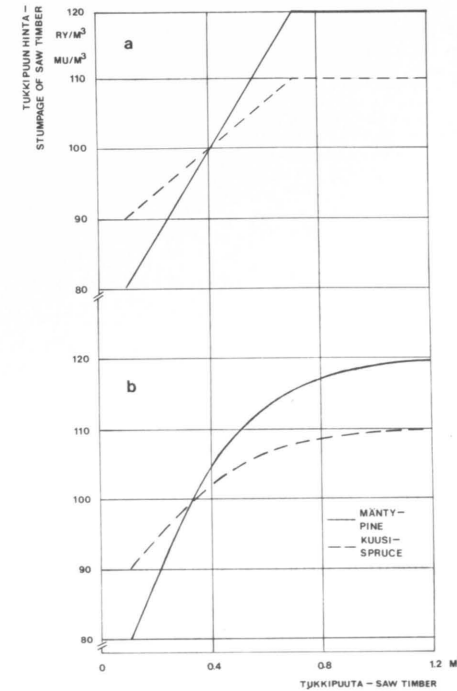
	$(S_v - 1)/1.4$	$(S_v - 1)/1.4$
S_{v1}	80.00	90.00
a	40.00	20.00
b	2.560	2.725
i	.325	.320

Kuvan 6 osassa b on esitetty mallien antamat metsikön puuston tukkiosan keskimääräiset yksikköhinnat. Hinta on molemmilla puulajeilla 100 ry/m^3 tukkiosan keskijäreydellä 0.33 m^3 .

Tukkiosan hintamallien valmistuttua ovat edellytykset olemassa puustokuutiometrin arvon laskentaan kuvan 7 osoittamalla tavalla. Laskelmissa on tietenkin mahdollista käyttää myös edellä esitetystä poikkeavaa tukkipuun hinnan riippuvuutta tukkiosan keskijäreydestä. Taulukoissa 11 ja 12 (s. 35) on esitetty puustokuutiometrin suhteellinen arvo kolmella erilaisella kuitupuun hinnalla. Tämän poikkeusta taulukoissa esitetyistä voidaan käyttää suoraviivaista interpolaatiota.

33. Arvokasvuprosentti

Metsikön arvokasvu tulevana 5-vuotiskaute-na voidaan määrittää, mikäli tilavuuskasvun lisäksi tunnetaan puustokuutiometrin arvon muutos tänä kautena. Se edellyttää puolestaan puustokuutiometrin rakenteen muutosten tuntemista. Tämän johdosta laadittiin

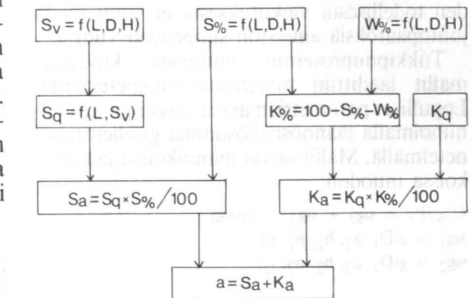


Kuva 6. Rungon tukkiosan suhteellinen hinta tilavuuden funktiona. a) puu, b) metsikko.
Fig. 6. Relative stumpage of the saw timber portion of a stem as a function of the volume. a) tree, b) tree stand.

perustalla tarkasteltiin aluksi selittävän ja selitettävän muuttujan välisiä korrelaatiotauluja. Selittävästä muuttujasta otettiin luonnollinen logaritmi riippuvuuden muodon yksinkertaistamiseksi. Uusi selittävä muuttuja skaalattiin siten, että aineiston alarajalla se sai arvon 0 ja tukkiosan järeiden ollessa 1.5 m^3 arvon 1. Seuraavaksi piirrettiin luokittaisten keskiarvojen avulla tasoituskäyrä. Kokeilemalla etsittiin sigmoidi, joka parhaiten vastasi käsivaraista tasoitusta. Tukkiosan hintamallien yleiseksi muodoksi tuli

$$S_q = \text{sig}(S_{v1}, a, b, n, i)$$

missä a on tukkipuun hintavaihtelun alaraja ja b vaihtelun amplitudi. Sigmoidin parametrit n ja i tarkennettiin lopullisesti minimoimalla jäännöseläsumma gradienttimenetelmällä.



Kuva 7. Metsikön puustokuutiometrin suhteellisen arvon laskenta.
Fig. 7. Calculation of the relative value of a wood cubic metre in a stand.

puutavaralajiosuukien ja rungon tukkiosan keskijäreiden muutoksille erilliset mallit Metsäntutkimuslaitoksen kestokoeala-aineistoa käyttäen.

Puustokuutiometrin rakenteen muutos kuvattiin malleissa puutavaralajien suhteellisen osuuden keskimääräisenä prosentuaalisena muutoksena alkavana 5-vuotiskautena. Jotta muutosprosentti olisi stabiili lähellä nolaa olevilla puutavaralajiprosenteilla, lisättiin muutosprosenttia laskettaessa sekä nykyiseen että tulevaan puutavaralajiprosenttiin luku 100, jolloin muutosta ilmaiseviksi prosenteiksi saatiin:

$$C_{S\%} = 40 \cdot (S_{\%5} - S_{\%0}) / (S_{\%5} + S_{\%0} + 200)$$

$$C_{W\%} = 40 \cdot (W_{\%5} - W_{\%0}) / (W_{\%5} + W_{\%0} + 200)$$

Vastaavaksi tukkiosan keskijäreiden muutos ta ilmaiseviksi prosentiksi saatiin

$$C_{SV} = 40 \cdot (S_{V5} - S_{V0}) / (S_{V5} + S_{V0} + .9 + c)$$

missä $c = 1$, kun $S_{V0} = 0$, ja $c = .9$, kun $S_{V0} \neq 0$

Puutavaralajirakenteen muutosta kuvaavia muuttujia tarkasteltiin graafisesti metsikön keskiläpimitan funktiona. Kun metsikön tilavuuskasvuprosentti otettiin mukaan luokittelumuuttujana, havaittiin, että muutos on kiinteässä korrelaatiossa metsikön keskiläpimitan kanssa ja suoraan verrannollinen tilavuuskasvuprosenttiin. Tilavuuskasvuprosenttiin vaikutus eliminoidiin selitettävistä muuttujista jakamalla niiden arvot vastaavilla tilavuuskasvuprosenttien arvoilla. Sen jälkeen laadittiin mallit uusille selitettävälle muuttujille keskiläpimitan funktiona puulajeittain. Muita selittäviä muuttujia ei otettu mukaan malliin, koska niiden todellisesta vaikutuksesta ei voitu tehdä johtopäätöksiä aineiston suppeuden vuoksi.

Tukkupuuprosenttien muutosta kuvaavat mallit laadittiin matchacurve-menetelmällä. Lopulliset parametrien arvot tarkennettiin minimiomalla jäännösneliösumma gradienttimenetelmällä. Mallit saivat männiköissä ja kuusikoissa muodon:

$$C_{S\%}/P_v = \text{sig}_1 + \text{sig}_2, \quad \text{missä}$$

$$\text{sig}_1 = g(D_1, a_1, b_1, n_1, i_1)$$

$$\text{sig}_2 = g(D_1, a_2, b_2, n_2, i_2)$$

Ensimmäinen sigmoidi kuvaa mallin nousu-osan nollasta maksimiin ja toinen sigmoidi laskevan osan. Mallien parametrien arvot ovat seuraavat:

	Männiköt	Kuusikot
a_1	0	0
b_1	-.79	-.89
n_1	$4.80 - .068 \cdot D$	$4.67 - 0.61 \cdot D$
i_1	.56	.57
a_2	.79	.89
b_2	-.79	-.89
n_2	7.33	11.91
i_2	.79	.70
D_1	$1 - (1 - D/50)^{2.01}$	$1 - (1 - D/50)^{7.995}$

Tukkiosan keskijäreiden ja hakkuutähdeprosenttien muutosmallit tehtiin visuaaliseen tarkasteluun perustuvalla valikoivaa regressioanalyysiä jäljittelevällä tekniikalla. Hakkuutähdeprosenttien muutosmallin selitettäväksi muuttujaksi otettiin $\ln(-C_{W\%}/P_v)$, jolloin mallin jäännöshajonta saatiin homogenoitua. Mallien lopulliseksi muodoksi saatiin:

$$C_{W\%}P_v = -\exp(c_1 + c_2 \ln D + c_3 (\ln D)^2) \cdot (D/c_4)^7 / ((D/c_4)^7 + 1)$$

Parametrien arvot ovat seuraavan asetelman mukaiset:

	Männiköt	Kuusikot
c_1	-1.495	5.450
c_2	2.091	-3.156
c_3	-.9767	0
c_4	5.5	5.0

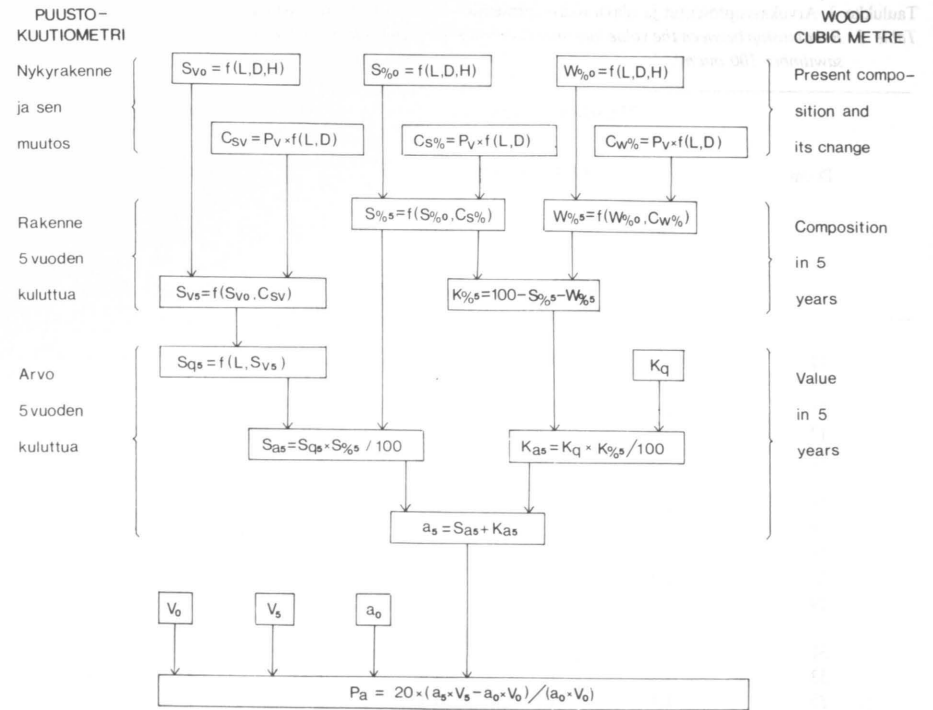
Mallin vakioon on tehty eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus. Koska mallien laadinta-aineiston keskiläpimitan alaraja (mä 6.0 ja ku 7.4 cm) oli selvästi suurempi kuin kuitupuun muodostuksen alaraja, lisättiin malliin jälkimmäinen tulontekijä varmistamaan, että malli ei anna äärettömän suuria tuloksia pienillä keskiläpimitan arvoilla. Termin vaikutus ei ulotu laadinta-aineiston alueelle, mutta sen avulla malli on saatu täyttämään se teoreettinen vaatimus, että muutos on nolla keskiläpimitan ollessa riittävän pieni.

Metsikön tukkiosan keskijäreiden muutosmalli sai muodon

$$C_{SV}/P_v = c_1 + c_2 \ln D + c_3 (\ln D)^2$$

Parametrien arvot ovat seuraavassa asetelmassa:

	Männiköt	Kuusikot
c_1	3.294	6.846
c_2	-2.688	-5.247
c_3	.5550	1.014



Kuva 8. Metsikön arvokasvuprosentin laskenta.
Fig. 8. Calculation of the value increment percentage of a stand.

Muutosmallien avulla voidaan laskea männiköiden ja kuusikoiden arvokasvuprosentit. Laskentakaavio nähdään kuvasta 8. Arvokasvuprosentit on taulukoitu metsikön tilavuuskasvuprosenttien ja keskiläpimitan funktiona, käyttäen kunkin läpimittaluokan keskimää-

räistä pituutta ja kolmea kuitupuun hintatasoa (taulukot 13 ja 14, s. 36–37). Lisäksi on taulukossa 3 esitetty arvokasvuprosenttien ja tilavuuskasvuprosenttien suhde, ns. arvokerroin, metsikön keskiläpimitan ja kuitupuun eri hintatasojen funktiona (s. 18).

Taulukko 3. Arvokasvuprosentin ja tilavuuskasvuprosentin suhde. Tukkiosan keskihinta 100 ry/m³.
Table 3. Relationship between the value-increment percentage and the volume-increment percentage. The stumpage of sawtimber 100 mu/m³.

D cm	Männiköt – Pine stands			Kuusikot – Spruce stands		
	20	50	80	20	50	80
	Kuitupuun hinta ry/m ³ – Stumpage of pulpwood mu/m ³					
	Kasvuprosenttien suhde – Relationship of the percentages					
11	1.6	1.3	1.1	1.2	1.2	1.1
13	2.0	1.3	1.1	1.5	1.2	1.1
15	2.5	1.5	1.1	2.6	1.5	1.1
17	2.4	1.6	1.2	2.9	1.7	1.2
19	2.1	1.6	1.2	2.5	1.6	1.2
21	1.8	1.5	1.3	1.9	1.5	1.2
23	1.6	1.5	1.3	1.7	1.4	1.2
25	1.5	1.4	1.3	1.6	1.4	1.3
27	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
29	1.3	1.3	1.2	1.4	1.3	1.2
31	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2
33	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
35	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

4. MALLIEN LUOTETTAVUUS

41. Erillismallit

Metsikön tukkipuu- ja hakkuutähdeprosenttimallien luotettavuustunnuksia on esitetty taulukossa 4: havaintojen lukumäärä n , keskiarvo \bar{y} , selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta s_m , jäännöshajonta s_f , selityssaste R^2 sekä mallin suhteellinen keskivirhe s_e (vrt. Nyssönen & Mielikäinen 1978, s. 10). Kun tukkipuuprosenttimallin laadintavaiheessa selitettävänä muuttujana oli $\ln(110-S\%)$, s_e ilmoittaa vaihtelun laskettuna luvusta $110-S\%$. Esim. männikön ennustetun tukkipuuprosentin ollessa 80 keskivirhe on $0.0768 \cdot (110-80) = 2.3\%$ -yksikköä.

Jäännösvaihtelun visuaalinen tarkastelu antaa mahdollisuuden tutkia mallien harhatto- muutta laadinta-aineiston eri osissa sekä jäännösvaihtelun mahdollista epätasaisuutta. Kuvassa 9 on esitetty tukkipuuprosenttimallien jäännöshajonnat mallien itsensä suhteen. Niihin on lisäksi piirretty variaatiokerroimella laskettu yksinkertaisen keskivirheen vyöhyke. Mikäli mallien laadintavaiheessa selitettävän muuttujan jäännösvaihtelu olisi saatu tasaiseksi mallin vaihtelualueella, olisi mallin jäännöshajonta teoreettisesti lasketun hajontavyön muotoinen.

Variaatiokerrointa paremman kuvan mallien luotettavuudesta antavat läpimittaluokittain lasketut residuaalien hajonnat ja harhat

(taulukko 15, s. 38). Hajontaa laskettaessa on vähennetty keskimääräinen harha. Näissä samoin kuin myöhemmissä taulukoissa +merkin harha (b) osoittaa sen, kuinka paljon malli on keskimäärin yliarvioinut asianomaisen tunnuksen.

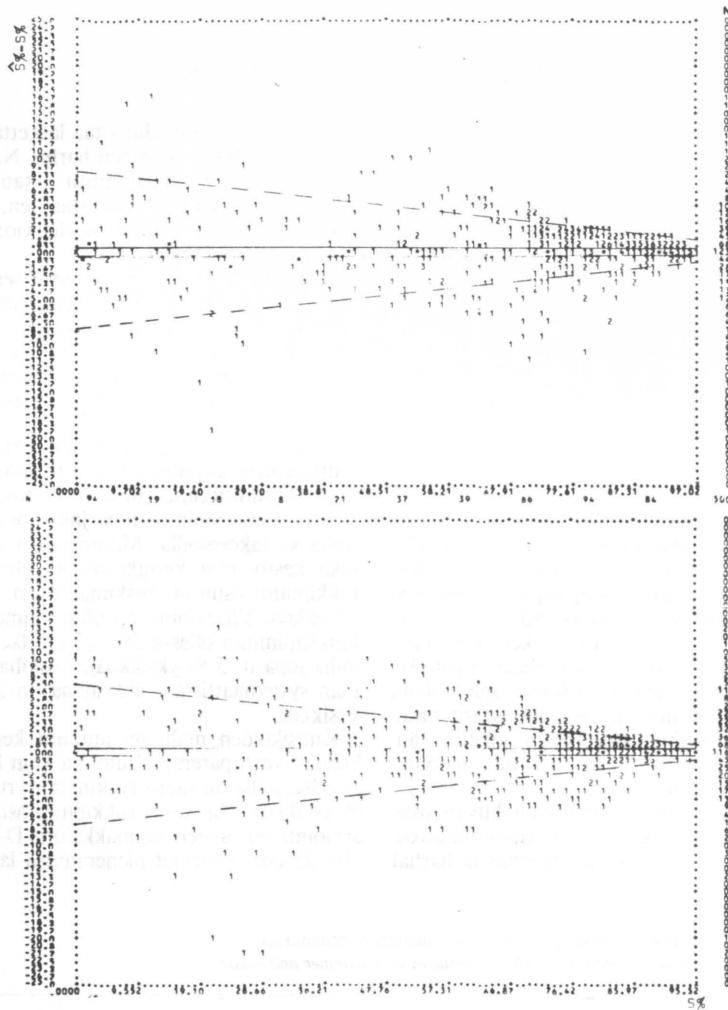
Taulukosta 15 käy ilmi, etteivät sen enempää tukkipuu- kuin hakkuutähdemallienkaan antamat tulokset ole laadinta-aineistossa mainittavasti harhaisia. Tukkipuuprosenttimallin keskihajonta on n . 4 prosenttiyksikköä ja vastaa 6–7 % keskimääräisestä tukkipuuprosentista.

Taulukossa 16 (s. 39) esitetään tukkipuuprosenttimallien antamien tulosten luotettavuus sekä Metsäntutkimuslaitoksen kestokoealoilla että metsänarvioimisen harjoitustöissä mitatuilla kertakoealoilla. Männiköiden malli on sekä kesto- että kertakoealoilla yliarvioinut tukkipuun osuutta keskimäärin n . 1.5 %-yksikköä. Yliarviointi on ollut voimakkainta keskiläpimittan ollessa 20–25 cm (kertakoealoilla jopa n . 5 %-yksikköä). Keskihajonta ilman systemaattista poikkeamaa on 3–5 %-yksikköä.

Kuusikoiden malli on antanut kestokoealoilla selvästi parempia tuloksia kuin kertakoealoilla, joilla on saatu keskimäärin runsaat 2 %-yksikköä liian suuri tukkipuun osuus. Yliarviointi on jälleen voimakkainta D-luokissa 20–25 cm. Aliarviot pienemmissä läpimitta-

Taulukko 4. Tukkipuu- ja hakkuuprosenttimallien luotettavuustunnuksia.
Table 4. Reliability of the models for the percentages of sawtimber and waste.

Tuunusluku	Männiköt – Pine stands		Kuusikot – Spruce stands	
	$\ln(110-S\%)$	$\ln W\%$	$\ln(110-S\%)$	$\ln W\%$
n	445	478	435	491
\bar{y}	3.670	1.09	3.767	1.27
s_m	.5744	1.2083	.4995	1.2007
s_f	.0767	.1460	.0720	.1067
R^2	.982	.985	.979	.992
$se\%$	7.68	14.67	7.21	10.70



Kuva 9. Tukkipuuprosenttimallien jäännösvaihtelu. Ylhäällä männiköt, alhaalla kuusikot.
Fig. 9. Residuals of the models for saw timber percentage. Upper figure: pine stands; lower figure: spruce stands.

luokissa ovat selvempiä kuin männikoissä. Keskihajonta on kertakoealoilla liki 7 %-yksikköä.

Taulukko 17 (s. 40) kuvaa hakkuutähdeprosenttimallin testiaineistoissa antamia tuloksia. Yleisenä piirteenä on hakkuutähteen lievähkö, 1%-yksikön molemmin puolin vaihteleva

aliarviointi. Niin kuin luonnollista, hajonnat sekä harhat ovat suurimpia pienten keskiläpimittaluokkien metsikoissä.

Metsikön tukkiosan keskijäreysmallin ja hintamallien luotettavuustunnukset on esitetty taulukossa 5. Mallit ovat lähes harhattomat itsensä ja selittävien muuttujien suhteen, pait-

Taulukko 5. Tukkiosan keskijäreysmallin ja hintamallin luotettavuustunnuksia.

Table 5. Reliability of the models for mean volume and mean stumpage of sawtimber.

Tunnusluku Statistic	Männiköt – Pine stands		Kuusikot – Spruce stands	
	S_v	S_q	S_v	S_q
n	422	526	421	286
\bar{y}	.377	95.49	.353	95.92
s_m	.3486	11.36	.3263	4.62
s_f	.0264	.69	.0313	.29
R^2	.994	.996	.991	.996

Taulukko 6. Puustokuutiometrin rakenteen muutosmallien luotettavuustunnuksia.

Table 6. Reliability of the models for the change in the composition of the wood cubic metre.

Tunnusluku Statistic	Männiköt – Pine stands			Kuusikot – Spruce stands		
	$C_{S\%/P_v}$	$\ln(C_{W\%/P_v})$	C_{S_v}	$C_{S\%/P_v}$	$\ln(C_{W\%/P_v})$	C_{S_v/P_v}
n	113	113	113	68	68	68
\bar{y}	.2401	-3.162	.1502	.3142	-3.617	.1940
s_m	.3330	3.560	.2524	.4042	3.830	.2936
s_f	.0821	.279	.0538	.0822	.181	.0714
R^2	.939	.994	.955	.959	.998	.941

si kuusikon tukkiosan keskijäreysmalli, joka antaa hieman liian pieniä tuloksia vähän tukkipuuta käsittävissä metsikoissä sen johdosta, että malli pakotettiin antamaan aineiston alarajalla tukkiosan keskijäreudeksi 100 dm³. Jäännöshajonnat ovat tukkiosan keskijäreysmallissa ja tukkiosan hintamallissa tasaisia, joten estimaatin keskivirhe kuvaa hyvin niiden luotettavuutta.

Testiaineistoissa keskijäreysmallit ovat molemmilla puulajeilla keskimäärin antaneet likipitään oikeita tuloksia (taulukko 18 s. 41). Keskimääräinen keskihajonta on eri tapauksissa 34–45 dm³ ja variaatiokerroin 10–15%, suhteellisesti pienin suurissa keskiläpimittaluokissa.

Puustokuutiometrin rakenteen muutosmallien luotettavuustunnuksia nähdään taulukossa 6. Niiden informaatioarvo on kuitenkin vähäinen niiden pääasiallisen tehtävän, metsikön arvokasvuprosentin ennustamisen kan-

nalta. Arvokasvun määrityksen luotettavuutta käsitellään jäljempänä.

42. Puustokuutiometrin arvo

Puustokuutiometrin arvon määrityksen luotettavuuden arviointia vaikeuttaa se, että tehtävässä tarvitaan eri aineistoihin perustuvia osamalleja. Kokonaiskuva arvioinnin luotettavuudesta saadaan kuitenkin taulukoista 19–21 (s. 42–44). Vertailukohteena oleva laadinta-aineiston metsiköiden puustokuutiometrin arvo on saatu taulukkoon 19 määrittämällä tukkipuun hinta deterministisesti metsikön keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona tässä työssä laadittujen metsikön tukkiosan keskijäreysmallien ja tukkipuun hintamallien avulla. Tällöin puustokuutiometrin arvon jäännöshajontaan vaikuttavat tukkipuu- ja kuitupuuprosenttien poikkeamat kyseisten

puutavaralajien hinnoilla painotettuina. Luotettavuustunnukset on laskettu molemmille puulajeille kolmella kuitupuun hintatasolla tukkipuun keskimääräisen hinnan ollessa 100 ry/m³. Mitä lähempänä tukkipuun hintaa kuitupuun hinta on, sitä tarkemmin puustokuutiometrin arvo saadaan. Harha on yleensä hyvin vähäinen ja keskihajonta esim. kuitupuun hinnalla 50 keskimäärin alle 2 % -yksikköä.

Testiaineistojen koelametsiköiden puuston määrää ja rakennetta koskevat "oikeat" tulokset perustuvat taulukoissa 20 ja 21 läpimittaluokittain tehtyihin laskelmiin. Kestokoealojen laskelmissa myös tukkipuun hinnat on määritetty luokittain, kun taas kertakoealoilla on sovellettu keskiarvoon perustuvaa hintamallia. Yleisenä piirteenä voidaan taulukoista nähdä puustokuutiometrin arvon lievä, 1—2 rahayksikön eli yleensä alle 2 %:n yliarvio.

Järeyslukittaisessa tarkastelussa sen sijaan todetaan suurempia keskimääräisiä yliarvioita metsikön keskiläpimitan ollessa yli 20 cm. Nimenomaan kuusikoissa taas on selviä aliarvioita mainitun rajan alapuolella. Keskihajonta on keskimäärin 1.4—5.3 rahayksikköä ja yleensä alle 4 %. Kaikissa näissä tuloksissa heijastuvat taulukosta 16 (s. 39) näkyvät tukkipuuprosenttien poikkeamat, sitä vaimeampina mitä korkeammasta kuitupuun hinnasta on kysymys.

43. Arvokasvuprosentti

Metsikön arvokasvuprosentin määrittämisen luotettavuudesta antavat kuvan taulukot 22—29 (s. 45—52) sekä niihin perustuva taulukko 7. Edelliset osoittavat systemaattisen virheen ja keskihajonnan sekä arvokasvumallien laadinta-aineistoissa että testiaineistoissa, joista jälkimmäiset ovat jo puuston rakenteen ja arvon tarkastelussa käytettyjä kertakoealoja. Variaatiokertoimet taulukossa 7 osoittavat keskimääräisen keskihajonnan prosentteina malleilla saatujen tulosten keskiarvosta. Myös systemaattiset poikkeamat on esitetty prosentteina.

Taulukoiden 22 ja 23 tuloksia laskettaessa on sovellettu kaikkia nyt laadittuja malleja, lähtösuureina metsiköiden mittaustulokset. Arvokasvuprosentin laskenta on tapahtunut kuvassa 8 (s. 17) esitetyllä tavalla. Metsikön nykyinen runkotilavuus V_0 on saatu Nyysö-

sen (1954) relaskooppitaulukoista ja tulevaa runkotilavuutta V_5 laskettaessa on käytetty Nyysösen ja Mielikäisen (1978) yhtälöitä ja tasokerrointa 0.89.

Taulukot 24—29 kuvaavat vaihtoehtoisia arvokasvuprosentin määrittystapoja. Taulukoissa 24 ja 25 on metsikön runkotilavuus saatu läpimittaluokittaisten laskelmien perusteella. Taulukoissa 26—29 myös tilavuuskasvuprosentti on edellytetty tunnetuksi. Taulukoissa 28 ja 29, missä myös puuston puutavaralajirakenne perustuu yksityiskohtaisiin laskelmiin, on lopulta vain puutavaralajiosuuskien ja tukkiosan keskiarvojen muutosmallien vaikutus arvokasvuprosenttiin tarkasteltavana.

Vertauskohteena olevat "oikeat" tulokset nojaavat läpimittaluokittain tehtyihin laskelmiin. Laadinta-aineistoissa tilavuuskasvu on saatu puustojen erotuksina. Testiaineistoissa taas on oletettu puiden pohjapinta-alan kasvun jatkuvan ennallaan, ja muotokorkeuden kasvun määrittäminen kytkeytyy läpimitan kasvun edellyttämään pituuden lisäykseen (vrt. Metsätalouden . . . 1980). Lasketut arvokasvuprosentit ovat laadinta-aineiston männikoissä keskimäärin 1.6- ja kuusikoissa 2-kertaisia vastaaviin testiaineiston metsikköihin verrattuna.

Männikoissä systemaattiset virheet ovat vähäisiä myös testiaineistoissa: keskimääräinen harha on kaikissa tapauksissa alle 5 % ja yleensä alle 3 %. Variaatiokertoimella on kaksi eri tasoa. Mikäli P_v on määritetty Nyysösen ja Mielikäisen (1978) yhtälöillä, tämän tunnuksen arvo esim. kuitupuun hinnalla 50 on laadinta-aineistossa 20 % ja testiaineistossa hyvinkin 30 %. Mikäli taas P_v oletetaan muuten määritetyksi, tunnuksen arvo on enintään 16 %.

Myös kuusikoissa harhat ovat laadinta-aineistossa pieniä, mutta testiaineistossa sitä vastoin on tapahtunut selvää yliarviointia. Kun P_v on arvioitu malleilla, on kuitupuun hinnalla 50 yliarvio 17—21 %. Myös tilavuuskasvuprosentin ollessa tunnettu on todettavissa 4—9 %:n suuruisia yliarvioita. Variaatiokertoimet ovat kuusikoissa yleensä pienempiä, mutta eräiltä osin samantasoisia tai suurempia kuin männikoissä.

Todellisen runkotilavuuden tunteminen ei ole nimenomaan männikoissä parantanut tuloksia, ja kuusikoissakin ne ovat parantuneet vain vähän. Puutavaralajien osuuskien tunteminen taas on merkitsevästi parantanut vain laadinta-aineistojen männiköiden tuloksia.

Taulukko 7. Arvokasvuprosentin variaatiokertoimet (yläriivi) ja systemaattiset poikkeamat (alarivi), %.
Table 7. Value increment percentage: Coefficients of variation (upper row) and systematic deviations (lower row), per cent.

Selittävät muuttujat Independent variables	Männiköt - Pine stands			Kuusikot - Spruce stands		
	20	50	80	20	50	80
	Kuitupuun hinta ry/m ³ - Stumpage of pulp wood mu/m ³					
	Laadinta-aineisto - Basic material					
M,L,D,H,G,T	22.7 -2.9	19.8 -2.6	19.3 -2.4	22.7 +1.9	23.1 +2.0	24.6 +1.6
M,L,D,H,V,T	22.9 -2.8	20.0 -2.7	19.3 -2.4	22.5 +1.8	22.8 +1.8	24.1 +1.6
L,D,H,V,P _v	14.0 +1.8	12.3 +2.1	12.9 +2.4	11.3 -0.7	5.1 -0.2	2.4 -0.2
L,D,V,S ₀ ,S _v ,W ₀ ,P _v	10.0 +1.4	5.2 +0.8	3.7 +0.8	10.0 +0.1	5.1 0	2.6 +0.2
	Testiaineisto - Test material					
M,L,D,H,G,T	36.8 -1.7	30.5 +4.1	30.1 +4.5	25.0 +19.0	21.0 +16.9	21.6 +15.1
M,L,D,H,V,T	37.0 0	33.0 -2.4	31.1 -3.2	24.0 +23.1	20.0 +21.0	18.9 +12.8
L,D,H,V,P _v	17.4 +1.2	16.1 +1.0	17.5 +1.9	21.2 +9.2	9.4 +7.1	5.9 +5.2
L,D,V,S ₀ ,S _v ,W ₀ ,P _v	14.7 +2.1	13.1 0	14.2 +1.1	19.4 +7.2	10.0 +6.2	5.0 +4.3

5. TULOSTEN TARKASTELU

Metsikön puuston arvon ja arvokasvun määrittäminen aiemmin kuvatuilla tavoilla edellyttää rekursiivisen malliketjun soveltamista. Mikäli edeltäjämallin antamaa odotusarvoa käytetään seuraajamallin selittävänä muuttujana sellaisenaan, saadaan tällaisella malliketjulla harhaisia tuloksia silloin, kun muuttujien väliset riippuvuudet ovat epälineaarisia ja edeltäjämallin muuttujissa on virhettä (vrt. Kilkki 1979). Tässä työssä laskelmat on tehty odotusarvoja käyttäen. Näin syntyneet harhat näyttäsivät kuitenkin olevan perin vähäisiä: puustokuutiometrin arvon määrittämisessä keskimäärin n. 0.2 % ja arvokasvua laskettaessa 0.5 %.

Tukkipuuprosentti saadaan nyt laadituilla malleilla yleensä selvästi suuremmaksi kuin esim. vastaavilla Kuuselan (1964., vrt. Nyysösen 1965) laatimilla malleilla; erotus on jopa 20 % -yksikköä metsikön keskiläpimitan ollessa 20—30 cm. Mänttiköiden tukkipuuprosentit ovat hyvin samantasoisia kuin Virkin (1976) samaan simulointiaineistoon perustuvat prosentit, kun taas Virkki päätyi Nyysösen (1954, 1958) aineistojen nojalla varttuneissa metsiköissä keskimäärin n. 5 % -yksikköä alempiin tukkipuuprosentteihin. Pääasiallisenä syynä tässä mainittuihin tasoeroihin ovat erilaiset apteeraus- ja laskentaperusteet.

Tukkipuuprosenttimalleja testiaineistoihin sovellettaessa havaittiin tulosten olevan tiettyihin keskiläpimitaluokkiin kuuluviissa metsiköissä jonkin verran harhaisia. Kun runkotilavuus- ja puutavaralajien määrät laskettiin kaikissa tapauksissa samoilla läpimitaan ja pituuteen perustuvilla malleilla, aineistojen erilaiset puutavaralajirakenteet johtuvat runkolukusarjojen eroista. Runkolukusarjan merkitys on suurin metsiköissä, joiden tukkipuuprosentti on alle 50 (vrt. Ojansuu 1980). Mitä suurempi hajonta on metsikön keskiläpimitan ollessa tukkipuun alarajaa pienempi, sitä enemmän malli aliarvioi tukkipuun osuutta. Mitä suurempi hajonta taas on keskiläpimitan ollessa runsaat 20 cm, sitä selvemmin malli yliarvioi. Nimenomaan kertakoealoilla keskijajonnat ja niiden seurauksena harhat ovat suurempia kuin laadinta-aineistossa, niin kuin seuraavat luvut osoittavat:

	Laadinta-aineisto	Testiaineisto
	Keskijajonta, cm	
Mänttiköt	3.2	6.1
Kuusikot	3.5	7.2

Nämä havainnot viittaavat siihen, että puustokuutiometrin rakenteen ja arvon määrittämistä on mahdollista tarkentaa ottamalla keskitunnusten ohella huomioon hajontatunnuksia. Päivinen (1981) on tarkastellut asiaa lähemmin läpimitajakauman estimointia koskevassa tutkimuksessaan. On kuitenkin todettava, että jo keskitunnukset, joiden käyttöä Kuuselan (1964) lisäksi mm. Risvand (1970) on perustellut, määrittävät puustokuutiometrin rakenteen ja arvon verraten luotettavasti. Esim. arvon määrittämisessä keskijajonta on yleensä alle 4 %. Mahdollisten lisätunnusten edullisuutta harkittaessa on huomiota kohdistettava myös niiden arvioinnin luotettavuuteen ja kustannuksiin.

Metsikön puuston hehtaarikohtaista arvoa määrittäessä joudutaan puustokuutiometrin arvon lisäksi määrittämään runkotilavuus yleensä relaskoopin avulla (vrt. Nyysösen 1954; Kilkki ja Siitonen 1975). Nyysösen esittämien taulukoiden sijasta voidaan tehtävässä soveltaa seuraavia muutokorkeuden FH yhtälöitä (Nyysösen 1974):

$$\begin{aligned} \text{Mänttiköt FH} &= 0.4116 - 0.04275 H^{1/2} + 0.6359 H \\ \text{Kuusikot FH} &= 1.3187 + 0.00099 H^2 + 0.3978 H \\ \text{Koivikot FH} &= 0.4907 - 0.00137 H^2 + 0.4556 H \end{aligned}$$

Metsikön puuston arvon määrittämisessä keskijajonnan suuruusluokka on 10% edellyttäen, että tarvittavat tunnuksot on oikein määritetty.

Metsikön arvokasvuprosentissa ei laadinta-aineiston perusteella esiinny mainittavaa harhaa, joten mallien laadinnassa on tässä mielessä onnistuttu. Sen sijaan testiaineiston kuusikoissa arvokasvuprosentti näyttäisi tulleen yliarvioituksi. Osaksi tämä lienee puutavaralajien muutosmallien aiheuttamaa, koska ko. prosentti on yliarvioitu silloinkin, kun tilavuuskasvuprosentti P_v on edellytetty tunnuksiksi. Mutta P_v :n arviointi Nyysösen ja Mie-

likäisen (1978) malleilla näyttää lisänsä yliarviota 10—15 %. Samaan viittaavia tuloksia saatiin aikanaan vm. tutkimuksen testiaineistossa.

Lopullisesti ei kuitenkaan ole mahdollista sanoa, onko P_v tullut testiaineiston kuusikoissa todella yliarvioituksi. Vertailutulokset on saatu tietyn edellytyksin tapahtuneella runkolukusarjan projisioinnilla, jonka on voitu todeta johtaneen yleensä pienempään tilavuuskasvuun kuin esim. Ilvessalon (1948) kasvunlaskentataulukoissa käytetyn menetelmän. Tässä vaiheessa on syytä todeta vain se, että Nyysösen ja Mielikäisen (1978) tilavuuskasvuyhtälöt antavat kiertojen kuluessa yhteisellä sovellusalueella mustikkatyypillä mänttiköissä selvästi pienempiä kokonaistuloksia kuin kuusikoissa. Tulosten käytännöllis-

nen sovellutus edellyttää tämän tasoeron lähempää selvitystä ja mahdollista oikaisua.

Määrittäessä arvokasvuprosentti ilman kasvun kairauksia ovat keskimääräiset variaatiokertoimet yleisiä puutavarain hintasuhteita sovellettaessa olleet mänttiköissä runsaat 30 ja kuusikoissa 20 %, ts. olennaisesti korkeammat kuin puuston arvoa määrittäessä. Vaikka variaatiokertoimet ovat näitä keskiarvoja pienempiä metsiköissä, joiden suhteellisen eli metsikön keskiläpimitan ollessa 25—30 cm, metsikkökohtaisten erojen tarkka selvittäminen tietää lisätöitä: metsikön käsittelyn analysointia, kasvun kairauksia, kasvun ilmastollisten vaihteluiden huomioonottamista jne. Kysymyksessä on monitahoisten tekijäin yhdysvaikutus.

6. TULOSTEN KÄYTTÖ

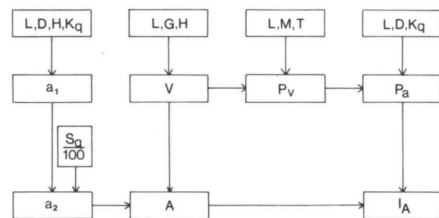
Tutkimuksen tulokset yhdistettyinä eräisiin aiempiin tutkimuksiin (Nyyssösen 1954; Nyyssösen ja Mielikäinen 1978) merkitsevät metsikön arvokasvun sekä siihen liittyen puutavaralajirakenteen ja arvon määrittämismenetelmien kehittämistä. Kohteena ovat männiköt ja kuusikot maan eteläpuoliskossa, mutta tekemällä tietyt oikaisut tuloksia voidaan soveltaa koko maassa sekä sekametsiköissä, mahdollisesti myös koivikoissa nämä männiköihin rinnastaen.

Lähtötiedot ovat seuraavat:

1. metsätyyppi (M)
2. puulaji (L)
3. metsikön ikä (T)
4. metsikön pohjapinta-ala (G)
5. metsikön keskiläpimitta (D)
6. metsikön keskipituus (H)
7. sahapuun keskihinta (S_q)
8. kuitupuun keskihinta (K_q)

Tuloksena saadaan seuraavat metsikkötiedot:

1. Runkotilavuus
2. Puustokuutiometrin rakenne
3. Puustokuutiometrin tukkiosan keskijäreys
4. Puustokuutiometrin tukkiosan hinta
5. Puustokuutiometrin arvo
6. Puuston arvo
7. Tilavuuskasvu
8. Arvokasvu



Kuva 10. Metsikön arvon ja arvokasvun määrittäminen.
Fig. 10. Ascertainment of the stand value and value increment.

Tilavuuskasvun arvio on joko nykykasvuun tai seuraavan 5-vuotiskauden kasvuun kohdistuva ja kasvu saadaan joko kuutiometreinä tai prosentteina. Arvokasvun arvio tarkoittaa yleensä seuraavaa 5-vuotiskautta.

Laskentajärjestelmää havainnollistetaan kuvassa 10. Puustokuutiometrin arvo rahayksiköinä saadaan taulukoiden 11 ja 12 (s. 35) avulla, tekijöinä L, D, H ja K_q , sekä väliarvot tarvittaessa interpoloiden. Arviointitehtävän niin vaatiessa saadaan puustokuutiometrin rakenne ja tukkiosan keskijäreys taulukoista 9 ja 10 (s. 34) sekä tukkiosan keskihinta kuvasta 6b (s. 15). Metsikön puuston hakkuuarvoon (mk/ha) pääsemiseksi on puustokuutiometrin arvo (a_1) kerrottava suhteella $S_q/100$ ja tulo (a_2) edelleen runkotilavuudella, joka saadaan relaskooppitaulukoista tai lasketaan yhtälöillä (vrt. s. 24).

Seuraavan 5-vuotiskauden tilavuuskasvuprosentti metsikölle saadaan Nyyssösen ja Mielikäisen (1978) tutkimuksesta, tekijöinä L, M, T ja V, mahdollisesti myös D. Tarpeen mukaan voidaan tulostaa kasvu kuutiometreinä tai sitten saada vastaavat nykykasvun arviot. Arvokasvuprosentti P_a saadaan tilavuuskasvuprosentin P_v sekä tekijöiden L, D ja K_q avulla joko taulukoista 13 ja 14 (s. 36–37) tai taulukosta 3 (s. 18), sekä soveltamalla tätä prosenttia metsikön arvoon vihdoon metsikön arvokasvu (mk/ha/a).

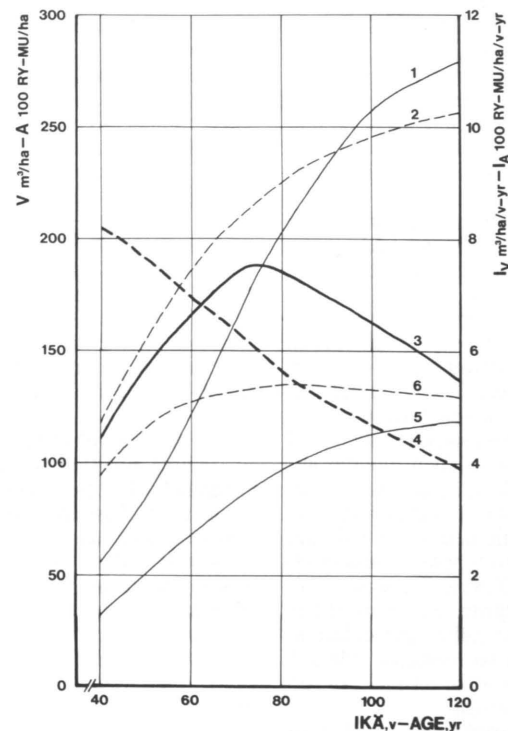
Luvuista 4 ja 5 saadaan vihjeitä niistä oikaisuista, joiden avulla voidaan välttää harhaisia tuloksia. Tämän lisäksi on testiaineistojen varttuneiden kuusikoiden runkotilavuutta maan eteläpuoliskon keskiosissa yliarvioitu (vrt. myös Kilkki ja Siitonen 1975). Sen johdosta saattaa Nyyssösen (1954) relaskooppitaulukoita sovellettaessa olla paikallaan käyttää männiköiden taulukoita myös kuusikoissa.

Vikaisuus puuston arvon alentajana on otettava huomioon erikseen. Samoin on huomattava, että puuston laadun paraneminen metsikön iän lisääntyessä vaikuttaa laskentajärjestelmissä vain puiden kokoon liittyvänä tekijänä.

Esimerkkeinä tutkimuksen tulosten soveltamiskohteista voidaan mainita seuraavat:

1. Metsikön puuston kehityksen yleisten piirteiden selvitys esim. kuvassa 11 esitettyyn tapaan. Lähtökohdista on metsikkötunnusten kehitys VT:n toistuvasti harvennetuissa männiköissä (Kasvu- ja... 1959) ja tilavuuskasvu on saatu Nyyssösen ja Mielikäisen (1978) tutkimuksesta. Tukkipuun kantohinta on 100 ja kuitupuun 50 rahayksikköä/m³. Erityisesti kiintyy huomio kuvasta näkyvään tilavuuden ja arvon kehityksen eriaikaisuuteen, mikä antaa pohjaa mm. metsikön käsittelyohjeiden laadinnalle.
2. Metsiköiden suhteellisen uudistamiskypsyyden määrittäminen. Tässä tehtävässä tarvittavien arvokasvun määrittämismenetelmien kehittämisen on ollut tämän tutkimuksen keskeinen tavoite.

3. Metsiköiden uudistuskypsyyden arviointi yleensä esim. yksityismetsäläin soveltamistarpeita varten, mihin voidaan näin saada lisäkriteerejä.
4. Puuston puutavaralajirakenteen selvitys esim. hakkuusuunnitteen tai ehdotuksen rakenteen määrittämiseksi, leimikon arvioimiseksi yms. tarpeisiin.
5. Metsän arvon laskenta. Tulokset tarjonnevat perusteita, paitsi hakkuuarvon, myös ns. odotusarvon määrittämiselle.



Kuva 11. Puuston runkotilavuuden, arvon sekä tilavuus- ja arvokasvun kehitys VT:n männiköissä.

- 1 = arvo ry/ha
- 2 = runkotilavuus m³/ha
- 3 = vuotuinen arvokasvu ry/ha/v
- 4 = vuotuinen tilavuuskasvu m³/ha/v
- 5 = keskimääräinen arvokasvu ry/ha/v
- 6 = keskimääräinen tilavuuskasvu m³/ha/v

Fig. 11. Development of the volume and value, and of the volume and value increment in Scots pine stands on Vaccinium site type.

- 1 = value mu/ha
- 2 = volume m³/ha
- 3 = current value increment mu/ha/yr
- 4 = current volume increment m³/ha/yr
- 5 = mean value increment mu/ha/yr
- 6 = mean volume increment m³/ha/yr

7. YHDISTELMÄ JA PÄÄTELMÄ

Tutkimuksessa on aluksi käsitelty männiköiden ja kuusikoiden puutavaralajirakenteen ja rungon tukkiosan keskijäreiden sekä näiden muutosten määrittämistä. Tältä pohjalta on edetty puustokuutiometrin arvon ja sen kasvun määrittämiseen sekä edelleen metsikön puuston arvon ja arvokasvun arviointiin. Näiden menetelmien kehittämisen päätaivoite on ollut luoda entistä paremmat edellytykset metsiköiden suhteellista uudistamiskypsyyttä koskevalle päätöksenteolle.

Tutkimus perustuu aiemmin kertyneisiin aineistoihin: valtakunnan metsien 6. inventoinnin perusteella simuloituihin metsikköihin, Metsäntutkimuslaitoksen kestekoaloihin ja yliopistollisista metsänarvioimisen harjoitustöistä peräisin oleviin aineistoihin.

Metsikön puustokuutiometrin rakenteen selvittämiseksi on laadittu mallit tukkipuu- ja hakkuutähdeprosentteille, jollain kuitupuuprosentti voidaan laskea erotuksena. Lisäksi on laadittu runkojen tukkiosan keskijäretytä kuvaavat mallit. Tuloksena ovat taulukot, jotka kuvaavat mainittujen tunnusten riippuvuutta metsikön keskiläpimitasta ja keskipituudesta.

Puustokuutiometrin arvoa laskettaessa on lähtökohtana ollut se tosiasia, että tukkipuulla ja kuitupuulla on oma erillinen hintatasonsa suomalaisessa kantohintajärjestelmässä. Kun tavoitteena oli joustava arvonmääritysmenetelmä, tukkipuukuutiometrin perushintaa merkittiin 100:lla ja kuitupuun hintaa tähän suhteutetulla luvulla. Tukkipuun osalta sovellettiin järeiden mukaista hintaporrastusta. Laadituista taulukoista näkyy puustokuutiometrin suhteellinen arvo kolmella erilaisella kuitupuun hinnalla, ja väliarvot saadaan suoraan interpolatiolla.

Metsikön ensi 5-vuotiskauden arvokasvun määrittämistä silmälläpitäen laadittiin puutavaralajien osuuskien ja rungon tukkiosan keskijäreiden muutoksille erilliset mallit. Niiden avulla voitiin laskea männiköiden ja kuusikoiden arvokasvuprosentit. Nämä on taulukoitu metsikön tilavuuskasvuprosentin ja keskiläpimitan funktiona erilaisille kuitupuun hintatasoille. Samoin on oma suppea taulukonsa kuvaamassa arvokasvuprosentin ja tilavuuskasvuprosentin suhdetta.

Arviointimenetelmien luotettavuutta sekä laadinta-aineistoissa että testiaineistoissa on kuvattu yksityiskohtaisesti lukuisain taulukoiden avulla. Niissä on yleensä esitetty jäännöshajonnat ja systemaattiset poikkeamat ryhmittämällä metsiköt keskiläpimitan mukaisesti.

Tukkipuu- ja hakkuutähdemallien antamat tulokset ovat harhattomia laadinta-aineistossa, mutta testiaineistoissa on tukkipuuprosentti tullut keskimäärin 1.5—2 % -yksikköä yliarvioituksi. Voimakkainta yliarviointi on ollut metsikön keskiläpimitan ollessa 20—25 cm. Hakkuutähdeprosentti taas on lievästi aliarvioitu. Keskihajonta ilman systemaattista poikkeamaa on eri tapauksissa 3—7 % -yksikköä. Tukkipuun keskijäreysmalleilla on saatu likipitään harhattomia tuloksia. Puustokuutiometrin arvomalleja koskevat testitulokset ovat paljolti samankaltaisia kuin edellä mainitut tukkipuuprosenttimallien tulokset. Lähemmässä tarkastelussa kävi ilmi se, että puustokuutiometrin rakenteen ja arvon määrittämistä voitaisiin tarkentaa ottamalla keskittunusten ohella huomioon hajontatunnuksia.

Metsikön arvokasvuprosentin arvioinnissa ei laadinta-aineiston perusteella esiinny mainittavaa harhaa. Sen sijaan testiaineiston kuusikoissa arvokasvuprosentti näyttäisi tulleen yliarvioituksi, pääosaksi tilavuusprosentin yliarvioinnin takia. Todellisuudessa kuitenkin kysymyksessä saattaa olla männikön kasvun aliarviointi, joten tulosten käytännöllinen sovellutus edellyttää tasoerojen lähempää selvitystä ja mahdollista oikaisua.

Määritettäessä arvokasvuprosentti ilman kasvun kairauksia ovat keskimääräiset variaatiokertoimet yleisiä puutavarain hintasuhteita sovellettaessa olleet männiköissä runsaat 30 ja kuusikoissa 20 %. Vaikka hajonnat ovat olleet näitä keskiarvoja pienempiä metsiköissä, joiden suhteellisen hakkuukypsyyden arviointi kiinnostaa eniten eli keskiläpimitan ollessa 25—30 cm, merkitsee metsikkökohtaisten erojen tarkempi selvittäminen lisämittauksia.

Tutkimuksen tulokset yhdistettynä erinäisiin aiempiin tutkimustuloksiin merkitsevät sitä, että tiettyjen metsässä verraten helposti

määritettävien tunnusten avulla saadaan arviot seuraavista metsikkötiedoista: runkotilavuus, puustokuutiometrin rakenne sekä tukkiosan keskijäreys ja hinta samoin kuin puustokuutiometrin arvo, tilavuuskasvu ja arvokasvu.

Esimerkkejä tutkimuksen tulosten soveltamismahdollisuuksista ovat seuraavat:

1. Kasvu- ja tuotostaulukoiden esittämän metsikön iänmukaisen kehityksen täydentäminen puuston arvoa ja arvokasvua koskevilla tunnuksilla.
2. Metsiköiden suhteellisen uudistamiskypsyyden määrittäminen.
3. Metsikön uudistamiskypsyyden arviointi yleensä.
4. Puuston puutavaralajirakenteen selvitys hakkuulaskelmia tai ehdotuksia tehtäessä.
5. Metsän ja metsiköiden arvon laskenta.

Huolimatta arviointimallien luotettavuuden melko laajasta analysoinnista niiden käytännöllinen tarkkuus kaipa lisäselvitystä. Systemaattisten virheiden välttämiseksi on tuloksia sovellettaessa harkittava erikseen niitä korjauksia, jotka ovat tarpeen esim. puiden vikaisuuden sekä tukkipuun toisenlaisen minimimitan tai järeiden virheiden hintaporrastuksen takia. Kasvun määrittästä voidaan tarvittaessa tarkentaa kairauksen avulla. Edistyvän tutkimustyön aikanaan tarjoamat paremmat menetelmät on syytä ottaa käyttöön nyt esitetyissä kehityksissä.

KIRJALLISUUTTA

- ERICSSON, B. 1903. Oppi- ja käsikirja metsätalouden järjestelyssä. I Metsänarvioiminen. Helsinki. 208 s.
- HARVE, P. 1940. Puutavaran kantohinnoista viisivuotiskautena 1934—1938. Metsätal. Aikakl. 57 (8): 67—73.
- HEISKANEN, V. & ASIKAINEN, K. 1969. Havusahattukien järeiden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. Summary: The value relationships and principles of coniferous sawlogs on the basis of their diameter. Commun. Inst. For. Fenn. 69(3). 122 s.
- ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvu- ja tuottotaulukot. Helsinki. 148 s.
- JENSEN, C. E. 1973. Matchacurve -3: Multiplecomponent and multidimensional mathematical models for natural resource studies. USDA Forest Research Paper INT-146. 42 s.
- Kasvu- ja tuottotaulukoita. Growth and yield tables. (Koonnut — Collected by P. Koivisto). Commun. Inst. For. Fenn. 51 (8). 49 s.
- KILKKI, P. 1979. Outline for a data processing system in forest mensuration. Seloste: Ehdotus metsänmittaustulosten laskentamenetelmäksi. Silva Fenn. 13(4): 368—384.
- & SIITONEN, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. 145. 33 s.
- KUUSELA, K. 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. Seloste: Kasvun ja poistuman ennuste suurelle metsäalueelle. Acta For. Fenn. 77(5). 79 s.
- LAASASENAHO, J. & SEVOLA, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavaralajisuhteet ja kantoarvot. Summary: Timber assortment relationships and stumpage values of Scots pine and Norway spruce. Commun. Inst. For. Fenn. 74(4). 87 s.
- LALLUKKA, H. 1970. Pystypuiden ja metsiköiden arvon määrittäminen. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 66 s. + liitteitä.
- LIHTONEN, V. 1942. Puuston hakkuuarvosta ja sen määrittämisestä. Referat: Über den Abtriebswert des Holzvorrates und seine Bestimmung. Acta For. Fenn. 50(10). 30 s.
- LOIKKANEN, A. 1982. Arvokasvumallien luotettavuus. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 56 + 10 s.
- Metsätalouden suunnittelukurssin työohjeita. 1980. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos.
- MIETOLA, T. 1978. Metsän puuston arvon määrittäminen. Tapion taskukirja, 18. painos, s. 285—297. Helsinki.
- NYSSÖNEN, A. 1954. Hakkausilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60(4). 194 s.
- 1958. Kiertoaika ja sen määrittäminen. Summary: Rotation and its determination. Commun. Inst. For. Fenn. 49(6). 87 s.
- 1965. Metsän arvioiminen. Tapion taskukirja, 15. painos, s. 173—206. Helsinki.
- 1974. Estimation of stand value-increment and inherent variables. Mitt. Forstl. Versants. 108: 14—20.
- & MIELIKÄINEN, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta For. Fenn. 163. 40 s.
- OJANSUU, R. 1980. Männiköiden ja kuusikoiden puutavaralajirakenne ja yksikkökuutiometrin arvomallit. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 50 s. + liitteitä.
- POSO, S. 1965. Metsiköiden uudistamisjärjestyksen määrittäminen v-arvon avulla. Summary: Fixing the reforestation order of stands by application of the v-value. Metsätal. Aikakl. 82(8): 263—264.
- Puun hintasuositukset, Maataloustuottajain Keskusliiton metsävaltuuskunnan ja Teollisuuden puuyhdistyksen yhteiset 1.7.1980—30.6.1981. Maan eteläpuolisko. 1980. 32 s.
- PÄIVINEN, R. 1981. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of stem diameter distribution and stand characteristics. Folia For. 442. 28 s.
- RISVAND, J. 1970. Middelpriberegning for partier av traer. Summary: Calculations of mean price for samples of trees. Medd. Norske skogsf. v. 27(100): 475—496.
- SEVOLA, Y. 1972. Metsikön yksikkökuutiometrin arvoyhälöt. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 18 s. + liite.
- TIIHONEN, P. 1974. Puutavaralajirakenteen likimääräisarvioinnissa käytettäviä menetelmiä. Referat: Methoden für die annähernde Schätzung der Holzsortenstruktur. Folia For. 192. 16 s.
- VIRKKI, H. 1976. Malli männiköiden puutavaralajikaumista. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 49 s.

SUMMARY

ASSESSMENT OF TIMBER ASSORTMENTS, VALUE AND VALUE INCREMENT OF TREE STANDS

The paper is the final report of a long-time project at the Department of Forest Mensuration and Management of the University of Helsinki on the estimation of value increment of Scots pine and Norway spruce stands. The construction of a system for the assessment of the stand value increment and inherent characteristics has been based on the common stand variables of stem volume and volume increment (cf. Nyssönen 1954; Nyssönen & Mielikäinen 1978). In this paper, the ascertainment of timber assortments and their changes are discussed first. Secondly, the value of the wood cubic metre and its increment are studied with the aim of the estimation of stand value and value increment. The system assumes the availability of a few easily estimated stand variables.

The study is based mainly on existing data, i.e. the stands simulated by Kilkki & Siitonen (1975) from the material of the 6th National Forest Inventory, permanent sample plots of the Forest Research Institute, and sample plots measured during the practical training courses arranged by the Department. Tables 1 and 2 and Figs. 1 to 4 (p. 8 to 10) describe the materials.

To determine the quantity of timber assortments, the structure of the average wood cubic metre as a function of the mean diameter and mean height was studied. Models were first made for the percentages of saw timber and waste. The percentage of pulp wood was then calculated as the difference.

The model for saw timber percentage was constructed using the match-a-curve technique, based on the visual inspection of the observation material (cf. Jensen 1973). The various phases of work are illustrated in Fig. 5 (p. 12). The mean diameter was the main independent variable. The models for waste percentage and mean volume of saw timber portion of stems were constructed using a technique which resembled stepwise regression analysis with trials and visual inspection. Tables 9 and 10 (p. 34) give the results.

The computation of the value of a wood cubic metre was based on the fact that both sawtimber and pulpwood have their own separate prices in the Finnish stumpage system. In order to develop a flexible procedure, the basic sawtimber stumpage was assigned 100 monetary units per cubic metre (mu/m³), and the pulpwood stumpage by a figure related to this. In addition, the sawtimber stumpage was dependent on the volume according to Fig. 6a (p. 15).

Fig. 6b indicates the average prices of the sawtimber portion in pine and spruce stands. The relative value of a wood cubic metre is shown by Fig. 7 (p. 15). Tables 11 and 12 (p. 35) give the relative values based on three different prices of pulpwood. A rectilinear interpolation was applied for other prices.

The stand value increment in the next-5-year period can be assessed if, in addition to the volume increment, the change in value of the wood cubic metre during this period is known. This again requires the knowledge of the changes in the structure of the wood cubic metre. For this reason, separate models were constructed for the changes of the percentages of timber assortments, and for the increment of the average volume of the sawtimber portion of a stem. The data came from the permanent sample plots. The models of sawtimber percentage change were made by the match-a-curve technique, and those of the mean volume of sawtimber portion and of waste percentage by visual inspection.

The procedure for the calculation of the value increment percentage of a stand is indicated by Fig. 8 (p. 17). Value increment percentages can be seen in Tables 13 and 14 (p. 36—37). In addition, Table 3 (p. 18) presents the relationship between the percentages of value increment and volume increment.

The reliability of the estimation procedures developed can be seen in detail from a number of tables. For instance, Table 15 (p. 38) indicates the standard deviation of the residuals and bias of sawtimber and waste percentage models in the stands of the basic material, grouped according to their mean diameter. The standard deviation (s_p) does not include the mean bias. If a (—) sign precedes the bias, the model has given an underestimation. In this case, however, there is practically no bias, the standard deviation of sawtimber percentage being 4 % units, on the average. In the test materials (Table 16, p. 39), the overestimation is on the average 1.5 % units in pine stands, and up to 5 % units in the stands of 20 to 25 cm mean diameter. The same trends appear in spruce stands.

A common trend of the waste percentage models is a slight underestimation in test materials (Table 17, p. 40), whereas there is no bias in the results given by the models for the mean volume of sawtimber (Table 18, p. 41).

The reliability of the wood cubic metre value models is given by Tables 19 to 21 (p. 42—44). Bias is very small in

the basic materials (Table 19), the standard deviation being less than 2 % units if the pulpwood stumpage is 50 mu/m³ (at present a rather common price). In the test materials (Tables 20 and 21), 1 to 2 % overestimation was found on average, which was higher in the stands with a mean diameter of 20 to 25 cm. The standard deviation in the test materials was, in general, less than 4 %.

A detailed study of the stem distribution series revealed that the larger their standard deviation is in the stands with mean diameter below 20 cm, the greater the underestimation of the sawtimber percentage and stand value. The larger the standard deviation is in the stands of 20 to 25 cm mean diameter, the greater is the overestimation. It seems possible, therefore, to improve the estimation of the sturcture and value of the wood cubic metre by using dispersion figures as independent variables in addition to the means.

The reliability of the value increment percentage models is demonstrated by Tables 22 to 29 (p. 45—52), and by the summary Table 7 (p. 23). With regard to the results based on the basic material, there is practically no bias, whereas in the spruce stands of the test material there seems to be overestimation of the value increment percentage. This is largely due to the overestimation of the volume increment. However, it is not certain whether P_v was overestimated. The matter needs further study to assess possible corrections.

The average coefficient of variation in the assessment of value increment percentage is 30 % in pine stands and 20 % in spruce stands. Although the results are better in the stands whose mean diameter is 25 to 30 cm, and which are often of the main interest in the application of the results, an accurate estimation of standwise differences requires additional work: e.g. analysis of stand development, increment borings, the study of climatic variation of tree growth, etc.

The results of the present study, combined with some previous papers (Nyyssönen 1954; Nyyssönen & Mielikäinen 1978), offer a new system for the determination of

stand value increment and inherent variables. based on a number of easily estimated stand variables, the following information can be derived for Scots pine and Norway spruce stands:

1. Volume of stems
2. Structure of the wood cubic metre
3. Mean volume of sawtimber portion of stems
4. Mean stumpage of sawtimber portion of stems
5. Value of wood cubic metre
6. Stumpage value
7. Volume increment
8. Value increment

The main features of the estimation procedure are indicated in Fig. 10 (p. 26). A detailed scrutiny of the results presented gives hints as to the corrections which may be needed in practice. The following examples are given with regard to the practical application of the results.

1. The general trends in stand development; for instance, Fig. 11 (p. 27) describes Scots pine stands with repeated thinnings on Vaccinum site type, stumpage of saw timber being 100 and that of pulpwood 50 mu/m³. The culmination of value increment occurs much later than that of volume.
2. The determination of the relative maturity of stands in order to give improved criteria for decision-making concerning the priority for regeneration: estimation of the stand value increment for this particular purpose has been the main aim of the present paper.
3. The determination of the maturity of stands in general: e.g. for the purposes of the application of the private forest law.
4. The estimation of the timber assortments, needed for a cutting budget, trees marked for felling etc.
5. The calculation of the value of forests. In addition to stumpage values, the results may also be applied to the determination of the so-called income values.

Taulukko 8. Tukkupuoprosenttimallien parametrien arvot.
Table 8. Parameter values of the models for sawtimber percentage.

Tunnus — Statistic	Männiköt — Pine stands	Kuusikot — Spruce stands
$D_k, ke(1,2,3)$	(lnD—2.303)/1.609	(lnD—2.485)/1.427
$H_k, ke(6,7)$	(lnH—2.079)/1.322	(lnH—2.303)/1.099
$H_k, ke(4,5)$	1—(H-8)/22	(H—10)/20
c_0	—4.685	—4.695
c_1	.9962	1.001
sig ₁ a ₁	.00	.00
b ₁	1.00	1.00
sig ₂ a ₂	— .15	— .18
b ₂	.15	— .18
n ₂	15.00	4.20
i ₂	.42	.60
sig ₃ a ₃	.00	.00
b ₃	.15	— .18
n ₃	5.20	9.00
i ₃	.77	.62
sig ₄ a ₄	2.40	3.30
b ₄	2.50	.30
n ₄	2.80	2.00
i ₄	.73	.82
sig ₅ a ₅	.4375-.00375H	.35
b ₅	— .46	— .10
n ₅	2.80	2.00
i ₅	.73	.70
sig ₆ a ₆	1.08	—2.101 + 1.209 lnH
b ₆	1.10	.10
n ₆	2.60	2.70
i ₆	.00	.90
c_2	—1.08	
sig ₇ a ₇		—2.101 + 1.209 lnH
b ₇		.10
n ₇		2.00
i ₇		.82

Taulukko 13. Männikön arvokasvuprosentti. Kuitupuun hinta: 1. rivi 20, 2. rivi 50, 3. rivi 80 ry/m³.
 Table 13. Value increment percentage in Scots pine stands. Stumpage of pulp wood: 1. row 20, 2. row 50, 3. row 80 mu/m³.

D CM H M	TILAVUUSKASVUPROSENTTI - VOLUME INCREMENT PERCENT (PV)														D CM H M
	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
11/10	.75 .62 .58	1.51 1.23 1.17	2.27 1.84 1.75	3.04 2.43 2.34	3.82 3.11 2.93	4.60 3.74 3.52	5.40 4.37 4.11	6.19 5.01 4.71	7.00 5.65 5.30	7.81 6.29 5.90	8.63 6.90 6.50	9.46 7.58 7.11	10.29 8.23 7.71	11.13 8.89 8.32	11/10
13/12	.93 .64 .55	1.87 1.28 1.10	2.83 1.92 1.65	3.80 2.57 2.31	4.78 3.22 2.96	5.79 3.88 3.52	6.80 4.55 4.18	7.84 5.21 4.84	8.88 5.89 5.01	9.95 6.57 5.77	11.03 7.25 6.14	12.13 7.94 7.01	13.24 8.63 7.28	14.37 9.33 7.85	13/12
15/13	1.12 .70 .54	2.26 1.40 1.09	3.43 2.12 1.64	4.62 2.89 2.19	5.84 3.57 2.75	7.09 4.32 3.31	8.37 5.07 3.87	9.68 5.83 4.43	11.02 6.61 5.00	12.39 7.39 5.57	13.79 8.19 6.15	15.22 8.99 6.73	16.69 9.81 7.31	18.19 10.64 7.89	15/13
17/15	1.07 .73 .56	2.16 1.48 1.13	3.29 2.24 1.71	4.44 2.91 2.01	5.61 3.79 2.87	6.82 4.59 3.46	8.05 5.40 4.06	9.32 6.23 4.66	10.61 7.07 5.27	11.94 8.30 6.51	13.30 9.67 7.13	14.69 10.66 7.67	16.12 11.49 8.11	17.58 11.49 8.41	17/15
19/16	.95 .74 .60	1.92 1.49 1.21	2.91 1.82	3.92 2.44	4.95 3.03	6.00 3.70	7.07 4.41	8.17 4.99	9.28 5.64	10.42 6.31	11.58 6.97	12.77 7.65	13.98 8.34	15.21 9.03	19/16
21/17	1.08 .62 .80	1.83 1.56 1.35	2.64 2.05	3.55 2.60	4.48 3.26	5.41 3.94	6.36 4.61	7.33 5.30	8.31 5.99	9.30 6.68	10.31 7.38	11.33 8.09	12.37 8.80	13.42 9.50	21/17
23/19	1.07 .97 .88	1.74 1.57 1.43	2.65 2.01	3.59 2.68	4.53 3.36	5.48 4.04	6.44 4.73	7.41 5.42	8.38 6.11	9.35 6.81	10.35 7.51	11.35 8.21	12.37 9.15	13.42 9.82	23/19
25/20	.90 .73 .79	1.52 1.25 1.33	2.28 1.53	3.05 2.07	3.83 2.57	4.60 3.34	5.38 4.01	6.16 4.68	6.95 5.35	7.74 6.03	8.53 6.70	9.32 7.38	10.15 8.06	11.00 8.06	25/20
27/21	.71 .68 .65	1.42 1.33 1.30	2.13 1.50	2.84 2.05	3.55 2.60	4.26 3.24	4.97 3.53	5.68 4.18	6.39 4.82	7.10 5.02	7.81 5.66	8.52 6.46	9.23 7.10	10.00 7.74	27/21
29/22	.66 .63	1.33 1.25	1.99 1.57	2.65 1.99	3.30 2.49	3.96 2.93	4.61 3.34	5.26 3.97	5.91 4.55	6.55 5.11	7.20 5.66	7.85 6.31	8.50 6.96	9.15 7.51	29/22
31/23	.64 .60	1.25 1.20	1.86 1.50	2.48 1.88	3.10 2.38	3.70 2.95	4.30 3.46	4.90 3.96	5.50 4.58	6.10 5.08	6.70 5.65	7.30 6.15	7.90 6.85	8.50 7.35	31/23
33/23	.59 .58 .58	1.18 1.08	1.76 1.51	2.34 1.91	2.91 2.28	3.48 2.59	4.05 3.24	4.61 3.94	5.17 4.50	5.73 5.04	6.29 5.68	6.85 6.15	7.41 6.70	7.97 7.28	33/23
35/24	.56 .56 .56	1.12 1.11 1.10	1.67 1.66	2.22 2.09	2.77 2.62	3.31 3.03	3.85 3.58	4.39 4.08	4.93 4.58	5.47 5.08	6.01 5.66	6.55 6.15	7.09 6.74	7.63 7.24	35/24
37/25	.54 .54 .54	1.07 1.07 1.06	1.60 1.59	2.14 2.01	2.66 2.54	3.18 3.14	3.70 3.66	4.23 4.17	4.76 4.70	5.29 5.23	5.82 5.76	6.35 6.29	6.88 6.82	7.41 7.35	37/25
39/25	.53 .53 .53	1.04 1.04 1.03	1.55 1.54	2.06 2.05	2.57 2.57	3.08 3.07	3.59 3.57	4.10 4.08	4.61 4.59	5.12 5.10	5.63 5.61	6.14 6.12	6.65 6.63	7.16 7.14	39/25

Taulukko 14. Kuusikon arvokasvuprosentti. Kuitupuun hinta: 1. rivi 20, 2. rivi 50, 3. rivi 80 ry/m³.
 Table 14. Value increment percentage in Norway spruce stands. Stumpage of pulp wood: 1. row 20, 2. row 50, 3. row 80 mu/m³.

D CM H M	TILAVUUSKASVUPROSENTTI - VOLUME INCREMENT PERCENT (PV)														D CM H M
	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
11/10	.54 .54 .58	1.19 1.17 1.17	1.79 1.75	2.39 1.84	3.00 2.93	3.60 3.52	4.21 4.11	4.82 4.70	5.43 5.30	6.04 5.90	6.66 6.50	7.28 7.10	7.90 7.70	8.52 8.30	11/10
13/11	.70 .58 .55	1.40 1.10	2.11 1.65	2.82 2.00	3.54 2.75	4.27 3.30	5.00 3.86	5.73 4.42	6.48 4.97	7.22 5.53	7.98 6.09	8.73 6.65	9.50 7.21	10.27 7.78	13/11
15/13	1.18 .70 .56	2.38 1.28 1.12	3.61 2.32 1.68	4.87 2.85 2.24	6.15 3.58 2.81	7.46 4.31 3.38	8.80 5.06 3.95	10.16 5.82 4.52	11.55 6.58 5.10	12.97 7.35 5.68	14.42 8.13 6.84	15.90 9.62 8.02	17.41 10.52 8.02	18.95 10.52 8.02	15/13
17/14	1.24 .90 .58	2.41 1.40 1.16	3.97 2.25 1.74	5.37 3.33	6.80 2.93	8.27 3.53	9.78 4.13	11.33 4.74	12.91 5.35	14.55 6.00	16.22 6.60	17.94 7.23	19.70 7.86	21.51 8.50	17/14
19/16	1.03 .90 .58	2.09 1.20 1.17	3.17 1.75 1.77	4.27 2.37	5.39 3.07	6.54 3.58	7.72 4.19	8.92 5.44	10.14 6.07	11.39 7.35	12.67 8.14	13.97 9.18	15.30 10.02	16.66 11.02	19/16
21/17	1.10 .76	1.93 1.32	2.78 1.88	3.63 2.45	4.54 3.05	5.49 3.67	6.46 4.30	7.44 4.94	8.44 5.58	9.44 6.22	10.48 6.87	11.53 7.52	12.58 8.18	13.63 8.80	21/17
23/19	1.24 .97	1.95 1.55	2.69 1.88	3.43 2.64	4.18 3.26	4.93 3.76	5.73 4.36	6.58 4.99	7.45 5.63	8.33 6.27	9.20 6.92	10.09 7.56	10.99 8.10	11.88 8.66	23/19
25/20	1.24 1.11 1.05	1.89 1.74 1.59	2.55 2.14	3.21 2.68	3.87 3.23	4.54 3.78	5.21 4.33	5.97 4.96	6.74 5.58	7.51 6.20	8.28 6.83	9.05 7.45	9.82 8.10	10.60 8.66	25/20
27/21	1.14 1.01	1.74 1.64	2.35 2.08	2.95 2.62	3.56 3.09	4.18 3.59	4.81 4.24	5.49 4.85	6.18 5.45	6.87 6.05	7.56 6.65	8.25 7.24	8.94 7.84	9.63 8.41	27/21
29/22	1.00 .99 .98	1.57 1.50 1.45	2.14 1.97	2.71 2.50	3.28 3.05	3.85 3.55	4.47 4.12	5.10 4.70	5.73 5.27	6.36 5.84	6.99 6.44	7.62 7.00	8.25 7.52	8.88 8.14	29/22
31/23	.86 .84 .81	1.41 1.37 1.33	1.95 1.90 1.85	2.50 2.45	3.04 2.95	3.61 3.42	4.20 3.98	4.79 4.54	5.37 5.06	5.95 5.63	6.54 6.22	7.13 6.81	7.72 7.40	8.31 8.00	31/23
33/24	.75 .73 .72	1.28 1.25 1.23	1.80 1.74	2.33 2.28	2.87 2.82	3.43 3.37	3.98 3.93	4.54 4.46	5.09 5.00	5.64 5.54	6.19 6.09	6.74 6.64	7.29 7.19	7.84 7.74	33/24
35/24	.66 .65 .64	1.18 1.16 1.15	1.69 1.67 1.66	2.21 2.17	2.75 2.69	3.28 3.21	3.82 3.74	4.35 4.25	4.88 4.78	5.41 5.31	5.94 5.84	6.47 6.37	7.00 6.90	7.53 7.43	35/24
37/25	.59 .59 .59	1.11 1.10 1.09	1.62 1.61 1.60	2.13 2.10	2.65 2.62	3.17 3.15	3.69 3.64	4.20 4.15	4.72 4.67	5.24 5.19	5.76 5.71	6.28 6.23	6.80 6.75	7.32 7.27	37/25
39/26	.55 .55 .55	1.06 1.05 1.05	1.56 1.56 1.55	2.08 2.06	2.59 2.57	3.09 3.07	3.60 3.58	4.11 4.08	4.62 4.59	5.13 5.10	5.64 5.61	6.15 6.12	6.66 6.63	7.17 7.14	39/26

Taulukko 15. Tukkivuon- ja hakkuutähdeprosenttimallien luotettavuus laadinta-aineistossa.
Table 15. Reliability of sawtimber and waste percentage models, basic material.

D cm	Männiköt – Pine stands				Kuusikot – Spruce stands			
	\bar{y}	b	s_r		\bar{y}	b	s_r	
	n	% yksikköä – % units			n	% yksikköä – % units		
Tukkivuonprosentti — Saw timber percent								
5–9								
10–14	51	7.7	–0.89	4.53	13	4.7	–2.20	4.80
15–19	92	40.5	0.21	5.58	95	23.3	–0.02	6.75
20–24	161	72.7	–0.19	3.52	152	62.5	–0.16	3.89
25–29	95	85.9	0.06	1.84	123	80.0	0.07	2.06
30–34	36	92.9	–0.28	0.83	43	87.7	–0.02	0.93
35–39	10	95.8	0.02	0.37	5	92.1	–0.09	0.37
40–44	1	97.0	–0.01		2	94.7	–0.18	0.43
Yht.								
Total	445	63.5	–0.14	3.89	433	61.0	–0.11	4.29
Hakkuutähdeprosentti — Waste percent								
5–9	33	42.38	0.27	3.90	36	53.46	–1.28	3.71
10–14	51	8.63	–0.47	2.33	35	10.33	0.16	2.11
15–19	92	2.48	–0.01	0.55	95	2.81	0.00	0.33
20–24	161	1.14	0.02	0.19	152	1.43	0.01	0.17
25–29	95	0.68	–0.01	0.07	123	0.89	0.00	0.07
30–34	36	0.43	0.00	0.03	43	0.53	0.00	0.03
35–39	9	0.31	0.00	0.02	5	0.38	0.01	0.02
40–44	1	0.23	0.02		2	0.26	0.02	0.02
Yht.								
Total	478	4.88	–0.03	1.35	491	5.90	–0.08	1.17

Taulukko 16. Tukkivuonprosenttimallin luotettavuus testiaineistoissa.
Table 16. Reliability of sawtimber percentage models, test materials.

D cm	Männiköt – Pine stands				Kuusikot – Spruce stands			
	\bar{y}	b	s_r		\bar{y}	b	s_r	
	n	% yksikköä – % units			n	% yksikköä – % units		
Kestokoealat — Permanent sample plots								
5–9	35	0.2	–0.17	0.59	8	0	0	0
10–14	117	6.9	0.30	3.07	70	2.2	–0.39	2.07
15–19	163	37.0	1.04	3.45	126	27.7	–0.99	3.69
20–24	125	70.3	2.85	2.50	77	63.5	1.21	2.65
25–29	71	87.0	0.86	1.75	28	82.5	0.93	2.18
30–34	42	93.3	–0.17	0.99	7	88.8	–0.08	0.82
35–39	10	95.8	–0.27	1.32				
Yht.								
Total	563	47.4	1.36	3.08	316	36.2	–0.10	3.05
Kertakoealat — Temporary sample plots								
5–9	3	2.9	–2.93	4.15				
10–14	11	9.7	–3.22	5.55	6	7.4	–6.88	5.21
15–19	13	38.8	0.47	4.10	14	39.3	–8.90	7.90
20–24	9	71.1	5.13	3.94	47	61.8	5.84	3.34
25–29	31	82.3	3.11	2.53	33	76.7	3.84	3.25
30–34	3	91.2	1.88	0.82	4	87.3	2.53	2.66
Yht.								
Total	70	58.3	1.57	4.58	104	61.4	2.36	6.84

Taulukko 17. Hakkuutähdeprosenttimallin luotettavuus testiaineistoissa.

Table 17. Reliability of waste percentage models, test materials.

D cm	Männiköt – Pine stands				Kuusikot – Spruce stands			
	\bar{y}	b	s_r		\bar{y}	b	s_r	
	n	% yksikköä – % units			n	% yksikköä – % units		
Kestokoealat — Permanent sample plots								
5–9	35	35.73	0.31	5.02	8	48.21	–5.54	2.19
10–14	117	11.03	–1.90	2.03	70	10.03	–1.09	1.22
15–19	163	3.68	–0.81	0.86	126	3.30	–0.31	0.47
20–24	125	1.43	–0.24	0.32	77	1.48	–0.10	0.20
25–29	71	0.67	–0.04	0.08	28	0.82	–0.07	0.13
30–34	42	0.42	0.00	0.04	7	0.55	–0.01	0.03
35–39	10	0.36	–0.04	0.18				
Yht.								
Total	563	5.98	–0.67	1.78	316	5.53	–0.53	1.16
Kertakoealat — Temporary sample plots								
5–9	3	33.3	–8.45	7.96				
10–14	11	12.3	–2.85	2.05	6	11.85	–3.53	1.00
15–19	13	3.6	–1.12	0.81	14	4.30	–1.54	0.81
20–24	9	1.5	–0.48	0.39	47	2.58	–1.31	0.97
25–29	31	1.2	–0.53	0.53	33	1.38	–0.57	0.52
30–34	3	0.7	–0.26	0.07	4	0.71	–0.35	0.32
Yht.								
Total	70	4.8	–1.33	2.57	104	2.89	–1.19	1.08

Taulukko 18. Tukkiosan keskijäreymällin luotettavuus testiaineistoissa.

Table 18. Reliability of models for mean volume of saw timber, test materials.

D cm	Männiköt – Pine stands				Kuusikot – Spruce stands			
	\bar{y}	b	s_r		\bar{y}	b	s_r	
	n	m ³			n	m ³		
Kestokoealat — Permanent sample plots								
5–9	6	0.109	0.002	0.010				
10–14	108	0.140	–0.013	0.018	48	0.144	–0.045	0.064
15–19	163	0.192	–0.008	0.021	126	0.184	0.002	0.020
20–24	125	0.307	0.015	0.020	77	0.286	0.014	0.018
25–29	71	0.543	0.003	0.036	28	0.508	0.007	0.029
30–34	42	0.828	–0.004	0.060	7	0.698	–0.026	0.023
35–39	10	1.131	–0.035	0.062				
Yht.								
Total	526	0.324	0.019	0.034	286	0.249	–0.003	0.038
Kertakoealat — Temporary sample plots								
5–9	3	0.080	–0.080	0.112				
10–14	11	0.117	–0.015	0.052	6	0.137	–0.073	0.078
15–19	13	0.200	–0.026	0.033	14	0.241	–0.054	0.043
20–24	9	0.345	–0.017	0.047	47	0.334	–0.030	0.032
25–29	31	0.463	–0.008	0.026	33	0.452	–0.009	0.025
30–34	3	0.776	0.030	0.011	4	0.794	0.041	0.069
Yht.								
Total	70	0.342	–0.015	0.045	104	0.365	–0.028	0.044

Taulukko 19. Puustokuutiometrin arvomallien luotettavuus puutavaralajimallien laadinta-aineistossa.
Table 19. Reliability of the wood cubic metre value models, basic material for timber assortment models.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
		ry/m ³ — mu/m ³								
Männiköt — Pine stands										
—4	10	0.0	0.02	0.08	0.1	0.05	0.19	0.1	0.08	0.31
5—9	45	9.3	—0.39	1.10	23.0	—0.77	2.41	36.7	—1.15	3.92
10—14	51	23.0	—0.36	2.66	48.1	0.05	1.63	73.2	0.45	2.04
15—19	92	47.1	0.14	3.60	64.2	0.08	1.90	81.3	0.02	0.52
20—24	161	75.9	—0.14	2.67	83.8	—0.09	1.66	91.6	—0.04	0.65
25—29	95	95.4	0.06	1.60	99.4	0.03	1.07	103.4	0.02	0.52
30—34	36	108.9	—0.26	0.80	110.9	—0.18	0.56	112.9	—0.09	0.31
35—39	9	115.1	0.03	0.37	116.3	0.02	0.26	117.5	0.01	0.16
40—44	1	116.8	—0.01		117.8	—0.01		118.6	—0.02	
Yht.										
Total	500	64.6	—0.10	2.54	75.0	—0.08	1.66	85.4	—0.07	1.48
Kuusikot — Spruce stands										
—4	6	0.1	—0.07	0.18	0.2	—0.18	0.45	0.3	—0.30	0.72
5—9	39	8.7	0.14	0.82	21.7	0.36	2.07	34.7	0.57	3.31
10—14	35	19.0	—0.43	2.07	45.3	—0.13	1.86	71.6	0.16	2.44
15—19	95	36.6	—0.03	4.89	60.6	—0.02	2.82	81.5	—0.01	0.81
20—24	152	68.5	—0.14	3.02	79.3	—0.10	1.89	90.1	—0.05	0.76
25—29	123	86.6	0.06	1.72	92.4	0.04	1.20	98.2	0.02	0.52
30—34	43	96.6	—0.01	0.81	100.1	—0.01	0.54	103.7	0.00	0.27
35—39	5	102.1	—0.09	0.34	104.4	—0.06	0.23	106.7	—0.03	0.12
40—44	2	105.2	—0.16	0.39	106.7	—0.12	0.26	108.2	—0.07	0.13
Yht.										
Total	500	61.4	—0.06	3.00	73.3	—0.01	1.94	85.2	0.04	1.33

Taulukko 20. Männikön puustokuutiometrin arvomallien luotettavuus testiaineistoissa.
Table 20. Reliability of the wood cubic metre value models in pine stands, test materials.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Kestokoealat — Permanent sample plots										
5—9	35	13.0	—0.16	0.98	32.2	—0.21	2.48	51.4	—0.25	4.02
10—14	117	22.3	0.44	1.89	46.9	0.92	1.13	71.5	1.40	1.57
15—19	163	44.9	0.63	2.60	62.7	0.56	1.50	80.5	0.49	0.84
20—24	125	74.9	3.14	1.87	83.4	2.35	1.45	91.9	1.56	1.29
25—29	71	98.9	1.03	2.24	102.6	0.78	1.81	106.3	0.54	1.42
30—34	42	110.8	—0.38	1.82	112.7	—0.33	1.57	114.4	—0.28	1.31
35—39	10	115.2	—0.29	1.81	116.4	—0.20	1.47	117.5	—0.10	1.13
Yht.										
Total	563	57.9	1.02	2.55	71.8	0.92	1.83	85.9	0.80	1.71
Kertakoealat — Temporary sample plots										
5—9	3	15.48	—0.44	4.41	34.62	2.97	5.53	53.76	6.39	6.80
10—14	11	23.82	—1.68	3.82	47.25	0.14	2.54	70.67	1.96	1.82
15—19	13	46.36	—0.47	3.34	63.63	—0.27	2.20	80.70	—0.08	1.47
20—24	9	77.52	3.34	2.86	85.72	1.94	2.22	93.92	0.55	2.04
25—29	31	91.92	2.50	2.70	96.87	1.72	2.05	101.81	0.95	1.45
30—34	3	107.97	2.19	0.84	110.40	1.71	0.63	112.83	1.22	0.43
Yht.										
Total	70	68.32	1.26	3.58	79.38	1.18	2.58	90.43	1.11	2.45

Taulukko 21. Kuusikon puustokuutiometrien arvomallien luotettavuus testiaineistoissa.
Table 21. Reliability of the wood cubic metre value models in spruce stands, test materials.

Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³										
D cm	n	20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Kestokoealat — Permanent sample plots										
5—9	8	10.2	1.11	0.44	25.4	2.77	1.10	40.6	4.43	1.75
10—14	70	19.6	-0.08	1.46	45.9	0.36	0.92	72.2	0.81	0.93
15—19	126	39.9	-0.69	2.80	60.6	-0.30	1.68	81.3	0.09	0.68
20—24	77	69.4	1.40	1.98	79.9	1.06	1.26	90.4	0.73	0.65
25—29	28	89.8	0.91	1.87	94.8	0.65	1.29	99.8	0.40	0.75
30—34	7	98.0	-0.45	0.78	101.2	-0.42	0.55	104.3	-0.39	0.35
Yht.										
Total	316	47.5	-0.15	2.37	64.9	-0.34	1.53	82.4	-0.53	1.06
Kertakoealat — Temporary sample plots										
5—9										
10—14	6	23.06	-4.32	3.74	47.27	-1.20	2.04	71.49	1.92	0.73
15—19	14	49.18	-7.22	6.11	66.10	-4.08	3.70	83.01	-0.95	1.61
20—24	47	68.99	4.17	2.81	79.67	2.81	1.91	90.35	1.46	1.13
25—29	33	83.93	3.14	2.77	90.51	2.15	1.94	97.08	1.73	1.13
30—34	4	97.01	2.23	2.74	100.60	1.54	1.96	104.20	0.85	1.18
Yht.										
Total	104	69.49	1.74	5.32	80.22	1.40	3.26	90.94	1.05	1.44

Taulukko 22. Arvokasvuprosenttimallien luotettavuus männikoissä.
Selittävät muuttujat M, L, D, H, G ja T.
Table 22. Reliability of the value increment percentage models, Scots pine stands.
Independent variables M, L, D, H, G and T.

Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³										
D cm	n	20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	18	10.36	0.06	1.39	10.06	0	1.29	9.98	-0.01	1.28
10—14	32	9.28	0.33	2.22	7.27	0.20	1.49	6.59	0.15	1.27
15—19	40	8.14	-0.96	1.63	6.07	-0.70	1.19	4.88	-0.56	0.96
20—24	15	5.02	0.07	0.84	4.43	0.09	0.75	3.94	0.10	0.68
25—29	4	2.86	0.20	0.75	2.76	0.20	0.72	2.68	0.20	0.69
30—34	4	2.78	-0.11	0.30	2.72	-0.10	0.30	2.67	-0.09	0.28
Yht.										
Total	113	8.02	-0.23	1.77	6.59	-0.17	1.27	5.90	-0.14	1.11
Testiaineisto — Test material										
5—9	3	8.67	3.35	2.60	8.75	2.46	2.31	8.77	2.23	2.23
10—14	11	7.94	0.26	2.65	6.51	-0.30	1.88	6.00	-0.49	1.67
15—19	13	6.78	-0.48	1.82	5.11	-0.47	1.09	4.17	-0.48	0.76
20—24	9	4.14	-0.05	1.15	3.66	0.03	1.05	3.27	0.09	0.95
25—29	31	2.94	-0.35	0.75	2.76	-0.29	0.73	2.60	0.24	0.72
30—34	3	2.12	-0.34	0.15	2.06	-0.31	0.13	1.99	0.28	0.13
Yht.										
Total	70	4.81	-0.08	1.74	4.13	0.17	1.31	3.75	0.17	1.18

Taulukko 23. Arvokasvuprosenttimallien luotettavuus kuusikoissa.

Selittävät muuttujat M, L, D, H, G ja T.

Table 23. Reliability of the value increment percentage models, Norway spruce stands.
Independent variables M, L, D, H, G and T.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	3	21.92	—3.76	1.42	21.92	—3.78	1.43	21.92	—3.78	1.43
10—14	13	10.12	0.04	2.30	8.14	—0.01	1.82	7.51	—0.06	1.72
15—19	31	8.75	0.27	1.70	6.13	0.24	1.05	4.78	0.19	0.79
20—24	15	5.59	0.40	1.51	4.79	0.40	1.31	4.16	0.39	1.14
25—29	6	3.59	1.15	0.98	3.34	1.11	0.88	3.11	1.07	0.80
30—34										
Yht.										
Total	68	8.44	0.16	1.95	6.67	0.13	1.57	5.76	0.09	1.44
Testiaineisto — Test material										
5—9	3	6.38	0.10	2.75	4.62	0.43	1.18	4.01	0.63	0.72
10—14	6	5.52	1.64	1.03	4.40	0.65	0.88	3.74	0.21	0.90
15—19	14	3.96	0.73	0.99	3.52	0.59	0.87	3.19	0.47	0.81
20—24	47	2.86	0.51	0.70	2.67	0.51	0.65	2.50	0.50	0.61
25—29	33	2.10	0.67	0.48	2.04	0.69	0.47	1.99	0.71	0.46
30—34	4									
Yht.										
Total	104	3.89	0.74	1.16	3.38	0.57	0.83	3.05	0.46	0.76

Taulukko 24. Arvokasvuprosenttimallien luotettavuus männikoissä. Selittävät muuttujat M, L, D, H, V, ja T.

Table 24. Reliability of the value increment percentage models, Scots pine stands.
Independent variables M, L, D, H, V and T.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	18	10.26	0.07	1.38	10.06	0.01	1.28	9.98	—0.01	9.28
10—14	32	9.28	0.36	2.20	7.27	0.23	1.48	6.59	0.18	1.25
15—19	40	8.14	—0.96	1.69	6.07	—0.70	1.20	4.88	—0.56	0.97
20—24	15	5.02	0.01	0.83	4.43	0.04	0.74	3.94	0.06	0.68
25—29	4	2.86	0.14	0.73	2.76	0.14	0.70	2.68	0.14	0.67
30—34	4	2.78	—0.16	0.30	2.72	—0.16	0.29	2.67	—0.15	0.28
Yht.										
Total	113	8.08	—0.23	1.80	6.59	—0.18	1.28	5.90	—0.14	1.11
Testiaineisto — Test material										
5—9	3	8.67	3.38	2.65	8.75	2.49	2.35	8.77	2.26	1.03
10—14	11	7.94	0.40	2.71	6.51	—0.21	1.92	6.00	—0.41	1.51
15—19	13	6.78	—0.28	1.92	5.11	—0.31	1.19	4.17	—0.35	0.73
20—29	9	4.14	0.01	1.20	3.66	0.09	1.10	3.27	0.14	0.69
25—29	31	2.94	0.32	0.75	2.76	—0.26	0.73	2.60	—0.21	0.56
30—34	3	2.12	0.29	0.24	2.06	—0.26	0.23	1.99	—0.23	0.17
Yht.										
Total	70	4.81	0	1.78	4.13	—0.10	1.33	3.75	—0.12	1.13

Taulukko 25. Arvokasvuprosenttimallien luotettavuus kuusikoissa. Selittävät muuttujat M, L, D, H, V ja T.
Table 25. Reliability of the value increment percentage models, Norway spruce stands.
Independent variables M, L, D, V and T.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	3	21.92	—3.53	1.52	21.92	—3.55	1.53	21.92	—3.55	1.53
10—14	13	10.12	0.70	2.32	8.14	0.04	1.82	7.51	—0.01	1.72
15—19	31	8.75	0.23	1.70	6.13	0.20	1.04	4.78	0.16	0.77
20—24	15	5.59	0.36	1.52	4.79	0.36	1.32	4.16	0.36	1.15
25—29	6	3.59	1.15	0.96	3.34	1.10	0.87	3.11	1.07	0.79
30—34										
Yht.										
Total	68	8.44	0.15	1.93	6.62	0.12	1.54	5.76	0.09	1.41
Testiaineisto — Test material										
5—9	3	6.38	0.19	2.76	4.62	0.51	1.17	4.01	0.90	0.50
10—14	6	5.52	1.73	1.03	4.40	0.72	0.90	3.74	0.18	0.81
15—19	14	3.96	0.91	1.00	3.52	0.75	0.88	3.19	0.34	0.69
20—24	47	2.86	0.61	0.67	2.67	0.65	0.63	2.50	0.40	0.50
25—29	3	2.10	0.91	0.36	2.04	0.93	0.34	1.99	0.86	0.34
30—34	4									
Yht.										
Total	104	3.89	0.90	1.15	3.38	0.71	0.82	3.05	0.39	0.65

Taulukko 26. Arvokasvuprosenttimallien luotettavuus männikössä. Selittävät muuttujat L, D, H, V ja P_v.
Table 26. Reliability of the value increment percentage models, Scots pine stands.
Independent variables L, D, H, V and P_v.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	18	10.36	0.77	1.92	10.05	0.72	1.84	9.97	0.70	1.83
10—14	32	9.28	0.17	1.20	7.27	0.08	0.40	6.59	0.03	0.19
15—19	40	8.14	—0.04	0.81	6.07	0.05	0.31	4.88	0.06	0.14
20—24	15	5.02	—0.09	0.23	4.43	—0.05	0.13	3.94	—0.03	0.10
25—29	4	2.86	—0.08	0.07	2.76	—0.07	0.06	2.68	—0.06	0.06
30—34	4	2.78	—0.02	0.03	2.72	—0.01	0.02	2.67	—0.00	0.02
Yht.										
Total	113	8.02	0.15	1.15	6.59	0.14	0.83	5.90	0.14	0.78
Testiaineisto — Test material										
5—9	3	8.67	—1.22	2.40	8.75	—1.84	2.26	8.77	—2.00	2.22
10—14	11	7.94	0.33	0.95	6.51	—0.18	0.44	6.00	—0.33	0.46
15—19	13	6.78	0.33	1.07	5.11	0.20	0.34	4.17	0.06	0.11
20—24	9	4.14	0.04	0.17	3.66	0.13	0.19	3.27	0.19	0.20
25—29	31	2.94	0.01	0.15	2.76	0.04	0.13	2.60	0.08	0.13
30—34	3	2.12	0.07	0.04	2.06	0.04	0.03	1.99	0.01	0.03
Yht.										
Total	70	4.81	0.06	0.85	4.13	0.04	0.67	3.75	0.07	0.67

Taulukko 27. Arvokasvuprosenttimallinen luotettavuus kuusikoissa. Selittävät muuttujat L, D, H, V ja Pv.
 Table 27. Reliability of the value increment percentage models, Norway spruce stands.
 Independent variables L, D, H, V and Pv.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s_r	\bar{y}	b	s_r	\bar{y}	b	s_r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	3	21.92	—0.38	0.11	2.92	—0.40	0.12	21.92	—0.41	0.12
10—14	13	10.12	—0.07	1.17	8.13	0.00	0.42	7.51	—0.03	0.16
15—19	31	8.75	—0.02	1.15	6.13	0.02	0.37	4.78	0.02	0.08
20—24	15	5.59	—0.08	0.27	4.79	—0.02	0.16	4.16	0.02	0.09
25—29	6	3.59	—0.01	0.22	3.34	0.01	0.18	3.11	0.04	0.16
30—34										
Yht.										
Total	68	8.44	—0.06	0.95	6.67	—0.01	0.34	5.78	—0.01	0.14
Testiaineisto — Test material										
5—9										
10—14	6	6.38	—1.31	1.75	4.62	—0.60	0.51	4.01	—0.29	0.16
15—19	14	5.52	1.37	1.37	4.40	0.45	0.46	3.74	0.05	0.10
20—24	47	3.96	0.41	0.35	3.52	0.32	0.20	3.19	0.23	0.15
25—29	33	2.86	0.18	0.17	2.67	0.20	0.13	2.50	0.21	0.11
30—34	4	2.10	0.01	0.12	2.04	0.04	0.10	1.99	0.06	0.08
Yht.										
Total	104	3.89	0.36	0.90	3.38	0.24	0.34	3.05	0.16	0.19

Taulukko 28. Arvokasvuprosenttimallien luotettavuus männiköissä. Selittävät muuttujat L, D, V, S% Sv, W% ja Pv.
 Table 28. Reliability of the value increment percentage models, Scots pine stands.
 Independent variables L, D, V, S%, Sv, W% and Pv.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s_r	\bar{y}	b	s_r	\bar{y}	b	s_r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	18	10.36	0.11	0.67	10.05	0.06	0.45	9.98	0.04	0.43
10—14	32	9.28	0.31	1.14	7.27	0.11	0.37	6.59	0.06	0.15
15—19	40	8.14	0.04	0.72	6.04	0.03	0.31	4.88	0.03	0.13
20—24	15	5.02	0.00	0.32	4.43	0.01	0.22	3.94	0.02	0.15
25—29	4	2.85	—0.10	0.10	2.76	—0.09	0.09	2.68	0.08	0.09
30—34	4	2.78	—0.12	0.04	2.72	—0.11	0.03	2.67	0.10	0.03
Yht.										
Total	113	8.02	0.11	0.81	6.59	0.05	0.34	5.90	0.03	0.22
Testiaineisto — Test material										
5—9	3	8.67	—0.76	1.82	8.75	—1.38	1.77	8.77	—1.55	1.75
10—14	11	7.94	0.37	0.86	6.51	—0.07	0.40	6.00	—0.25	0.39
15—19	13	6.78	0.44	0.94	5.11	0.25	0.40	4.17	0.12	0.15
20—24	9	4.14	0.01	0.12	3.66	0.07	0.12	3.27	0.12	0.14
25—29	31	2.94	0.02	0.16	2.76	0.03	0.14	2.60	0.07	0.15
30—34	3	2.12	0.05	0.03	2.06	0.03	0.02	1.99	0.00	0.01
Yht.										
Total	70	4.81	0.10	0.72	4.13	0.00	0.54	3.75	0.04	0.54

Taulukko 29. Arvokasvuprosenttimallinen luotettavuus kuusikoissa. Selittävät muuttujat L, D, V, S%, Sv, W% ja Pv.
Table 29. Reliability of the value increment percentage models, Norway spruce stands.
Independent variables L, D, V, S%, Sv, W% and Pv.

D cm	n	Kuitupuun hinta ry/m ³ — Stumpage of pulp wood mu/m ³								
		20			50			80		
		\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r	\bar{y}	b	s _r
Laadinta-aineisto — Basic material										
5—9	3	21.92	0.21	0.46	21.92	0.19	0.48	21.92	0.19	0.48
10—14	13	10.12	0.02	1.20	8.13	0.01	0.40	7.51	-0.01	0.13
15—19	31	8.75	-0.01	0.94	6.13	0.00	0.39	4.78	0.00	0.09
20—24	15	5.59	-0.03	0.26	4.79	0.01	0.16	4.16	0.04	0.08
25—29	6	3.58	-0.02	0.18	3.34	0.01	0.14	3.11	0.03	0.12
30—34										
Yht.										
Total	68	8.44	-0.01	0.84	6.67	0.00	0.34	5.78	0.01	0.15
Testiaineisto — Test material										
5—9										
10—14	6	6.38	-1.49	1.58	4.62	-0.55	0.53	4.01	-0.24	0.14
15—19	14	5.52	1.11	1.05	4.40	0.55	0.52	3.74	0.16	0.17
20—24	47	3.96	0.36	0.39	3.52	0.25	0.21	3.19	0.15	0.12
25—29	33	2.86	0.16	0.18	2.67	0.17	0.14	2.50	0.17	0.12
30—34	4	2.10	0.00	0.08	2.04	0.02	0.12	1.99	0.05	0.04
Yht.										
Total	104	3.89	0.28	0.81	3.38	0.21	0.36	3.05	0.13	0.16

OCOD 525.1 + 564 + 652.3 + 653

ISBN 951-651-054-X
 NYSSÖNEN, A. & OJANSUU, R. 1982. Metsikön puutavara-lajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta For. Fenn. 179:1-52.

The paper is the final report of a study on the estimation of value increment and inherent variables of Scots pine and Norway spruce stands. The construction of various estimation models and their reliability are discussed. The study, together with some previous papers, has resulted in a system which on the basis of a number of easily assessed stand variables gives for the stands concerned the volume of stems, percentages of timber assortments, stumpage value, volume increment and value increment.

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

OCOD 525.1 + 564 + 652.3 + 653

ISBN 951-651-054-X
 NYSSÖNEN, A. & OJANSUU, R. 1982. Metsikön puutavara-lajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta For. Fenn. 179:1-52.

The paper is the final report of a study on the estimation of value increment and inherent variables of Scots pine and Norway spruce stands. The construction of various estimation models and their reliability are discussed. The study, together with some previous papers, has resulted in a system which on the basis of a number of easily assessed stand variables gives for the stands concerned the volume of stems, percentages of timber assortments, stumpage value, volume increment and value increment.

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

OCOD 525.1 + 564 + 652.3 + 653

ISBN 951-651-054-X
 NYSSÖNEN, A. & OJANSUU, R. 1982. Metsikön puutavara-lajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta For. Fenn. 179:1-52.

The paper is the final report of a study on the estimation of value increment and inherent variables of Scots pine and Norway spruce stands. The construction of various estimation models and their reliability are discussed. The study, together with some previous papers, has resulted in a system which on the basis of a number of easily assessed stand variables gives for the stands concerned the volume of stems, percentages of timber assortments, stumpage value, volume increment and value increment.

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

OCOD 525.1 + 564 + 652.3 + 653

ISBN 951-651-054-X
 NYSSÖNEN, A. & OJANSUU, R. 1982. Metsikön puutavara-lajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta For. Fenn. 179:1-52.

The paper is the final report of a study on the estimation of value increment and inherent variables of Scots pine and Norway spruce stands. The construction of various estimation models and their reliability are discussed. The study, together with some previous papers, has resulted in a system which on the basis of a number of easily assessed stand variables gives for the stands concerned the volume of stems, percentages of timber assortments, stumpage value, volume increment and value increment.

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

ACTA FORESTALIA FENNICA

- 168 Wuolijoki, E. 1981. Effects of simulated tractor vibration on the psychophysiological and mechanical functions of the driver: Comparison of some excitatory frequencies. Seloste: Traktorin simuloitujen värähtelövaikutusten kuljettajan psykofysiologisiin ja mekaanisiin toimintoihin: Eräiden herätetaajuuksien vertailu.
- 169 Chung, M.-S. 1981. Flowering characteristics of *Pinus sylvestris* L. with special emphasis on the reproductive adaptation to local temperature factor. Seloste: Männyn (*Pinus sylvestris* L.) kukkimisominaisuuksista, erityisesti kukkimisen sopeutumisesta paikalliseen lämpöilmastoon.
- 170 Savolainen, R. & Kellomäki, S. 1981. Metsän maisemallinen arvostus. Summary: Scenic value of forest landscape.
- 171 Thammincha, S. 1981. Climatic variation in radial growth of Scots pine and Norway spruce and its importance to growth estimation. Seloste: Männyn ja kuusen sädekasvun ilmastollinen vaihtelu ja sen merkitys kasvun arvioinnissa.
- 172 Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type class and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuuden tunnuksien suhteesta kasvupaikkatyypin ja puuston kasvupotentiaaliin.
- 173 Chung, M.-S. 1981. Biochemical methods for determining population structure in *Pinus sylvestris* L. Seloste: Männyn (*Pinus sylvestris* L.) populaatiorakenteesta biokemiallisten tutkimusten valossa.
- 174 Kilkki, P. & Varmola, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovellutuksia.
- 175 Leikola, M. 1981. Suomen metsätieteellisen julkaisutoiminnan rakenne ja määrällinen kehitys vv. 1909–1978. Summary: Structure and development of publishing activity in Finnish forest sciences in 1909–1978.
- 176 Saarilahti, M. 1982. Tutkimuksia radioaalto menetelmien soveltavuudesta turvemaiden kulkelpoisuuden arvioimiseen. Summary: Studies on the possibilities of using radar techniques in detecting the trafficability of peatlands.
- 177 Hari, P., Kellomäki, S., Mäkelä, A., Ilonen, P., Kanninen, M., Korpilahti, E. & Nygrén, M. 1982. Metsikön varhaiskehityksen dynamiikka. Summary: Dynamics of early development of tree stand.
- 178 Turakka, A., Luukkainen, O. & Bhumibhamon, S. 1982. Notes on *Pinus kesiya* and *P. merkusii* and their natural regeneration in watershed areas of northern Thailand. Seloste: Havaintoja männystä (*Pinus kesiya* ja *P. merkusii*) ja mäntyjen luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Thaimaan vedenjakaja-alueilla.
- 179 Nyssönen, A. & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands.
- 180 Simula, M. 1983. Productivity differentials in the Finnish forest industry. Seloste: Tuottavuuden vaihtelu Suomen metsäteollisuudessa.
- 181 Pohtila, E. & Pohjola, T. 1983. Lehvästöruskuksen ajoitus kasvukauden aikana. Summary: The timing of foliage spraying during the growing season.

KANNATTAJAJÄSENET – SUPPORTING MEMBERS

CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR	OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY
SUOMEN METSÄTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO	SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO	OY HACKMAN AB
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA	YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ
SUNILA OSAKEYHTIÖ	RAUMA REPOLA OY
OY WILH. SCHAUMAN AB	OY NOKIA AB, PUUNJALOSTUS
OY KAUKAS AB	JAAKKO PÖYRY CONSULTING OY
KEMIRA OY	KANSALLIS-OSAKE-PANKKI
G. A. SERLACHIUS OY	SOTKA OY
KYMI KYMMENE	THOMESTO OY
KESKUMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO	SAASTAMOINEN YHTYMÄ OY
KOIVUKESKUS	OY KESKUSLABORATORIO
A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ	METSÄNJALOSTUSSÄÄTIÖ
TEOLLISUUDEN PUUYHDISTYS	SUOMEN METSÄNHOITAJALIITTO
OY TAMPELLA AB	OY KYRO AB
JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ	SUOMEN 4H-LIITTO
KAJAANI OY	SUOMEN PUULEVYTEOLLISUUSLIITTO R.Y.
KEMI OY	OULU OY
MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO	OY W. ROSENLEW AB
VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA	METSÄMIESTEN SÄÄTIÖ
VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ	

ISBN 951-651-054-X

Hämeenlinna 1982, Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino