

FOLIA FORESTALIA 454

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1980

HANS GUSTAV GUSTAVSEN

TALOUSMETSIEN
KASVUPAIKKALUOKITTELU
VALTAPITUUDEN AVULLA

SITE INDEX CURVES FOR
CONIFER STANDS
IN FINLAND

- 1979
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen.
Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys.
Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.
- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuudistusaloilla ja metsiteillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76.
Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesi-myyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv. 1973—76 Suomessa.
Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.), in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa. Kirjallisuuskatsaus.
Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoittamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla.
Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat.
- No 391 Valtonen, Kari: Loppukäyttötiedot saha- ja puulevyteollisuuden markkinoinnissa.
End-use information for marketing in sawmill and wood-based panel industries.
- No 392 Isomäki, Antti: Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon.
The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand.
- No 393 Kurkela, Timo: *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* -sienen esiintyminen männyn karisteen yhteydessä.
Association of *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* with a needle cast epidemic on Scots pine.
- No 394 Rikala, Risto: Lannoitteiden levitystavan vaikutus kouluttujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla.
The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery.
- No 395 Löytyniemi, Kari, Austarå, Øystein, Bejer, Broder & Ehnström, Bengt: Insect pests in forests of the Nordic Countries 1972—1976.
Tuhohyönteisten esiintyminen Pohjoismaiden metsissä 1972—1976.
- No 396 Silfverberg, Klaus: Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan booripuutosalueella.
Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland.
- No 397 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1976 (1964—1973).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1976 (1964—1973) by districts.
- No 398 Lehto, Jaakko: Metsäalan koulutus metsäalan organisaatioiden arvioimana.
Forest education evaluated by forestry organizations.
- No 399 Jokinen, Katriina & Tamminen, Pekka: Tyvilahoisten kuusikoiden jälkeen istutetuissa männyn taimistoissa esiintyvät sienituhot Keski-Satakunnassa.
Fungal damage in young Scots pine stands replacing butt rot-infected Norway spruce stands in SW Finland.
- No 400 Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsätutkimuslaitoksen metsänlannoitustutkimuksen seminaari 15.2.1979.
Results and tasks in forest fertilization research. Proceedings of the Finnish Forest Research Institute symposium on forest fertilization research 15.2.1979.
- No 401 Mielikäinen, Kari: Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon.
The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand.
- No 402 Sepponen, Pentti, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa.
On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland.
- No 403 Kanninen, Kaija, Uusvaara, Olli & Valonen, Paavo: Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet.
Measuring and properties of whole tree raw-material.
- No 404 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä.
Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas.
- No 405 Sepponen, Pentti & Haapala, Heikki: Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin.
On the effect of drainage on the chemical properties of peat.

FOLIA FORESTALIA 454

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Hans Gustav Gustavsen

TALOUSMETSIIEN KASVUPAIKKALUOKITTELU
VALTAPITUUDEN AVULLA

Site index curves for conifer
stands in Finland

GUSTAVSEN, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454: 1—31.

Tutkimuksen tarkoituksena on täydentää kasvupaikkojen uudentyypiseen luokitteluun pyrkivää tutkimustyötä esittämällä pituusboniteettikäyrästöt luontaisesti syntyneille suomalaisille kuusikoille ja männikoille.

Tutkimuksen perusaineisto on peräisin valtakunnan metsien kolmannesta inventoinnista vuosilta 1951—53. Aineisto käsittää lähes yksinomaan luontaisesti syntyneitä metsiköitä ja edustaa suomalaisia metsiä kokonaisuudessaan. Tältä pohjalta lähtevä kasvupaikkojen luokittelu ei ole tuotoskyvyn arvioimisen kannalta optimaalinen, vaan perusaineiston mukaisesti keskimäärin mahdollinen.

Tutkimuksessa on kehitetty kaksi metsikön valtapituuden kehitysyhtälöä jotka perustuvat 1069 männikkö- ja 617 kuusikkokoealaan. Yhtälöt ja boniteettikäyrästöt on laadittu koko maata varten ja käyrästöt perustuvat yhtälöihin. Pituuskehitystä ($H_{dom}(T)$) selitetään yhtälöissä metsikön kokonaisuudella (T) ja pituusboniteettiluokalla (H_{100}). H_{100} -arvot (30, 27, ...) ovat indeksilukuja, jotka ilmaisevat metsikön valtapituuden 100 vuoden kokonaisuudella 3 m:n laajuisia luokkia käyttäen. Boniteettiarvot saadaan käyrästöistä kuitenkin rinnankorkeusian ($T_{1,3}$) funktiona tai kokonaisuuden funktiona yhtälöillä.

Esitetyt pituusboniteettikäyrät on tarkoitettu talousmetsiköiden luokitteluun koko maassa metsikön valtapituuden ja rinnankorkeusian avulla. Valtapituusbonitointi ei kuitenkaan ole käyttökelpoinen kaikissa metsiköissä. Selvästi harjittuja metsiä ei voida luokitella näiden käyrien avulla siksi, että kasvupaikan boniteetti tulee aliarvioiduksi.

Käyrästöjen testausta jatketaan talousmetsissä mitattujen uusien kestokoealojen aineistojen avulla. Jatkossa tullaan selvittämään myös esitettyjen boniteettiluokkien puuntuotoskyky.

The paper presents site index curves for natural Scots pine and Norway spruce stands in Finland. The classification is based on breast-height age and the dominant height of the stand.

The main material for the classification system has been obtained from the 3rd National Forest Inventory (1951—53), comprising 1069 temporary circular sample plots of 0,1 ha in pine-dominated stands and 617 plots in spruce-dominated stands. The site index expressed in the classification system does not represent the maximum, but the average level of production obtainable under practical conditions in the Finnish forests.

For the two species separately, functions and site index curves have been developed for the whole country. The functions give the dominant height development of the stand based on biological age and site index (H_{100}). However, the site index curves (3-m classes) are based on breast-height age. The curves are constructed from the functions in such a way that the site indicator is the dominant height (H_{100}) reached by growing stock at the biological age of 100 years.

The site index curves published need to be further tested. In the future they will be tested against the material from the new permanent sample plots laid out all over Finland in connection with the 6th and 7th National Forest Inventories.

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnalla aloitettiin v. 1972 koko maan kattava kasvu- ja tuotostutkimus, jonka tarkoituksena on antaa monipuolista tietoa nykymetsien rakenteesta ja kasvusta. Tästä syystä tutkimus nojautuu valtakunnan metsien inventointien aineistoihin.

Käsillä oleva julkaisu kuuluu tutkimuksen kolmanteen osatehtävään (ks. Hänninen 1974 ja Gustavsen 1977), jonka jälkeen voidaan laatia suoritettujen osatutkimusten tulosten perusteella nykymetsien alueellisia kasvu- ja tuotostaulukoita.

Tutkimus on jatkuvaa. Talousmetsiin perustettujen uusien kestokoalojen avulla pyritään jatkuvasti täydentämään ja tarkistamaan saavutettuja tuloksia.

Merkittävää apua olen saanut esimieheltäni, professori Yrjö Vuokilalta, joka on osallistunut kannustavasti työn kaikkiin vaiheisiin. Matemaattisissa kysymyksissä olen saanut varteenotettavia neuvoja vt.

professori Pertti Harilta, työn alkuvaiheessa myös tri Pentti Roiko-Jokelalta. Käsikirjoitusvaiheessa on yksityiskohtien selvittämisessä auttanut MML Kari Mielikäinen. Tutkimusapulainen Marja-Liisa Herno on yhdessä toimistosihteeri Anja Korpelaisen kanssa huolehtinut käsikirjoituksen puhtaaksikirjoituksesta ja kuvien piirtämisestä.

B.Sc. Ashley Selby on tarkistanut tutkimuksen englanninkielisen osan. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Aarne Nyysönen, Pertti Hari ja Yrjö Vuokila sekä MML Kari Mielikäinen.

Kiitän edellä mainittuja henkilöitä ja kaikkia, jotka ovat tavalla tai toisella myötävaikuttaneet tutkimuksen syntyyn.

Helsinki joulukuussa 1980

Hans Gustav Gustavsen

KÄYTETYT MERKINNÄT

Yhtälöissä ja muissa tuloksissa esiintyvillä merkinnoillä tarkoitetaan seuraavaa:

Metsikkömerkinnät — Stand symbols:

$I_{H_{dom5}}$ = metsikön tulevan 5-vuotiskauden valtapituuden kasvu, m — *dominant height increment of the stand during the future 5-year period, m*

$I_{H_{dom}}$ = metsikön nykyinen keskimääräinen vuotuinen valtapituuden kasvu, η (5-vuotiskauden keskiarvo) — *mean annual dominant height increment, m*

T = metsikön valtapuuston kokonaisikä (biologinen ikä), v — *biological age of the dominants, years*

$T_{1,3}$ = metsikön valtapuuston rinnankorkeusikä, v — *breast-height age of the dominants, years*

$t(1,3\text{ m})$ = vuosimäärä, joka valtapuilta kuluu rinnankorkeuden (1,3 m) saavuttamiseen ($T - T_{1,3}$), v — *time to reach breast-height, years*

H_{dom} = metsikön valtapituus hehtaaria kohden (100 paksuimman puun aritmeettinen keskipituus), m — *dominant height of the stand (mean height of the 100 largest in dbh. trees per ha), m*

H_{100} = metsikön pituusboniteettiluokka (valtapituus 100 vuoden kokonaisuudella), m — *site-index: dominant height of the stand at the biological age of 100 years, m*

Matemaattiset merkinnät — Mathematical symbols:

$\exp(f(x)) = e^{f(x)}$

e = Neperin luku = 2,7182818.....

\ln = luonnollinen logaritmi (järjestelmä) — *system of natural logarithms*

\lim = funktion raja-arvo — *limit approached for a function*

SISÄLLYS

ALKUSANAT	3
Käytetyt merkinnät	3
1. JOHDANTO	5
2. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN KÄSITTELY	7
3. PITUUSBONITEETIEN LAADINNAN TEORIAA	10
31. Teoreettisia periaatteita	10
32. Menetelmät ja mallit	11
33. Pituuskehitysyhtälöiden laadinta ja rakenne	12
4. HAVUMETSIKÖIDEN VALTAPITUUDEN KEHITYKSEN ENNUSTAMINEN	14
41. Valtapituuden kehitysyhtälöt ja niiden luotettavuus	14
42. Valtapuiden kehitys rinnankorkeuteen	16
5. TALOUSHAVUMETSÄIDEN VALTAPITUUSBONITEETIT	20
51. Valtakunnalliset valtapituusboniteetit	20
52. Tulosten testaus ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin	20
53. Pituusboniteetit ja metsätyypit	23
6. PITUUSBONITEETIEN SOVELTAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ	24
KIRJALLISUUS	25
SUMMARY	27
LIITTEET	29
1. Pituusboniteettiluokkien raja-arvojen taulukot	29
2. Pituusboniteettiluokkien keskiarvojen taulukot	30
3. Valtapituuden kasvutaulukot	31

1. JOHDANTO

Metsäkasvupaikka voidaan luokitella useilla tavoilla. Luokitus voi nojautua erilaiisiin puustotunnuksiin, alueen ilmastoon, maaperän ominaisuuksiin tai metsikön pintakasvillisuuteen (ks. Nyysönen 1971, M. ja Y. Ilvessalo 1975). Viimeksi mainittua menetelmää edustavat metsätyypit, joilla kasvupaikkoja on Suomessa tähän asti lähes yksinomaisesti kuvattu.

Suomalaisen metsätyyppiteorian luoja on Cajander (1909), joka useissa tutkimuksissa neljän vuosikymmenen aikana käsittelee teoriansa olemusta ja merkitystä. Ilvessalo (1920) osoitti puolestaan teorian käyttökelpoisuuden käytännön metsätalouden luokittelutehtävissä. Hänen myöhemmät tutkimuksensa, yhdessä muiden tutkijain kanssa (esim. Lakkari 1920, Lönnroth 1925, Koivisto 1957, Kallio 1960, Nyysönen 1954, Vuokila 1956, ks. muuten M. ja Y. Ilvessalo 1975), ovat selvittäneet monipuolisesti puuston kehitystä eri metsätyypeillä.

Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa kasvupaikkojen luokittelu on yleensä perustunut puustotunnuksiin. Ruotsissa on pitkään käytetty Jonsonin (1914) järjestelmää, vaikka menetelmän heikkoudet ovat monet. Erityisesti 1970-luvulla Ruotsissa on kuitenkin pyritty luomaan uusi järjestelmä, joka entistä paremmin vastasi käytännön metsätalouden vaatimuksia.

Jonsonin (1914) bonitointitaulukoissa esitetään — erikseen Etelä- ja Pohjois-Ruotsin kuusikoille ja männiköille — kasvupaikkaluokat (I—VII) metsikön keskipituuden ja kokonaisuuden perusteella. Luokat perustuvat tosiasiaan kuitenkin ns. ihannekasvukykyyn, johon luokittelutunnuksena käytetty keskipituus 100 vuoden iässä on sidottu. Järjestelmä eroaa täten selvästi klassisesta saksalaisesta bonitointijärjestelmästä, jonka luokat perustuivat suoraan 100 vuoden iällä saavutettavaan keskipituuteen (ks. Petterson 1955, s. 217).

Jonsonin (mt.) järjestelmän heikkouksia ovat mm. keskipituuden riippuvuus hakkuista ja luokittelun subjektiivisuus kasvupaikan tuotantokykyä määritettäessä. Siksi Petterson (1955), Lundqvist (1957) ja Persson (1959) esittivät (ks. myös Fries 1964) luontaisesti syntyneille ja keinollisesti perustetuille kuusikoille, männiköille ja koivikoille uudet bonitointitaulukot, joissa kasvupaikan luokittelu perustuu puuston valtapituuteen ja ikään. Tältä pohjalta lähtien Fries (1969) laati kuusikoille ja männiköille pituusboniteetikäyrästönsä, joita Hägglund (1972, 1973 ja 1974) on sittemmin täydentänyt ja parantanut.

Pituusbonitoinnissa, sellaisena kuin sitä Ruotsissa nykyisin sovelletaan, kasvupaikan luokittelu tapahtuu puuston valtapituuden ja rinnankorkeusien perusteella. Valtapituus määritetään hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituutena. Boniteetti-indeksi kuvaa puuston valtapituutta 100 vuoden kokonaisuudella (H_{100}). Kasvupaikat on jaettu boniteetti-indeksin perusteella 4 m:n luokkiin ($H_{100} = 32, 28, 24 \text{ m}, \dots$).

Hägglund (1977, 1979) on kuitenkin korostanut, että pituusbonitointi ratkaisee vain osan kasvupaikkaluokittelun ongelmasta. Tarvitaan lisäksi muita luokitustunnuksia, sellaisia kuin esim. pituuskasvu taimikoissa (Hägglund 1976). Tietyissä tapauksissa metsätyyppiteorian kaltainen puustosta riippumaton luokittelumenetelmä on saanut kannatusta (Lundmark 1974, Hägglund ja Lundmark 1977).

Myös Norjassa on viime vuosina ryhdytty täydentämään ja parantamaan kasvupaikan bonitointijärjestelmää. Käytettävissä on nykyisin jo kymmenkunta bonitointitaulukkoa, jotka ovat sovellettavissa joko valtakunnallisesti tai rajoitettujen maantieteellisten alueiden sisällä. Yleensä kasvupaikan boniteetti määritetään pohjapinta-alalla punnitun keskipituuden ja metsikön kokonaisuuden perusteella. Eräs käytetyimmistä hoidet-

tujen tasaikäisten kuusikoiden bonitointitaulukoista on Norjan metsäntutkimuslaitoksen laatima (Eide ja Langsäter 1941). Siinä on boniteettiluokat (A—E) sidottu pohjapinta-alalle punnittuun keskipituuteen 50 vuoden kokonaisuudella.

Braastadin (1967) koivikoiden bonitointitaulukossa samoin kuin Tveiten (1977a, 1977b) tasaikäisten kuusikoiden ja männiköiden uusissa taulukoissa pituuskehityskäyrät on sidottu 40 vuoden rinnankorkeusikään. Tveiten (mt.) menetelmässä bonitointi tapahtuu rinnankorkeusian ja valtapituuden (hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituuden) perusteella. Braastadin (mt.) mukaan bonitointi suoritetaan taas rinnankorkeusian ja keskipituuden avulla. Kasvupaikkaboniteetit ovat kaikissa em. taulukoissa kolmen metrin luokkia ($H_{40} = 23, 20, 17 \text{ m}, \dots$).

Norjassa toistaiseksi eniten käytetty bonitointimenetelmä on kuitenkin Norjan valtakunnan metsien inventoinnin aineiston perusteella laadittu (Landskogstaxeringen 1938). Siinä on neljä boniteettiluokkaa kuusikoille ja viisi männiköille. Bonitointi tapahtuu metsikön vallitsevien puiden pituuden ja rinnankorkeusian mukaan. Näitä bonitointikäyriä käytetään ensisijaisesti huonosti hoidetuissa metsiköissä, joissa on usein suoritettu harsintahakkuita. Kyseinen menetelmä on siinä mielessä mielenkiintoinen, että se perustuu samankaltaiseen aineistoon kuin käsillä oleva tutkimus.

Mainittakoon lisäksi, että Brantseg (1951) on kehittänyt paljaan maan bonitointimenetelmän Länsi-Norjan alueelle Vestlandet. Bonitoinnissa on viisi luokkaa, jotka määritetään maaperän, kosteusolosuhteiden, kaltevuuden, kasvipeitteen yms. avulla. Länsi-Norjan istutuskuusikoiden pituusbonitointitaulukot (Brantseg 1951, Bauger 1970) vastaavat näitä luokkia.

Tanskan tärkeimmissä bonitointitaulukoissa (kuusi, tammi ja pyökki) boniteetti määritetään pohjapinta-alalla punnitun keskipituuden ja kokonaisuuden avulla (Møller 1933, Møller ja Nielsen 1953). Tanskan intensiivisessä metsätaloudessa, jossa tunnetaan hyvin metsiköiden taustatiedot, on luonnollista käyttää kokonaisuutta viiteikänä kasvupaikkaboniteetin määrittämisessä. Tanskassa kuvataan myös kasvupaikan maaperän ominaisuuksia metsikön

tuotoskehityksen lisäksi. Tavallisimmin ilmoitetaan ravinne- ja kosteusolosuhteet.

Pituusbonitointia on Suomessa sovellettu toistaiseksi vain kasvu- ja tuotostutkimusten yhteydessä (Vuokila 1967, 1971 ja Sarämäki 1977). Täten on pyritty tutkimustulosten valtakunnalliseen sovellutuskelpoisuuteen. Kangas (1976, 1977) on kehittänyt luontaisesti syntyneiden metsiköiden bonitointiluokittelujärjestelmän (bonitointimassa-arvo) metsiköiden keskipituuden, runkoluvun ja pohjapinta-alan (tilavuuden) perusteella. Bonitointi kohdistuu tällöin enemmänkin metsikön puustoon kuin sen kasvupaikkaan. Sepponen, Lähde ja Roiko-Jokela (1979) ovat pyrkineet yhdistämään puuston, kasvipeitteen ja maaperän ominaisuudet bonitointitarkoituksessa Lappia varten. Valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella on Martimaa (1979) tutkinut mahdollisuuksia käyttää valtapituutta määrittettäessä metsiköiden veroluokkia.

Merkittävä askel pituusboniteettien käytännölliselle sovellutukselle Suomessa on Vuokilan ja Väliähön (1980) viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmalleja käsittelevä tutkimus, jossa esitetään pituusbonitointikäyrästäöt koko maata varten 3 m:n luokin ($H_{100} = 33, 30, 27, \dots$). Bonitointi tapahtuu metsikön biologisen iän ja valtapituuden avulla.

Käsilä olevan tutkimuksen tarkoituksena on täydentää Vuokilan ja Väliähön (1980) aloittamaa kasvupaikkojen uudentyyppiseen luokitteluun pyrkivää tutkimustyötä esittämällä pituusboniteettikäyrästäöt luontaisesti syntyneille suomalaisille kuusikoille ja männiköille. Tavoitteena ovat olleet pituusboniteettikäyrät, joiden avulla luokitellaan talousmetsiköt niiden valtapituuden ja rinnankorkeusian mukaan. Sen tähden on pyritty kehittämään valtapituuden kehitysyhtälöitä, jotka toimivat pohjana tässä kvantitatiivisessa luokittelumenetelmässä. Pituusboniteettien avulla pyritään täydentämään kasvupaikkaluokittelua käytännössä. Nyt esitetty puuston mittaustunnuksiin perustuva kvantitatiivinen luokittelu soveltuu käytettäväksi kvalitatiivisen metsätyyppiluokittelun rinnalla.

Luontaisesti syntyneiden metsiköiden luokitteluun tarkoitetuilla boniteettikäyrästäöillä tulee vielä pitkään olemaan merkit-

tävä asema käytännön luokittelussa sen vuoksi, että viljelymetsien osuus maamme metsäpinta-alasta on 1980-luvun alkaessa vasta 15 %.

Taloustmetsät eivät ole ihanneltilassa, vaan ne ovat olleet hyvinkin vaihtelevan käsittelyn kohteina. Myös harsintahakkuut ovat edelleen tavallisia. Valtakunnan metsien inventointien aineistot kuvaavat parhaiten taloustmetsissä tavattavaa suurta vaihtelua, ja sen tähden tämä tutkimus nojautuu niihin.

Tutkimuksen perusaineisto on valtakunnan metsien kolmannesta inventoinnista vuosilta 1951—53. Koska metsänviljelyä on harjoitettu merkittävässä määrin vasta 1960-luvulta alkaen, tämän aineiston voidaan väittää sisältävän lähes yksinomaan luontaisesti syntyneitä metsiköitä. Tältä pohjalta lähtevä kasvupaikkojen luokittelu ei ole tuotoskyvyn arvioimisen kannalta

optimaalinen, vaan perusaineiston ilmaise- ma keskimäärin mahdollinen. Boniteettiluokat on myös tässä tutkimuksessa sidottu biologiseen kokonaisikään 100 vuoden iällä. Bonitointi tapahtuu kuitenkin *rinnankorkeusiän* ja valtapituuden avulla. Valtapituus tarkoittaa tässäkin hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituutta. Käytännössä on helpompaa ja täsmällisempää määrittää taloustmetsien valtapuiden vuosilustojen lukumäärä rinnankorkeudelta kuin biologinen ikä. Valtapuiden mahdollinen kitumiskausi varhaisessa kehitysvaiheessa ei näin pääse vaikuttamaan liikaa bonitointiin.

Referenssi-ikäenä on käytetty kokonaisikää, koska perusaineisto ilmaisee sen, ja koska on hyödyllistä säilyttää rinnastettavuus viljelymetsiköiden uusien boniteettikäyrien (V u o k i l a ja V ä l i a h o 1980) kanssa.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN KÄSITTELY

Tämän tutkimuksen aineisto on alaotos (ks. Gustavsen 1977, s. 6) valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin (1951—53) aineistosta (ks. Ilvessalo 1951). Aineisto käsittää ko. inventoinnin yksijakoiset kuusi- ja mäntykoalat, joissa pääpuulajia on ollut yli 50 % puuston tilavuudesta. Kehitysluokista ovat mukana taimistot (valtapituus 4+m), harvennus-, väljennys- ja uudistusmetsiköt. Biologiselta iältään 140 vuotta vanhemmat metsiköt on jätetty pois. Metsikkötunnukset perustuvat 0,1 ha:n suuruisiin ympyräkoaloihin.

Aineisto edustaa lehtomaisia, tuoreita, kuivanpuoleisia ja kuivia kankaita (ks. Ilvessalo 1951, s. 16). Painopiste (noin 50 %) on männyn osalta kuivanpuoleisilla kankailla ja kuusen osalta (noin 40 %) tuoreilla kankailla.

Koska valtakunnan metsien inventoinnin aineistossa oli niukasti parhaimpien metsätyyppien männiköitä nuorimmissa ja vanhimmassa ikäluokassa, vahvistettiin Etelä-Suomen aineistoa 77 lisäkoalalla. V u o k i l a n (1965) männikköaineistosta valittiin 37 koalaa. Valtakunnan metsien inventointiin kytketystä uudesta pysyvästä kestokoalaverkosta (ks. O i k a r i n e n 1979, s. 70) valittiin lisäksi 40 koalaa. Tämä aineisto muodostuu alle 40-vuotiaista nuorista metsiköistä ja yli 70-vuotiaista vanhemmista metsiköistä parhaimmilla metsätyypeiltä. Mukana lisäaineistossa on myös muutamia luontaisesti syntyneitä taimistoja. Kuusen osalta ei vastaavaa lisäaineistoa ollut käytettävissä.

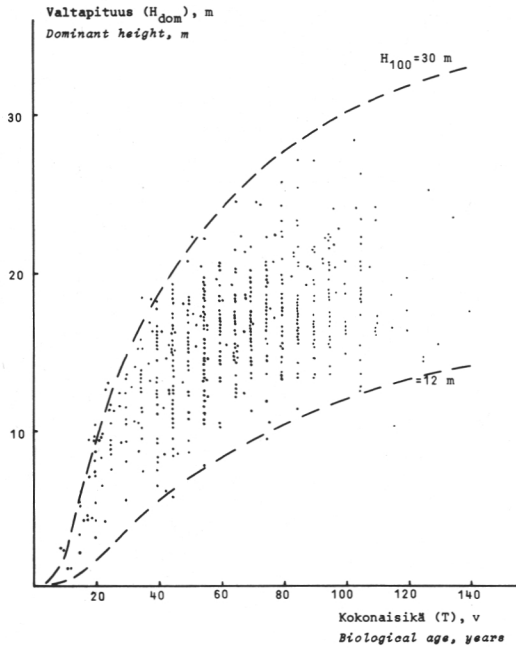
Seuraavasta asetelmasta käy ilmi aineiston koalojen lukumäärä ja niiden maantieteellinen jakautuminen:

	Etelä-Suomi (pml 1—15) <i>Southern Finland</i>	Pohjois-Suomi (16—19) <i>Northern Finland</i>	Koko maa (1—19) <i>Whole country</i>
	Koalojen lukumäärä — <i>Number of sample plots</i>		
Mänty — <i>Pine</i>	568	501	1069
Kuusi — <i>Spruce</i>	458	159	617

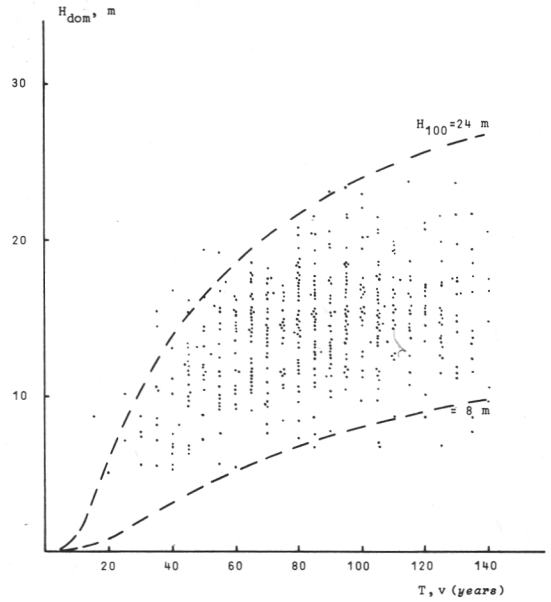
Suoraan perusaineistosta saatuja puustotunnuksia olivat valtapituus ja kokonaisikä (biologinen ikä). Valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin ohjeiden mukaan (I l v e s s a l o 1951, s. 22—23, 41—42) kokonaisikä määritettiin kairaamalla valta puista vuosilustojen lukumäärä kannon korkeudella ja lisäämällä siihen tietty vuosimäärä, joka riippuu metsätyypistä ja maantieteellisestä sijainnista. Valtapituus tarkoittaa vallitsevan puuston valtapuiden keskimääräistä pituutta, joka määritettiin pystymittauksilla.

Koalametsiköistä oli määritetty metsätyyppi, mikä antoi mahdollisuuden arvioida rinnankorkeusikä niiden ohjeiden mukaan, jotka on annettu valtakunnan metsien seitsemännen inventoinnin kenttätöiden ohjeessa (Valtakunnan... 1977, s. 23). Valtapituuden kasvu laskettiin kymmenen kookkaimman koepuun pituuskasvuun perusteella. Kasvuluvut korjattiin kasvuindeksiin vastaamaan keskimääräistä ilmastotasoa.

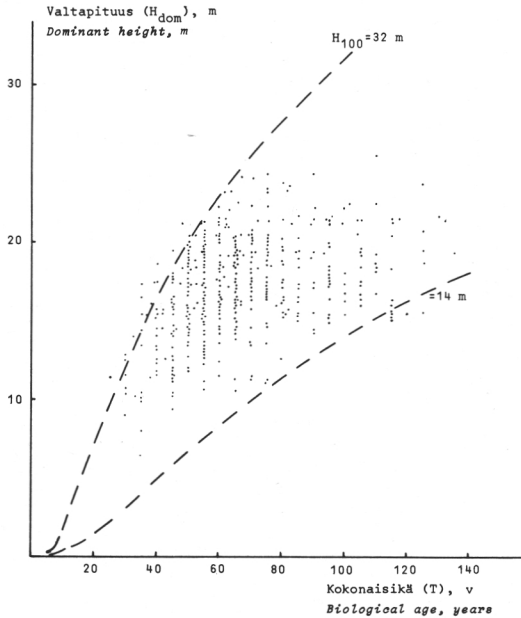
Taulukosta 1 ilmenevät tärkeimpien metsikkötunnuksien keskiarvot ja vaihtelualueet puulajeittain. Täydentävät tiedot koalametsiköiden valtapituuden ja kokonaisiän välisistä suhteista erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomessa ilmenevät kuvista 1a, b ja 2a, b.



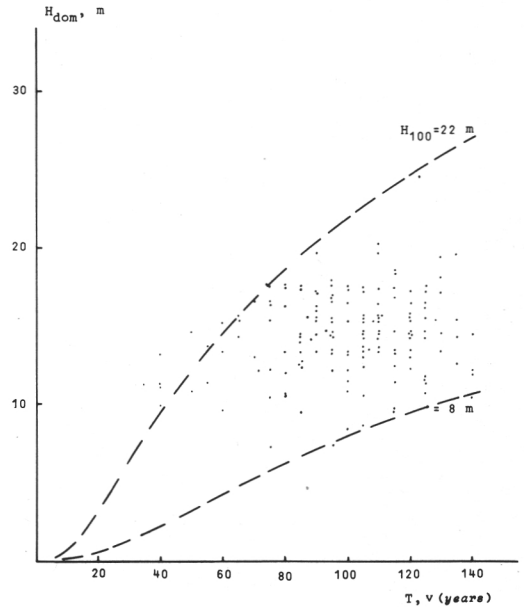
Kuva 1a. Mäntymetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Etelä-Suomessa.
 Figure 1a. The variation of age and dominant height in the pine stands in Southern Finland.



Kuva 1b. Mäntymetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Pohjois-Suomessa.
 Figure 1b. The variation of age and dominant height in the pine stands in Northern Finland.



Kuva 2a. Kuusimetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Etelä-Suomessa.
 Figure 2a. The variation of age and dominant height in the spruce stands in Southern Finland.

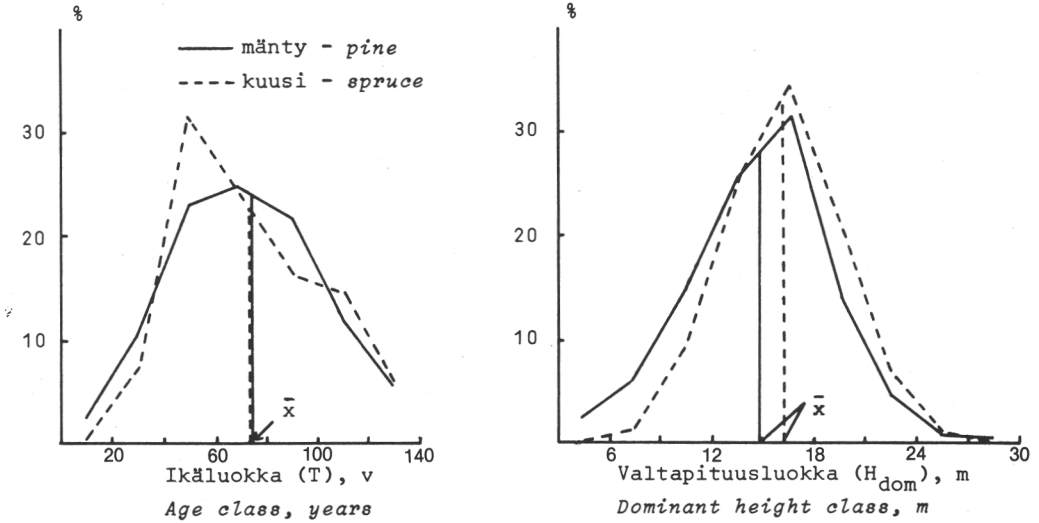


Kuva 2b. Kuusimetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Pohjois-Suomessa.
 Figure 2b. The variation of age and dominant height in the spruce stands in Northern Finland.

Kuvasta 3 käy ilmi koalametsikköiden suhteellinen jakauma valtapituus- ja ikäluokkiin. Normaali-jakauma ei ole paras mahdollinen silloin, kun tarkoitus on kehittää ennustemalleja. Sitä tasaisempi jakauma antaisi luotettavamman tuloksen metsikkötunnusten koko vaihtelualueilla.

Valtapituusbonitoinnin osalta voidaan todeta, että tutkimusaineisto täyttää tyydyttävästi vaatimukset. Ei ole tosin täyttä varmuutta, edustavatko iän, valtapituuden ja valtapituuskasvun havainnot täysin hehtaa-

ria kohden 100 paksuimman puun keskiarvoa. Iän määrittämisessä piilee myös systemaattisen virheen vaara määritettäessä aikaa, joka valtapuulta kuluu rinnan korkeuden saavuttamiseen. Vaikeinta on arvioida valtapuiden rinnankorkeusikä eri boniteettiluokissa. Toisaalta on kuitenkin vaikeaa osoittaa selviä systemaattisia virheitä, joita näiden tai muiden likiarvojen käyttö aiheuttaa kasvumalleissa. Aineiston etu on sen laajuus ja suuri havaintomäärä.



Kuva 3. Koalojen jakautuminen ikä- ja valtapituusluokkiin.

Figure 3. The relative distribution of sample plots into age and dominant height classes.

Taulukko 1. Eräiden metsikkötunnusten vaihtelualueet ja keskiarvot tutkimusaineistossa.

Table 1. The variation ranges and the means of some stand variables in the research material.

Puulaji Tree species	Ikä, v T, v Age, years	Valtapituus, m H _{dom} , m Dominant height, m	Valtapituuden 5 v:n kasvu, m ΔH _{doms} , m Increment of dominant height, m
Vaihtelualue — Range (Keskiarvo) — (Mean)			
Määnty — Pine	9—140 (74)	1,2—29,0 (14,9)	0,10—2,90 (0,82)
Kuusi — Spruce	25—140 (75)	6,6—25,6 (16,4)	0,16—2,46 (0,96)

3. PITUUSBONITEETTIEN LAADINNAN TEORIAA

31. Teoreettisia periaatteita

Valtapiuusbonitoinnin teoriaa on käsitelty useissa tutkimuksissa (esim. *Assman* ja *Franz* 1965, *Strand* 1964, *Fries* 1967, *Tveite* 1969, *Sloboda* 1971, *Hradetzky* 1972, *Hägglund* 1972, *Sterba* 1974). Tutkimuksissa on esitelty ja tarkasteltu myös erilaisia teoreettisia malleja ja vaatimuksia, joita niille on asetettava käytännöllisessä luokittelussa.

Malleille asetettavat matemaattiset vaatimukset perustuvat mm. kasvu- ja tuotostutkimusten antamiin tuloksiin, jotka osoittavat puiden ja metsiköiden iänmukaisen pituuskehityksen vaihtelevissa kasvuolosuhteissa. Metsikön keskimääräistä pituuskehitystä kuvaavalle käyrälle on mm. ominaista loiva S-muoto.

Metsikön valtapiisuuden ja iän todetun vaihtelualueen puitteissa käyrille asetetuista vaatimuksista voidaan tehdä seuraava yhdistelmä. Käyrästä teoreettisen mallin (ks. kuva 4) täytyy täyttää nämä ehdot ollakseen käyttökelpoinen valtapiisuuden avulla tapahtuvaan kasvupaikan luokitteluun (ks. *Sloboda* 1971, *Hradetzky* 1973).

- 1a. Käyrien alkupiste on yhteinen (origo):
 $T = 0 : F(T, C_1) = F(T, C_2)$ kun $C_1 = C_2$
 $T = 0 : \lim F(T, C) = 0, T \rightarrow 0$
 C on vapaa parametri, joka on vakio ($= C_1, C_2, \dots$) määrätylle integraalikäyrälle.

- 1b. Käyrän suunta eli pituuskasvu origossa on nolla:

$$\lim f(H_{dom}, T) = 0, T \rightarrow 0$$

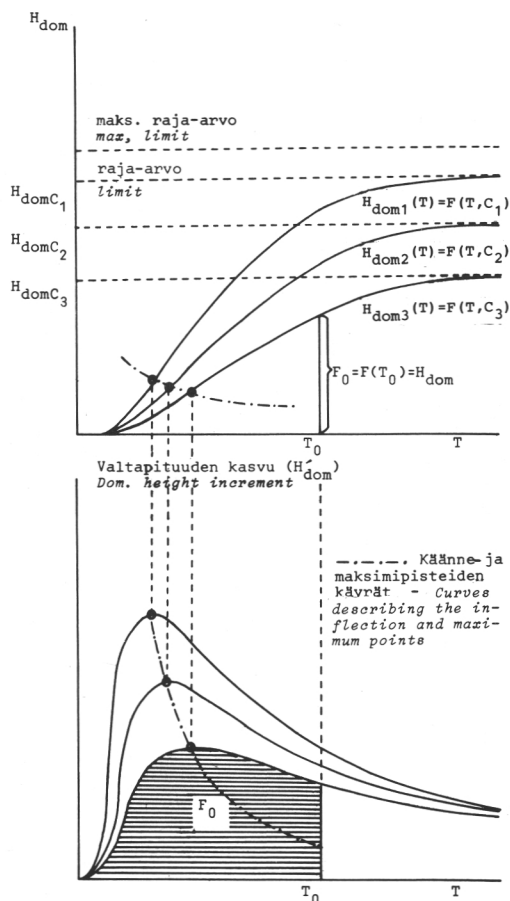
Käyrät eivät saa leikata toisiaan muualla kuin origossa. Tämä varmistaa sen, että kasvupaikkaluokitus on yksiselitteinen.

2. Käyrien ainoa käännepiste vastaa kasvun maksimia. Tämä kasvun maksimipiste ei ole eri boniteeteilla samalla iällä (ks. *Assman* 1961, *Sloboda* 1971, s. 16), vaan se on kuvan 4 tapaan vaihteleva. Sekä pituuskehityskäyrien käännepisteet että kasvukäyrien maksimipisteet seuraavat lähinnä hyperbelin kulkua.

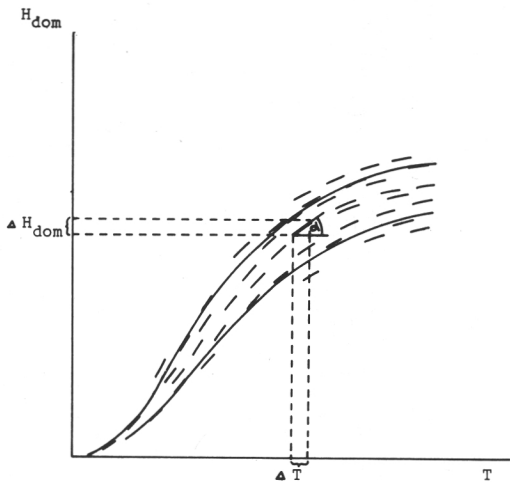
3. Jokainen käyrä lähenee raja-arvoa (asymptoottia) metsikön iän kasvaessa. Tämä merkitsee, että kussakin boniteettiluokassa on valtapiisuuden raja-arvo (ks. kuva 4):

$$\lim F(T, C) = H_{domC}, \text{ kun } T \rightarrow \infty$$

Kuvassa 5 on kaavamaisesti esitelty pituuskasvun yhdessä pituuden ja iän kanssa muodostama empiirinen suuntakenttä (*Wolfin* kenttä) (*Wolf* 1959, *Sloboda* 1971, *Hradetzky* 1972). Kuvassa esitetty tilanne koskee tämän tutkimuksen kaltaista aineistoa, jossa on lyhyitä (esim. 5 v) kasvujaksoja tilapäiskoelais-



Kuva 4. Metsikön valtapiisuuden iänmukaisen kehityksen ja vuotuisen pituuskasvun matemaattis-teoreettinen riippuvuus. Pituuskasvu on määritetty derivoimalla pituuskehitysfunktio (ks. *Sloboda* 1971).
 Figure 4. Theoretical illustration of connection between height-age curves and yearly height growth. The growth is the first derivative of the height-age function (cf. *Sloboda* 1971).



Kuva 5. Iän (T), valtapituuden (H_{dom}) ja valtapituuden kasvun (ΔH_{dom}) perusteella laadittu empiirinen suuntakenttä (ks. *H r a d e t z k y* 1972).

Figure 5. Empirical three-dimensional model constructed on the basis of age, dominant height and the dominant height increment (cf. *H r a d e t z k y* 1972).

ta. Suuntakenttä perustuu iän (T), valtapituuden (H_{dom}) ja valtapituuden kasvun (ΔH_{dom}) arvoihin. Valtapituuden kasvu aikayksikköä kohden on seuraava:

$$\frac{\Delta H_{dom}}{\Delta T} = \operatorname{tg} \alpha, \alpha = \text{nousukulma}$$

Jos yhdistetään ne havainnot (ks. kuva 5), jotka kuuluvat esim. samaan boniteettiluokkaan, päästään jatkuvaan kehityskäyrään. Vastaavia jatkuvia pituuskehityskäyriä on esitetty kuvassa 4. Valtapituuden kasvu aikayksikköä kohden kuvaa jatkuvan käyrän (tangentin) suuntaa tietyllä hetkellä. Tämä keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu tietyllä hetkellä (T_0) voidaan myös ilmaista pituus-ikäfunktion ensimmäisenä derivaattana:

$$H'_{dom} = \frac{dH_{dom}(T)}{dT} = f(T), T \in (0, \infty) \text{ iän vaihtelualue}$$

Sen iänmukainen vaihtelu käy ilmi kuvasta 4. Kun tunnetaan valtapituuden kasvu kuvan 4 tapaan, saadaan valtapituus tietyllä hetkellä (T_0) kasvufunktion integraalina seuraavasti:

$$H_{dom}(T) = \int_0^{T_0} f(T) dT$$

Tämä merkitsee sitä, että pituuskehitys voidaan johtaa joko kasvufunktiosta integroimalla tai suoraan pituuskehitysfunktiolla. Kasvufunktion päästään puolestaan derivoimalla pituuskehitysfunktio.

Tässä tutkimuksessa pyritään korvaamaan aineiston koko empiirisen suuntakentän muodostama käyrästä tietyin edellytyksin teoreettisella käyrästä. Mallin ratkaisuun päästään pituuskasvun kautta seuraavanlaisella differentiaalifunktiolla (ks. kuva 4, $H'_{dom} = I_{H_{dom}}$):

$$I_{H_{dom}} = \frac{dH_{dom}(T)}{dT} = f(H_{dom}, T)$$

Toinen mahdollisuus on etsiä funktiomalli suoraan valtapituuden iänmukaiselle kehityskäyrästä (kuva 4). Funktio voidaan ilmaista seuraavalla tavalla:

$$H_{dom}(T) = F(T, C), C > 0$$

Jokaista boniteettikäyrää vastaa tietty parametrin C arvo.

32. Menetelmät ja mallit

Kehitettäessä pituusbonitointikäyrästä jö nykyisin käytetään yleensä numeerisia menetelmiä. Ne ovat objektiivisempia kuin graafiset menetelmät. Menetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään riippuen siitä, kehitetäänkö bonitointikäyrästä suoraan valtapituus-ikäfunktiolla tai epäsuorasti valtapituuden kasvufunktiolla. Viimeksi mainituksa tapauksessa käytetään selitettävänä muuttujana absoluuttista tai suhteellista valtapituuden kasvua ja selittävinä muuttujina valtapituutta ja ikää. Ensiksi mainittuun ryhmään kuuluvat menetelmät voidaan taas jakaa sen mukaan, onko malli sidottu aineiston tiettyihin pituusluokkiin vai ei (esim. 100 vuoden kokonaisuudella). Yleensä pidetään parametreja määrittäessä sitomattomia menetelmiä sidottuja parempina (esim. *S t r a n d* 1964). Menetelmät ovat kuitenkin paljolta riippuvaisia malleista ja niiden ominaisuudesta.

Kirjallisuudesta on löydettävissä monia malleja, jotka kuvaavat puiden pituuskehitystä iän mukaan. Tunnettuja ovat *B a c k m a n n i n* ja *M i t s c h e r l i c h i n*

funktiot sekä logistinen funktio. Ne kaikki antavat kuitenkin *Maternin* (1959) mukaan melkein samoja tuloksia tietyillä parametrien arvoilla. Monet eksponenttifunktiot ovat erikoistapauksia paljon käytetystä *Chapman-Richardin* funktiosta (*Richard* 1959, ks. *Sterba* 1974, s. 54—55), jota mm. *Hägglund* (1972, 1973 ja 1974) on käyttänyt ruotsalaisten bonitointikäyrästäöjen kehittämiseen. Tämän mallin etu on suuri joustavuus, mikä on myönteistä, jos perusaineisto on korkealaatuinen.

Perusaineiston muoto ja laatu ratkaisevat paljolta työmenetelmän ja funktiomallin. Tämän tutkimuksen aineisto koostuu kertakoealoista, ja pituuskasvutiedot ovat lyhyeltä jaksolta (5 v). Lyhyen jakson kasvuhavainnot eivät anna täyttä tukea pituuskehityskäyrien muodolle. ”Jäykkä” malli, joka pitää muotoa yllä, on tällaisessa tapauksessa edullisin. Aineiston ominaisuuksista johtuen on vaikeaa käyttää mallia, joka perustuu pelkkään valtapituuden ja iän väliseen riippuvuuteen. Sen tähden oli etsittävä toisia ratkaisumalleja.

Tämän tutkimuksen eri vaiheissa on käytetty kolmea eri mallia. Kaksi niistä on valtapituuden kasvufunktioita ja yksi valtapituuden kehitysfunktio. Malli 1 on *Hradetzky* (1972) esittämä ja mallit 2 ja 3 *Sloboda* (1971) kehittämiä. Malli 3 on integrointiratkaisu mallista 2, ja se on sidottu pituusluokkiin 100 vuoden iällä (ks. *Sloboda* 1971, s. 38, 64, 67). Parametrien tietyillä edellytyksillä, jotka on mainittu mallien yhteydessä, mallit ovat käyttökelpoisia bonitointikäyrien laadinnassa (ks. kappale 31.). Funktiomallit ovat seuraavat:

Malli 1.
Model 1.

$$I_{H_{dom}} = f(H_{dom}, T) = a \cdot T^b \cdot H_{dom}^c \cdot e^{(d \cdot H_{dom})}$$

$$a > 0, b < -1, c < 1, d > 1$$

Linearisessa muodossa ratkaistaan tavallisella regressioanalyysillä:

$$\ln(I_{H_{dom}}) = \ln(a) + b \cdot \ln(T) + c \cdot \ln(H_{dom}) + d \cdot H_{dom}$$

Malli 2.
Model 2.

$$I_{H_{dom}} = f(H_{dom}, T) = \frac{b \cdot H_{dom}}{T^a} \ln\left(\frac{d}{H_{dom}}\right)$$

Yleinen integrointiratkaisu mallista 2 on:

$$H_{dom}(T) = F(T, C) = d \cdot e^{\left[(-C) \cdot e^{(a-1) \cdot T^{a-1}}\right]},$$

$$T \in (0, \infty), C > 0$$

Silloin kun tässä integraalifunktiossa parametrit ovat $a-1 > 0$, $d > 0$, $b > 0$, täyttää differentiaalifunktio (malli 2) vaatimukset (1–3 kappaleessa 31.), jotka teoreettisen suuntakentän täytyy täyttää. Valmiiksi sidottu määrättyihin absoluuttisiin pituusboniteettiluokkiin 10 vuoden iällä on integraalifunktio:

Malli 3.
Model 3.

$$H_{dom}(T) = d \cdot \left[\frac{(H_{100})}{d} e^{\left(\frac{b_1}{T^{a-1}} - \frac{b_1}{100^{a-1}} \right)} \right]$$

Epälineaarisisa funktiomalleissa 2 ja 3 on parametrit määritettävä iterointimenetelmällä asteittain. *Sloboda* (1972, s. 49—54) on kehittänyt kaksi FORTRAN-ohjelmaa, joissa tämä tapahtuu pienimmän neliösumman periaatteella gradienttimenetelmän avulla (ks. *Stiefel* 1961). Mallia 3 käytettäessä vaaditaan joka havainnon osalta pituusboniteettiluokka 100 vuoden iällä (H_{100}) tunnetuksi (estimoiduksi) ennen iterointianalyysin suorittamista. Toisin sanoen täytyy havainnot pyrkiä ryhmittelemään H_{100} -luokkiin etukäteen.

33. Pituuskehitysyhtälöiden laadinta ja rakenne

Aluksi oli ratkaistava, olisiko mäntyaineisto jaettava kahteen osaan ja laadittava boniteettikäyrästäöt erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomelle. Kuusiaineiston osalta tämä ei ollut mahdollista, koska Pohjois-Suomesta

oli käytettävissä liian vähän havaintoja.

Mäntyaineiston analyysin tulokset, jotka saatiin malleja 1 ja 2 käyttäen, osoittivat, että männiköille voidaan laatia yhteiset rinnankorkeusikään perustuvat boniteetikäyrät. Ero Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä oli suurin pirtein samaa suuruusluokkaa kuin Hägglundin (1974, s. 15) laatimissa koko Ruotsia koskevissa boniteetikäyrästöissä (ks. myös Fries 1969). Samaan päätelmään tultiin tässä tutkimuksessa testaamalla parametrit (ks. Huang 1970, s. 102) alueellisilla yhtälöillä mallin 1 ja graafisesti mallin 2 avulla.

Vastaava testaus kokonaisuuden suhteen osoitti kuitenkin maan eri osien välillä olevan merkittävää eroa. Erot esiintyivät ensisijaisesti parhaimmilla boniteeteilla ($H_{100} = 30 - 27$ m), joilla Pohjois-Suomen käyrät jäivät Etelä-Suomen vastaavien käyrien alapuolelle. Pohjois-Suomen aineisto on kuitenkin tältä osin hyvin vähäinen. Aineisto jakaantuu siten, että Pohjois-Suomen havainnot keskittyvät kaikkein alimpiin (ks. kuvat 1a, b ja 2a, b) ja Etelä-Suomen aineisto ylimpiin boniteettiluokkiin samoin kuin Vuokila (1971) on aikaisemmin todennut. Siksi ei ole katsottu olevan estettä aineiston yhdistämiselle etenäkään, kun boniteettien kehittämisessä käyrät painottuvat oikealla tavalla osa-aineistojen mukaisesti.

Lopulliset valtapituuden kehitysyhtälöt tehtiin mallin 3 perusteella suoraan kokonaisuuden funktiona boniteettiluokittain ($H_{dom}(T) = F(H_{100}, T)$). Tämä päätös tehtiin sen vuoksi, että inventoinnin pystyvuiden pituuskasvumittaukset ovat mitä todennäköisimmin epävarmempia kuin pituutta koskevat havainnot (ks. myös Johnson 1980, s. 19). Sen lisäksi pituuskasvumallit 1

ja 2 eivät anna täysin loogisia tuloksia iän koko vaihtelualueella.

Integraalimalli 3 muodostaa teoreettisen pituuskäyrästäön, joka tasoittaa aineiston muodostaman empiirisen käyrästäön. Mallia käytettäessä vaaditaan, että havainnot ryhmitellään H_{100} -luokkiin etukäteen. H_{100} -arvot ennustettiin varttuneissa metsiköissä suoraan mitatun valtapituuden avulla. Nuorissa metsiköissä tämä tapahtui pääasiallisesti koealan metsätyypin perusteella. Tälöin käytettiin hyväksi sekä aineiston vanhoille metsiköille (ikä lähes 100 v) annettuja metsätyypeittäisiä keskimääräisiä valtapituusarvoja (-luokkia) että myös valtapituuden kehitystä koskevia tuloksia aiemmista kasvututkimuksista (esim. Nyysönen 1954, Vuokila 1956 ja 1967, M. ja Y. Ilvessalo 1975). Samaan H_{100} -luokkaan kuuluvat havainnot kuvaavat valtapituuden keskimääräistä kehitystä, joka siis vastaa likimain Hägglundin (1972) ja Veiten (1977a) runkoanalyysiin ja kestokokeisiin perustuvia valtapituuden kehityskäyriä.

Tutkimuksen tavoite on laatia yhtälöt, joilla voidaan ennustaa valtapituuden keskimääräinen kehitys. Hypoteesi, joka olennaisesti liittyy tehtävän aseteluun, on ollut, että iterointiajon (400 kierrosta) ja aineiston laajuutta (1069 ja 617 koealaa) voidaan pitää riittävänä tähän tarkoitukseen.

On oletettavaa, että käytetyllä aineistolla ei saada yhtä luotettavia H_{100} -estimaatteja tässä tapauksessa kuin esim. runkoanalyysipuiden muodostamasta aineistosta. Tämä epävarmuustekijä on tehnyt välttämättömäksi suorittaa testejä yhtälöiden luotettavuuden varmistamiseksi.

4. HAVUMETSİKÖIDEN VALTAPITUUDEN KEHITYKSEN ENNUSTAMINEN

41. Valtapituuden kehitysyhtälöt ja niiden luotettavuus

Valtapituuden kehitysyhtälöt on laadittu niin kuin edellisessä kappaleessa (33.) on esitetty, ja ne ovat seuraavat:

Malli 3: $H_{\text{dom}}(T) = F(H_{100}, T)$ ks. 32. sivulla 12.

Model 3: see 32. page 12.

Koko maa Parametrit valtapituuden kehitysyhtälöissä
Whole country

	Parameters in the function		
	d	a - 1	b ₁
Mänty — Pine			
Yhtälö 1. Function 1.	128,229	0,47692	4,70248
Kuusi — Spruce			
Yhtälö 2. Function 2.	147,481	0,29981	4,64631

Jos tiedetään metsikön boniteettiluokka (H_{100}), voidaan yhtälöiden 1 ja 2 avulla laskea metsikön tuleva valtapituuden iänmukainen kehitys. Rinnankorkeusikä ($T_{1,3}$) käyttäen saadaan pituuskehitys selville sijoittamalla yhtälöön kokonaisiän (T) paikalle $T_{1,3}$ lisättyä sillä vuosimäärällä ($t(1,3)$ m) ks. kuvat 8 ja 9), jonka valtapuut tarvitsevat saavuttaakseen rinnankorkeuden eri boniteettiluokissa ($T = T_{1,3} + t(1,3)$ m)). Liitteissä (1 ja 2) on esitetty taulukot rinnankorkeusien perusteella muodostettujen boniteettiluokkien raja-arvoista ja kokonaisikäen perustuvien luokkien valtapituuskehityksen keskiarvoista. Pyrittäessä tarkimpaan bonitointiin valtapituuden ja rinnankorkeusien ($T_{1,3}$) avulla käytetään liitteessä (1) olevia taulukoita. Muussa tapauksessa käytetään esitettyjä boniteettikäyrästäjä (kuvat 8 ja 9).

Yhtälöt 1 ja 2 antavat tilaisuuden käyttää myös kokonaisikäen bonitoitaessa. Silloin saadaan boniteettiluokat määritetyiksi seuraavista yhtälöistä:

Mänty — Pine

$$H_{100} = 128,229 \cdot \exp \left[\frac{\ln(H_{\text{dom}}) - \ln 128,229}{\exp \left(\frac{4,70248}{T^{0,47692}} - \frac{4,70248}{100^{0,47692}} \right)} \right]$$

Kuusi — Spruce

$$H_{100} = 147,481 \cdot \exp \left[\frac{\ln(H_{\text{dom}}) - \ln 147,481}{\exp \left(\frac{4,64631}{T^{0,29981}} - \frac{4,64631}{100^{0,29981}} \right)} \right]$$

Määritettäessä karkeasti metsikön keskimääräistä vuotuista valtapituuskasvua voidaan käyttää seuraavia yhtälöitä, jotka on saatu derivoimalla pääyhtälöt 1 ja 2:

Koko maa

Whole country

Mänty — Pine

Yhtälö 3. — Function 3.

$$I_{H_{\text{dom}}} = H_{\text{dom}} \cdot \ln \left(\frac{H_{100}}{128,229} \right) \cdot \exp \left(\frac{4,70248}{T^{0,47692}} - \frac{4,70248}{100^{0,47692}} \right) \cdot \left(\frac{-2,24269}{T^{1,47692}} \right)$$

Kuusi — Spruce

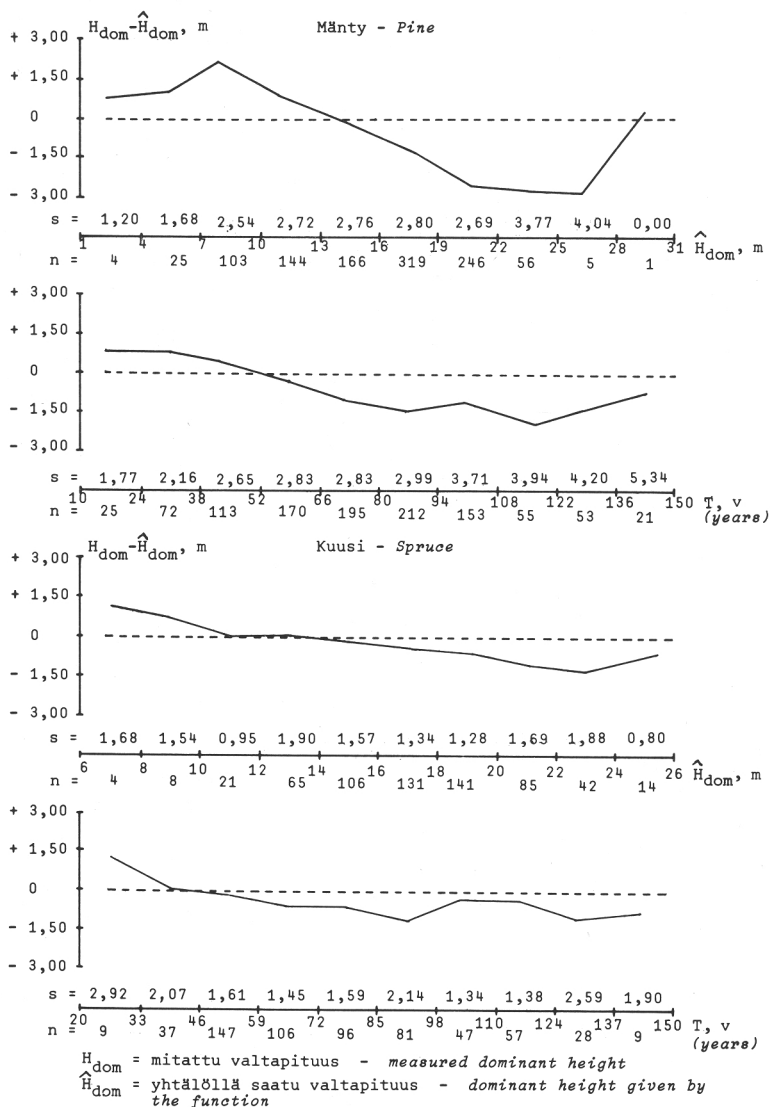
Yhtälö 4. — Function 4.

$$I_{H_{\text{dom}}} = H_{\text{dom}} \cdot \ln \left(\frac{H_{100}}{147,481} \right) \cdot \exp \left(\frac{4,64631}{T^{0,29981}} - \frac{4,64631}{100^{0,29981}} \right) \cdot \left(\frac{-1,39299}{T^{1,29981}} \right)$$

Kasvuyhtälöt 3 ja 4 on myös taulukoitu liitteeseen 3. Niiden käyttö edellyttää, että ko. metsikön pituusboniteetti on ensin arvioitu jollakin edellä esitettyistä tavoista.

Pääyhtälöiden (1 ja 2) luotettavuus on riippuvainen monista tekijöistä. Jos yhtälöt testataan vain perusaineistolla, saadaan selville, kuinka funktiomalli soveltuu tähän empiriiseen aineistoon. Tämä testi ei ilmaise, kuinka luotettavia yhtälöt ovat käytännössä.

Koska iterointimenetelmä ei anna mahdollisuutta yhtälöiden parametrien luotettavuustestiin (t -arvo), käytettiin yhtälön virhehajonnan khi-testiä sen seikan selvittämiseksi, noudattavatko poikkeamat kuvassa 6 likimain normaalijakaumaa. Vaikka testitulokset osoittivat, että poikkeamat noudattavat likimain normaalijakaumaa, ei niille voida antaa kovin suurta merkitystä.



Kuva 6. Mitattujen ja kehitysyhtälöillä 1 ja 2 laskettujen valtapituuksien keskimääräiset erot iän ja lasketun valtapituuden mukaan.
 Figure 6. Average residuals within age and calculated height for dominant height-development function 1 and 2.

Kuvasta 6 nähdään kuitenkin, että yhtälöt aliarvioivat nuorten ja yliarvioivat vanhojen metsiköiden valtapituuksia. Männiköissä yliarviointi on selvempi ja valtapituuksien poikkeamien hajonta suurempi kuin kuusikoissa. Yhtenä syynä yliarviointiin saattaa olla se, että vanhoille metsiköille on määritetty liian suuria H_{100} -arvoja (ks. kappale 33.).

Suuri hajonta ja yli- ja aliarviointi johtuvat todennäköisesti pääasiallisesti siitä, että

aineistoa ei pystytty täysin lajittelemaan oikeisiin H_{100} -luokkiin ennen iterointiajaoja. Sitä, kuinka paljon tämä merkitsee lopullisissa valtapituuden kehityskäyriässä, tutkittiin testaamalla yhtälöiden parametrien pysyvyyttä. Tällöin pyrittiin saamaan selville, mitkä parametrien arvot olisivat olleet, jos kaikki havainnot olisi onnistuttu sijoittamaan oikeisiin boniteetti- luokkiin ennen analyysin suorittamista. Siksi tehtiin H_{100} -arvojen uusia määrittämiä nojautuen osittain en-

simmäisen iterointiajon residuaalituloksiin. Pyrittiin siihen, että kaikkien havaintojen funktioilla laskettujen ja mitattujen valtapituusarvojen erotukset pysyisivät yhden boniteettiluokan sisällä. Tämä merkitsee esim. sitä, että 100 vuoden kokonaisiällä poikkeamat ovat alle $\pm 1,5$ m. Boniteettiluokkien raja-arvot lähenevät kuitenkin toisiaan iän vähentyessä, ja eroa on n. $\pm 0,5$ m keskiarvosta 20 vuoden iässä.

Neljästä peräkkäisestä iterointiajosta saatiin seuraavat tulokset (ensimmäisen ajon tulokset suluissa) yhtälöiden parametrien osalta:

Yhtälö 1 <i>Function 1</i>	Yhtälö 2 <i>Function 2</i>
*)	
a-1 = 0,43131 (0,47692)	a-1 = 0,19824 (0,29981)
b ₁ = 4,65492 (4,70248)	b ₁ = 4,57298 (4,64631)
c = 1,13192 (1,16276)	c = 1,19655 (1,19627)
d=65° = 112,740 (128,229)	d=65° = 147,656 (147,481)

*) parameters after four consecutive non-linear regression test analyses — (parameters in function 1 and 2)

Testiajojen yhtälöiden antamat poikkeamat ja hajonnat käyvät ilmi kuvasta 7.

Vaikka voidaan väittää, ettei testimenettelmä ole teoreettisesti täysin objektiivinen, se on aineiston laadun huomioon ottaen hyväksyttävä kriteeri.

Tulokset osoittavat suhteellisen pieniä muutoksia yhtälöiden parametreissa. Valtapituuden kehitysestimaattien erot ovat vain 0,10—0,15 m, millä ei ole käytännöllistä merkitystä. Valtapituuden ja iän välinen riippuvuus ja se, että malli on sidottu määrättyihin valtapituuksiin 100 vuoden iällä, ratkaisevat loppujen lopuksi käyrien kulun.

Yhtälöt 3 ja 4, joita ei varsinaisesti ole sovitettu aineistoon, antavat tästä syystä valtapituuskasvun osalta edellistä epävarmempia tuloksia. Yhtälöt lievästi aliarvioivat pieniä ja yliarvioivat suuria pituuskasvuja. Aliarviointia tapahtuu etenkin huoimissa boniteettiluokissa (alle 15 m) ja vanhoissa metsiköissä. Koska kasvu on kehitysyhtälön derivaattafunktio, se ilmaisee boniteettikäyrien kulkua yleensä, ja aliarviointi katoaa, jos esim. käyrät nousevat vanhalla iällä jyrkemmin. Tämä ei ole loogista, jos vertailukohteena ovat aikaisempien tutkimuksien tulokset. Kasvutiedot ovat

kuitenkin niin epävarmoja, ettei ole perusteltua tehdä pääyhtälöihin nähden pitkälle meneviä johtopäätöksiä tältä pohjalta.

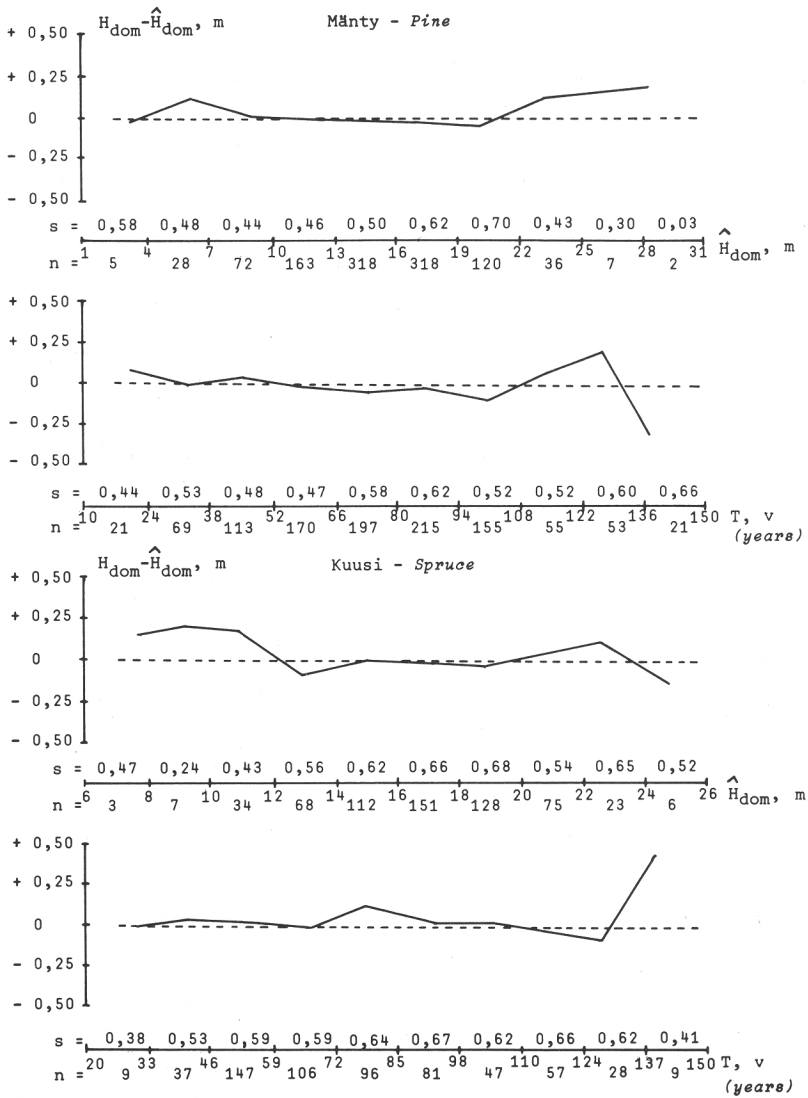
Virhemahdollisuudet löytyvät perusaineistosta, funktiomallista ja laskentamenetelmästä. Valtapituuden kehitysyhtälöt ovat voimakkaasti riippuvaisia ikätunnuksista ja niiden määrittämisestä aineistossa. On kuitenkin hyvin vaikea osoittaa systemaattisia virheitä. Ne vaikuttavat kuitenkin tässä laskentamenetelmässä silloin, kun laaditaan boniteettikäyrät. Jos taas on kysymys vain satunnaisista virheistä, ne tasoittuvat huomattavasti näinkin suuressa aineistossa.

42. Valtapuiden kehitys rinnankorkeuteen

Tämän tutkimuksen päätavoite on kehittää valtapituusboniteettikäyrät, joilla metsiköt luokitellaan rinnankorkeusien ja valtapituuden avulla. Käytännössä on helpompaa määrittää tarkasti metsikön rinnankorkeusikä (vuosilustojen määrä rinnankorkeudella) kuin kokonaisikä. Talousmetsissä on rinnankorkeusien käyttö perusteltu muistakin syistä. Boniteettikäyrät on kuitenkin syytä sitoa valtapituuteen 100 v:n kokonaisiällä. Näin on menetelty myös H ä g g l u n d i n (1972, 1973, 1974) tutkimuksissa. Luokituksen soveltamiseksi on käytännössä usein välttämätöntä tuntea se vuosimäärä, joka tarvitaan eri boniteettiluokissa rinnankorkeuden saavuttamiseen.

Koska perusaineisto jakaantuu Pohjois- ja Etelä-Suomessa eri boniteettiluokkiin aikaisemmin esitetyissä suhteissa (kuvat 1a, b ja 2a, b), on selvää, että Pohjois-Suomen aineisto painaa enemmän alemmissa luokissa ja Etelä-Suomen enemmän ylemmissä luokissa arvioitaessa rinnankorkeuden saavuttamisaikaa. Aineisto on vuosilta 1951—53, jolloin talousmetsät olivat lähes yksinomaaisesti luontaisesti syntyneitä, mikä täytyy ottaa huomioon määritettäessä rinnankorkeuden saavuttamiseen kulunutta aikaa. Nämä arvot on annettu boniteettikäyrien yhteydessä (ks. kuvat 8 ja 9), ja ne ovat kahden eri laskutavan antamia keskiarvoja.

Toinen laskutapa perustui esitettyihin kehitysyhtälöihin siten, että niiden avulla todettiin, millä iällä pituus oli 1,3 m. Tämä tulos tarkistettiin siten, että laskettiin vastaavat keskiarvot sekä männylle että kuuselle.



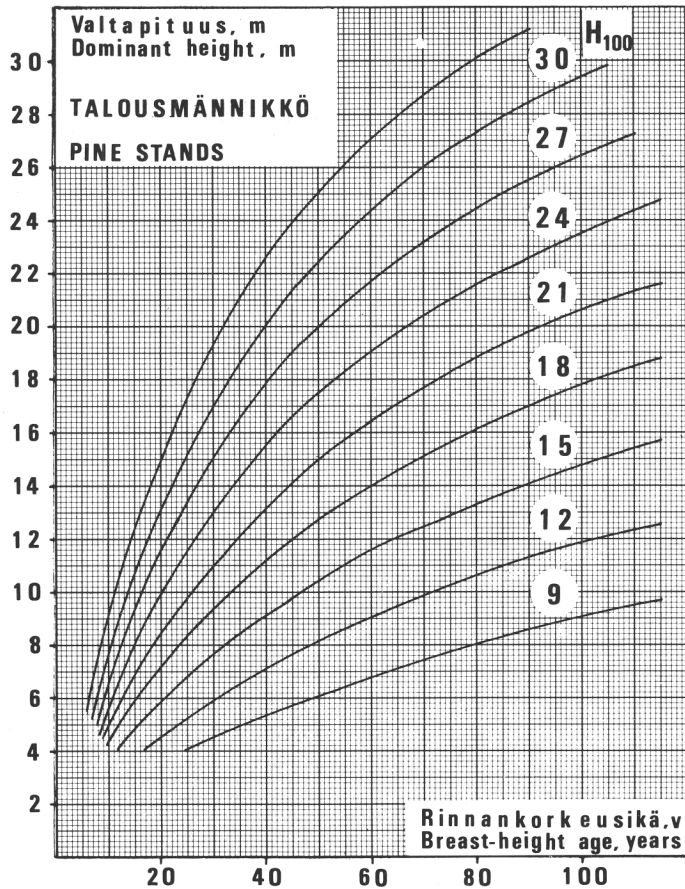
Kuva 7. Mitattujen ja neljän peräkkäisen testi-iterointiajon yhtälöillä laskettujen valtapituuksien keskimääräiset erot iän ja lasketun valtapituuden mukaan. (ks. teksti).

Figure 7. Average residuals within age and calculated height groups for dominant height-development functions from four consecutive non-linear regression test analyses (cf. the text).

le pituusboniteetti luokittain seitsemännen inventoinnin ohjeiden antamien lukujen mukaan. Perustana tälle laskelmalle oli se valtapituusbonitointiluokka, johon kukin koalametsikkö oli luokiteltu iterointiajon yhteydessä.

Tähän menetelmään päädyttiin siksi, että varmoja tutkimustuloksia ei ole käytettävissä. Kuitenkin on katsottu olevan mahdollista nojautua muutamiin varhempain tulok-

siin, joita esim. Hägglund (1972, 1973 ja 1974), Räsänen ym. (1979), Vuokila (1967) ja Vuokila ja Väliäho (1980) ovat julkaisseet. Hägglund (mt.) päätteli, että luontaisesti syntyneiden metsiköiden ja viljelymetsiköiden välillä on t (1,3 m):n arvoissa eroa vain pari vuotta. Tämä on Vuokilan ja Väliähön (1980, s. 25) antamien arvojen kanssa viljelymetsiköiden osalta



H_{100}	30	27	24	21	18	15	12	9
$t(1.3m)$	9	10	11	12	14	17	19	23

$t(1.3m)$ = rinnankorkeuden saavuttamiseen kulunut aika, v - time required to reach the breast height, years

Kuva 8. Luontaisesti syntyneiden männiköiden pituusboniteetti-tiluokat.

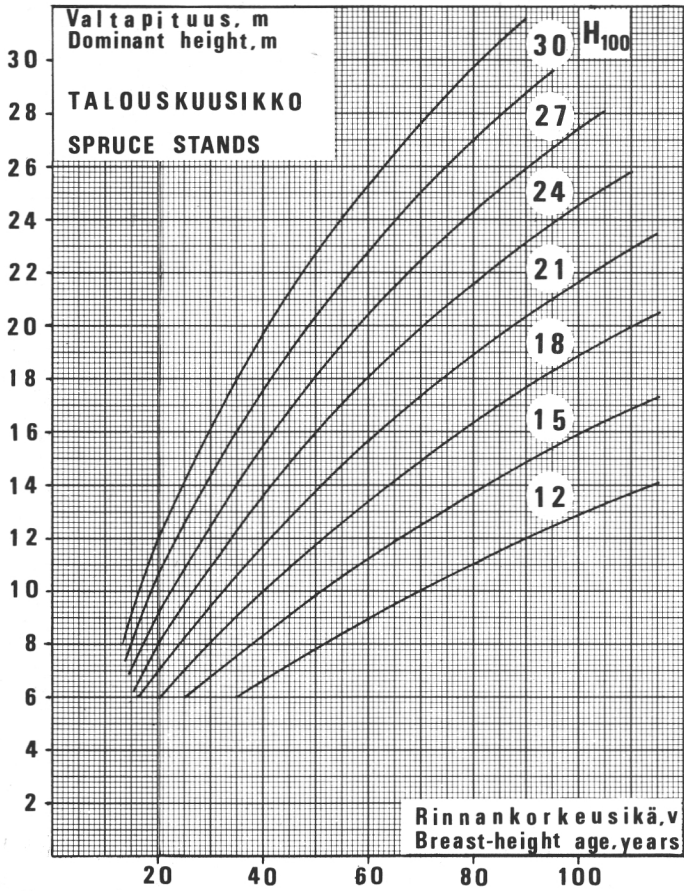
Figure 8. Site index classes for natural pine stands based on dominant height over breast-height age.

yhtäpitävä.

Tämän tutkimuksen luvut $t(1,3 m)$ ovat tietenkin vähän korkeampia kuin Hägglundin (mt.) esittämät arvot. Myös Räsänen ym. (1979, s. 7) arvot, jotka ovat valtakunnallisen taimitoimentoinnin tutkimustuloksia, tukevat tätä käsitystä.

On syytä kuitenkin korostaa, että varhaiskehityksen tarkentaminen vaatii lisätutkimuksia. Hägglund (mt.) toteaa näiden arvojen vaikuttavan olennaisesti lopputulokseen. Nuorissa metsiköissä jo muu-

taman vuoden ikäero vaikuttaa voimakkaasti bonitointitulokseen. Tämä on eräs tärkeimmistä syistä, joiden vuoksi alle 15–30 vuoden rinnankorkeusiällä pituuden avulla tapahtuva luokittelu voi olla epäluotettavaa (ks. Hägglund 1977, s. 425, Veite 1977, s. 70–71 ja Vuokila 1980, s. 25). Metsikön varhaisiällä Hägglundin (1979) pituuskasvuun perustuva menetelmä on paras käytettävissä oleva kaavio pituusboniteetin arvioimiseen.



H_{100}	30	27	24	21	18	15	12
$t(1.3m)$	11	12	13	15	17	20	23

$t(1.3m)$ = rinnankorkeuden saavuttamiseen kulunut aika, v - time required to reach the breast height, years

Kuva 9. Luontaisesti syntyneiden kuusikoiden pituusboniteettiluokat.
 Figure 9. Site index classes for natural spruce stands based on dominant height over breast-height age.

5. TALOUSMETSIEN VALTAPITUUSBONITEETIT

51. Valtakunnalliset valtapituusboniteetit

Tämän tutkimuksen aineiston perusteella laaditut valtakunnalliset pituusboniteetikäyrästöt suomalaisille talousmänniköille ja kuusikoille käyvät ilmi kuvista 8 ja 9. Käyrästöt on ensisijaisesti tarkoitettu luontaisesti syntyneiden metsiköiden bonitointiin. Vuokilan ja Väliahon (1980) esittämien viljelymetsiköiden käyrästöjen ohella nämä ovat ensimmäiset kotimaisiin aineistoihin perustuvat bonitointikäyrät. Nyt esitettävä luokitus korvaa aiemmat Hägglundin (1972, 1974) tuloksiin perustuvat, Vuokilan (1980) Suomen oloihin muuntamat bonitointikäyrät.

Käyrästöt on muodostettu valtapituuden kehitysyhtälöiden avulla (yhtälö 1 ja 2, s. 14). Ne perustuvat biologiseen eli kokonaisikään. Pituusboniteetin indeksiluku (H_{100}) kuvissa 8 ja 9 ilmaisee puuston saavuttaman keskimääräisen valtapituuden 100 vuoden biologisella iällä. Kuitenkin käyrästöt on esitetty kuvissa rinnankorkeusiän funktiona. Jokaisen pituusboniteetiluokan osalta on kuitenkin esitetty myös aika ($t(1,3 m)$), jonka valtapuut eri boniteeteilla tarvitsevat rinnankorkeuden saavuttamiseen.

Kokonaisiällä 100 vuotta pituusboniteetin luokkalaajuus on 3 m. Tämä ei kuitenkaan ilmene suoraan kuvissa olevista rinnankorkeuskäyrästä perustuvista käyrästä. Esim. luokkaan $H_{100} = 30$ m kuuluvat metsiköt, jotka saavuttavat 100 vuoden kokonaisiällä 28,5—31,5 m:n, luokkaan $H_{100} = 27$ m 28,5—25,5 m:n jne. valtapituuden. Käytännön luokittelussa tietyn metsikön boniteettiindeksi (H_{100}) saadaan niiden käyrien rajoittamalta alueelta, joiden väliin metsikön valtapituus rinnankorkeusiän mukaan sijoittuu.

Rajatapauksien tarkistamiseen kannattaa käyttää liitteessä (1) esitettäviä taulukoita. Näitä taulukoita on syytä käyttää myös rinnankorkeusiän ollessa alle 30 vuotta, koska luokat ovat tuossa vaiheessa kapeita.

Kuvissa 8 ja 9 esitetyt käyrät eivät sovellu

suoraan bonitointiin kokonaisiän perusteella siksi, että yleensä ei tiedetä etukäteen boniteetista itsestään riippuvaa vähennettävää vuosimäärää ($t(1,3 m)$).

52. Tulosten testaus ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Vaikka laadituissa pituuskehityskäyrissä ei ole voitu osoittaa selviä systemaattisia virheitä testattaessa niitä omaan laskenta-aineistoonsa, ei ole varmuutta siitä, että esitetyt käyrät yleisesti käytettyinä olisivat systemaattisesti virheettömiä. Ongelmana on ollut löytää tilanteeseen sopiva testiaineisto, joka vastaisi niitä olosuhteita, joissa käyriä on ajateltu soveltaa käytäntöön.

Verrattaessa nyt saatuja tuloksia aikaisemmin kehitettyihin boniteetikäyrästöihin on ongelma sama. Useimmat niistä on nimittäin kehitetty aineistoista, jotka muodostuvat viljelymetsiköistä tai tasaikäisistä, hoidetuista luontaisesti syntyneistä metsiköistä. Nämä edustavat tarkkaan ottaen toista populaatiota kuin käsillä oleva aineisto. Pituusboniteettijärjestelmän yhtenä heikkoutena on se, että eri puulajien boniteettiindeksilukuja ei voida suoraan verrata toisiinsa. Sama pitää paikkansa myös silloin, kun verrataan esimerkiksi luontaisesti syntyneitä metsiköitä viljelymetsiköihin. Saatuja tuloksia on kuitenkin verrattu kuvassa 10 Hägglundin (1972, 1974) käyrästöihin, jotka perustuvat hoidettuihin, luontaisesti syntyneisiin metsiköihin. Nämä ruotsalaiset käyrästöt Vuokila (1980) on muuntanut Suomen olosuhteisiin soveltuviin 3 m:n luokkiin. Talousmetsien käyrät ovat jyrkemmin nousevia kuin ruotsalaiset rinnankorkeusiän ollessa parhaimmilla boniteeteilla yli 100 vuotta. Osasyynä eroon voi olla esim. käytettyjen mallien erilaisuus.

Tyypillinen ilmiö on, että Hägglundilla (1972, 1974) ero parhaan ja huonoimman boniteetikäyrän välillä on suurempi kuin talousmetsille nyt esitetyillä

käyrillä. M. ja Y. Ilvessalon (1975) eri metsätyyppien luonnnonnormaalien metsiköiden pituusero valtapituuden ollessa n. 5—6 m tukee talousmetsien suppeampaa pituusvaihtelua.

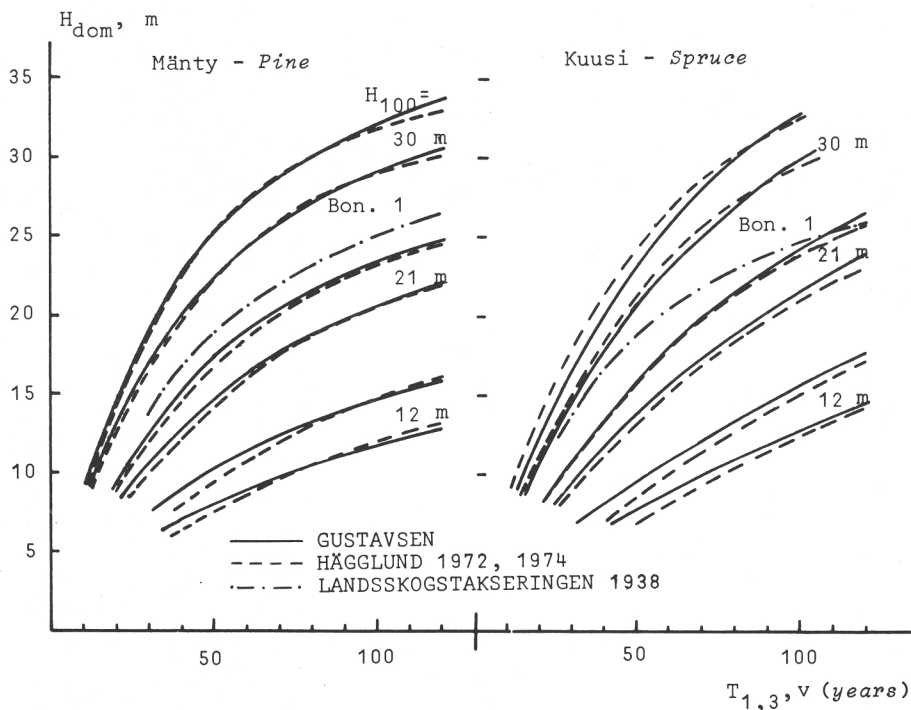
Nyt laaditut ja Hägglundin esittämät männiköiden bonitointikäyrät vastaavat erityisesti 21 m:n ja sitä korkeammilla boniteeteilla toisiaan. Talousmetsien käyrät ovat hiukan ylempänä tätä huonommilla boniteeteilla nuorissa metsiköissä. Kuusen käyrästöissä ovat erot yleensä suurempia erityisesti kaikkein parhaimmilla ($H_{100} = 30-27$ m) ja kaikkein huonoimmilla boniteeteilla (12—9 m). Hägglundin (1972, 1974) käyrästo on Pohjois-Ruotsia varten kehitetty, ja sen aineisto on vajavainen parhaimmilla boniteeteilla. Hänen vastaavat käyränsä Etelä-Ruotsia varten sijoituvat hiukan Pohjois-Ruotsin käyrien alapuolelle boniteeteilla 30 m ja 27 m. Kuitenkin täytyy ottaa huomioon, että erot käyrien välillä voivat johtua myös siitä, että rinnankorkeuden (1,3 m) saavuttamiseen tarvittavalle ajalle on käytetty eri vuosimääriä.

Käyrien kulusta saadaan käsitys myös vertaamalla valtapituuden kasvuyhtälöitä (3 ja 4, s. 14) Hägglundin (1972, 1974) vastaaviin kasvuyhtälöihin. Seuraavasta asetelmasta ilmenee pituuskasvun kulminaatioikä sekä biologisena (T) että rinnankorkeusikä (T_{1,3}) muutamilla boniteeteilla.

H ₁₀₀	Gustavsen		Hägglund 1972, 1974	
	Mänty	Kuusi	Mänty	Kuusi
	T (T _{1,3}), v (years)			
28 m	14 (4)	20 (6)	12 (4)	12 (3)
20 m	19 (6)	27 (10)	16 (7)	28 (17)
12 m	24 (7)	41 (16)	35 (16)	53 (36)

Arvoilla on ensisijaisesti teoreettista merkitystä, ja kasvuyhtälöt ovat vain karkeaa metsikön pituuskasvuestimointia varten.

Asetelmasta näkyy, että tulokset sopivat melko hyvin yhteen parhaimmilla boniteeteilla, mutta ovat jonkin verran ristiriitaisia huonoimmilla boniteeteilla. Kasvutaso, jolla kulminointi tapahtuu, on suurin piirtein sama, mutta vanhoissa metsiköissä parhaila boniteeteilla on talousmetsien puiden pituuskasvu hiukan parempi, mikä myös ilmenee käyrien noususta kuvassa 10.

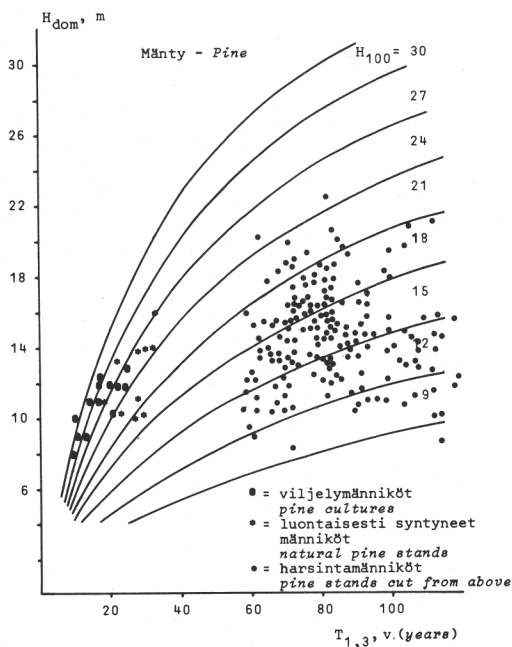


Kuva 10. Talousmetsien pituusboniteetit verrattuna ruotsalaisiin ja norjalaisiin boniteetikäyrästöihin.

Figure 10. Site index classes compared with some Swedish and Norwegian curves.

Oli välttämätöntä varmistua siitä, etteivät koemetsiköissä mahdollisesti suoritettavat harsintahakkuut ole vaikuttaneet valtapituuskäyrien kulkuun. Kuvassa 10 on norjalaisen boniteettitaulukon parhaimman boniteetin alaraja (Landskogstakseringen 1938). Tämä perustuu vastaavanlaiseen aineistoon kuin tässä tutkimuksessa, ja sitä käytetään myös harsintametsiköitä bonitoitaessa. Kuvasta nähdään, että paras norjalainen boniteetti on varsinkin vanhoissa kuusikoissa hyvin matalalla tasolla. Mäntymetsikön osalta tämän tutkimuksen käyrien muoto vastaa hyvin norjalaisia tuloksia. Harsinta vaikuttaa siis enemmän kuusikoiden valtapituuteen, joissa puuston ikä- ja pituushajonta on suurempi kuin männiköissä.

Harsintailmiötä tarkastellaan myös kuvissa 11 ja 12. Valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin aineistosta poimittiin harsituksi luokiteltuja ja luokiteltiin ne talousmetsien pituusboniteetikäyrästä avulla. Metsätyypit ovat samat kuin laskenta-aineistossa. Harsittujen metsiköiden sijoittu-



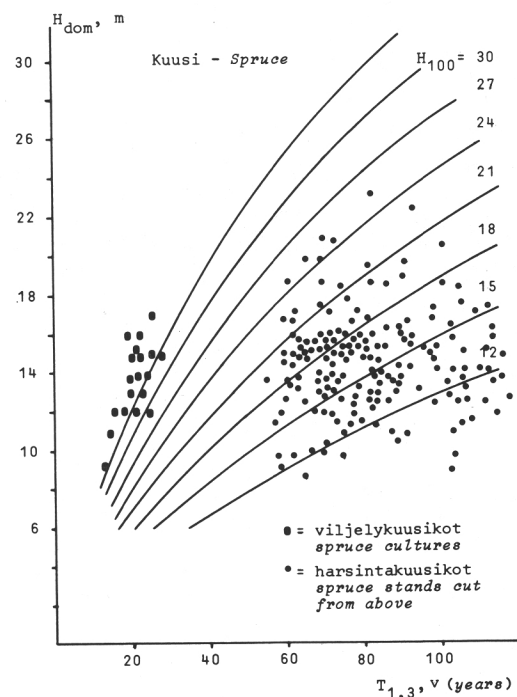
Kuva 11. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin harsintamänniköiden ja eräiden Vuokilan (1972) aineiston nuorten männiköiden boniteettiluokat talousmetsien käyrästäön mukaan.

Figure 11. Site indices for pine stands cut from above and some young stands (Vuokila 1972).

minen pituusboniteettiasteikon alimpaan osaan osoittaa, että perusaineistossa tulee ennen muuta näkyviin alaharvennustyyppien metsänkäsittely.

Kuvissa on myös bonitoitu muutamia Vuokilan (1972) taimistoaineistosta satunnaisesti valittuja viljely- ja luontaisesti syntyneitä metsiköitä. Männiköt kasaantuvat kolmeen korkeimpaan bonitoitiluokkaan, mutta erot eivät ole suuria viljely- ja luontaisesti syntyneiden metsiköiden välillä. Kuvasta 12 nähdään, että nuoret viljelykuusikot kasaantuvat yli 30 m:n luokan yläpuolelle. Vuokilan ja Väliahon (1980) uudet viljelykuusikoiden bonitoitinkäyrät asetuvat parhailla boniteeteilla hieinan talousmetsien käyrien yläpuolelle. Viljelykuusikot ja luontaisesti syntyneet kuusikot on tämän vuoksi parasta bonitoida eri käyrästäjää käyttäen.

Vuokilan ja Väliahon (1980) viljelymänniköiden käyrät kulkevat parhaimmilla boniteeteilla likimain samoin kuin tässä esitetyt. Boniteeteilla 30 m viljelymän-



Kuva 12. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin harsintakuusikoiden ja eräiden Vuokilan (1972) aineiston nuorten kuusikoiden boniteettiluokat talousmetsien käyrästäön mukaan.

Figure 12. Site indices for spruce stands cut from above and some young stands (Vuokila 1972).

Taulukko 2. Talousmetsien aineiston antamat pituusboniteetti luokkien vastinmetsätyypit (C a j a n d e r 1909).

Table 2. The approximate place of various forest site types (C a j a n d e r 1909) in the material in the height-ovrage site classification system.

Alue Area	H ₁₀₀ , m Mänty — Pine							
	30	27	24	21	18	15	12	9
Etelä-Suomi South Finland	OMT	OMT-, MT+	MT, VT+	VT	CT	CT-	CIT	CIT-
Pohjois-Pohjanmaa- Kainuu Middle Finland			MT+MT, VMT+	VMT, VT,	EVT-, EMT,	ErCIT, CIT+	CIT	
Perä-Pohjola North Finland				MT, EVT+	EVT, HMT,	EMT-, ErCIT	CIT	EMT+
H ₁₀₀ , m Kuusi — Spruce								
	30	27	24	21	18	15	12	9
Etelä-Suomi		OMaT, OMT+	PyT, OMT	MT	VT			
Pohjois-Pohjanmaa- Kainuu				MT+	MT	VMT, EVT		
Perä-Pohjola					MT+	MT, HMT	HMT-	

niköiden käyrät ovat hieman alempana, mutta erot ovat hyvin pieniä.

Esitetyt käyrästä ovat siinä mielessä alustavia, että niitä on tarkoitus testata jatkuvasti lähivuosina. Talousmetsiköiden uusien kestokoalojen aineistot tulevat antamaan mahdollisuuden käyrästäjien jatkotestaukseen.

53. Pituusboniteetit ja metsätyypit

Vertailtaessa valtapituuden kehityskäyriä eri metsätyyppien keskimääräisiin valtapituuksiin on muistettava, että ne ovat kahden erilaisen tasotusmenetelmän tuloksia. Pituusboniteetti luokat on teknisesti sidottu pituuteen määrättyllä iällä. Metsätyyppien keskimääräiskäyrät eivät ole vastaavasti sidottuja, minkä vuoksi ne eivät sovellu sellaisinaan valtapituuden mukaiseen boniteetti luokitteluun. Eri metsätyyppien valtapituuden kehityskäyrät voivat myös leikata toisensa, minkä vuoksi tällainen luokittelusysteemi ei tule yksiselitteiseksi (ks. M. ja Y. Ilvessalo 1975, Martinmaa 1979).

Ilvessalon (m.) luonnonnormaaleille metsiköille esittämät valtapituuskäy-

rät eivät nouse yhtä jyrkästi kuin tämän tutkimuksen käyrät metsikön iän ollessa yli 100 vuotta. Nyysösen (1954) ja Vuokilan (1967) harvennushakkuun käsiteltyjen männiköiden valtapituuksiin verrattuna yhdenmukaisuus on parempi. Tämä on luonnollista, koska viimeksi mainittujen tutkimusten metsiköt vastaavat käsitteilyltään lähinnä tämän tutkimuksen aineistoa.

Vaikka Suomessa on jo kehitetty käytännön luokittelusysteemi metsätyyppien avulla, on hyödyllistä täydentää metsätyyppi luokitusta valtapituusboniteeteilla. Taulukossa 2 on esitetty metsätyyppien ja valtapituusboniteettien keskinäinen rinnastus tämän tutkimuksen aineiston perusteella.

Nämä tulokset poikkeavat vain vähän vastaavasta Vuokilan ja Väliahon (1980) viljelymetsiköiden pituusboniteetteja koskevasta vertailusta. Yleensä metsätyypit sijoittuvat tässä tutkimuksessa hiukan alemmaksi boniteettiasteikolla kuin em. tutkimuksessa. Esim. metsätyyppi HMT sijoittuu Pohjois-Suomen osalta alempaan luokkaan talousmetsien aineiston mukaan. Samaan tulokseen päätyivät myös Sepponen, Lähde ja Roiko-Jokela (1979) Perä-Pohjolan osalta. Heidän tulok-

hajonta on keskimäärin suuri ($s = n. 2 \text{ m}$). Tämän tutkimuksen aineistossa on hajonta

vielä suurempi ($s = n. 3\text{--}4 \text{ m}$), ja se on kuusikossa suurempi kuin männikössä.

6. PITUUSBONITEETTIEN SOVELTAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

Kuvissa 8 ja 9 esitetyt pituusboniteettikäyrät, on tarkoitettu talousmetsiköiden luokitteluun metsikön valtapituuden ja rinnankorkeusian avulla. Esim. männikkö, jonka valtapituus on 18 m ja rinnankorkeusikä 60 vuotta, kuuluu valtapituusboniteettiluokkaan $H_{100} = 21 \text{ m}$. Käyrät osoittavat valtapituuden kehityksen *rinnankorkeusian* mukaan. Nämä on kuitenkin laadittu *kokonaisikään* perustuvilla yhtälöillä (1 ja 2 s. 14). Käyrät on sidottu tiettyihin valtapituuksiin 100 vuoden kokonaisuudella. Arvot ovat indeksejä, jotka ilmaisevat valtapituusboniteetin 3 m:n laajuisia luokkia käyttäen (H_{100}).

Käyrien yhteydessä on myös mainittu vuosimäärät, jotka valtapuut tarvitsevat saavuttaakseen eri boniteettiluokissa rinnankorkeuden ($t(1,3 \text{ m})$). Valtapituudella (H_{dom}) tarkoitetaan metsikön 100:n paksuimman puun aritmeettista keskipituutta hehtaaria kohden. Rinnankorkeusikä ($T_{1,3}$) on näiden puiden aritmeettinen keski-ikä.

Käyrät ilmaisevat eri boniteettiluokkien raja-arvoja ($H_{100} = 31,5, 28,5, 25,5 \text{ m}, \dots$). Esim. $H_{100} = 27 \text{ m}$ edustaa siis boniteettia käyrien 28,5 ja 25,5 välillä. Haluttaessa varmistaa rajatapaukset on syytä käyttää liitteessä olevaa taulukkoa 1, joka ilmaisee boniteettiluokkien raja-arvot rinnankorkeusian funktiona.

Käyrät kuvissa 8 ja 9 eivät anna suoraa mahdollisuutta metsikön bonitointiin kokonaisikää käyttäen, koska etukäteen ei tiedetä boniteettiluokkaa, eikä näin ollen myöskään rinnankorkeuden saavuttamiseen kuluvaa aikaa $t(1,3)$. Tässä tapauksessa voidaan käyttää yhtälöitä 1 ja 2 ja laskea tarkasti H_{100} sivulla 14 annettujen kaavojen mukaan. Liitteessä 2 on annettu valtapituusluokkien keskiarvot kokonaisuuden funktiona, ja liitetaulukossa 3 valtapuiden kasvuarvot.

Pituuskehitysyhtälöt antavat mahdollisuuden laskea joko kokonais- tai rinnankorkeusikään perustuvia valtapituuden arvoja niin pienissä luokissa kuin halutaan. Yhtälöissä täytyy käyttää rinnankorkeusikä ja $t(1,3 \text{ m})$ kokonaisuuden sijasta.

Pituusbonitoinnissa ilmenevät virheet voidaan jakaa systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin valtapituusboniteettikäyrästä, valtapituuden ja iän määrittelyssä (ks. Hägglund 1972, s. 195—201, 215—221).

Tässä kertahavaintoihin perustuvassa aineistossa on vain rajoitettuja mahdollisuuksia paljastaa varsinaisessa käyrästä olevia systemaattisia virheitä. Satunnaisia virheitä on melkein mahdotonta paljastaa omaa perusaineistoa testaamalla. Kehitysyhtälöiden testaus ei ole paljastanut kovin selviä suuria systemaattisia virheitä. Tulevaisuudessa käyrät tullaan testaamaan uusien kestokoelajien antamien aineistojen avulla. Laajaan ja vaihtelevaan aineistoon perustuvat käyrät on tarkoitettu kasvupaikkojen luokitteluun, eivätkä ne välttämättä sovellu yksittäisten metsiköiden pituuskehityksen arviointiin. Metsikön rinnankorkeusian ja valtapituuden määrittelyyn liittyviä virheitä voidaan käytännössä välttää annettujen ohjeiden avulla. Näissä ohjeissa selvitetään myös, millä tavalla ja missä rajoissa boniteettikäyriä, taulukoita ja yhtälöitä käytetään.

Toistaiseksi näitä käyriä voidaan käyttää koko maassa. Valtapituusbonitointi ei kuitenkaan ole käyttökelpoinen kaikissa metsiköissä. Sepponen ym. (1979) toteavat, että Pohjois-Suomessa pituusbonitoinnin käyttömahdollisuudet rajoittuvat tätä nykyä 30 %:iin pinta-alasta.

Pituusbonitoinnissa tulee täyttää seuraavat perusaineistoon ja teoreettisiin vaatimuksiin

perustuvat rajoitukset:

- bonitoinnin perustana olevien valtapuiden rinnan-
korkeusian vaihtelu ei saa olla liian suuri (20—
30 v)
- pääpuulajin osuuden metsikön tilavuudesta pitäisi
olla yli 60 %
- puustoa on käsitelty lähinnä alaharventaen
- ojitettuja ja lannoitettuja metsiköitä ei ole muka-
na aineistossa ja siksi niiden bonitointi voi antaa
harhauttavan tuloksen
- metsikön valtapituuden ja iän tulisi olla kuvissa
8 ja 9 annetuissa rajoissa sillä käyrien ekstrapo-
lointi voi johtaa systemaattisiin virheisiin
- rinnankorkeusikältään 15—30 v nuorempia tai
pituudeltaan alle 7 m:n metsiköiden bonitointi on
epätarkkaa.

Bonitointi tulee sitoa koeloihin jotka on sijoitettu objektiivisesti metsiköihin. Koska esitetyt tulokset perustuvat 0,1 ha:n koeloihin, on valtapituutena parasta käyttää 10 paksuimman puun aritmeettista keskipituutta 10 aarin ympyräkoelalla. Kuitenkin käytännössä voidaan käyttää myös useita pienempiä koelooja ja mitata esim. 1 puu/100 m² tai 2 puuta/200 m². Ruotsissa on mitattu 2 puuta/300 m² puiden ryhmitäisyyden vuoksi.

Jos boniteetti määritetään useilla koelooilla (esim. 1 puu/koela) on olemassa kolme tapaa: 1) satunnaisesti valittu 1 puu

10:stä paksuimmasta puusta kullakin 10 aarin koelalla 2) paksuimmat puut 1 aarin koelooilla 3) paksuin puu joka tulee mukaan relaskooppiin (relask. kerroin 1).

Valta puut valitaan metsikön pääpuulajista. Tasaikäisissä metsiköissä tarvitaan vähintään 4 koelaa (1 puu/100 m²) jotta bonitoinnissa päästäisiin yhden luokan tarkkuuteen ($\pm 1,5$ m). Koepuut eivät saa olla muusta puustosta poikkeavia.

Viljelymetsiköissä on käytettävä Vuokilan ja Väliahon (1980) pituusboniteetteja. Talousmetsien osalta systeemi on valmis vasta sitten kun boniteettiluokien puuntuotoskyky on selvitetty.

Valtapituuteen perustuvat boniteettikäyrästöt ovat käyttökelpoisia erityisesti metsätalouden suunnittelussa ja harvennussmallien taustaluokitteluna. Vuokila (1980, s. 75—88) on selvittänyt perusteellisesti puustoon perustuvan systeemin ja metsätyyppiluokittelun etuja ja varjopuolia. Pituusbonitoinnin olennainen vahva puoli on sen objektiivisuus ja kvantitatiivisuus. Yhdessä metsätyyppiluokittelun kanssa pituusboniteetit antavat monipuolisen pohjan puuntuotannon edellytysten arviointiin käytännön metsätaloudessa.

KIRJALLISUUS

- ASSMAN, E. 1961. Waldetragskunde. BLV Verlagsgesellschaft. München — Bonn — Wien. 490 s.
- & FRANZ, F. 1965. Vorläufige Fichten-
Ertragstafeln für Bayern. Autoren-Referat.
Forstwiss. Cbl. 84: 13—43.
- BAUGER, E. 1970. Sammenligning mellom sitka-
granens og granens høydeutvikling på Vestlandet
og i Nord-Norge. Comparison between height
development of Sitka spruce and Norway spruce
in West Norway. Medd. Vestland. Forstl.
Forsøkssta. 50 (14): 145—221.
- BRAASTAD, H. 1967. Produksjonstabeller for
bjørk. Yield tables for birch. Medd. Norske
Skogforsøksv. 22: 265—366.
- BRANTSEG, A. 1951. Kubikk- og produksjons-
undersøkelser i vestnorske granplantninger. Medd.
Vestland. Forstl. Forsøkssta. 28(9): 35—91.
- CAJANDER, A.K. 1909. Über Waldtypen. Acta
For. Fenn. 1: 1—175.
- EIDE, E. & LANGSÄTER, A. 1941. Produksjons-
undersøkelser i granskog. Produktionsunter-
søchungen von Fichtenwald. Medd. Norske
Skogforsøksv. 7: 355—500.
- FRIES, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand
och södra Norrland. Summary: Yield of Betula
verrucosa Ehrh. in Middle Sweden and Southern
North Sweden. Stud. For. Suec. 14: 1—303.
- 1967. Boniteringskurvornas konstruktion och till-
ämpning. Symposium ang. bonitering 30.11.1967
vid Skogshögskolan. Stencil.
- 1969. Boniteringskurvor för tall och gran. Site
index curves for Pine and Spruce. Skogen 1: 20—30.
- GUSTAVSEN, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutio-
kasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment
functions. Folia For. 331: 1—37.
- HRADETZKY, J. 1972. Modell eines integrierten
Ertragstafel-Systems in modularer Form. Mitt.
d. Bad.-Württ. Forstl. Versuchs- u. Forschungs-
anstalt 45: 1—172.
- HUANG, D.S. 1970. Regression and econometric
methods. Wiley. pp. 103—110.
- HÄGGLUND, B. 1972. Om övre höjdens utveckling
för gran i norra Sverige. Site index curves for
Norway spruce in northern Sweden. Rapp. Uppsats.
Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 21: 1—298.
- 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra
Sverige. Site index curves for Norway spruce in

- southern Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 24: 1—49.
- 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Site index curves for Scots pine in Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 31: 1—54.
- 1977. Bonitering: Redovisning av dagsläget i boniteringsfrågan. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5: 407—436, 463—471.
- 1979. Ett system för bonitering av skogsmark. Projekt Hugin. Rapp. Sveriges Lantbruksuniv. Umeå. 14: 1—188.
- & LUNDMARK, J.-E. 1977. Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer: Tall och gran i Sverige. Rapp. Uppsats. Instn. Växtekologi o. marklära. Skogshögsk. 28: 1—240.
- HÄNNINEN, T. 1974. Harvennussmetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuolisissa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland. Folia For. 208:1—32.
- ILVESSALO, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta For. Fenn. 15.4: 1—96.
- 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third National Survey of the forests of Finland. Plan and instructions for field work. Commun. Inst. For. Fenn. 39(3): 1—67.
- ILVESSALO, Y. & M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotto-kyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144: 1—101.
- JONSON, T. 1914. Om bonitering av skogsmark. Svenska Skogsv.föreningens Tidskr. 12: 369—392.
- JONSSON, B. 1980. Funktioner för långsiktiga prognoser beträffande virkesförrådets storlek och sammansättning. Summary: Functions for long-term forecasting of the size and structure of timber yields. Rapp. Instn. Biomt. Skogsind. Sveriges Lantbruksuniv. Umeå. 7: 1—121.
- KALLIO, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta For. Fenn. 71: 1—78.
- KANGAS, Y. 1976. Die Messung der Bestandesbonität 1. und 2. Teil. Theoretische Grundlagen. Metsikön boniteetin mittaaminen Acta For. Fenn. 152: 1—48.
- 1977. Die Messung der Bestandesbonität 3. Teil. Ein für das Kontrollmaterial entwickeltes, auf Bestockungsmerkmalen gründenes Boniterungsfunktionsmodell. Metsikön boniteetin mittaaminen 3. osa. Acta For. Fenn. 160: 1—52.
- KOIVISTO, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. 158 s.
- LAKARI, O.J. 1920. Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä. Referat: Untersuchungen über die Waldtypen in Nord-Finnland. Acta For. Fenn. 14: 1—93.
- Landskogstakseringen 1938. Taksering av Norges skoger. Östfold fylke. Revisjonstaksering 1937.
- LUNDMARK, J.-E. 1974. Ståndortsegenskaperna som bonitetsindikatorer i bestånd med tall och gran. Rapp. Uppsats. Instn. Växtekologi o. marklära. Skogshögsk. 16: 1—298.
- LUNDQVIST, B. 1957. Om höjdtutvecklingen i kulturbestånd av tall och gran i Norrland. Medd. Statens skogsforskninst. 47(2).
- LÖNNROTH, E. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände, basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. Acta For. Fenn. 30: 1—269.
- MARTINMAA, P. 1979. Metsiköiden iän mukainen pituus veroluokkien maalla puulaajeittain. Raportti tutkimuksesta, joka on tehty Verohallituksen ja Metsäntutkimuslaitoksen kesken 29.01.1979 tehdyn sopimuksen perusteella. Metsäntutkimuslaitos. Metsäinventoinnin tutkimussuunta. 64 s.
- MATERN, B. 1959. Några synpunkter på extrapolation av höjdtutvecklingskurvor. Statens Skogsforsk. inst., kontoret matem. stat. Rapp. 2: 1—13.
- MØLLER, C.-M. 1933. Boniteringstabeller og bonitetsvise Tilvækstoversigter for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark. Dansk Skovforen. Tidsskr. 18: 457—513, 537—623.
- & NIELSEN, J. 1953. Afprøvning af de bonitetsvise tilvækstoversigter af 1933 for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark. Dansk Skovforen. Tidsskr. 38.
- NYSSÖNEN, A. 1954. Hakkausilla käsiteltujen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60(4): 1—194.
- 1971. Working group on the definition of forest land and methods of land and site classification. IUFRO. Section 25. Report. Stockholm. pp. 35—56.
- OIKARINEN, M. 1979. Tillväxtundersökning i hushållsskogar med hjälp av fasta provtyor kopplade till den riksomfattande skogsinventeringen. Nordiska samarbetsgruppen för produktionsforskning. Möte i Finland 18—21.06.1979. Exkursionsguide-Retkeilyopas. Metsäntutk.laitos, puuntuotoksen tutk.suunta. 70—74 s.
- PERSSON, O. 1959. En höjdtutvecklingsmodell för björk konstruerad med hjälp av logistikan. Statens skogsforsk.inst., kontoret matem. stat. Rapp. 1.
- PETTERSON, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. Medd. Skogsforskn. Inst. Stockholm 45(1A): 1—391.
- RICHARD, F.J. 1959. A Flexible Growth Function for Empirical Use. J. Experim. Bot. 10(29): 290—300.
- RÄSÄNEN, P., POHTILA, E., RAUTIAINEN, O. & LAITINEN, E. 1979. Valtakunnallinen metsänuudistamisen inventointitutkimus aloitettu metsäntutkimuslaitoksessa. Summary: A national inventory for studying the reforestation started at the forest research institute in Finland. Metsä ja Puu. 2: 1—9.
- SARAMÄKI, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in Northern Central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2): 1—59.
- SEPPONEN, P., LÄHDE, E. & ROIKO-JOKELA, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relationship of the forest

- vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. *Folia For.* 402: 1—31.
- SLOBODA, B. 1971. Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen erster Ordnung. *Mitt. d. Bad-Württ. Forstl. Versuchs- u. Forschungsanstalt* 32: 1—108.
- STIEFEL, E. 1961. Einführung in die numerische Mathematik. Stuttgart.
- STERBA, H. 1974. Ertragskundliche Hypothesen über den Standort. *Veröffentl. d. Inst. f. Forstl. Ertragsl. d. Hochschule f. Bodenkultur. Wien.* 132 s.
- STRAND, L. 1964. Numerical Constructions of Site-Index Curves. *For. Sci.* 10(4).
- TVEITE, B. 1969. A Method for Construction of Site-Index Curves. *Medd. Norske Skogforsøksv.* 97(2): 134—159.
- 1977a. Bonitetskurver for gran. Site-index curves for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Meddr Norsk inst. skogforsk.* 33.1: 1—84.
- 1977b. Foreløpige retningslinjer for bonitering etter nytt bonitetssystem. *Rapp. Avd. f. skogsbeh. Norsk inst. skogforsk.* 4: 1—9.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. Yleinen osa. 1977. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 23—24 s.
- VUOKILA, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in southern Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 48.1: 1—138.
- 1965. Functions for variable density yield tables for pine based on temporary sample plots. *Selostus: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuotostaulukoita varten. Commun. Inst. For. Fenn.* 60.1: 1—86.
- 1967. Eriasteisin kasvutaulukkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern Central-Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 63.2: 1—123.
- 1971. Harvennuskallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Sammanfattning: Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. *Folia For.* 99: 1—18.
- 1972. Taimiston käsittely puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. *Folia For.* 141: 1—36.
- 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Helsinki-Porvoo. 256 s.
- & VÄLIAHO, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 99.2: 1—48.
- WOLF, J. 1959. Versuch zur Bestimmung der Gleichungsform des zeitberücksichtigten Richtungsfeldes der Bestandhöhenentwicklung. *Lesn. Časopis. Brno.*

SUMMARY

The publication presents site index curves for natural Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) stands in Finland, based on 1069 temporary sample plots of 0,1 ha in pine-dominated and 617 plots in spruce-dominated stands from the 3rd National Forest Inventory (1951—53, see I l v e s s a l o 1951 and G u s t a v s e n 1977). The site index expressed in the classification system does not represent the maximum, but the average level of production obtainable under practical conditions in the Finnish forests. Table 1 together with figures 1a,b, 2a,b and 3 give a picture of the material.

The site classification curves are based on two functions (1 and 2, page 14), which give the dominant height development of stands all over Finland according to biological age (T) and site index (H_{100}). Mean values for site classes are tabulated in Appendix 2.

The functions have been developed by means of non-linear regression analysis based on the "steepest descent" method. In this approximative method the criterion of the best solution is the least sum of squares about the function (model 3, page 12). The calculation programs used and the models (2 and 3) have been developed by S l o b o d a (1971) for the construction of site index curves based on material from the stem analysis of dominant trees in stands. Function model 3 is fitted, in a form already related to the equivalent dominant height classes at the biological age 100 years (site index H_{100}), to the whole material.

The basic idea of using this model on a material obtained from temporary plots (see figures 1a,b and 2a,b) stems from the theoretical model illustrated in figure 5. The observations belonging to the same site classes form continuous height development curves as shown in figure 5a. The theoretical connection between the height-age curves and the annual height growth (figure 4a and 4b) is the basic requirement for the models used to construct site index curves (see S l o b o d a 1971, page 25—29).

The non-linear analysis was begun after predicting potential site index class (H_{100}) for each observation. This was mainly obtained by using height development results from the basic material and from earlier Finnish research studies on forest site types (C a j a n d e r 1909). The final function parameters (cf. model 3: 33, and 41.) concerning the two species are results of analyses each of 400 iterations. The average residuals are shown in figure 6. Because of the tendency of systematic trend in the residuals the parameters were tested and compared with parameters (see page 16) from four consecutive test-analyses. The predicted potential site index class (H_{100}) was adjusted before a new estimation of the parameters. The final results are shown in figure 7.

The changes in the parameters are very small and have only small effect (0,10—0,15 m) in the estimated values calculated from the development functions.

The main results of the investigation are the site

index curves in figure 8 and 9. The site index curves (3 m-classes) are based on the above mentioned functions 1 and 2. The classification of a stand is by means of the curves, using the *breast-height age* (T 1,3 m) and the dominant height in the stand. The curves are constructed from the functions (1 and 2) by taking into consideration the time for the dominants to reach breast-height in different site classes (see figure 8 and 9, t(1,3 m)). These values were mainly estimated directly from the functions. In the appendix table 1 the limit values for the site classes are tabulated. Additional results are presented on page 31 concerning the dominant height increment functions (3 and 4), which are tabulated in appendix table 3. They are pure derivative solutions of the main functions.

Figure 10 compares the curves with some Swedish and Norwegian curves for natural stands. In figures 11 and 12 the site classification results of natural stands cut from above and some young conifer cultures and natural stands are shown.

The site index curves will be further tested, in spite of that no, function shows a very clear tendency of systematic error within the normal variation range of the stand criteria. In the future they will be tested against new material from permanent sample plots laid out all over Finland in connection with the 6th and 7th National Forest Inventories. The next investigation will be to develop yield tables in natural conifer stands on the basis of the presented classification system.

Liite 1. Luontaisesti syntyneiden talusmetsiköiden pituusboniteetti luokkien raja-arvot eri ikävaiheissa rinnankorkeusikään ($T_{1,3}=T-(1,3 \text{ m})$) ja pituusboniteettiin (H_{100}) perustuvilla yhtälöillä laskettuna.
App. 1. The limit values for site classes of natural pine and spruce stands based on functions with breast-height age ($T_{1,3}$) and site index class (H_{100}) as variables.

Koko maa, talusmetsiköt, yhtälö 2.
Whole country, natural spruce stands, function 2.

Metsikön rinnan- korkeusikä ($T_{1,3}$), v (years)	Pituusboniteetti luokka (H_{100}), m						
	12	15	18	21	24	27	30
10	10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5
15	4,7	5,2	6,0	7,0	7,9	8,8	8,8
20	5,0	6,0	7,0	8,1	9,4	10,8	12,1
25	4,7	6,0	7,3	8,5	10,0	11,6	13,2
30	5,4	6,9	8,5	9,9	11,6	13,4	15,3
35	6,1	7,8	9,5	11,2	13,0	15,1	17,1
40	6,7	8,6	10,4	12,3	14,3	16,5	18,7
45	7,2	9,2	11,3	13,3	15,5	17,8	20,1
50	7,8	9,9	12,1	14,2	16,5	18,9	21,4
55	8,2	10,5	12,8	15,0	17,4	19,9	22,5
60	8,7	11,1	13,4	15,8	18,3	20,9	23,5
65	9,1	11,6	14,1	16,5	19,1	21,7	24,3
70	9,5	12,1	14,6	17,2	19,8	22,5	25,2
75	10,2	13,0	15,6	18,3	21,0	23,8	26,6
80	10,6	13,4	16,1	18,8	21,6	24,5	27,3
85	10,9	13,7	16,5	19,3	22,2	25,0	27,9
90	11,2	14,1	17,0	19,8	22,6	25,6	28,4
95	11,5	14,4	17,3	20,2	23,1	26,0	29,0
100	11,7	14,7	17,7	20,5	23,6	26,5	29,4
105	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	29,9
110	12,2	15,3	18,4	21,3	24,4	27,4	30,3
115	12,5	15,6	18,7	21,7	24,7	27,8	30,7
120	12,7	15,9	19,0	22,0	25,1	28,1	31,1
10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5

Koko maa, talusmetsiköt, yhtälö 1.
Whole country, natural pine stands, function 1.

Metsikön rinnan- korkeusikä ($T_{1,3}$), v (years)	Pituusboniteetti luokka (H_{100}), m						
	12	15	18	21	24	27	30
10	10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5
15	5,8	7,0	8,2	9,4	10,8	12,3	13,9
20	6,7	8,1	9,4	10,9	12,5	14,2	16,0
25	6,0	7,5	9,1	10,7	12,3	14,1	16,0
30	6,6	8,4	10,1	11,8	13,6	15,5	17,6
35	7,2	9,1	11,1	12,9	14,8	16,9	19,1
40	7,8	9,9	11,9	13,9	16,0	18,2	20,5
45	8,4	10,6	12,7	14,8	17,1	19,4	21,8
50	9,0	11,2	13,5	15,8	18,1	20,5	23,0
55	9,5	11,9	14,2	16,6	19,0	21,5	24,1
60	10,0	12,5	15,0	17,4	19,9	22,5	25,1
65	10,5	13,1	15,6	18,2	20,8	23,4	26,1
70	11,0	13,7	16,3	18,9	21,6	24,3	27,0
75	11,4	14,2	16,9	19,6	22,4	25,1	27,9
80	11,9	14,7	17,5	20,3	23,1	25,9	28,7
85	12,3	15,2	18,1	21,0	23,8	26,6	29,4
90	12,7	15,7	18,7	21,6	24,4	27,2	29,9
95	13,1	16,2	19,2	22,1	25,1	28,1	30,3
100	13,5	16,7	19,7	22,7	25,7	28,7	30,7
105	13,9	17,1	20,2	23,2	26,2	29,2	31,1
110	14,3	17,5	20,6	23,6	26,6	29,6	31,5
115	14,7	17,9	21,0	24,0	27,0	29,9	31,9
120	15,1	18,3	21,4	24,4	27,4	30,3	32,3
10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5

Liite 2. Luontaisesti syntyneiden talousmetsiköiden pituusboniteettiluokkien keskiarvot eri ikävaiheissa kokonaisikään (H_{100}) ja pituusboniteettiin (H_{100}) perustavilla yhtälöillä lasketuuna.

App. 2. The middle values for site classes of natural pine and spruce stands based on functions with biological age (T) and site index class (H_{100}) as variables.

Koko maa, talousmänniköt, yhtiö 1.
Whole country, natural pine stands, function 1.

Metsikön kokonaisikä (T), v (years)	Pituusboniteettiluokka (H_{100}), m									
	9	12	15	18	21	24	27	30		
20					4,7	6,0	7,4	9,0		
25			3,9	5,2	6,7	8,3	10,1	12,0		
30		3,7	5,1	6,7	8,5	10,4	12,4	14,5		
35	3,1	4,6	6,3	8,1	10,1	12,2	14,4	16,7		
40	3,7	5,5	7,4	9,4	11,5	13,8	16,1	18,5		
45	4,3	6,3	8,3	10,5	12,8	15,2	17,6	20,1		
50	4,9	7,0	9,2	11,5	13,9	16,4	19,0	21,5		
55	5,5	7,7	10,0	12,4	14,9	17,5	20,1	22,8		
60	6,0	8,3	10,8	13,3	15,9	18,5	21,2	23,9		
65	6,4	8,9	11,4	14,0	16,7	19,4	22,1	25,0		
70	6,9	9,4	12,1	14,7	17,4	20,2	23,0	25,9		
75	7,3	9,9	12,6	15,4	18,2	21,0	23,8	26,7		
80	7,7	10,4	13,2	16,0	18,8	21,7	24,6	27,5		
85	8,0	10,8	13,7	16,5	19,4	22,3	25,2	28,2		
90	8,4	11,2	14,2	17,1	20,0	22,9	25,9	28,8		
95	8,7	11,6	14,6	17,6	20,5	23,5	26,5	29,4		
100	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0		
105	9,3	12,3	15,4	18,4	21,5	24,5	27,5	30,5		
110	9,6	12,7	15,8	18,8	21,9	25,0	28,0			
115	9,8	13,0	16,1	19,2	22,3	25,4				
120	10,1	13,3	16,4	19,6	22,7	25,8				
125	10,3	13,6	16,8	19,9	23,0					
130	10,5	13,8	17,1	20,2	23,3					
135	10,7	14,0	17,3	20,5						
140	10,9	14,2	17,5	20,7						
9	12	15	18	21	24	27	30			

Metsikön kokonaisikä (T), v (years)	Pituusboniteettiluokka (H_{100}), m									
	12	15	18	21	24	27	30			
25					5,4	6,6	8,1			
30			4,5	5,8	7,2	8,8	10,5			
35			5,8	7,3	9,0	10,8	12,7			
40		3,9	5,4	7,0	8,5	10,7	12,6	14,7		
45		4,7	6,4	8,2	10,2	12,2	14,4	16,6		
50		5,5	7,4	9,4	11,5	13,7	16,0	18,3		
55		6,3	8,3	10,5	12,7	15,0	17,4	19,9		
60		7,0	9,2	11,5	13,9	16,3	18,8	21,4		
65		7,7	10,1	12,5	14,9	17,5	20,1	22,7		
70		8,4	10,9	13,4	16,0	18,6	21,2	24,0		
75		9,1	11,6	14,2	16,9	19,6	22,4	25,1		
80		9,7	12,4	15,1	17,8	20,6	23,4	26,2		
85		10,3	13,1	15,9	18,7	21,5	24,4	27,3		
90		10,9	13,8	16,6	19,5	22,4	25,3	28,2		
95		11,5	14,4	17,3	20,3	23,2	26,2	29,1		
100		12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0		
105		12,5	15,6	18,6	21,7	24,7	27,8			
110		13,0	16,2	19,3	22,4	25,4	28,5			
115		13,5	16,7	19,9	23,1	26,1				
120		14,0	17,2	20,5	23,6	26,8				
125		14,5	17,9	21,0	24,4					
130		14,9	18,5	21,7						
135		15,3	19,0							
140		15,7	19,5							
12	15	18	21	24	27	30				

Liite 3. Luontaisesti syntyneiden talousmetsiköiden keskimääräisen vuotuisen vallapituuden kasvun keskiarvot eri ikävaiheissa kokonaisikään (T), valtapituuteen (H_{dom}) ja pituusboniteettiin (H_{100}) perustavilla yhtälöillä laskettuna.
 App. 3. The middel values for mean annual dominant height increment in site classes of natural pine and spruce stands based on functions with biological age (T), dominant height (H_{dom}) and site classes (H_{100}) as variables.

Koko maa, talousmänniköt, yhtälö 3.
 Whole country, natural pine, function 3.

Metsikön kokonaisikä (T), v (years)	Pituusboniteettiiluokka (H_{100}), m									
	9	12	15	18	21	24	27	30		
20					0,42	0,49	0,57	0,64		
25		0,19	0,26	0,32	0,38	0,44	0,50	0,55		
30			0,24	0,29	0,34	0,39	0,43	0,47		
35	0,13	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,40		
40	0,13	0,17	0,20	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35		
45	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28	0,30		
50	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27		
55	0,10	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24		
60	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21		
65	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19		
70	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,17		
75	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14	0,14	0,15	0,16		
80	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15		
85	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14		
90	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13		
95	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12		
100	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11		
105	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10		
110	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09		
115	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08		
120	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08		
125	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07		
130	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07		
135	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		
140	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		

Koko maa, talouskuusikot, yhtälö 4.
 Whole country, natural spruce stands, function 4.

Metsikön kokonaisikä (T), v (years)	Pituusboniteettiiluokka (H_{100}), m									
	12	15	18	21	24	27	30			
25					0,38	0,44	0,50			
30			0,26	0,31	0,36	0,41	0,46			
35			0,26	0,30	0,34	0,39	0,43			
40	0,16	0,21	0,25	0,29	0,32	0,36	0,39			
45	0,16	0,20	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36			
50	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,33			
55	0,15	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28	0,30			
60	0,15	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27	0,28			
65	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26			
70	0,13	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24			
75	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23			
80	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22			
85	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20			
90	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19			
95	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18			
100	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17			
105	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17			
110	0,10	0,11	0,12	0,14	0,14	0,15	0,15			
115	0,09	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13			
120	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13			
125	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12			
130	0,08	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12			
135	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11			
140	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11			

ODC 541
ISBN 951-40-0479-5
ISSN 0015-5543

GUSTAVSEN, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapiituuuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454: 1—31.

Site-index curves for the classification of natural Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) stands all over Finland are presented, based on material (1069 pine-dominated and 617 spruce-dominated sample plots) from the 3rd National Forest Inventory.

The classification criteria are the breast-height age and the dominant height of the stand. In addition to the site-index curves, functions are given describing the dominant height development of the stand derived as well as dominant height growth functions from the former. The site index curves for practical classification are based on the height development functions which in turn are based on the biological age and site index (H_{100}). The site indicator is the dominant height reached by the growing stock at the biological age of 100 years.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 541
ISBN 951-40-0479-5
ISSN 0015-5543

GUSTAVSEN, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapiituuuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454: 1—31.

Site-index curves for the classification of natural Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) stands all over Finland are presented, based on material (1069 pine-dominated and 617 spruce-dominated sample plots) from the 3rd National Forest Inventory.

The classification criteria are the breast-height age and the dominant height of the stand. In addition to the site-index curves, functions are given describing the dominant height development of the stand derived as well as dominant height growth functions from the former. The site index curves for practical classification are based on the height development functions which in turn are based on the biological age and site index (H_{100}). The site indicator is the dominant height reached by the growing stock at the biological age of 100 years.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 541
ISBN 951-40-0479-5
ISSN 0015-5543

GUSTAVSEN, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapiituuuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454: 1—31.

Site-index curves for the classification of natural Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) stands all over Finland are presented, based on material (1069 pine-dominated and 617 spruce-dominated sample plots) from the 3rd National Forest Inventory.

The classification criteria are the breast-height age and the dominant height of the stand. In addition to the site-index curves, functions are given describing the dominant height development of the stand derived as well as dominant height growth functions from the former. The site index curves for practical classification are based on the height development functions which in turn are based on the biological age and site index (H_{100}). The site indicator is the dominant height reached by the growing stock at the biological age of 100 years.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 541
ISBN 951-40-0479-5
ISSN 0015-5543

GUSTAVSEN, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapiituuuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454: 1—31.

Site-index curves for the classification of natural Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) stands all over Finland are presented, based on material (1069 pine-dominated and 617 spruce-dominated sample plots) from the 3rd National Forest Inventory.

The classification criteria are the breast-height age and the dominant height of the stand. In addition to the site-index curves, functions are given describing the dominant height development of the stand derived as well as dominant height growth functions from the former. The site index curves for practical classification are based on the height development functions which in turn are based on the biological age and site index (H_{100}). The site indicator is the dominant height reached by the growing stock at the biological age of 100 years.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

- No 406 Elovirta, Pertti: Metsätyövoiman allapysyvyys 1969—1977.
Permanence of forest labour in Finland 1969—1977.
- No 407 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella.
Variation in tree growth in Finland based on the 6th National Forest Inventory.
- No 408 Lilja, Arja: Koivun siemenen sienet ja niiden patogeenisuus.
Fungi on birch seeds and their pathogenicity.
- No 409 Kallio, Tauno & Häkkinen, Risto: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja *Phlebia gigantean* (Fr.) Donk vaikutus pelloille istutettujen kuusen, männyn, tervälapän ja rauduskoivun taimien pituuskasvuun ja elossapysymiseen.
Effect of *Heterobasidion annosum* and *Phlebia gigantea* infection on the height growth and survival rate of *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Alnus glutinosa* and *Betula pendula* seedlings planted on old fields.
- No 410 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuun kiintomittaus kourakasoissa.
Measurement of solid volume of pulpwood grapple heaps.
- No 411 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1977—79.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1977—79.
- No 412 Raitio, Hannu: Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopelolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta.
Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms.
- No 413 Kellomäki, Seppo & Salmi, Juhani: Koivuvaneritukkien kuoren määrä.
Bark quantity of birch logs.
- No 414 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results.
- No 415 Teivainen, Terttu: Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus peltoomyrälle (*Microtus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan.
Palatability of some cultivated willows to field voles (*Microtus agrestis* L.) in feeding trials.
- No 416 Velling, Pirkko: Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa.
Wood density in two *Betula pendula* Roth progeny trials.
- No 417 Mattila, Eero: Kangasmaiden luppometsien ominaisuuksia Suomen poronhoitoalueella 1976—1978.
Characteristics of the mineral soil forests with arboreal lichens (*Alectoria*, *Bryoria* and *Usnea* spp.) in the Finnish reindeer management area, 1976—1978.
- 1980 No 418 Hakila, Pentti & Kalaja, Hannu: Harvesting fuel chips with the Pallari swath harvester.
Polttopuun korjuu Pallarin leikkuuhakurilla.
- No 419 Kinnunen, Kaarlo & Lemmetyinen, Markku: Paakkukoon vaikutus männyn taimien alkukehitykseen.
Initial development of containerized pine seedlings as affected by the size of earth ball.
- No 420 Keipi, Kari & Laakkonen, Olavi: Päätehakkuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja.
Profitability comparisons of urea fertilization in old stands.
- No 421 Lipas, Erkki & Levula, Teuvo: Urealannoitus eri vuodenaikoina.
Urea fertilization at different times of the year.
- No 422 Weissenberg, Kim, von & Kurkela, Timo (Eds.): Proceedings of the meeting of the IUFRO Working Party S2.05—05, Resistance in pines to *Melampsora pinitorqua*, June 1979, Suonenjoki, Finland.
IUFRO:n työryhmän S2.05—05, Versoruosteenkestävyys männnyssä, kesäkuussa 1979 Suonenjoella pidetyn kokouksen esitelmät.
- No 423 Kylmänen, Pekka: Ennakkotuloksia nuorissa männyn siemenviljelyksissä syntyvän Pohjois-Suomi x Etelä-Suomi -kaukoristeytysiemenen käyttömahdollisuuksista.
Preliminary results concerning usability of North Finland x South Finland hybrid seed born in young Scots pine seed orchards.
- No 424 Sievänen, Risto: A preliminary simulation model for annual photosynthetic production and growth in a short rotation plantation.
Alustava lyhytkiertoviljelmän vuotuisen fotosynteesin tuotoksen ja kasvun simulointimalli.
- No 425 Kohmo, Ilkka: Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971—1976.
Increment percentage of forest stands in Finland 1971—1976.
- No 426 Rautiainen, Olavi & Räsänen, Pentti K.: Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976.
Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976.
- No 427 Tiihonen, Paavo: ATK-karttamenetelmän kokeilu työkohteiden etsinnässä Pohjois-Savossa 1976—1978.
Experimenting with the ADP-map method for locating working sites in northern Savo, East Finland, 1976—1978.
- No 428 Ryytänen, Leena: Männyn siemenen varastointi ja vanheneminen.
Storage of Scots pine seed and seed ageing.
- No 429 Raivonen, Marjut & Leikola, Matti: Hakkuutähtien poistamisen vaikutus istutettujen kuusen taimien alkukehitykseen.
The influence of the removal of logging waste on the initial development of planted Norway spruce seedlings.

- No 430 Metsätilastollinen vuosikirja 1979.
Yearbook of Forest Statistics 1979.
- No 431 Kyttälä, Timo: Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu.
Stand damage during thinnings. — Literature review.
- No 432 Silfverberg, Klaus: Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet.
Micronutritional growth disorder in Norway spruce.
- No 433 Hakkila, Pentti & Wójcik, Tomasz: Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland.
Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa.
Próba zastosowania ciągnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych w Polsce.
- No 434 Seppälä, Heikki, Kuuluvainen, Jari & Seppälä, Risto: Suomen metsäsektori tienhaarassa.
Tutkimus Suomen metsäsektorin kehityksestä ja tulevaisuuden vaihtoehtoista.
The Finnish forest sector at a cross road.
- No 435 Julkaisut 1979. Metsäntutkimuslaitos.
Abstracts of publications, 1979. The Finnish Forest Research Institute.
- No 436 Mattila, Eero & Kujala, Matti: Utsjoen, Inarin ja Enontekiön metsävarat 1978.
Forest resources of Utsjoki, Inari and Enontekiö, North Finland, in 1978.
- No 437 Kurvinen, Pekka & Harstela, Pertti: Haketustyön ergonomia ja työn järjestely.
Ergonomics and work organizing of chipping work.
- No 438 Nisula, Pentti: Neulasten pitolajuuden mittari.
Needle retention gauge.
- No 439 Nisula, Pentti: Tutkimuksia kantoherbisidin levittämisestä raivaussahalla.
Studies on stump herbicide spraying using a brush saw.
- No 440 Nisula Pentti: Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta.
Aspects of the drying of fuel chips.
- No 441 Kujala, Matti: Runkopuun kuorellisen tilavuuskasvun laskentamenetelmä.
A calculation method for measuring the volume growth over bark of stemwood.
- No 442 Päivinen, Risto: Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotun-
nusten laskenta.
On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics.
- No 443 Veijalainen, Heikki: Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoit-
uksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu.
Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on
needle analysis.
- No 444 Tervonen, Markku & Issakainen, Jorma: Sarkaleveyden ja lannoituksen vaikutus män-
nyn sädekasvun elpymiseen ohutturpeisella piensararämeellä.
Effect of ditch spacing and fertilization on the revival of radial growth of Scots
pine on shallow-peated small sedge bog.
- No 445 Huuri, Olavi: Juurten hienfosfaattikäsittelyn vaikutus männyn ja kuusen istutus-
taimien alkukehitykseen kivennäismailla.
Effect of milled rock phosphate root coating on the initial development of Scots
pine and Norway spruce transplants on mineral soils.
- No 446 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän
eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977—1979.
Forest resources in the Province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry
Board Districts in Finland 1977—1979.
- No 447 Uusvaara, Olli: Pelkkahakkureilla tehdyn hakkeen ja sahatavaran pinnan laatu.
Quality of chips and surface of sawn timber made by chipper headrigs.
- No 448 Vuokila, Yrjö: Kasvatustiheyden vaikutus istutuskusikon kasvuun ja tuotokseen.
The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland.
- No 449 Kinnunen, Kaarlo & Mäki-Kojola, Sakari: Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-
Satakunnassa.
Natural regeneration of Scots pine in western Finland.
- No 450 Isomäki, Antti & Väisänen, Jarmo: Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon
ja harvennuskertymään.
Thinning method and its influence on the remaining growing stock and on the
thinning yield.
- No 451 Varmola, Martti: Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu.
The external quality of pine plantations.
- No 452 Roiko-Jokela, Pentti: Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-
Suomessa.
The effect of altitude on the forest yield in northern Finland.
- No 453 Pohtila, Eljas & Timonen, Mauri: Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhais-
kehitys.
Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish
Lapland.
- No 454 Gustavsen, Hans Gustav: Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla.
Site index curves for conifer stands in Finland.

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 17 341.
Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää.