



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1993

819

Pekka Tamminen

PITUUSBONITEETIN ENNUSTAMINEN KASVUPAIKAN  
OMINAISUUKSIEN AVULLA ETELÄ-SUOMEN KANGASMETSISSÄ

Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South  
Finland using site properties

# FOLIA FORESTALIA

---

## **Julkaisija — *Publisher***

Metsäntutkimuslaitos  
*The Finnish Forest Research Institute*

## **Toimitus — *Editors***

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland  
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

## **Toimituskunta — *Editorial Board***

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, Eino Mälkönen

## **Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope***

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

*Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.*

## **Tilaukset — *Subscriptions***

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle.  
*Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.*

# FOLIA FORESTALIA 819

**Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1993**

---

Pekka Tamminen

## PITUUSBONITEETIN ENNUSTAMINEN KASVUPAIKAN OMINAISUUKSIEN AVULLA ETELÄ-SUOMEN KANGASMETSISSÄ

Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South  
Finland using site properties

*Approved on 9.12.1993*

### SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	4
1.1	Boniteetti ja pituusboniteetti .....	4
1.2	Boniteettiin vaikuttavat tekijät .....	4
1.3	Tutkimustehtävä .....	5
2	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	6
2.1	Aineisto .....	6
2.2	Menetelmät .....	6
2.3	Pituusboniteetin korjaaminen .....	7
3	TULOKSET .....	8
3.1	Pituusboniteetin suhde kasvupaikkatunnuksiin .....	8
3.1.1	Metsätyyppi ja kivisyys .....	8
3.1.2	Topografia .....	9
3.1.3	Maan fysikaaliset tunnuksset .....	9
3.1.4	Maan ravinnetunnukset .....	13
3.1.5	Pituusboniteetti kaikkien kasvupaikkatunnusten funktiona .....	16
3.2	Pituusboniteetin vaihtelu tutkimusalueiden välillä .....	18
3.3	Pituusboniteettia selittävien yhtälöiden vakaus .....	18
4	TULOSTEN TARKASTELU .....	20
	KIRJALLISUUS .....	21
	SUMMARY .....	24

Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819. 26 p.

Vuosina 1980–85 kerättiin maanäytteet ja mitattiin pituusboniteetit 415 mänty- ja 441 kuusikoelalta pääasiassa Etelä-Suomesta. Pituusboniteetit olivat harhaisia puuston iän suhteen, erityisesti kuusikoissa. Tämä iän kanssa negatiivisesti korreloitu harha poistettiin laskennallisesti, koska oletettiin, että kasvupaikkatunnuksiltaan samanlaisissa metsiköissä boniteetin pitäisi olla keskimäärin yhtä suuri puuston iästä riippumatta.

Metsätyyppi, kivisyys, topografinen asema ja kaltevuus sekä maaperän ja humuskerroksen paksuudet ja kivennäismaan raakoostumus korreloivat pituusboniteetin kanssa. Männiköiden boniteettia selittivät lisäksi lämpösomma, hienojen lajitteiden osuus ja humuskerroksen orgaanisen aineen osuus ja kuusiköiden boniteettia soran osuus, humuskerroksen orgaanisen aineen osuus, korkea (>10 %) savipitoisuus ja alhainen (<15 %) hienojen lajitteiden osuus. Kemiallisista maatumuksista männiköiden pituusboniteettia selittivät parhaiten kivennäismaan kalsiumäärä (kg/ha) ja humuskerroksen orgaanisen aineen tyyppipitoisuus. Kuusikoissa parhaat kemialliset selittäjät olivat humuskerroksen ja kivennäismaan orgaanisen aineen tyyppipitoisuudet. Boniteettiyhdistöihin valikoitui kaliummuuttujia negatiivisin etumerkein.

Pituusboniteetin ennustaminen ilman laboratoriossa määritettyjä muuttujia onnistui männiköissä ( $R^2 = 0,61$ ) paremmin kuin kuusikoissa ( $R^2 = 0,36$ ). Näihin yhtälöihin valikoitui lämpösomman ja metsätyyppien lisäksi männiköissä maaperän paksuus, kivirassin painuma ja humuskerroksen paksuus ja kuusikoissa muuttujat, jotka kuvasivat korkeita (>10 %) savipitoisuuksia tai alhaisia (<15 %) hienojen lajitteiden pitoisuuksia. Yhtälöiden keskivirheet olivat 2,2 m männiköissä ja 2,8 m kuusikoissa.

Pituusboniteetin ennustaminen onnistui huonommin vain metsätyyppien ja kivisyyden tai soistuneisuuden avulla kuin monipuolisempaan muuttajajoukkoon perustuvien mallien avulla. Perinteistä kasvupaikan tuotoskyvyn arvioinnin luotettavuutta voidaan siten parantaa hyödyntämällä aikaisempaa useampia kentällä tai laboratoriossa määritettyjä kasvupaikka- ja maaperätunnuksia.

Soil sampling and site index estimation of 415 Scots pine and 441 Norway spruce stands in southern Finland were carried out during 1980–85. Site index values were biased in relation to the stand age, especially in the spruce stands. This bias, negatively correlated with stand age, was removed to guarantee that sites with similar site properties had similar site indices regardless of the stand age.

Site index was correlated with site type, stoniness, topographic position, slope, humus layer and mineral soil thickness and soil texture. Effective temperature sum, slope, a variable for shallow soils (<30 cm), soil fine fraction ( $d < 63 \mu m$ ) content and organic matter content of the humus layer explained 37 % of the site index for the pine stands and effective temperature sum, slope, gravel content of the mineral soil and organic matter content of the humus layer, variables for clay contents of over 10 % and fine fraction contents of under 15 % and humus layer thickness explained 30 % of the site index for the spruce stands. The best chemical soil variables explaining site index in the pine stands were the mineral soil calcium content (kg/ha) and total nitrogen concentration (g/kg OM) of the humus layer. The best chemical predictors for the spruce stands were nitrogen concentrations (g/kg OM) of the humus layer and the mineral soil. Variables describing soil potassium entered to the chemically oriented site index models with negative regression coefficients.

Site index could be estimated better for the pine stands ( $R^2 = 0.61$ ) than for the spruce stands ( $R^2 = 0.36$ ) without any laboratory variables. These models contained effective temperature sum, site types, soil thickness, average stone rod penetration and thickness of the humus layer in the pine stands and the sum of effective temperature, site types and variables depicting high clay contents (>10 %) and low fine fraction contents (<15 %) in the spruce stands. Prediction errors of these models were 2.2 m for the pine and 2.8 m for the spruce stands.

Site index estimates based on only site type and stoniness or paludification stage of a site, gave poorer results than the models using more site and soil variables. The present precision of site quality evaluation could thus be improved using additional field or laboratory characteristics.

Keywords: site quality, site index, South Finland.  
FDC 564+547

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Ecology, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland.

ISBN 951-40-1337-9  
ISSN 0015-5543

Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

## Lyhenteet — Abbreviations

- H<sub>100</sub>** = Pituusboniteetti — *Site index, m*  
**LH** = Lehdot — *Groves (Site types, see Cajander 1949)*  
**OMT** = Käenkaali-mustikkatyypin — *Oxalis-Myrtillus type*  
**MT** = Mustikkatyypin — *Myrtillus type*  
**VT** = Puolukkatyyppi — *Vaccinium type*  
**CT** = Kanervatyypin — *Calluna type*  
**Temps** = Lämpösumma — *Effective temperature sum (>5°C)*  
**h** = Humuskerros — *Humus layer*  
**k** = Kivennäismaa — *Mineral soil*  
**t** = Humuskerroksen kokonaisalkuainepitoisuus — *Total elemental concentration in humus layer*  
**u** = Humuskerroksen ammoniumasetaatitiin uuttuva alkuainepitoisuus — *Elemental concentration of humus layer extracted with acid ammonium acetate*  
**oa** = Orgaaninen aine tai alkuainepitoisuus orgaanista ainetta kohti — *Organic matter or an organic matter based elemental concentration*  
**l** = Kivennäismaan volumetrinen alkuainepitoisuus — *Volumetric elemental concentration of mineral soil, (m)g/l*  
**tha, uha** = Humuskerroksen kokonais- ja uuttuva ravinnemäärä — *Total and extractable amount of a nutrient in humus layer*  
**kha** = Kivennäismaan kokonais- tai uuttuva ravinnemäärä — *Total or extractable amount of a nutrient in mineral soil*  
**ha** = Humus- ja kivennäismaakerroksen yhteisravinnemäärä — *Sum of a nutrient amount in humus and mineral soil layers*  
**Humpak** = Humuskerroksen paksuus — *Thickness of humus layer*  
**Humorg** = Humusnäytteen orgaaninen aine — *Organic matter of humus layer*  
**Kivorg** = Kivennäismaan orgaaninen aine — *Organic matter of mineral soil*  
**Org** = Humuskerroksen ja kivennäismaan orgaaninen aine — *Total amount of organic matter in humus layer and mineral soil (0–30 cm)*  
**Kaltevuus** = Rinteen kaltevuus — *Slope steepness, %*  
**Rassi** = Kivisyysrassin painuma — *Penetration of stone rod (see Viro 1952)*  
**Kivis** = Volumetrinen kivisyys — *Volumetric stoniness, %*  
**Kallio** = Valemuuttuja maaperän paksuudelle <30 cm — *A dummy variable defining shallow (<30 cm) soils*  
**Savi** = Savilajitteen pitoisuus — *Clay fraction (<2 μm) content, %*  
**Hienot** = Alle 63 μm:n lajitteet — *Fine fraction, <63 μm*  
**Sora** = Sorapitoisuus — *Gravel content, %*  
**d<sub>50</sub>** = Keskiraekoko — *Median particle size, μm*  
**Sort** = Lajittuneisuusaste — *Sorting index =  $\sqrt{\frac{d_{75\%}}{d_{25\%}}}$*   
**Savi10** = Valemuuttuja savilajitteen pitoisuudelle >10 % — *A dummy variable describing clay contents of >10 %*  
**Hienot15** = Valemuuttuja hienojen lajitteiden pitoisuudelle <15 % — *A dummy variable describing fine fraction contents of <15 %*  
**Tih<sub>20</sub>** = Kivennäismaan (<20 mm) tiheys — *Soil (<20 mm) bulk density, kg/dm<sup>3</sup>*  
**Syv** = Tilavuusnäytteen keskisyvyys — *The average depth of volumetric sample, m*  
**Tilastolliset tunnusluvut — Statistical parameters**  
 **$\bar{x}$**  = Keskiarvo — *Mean*  
**R** = Vaihteluväli — *Range*  
**CV** = Variaatiokerroin — *Coefficient of variation =  $100 \times s / \bar{x}$ , %*  
**n** = Havaintojen lukumäärä — *Number of observations*  
**R<sup>2</sup>** = Selitysaste — *Coefficient of determination*  
**s<sub>t</sub>** = Regressiomallin jäännöshajonta — *Standard error of estimate*  
**ln** = Luonnollinen logaritmi — *Natural logarithm*

# 1 Johdanto

## 1.1 Boniteetti ja pituusboniteetti

Boniteetilla eli puuntuotoskyvyllä tarkoitetaan kasvupaikan kykyä tuottaa runkopuuta, ja se ilmaistaan yleensä metsikön suurimpana keskimääräisenä kasvuna ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ). Boniteetti arvioidaan käytännössä paikalla kasvavan puuston avulla, jolloin boniteettiarvio vaihtelee puuston laadun mukaan. Tällaisen puustoboniteetin lisäksi voidaan puhua myös potentiaalisesta eli suurimmasta mahdollisesta boniteetista ja aktuaalisesta boniteetista. Kasvupaikan boniteettia on pidettävä suhteellisena tai ainakin vaihtelevana suurena.

Koska runkopuun tuotosta on hankala mitata, boniteetti arvioidaan yleensä epäsuorasti esim. pituusboniteetin tai pintakasvillisuuden tai kasvupaikan muihin ominaisuuksiin perustuvien luokkien avulla (Hägglund 1981). Pituusboniteetti, joka tarkoittaa puuston valtapituutta tietyllä — esim. 100 vuoden iällä, korreloi varsin hyvin boniteetin kanssa (Eriksson 1977). Toisaalta pituusboniteetti voidaan määrittää luotettavasti vain varttuneissa metsissä, joiden valta- puusto on saanut kehittyä vapaasti alusta lähtien ja jota ei ole käsitelty yläharvennuksin (Hägglund & Lundmark 1981). Nuorissa metsissä pituusboniteetti voidaan arvioida melko luotettavasti jakson pituuskasvun avulla (Hägglund 1976). Ruotsissa on arvioitu, että pituusboniteetti voidaan määrittää valtapituuden avulla runsaalla 30 %:lla metsämaasta (Tegnhamar 1992).

Pituusboniteettia on helposti mitattavana, intervalliasteikon suurena käytetty tutkimuksissa, joissa on pyritty selittämään kasvupaikan ominaisuuksien vaikutusta puuntuotoskykyyn (Carmean 1975, Hägglund 1981). Suomessa Viro (1951, 1958) käytti pituusboniteettia tutkiessaan maan ravinteisuuden ja kivisyyden vaikutusta kasvupaikan tuotoskykyyn. Suomessa laadittiin ensimmäiset pituusbonitointiyhtälöt vasta vuonna 1980, jolloin Gustavsen (1980) esitti mallit luontaisesti syntyneille havumetsiköille käyttäen valtakunnan metsien 3. inventoinnin (1951–53) aineistoa ja Vuokila ja Väliaho (1980) esittivät mallit kylvömänniköille ja istutuskuusikoille. Pituusboniteettia on puutteistaan huolimatta pidettävä hyvänä menetelmänä arvioitaessa kertamittauksella kasvupaikan tuotospotentiaali (Hägglund 1981).

## 1.2 Boniteettiin vaikuttavat tekijät

Koska puiden kasvuun vaikuttavia ulkoisia kasvu- tekijöitä, lämpöä, valoa, vettä ja ravinteita, on vaikea mitata, niitä kuvataan epäsuorasti kasvupaikkatekijöillä. Näihin kuuluvat paikan ilmastoa, vesitaloutta ja ravinteisuutta kuvaavat tunnuksat. Ilmastoa voidaan kuvata esim. kasvukauden pituudella, lämpösummalla, sademäärällä ja erilaisilla mantereisuutta tai mereisyyttä ja sadanta-haihduntasuhteita osoittavilla indekseillä (Tuhkanen 1980, Solantie 1990). Vesitaloutta voidaan kuvata topografian, suokasvien tai turpeen esiintymisen, kosteusluokituksen, pohjaveden korkeutta mittaavien muuttujien ja maan raekoostumuksen avulla. Ravinteisuutta voidaan arvioida paitsi maa- tai lehtianalyysin myös määrittämällä pintakasvillisuuden lajikoostumus.

Puulajista ja maantieteellisestä alueesta riippuen varsin erilaiset tunnuksat voivat selittää boniteetin vaihtelua (Coile 1952, Rennie 1962, Carmean 1975, Lundmark 1974). Ulkoisten tekijöiden lisäksi myös puulajien sisäinen geneettinen vaihtelu voi hankaloittaa tuotoskyvyn määrittämistä (Monserud & Rehfeldt 1990). Boniteetin on havaittu korreloivan mm. ilmaston (Koivisto 1970, Heikurainen 1973, Lundmark 1974, Monserud ym. 1990, Worrell & Malcolm 1990a, MacMillan 1991), topografian (Lundmark 1974, Stage 1976, McNab 1989, Worrell & Malcolm 1990b), maan fysikaalisten ominaisuuksien (Ilvessalo 1933, Viro 1947, 1951, 1958, Stoeckeler 1960, Lundmark 1974), maan kemiallisten ominaisuuksien (Valmari 1921, Ilvessalo 1923, Viro 1951, 1961, Urvas & Erviö 1974, Westman 1981, Lipas 1985) ja pintakasvillisuuden (Ilvessalo 1920, Lundmark 1974, La Roi ym. 1988, Green ym. 1989, Nioppola 1992) kanssa.

Suomessa ilmastotunnuksista kasvukauden pituuden ja lämpösumman on todettu korreloivan positiivisesti puuntuotoksen kanssa (Koivisto 1970, Heikurainen 1973, Kuusela 1977). Lapsa kangasmaiden puuntuotoskyky on vain 30..60 % Etelä-Suomen vastaavien kasvupaikkojen tuotoskyvystä (Koivisto 1970, Kuusela 1977). Mitä pohjoisemmaksi siirrytään, sitä suurempi suhteellinen vaikutus ilmastolla on (Kuusela 1977). Ilmaston, erityisesti lämpösumman, vaikutus näyttää ilmenevän myös eräissä maan ominai-

suuksissa, kuten esim. orgaanisen aineen typpi-pitoisuudessa (Tamminen 1991) ja humuskerroksen pH:ssa (Starr & Tamminen 1992) ja turvemaille kaikkien pääravinteiden pitoisuuksissa (Westman 1981).

Topografian merkitys puuntuotoskyvylle lienee suurin Pohjois- ja Itä-Suomessa, missä suhteelliset korkeuserot ovat suurimmat (Poso & Kujala 1973). Ruotsin bonitointijärjestelmässä arvioidaan ns. liikkuvan maaveden esiintyminen topografisen aseman perusteella (Hägglund & Lundmark 1981). Tuotoskyky lienee keskimäärin suurin Suomen leveysasteilla etelään-länteen viettävien rinteiden alaosissa (Poso & Kujala 1973, Lundmark 1974, Stage 1976). Toisaalta notkot voivat olla metsikön kehityksen alkuvaiheessa epäedullisia kasvupaikkoja hallaisuutensa vuoksi (Laiho 1986).

Maan fysikaalisista ominaisuuksista raekoostumus korreloi löyhästi boniteetin kanssa siten, että hienojen lajitteiden osuuden lisääntyessä boniteetti paranee (Ilvessalo 1933, Viro 1947, 1951, Urvas & Erviö 1974, Hägglund & Lundmark 1981, Tamminen 1991). Maan vedenpidätyskyky ja tuotoskyky korreloivat positiivisesti karkeilla mailla (Stoekeler 1960, Viro 1962, Carmean 1975). Juurille soveltuvan maakerroksen paksuuntuessa boniteetti keskimäärin paranee (Lundmark 1974, Carmean 1975). Kasvupaikan kosteus lisää puuntuotoskykyä tiettyyn rajaan asti, mutta soistuminen puolestaan alentaa tuotoskykyä (Lundmark 1974).

Maan kemiallisia tunnuksia ei ole voitu käyttää hyväksi missään käytännön bonitointijärjestelmässä, koska näytteiden otto ja laboratorioanalyysit vievät aikaa ja ovat kalliita. Tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että Suomessa typen ja kalsiumin määrät ja pitoisuudet korreloivat boniteetin kanssa (Valmari 1921, Ilvessalo 1923, Viro 1951, 1961, Urvas & Erviö 1974, Lipas 1985, Tamminen 1991). Selvästi parhaiten boniteetin kanssa korreloi humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus (Lipas 1985, Tamminen 1991). Lannoituskokeiden mukaan vain typi rajoittaa selvästi puiden kasvua kangasmailla. Muiden ravinteiden lisääminen ei ole lisännyt

puiden kasvua. Kuitenkin fosfori voi lisätä kasvua typpilannoituksen yhteydessä viljavilla kasvupaikoilla (Kukkola & Saramäki 1983). Kalkitus saattaa alentaa erityisesti kuusikoiden kasvua (Derome ym. 1986). Sen sijaan turvemaille fosfori- ja kalilannoituksen on todettu lisäävän puuston kasvua (Kaunisto & Paavilainen 1988). Erityisesti puuntuhkalla, joka sisältää mm. kalsiumia, kaliumia, fosforia, magnesiumia ja booria, on turvemaille ollut pitkäaikaista vaikutusta kasvuun (Silfverberg & Huikari 1985). Vaikka kangasmaiden lannoituskokeiden mukaan pääravinteista vain typi on puuntuotosta säätelevä minimitekijä, näyttää mm. kivennäismaan kalsiummääräkin selittävän sekä boniteettia että typpilannoituksella saatavaa kasvunlisäystä (Lipas 1985).

### 1.3 Tutkimustehtävä

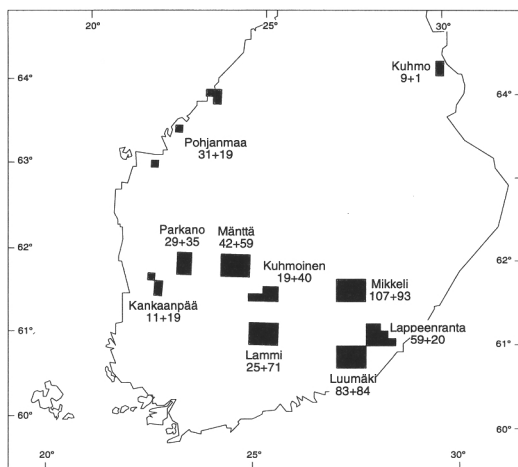
Tässä työssä tarkastellaan lähinnä maan fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien, mutta myös lämpösunnan, topografian ja eräiden muiden kasvupaikan ominaisuuksien merkitystä männyn ja kuusen pituusboniteetin kannalta. Tavoitteena on arvioida, mitkä käytetyistä kasvupaikkaa kuvaavista tunnuksista ennustavat parhaiten pituusboniteettia Etelä-Suomen olosuhteissa, ja min-kälaisia maan fysikaalisten ja kemiallisten tunnusten pitoisuus- ja määrällisyyksiä olisi syytä käyttää bonitoinnissa.

Tutkimuksen alustavan suunnitelman laativat vuonna 1980 professori Eino Mälkönen, metsänhoitaja Reijo Jokinen ja metsätalousinsinööri Teuvo Levula. Pekka Tamminen keräsi maastoaineiston yhteisvoimin Teuvo Levulan kanssa. Maanäytteiden raekoostumus määritettiin Geologian tutkimuskeskuksessa ja muut tunnuksat Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosastolla. Anne Siika viimeisteli taulukot, Sari Elomaa piirsi kuvat ja Ph.D. Michael Starr korjasi englanninkieliset tekstit. Käsikirjoituksen tarkastivat professorit Eino Mälkönen, Juhani Päivänen ja Erkki Annila. Edellä mainituille ja kaikille entisen maantutkimusosaston ja keskuslaboratorion työhön osallistuneille henkilöille osoitan lämpimät kiitokseni.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Aineisto

Yhteensä 1248 näytealaa (16 m × 16 m) mitattiin vuosina 1980–85: Etelä-Suomesta 1166, Pohjanmaalta 50 ja Kainuusta 32 (kuva 1). Tutkimusalueet olivat maaperän peruskartoituksen työalueita. Kultakin karttalehdeltä tutkittiin 10–25 näytealaa. Näytealat sijoitettiin joka 3. tai 4. koordinaattiruudun keskipisteeseen, joka osui kangasmaalle. Näyteala rajattiin mahdollisimman lähelle teoreettista keskipistettä sijaitsevalle yhtenäiselle kuviolle. Puusto luettiin näytealan keskipisteestä relaskoopilla (kerroin 2 tai 1). Näytealoilla, joilla oli varttunutta havupuustoa, arvioitiin pituusboniteetti relaskoopilla poimitujen koepuiden avulla. Koepuun edustama runkoluku (kpl/ha) arvioitiin kaavalla  $n = 12\,732,4 \cdot q/d^2$  (Kuusela 1966), missä  $q$  = relaskoopikerroin (2 tai v. 1980–81 myös 1) ja  $d$  = koepuun rinnankorkeusläpimitta (cm). Koepuita poimitiin paksuimmista alkaen, kunnes niiden runkoluku hehtaaria kohti oli vähintään 100. Koepuita kertyi 3–7 näytealaa kohti valtuuston koosta riippuen. Valtapituus ja -ikä laskettiin koepuiden keskiarvona (vrt. Poso 1983). Pituusboniteetti arvioitiin Gustavsenin (1980) yhtälöiden avulla.



Kuva 1. Mänty- ja kuusikoealojen lukumäärät tutkimusalueittain.

Figure 1. Number of pine and spruce sample plots by study area.

### 2.2 Menetelmät

Kasvu paikkaa kuvattiin mm. seuraavilla muuttujilla, joista tähdellä merkityt eivät olleet mukana vuosina 1980–81: maantieteellinen sijainti ja korkeus merenpinnasta, lämpösumma (Ojansuu & Henttonen 1983), \*topografinen asema (tasamaa, notko, alarinne, ylärinne, mäen laki), kaltevuus (%), kaltevuuden suunta, metsätyyppi, kivisyys (vähäkivinen, kivinen, erittäin kivinen), soistuneisuus (suokasvien peittävyys: <1, 1–4, 4–16, 16–64, 64–256 m<sup>2</sup>/256 m<sup>2</sup>), pääpuulaji, kehitysluokka (aukea, yli 1 m:n mittainen taimikko, nuori kasvatusmetsikkö, varttunut kasvatusmetsikkö, uudistuskypä metsikkö ja vajaa tuottoinen jätemetsä), havu- ja lehtipuiden pohjapinta-ala, \*maaperän paksuus (<30, 30–70, >70 cm), \*pohjaveden pinta (<30, 30–70, >70 cm), \*pinta- (0–30 cm) ja \*pohjamaan maalaji (65–75 cm) (hieno moreeni, keskimoreeni, soramoreeni, savi, hiesu, hieta, hiekka ja sora), \*maannostyyppi (rauta, rautahumus- tai humuspodsol, entinen kaskimaa, entinen viljelysmaa, ruskomaa ja horisontiton maa) ja \*horisonttien selvyys (selvät, epäselvät, eivät erotu) ja kivennäismaahorisonttien A ja B paksuus. Näytealan kehältä otettiin neljän metrin välein näyte humuskerroksesta sylinterillä (d = 58 mm), mitattiin humuskerroksen paksuus ja mitattiin kivisyys Viron (1952) painamisen menetelmällä. Kivennäismaanäytteet otettiin näytealan kulmiin tehdyistä kuopista. Pintamaanäytteet otettiin kaikista neljästä kuopasta, pohjamaanäyte vain yhdestä kuopasta. Pintamaanäytteet yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi.

Maanäytteet kuivattiin ilmakeiviksi, humusnäytteet jauhettiin hienoiksi myllyllä, jossa oli 2 mm:n pohjaseula ja kivennäismaanäytteet seulottiin 2 mm:n seulalla ennen analyysijä. Geologian tutkimuskeskus määrittä kivennäismaiden raakoostumuksen saaden samalla aineistoa maaperäkartoitukseen. Muut analyysit tehtiin Metsätutkimuslaitoksessa.

Näytteistä määritettiin pH vesisuspensiossa, humus- ja pintamaanäytteistä (0–30 cm) määritettiin ammoniumasettaattiin (pH = 4,65) uuttuvat P, K, Ca ja Mg ja kokonaistyyppi Kjeldahl-menetelmällä tai Leco CHN-600 laitteella (vuosien 1984–85 näytteet). Humusnäytteistä määritettiin fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kokonaispitoisuudet kuivapoltoanalyyysillä (3 h 550°C + HCl uutto) (Tamminen 1991).

Kiven ja kallion tilavuusosuus arvioitiin pintamaasta rassin keskipainuman perusteella (Tamminen 1991). Näytteeksi otetun alle 20 mm:n aineksen tiheys arvioitiin pintamaan osalta yhtälöillä (1) ja (2). Yhtälöt laskettiin valtakunnan metsien 8. inventoinnin pysyviltä näytealoilta



kerätyn aineiston (Tamminen & Starr 1990, Starr & Tamminen 1992) perusteella. Yhtälö (1) laskettiin näytteille, joissa oli savesta alle 7 % ja yhtälö (2) näytteille, joissa savesta oli yli 7 %.

$$(1) Tih_{20} = 1,512 - 0,2016 \times \sqrt{oa} + 0,3595 \times Syv + 0,00411 \times Sora ; n = 118, R^2 = 0,796, s_f = 0,09$$

$$(2) Tih_{20} = 1,107 - 0,0241 \times oa + 1,737 \times Syv ; n = 17, R^2 = 0,931, s_f = 0,11 , \text{joissa}$$

Tih<sub>20</sub> — Alle 20 mm:n aineksen ja 5 cm:ä paksun kerroksen tiheys, kg/dm<sup>3</sup>

oa — Orgaanisen aineen osuus, %

Syv — Näytteenottokerroksen keskisyvyys, m (Yhtälöt perustuvat näytteisiin, jotka on otettu kivennäismaakerroksista 0–5 ja 30–35 cm.)

Sora — Soran (2<d<20 mm) osuus, %.

Hehtaarikohtaiset ravinnemäärät arvioitiin seuraavasti:

$$\text{Ravinnemäärä (kg/ha)} = M_{20}(t/ha) \times \text{Pit}[g/kg] \text{ tai } M_{20}(t/ha) \times \text{Pit}[mg/kg]/1000.$$

Hakasuluissa esitetyt pitoisuudet on laskettu alle 20 mm:n, ei alle 2 mm:n aineksesta. Alle 20 mm:n aineksen massa hehtaaria kohti arvioitiin seuraavasti:

$$M_{20} (t/ha) = V_{20} \times Tih_{20}, \text{ missä}$$

$$V_{20} (m^3/ha) = V_{tot} - V_{kivet}, \text{ missä}$$

$$V_{tot} (m^3/ha) = 10000 (m^2) \times 0,3 (m) = 3000 \text{ ja}$$

$$V_{kivet} (m^3/ha) = 3000 \times (83 - 2,75 \text{ Rassi})/100, \text{ missä}$$

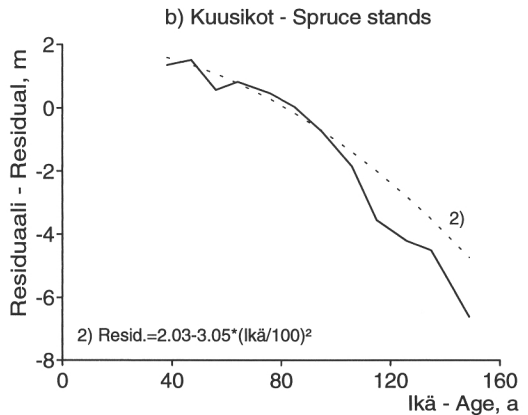
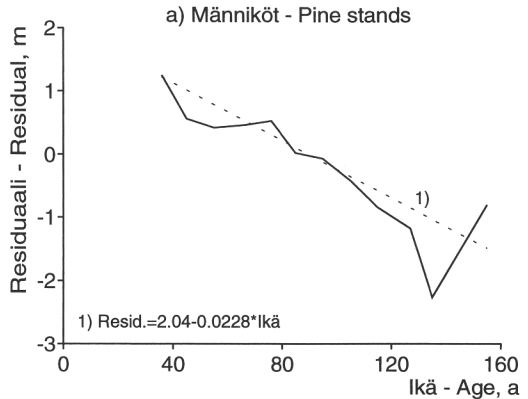
Rassi = kivisyysrassin keskimääräinen painuma (cm) 30 cm:n kerrokseen.

### 2.3 Pituusboniteetin korjaaminen

Aineistoa alustavasti tarkasteltaessa ilmeni, että pituusboniteettia kuvaavien regressiomallien jäännösvaihtelu oli iän suhteen harhainen (kuva 2), vaikka selittäjiksi otettiin kaikki olennaiset kasvupaikkatunnukset. Kyseessä ei ilmeisestikään ollut pituusboniteetin tavanomainen karujen ja viljavien kasvupaikkojen puustojen erilaisesta kiertoajasta johtuva ikätrendi (Tegnhamar 1992), vaan kyseinen harha johtui todennäköisesti bonitointimallien virheistä sekä nuorten ja vanhojen metsiköiden erilaisesta kehityksestä ja käsittelystä (Gustavsen 1980, Tegnhamar 1992).

Harha poistettiin, koska arvioitiin, että kasvupaikkatunnuksiltaan samanlaisten metsiköiden pituusboniteettien tulisi olla yhtäsuuret iästä riippumatta (Tegnhamar 1992). Harhan poistamiseksi laskettiin ensin mahdollisimman hyvin pituusboniteettia kuvaavat regressioyhtälöt

— selittäjinä lämpösomma, metsätyyppi ja maan fyysikaaliset ja kemialliset tunnusmerkit. Sitten laskettiin regressioyhtälöt, joilla selitettiin em. yhtälöiden residuaaleja (= havaittu-ennustettu) valtapuiden iällä (kuvat 2a ja 2b). Alkuperäiset pituusboniteettiarvot korjattiin sen jälkeen vähentämällä kustakin pituusboniteettiarvosta yhtälöllä iän funktiona estimoitu residuaali. Korjatut pituusboniteetit olivat tämän jälkeen harhattomia iän suhteen, ja niitä käytettiin jatkossa alkuperäisten arvojen sijasta.



Kuva 2. Alustavan, pituusboniteettia selittävän, kasvupaikkatunnuksiin perustuvan regressioyhtälön residuaali (havaittu-ennustettu arvo) iän suhteen a) männiköissä ja b) kuusikoissa. Pituusboniteetit korjattiin vähentämällä kuvassa näkyvillä yhtälöillä saatu residuaali alkuperäisestä pituusboniteetista.

Figure 2. Residuals (observed-estimated value) of preliminary regression functions describing site index as a function of soil and site variables a) in the pine and b) in the spruce stands. Site indices were corrected by subtracting the residual estimated by the functions in the figure 2 from the original site index value.

## 3 Tulokset

### 3.1 Pituusboniteetin suhde kasvupaikkatunnuksiin

#### 3.1.1 Metsätyyppi ja kivisyys

Kaikki metsätyyppit erosivat toisistaan pituusboniteetin suhteen sekä männiköissä että kuusikoissa, lukuunottamatta lehtojen ja OMT:n kuusikoita (taulukko 1). Metsätyyppien erot olivat varianssianalyysin mukaan männiköissä hiukan selvennämät, mihin lienee vaikuttanut männiköiden kuusikoita tasaisempi kasvupaikkajakauma. Vaikka metsätyyppien sisäinen vaihtelu ei näyttänyt variaatiokertoimen perusteella kovin suurelta, vaihteluvälit olivat suuria, jopa 10–15 m. Metsätyyppien järjestys pituusboniteetin suhteen oli männiköissä: OMT>MT>VT>CT, ja kuusikoissa: LH = OMT>MT>VT. Vähäkivisillä ja soistumattomilla kasvupaikoilla — 251 männiköä ja 290 kuusikkoa — tilanne oli muuten sama, mutta männiköiden OMT ja MT eivät eronneet tilastollisesti toisistaan.

Silmävaraisesti arvioitua kivisyyttä käytetään veroluokituksessa metsätyyppin lisämääränä, joka voi alentaa veroluokkaa yhden tai kaksi luokkaa. Tässäkin aineistossa silmävaraisesti arvioitu kivisyys alensi pituusboniteettia (taulukko 2), mutta kivisyyden vaikutus ei ollut yhtä selkeä kuin metsätyyppin vaikutus. Osasyynä saattoi olla kivisyysluokkien vino frekvenssijakauma.

Painamismenetelmällä mitatun kivisyyden jakaumat olivat tasaisempia kuin arvioitun kivisyyden jakaumat (taulukot 2 ja 3). Näytti siltä, että kivisyys alensi pituusboniteettia MT:llä, VT:llä ja CT:llä, mutta ei lehdossa ja OMT:llä. Kivisyys alensi pituusboniteettia tilastollisesti vasta erittäin kivisillä mailla, joilla kivien osuus oli yli 50 %, jolloin rassin painuma oli  $\leq 12$  cm (ks. Viro 1958). Kivisyyden vaikutus ei ollut tässä aineistossa yhtä voimakas kuin Viron (1958) valtakunnan metsien 3. inventoinnista kerättyssä aineistossa. Kivisyyden boniteettia alentava vaikutus näkyy myös metsätyyppittäisissä mitatun kivisyyden ja pituusboniteetin välisissä korrelaatioissa:

	OMT	MT	VT	CT
Männiköt	0	-0,26***	-0,34***	-0,29***
Kuusikot	0	-0,18**	-0,86***	

Mitatun kivisyyden pienin arvo oli 1 %, suurin 78 % ja 25, 50 ja 75 %:n kvarttiilit olivat 20, 34 ja 47 %. Mitatun kivisyyden jakauma oli likimain normaali, päinvastoin kuin arvioitun kivisyyden.

Kivisyyden arviointi ja mittaaminen tuottivat selvästi erilaiset tulokset (taulukko 4). Käytetty mitatun kivisyyden luokitus vastasi Viron (1958) luokitusta kivirassin keskimääräisen painuman osalta, ts. luokkien rajat olivat 12 ja 21 cm.

Taulukko 1. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) metsätyypeittäin.  
Table 1. Site index ( $H_{100}$ , m) by site type.

	LH	Metsätyyppi — Site type				
		OMT	MT	VT		CT
<b>Mänty — Pine</b>						
Keskiarvo — Mean, m <sup>1)</sup>		25,2 <sup>a</sup>	23,5 <sup>b</sup>	20,8 <sup>c</sup>	16,4 <sup>d</sup>	F=101***
CV, %		6,9	10,5	13,9	20,0	
Vaihteluväli — Range, m		20–28	17–31	14–27	10–21	
n		34	193	151	37	
<b>Kuusi — Spruce</b>						
Keskiarvo — Mean, m	30,1 <sup>a</sup>	28,5 <sup>a</sup>	25,7 <sup>b</sup>	19,5 <sup>c</sup>		F=43***
CV, %	8,2	8,3	13,4	12,0		
Vaihteluväli — Range, m	27–34	22–34	17–32	15–21		
n	8	148	278	7		

<sup>1)</sup> Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät eroa tilastollisesti toisistaan  
The mean values marked with the same letter are statistically not different

Taulukko 2. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) silmävaraisesti arvioitun kivisyyden funktiona metsätyypeittäin. Varianssianalyysi ja keskiarvojen vertailu on tehty niiden keskiarvojen osalta, joita seuraa kirjain.

Table 2. Site index ( $H_{100}$ , m) as a function of ocularly estimated stoniness by site type. Analysis of variance and comparison of means have been performed only on the mean values followed by a letter.

Metsätyyppi Site type	Kivisyys Stoniness	Mänty — Pine $\bar{x}$ n	Kuusi — Spruce $\bar{x}$ n		
LH	kivetön — stonefree	—	29,7	5	
	kivinen — stony	—	30,7	3	
	er. kiv. — very stony	—	—	—	
OMT	kivetön — stonefree	25,3	31	28,7 <sup>a 1)</sup>	108
	kivinen — stony	24,1	3	28,3 <sup>ab</sup>	33
	er. kiv. — very stony	—	—	26,3 <sup>bc</sup>	7
MT	kivetön — stonefree	24,1 <sup>a</sup>	126	26,2 <sup>cd</sup>	203
	kivinen — stony	22,8 <sup>b</sup>	51	24,4 <sup>c</sup>	68
	er. kiv. — very stony	20,8 <sup>bc</sup>	16	23,6 <sup>cd</sup>	7
VT	kivetön — stonefree	21,6 <sup>bc</sup>	81	20,7	3
	kivinen — stony	20,6 <sup>c</sup>	50	18,7	4
	er. kiv. — very stony	18,2 <sup>d</sup>	20	—	—
CT	kivetön — stonefree	16,6 <sup>d</sup>	28	—	—
	kivinen — stony	15,0 <sup>d</sup>	6	—	—
	er. kiv. — very stony	17,8 <sup>cd</sup>	3	—	—
		F-arvo — F value			
Metsätyyppi — Site type		52,1 <sup>***</sup>		26,5 <sup>***</sup>	
Kivisyys — Stoniness		7,82 <sup>***</sup>		8,57 <sup>***</sup>	
Yhdysvaikutus — Interaction		2,32		1,85	

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

### 3.1.2 Topografia

Vaikka tutkimusalueet olivat pinnanmuodoiltaan varsin tasaisia, näytti koealan topografinen sijainti vaikuttavan hiukan pituusboniteettiin. Boniteetti oli korkein rinteillä ja notkoissa, matalin mäkien laella ja tasamailla (taulukko 5). Erot olivat kuitenkin melko pieniä, mutta odotusten mukaisia (Hägglund & Lundmark 1977, Nilsen & Larsson 1992).

Rinteen kaltevuus näytti vaikuttavan keskimäärin positiivisesti boniteettiin, ts. mitä jyrkempi rinne, sitä suurempi pituusboniteetti (taulukko 6). Männyllä kaltevuuden vaikutus ilmeni selvemmin kuin kuusella. Rinteen kaltevuusuunta ei sen sijaan näyttänyt korreloivan lainkaan pituusboniteetin kanssa (taulukko 7). Lounaisrinteet ovat epäilemättä lämpimämpiä kuin koillisrinteet, mutta tämän aineiston mukaan rinteiden suunta ei siis korreloinut pituusboniteetin kanssa.

### 3.1.3 Maan fysikaaliset tunnuksukset

Maaperän paksuuden vaikutusta boniteettiin testattiin vain männyn osalta, koska kuusikoealoista vain kahdella maan paksuus oli alle 30 cm. Männylläkin jakauma oli haitallisen vino, ja kaikki luokat esiintyivät vähintään kahdesti vain MT:llä ja VT:llä. Muiden tekijöiden kuin maaperän paksuuden vaikutuksen vähentämiseksi otettiin tarkasteluun vain eteläisten tutkimusalueiden — ei Pohjanmaata eikä Kuhmoa — kasvu- ja maaperäpaikat, joilla maalaji oli keskikarkeaa (12 < Hienot < 60 %) ja lajittumatonta (Sort > 3). Maaperän paksuuden vaikutus oli kummallakin metsätyyppillä selvästi positiivinen. Kaikki paksuusluokat erosivat metsätyypeittäin toisistaan (taulukko 8).

Humuskerroksen paksuuden lisääntyessä pituusboniteetti keskimäärin laski (taulukko 9). Männiköissä humuskerroksen paksuuden ja pituusboniteetin kesken vallitsi heikompi riippuvuus kuin kuusikoissa, minkä vahvistivat mänty- ja kuusiaineiston korrelaatiokertoimetkin,  $-0,16$  ja  $-0,31$ . Männiköissä ohuita humuskerroksia

Taulukko 3. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) mitatun kivisyyden funktiona metsätyyppittäin. Varianssianalyysi ja keskiarvojen vertailu on tehty niiden keskiarvojen osalta, joita seuraa kirjain. Keskiarvojen vertailu on tehty metsätyyppittäin.

Table 3. Site index ( $H_{100}$ , m) as a function of measured stoniness by site type. Analysis of variance has been performed only on the mean values followed by a letter. The comparison of the means have been made within each site type.

Metsätyyppi Site type	Kivisyys Stoniness, %	Mänty — Pine		Kuusi — Spruce	
		$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
LH	0–25	–	–	28,7	4
	25–50	–	–	31,6	2
	>50	–	–	31,3	2
OMT	0–25	25,5 <sup>a1)</sup>	11	28,6 <sup>a</sup>	51
	25–50	25,2 <sup>a</sup>	19	28,5 <sup>a</sup>	75
	>50	24,0 <sup>a</sup>	4	28,3 <sup>a</sup>	22
MT	0–25	24,1 <sup>a</sup>	59	26,1 <sup>a</sup>	82
	25–50	23,7 <sup>a</sup>	95	26,1 <sup>a</sup>	155
	>50	22,1 <sup>b</sup>	39	23,3 <sup>b</sup>	41
VT	0–25	21,8 <sup>a</sup>	51	21,2	2
	25–50	21,0 <sup>a</sup>	70	20,4	3
	>50	18,8 <sup>b</sup>	30	16,5	2
CT	0–25	16,7 <sup>a</sup>	21	–	–
	25–50	17,4 <sup>a</sup>	12	–	–
	>50	11,7 <sup>b</sup>	4	–	–
		<i>F</i> -arvo — <i>F</i> value			
Metsätyyppi — Site type		96,9***		89,0***	
Kivisyys — Stoniness		15,2***		6,73***	
Yhdysv. — Interaction		1,51		4,32*	

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

Taulukko 4. Arvioitujen ja mitatun kivisyyden frekvenssijakaumat ja mitatun kivisyyden keskiarvot arvioitujen kivisyyden luokissa. (Taulukko perustuu laajempaan aineistoon, jossa on mukana koealoja, joilta ei määritetty pituusboniteettia).

Table 4. Frequency distributions of estimated and measured stoniness and mean values of measured stoniness as a function of estimated stoniness. (The table is based on a larger material consisting sample plots for which the site index has not been determined).

Arvioitu kivisyys Estimated stoniness	Mitattu kivisyys Measured stoniness, %			Yhteensä Total	Mitatun kivisyyden keskiarvo Mean measured stoniness, %
	0–25	25–50	>50		
	Näytealoja, kpl — No. of sample plots				
Kivetön — Stonefree	367	395	59	821	26
Kivinen — Stony	23	195	131	349	45
Er. kiv. — Very stony	3	27	48	78	54
Yhteensä — Total	393	617	238	1248	33

esiintyy monesti sekä karuilla että viljavilla kasvupaikoilla, kun taas kuusikoissa humuskerroksen paksuus kasvaa tasaisesti siirryttäessä karummille kasvupaikoille.

Humuskerroksen paksuuden ja pituusboniteetin löyhä korrelaatio näkyy myös metsätyyppittäin lasketuista korrelaatioista. Vain MT:llä korrelaatiot ovat tilastollisesti merkitseviä ja VT-männiköissä suuntaa-antavasti merkitseviä:

Metsätyyppi	Metsätyyppi				Kaikki metsätyyppit
	OMT	MT	VT	CT	
Mänty	0,15	-0,20**	-0,16	-0,26	-0,16**
Kuusi	-0,06	-0,25***	0,14	–	-0,31***

Kivennäismaan raekoostumusta kuvattiin käytämällä saven, hienojen lajitteiden ( $d < 63 \mu m$ ) ja soran osuutta, keskiraekokoa ja lajittuneisuutta sekä hienojen lajitteiden määrää hehtaarilla. Raekoostumustunnukset korreloivat pituusboniteetin kanssa vain männiköissä, ja parhaita tunnuksia olivat hienojen lajitteiden osuus ja määrä (taulukko 10). Hienojen lajitteiden osuuden kasvussa boniteetti nousi aluksi, mutta jo 20 %:n osuudesta ylöspäin tuskin lainkaan (kuva 3, Hicock ym. 1931). Ilmiö näkyi sekä männyllä että kuusella. Tarkasteltaessa vastaavasti savilajitetta boniteetti nousi lievästi savilajitteen osuuden kasvussa, mutta kuusikoissa boniteetti näytti oikein lukusarjan mukaan laskevan saven osuuden noustessa yli 20 %:n:

savilajitetta, %	0–2	2–5	5–10	10–20	> 20
$H_{100}$ , m	25,8	27,0	27,5	26,3	24,2

Taulukko 5. Keskimääräinen pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) ja koealan topografinen asema.  
 Table 5. Average site index ( $H_{100}$ , m) and topographic location of the sample plot.

	Tasamaa Level		Topografinen asema — Topographic location						F-arvo F value		
	$\bar{x}$	n	Notko Depression		Alarinne Lower slope		Ylärinne Upper slope			Mäen laki Hill top	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	
Mänty — Pine	21,2 <sup>a 1)</sup>	86	23,0 <sup>ab</sup>	7	23,9 <sup>bc</sup>	53	22,9 <sup>bc</sup>	76	20,5 <sup>a</sup>	52	10,6***
Kuusi — Spruce	25,4 <sup>b</sup>	82	27,4 <sup>ab</sup>	21	27,7 <sup>a</sup>	111	26,2 <sup>ab</sup>	71	25,4 <sup>ab</sup>	21	6,24***

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

Taulukko 6. Keskimääräinen pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) ja rinteen kaltevuus.  
 Table 6. Average site index ( $H_{100}$ , m) and slope steepness.

	0		Kaltevuus — Slope, %				>20		F-arvo F value
	$\bar{x}$	n	0–10		11–20		$\bar{x}$	n	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	
Mänty — Pine	21,0 <sup>b 1)</sup>	163	22,5 <sup>a</sup>	185	23,0 <sup>a</sup>	54	24,5 <sup>a</sup>	13	10,1***
Kuusi — Spruce	25,5 <sup>b</sup>	125	27,0 <sup>a</sup>	228	27,1 <sup>a</sup>	73	27,6 <sup>ab</sup>	15	6,20***

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

Taulukko 7. Keskimääräinen pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) ja rinteen kaltevuussuunta.  
 Table 7. Average site index ( $H_{100}$ , m) and slope exposition.

	1–90		Rinteen suunta — Exposition, °				271–360		F-arvo F value
	$\bar{x}$	n	91–180		181–270		$\bar{x}$	n	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	
Mänty — Pine	22,4	63	22,6	63	22,7	83	23,2	43	0,57
Kuusi — Spruce	27,5	99	26,8	58	26,9	95	26,8	64	1,05

Taulukko 8. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) maaperän paksuuden funktiona männiköissä.  
 Table 8. Site index ( $H_{100}$ , m) as a function of soil thickness in pine stands.

Metsätyyppi Site type	Maaperän paksuus — Soil thickness, cm						F-arvo F value
	<30		30–70		>70		
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	
MT	20,0 <sup>a 1)</sup>	8	22,6 <sup>b</sup>	39	24,0 <sup>c</sup>	153	14,0***
VT	17,7 <sup>a</sup>	19	20,2 <sup>b</sup>	15	22,2 <sup>c</sup>	96	29,7***

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

Taulukko 9. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) humuskerroksen paksuuden funktiona.  
 Table 9. Site index ( $H_{100}$ , m) as a function of thickness of the humus layer.

	Humuskerroksen paksuus — Thickness of the humus layer, cm							F-arvo F value
	-1	-2	-3	-4	-5	-7	>7	
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	
Mänty — Pine	24,4 <sup>1)</sup>	22,6	22,1	21,5	20,9	21,0	21,3	2,35*
Kuusi — Spruce	28,9 <sup>a</sup>	28,3 <sup>a</sup>	27,0 <sup>ab</sup>	26,1 <sup>bc</sup>	25,4 <sup>c</sup>	24,7 <sup>c</sup>	23,2 <sup>bc</sup>	7,38***

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

Taulukko 10. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) maalajeittain.  
Table 10. Site index ( $H_{100}$ , m) by soil texture class.

Maalaji — Texture class	Mänty — Pine $\bar{x}$	Kuusi — Spruce n	$\bar{x}$	n
Lajittuneet — Sorted, Sort $\leq 3$				
Savi + hiesu, $d_{50} < 20 \mu\text{m}$	23,6 <sup>ab 1)</sup>	1	24,8	6
hieno hieta, 20–63 $\mu\text{m}$	22,4 <sup>ab</sup>	8	27,9	6
karkea hieta, 63–200 $\mu\text{m}$	22,2 <sup>ab</sup>	42	26,5	22
hieno hiekka, 200–632 $\mu\text{m}$	20,6 <sup>b</sup>	42	26,1	21
karkea hiekka, 632–2000 $\mu\text{m}$	18,4 <sup>ab</sup>	4	19,9	1
sora, 2000–20000 $\mu\text{m}$	20,7 <sup>ab</sup>	1	—	—
Lajittumattomat — Unsorted, Sort $> 3$				
HiesuMr, $d_{50} < 20 \mu\text{m}$	25,3 <sup>ab</sup>	4	26,0	18
hHtMr, 20–63 $\mu\text{m}$	23,6 <sup>ab</sup>	4	27,8	24
kHtMr, 63–200 $\mu\text{m}$	23,5 <sup>a</sup>	113	27,2	142
hHkMr, 200–632 $\mu\text{m}$	21,5 <sup>b</sup>	139	26,4	154
kHkMr, 632–2000 $\mu\text{m}$	21,1 <sup>b</sup>	53	25,5	44
SrMr, 2000–20000 $\mu\text{m}$	23,0 <sup>ab</sup>	4	29,6	3
F-arvo — F value	4,34 <sup>***</sup>		2,22 <sup>*</sup>	

1) Ks. taulukko 1 — See Table 1

Kun havainnot jaettiin maalajeihin keskiraekoon ja lajittuneisuusindeksin avulla seuraavasti:

— jos  $\text{Sort} = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}} \leq 3$ , niin maalaji lajittunut,

muutoin lajittumaton,

— maalajien ylärajat keskiraekoolle olivat: 20 (savi+hiesu), 63 (hieno hieta), 200 (karkea hieta), 632 (hieno hiekka), 2000  $\mu\text{m}$  (karkea hiekka) ja 20 mm (sora)

niin maalajeittaiset pituusboniteetit eivät olleet varianssianalyysin mukaan yhtäsuuria, mutta maalajien parittaisissa vertailuissa kuusella ei eroja löytynyt yhtään ja männylläkin vain kolmessa tapauksessa (taulukko 10). Kovin selvää kuvaa maalajien ja boniteetin suhteista ei saatu mm. epätasaisen jakauman takia. Näytti kuitenkin siltä, että hienohkot maalajit olivat boniteetin suhteen parhaimpia ja karkeimmat huonoimpia (taulukko 10). Männyn pituusboniteettiin vaikutti sekä keskiraekoko (–63, –200, –632, >632 mm;  $F = 9,52^{***}$ ) että lajittuneisuus ( $\leq 3$ ,  $>3$ ;  $F = 7,48^{**}$ ).

Arvioitaessa maan fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta pituusboniteettiin laskettiin ensin korrelaatiot (taulukko 11) ja sitten regressioyhtälöt (3a) ja (3b) (taulukko 12). Männiköissä raekoostumustunnusten korrelaatiot olivat selvästi korkeampia kuin kuusikoissa, kun taas kuusikoissa humuskerroksen paksuus ja orgaanisen

Taulukko 11. Pituusboniteetin ( $H_{100}$ , m) ja fysikaalisten maatunnusten väliset korrelaatiokertoimet.  
Table 11. Correlations between site index ( $H_{100}$ , m) and physical soil variables.

Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Mänty — Pine	Kuusi — Spruce
Humpak, cm	–0,165	–0,305
Humorg, %	–0,326	–0,328
Humorg, t/ha	–0,123	–0,237
Kivorg, %	0,137	0,109
Kivorg, t/ha	0,273	0,162
Org, t/ha	0,211	0,092
Kivis, %	–0,136	–0,141
ln Savi, %	0,262	0,060
Hienot, %	0,348	0,090
Hienot, t/ha	0,357	0,078
Sora, %	–0,107	–0,139
Sort	0,046	0,010
ln $d_{50}$	–0,265	–0,086

Kriittiset korrelaatiot — Critical correlations:  
 $|r_{0,05}| > 0,098$ ,  $|r_{0,01}| > 0,128$  ja  $|r_{0,001}| > 0,167$

1) Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

aineen määrä korreloivat paremmin pituusboniteetin kanssa kuin männiköissä. Korrelaatiot jäivät varsin alhaisiksi.

Regressioita laskettaessa otettiin mukaan uusia muuttujia, nimittäin lämpösomma (d.d.), kaltevuus (%), kallio (0/1), savi10 (0/1) ja hienot15 (0/1). Muuttuja ”Kallio” sai arvon 1, kun maaperän paksuus oli alle 30 cm, muuttuja ”Savi10” sai arvon 1, kun savea oli yli 10 % ja muuttuja ”Hienot15” sai arvon 1, kun hienoja lajitteita oli alle 15 %. Yhtälöt laskettiin askeltavalla regressioanalyysillä estäen keskenään voimakkaasti korreloituneiden muuttujien tulo malliin (tolerance = 0,30, ks. Dixon & Jennrich 1985).

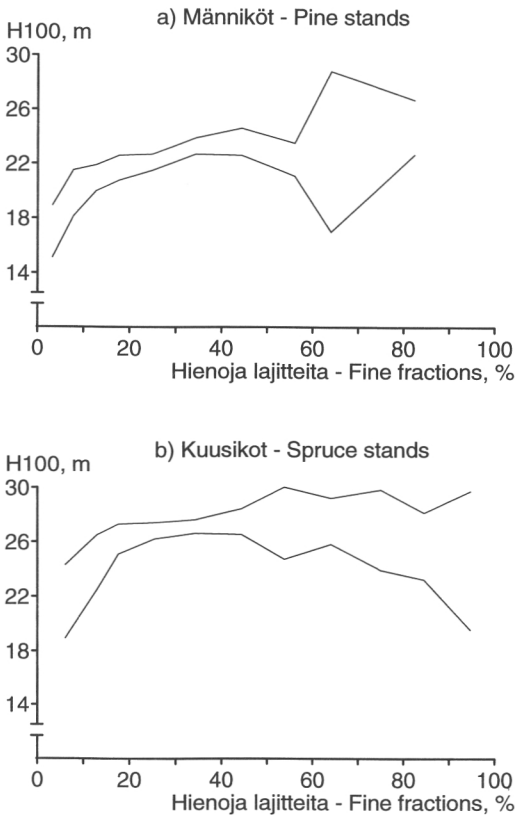
Männyn mallin tärkein riippumaton muuttuja oli valemuuttuja kallio, toiseksi tärkein hienojen lajitteiden osuus ja kolmanneksi tärkein lämpösomma. Kuusen mallissa tärkein muuttuja oli lämpösomma ja seuraavaksi tärkeimpiä olivat soran ja humuskerroksen orgaanisen aineen osuudet. Rinteen kaltevuus korreloi positiivisesti sekä männyn että kuusen pituusboniteetin kanssa, ja kuusen malliin valikoitui yllättävästi raekoostumusmuuttujia. Mallien selitysasteet olivat vaatimattomia 0,37 ja 0,30 ja keskivirheet lähes yhtä suuret, noin  $\pm 3$  m.

Taulukko 12. Fysikaalisia muuttujia sisältävät männiköiden (3a) ja kuusikoiden (3b) pituusboniteetitmallit.

Table 12. Site index models for the pine (3a) and spruce (3b) stands containing soil physical characteristics.

Yhtälö — Function (3a) y = H <sub>100</sub> , m Mänty — Pine			Yhtälö — Function (3b) y = H <sub>100</sub> , m Kuusi — Spruce		
Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value	Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value
	+5,47			+13,28	
Kallio (0/1)	-4,40	-8,07	Temps, dd	+0,0172	6,51
Hienot, %	+0,074	7,04	Sora, %	-0,0659	-4,89
Temps, dd	+0,0143	6,81	Humorg, %	-0,069	-4,31
Kaltevuus, %	+0,062	3,12	Savi10 (0/1)	-2,18	-3,57
Humorg, %	-0,0375	-3,01	Hienot15 (0/1)	-1,95	-3,48
			Humpak, cm	-0,361	-2,89
			Kaltevuus, %	+0,0504	2,39
R <sup>2</sup> = 0,374, s <sub>r</sub> = 2,8 m (≈12,6 %)			R <sup>2</sup> = 0,296, s <sub>r</sub> = 3,0 m (≈11,1 %)		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations



Kuva 3. Pituusboniteetti (H<sub>100</sub>, m) hienojen lajitteiden (d<63 μ m) funktiona a) männiköissä ja b) kuusikoissa.  
Figure 3. Site index (H<sub>100</sub>, m) as a function of fine fraction (d<63 μ m) content a) in the pine and b) in the spruce stands.

### 3.1.4 Maan ravinnetunnukset

Tässä tutkimuksessa kertyi näyte- ja analyysivalikoiman suppeudesta huolimatta 50 erilaista ravinnemuuttujaa (taulukko 13), joiden korrelaatioita pituusboniteetin suhteen tutkittiin. Männiköissä parhaiten pituusboniteetin kanssa korreloivat kalsiummuuttujat, erityisesti kivennäismaan kalsiummäärä, sekä humuskerroksen ja kivennäismaan orgaanisen aineen typpipitoisuudet. Kuusikoissa humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus korreloi selvästi parhaiten pituusboniteetin kanssa, ja sen lisäksi kohtalaisen hyvin korreloivat kivennäismaan orgaanisen aineen typpipitoisuus ja humuskerroksen uuttuvan kaliumin ja fosforin pitoisuudet (taulukko 13). Fosfori- ja kalsiummuuttujien korrelaatiot olivat kuusiaineistossa huomattavasti korkeammat kuin mäntyaineistossa, jossa puolestaan jo em. kalsium-, mutta myös magnesiummuuttujat korreloivat paremmin kuin kuusikoissa. Kaliummuuttujien negatiiviset korrelaatiot eivät vastaa metsätyypeittäin tehtyjä selvityksiä (Urvas & Erviö 1974, Tamminen 1991), joiden mukaan kaliumin pitoisuudet laskevat metsätyypin huonontuessa.

Sekä männiköissä että kuusikoissa humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuuden ja pituusboniteetin riippuvuus oli käyräviivaista (kuva 4). Männiköissä pituusboniteetti nousi tasaisesti typpipitoisuuden arvoilla 10–17 g/kg orgaanista ainetta tasaantuen sen jälkeen. Optimityppipitoisuus näytti olevan luokittaisten keskiarvojen perusteella jopa 25...28 g/kg oa, mutta regressio-

mallin  $H_{100} = -25,2 + 14,05 \times \sqrt{Nhoa} - 0,0326 \times Nhoa^2$  perusteella 19...26 g/kg oa. Kuusikoissa boniteetin jyrkähkö nousu jatkui typpipitoisuuden 19 g/kg oa optimityppipitoisuuden ollessa luokakeskiarvojen perusteella yli 25 g/kg oa ja regressiomallin  $H_{100} = -21,3 + 13,05 \times \sqrt{Nhoa} - 0,0228 \times Nhoa^2$  perusteella 24...31 g/kg oa. Kivennäismaan orgaanisen aineen typpipitoisuuden ja pituusboniteetin riippuvuus oli löyhempää ja suoraviivaisempaa (kuva 4). Männiköissä kivennäismaan kalsiummäärän logaritmin ja pituusboniteetin riippuvuus oli myös käyräviivaisista, mutta esim. kuusikoiden humuskerroksen kaliumpitoisuuden riippuvuus oli lineaarista (kuva 4).

Männiköiden ja kuusikoiden erilaisuus ilmeni myös ravinnemuuttujiin perustuvissa regressiomalleissa (4) ja (5) (taulukot 14 ja 15). Männiköiden pituusboniteetin paras selittäjä oli kivennäismaan kalsiummäärä ja kuusikoiden humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus, joiden osuudet yhtälöiden selitysasteista olivat 65...72 %. Yhtälöt (5a) ja (5b) laskettiin rajoittamalla malliin valikoituvien riippumattomien muuttujien keskinäisiä korrelaatioita — tolerance = 0,3, (Dixon & Jennrich 1985), jotta erityisesti tärkeimpien muuttujien suhteellinen merkitys olisi selvinnyt. Yhtälöt (6a) ja (6b) laskettiin ilman em. korrelaatorajoitusta mahdollisimman hyvien ennustemallien laatimiseksi. Männyn yhtälöihin valikoitui enemmän muuttujia kuin kuusen yhtälöihin, mikä saattoi johtua männyn laajemmasta ja tasaisemmasta kasvupaikkajakau-  
masta. Yhtälöt (4) ja (5) olivat korrelaatioiden perusteella varsin loogisia (vrt. taulukko 13). Kuhunkin yhtälöön, myös männyn yhtälöihin, valikoitui kaksi kaliummuuttujaa negatiivisin etumerkein. Kaliummuuttujat edustivat sekä humuskerrosta että kivennäismaata. Näyttää siltä, että kaliumin määrän ja pituusboniteetin kesken vallitsee tavallisilla kangasmailla negatiivinen korrelaatio kuten myös Lipas (1985) on todennut. Männyn yhtälöihin valikoitui humuskerroksen fosforipitoisuutta kuvaava muuttuja positiivisin kertoimin, mikä lannoituskokeiden perusteella olisi sopinut paremmin kuuselle (Kukkola & Saramäki 1983). Lämpösumman merkitys oli yllättävän vähäinen. Se tuli mukaan vain männyn yhtälöihin. Synnä lienee lämpöoloiltaan suppeahko tutkimusalue.

Taulukko 13. Kemiallisten maatunnusten korrelaatiot pituusboniteetin suhteen.

Table 13. Correlations between site index and chemical soil variables.

Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Korrelaatiokerroin — Correlation coefficient	
	Mänty — Pine	Kuusi — Spruce
pHh	0,408	0,287
pHk	,128	+ <sup>2)</sup>
Nh, g/kg	,273	,382
Nhoa, g/kg oa	,530	,603
lnNhha, kg/ha	,116	+
lnNk, g/kg	,297	,279
Nkoa, g/kg oa	,470	,474
Nkl, g/l	,278	,279
Nkha, kg/ha	,410	,274
Nha, kg/ha	,399	,266
Pt, g/kg	,117	—
Ptoa, g/kg oa	,311	,183
lnPtha, kg/ha	+	—,167
Pu, mg/kg	—	—,366
Puoa, mg/kg oa	+	—,255
Puha, kg/ha	—	—,389
lnPk, mg/kg	—	—,207
Pkl, mg/l	—	—,282
Pkha, kg/ha	—	—,196
Pha, kg/ha	—	—,350
Kt, g/kg	—,201	—,160
Ktoa, g/kg oa	+	+
lnKtha, kg/ha	—,139	—,310
Ku, g/kg	—,224	—,429
Kuoa, g/kg oa	+	—,230
Kuha, kg/ha	—,155	—,410
lnKk, mg/kg	+	—,123
Kkl, mg/l	+	—,126
Kkha, kg/ha	,171	—
Kha, kg/ha	+	—,151
lnCat, g/kg	,419	,194
lnCatoa, g/kg oa	,498	,291
lnCatha, kg/ha	,292	+
lnCau, g/kg	,450	,206
lnCauoa, g/kg oa	,516	,301
Cauha, kg/ha	,273	+
lnCak, mg/kg	,507	,168
lnCakl, mg/l	,525	,163
lnCakha, kg/ha	,596	,201
lnCaha, kg/ha	,590	,162
lnMgt, g/kg	,264	,211
lnMgtoa, g/kg oa	,308	,259
lnMgtha, kg/ha	,208	+
Mgu, g/kg	,154	—
Mguoa, g/kg oa	,308	,139
lnMguha, kg/ha	+	—,145
lnMgk, mg/kg	,275	+
lnMgkl, mg/l	,290	+
lnMgkha, kg/ha	,379	+
lnMgha, kg/ha	,341	+

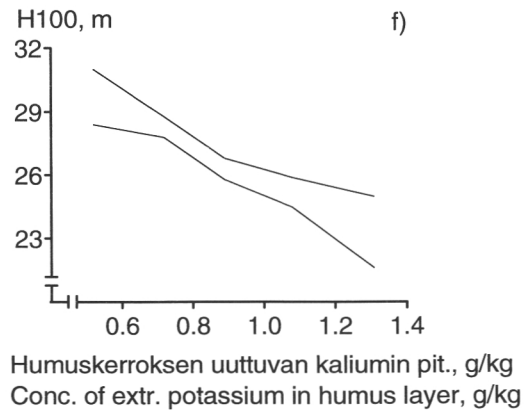
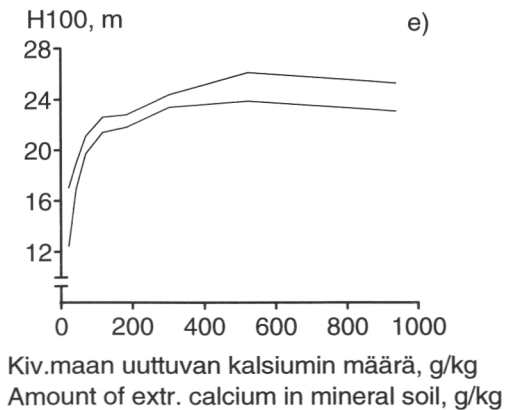
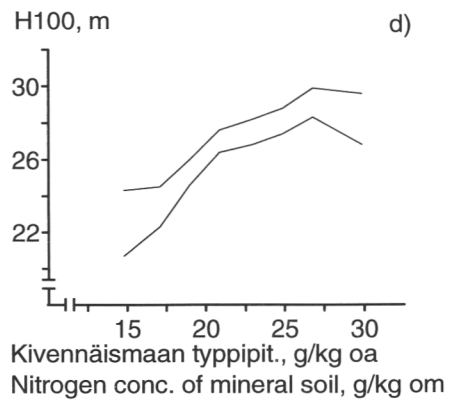
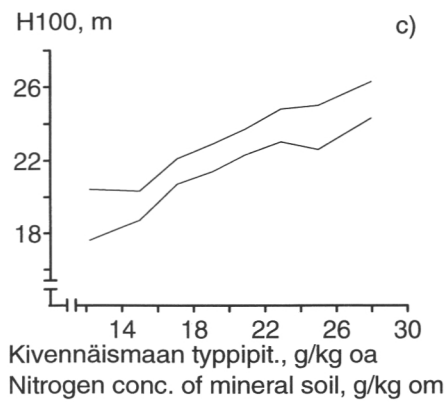
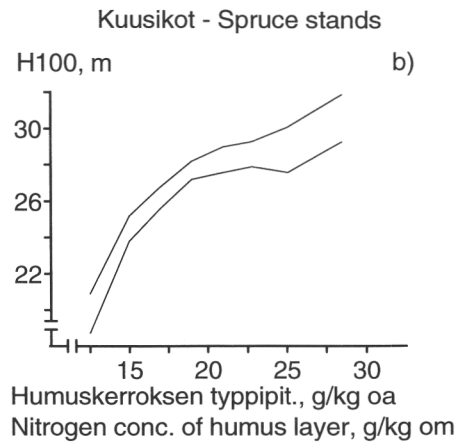
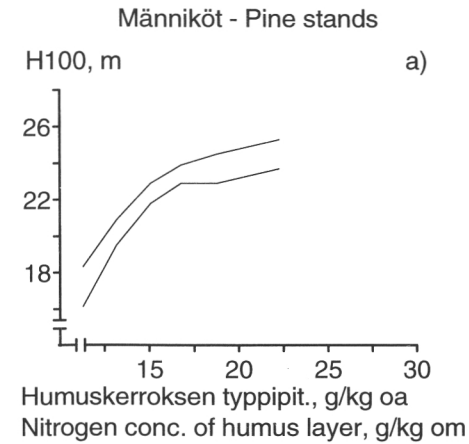
Kriittiset korrelaatiot — Critical correlations:

$|r_{0,05}| > 0,098$ ,  $|r_{0,01}| > 0,128$  ja  $|r_{0,001}| > 0,167$

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

<sup>2)</sup> Vain etumerkki, jos korrelaatio ei ole merkitsevä — Only the sign, if the correlation coefficient is not significant





Kuva 4. Pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) humuskerroksen ja kivennäismaan orgaanisen aineen typpipitoisuuden (a–d), männiköiden kivennäismaan kalsiummäärän (e) ja kuusikoiden humuskerroksen uuttuvan kaliumpitoisuuden (f) funktiona.

Figure 4. Site index ( $H_{100}$ , m) as a function of nitrogen concentrations of organic matter of the humus layer and the mineral soil (0–30 cm) (a–d), amount of extractable calcium of the mineral soil in pine stands (e) and extractable potassium concentration of the humus layer (f).

Taulukko 14. Maaperän kemiallisia muuttujia sisältävät pituusboniteettimallit männiköille. Selittäji-  
 en keskinäistä korrelaatiota on rajoitettu voimakkaasti (4a) ja lievästi (4b).  
 Table 14. Site index models with soil chemical variables for the pine stands with high (4a) and low  
 (4b) restrictions for the intercorrelation between the independent variables.

Yhtälö — Function (4a) y = H <sub>100</sub> , m Mänty — Pine (tolerance = 0,3)			Yhtälö — Function (4b) y = H <sub>100</sub> , m Mänty — Pine (tolerance = 0,01)		
Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value	Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value
	-21,84			-59,93	
$\sqrt{\ln \text{Cakha}}$	+8,71	10,90	( $\ln \text{Cakha}$ ) <sup>2</sup>	-0,759	-7,76
$\sqrt{\text{Nkoa}}$	+1,74	6,02	$\ln \text{Caha}$	+6,76	7,57
Temps	+0,0101	5,29	$\sqrt{\text{Nkoa}}$	+2,00	7,42
$\ln \text{Kk}$	-1,16	-5,14	$\sqrt{\ln \text{Cakha}}$	+22,4	6,76
$\sqrt{\text{Nhoa}}$	+2,07	4,90	Temps	+0,0112	5,82
Puoa	+5,95	4,54	$\ln \text{Kk}$	-1,01	-4,62
Ktoa	-1,63	-4,42	$\ln \text{Ktha}$	-1,83	-4,47
			Pu	+4,88	3,18
R <sup>2</sup> = 0,573, s <sub>r</sub> = 2,3 m (≈10,4 %)			R <sup>2</sup> = 0,602, s <sub>r</sub> = 2,2 m (≈10,1 %)		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

Taulukko 15. Maaperän kemiallisia muuttujia sisältävät pituusboniteettimallit kuusikoille. Selittäji-  
 en keskinäistä korrelaatiota on rajoitettu voimakkaasti (5a) ja lievästi (5b).  
 Table 15. Site index models with soil chemical variables for the spruce stands with high (5a) and low  
 (5b) restrictions for the intercorrelation between the independent variables.

Yhtälö — Function (5a) y = H <sub>100</sub> , m Kuusi — Spruce (tolerance = 0,3)			Yhtälö — Function (5b) y = H <sub>100</sub> , m Kuusi — Spruce (tolerance = 0,01)		
Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value	Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value
	+9,41			-16,04	
$\sqrt{\text{Nhoa}}$	+3,89	11,44	$\sqrt{\text{Nhoa}}$	+11,2	9,60
Kha	-0,0127	-6,55	Kha	-0,0124	-6,55
Ku	-4,36	-6,48	Ku	-4,14	-6,32
$\sqrt{\text{Nkoa}}$	+1,38	3,91	$\text{Nhoa}^2$	-0,0199	-6,12
Puha	-0,102	-3,43	$\sqrt{\text{Nkoa}}$	+1,41	4,11
R <sup>2</sup> = 0,541, s <sub>r</sub> = 2,4 m (≈9,0 %)			R <sup>2</sup> = 0,566, s <sub>r</sub> = 2,3 m (≈8,7 %)		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

### 3.1.5 Pituusboniteetti kaikkien kasvupaikkatunnusten funktiona

Pituusboniteetille laskettiin regressiomallit myös  
 likimain kaikkien käytettävissä olleiden muuttuji-  
 en avulla. Yhtälöt (6a) ja (6b) (taulukko 16) vasta-  
 sivat kemiallisten muuttujien osalta yhtälöitä (4a)  
 ja (5a), joihin valikoituivat lisäksi metsätyyppi- ja  
 kalliovalemuuttujat. Yhtälöiden (6a) ja (6b) pe-

rusteella metsätyytit selittivät vain osan selitettä-  
 vissä olevasta vaihtelusta. Yhtälön, joka koostui  
 lämpösummasta ja metsätyyppivalemuuttujista,  
 selitysaste oli männiköissä 0,501 ja kuusikoissa  
 0,321. Toisin sanoen männyllä metsätyyppiyhtälö  
 selitti 72 % ja kuusella 56 % selitettävissä olevasta  
 vaihtelusta. Yhtälöiden (6a) ja (6b) selitysasteet  
 olivat kohtuullisen korkeita ja keskivirheet melko  
 pieniä (vrt. esim. Nilsen & Larsson 1992).

Taulukko 16. Parhaat pituusboniteettimallit männiköille (6a) ja kuusikoille (6b). Selittäjien keskinäistä korrelaatiota rajoitettu voimakkaasti.

Table 16. The best site index models for the pine (6a) and spruce stands (6b) with high restrictions for the intercorrelations between the independent variables.

Yhtälö — Function (6a) y = H <sub>100</sub> , m Mänty — Pine (tolerance = 0,3)			Yhtälö — Function (6b) y = H <sub>100</sub> , m Kuusi — Spruce (tolerance = 0,3)		
Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value	Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value
	-6,49			+12,42	
CT (0/1)	-3,55	-9,32	√Nhoa	+3,23	9,16
Temps	+0,0145	9,04	Kha	-0,0129	-6,80
√ln Cakha	+5,32	7,90	Ku	-4,33	-6,64
Kallio (0/1)	-2,78	-6,91	VT (0/1)	-3,86	-4,26
MT (0/1)	+1,55	6,65	√Nkoa	+1,29	3,76
lnKk	-0,978	-4,96	Puha	-0,105	-3,64
Puoa	+5,35	4,76	OMT (0/1)	+0,91	3,46
OMT (0/1)	+2,05	4,63			
Kt	-2,25	-4,25			
Nkoa <sup>2</sup>	+0,0508	3,35			
R <sup>2</sup> = 0,698, s <sub>r</sub> = 1,9 m (≈8,8 %)			R <sup>2</sup> = 0,571, s <sub>r</sub> = 2,3 m (≈8,7 %)		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

Taulukko 17. Kenttämuuttujiin perustuvat mallit männiköille (7a) ja kuusikoille (7b). Selittäjien keskinäistä korrelaatiota rajoitettu voimakkaasti.

Table 17. Site index models based on the field variables for the pine (7a) and spruce stands (7b) with high restrictions for the intercorrelation between the independent variables.

Yhtälö — Function (7a) y = H <sub>100</sub> , m Mänty — Pine (tolerance = 0,3)			Yhtälö — Function (7b) y = H <sub>100</sub> , m Kuusi — Spruce (tolerance = 0,3)		
Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value	Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Kerroin Coefficient	t-arvo t value
	+4,86			+4,35	
CT (0/1)	-4,94	-11,88	OMT (0/1)	+2,51	8,47
MT (0/1)	+2,16	8,76	Temps	+0,0179	7,24
Temps	+0,0134	7,95	VT (0/1)	-5,98	-5,51
Kallio (0/1)	-3,60	-7,79	LH (0/1)	+4,50	4,40
OMT (0/1)	+3,19	7,24	Hienot15 (0/1)	-1,94	-3,67
Rassi, cm	+0,066	4,00	Savi10 (0/1)	-1,89	-3,41
Humpak	-0,316	-3,22			
R <sup>2</sup> = 0,606, s <sub>r</sub> = 2,2 m (≈10,0 %)			R <sup>2</sup> = 0,356, s <sub>r</sub> = 2,8 m (≈10,6 %)		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

Pituusboniteetin ennustaminen ilman laboratoriossa määritettyjä muuttujia, onnistui männiköissä paremmin kuin kuusikoissa (yhtälöt 7a ja 7b) (taulukko 17). Riippumattomista muuttujista lämpösomma arvioitiin paikan koordinaattien perusteella (Ojansuu & Henttonen 1983), ja raekoostumusta kuvaavat valemuuttujat Savi10 — savilajitetta yli 10 % — ja Hienot15 — hieno-

ja lajitteita alle 15 % — muodostettiin laboratorioanalyysien avulla, mutta ne voidaan varsin luotettavasti arvioida maastossakin. Metsätuotepivalemuuttujat ja lämpösomma olivat tärkeimmät pituusboniteettia selittävät muuttujat. Näiden lisäksi tulivat mukaan männiköissä maaperän paksuutta ja kivisyyttä kuvaavat muuttujat ”Kallio” ja ”Rassi” ja humuskerroksen paksuus

sekä kuusikoissa hienoimpia ja kärkeimpia maita indikoivat ”Savi10” ja ”Hienot15”. Sen sijaan esim. topografiaa kuvaavat muuttujat eivät selittäneet pituusboniteettia merkittävästi (vrt. Hägglund & Lundmark 1981, Nilsen & Larsson 1992).

### 3.2 Pituusboniteetin vaihtelu tutkimusalueiden välillä

Tutkimusalueet poikkesivat viljavuudeltaan melkoisesti toisistaan (Tamminen 1991). Lisäksi Pohjanmaan ja Kuhmon Lentiiran alueet poikkesivat myös lämpösommeltaan muusta aineistosta. Siksi katsottiin aiheelliseksi tarkastella myös mahdollisia alueellisia boniteettieroja. Bonitee-

Taulukko 18. Puuston ikä, pituusboniteetti ( $H_{100}$ , m) ja yhtälöiden (6a) ja (6b) residuaalit ( $y - y_{est}$ ) tutkimusalueittain.

Table 18. Age and site index ( $H_{100}$ , m) of tree stands and residuals ( $y - y_{est}$ ) of the functions (6a) and (6b) by study area.

Tutkimusalue Study area	n	Mänty — Pine		$y - y_{est}$ , m
		Ikä — Age	$H_{100}$ , m	
Lappeenranta	59	73	22,8 <sup>ab 1)</sup>	-0,4 <sup>b</sup>
Luumäki	83	86	22,4 <sup>ab</sup>	-0,1 <sup>b</sup>
Lammi	25	92	23,1 <sup>ab</sup>	+0,3 <sup>ab</sup>
Kuhmoinen	19	114	20,7 <sup>bc</sup>	+0,2 <sup>ab</sup>
Mikkeli	107	82	23,4 <sup>a</sup>	-0,1 <sup>b</sup>
Kankaanpää	11	78	21,4 <sup>abc</sup>	+1,2 <sup>ab</sup>
Mänttä	42	88	23,6 <sup>a</sup>	+1,2 <sup>a</sup>
Parkano	29	100	17,7 <sup>d</sup>	-0,5 <sup>b</sup>
Pohjanmaa	31	90	17,9 <sup>d</sup>	-0,5 <sup>b</sup>
Kuhmo, Lentiira	9	107	18,9 <sup>cd</sup>	-0,7 <sup>b</sup>
Yhteensä — Total	415	86	22,0	0,0
F-arvo — F value			20,7***	3,44***

Tutkimusalue Study area	n	Kuusi — Spruce		$y - y_{est}$ , m
		Ikä — Age	$H_{100}$ , m	
Lappeenranta	20	64	27,4 <sup>a</sup>	+0,1 <sup>ab</sup>
Luumäki	84	75	27,0 <sup>a</sup>	-0,6 <sup>b</sup>
Lammi	71	73	27,8 <sup>a</sup>	+0,1 <sup>ab</sup>
Kuhmoinen	40	77	27,1 <sup>a</sup>	+0,1 <sup>ab</sup>
Mikkeli	93	66	27,8 <sup>a</sup>	+0,7 <sup>a</sup>
Kankaanpää	19	77	24,2 <sup>b</sup>	-0,5 <sup>ab</sup>
Mänttä	59	87	27,1 <sup>a</sup>	+0,8 <sup>a</sup>
Parkano	35	85	24,6 <sup>b</sup>	-0,2 <sup>ab</sup>
Pohjanmaa	19	106	18,7 <sup>c</sup>	-2,8 <sup>c</sup>
Kuhmo, Lentiira	(1)	(137)	(18,4)	(-2,7)
Yhteensä — Total	441	76	26,6	0,0
F-arvo — F value			23,5***	6,11***

<sup>1)</sup> Ks. taulukko 1 — See Table 1

tiltaan parhaimmat männiköt olivat Mäntässä, Mikkelissä, Lammilla, Lappeenrannassa, Luumäellä ja Kankaanpäässä, ja huonoimmat Kuhmossa, Pohjanmaalla ja Parkanossa (taulukko 18). Kuusikoiden boniteetti oli keskimäärin paras eteläisimmillä tutkimusalueilla (25–28 m) ja huonoin Pohjanmaalla (18 m). Männyn yhtälön (6a) residuaali oli keskimäärin suurin Mäntän ja Kankaanpään aineistoissa (+1,2 m) ja pienin Kuhmon Lentiiran (-0,7 m), Parkanon ja Pohjanmaan aineistoissa (-0,5 m) (taulukko 18). Kuusen yhtälön (6b) residuaalit vaihtelivat alueittain enemmän. Erityisesti Pohjanmaan 19 kuusikon poikkeavan suurta residuaalia, -2,8 m, ei voitu selittää millään mitatulla tai arvioidulla tunnukella, esim. lämpösommelalla.

### 3.3 Pituusboniteettia selittävien yhtälöiden vakaus

Pituusboniteettia selittävässä yhtälöissä riippumattomat muuttujat ovat vaihdelleet eri tutkimuksissa (Carmean 1975, Klinka ym. 1980, Hägglund & Lundmark 1981, Camirand ym. 1983, Hamilton & Krause 1985, Lipas 1985). Yhtälöiden koostumus näyttää riippuvan paitsi mitatuista tunnuksista myös aineistoista. Koska tässä työssä yhtälöiden (3)–(7) laskennassa käytettiin koko aineistoa, arvioitiin tarpeelliseksi laskea osa em. yhtälöistä aineiston puolikkailla: järjestyksessä parittomat ja parilliset havainnot. Näin poimittujen aineistojen arvioitiin vastaavan hyvin toisiaan, jolloin laskennan tuloksena syntyvien yhtälöidenkin olisi pitänyt vastata toisiaan. Osa-aineistojen korrelaatiot (taulukko 19) ja regressiomallit (8a–8d) (taulukko 20) eivät kuitenkaan vastanneet toisiaan kovin hyvin. Regressiomalleihin valikoitui vain 2–3 yhteistä muuttujaa puolajettain, toisin sanoen aineiston koostumus vaikutti varsin voimakkaasti mallien rakenteseen. Männyn yhtälöiden yhteiset riippumattomat muuttujat olivat kivennäismaan kalsiumäärä, lämpösomma ja valemuuttuja kallio, kuusella yhteiset muuttujat olivat humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus ja humuskerroksen uuttuvan kaliumin pitoisuus.

Toisarvoisten riippumattomien muuttujien korrelaatiot ja valikoituminen yhtälöihin näytti riippuvan olennaisesti aineistosta, vaikka osa-aineistot olivat tässä tapauksessa kohtuullisen suuria ( $n > 200$ ) ja alueellisesti tasaisesti poimittuja. Tulosten perusteella vain parhaiten korreloituneiden muuttujien korrelaatiot ja regressiokertoimet olivat kohtuullisen luotettavia. Laskettaessa

muuttujiltaan täysin toisiaan vastaavat yhtälöt mänty-yhtälöiden kertoimet ja ennusteet vastasivat paremmin toisiaan kuin kuusiyhtälöiden vastaavat tunnuksiset, mistä esimerkkinä oheiset regressiomallit:

Mänty

A. Parilliset:  $H_{100} = -36,99 + 32,12 \sqrt{\ln \text{Cakha}} - 0,4759(\ln \text{Cakha})^2$ ;

B. Parittomat:  $H_{100} = -34,33 + 30,13 \sqrt{\ln \text{Cakha}} - 0,4273(\ln \text{Cakha})^2$ ;

	20	200	2000
A. Estimoitu $H_{100}$ , m	14,3	23,6	24,1
B. Estimoitu $H_{100}$ , m	14,0	23,0	24,1

Kuusi

C. Parilliset:  $H_{100} = -43,45 + 19,98 \sqrt{\text{Nhoa}} - 0,04442(\text{Nhoa})^2$ ;

D. Parittomat:  $H_{100} = -12,56 + 10,47 \sqrt{\text{Nhoa}} - 0,01578(\text{Nhoa})^2$ ;

	12	20	30
C. Estimoitu $H_{100}$ , m	19,4	28,1	26,0
D. Estimoitu $H_{100}$ , m	21,4	28,0	30,6

Taulukko 20. Parillisiin ja parittomiin havaintoihin perustuvat pituusboniteettimallit männiköille (8a) ja (8b) ja kuusikoille (8c) ja (8d).

Table 20. Site index models based on even and odd numbered observations for the pine (8a) and (8b) and spruce stands (8c) and (8d).

		Yhtälö — Function $y = H_{100}$ , m			
		(8a)	(8b)	(8c)	(8d)
		Mänty — Pine		Kuusi — Spruce	
		Muuttujat etumerkkeineen — Variables with the sign <sup>1)</sup>			
Parilliset Even	Parittomat Odd	Parilliset Even	Parittomat Odd	Parilliset Even	Parittomat Odd
$+\sqrt{\ln \text{Cakha}}$	$+\sqrt{\ln \text{Cakha}}$	$+\sqrt{\text{Nhoa}}$	$+\sqrt{\text{Nhoa}}$	$+\sqrt{\text{Nhoa}}$	$+\sqrt{\text{Nhoa}}$
$-(\ln \text{Cakha})^2$	$-CT (0/1)$	$-\text{Nhoa}^2$	$-\text{Ku}$	$-\text{Nhoa}^2$	$-\text{Ku}$
$+\sqrt{\text{Nkoa}}$	$+\text{Temps}$	$-\text{Ku}$	$-\text{Kk}$	$-\text{Ku}$	$-\text{Kk}$
$+\text{MT} (0/1)$	$-\text{Kallio} (0/1)$	$-\text{Kha}$	$-\text{VT} (0/1)$	$-\text{Kha}$	$-\text{VT} (0/1)$
$+\text{Cat}$	$+\sqrt{\text{Nhoa}}$	$-\text{Puha}$	$-\text{Ktha}$	$-\text{Puha}$	$-\text{Ktha}$
$-\text{Kt}$	$-\text{Kk}$				
$-\text{Kallio} (0/1)$	$+\text{Pu}$				
$+\text{Temps}$	$-\text{Pkha}$				
$R^2 = 0,71$	$R^2 = 0,69$	$R^2 = 0,62$	$R^2 = 0,58$		
$s_f = 1,9 \text{ m}$	$s_f = 2,0 \text{ m}$	$s_f = 2,2 \text{ m}$	$s_f = 2,3 \text{ m}$		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

Taulukko 19. Joidenkin muuttujien korrelaatiot pituusboniteetin suhteen osa-aineistoissa ”parilliset” ja ”parittomat” havainnot.

Table 19. Correlations coefficient between some soil-site variables and site index in the “even” and “odd” subsets of data. (For each species, the material was divided according to whether the sequence number was even or odd).

Muuttuja Variable <sup>1)</sup>	Mänty — Pine		Kuusi — Spruce	
	Parilliset Even n=208	Parittomat Odd n=207	Parilliset Even n=231	Parittomat Odd n=210
Temps	0,405	0,339	0,412	0,291
$\sqrt{\text{Nhoa}}$	0,543	0,550	0,625	0,624
$\sqrt{\text{Nkoa}}$	0,555	0,388	0,483	0,477
Ku	-0,338	-0,116	-0,426	-0,436
$\sqrt{\text{Cakha}}$	0,629	0,593		

<sup>1)</sup> Ks. Lyhenteet — See Abbreviations

## 4 Tulosten tarkastelu

Näytealat poimittiin hyvin keskitetysti 10 alueelta, joista kaksi pohjoisinta poikkesi vielä olennaisesti muista. Myös bonitoitaville puustoille asetetut vaatimukset olivat todennäköisesti liian löysät, erityisesti kahtena ensimmäisenä kenttäkautena, jolloin myös mitattiin vähemmän kasvupaikkatunnuksia kuin kolmena viimeisenä kenttäkautena. Aineistosta poistettiin lisäksi näytealat, joilla ei ollut varsinaista humuskerrosta — 2 männikköä ja 3 kuusikkoa — ja näytealat, joiden alustavan bonitointifunktion,  $H_{100} = f(\text{kasvupaikkatunnuksien})$ , residuaalin itseisarvo oli yli 6,0 m (ks. Menetelmät) — 6 männikköä ja 8 kuusikkoa.

Pituusboniteetin korjatun ikäharhan syistä lievenvät tärkeimpiä nuorten ja vanhojen metsien erilainen alkukehitys, mikä johtuu mm. siitä, että metsien uudistamisessa on siirrytty harsintametsätaloutta muistuttavasta metsänhoidosta selkeisiin uudistushakkuisiin, kylvöihin ja istutuksiin ja taimikoiden hoitoon, ja siitä, että harvennuksissa on siirrytty harsinnanluonteisista yläharvennuksista alaharvennuksiin. Bonitointiyhtälöiden virheet ja typpilaskeuman vaikutukset voivat myös olla merkittäviä syitä pituusboniteettien harhaisuuteen (Tegnhammar 1992). Ikäharha näyttää rasittavan erityisesti kuusikoita (kuva 2b, Tegnhammar 1992).

Kasvupaikkojen vesitalouden, topografisen sijainnin ja maannoksen tarkemmalla kuvauksella olisi luultavasti pystytty parantamaan bonitointimallien luotettavuutta (Hägglund & Lundmark 1981, Nilsen & Larsson 1992). Pienempänä puutteena on pidettävä sitä, että kivennäismaasta ei otettu määrätilavuuksia näytteitä tiheyden määrittämiseksi, vaan tiheys arvioitiin toisen aineiston perusteella. Kivennäismaan näyteenottoerros 0–30 cm vaikuttaa edustavalta Etelä-Suomen olosuhteisiin, sillä esim. Tammisen ja Starrin (1990) aineistosta lasketut kalsium- ja typpipitoisuuksien metsätyypeittaiset erot näkyivät parhaiten humuskerroksessa ja kivennäismaakerroksissa 0–5 ja 5–20 cm, mutta huomattavasti heikommin kerroksissa 20–40 ja 60–70 cm. Analyysien osalta suurin puute lienee ollut vaihtuvan happamuuden ja kationinvaihtokapasiteetin jääminen pois (vrt. Westman 1990). Toisaalta aineisto on vertailukelpoinen vanhoihin metsämaa-analyyseihin, mm. Metsäntutkimuslaitoksen lannoituskoeaineistoihin (Lipas 1985).

Bonitointi ns. kenttämuuttujien avulla onnistui melko hyvin, yhtälöiden ennustevirhe oli 10...11 %, kuten Ruotsissa (Hägglund & Lundmark 1981) ja Norjassakin (Nilsen & Larsson 1992). Pintakasvillisuus, tässä tapauksessa metsätyyppi, osoitautui tärkeimmäksi tekijäksi. Muista tunnuksista maaperän paksuus ja kivisyys sekä poikkeuksellisen karkea tai hieno raakoostumus selittivät myös boniteettia. Metsätyypimuuttujat eivät pystyneet siis yksin selittämään pituusboniteetin vaihtelua. Pelkät fysikaaliset kasvupaikkatunnuksien ennustivat pituusboniteettia kohtalaisen hyvin. On lisäksi muistettava, että fysikaaliset tunnuksien arvot ovat myös tärkeitä metsänuudistamisen ja hakkuiden toteuttamisen kannalta, koska ne korreloivat mm. vesitalouden, maan kantavuuden ja uudistumisherkkyuden kanssa. Perinteisesti korostetun maan raakoostumuksen ja boniteetin riippuvuus näytti kuitenkin varsin löyhältä (vrt. Urvas & Erviö 1974).

Kemialliset kasvupaikkatunnuksien arvot pystyivät selittämään pituusboniteetin vaihtelua selvästi paremmin kuin em. fysikaaliset tunnuksien arvot. Tutkimus vahvisti jo aiemmin havaitut tilastolliset riippuvuudet. Humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus on keskimäärin paras kemiallinen bonitointitunnus (Aaltonen 1925, Lipas 1985, Tamminen 1991) ja kivennäismaan kalsiummäärä on hyvä männiköiden boniteetin indikaattori (Viro 1951, Lipas 1985). Lisäksi havaittiin, että kuusiaineistossa kalsium ei korreloinut boniteetin kanssa, mutta sen sijaan kaliumpitoisuudet korreloivat negatiivisesti boniteetin kanssa sekä mänty- että kuusiaineistossa, kuten jo Lipas (1985) havaitsi lannoituskoeaineistossaan. Kalsiumilla katsotaan olevan välillisesti positiivinen vaikutus boniteettiin, koska se korreloi positiivisesti mm. pH:n ja edelleen hajotusaktiivisuuden kanssa (Nömmik 1968, Palmgren 1984) eikä niinkään suora vaikutus ravinteena, kuten esim. typpellä. Toisaalta on todettava, että varttuneiden metsien kalkitus ei lisää, vaan pikemminkin vähentää erityisesti kuusikoiden kasvua (Derome ym. 1986). Kasvien kannalta tärkeän kaliumin negatiivista korrelaatiota pituusboniteetin kanssa on vaikea selittää. Pelkällä kaliumlannoituksella ei ole tietävästi saatu Suomessa kangasmailla aikaan kasvureaktioita, mutta Päivisen ja Ahosen (1992) mukaan NK-lannoitus lisäsi VT- ja CT-männiköiden kasvua enemmän kuin pelkkä typpilannoitus.

noitus aiemman typpilannoituksen jälkeen. Sen sijaan karuilla hiekkamailla Saksassa (Brüning 1959) ja USA:n itärannikolla (White & Leaf 1964, Fornes ym. 1970, Alban 1974) pelkkä kaliumlannoitus on lisännyt eräissä tapauksissa puiden kasvua ja Saksan Schwarzwaldissa poistanut puutosoireita (Hüttl & Hunter 1992). Typpipitoisuuksien ja männiköiden kalsiummäärien ja pituusboniteetin riippuvuudet olivat odotetusti käyräviivaisia (Fiedler ym. 1981, Kaunisto 1982, Kaunisto & Paavilainen 1988, Lipas 1985, kuva 4). Fosforipitoisuuksien riippuvuudet boniteetin suhteen olivat männiköissä heikosti positiivisia, mutta kuusikoissa negatiivisia (yhtälöt 4a ja 5a, taulukot 14 ja 15), mikä on ilmennyt lannoituskokeissa siten, että fosforilannoitus on lisännyt typpilannoituksen tehoa suhteellisesti eniten viljavissa kuusikoissa (Kukkola & Saramäki 1983).

Pituusbonitoinnin kannalta tutkimusalueet olivat likimain samanarvoisia (taulukko 18). Poik-

keuksen muodosti Pohjanmaan tutkimusalue, josta mitattujen kuusikoiden pituusboniteettia ei pystytty ennustamaan tyydyttävästi monipuolisillakaan regressiomalleilla (taulukko 18). Sen sijaan Pohjanmaan alueen männiköiden pituusboniteetti oli ennustettavissa varsin hyvin.

Pituusboniteettia selittävien yhtälöiden muutujista vain tärkeimmät — kivennäismaan kalsiummäärä ja lämpösumma männiköissä ja humuksen kokonaistyyppi ja uuttuva kalium kuusikoissa — näyttivät valikoituvan mukaan aineiston laadusta riippumatta (yhtälöt 8a–8d, taulukko 20). Sen sijaan muiden kasvupaikkamuuttujien valikoituminen regressiomalleihin riippui lähinnä aineistosta. Vain riittävän laaja aineisto, jossa muuttujat kuvaavat kattavasti kasvupaikan ominaisuudet ja jossa olennaisten muuttujien jakaumat ovat tasaisia, näyttää olevan tämän ja aikaisempienkin tutkimusten mukaan välttämättömän yleistettävien bonitoimintamallien luomiseksi.

## Kirjallisuus — References

- Aaltonen, V.T. 1925. Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden. Summary: The decomposition of nitrogenous compounds in woodland soils. *Communications ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae* 10: 1–61.
- Alban, D.H. 1974. Red pine site index in Minnesota as related to soil and foliar nutrients. *Forest Science* 20: 261–269.
- Brüning, D. 1959. *Forstdüngung*. Neumann Verlag, Leipzig. 210 s.
- Cajander, A.K. 1949. Forest types and their significance. *Acta Forestalia Fennica* 56(5). 71 s.
- Camirand, R., Camire, C. & Bernier B. 1983. Comportement de *Picea abies* Karst. en plantation au Quebec, Canada. I Relations sol-station-croissance. Abstract: Performance of *Picea abies* K. in plantation in Quebec, Canada. I Soil-site-growth relationships. *Plant and Soil* 73: 3–16.
- Carmean, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy* 27: 209–269.
- Coile, T.S. 1952. Soil and growth of forests. *Advances in Agronomy* 4: 329–398.
- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environmental Protection Board Report 3084. 105 s.
- Dixon, W.J. & Jennrich, R. 1985. Stepwise regression. Teoksessa: Dixon, W.J., Brown, M.B., Engelman, L., Frane, J.W., Hill, M.A., Jennrich, R.I. & Toporek, J.D. (toim.). *BMDP Statistical Software*. University of California Press, 251–263.
- Eriksson, H. 1977. Från höjdbonitet till bonitet — en översikt. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 75(5): 447–456.
- Fiedler, H.J., Nebe, W., Hofmann, W., Krüger, P., Dreger, K. & Röllig, H. 1981. Beziehungen zwischen Standort und Fichtenwachstum im ostseehenen Bereich. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 25(4): 245–255.
- Fornes, R.H., Berglund, J.V. & Leaf, A.L. 1970. A comparison of the growth and nutrition of *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus resinosa* Ait. on a K-deficient site subjected to K fertilization. *Plant and Soil* 33: 345–360.
- Green, R.N., Marshall, P.L. & Klinka, K. 1989. Estimating site index of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) from ecological variables in southwestern British Columbia. *Forest Science* 35(1): 50–63.
- Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia Forestalia* 454. 31 s.
- Hamilton, W.N. & Krause, H.H. 1985. Relationship between jack pine growth and site variables in New Brunswick plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 15(5): 922–926.
- Heikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. *Acta Forestalia Fennica* 131. 35 s.
- Hicoek, H.W., Morgan, M.F., Lutz, H.J., Bull, H. & Lunt, H.A. 1931. The relation of forest composition and rate of growth to certain soil characters. *Conneticut Agricultural Experiment Station Bulletin* 330: 671–760.
- Hüttl, R.F. & Hunter, I. 1992. Nutrient management of forests under stress for improved health and increased productivity. *Fertilizer Research* 32: 71–82.

- Hägglund, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 39. 66 s.
- 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts* 42. Review Article 11: 515–527.
- & Lundmark, J.-E. 1977. Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer: Tall och gran i Sverige. Institutionen för växtekologi och marklära, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 28. 240 p.
- & Lundmark, J.-E. 1981. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Skogsstyrelsen, Jönköping, Sverige. ISBN: 91-85748-11-0.
- Iivessalo, Y. 1920. Tutkimuksia metsätyyppien taksatorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvatustulujen laatimistyöhön. *Acta Forestalia Fennica* 15. 267 s.
- 1923. Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes. *Acta Forestalia Fennica* 25. 31 s.
- 1933. Metsätyyppien esiintyminen eri maalajeilla. Summary: Occurrence of forest types on different soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 18(5). 36 s.
- Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Seloste: Männyn istutustaimien kehityksen riippuvuus eräistä turpeen ominaisuuksista sekä lannoituksesta, muokkauksesta ja kalkituksesta ojitetuilla avosoilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109. 56 s.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- Klinka, K., Feller, M.C., Lavkulich, L.M. & Kozak, A. 1980. Evaluation of methods of extracting soil cations for forest productivity studies in southwestern British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science* 60: 697–705.
- Koivisto, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. Seloste: Metsän kasvun alueellisuus Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 71(2). 76 s.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männikoissä ja kuusi-koissa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 114. 55 s.
- Kuusela, K. 1966. A basal area-mean tree method in forest inventory. Seloste: Pohjapinta-alakeskipuunemetelmä metsäninventoinnissa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(2). 32 s.
- 1977. Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970–1976. Summary: Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970–1976. *Folia Forestalia* 320. 31 s.
- Laiho, O. 1986. Lämpöolojen paikallisia vaihteluja ja sen merkitys metsänuudistamisessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 235: 25–34.
- LaRoi, G.H., Strong, W.L. & Pluth, D.J. 1988. Understorey plant community classifications as predictors of forest site quality for lodgepole pine and white spruce in west-central Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* 18(7): 875–887.
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618. 16 s.
- Lundmark, J.-E. 1974. Ståndortsegenskaperna som bonitetsindikatorer i bestånd med tall och gran. Summary: Use of site properties for assessing site index in stands of Scots pine and Norway spruce. Institutionen för växtekologi och marklära, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 16. 298 s.
- Macmillan, D.C. 1991. Predicting the general yield class of Sitka spruce on better quality land in Scotland. *Forestry* 64(4): 359–372.
- McNab, W.H. 1989. Terrain shape index: Quantifying effect of minor landforms on tree height. *Forest Science* 35(1): 91–104.
- Monserud, R.A., Moody, U. & Breuer, D.W. 1990. A soil-site study for inland Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research* 20(6): 686–695.
- & Rehfeldt, G.E. 1990. Genetic and environmental components of variation of site index in inland Douglas-fir. *Forest Science* 36(1): 1–9.
- Nieppola, J. 1993. Understorey plants as indicators of site productivity in *Pinus sylvestris* L. stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8(1): 49–65.
- Nilsen, P. & Larsson, J. 1992. Bonitering av skog ved hjelp av vegetasjonstype og egenskaper ved voksestedet. Site index estimation from vegetation type and site properties. Rapport fra skogforsk, Norsk institutt for skogforskning. 22/92: 1–43. ISSN 0803-2858.
- Nömmik, H. 1968. Nitrogen mineralization and turnover in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) raw humus as influenced by liming. 9th International Congress of Soil Science, *Transactions II*(56): 533–545.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösunnan ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittauksista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. *Silva Fennica* 17: 143–160.
- Palmgren, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming. *Folia Forestalia* 603. 27 s.
- Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. Summary: Basic features of forest inventory by compartments. *Silva Fennica* 17(4): 313–349.
- & Kujala, M. 1973. The effect of topography on the volume of forest growing stock. Seloste: Topografin vaikutus puuston kuutiomäärään. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 78(2). 29 s.
- Päivinen, L. & Ahonen, P. 1992. Tuloksia Metsähallituksen ja Kemiran moniravinnekoikeista Itä-Suomessa. *Kemiran moniste* 7.4.93. 22 s.



- Rennie, P.J. 1962. Methods of assessing forest site capacity. International Soil Conference, New Zealand, 1962. Proceedings: 1–18.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemilla. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Solantie, R. 1990. The climate of Finland in relation to its hydrology, ecology and culture. Finnish Meteorological Institute, Contributions 2. 130 s.
- Stage, A. R. 1976. An expression for the effect of aspect, slope and habitat type on tree growth. *Forest Science* 22(4): 457–460.
- Starr, M. & Tamminen, P. 1992. Suomen metsämaiden happamoituminen. Summary: Forest soil acidification in Finland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 115: 7–14.
- Stoeckeler, J.H. 1960. Soil factors affecting the growth of quaking aspen forests in the Lake States. University of Minnesota, Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 233. 48 s.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 40 s.
- & Starr 1990. A survey of forest soil properties related to soil acidification in southern Finland. In: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.) Acidification in Finland, Springer Verlag: 235–251.
- Tegnammar, L. 1992. Om skattnng av ståndortsindex för gran. Summary: On the estimation of site index for Norway spruce. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogstaxering, Rapport 53. 251 s.
- Tuhkanen, S. 1980. Climatic parameters and indices in plant geography. *Acta Phytogeographica Suecica* 67. 110 s.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytyminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Abstract: Influence of the soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 3: 307–319.
- Valmari, J. 1921. Beiträge zur chemischen Bodenanalyse. *Acta Forestalia Fennica* 20(4). 67 s.
- Viro, P.J. 1947. Metsämaan raekoostumus ja viljavuus varsinkin maan kivisyyttä silmällä pitäen. Summary: The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 35(2). 115 s.
- 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. Pine stands. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus I. Männiköt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(4). 54 s.
- 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(3). 23 s.
- 1958. Suomen metsämaiden kivisyydestä. Summary: Stoniness of forest soil in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 49(4). 45 s.
- 1961. Evaluation of site fertility. *Unasylva* 15: 2–8.
- 1962. Forest site evaluation in Lapland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 55(9). 14 s.
- Vuokila, Y. & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2): 1–271
- Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin. *Acta Forestalia Fennica* 172. 77 s.
- 1990. Metsämaan fysikaaliset ja fysikaalis-kemialliset ominaisuudet CT-OMaT kasvupaikkasarjassa. Summary: Soil physical and physico-chemical properties of Finnish upland forest sites. *Silva Fennica* 24(1): 141–158.
- White, E.H. & Leaf, A.L. 1964. Soil and tree potassium contents related to tree growth. 1: HNO<sub>3</sub>-extractable soil K. *Soil Science* 98: 395–408
- Worrell, R. & Malcolm, D.C. 1990a. Productivity of Sitka spruce in northern Britain. 1. The effects of elevation and climate. *Forestry* 63(2): 105–118
- & Malcolm, D.C. 1990b. Productivity of Sitka spruce in northern Britain. 2. Prediction from site factors. *Forestry* 63(2): 119–128

*Total of 72 references*

## Summary

### Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties

#### Introduction

Site productivity or wood producing capacity of a site refers to the highest mean annual increment of stem wood. It is estimated by measuring the actual tree stand growing on the site and is therefore dependent on the quality of the tree stand. The difference between the potential and actual productivity should be done, because the same site may be more productive after e.g. prescribed burning, ditching or a generation of broad-leaved forest compared to the untreated site after one or more spruce generations. In practice, site productivity has to be considered as a relative or at least variable characteristic of the site. Site productivity can also be described indirectly, e.g. using site index, ground vegetation or other properties of the site. Site index, the height of the tallest trees per hectare at a certain age, is the most used method to estimate site productivity (Carmean 1975).

Site productivity has been found to correlate with climate, topography, soil physical and chemical properties, and ground vegetation characteristics. In Finland the effect of climate is very clear (Koivisto 1970, Kuusela 1977), but also cajanderian site types (Ilvessalo 1920), stoniness (Viro 1958), soil texture (Ilvessalo 1933, Urvas & Erviö 1974), mineral soil calcium (Ilvessalo 1923, Viro 1951, Lipas 1985) and nitrogen contents of the humus layer (Aaltonen 1925, Lipas 1985) have been found to correlate with productivity. Fertilization trials have confirmed the significance of plant available nitrogen for tree growth but liming of established stands has not led to positive growth reactions. Other than nitrogen, phosphorus is the only nutrient which has been shown to increase tree growth on mineral soils, especially of Norway spruce (Kukkola & Saramäki 1983).

The aim of this study was to investigate the relationships between site index and site properties in Scots pine and Norway spruce stands growing on mineral soils in southern Finland.

#### Material and methods

The study material consisted of plots (16 m × 16 m) in 415 Scots pine (*Pinus sylvestris*) and 441 Norway spruce (*Picea abies*) stands. From the measured plots 8 pine and 11 spruce plots were rejected; five had no humus layer and the rest were regarded as outliers in the light of

preliminary regression equations.

Soil samples were collected along the plot sides and the tree stand measured from the plot centre with a relascope (factor 2 or 1). Sixteen subsamples of the humus layer were taken with a steel cylinder (d = 58 mm) and composited. For the mineral soil four subsamples of the 0–30 cm layer were taken with a spade from the plot corners and composited. After air drying the humus samples were milled and the mineral soil samples sieved to pass through a 2 mm sieve. pH was measured in a water suspension, extractable (plant available) nutrients were extracted with ammonium acetate (pH 4.65), total concentrations of nutrients were determined using dry combustion and HCl extraction, and total nitrogen was determined initially using the Kjeldahl method and later with a Leco CHN 600 analyzer. Calcium, magnesium and potassium were determined using AAS and phosphorus with spectrophotometer. Mineral soil bulk density was estimated using regression models calculated from an unpublished data set covering the whole Finland.

Site index ( $H_{100}$ ) was determined using the mean age and height of the 100 thickest trees of the dominant tree species per hectare, i.e. 3–7 sample trees per plot. Site index was biased in relation to stand age, especially in the spruce stands. The bias was removed to guarantee that sites with similar soil and site properties had similar site indices regardless of the stand age. The correction of the bias was done in the following way. Regression models of  $H_{100}$  as a function of site and soil variables were first calculated. Then the residuals of these models were regressed against stand age. The unbiased site index for each stand was then estimated by subtracting the age-estimated residual from the original site index value.

#### Results

Site index varied according to site type, stoniness, topographic position, slope, humus layer and mineral soil thickness and soil texture class (Tables 1–10). These differences in site index were more clear for the pine than for the spruce stands. As expected the clay, fine fraction and organic matter content of the mineral soil, and soil thickness were positively correlated to site index while stoniness, gravel content and thickness of the humus layer were negatively correlated (Table 11, Functions 3a and 3b).

The chemical soil properties were more strongly correlated to site index than the measured physical properties (Table 12, Functions 4 and 5). The nitrogen concentration in the humus layer (g/kg OM) in both pine and spruce stands and the calcium amount in the mineral soil of pine stands were the soil chemical variables best correlated to site index, as has been found earlier (Aaltonen 1925, Viro 1951, Lipas 1985). The optimal nitrogen concentration for the humus layer appeared to be 19–26 g/kg OM for the pine stands and 24–31 g/kg OM for the spruce stands. According to regression models (4 and 5) there was a clear negative partial correlation between site index and variables describing potassium. This observation contrasts with earlier findings (Brüning 1958, White & Leaf 1964, Alban 1974, Hüttl & Hunter 1992). The best regression models for site index estimation were based on site and soil variables (Functions 6a and 6b). For the pine stands, the degree of determination was 0,70 and the standard error of estimate was 1,9 m ( $\approx 8.8\%$ ). For the spruce stands, these parameters were  $R^2 = 0.57$  and  $s_f = 2.3$  m ( $\approx 8.7\%$ ). The structure of the pine and spruce models were quite different and the spruce models contained fewer variables. The estimation of site index using only field variables was more reliable for pine than for spruce stands (Functions 7a and 7b).

The study areas were rather similar in terms of the success of site index estimation (Table 13). The only exception was spruce stands of the Pohjanmaa area. The mean residual of the best spruce model (6b) of  $-2.8$  m for the Pohjanmaa plots could not be explained with any other of the measured variables.

Correlation and regression coefficients and the structure and the estimates of the site index equations were dependent on the sample material (Table 14, Functions 8a–8d). Only the most important variables — calcium content of the mineral soil and effective temperature sum in the pine stands and total nitrogen and extractable potassium concentrations of the humus layer in the spruce stands — had a stable behaviour in the both halves of the divided plot material.

## Discussion

The plots were concentrated in 10 study areas, and the two northernmost differed markedly from the other areas, at least climatically. The weakest point in the study might be the estimation of site index. The perhaps too loose minimum criteria for selecting the stands and the usage of height growth functions of Gustavsen (1980) based on the material of the third National Forest Inventory (1951–53) might have led to unprecise and biased results. The age corrected bias in site index is supposed have risen primarily because young and old stands have had different early development (Tegnhammar 1992). Forest re-

generation in Finland has changed during the past decades from selective cuttings to seed-tree and clearcuttings, to sowing, planting and to management of seedling stands. Intermediate cutting methods have changed from high thinnings resembling selective cuttings to low thinnings. Errors in the used site index models and increased nitrogen load may also have contributed to the age bias (Tegnhammar 1992).

A more detailed description of the site hydrology, topographic conditions and pedons might have been made the site index models more accurate (Hägglund & Lundmark 1981, Nilsen & Larsson 1992). Mineral soil bulk density were estimated using other material and exchangeable acidity and cation exchange capacity may have been important soil variables in the models (cf. Westman 1990). However soil sampling was reasonably intensive (Tamminen 1991) and sampled mineral soil layer for nutrient analysis is considered appropriate for Finnish conditions. According to Tamminen and Starr (1990), the most distinct differences in the chemical soil variables between site types were for the humus layer and the 0–5 and 5–20 cm mineral soil layers compared to the 20–40 and 60–70 cm layers.

Site index estimation succeeded rather well using only field variables; the standard error of estimate being about 10–11%. This is similar to values for Swedish (Hägglund & Lundmark 1981) and Norwegian (Nilsen & Larsson 1992) models. Understorey vegetation (in this case, the cajanderian forest site type) proved to be the most important factor. However, site type variables could not alone explain totally the variation of site index. Soil thickness, stoniness and exceptionally high clay and low fine fraction content were also important factors. The physical soil variables predicted site index rather well. Physical soil variables are also significant for forest regeneration and cutting operations as they correlate to hydrology, bearing capacity of the soil and site susceptibility to regenerate. However, the texture classification, while has been earlier emphasized as an index of site productivity (eg. Urvas & Erviö 1974), correlated with site index rather weakly.

The higher correlations between soil nitrogen and site index compared to earlier studies (Alban 1974, Camirand et al. 1983) are probably due to calculating concentrations on an organic matter basis, thus removing the effect of fluctuating mineral matter contents. The correlation coefficients were nearly doubled by calculating nitrogen concentrations this way (Table 12). Nitrogen has been shown to be the most limiting nutrient in fertilization trials (Lipas 1985). But the high positive correlations in the pine and low positive correlations in the spruce stands between site index and calcium content of mineral soil cannot be explained in the light of liming experiments (Derome et al. 1986) in which liming did not increase the growth of pine stands and decreased that of the spruce

stands. High soil calcium content would indicate good physico-chemical (e.g. pH) and consequently good microbiological conditions with high mineralization (Nömmik 1968, Palmgren 1984). Soil phosphorus had only weak positive correlations with site index in the pine stands and weak negative partial correlations in the spruce stands, as might be expected according to fertilization experiments. Kukkola & Saramäki (1983) found that phosphorus fertilization increased growth of nitrogen fertilized spruce stands relatively the most on the most fertile sites. The negative correlations between potassium and site index cannot be explained against the results of many earlier

fertilization trials and soil-site studies (Brüning 1959, White and Leaf 1964, Fornes et al. 1970, Alban 1974, Camirand et al. 1983, Hüttl & Hunter 1992). However, Lipas (1985) has also found potassium being negatively correlated to site index.

The correlations and regressions should be treated cautiously as the quality of the material seemed to significantly affect the results (Functions 8a–8d). This soil-site study stressed the importance of sufficiently large material and evenly distributed variables with a good coverage of site characteristics in developing models for site quality evaluation.







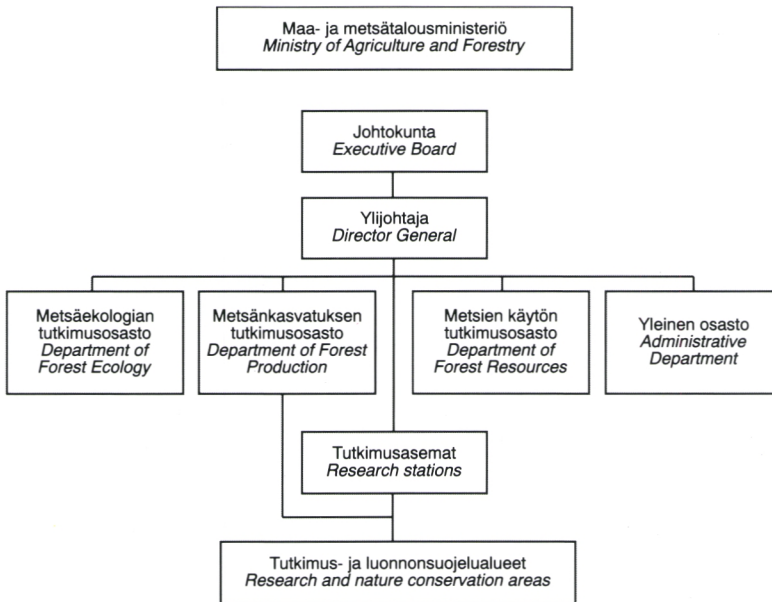








METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



**Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute***

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

**Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

**Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

**Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources***

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä

**Tutkimusasemat — *Research Stations***

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 808 Juntunen, Marja-Liisa & Suomäki, Hanna-Leena: Ikääntyvät metsäkone-  
yrittäjät ja hakkuun koneellistuminen.  
Aging forest machine contractors and the mechanization of wood  
harvesting.
- No 809 Heikkilä, Risto, Lilja, Arja & Härkönen, Sauli: Rauduskoivuntaimien  
toipuminen latvan katkeamisen jälkeen.  
Recovery of young *Betula pendula* trees after stem breakage.
- No 810 Kaunisto, Seppo, Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Apatiitti ja  
flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä.  
Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peat-  
land pine forests.
- No 811 Kaitera, Juha & Jalkanen, Risto: Surmakka Rikkilehdon männikössä  
Sallassa.  
*Gremmeniella abietina* on Scots pine in Rikkilehto stand in Salla, northern  
Finland.
- No 812 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Harvennusemetsien määrä ja harven-  
nushakkuiden liiketaloudellinen merkitys.  
Amount of thinning forests and profitability of thinnings in Finland.
- No 813 Varmola, Martti: Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli.  
A stand model for early development of Scots pine cultures.
- No 814 Nieminen, Mika & Ahti, Erkki: Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden  
huuhtoutumiseen karulta suolta.  
Leaching of nutrients from an ombrotrophic peatland area after fertilizer  
application on snow.
- No 815 Heikkilä, Risto: Ravinnon määrän ja puulajikoostumuksen vaikutus hirven  
ravinnonkäyttöön ja taimituhoihin mäntytaimikoissa.  
Effects of food quantity and tree species composition on moose (*Alces  
alces*) browsing in Scots pine plantations.
- No 816 Uusvaara, Olli: Pystykarstituista männiköistä valmistetun sahatavaran  
laatu ja arvo.  
Quality and value of sawn goods from pruned Scots pine stands.
- No 817 Kanninen, Kaija: Sisäisten mallien teoria hakkuutyötapaturmien selittä-  
jänä.  
Theory of internal models in explaining logging accidents.
- No 818 Mäkinen, Pekka: Metsäkoneyrittämisen menestystekijät.  
Success factors for forest machine contractors.
- No 819 Tamminen, Pekka: Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominai-  
suuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä.  
Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in  
South Finland using site properties.
- No 820 Moilanen, Mikko: Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun  
Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla.  
Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on  
drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu.