

Kristian Karlsson

Kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn ja puuston kasvun alueellinen vaihtelu Pohjanmaan rannikolta sisämaahan

Karlsson, K. 1996. Kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn ja puuston kasvun alueellinen vaihtelu Pohjanmaan rannikolta sisämaahan. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(2): 113–132.

Tutkimuksessa tarkasteltiin kangasmaiden valtapituusboniteetin ja puuston vuotuisen tilavuuskasvun länsi–itä-suuntaista vaihtelua Suomessa. Aineisto oli peräisin valtakunnan metsien inventoinneista vuosilta 1971–75, 1977–83 ja 1987–92. Pituusboniteettia käytettiin kangasmaiden puuntuotoskyvyn mittarina. Mitattuja tilavuuskasvuja verrattiin kasvumalleilla ennustettuihin arvoihin mallien yleisen paikkansapitävyyden toteamiseksi ja poikkeavien kasvualueiden erottamiseksi.

Kangasmaiden valtapituusboniteetin alueelliset erot olivat suuret. Erityisen selvä raja oli Pohjanmaan ja muun Etelä-Suomen välillä. Kasvupaikan luokittelutunnukset, kuten kasvupaikatyyppi, kivisyys ja soistuneisuus selittivät valtapituusboniteettia varsin hyvin. Lisäksi lämpösumma ja korkeus merenpinnasta nostivat selitysastetta huomattavasti. Korkeusamalla voitiin selittää länsi–itä-suunnassa havaittua vaihtelua. Keskimääräinen valtapituusboniteetti ei varsinaisesti laske Pohjanmaan rannikolle mentäessä. Tämä johtuu lämpösumman kohoamisesta ja viljavien kasvupaikkojen yleistymisestä, jotka kumoavat rannikon läheisyyden puuntuotoskykyä alentavat vaikutukset.

Kasvuennusteiden taso mitattuun kasvuun verrattuna vaihteli eri mallien mukaan. Kaikista malleista löytyi kuitenkin sama piirre: jos mallit kalibroidaan Etelä-Suomen sisäosien metsiköiden mukaan, saadaan Pohjanmaan metsälautakunnan männiköille 17–22 %:n ja kuusikoille 23–29 %:n yliarvioita. Kasvun taso vaihteli metsälautakuntien sisällä ja männiköiden ja kuusikoiden huonokasvuisimpien alueiden ulottuvuudet poikkesivat toisistaan. Syyt alhaisemman kasvun tasoon voivat olla tiivis maaperä männyllä sekä viljava, mutta kivinen maaperä kuusella. Yhteydet ilmastoon on syytä tutkia tarkemmin.

Tilavuuskasvun tasokertoimia esitettiin eri malleille metsälautakunnittaisina arvoina, kahdella teemakartalla sekä graafisesti korkeuden funktiona. Näitä kertoimia voidaan käyttää kasvuennusteiden korjaamiseksi. Pohjanmaan alaville seuduille tulisi kuitenkin laatia uudet kasvumallit.

Asiasanat: valtapituusboniteetti, tilavuuskasvu, kasvupaikan tuottavuus, kasvun alueellisuus
Kirjoittajan yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus. Faksi (06) 871 164, sähköposti kristian.karlsson@metla.fi

Hyväksytty 23.7.1996

1 Johdanto

Puuston kasvun ja kehityksen alueellisia erityispiirteitä on Suomessa tutkittu suhteellisen vähän. Hyvin pitkälle tarkasteluissa on nojattu Cajanderin (1908, 1949) metsätyyppeihin, joille on esitetty puuston kasvu- ja kehityssarjoja (esimerkiksi Ilvessalo ja Ilvessalo 1975). Metsätyyppi on sidottu maantieteellisiin alueisiin, jotka kuitenkin ovat melko laajoja (kts. Lehto ja Leikola 1987). Ilvessalo (1960) esitti kasvua ja tuotosta kuvaavien tunnusalueellista vaihtelua myös kartakkeilla.

Koko maan kattavassa tarkastelussa Koivisto (1970) esitti kivennäismaiden puuston valtapituusboniteetin ja keskikasvun metsätyypeittäin ja kasvukauden pituuden funktiona. Hän määritteli näiden riippuvuussuhteiden avulla kangasmaiden luontaisen puuntuotoskyvyn eri metsälautakunnille. Kuusela (1977) käytti vastaavatyypisessä tutkimuksessa lämpösummaa veroluokittaisen keskikasvun selittäjänä metsämaan kankailla ja soilla. Näissä tutkimuksissa selvitettiin siten lähinnä metsien kasvun etelä–pohjois-suuntaista vaihtelua. Myös ojitettujen turvemaiden metsiköiden kasvu on esitetty lämpötilatunnusten ja leveysasteen funktiona ja kasvun on todettu taantuvan nopeammin pohjoista kohti kuin kivennäismailla (Heikurainen ja Seppälä 1966, 1973). Turvemaiden kasvun väheneminen pohjoista kohti oli lisäksi erilaista länsi- ja itäosissa Suomea. Pohjanmaan suometsien kasvu oli heikompaa kuin Itä-Suomen (Heikurainen ja Seppälä 1966, 1973).

Nyysösen ja Mielikäinen (1978) laskivat tilavuuskasvun ennustemalleille metsälautakunnittaiset tasokorjauskertoimet. Nämä osoittivat, että kivennäismailla metsiköiden kasvun taso muuttui Etelä-Suomessa rannikolta sisämaahan mentäessä. Erityisesti erottui Pohjanmaan metsälautakunnan alue, jonka männiköt ja kuusikot kasvoivat 20–30 % huonommin kuin havupuustot muualla Etelä-Suomessa. Metsämaiden veroluokitustyön apuvälineeksi laaditut alueelliset valtapituuden kehityskäyrät osoittavat niinkään, että rannikkoalueiden kasvupaikat olivat sisämaata huonompia (Kohmo 1985, Martinmaa 1979). Ahvenanmaan metsät poikkisivat tuotoskyvyltään kaikkein eniten Etelä-Suomen sisäosien metsistä, joskin monet erityispiirteet vai-

keuttavat alueellisten vertailujen ulottamista Ahvenanmaalle (Högnäs 1966).

Myös Kuusela (1977) kiinnitti huomiota rannikkoalueiden muita alueita huonompaan kasvuun ja arvioi syiksi näiden maiden keskimääräistä suuremman kivisyyden ja kallioisuuden, jota ei ehkä ole otettu riittävästi huomioon maiden luokittelussa, ilmaston merellisyyden kasvua pienentävän vaikutuksen ja etenkin Pohjanlahden rannalla suhteellisen äskettäin merestä nousseiden maiden huonon vesitalouden.

Meren läheisyyden vaikutukset puustoon ja vaikutusten ulottuminen sisämaahan ovat kuitenkin jääneet vaille tarkempia selvityksiä. Varsinkin Pohjanmaan alhaisten kasvulukujen oikeellisuutta on epäilty ja kasvuun vaikuttavana, ohimenevänä tekijänä on pidetty aiempia harsintaluontoisia hakkuita. Alho (1968) nosti esiin pitkään jatkuneen puunkäytön metsien nykytilaan vaikuttavana tekijänä Pohjois-Pohjanmaan rannikolla. Lapin kolmion alueella puuston alhainen kasvu suhteessa potentiaaliseen arvioitiin johtuvan metsiköiden harvuudesta (Penttilä ja Varmola 1987). Toisaalta on kiinnitetty huomiota Pohjanlahden rannikon kasvupaikkojen ja maaperän erilaisuuteen (Aaltonen 1940, Lindroos 1989, Starr 1989).

Tässä työssä tarkastellaan puuston vuotuisen tilavuuskasvun ja kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn vaihtelua kivennäismailla Pohjanmaalta itään. Tavoitteena on määrittellä yhtenäisiä kasvualueita puustotietojen avulla, kasvupaikkojen ominaisuuksilla tai ilmastotunnuksilla. Mielikäisen ja Nyysösen (1978) tutkimuksessa todettiin, että puuston kasvu oli alhainen Pohjanmaan metsälautakunnan alueella. Tutkimuksessa selvitetään erityisesti, miten kauas sisämaahan tämä alue ulottuu ja miten hyvin eri kasvumallit toimivat eri alueilla. Lisäksi etsitään valtapituusboniteettia ja kasvumallien poikkeamia selittäviä tekijöitä.

Tutkimusalue rajattiin ennen kaikkea luonnonolosuhteiden perusteella. Lähtökohtana pidettiin Pohjanmaan metsälautakunnan aluetta. Alueet Pohjanmaan metsälautakunnan eteläpuolella ovat huomattavasti suotuisammassa ilmastossa, ja rannikolla kalliomaat ovat yleisimpiä kuin moreenimaat (Suomen Kartasto 1987, 1990). Kainuun korkeiden alueiden maat ovat puolestaan kokonaisuudessaan vedenkoskemattomia, ja ilmastoon kuuluu puustoon voimak-

kaasti vaikuttavia tekijöitä kuten tykky (Kärkkäinen 1984, Roiko-Jokela 1980). Mainitut alueet rajattiin pois tutkimuksista, jotta vaikuttavat kasvutekijät olisivat samat tutkimusalueen eri osissa.

2 Aineisto ja menetelmät

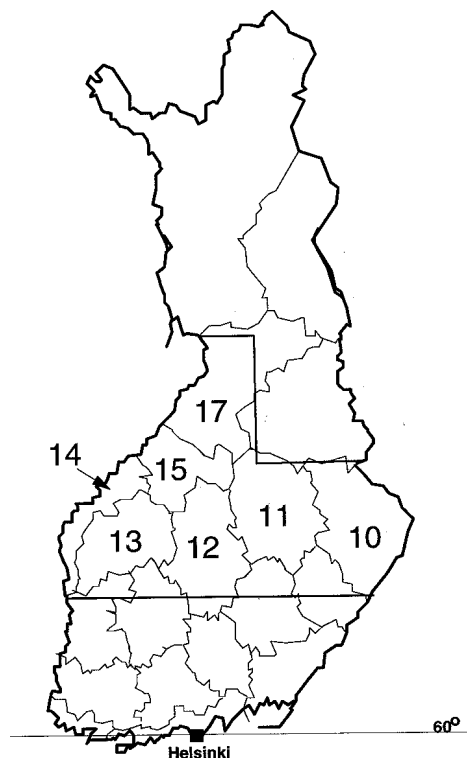
2.1 Aineisto

Tutkimuksen aineistona olivat valtakunnan metsien kuudennen, seitsemännen ja kahdeksannen inventoinnin koealatieidot Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan ja Pohjanmaan metsälautakunnista sekä Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan länsiosasta (kuva 1). Näitä alueita verrattiin Keski-Suomen, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsälautakuntiin. Tiedot kahdeksannesta inventoinnista koskivat ainoastaan Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan metsälautakuntien alueita.

Alueen valtakunnan metsien inventoinnit tehtiin systemaattisina ryväinventointeina vuosina 1971–1975 (6. inventointi), 1977–1983 (7. inventointi) ja 1987–1992 (8. inventointi). 6. ja 7. inventoinnin koealarypäätt eli lohkot sijaitsivat 8 km:n etäisyydellä toisistaan. 8. inventoinnin rypäätt olivat etelä-pohjois-suunnassa 8 km:n ja länsi–itä-suunnassa 7 km:n etäisyydellä toisistaan. Kukin lohko koostui joko 41 koealasta (6. ja 7. inventointi) tai 21 koealasta (8. inventointi). Kaikilta koealoilta käytettiin tutkimuksessa metsää ja kasvupaikkaa kuvaavia yleistietoja, joista useimmat olivat luokkamuuuttuja. Lisäksi käytettiin puustotietoja niiltä koealoilta, joiden kaikki puut oli mitattu koepuina. Tällaisia koealoja oli vain 6. ja 7. inventoinnissa ja korkeintaan neljä lohkoa kohti. Nämä puustoiset koealat oli rajattu relaskoopilla. Inventointien luokitukset ja mittaukset on tarkemmin selostettu valtakunnan metsien maastotyöohjeissa (Valtakunnan metsien... 1971, Valtakunnan metsien... 1977, Valtakunnan metsien... 1991).

2.2 Tunnuslukujen laskenta

Tutkimusaineisto koostui koealojen yleistiedoista ja



Kuva 1. Tutkimusalue, aluenimitykset ja metsälautakunnat

Etelä-Suomensisäosat	Pohjanmaa
10=Pohjois-Karjala	13=Etelä-Pohjanmaa
11=Pohjois-Savo	14=Pohjanmaa
12=Keski-Suomi	15=Keski-Pohjanmaa
17=Pohjois-Pohjanmaa	

puustotiedoista. Koealojen yleistiedoista laskettiin kasvupaikkaa ja puustoa kuvaavien luokkien yleisyys koealakeskipisteiden lukumäärän perusteella kullekin lohkolle sekä kunnittaisiksi ja metsälautakunnittaisiksi arvoiksi. Inventointien koepuualoille laskettiin koepuiden pohjapinta-alalla painotetut iän, läpimitan ja pituuden keskiarvot. Valtapituus laskettiin Hännisen (1974) malleilla, jotka kuvaavat valtapiisuuden keskipituuden funktiona. Perinteinen tapa laskea valtapiisuudet 100 paksuimman puun keskipituutena tuotti systemaattisesti selvästi pienempiä arvoja johtuen puiden pienestä lukumäärästä koealoilla. Summaamalla koepuutiedot yhteen saatiin pohjapinta-ala ja tilavuus puulajeittain koko puustolle. Kasvutietojen avulla laskettiin samat puustotunnukset viiden vuoden kasvujakson alussa.

Taulukko 1. Tilavuuskasvun tarkastelussa käytettyjen inventointikoealojen lukumäärä metsikön biologisen iän, puulajin ja valtapituusboniteetin (m) suhteen.

	Biologinen ikä, a							Σ	%
	< 25	-50	-75	-100	-125	-150	> 150		
Puulaji									
Mänty	222	433	469	504	289	83	31	2031	47
Kuusi	15	253	624	494	1551	56	13	1610	37
Lehtipuu	90	260	208	100	17	2	2	679	16
H ₁₀₀ (m)									
< 10.5	-	8	26	29	15	4	8	90	2
10.5–16.5	11	162	216	188	143	66	25	811	19
16.5–22.5	90	377	432	518	262	65	13	1757	41
22.5–28.5	113	265	512	356	41	6	-	1293	30
> 28.5	113	134	115	7	-	-	-	369	8
Σ	327	946	1301	1098	461	141	46	4320	
%	8	22	30	25	11	3	1		100

Valtapituuden ja biologisen iän perusteella määritettiin valtapituusboniteetti jokaiselle koealalle käyttäen aiemmissä tutkimuksissa kehitettyjä malleja eri puulajeille sekä viljellyille että luontaisesti syntyneille havupuustoille (Gustavsen 1980, Vuokila ja Väliaho 1980). Kaikille lehtipuunetsiköille käytettiin koivulle laadittuja yhtälöitä (Gustavsen ja Mielikäinen 1984, Oikarinen 1983). Mitattujen tilavuuskasvujen vertailuarvoiksi laskettiin tilavuuskasvuestimaatit Nyysösen ja Mielikäisen (1978), Gustavsenin (1977) ja Gustavsenin (1992) malleilla. Tilavuuskasvumalleista useimmat on tarkoitettu käytettäväksi Etelä-Suomen alueella, mutta arvot laskettiin myös Pohjois-Pohjanmaan alueelle. Ilmastotunnukset laskettiin koealoille Ojansuun ja Henttosen (1983) ennustemallilla.

Käytettävissä olevien koealojen lukumäärä oli pienin vuotuisen tilavuuskasvun tarkastelussa, koska tarvittavia mittauksia oli tehty korkeintaan neljällä koealalla inventointilohkoa kohti. Lisäksi edellytyksenä oli, että koeala oli sijoittunut kokonaan yhden metsikön sisälle. Kasvuaineiston painopiste oli 50–100-vuotiaissa metsiköissä ja puuntuotokyvyltään keskinkertaisilla kasvupaikoilla (taulukko 1). Vertailtaessa tilavuuskasvua kasvumalleihin jätettiin ainoastaan ne metsiköt pois, joiden tila-

vuus oli alle 25 m³ ha⁻¹. Rajaus oli kutakuinkin samanlainen kuin kasvumallien laadinta-aineistoissa (esimerkiksi Gustavsen 1980, Nyysösen ja Mielikäinen 1978). Puuston arvioituja tilatunnuksia käytettiin 4843 metsikkökuvionla. Näiden jakaumat puulajin, iän ja pituusboniteetin suhteen olivat hyvin samanlaiset kuin jakaumat taulukossa 1.

Valtakunnan metsien inventoinnissa puuston keskitilavuus ja keskikasvu lasketaan ositteiden pintaalojen suhteessa, joten tunnuksissa on mukana myös puuttomia aloja. Koealakohtaisesti lasketut puustotunnukset tuottivat erilaisia tuloksia kuin varsinaiset inventoinnit (taulukko 2). Tutkimuksessa esitetyt kasvuluvut erosivat inventointien kasvuluvuista alueittain ja ne olivat aina suuremmat kuin vastaavan alueen inventoinnissa, koska kaikki koealat olivat puustoisia. Puusto- ja kasvutiedoissa ei ollut mukana kuolleita puita. Viimeisten viiden vuoden aikana kuolleiden puiden poisjättäminen aiheutti lievän systemaattisen aliarvion kasvulukemiin, mutta toisaalta puiden tarkan kuolemishetken määrittäminen maastossa oli vaikeaa.

Kaikki inventointikoealat eivät sijainneet yhden metsikkökuvion sisällä. Näiden osakoealojen tilavuuden ja tilavuuskasvun muuntaminen vastaamaan koealoja, jotka sijaittivat kokonaan yhden metsikkö-

Taulukko 2. Metsälautakuntien puuston vuotuinen keskimääräinen kasvunopeus ($m^3 ha^{-1}$) metsämaalla inventointien ja eri koealoitosten mukaan.

	Metsälautakunta						
	17	15	14	13	12	11	10
Inventointi 1971–76 ¹⁾	2,0	2,6	2,7	3,1	4,1	3,9	3,2
Inventointi 1977–84 ²⁾	2,6	3,3	3,8	3,7	4,5	4,5	3,7
Kaikki koealat ³⁾	2,9	3,5	3,5	3,8	4,7	4,8	4,0
Täyskoealat ⁴⁾	2,8	3,5	3,5	3,8	4,6	4,8	4,8

¹⁾ Metsätalastollinen vuosikirja (Aarne, Uusitalo ja Herrala-Ylinen 1990)

²⁾ Metsätalastollinen vuosikirja (Aarne, Uusitalo ja Herrala-Ylinen 1990)

³⁾ Tämä tutkimus; 6. ja 7. inventoinnin kaikki koealat

⁴⁾ Tämä tutkimus; vain ne koealat, jotka sijaittivat kokonaan yhden metsikkökuvion sisällä

kuvion sisällä, ei ollut mahdollista, koska koealojen eri osien tarkat pinta-alat eivät olleet tiedossa. Kokonaan yhden metsikkökuvion sisällä olevien koealojen (täyskoealojen) tilavuus ja tilavuuskasvu olivat keskimäärin samaa suuruusluokkaa kuin kaikkien koealojen arvot (taulukko 2). Osakoealojen pois jättäminen rajoitti siten vain aineiston alueellista peittävyttä. Puustotunnuksia, kuten esimerkiksi valtapituutta, voitiin käyttää kuviokohtaisesti koealarajauksesta huolimatta.

Puiden vähäinen määrä koealalla ja puuston aukkoisuus yhdistettynä relaskoopin menetelmään vaikutti nuorten metsiköiden mitattuihin tunnuksiin. Kaikilla puustoisilla koealoilla ei nimittäin ollut relaskoopilla luettuja puita lainkaan. Näiden relaskoopilla mitaten puuttomien koealojen vaikutukset metsiköiden tilavuuteen ja tilavuuskasvuun otettiin huomioon korjauskertoimella, joka laskettiin puuttomien koealojen esiintymisestä kussakin ikäluokassa. Tällä korjauksella oli merkitystä lähinnä nuorissa, alle 30-vuotiaissa metsiköissä.

Kasvun taso riippuu myös mittausajan sääoloista. Havumetsiköiden mitatut tilavuuskasvut pyrittiin korjaamaan vastaamaan normaalijakson ilmastolosuhteita. Tarjolla oli useita toisistaan poikkeavia kasvuindeksisarjoja. Timosen (1984) indeksit on laadittu Etelä-Suomelle kokonaisuudessaan ja myös metsälautakunnittain. Metsälautakunnittaisista indekseistä Etelä-Pohjanmaan, Keski-Suomen, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsälautakuntien indeksejä on pidetty luotettavina (Timonen 1984). Pienempien alueiden tulokset ovat epävarmempia,

Taulukko 3. Keskimääräinen vuosilustoindeksi (normaalitaso=100) vuosina 1971–84 metsämaan kankailla sijaitsevilla mänty- ja kuusivaltaisilla koealoilla metsälautakunnittain.

	Metsälautakunta				
	14	13	12	11	10
Timosen alueindeksit	86	91	97	98	105
Tiihosen alueindeksit	98	102	100	102	105
Timosen indeksit, Etelä-Suomi	96	98	97	98	100

mutta tässä kokeiltiin myös käyttää Pohjanmaan metsälautakunnalle laskettuja indeksejä. Vertailun vuoksi tarkasteltiin myös Tiihosen (1984, 1985, 1986) indeksien vaikutusta kasvun tasoon. Näitä oli laadittu erikseen alueille Pohjois-Karjala–Pohjois-Savo, Keski-Suomi–Etelä-Pohjanmaa sekä Pohjois-Suomi. Eri indeksisarjojen erot tulevat esiin taulukossa 3. Sarjat eroavat myös toisistaan keskimääräisen kasvun tason suhteen. Tiihosen indeksien keskiarvo oli 102 ja Timosen 96–98 vuosina 1971–1984 koko aineistolle. Kasvun vuotuisen vaihtelun vaikutusta tuloksiin tarkasteltiin korjaamalla kaikki kasvutiedot eri indeksisarjoilla.

2.3 Aineiston käsittely

Suurin vaikeus aineiston analysoinnissa oli relaskoopilla valittujen koepuiden pienen lukumäärän

aiheuttama suuri vaihtelu tarkasteltavissa metsikön tunnuksissa. Vaihtelun vähentämiseksi tulosten esityksessä käytettiin liukuvia keskiarvoja. Koska pääpaino oli eri tunnusten alueellisen ulottuvuuden määrittämisessä, liukuvien keskiarvojen menetelmää käytettiin karttakoordinaatistossa. Tasoitusten seurauksena muodostui trendipintoja. Tarkasteltavat tunnuksot vietiin karttatasoon, joka muodostui 1×1 km:n alkiosta. Kullekin alkiolle laskettiin keskiarvo 12 lähimmästä havainnosta käyttäen painoarvona suhdetta $1/r^{0.5}$, missä r on etäisyys havainnosta (Cell based modeling... 1992). Tämä tasoitus oli lievä leikaten vain ääriarvot, joiden poikkeavuus todennäköisimmin oli riippuvainen mitausmenetelmistä. Tasoituksissa käytettiin Arc/Info-ohjelmistoa ja osa tuloksista esitettiin teemakarttojen muodossa. Keskeiset tulokset on lisäksi taulukoitu metsälautakunnittaisina keskiarvoina. Muutaman tunnuksen kohdalla käytettiin tasoituksen seurauksena syntyneitä arvoja riippuvuussuhteiden selvittämisessä regressio- ja korrelaatioanalyysillä. Laskenta tehtiin BMDP-ohjelmilla 1R ja 2R (Dixon 1992). Korrelaatioanalyysissä käytettiin myös kunnittaisia keskiarvoja alkuperäisistä puusto- ja kasvupaikkatiedoista, karttakuvien tasoituksissa syntyneistä koealatieoista ja laadittujen mallien koealakohtaisista jäännösarvoista.

3 Tulokset

3.1 Puuntuotoskyky ja sen alueellinen vaihtelu

Alueiden kangasmaiden puuntuotoskykyä kuvattiin pituusboniteetilla. Kangasmaiden keskimääräinen pituusboniteetti oli kaikilla puulajeilla pienin Pohjois-Pohjanmaalla. Etelä-Pohjanmaalla havupuustojen pituusboniteetit olivat myös selvästi pienemmät kuin sisämaassa (taulukko 4). Lehtipuuta kasvavien kankaiden pituusboniteetin alueellisiin eroihin vaikutti myös puulaji. Pohjanmaalla hieskoivu on valitseva lehtipuu, kun taas rauduskoivu on yleisempi sisämaassa. Keskimääräisestä valtapituusboniteetista laadittiin teemakartat puulajeittain (kuvat 2a, 3b, 4c). Männiköiden kartasta erottuvat esimerkiksi Pohjanmaan lajittuneiden hiekkakankaiden alueet

Taulukko 4. Metsämaan kankaiden keskimääräinen valtapituusboniteetti (m) metsälautakunnittain.

Pääpuulaji	Metsälautakunta						
	17	15	14	13	12	11	10
Mänty	17,0	18,4	20,3	19,9	22,7	23,0	21,0
Kuusi	17,8	21,3	21,9	22,8	25,4	25,0	22,5
Lehtipuu	12,6	14,4	14,6	16,5	16,8	17,3	16,1

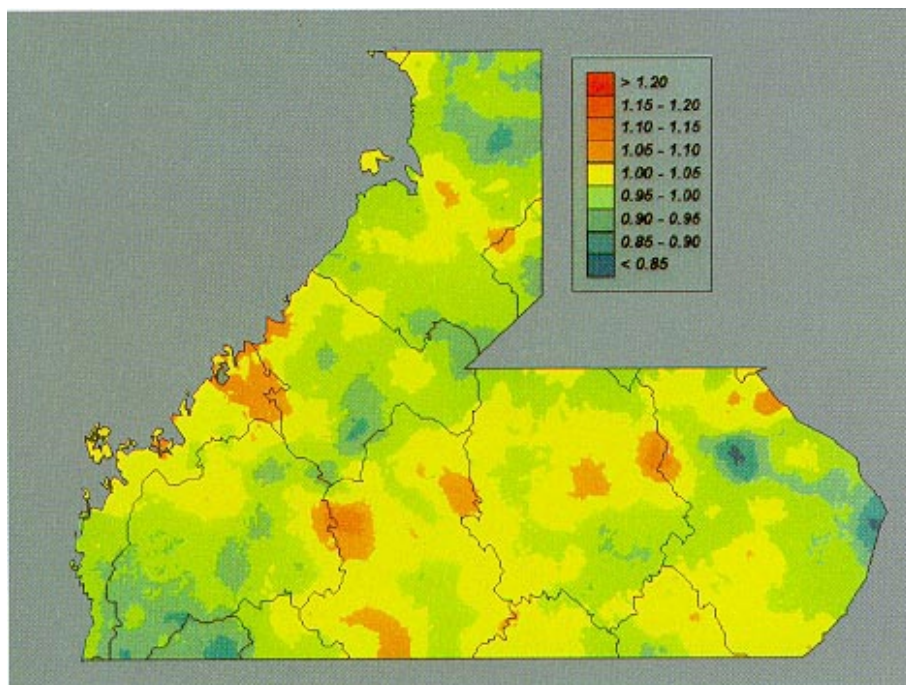
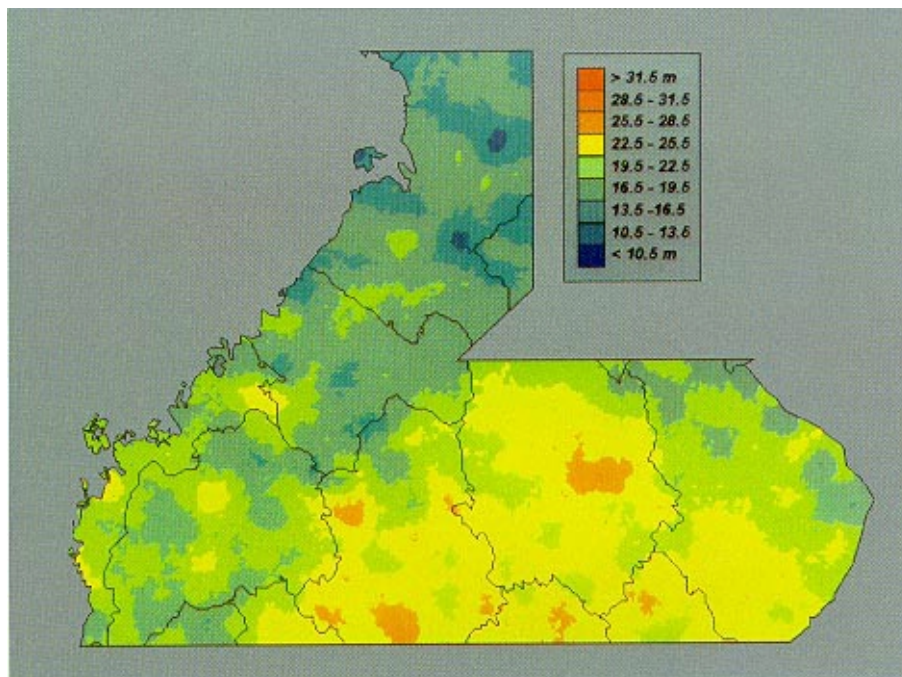
Taulukko 5. Metsämaan kankaiden keskimääräinen valtapituusboniteetti (m) pääpuulajin ja kasvupaikkatyyppin mukaan. Tutkitun alueen kaikki havainnot ovat mukana.

Pääpuulaji	Kasvupaikkatyyppi					
	Lh	Lhkg	Tkg	Khkg	Kkg	Kkkg
Mänty	24,6	24,9	22,4	19,6	15,5	13,6
Kuusi	28,5	27,2	22,4	19,0	-	-
Lehtipuu	18,3	17,3	15,3	12,6	12,3	-

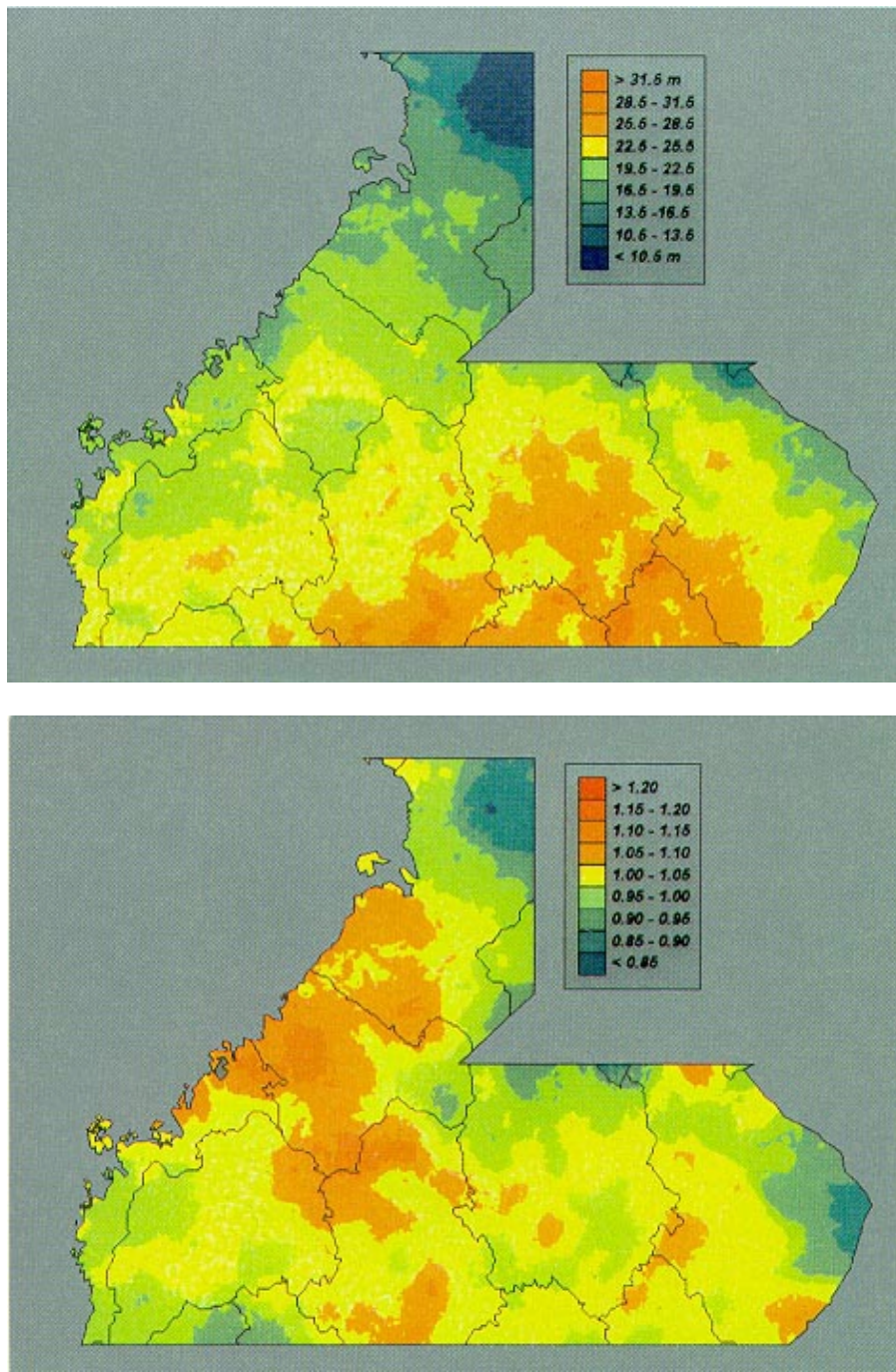
(Kalajoki–Lestijärvi, Hailuoto–Rokua) ympäristöstään pienemmällä pituusboniteetilla. Lehtipuiden kartassa on Raippaluodossa poikkeuksellisen alhainen pituusboniteetti, mutta kuusikoiden kartassa pituusboniteetti on sama kuin muualla rannikolla.

Teemakartoissa pituusboniteetin alueellinen vaihtelu muistutti selvästi lämpötilatunnuksia esittäviä karttoja (vrt. Suomen Kartasto 1987). Alueiden sisällä pituusboniteettiin eniten vaikuttava tekijä oli kasvupaikan viljavuus, joka näkyi kasvupaikkatyyppittäisessä tarkastelussa (taulukko 5). Karuimpien ja viljavampien kasvupaikkojen ero pituusboniteetissa oli suurin männiköissä ja pienin lehtipuumetsiköissä. Lehtojen ja lehtomaisten kankaiden männiköiden pituusboniteetti oli kuitenkin samaa suuruusluokkaa. Kuivahkon kankaan kuusikoissa pituusboniteetti oli vain vähän alhaisempi kuin männiköissä, mutta kuusikoiden pituusboniteetti nousi enemmän viljavammille kasvupaikoille mentäessä.

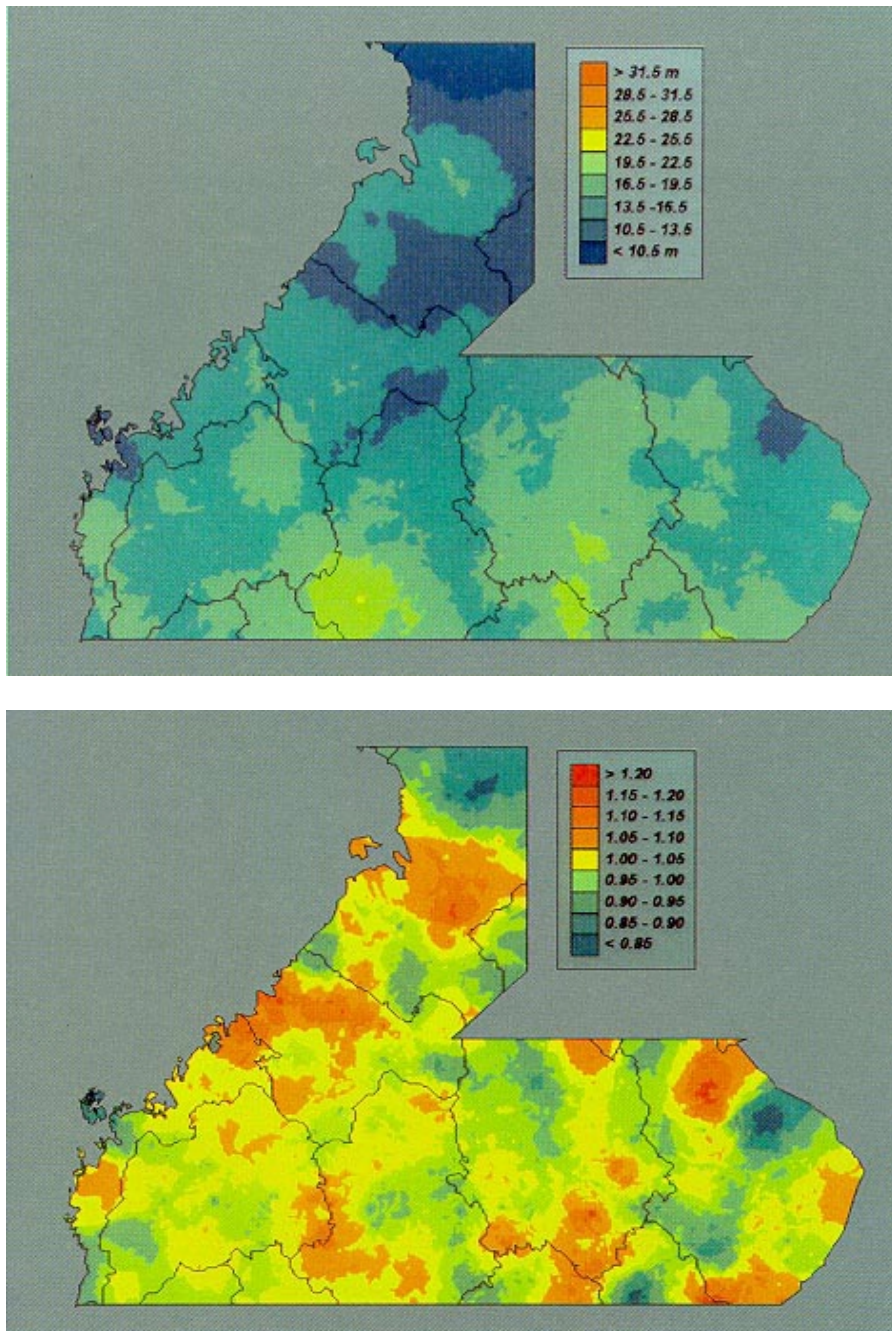
Pohjanmaalla on enemmän karuja sekä kivisiä tai soistuneita kankaita kuin sisämaassa (taulukko 6). Tällaisten kasvupaikkojen runsaus selitti siten suureksi osaksi alueiden välisiä eroja keskimääräises-



Kuva 2. a) Mäntyvaltaisten metsiköiden valtipituusboniteetti kangasmailla. b) Mäntyvaltaisten metsiköiden valtipituusboniteetti suhteessa yhtälöllä ennustettuun (taulukko 7, mänty).



Kuva 3. a) Kuusivaltaisten metsiköiden valtapitusboniteetti kangasmailla. b) Kuusivaltaisten metsiköiden valtipitusboniteetti suhteessa yhtälöllä ennustettuun (taulukko 7, kuusi).



Kuva 4. a) Lehtipuuvaltaisten metsiköiden valtapituusboniteetti kangasmailla. b) Lehtipuuvaltaisten metsiköiden valtapituusboniteetti suhteessa yhtälöllä ennustettuun (taulukko 7, lehtipuu).

Taulukko 6. Eri laatuisten kasvupaikkojen osuudet (%) metsälautakunnittain. Kankaisten osuus on laskettu metsämaan pinta-alasta, muut tunnuksella on laskettu metsämaan kankaisten pinta-alasta.

Kasvupaikan laatu	Metsälautakunta						
	17	15	14	13	12	11	10
Kangasmaa	53	59	75	62	74	77	73
Muut	47	41	25	38	26	23	27
Lhkg & Tkg	45	51	69	51	67	82	67
Kkg	10	7	4	8	2	2	4
Muut	45	42	27	41	31	16	29
Kiviset	9	18	25	12	14	11	10
Soistuneet	12	10	8	10	5	6	4
Kunttaiset	4	3	1	1	-	-	1
Lähellä rantaa	-	-	2	-	-	-	-
Muut	75	69	64	77	81	83	85

sä pituusboniteetissa. Pohjanmaan metsälautakunnan kasvupaikkojen laatuennukset olivat kuitenkin kivisyyttä lukuunottamatta melko samanlaiset kuin Keski-Suomessa.

Pituusboniteettiin vaikuttavia tekijöitä tutkittiin tarkemmin regressioanalyysillä. Kullekin pääpuu-

lajille laadittiin yksinkertaiset lineaariset yhtälöt, joissa selitettävänä muuttujana oli pituusboniteetti. Nämä yhtälöt ja niiden tilastolliset tunnusluvut ovat taulukossa 7. Kasvupaikkatyypit esitettiin valemuuttujilla. Kuusikoissa valemuuttuja lehdosta ja lehtomaisista kankaista nosti selitysasetta erityisen paljon (vrt. taulukko 5).

Metsikön sijaintia kuvattiin yhtälöissä lämpösummalla ja korkeudella merenpinnasta. Sijaintia olisi voitu kuvata myös pohjoiskoordinaatilla, mutta yhtälöt, joissa lämpösumma ja korkeus olivat mukana, olivat kuitenkin parempia jäännöshajontakuvi-
en perusteella. Näiden yhtälöiden avulla voitiin paremmin selittää myös länsi-itä-suunnassa havaittua vaihtelua. Yhtälöt antoivat tosin systemaattisesti liian suuria arvoja yli 230 m:n korkeudella merenpinnasta. Lämpösumma laskee korkeammille paikoille mentäessä ja näiden muuttujien keskinäinen korrelaatio (suurimmillaan 0,55) heikensi mahdollisuutta tulkita lämpösumman ja korkeuden vaikutuksia selitettävään muuttujaan erikseen. Korkeuden ottaminen yhtälöihin lämpösumman lisäksi nosti kuitenkin selitysasetta merkittävästi. Sademäärä oli myös hyvin voimakkaasti korreloituun maanpinnan korkeuden kanssa. Korkeus merenpin-

Taulukko 7. Puulajikohtaiset valtapituusboniteettien yhtälöt. Selitettävä muuttuja (y) on valtapituusboniteetti (m).

	Mänty	t-arvo	Kuusi	t-arvo	Lehtipuut	t-arvo
Vakio	-6,07	-17,46	+0,36			
Lämpösumma	+0,027	43,0	+0,034	43,2	0,019	17,9
Korkeus mpy.	+0,019	26,0	+0,019	24,8	+0,011	8,7
ln(Ikä)	-2,62	15,0	-	-2,67	6,9	
Ikä	+0,020	6,7	-0,030	21,1	+0,020	2,5
d1	-2,67	31,3	-1,98	19,6	-1,16	7,0
d2	-3,34	27,4	-3,06	26,7	-2,22	11,5
d3	-3,27	7,6	-3,15	8,3	-2,79	3,5
kp12	+7,76	4,9	+6,80	43,2	+3,25	17,4
kp3	+6,88	3,4	+3,20	21,5	+2,29	12,6
kp4	+4,16	4,2	-	-		
R ²	0,817		0,843		0,689	
S _e	1,53		1,48		1,56	
n	2217		1843		783	
\bar{y}	20,5		23,7		16,0	

Valemuuttujat:

d1 = 1, jos kivinen

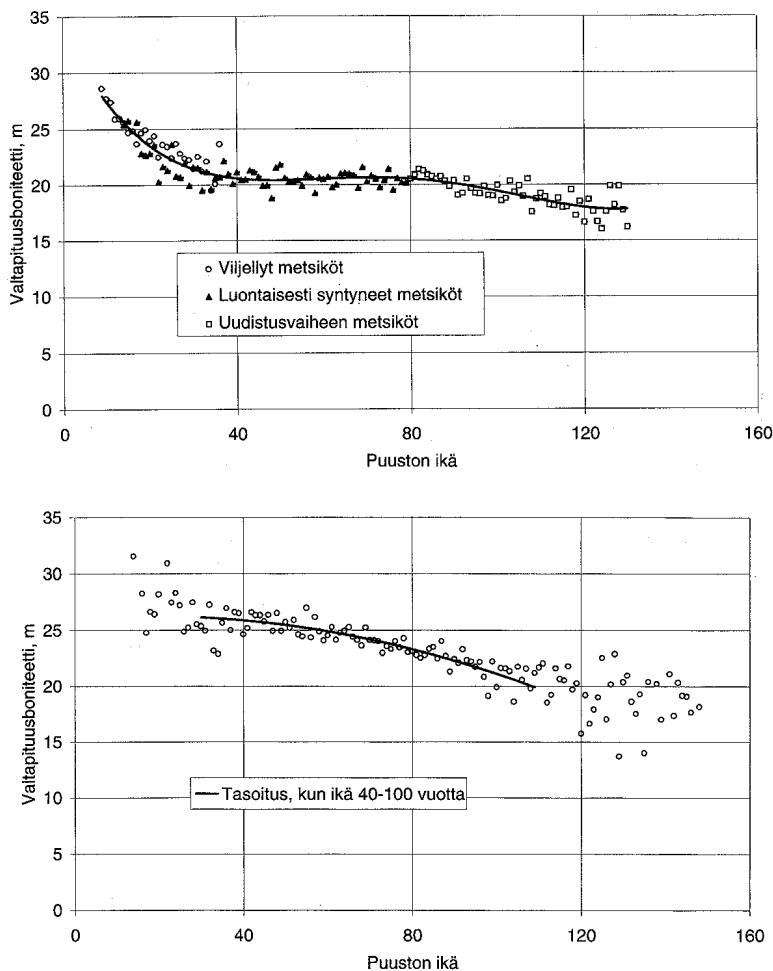
kp12 = 1, jos Lh tai Lhkg

d2 = 1, jos soistunut

kp3 = 1, jos Tkg

d3 = 1, jos kuntainen

kp4 = 1, jos Khkg



Kuva 5. Valtapietusboniteetin riippuvuus puuston iästä a) männiköissä ja b) kuusikoissa. Havainnot ovat ikäluokittaisia keskiarvoja.

nasta olisi siten voitu korvata eri sadetunnuksilla (vuotuinen, kasvukauden tai kesäkuukausien sademäärä) yhtälöiden tilastollisten tunnuslukujen säilyessä miltei samanlaisina.

Puuston ikä hyväksyttiin ainoana puustotunnukseksi selittäväksi muuttujaksi yhtälöihin. Riippuvuus on havainnollistettu kuvassa 5. Iän korrelaatio pituusboniteetin kanssa on ongelmallinen, koska kasvupaikan puuntuotoskyvyn ei pitäisi muuttua puuston vanhetessa. Tunnus otettiin malleihin, koska haluttiin varmistaa, ettei mikään nuorten tai vanhojen metsien alue erotu tuotoskyvyltään muissa tarkasteluissa.

Kasvupaikan ominaisuudet kuten kivisyys, soistuneisuus ja kuntaisuus kuvattiin valemuuttujilla. Rannikon läheisyyttä kuvaava valemuuttuja oli tilastollisesti merkitsevä vain lehtipuiden yhtälöissä. Rehevien kasvupaikkatyyppien männiköissä oli lievä korrelaatio metsiköiden laatuluokituksen ja pituusboniteetin välillä. Laatuluokitus perustuu ennen kaikkea puuston tiheyteen, jolloin huonolaatuisimmat ovat vajaapuustoisia metsiköitä. Karujen kasvupaikkojen männiköissä pituusboniteetti oli hiukan suurempi Itä-Suomessa, mikä näkyi lievänä korrelaationa itäkoordinaatin kanssa.

Taulukon 7 yhtälöillä ennustettujen ja todellisten

pituusboniteettien suhteista laadittiin teemakartat (kuvat 2b, 3b, 4b). Ennusteiden paikkansapitävyys oli hyvä ($\pm 5\%$) etenkin havupuuvaltaisissa metsiköissä. Kartoissa on kuitenkin nähtävissä selkeästi yli- ja aliarvioituja ($\pm 5\text{--}15\%$) alueita. Poikkeamiin vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi laskettiin kuntakohtaiset keskiarvot pituusboniteetin ja ennustetun pituusboniteetin suhteesta puulajeittain. Näitä tarkasteltiin erikseen Pohjanmaan ja muun Etelä-Suomen alueilta.

Sisämaan männiköiden pituusboniteetit olivat ennustettua parempia kunnissa, joissa oli paljon reheviä kasvupaikkoja ja viljeltyjä metsiä. Ennustettuja huonompia pituusboniteetteja esiintyi kunnissa, joissa oli runsaasti kivisiä kasvupaikkoja. Pohjanmaan männiköiden valtapituusboniteetit olivat taas ennustettua parempia kunnissa, joissa oli kivisiä kasvupaikkoja. Runsaasti vajaapuustoisia metsiä kunnissa vaikutti toiseen suuntaan: pituusboniteetti oli ennustettua huonompi.

Sisämaan kuusikoiden pituusboniteetit olivat ennustettua huonompia kunnissa, joissa oli paljon karuja kasvupaikkoja ja rantametsiä (järvalueilla). Pohjanmaalla kuusikoiden pituusboniteetit olivat ennustettua alhaisempia kunnissa, joissa oli vanhoja, harsittuja metsiä. Kunnat, missä esiintyy drumliinejä eli moreenikumpuja (Suomen Kartasto 1990) erottuivat ennustettua paremmalla pituusboniteetilla Pohjanmaalla.

Lehtipuustojen pituusboniteetit olivat sekä Pohjanmaalla että sisämaassa ennustettua huonompia sellaisissa kunnissa, joissa oli paljon vajaapuustoisia, harsittuja ja vanhoja metsiä.

Edellä mainitut tekijät olivat kaikki tilastollisesti merkitseviä korrelaatioanalyseissä ($p < 0.05$). Niiden yhteiskorrelaatiokertoimet kuntakohtaisten keskiarvojen kanssa vaihtelivat 0,43–0,60 ($n = 89\text{--}175$). Kuntakohtaisista keskimääräisistä poikkeamista voitiin selittää korkeintaan 36 %. Heikohkosta tilastollisesta riippuvuudesta huolimatta tuloksia pidettiin suuntaa-antavina.

Puulajikohtaisissa pituusboniteetti-yhtälöissä kivisyyden ja soistuneisuuden vaikutukset tulivat regressiomalleissa esiin vain keskimääräisinä, vaikka vaikutukset vaihtelivat kasvupaikkatyypin mukaan. Tiedot näiden tekijöiden puuntuotoskykyä alentavasta vaikutuksesta koottiin tästä syystä erilliseen taulukkoon puulaji- ja kasvupaikkakohtaisten yh-

Taulukko 8. Kasvupaikan laadun vaikutus puuntuotoskykyyn Pohjanmaalla (PM) ja Etelä-Suomen sisäosissa (SM) ja aineistossa keskimäärin (KA). Puuntuotoskykyä alentuneiden kasvupaikkojen pituusboniteetti on laskettu suhteessa vastaavan kasvupaikkatyypin pituusboniteettiin ilman tuotostarajoittavia tekijöitä.

Kasvupaikan laatu	Puulaji	Alue	Suhteellinen pituusboniteetti, %			
			Lhkg	Tkg	Khkg	Kkg
Kivinen	Mänty	SM	92	90	86	84
		PM	-	91	84	91
	Kuusi	SM	95	90	89	-
		PM	91	92	88	-
	Lehtipuu	KA	97	95	87	-
Soistunut	Mänty	SM	94	84	88	-
		PM	-	87	82	81
	Kuusi	SM	89	86	-	-
		PM	95	87	81	-
	Lehtipuu	KA	93	89	88	-
Kuntainen	Mänty	SM	-	89	-	-
		PM	-	86	-	-
	Kuusi	SM	-	94	-	-
		PM	-	78	-	-
	Lehti	KA	-	88	-	-

tälöiden perusteella. Tarkastelu tehtiin erikseen Pohjanmaalle ja Etelä-Suomen sisäosille eli alueille vedenjakajasta itään. Pienempiä alueita ei voitu verrata aineiston vähyyden vuoksi.

Kivisyyden, soistuneisuuden ja kuntaisuuden puuntuotoskykyä alentava vaikutus oli suhteellisen vähäinen, mutta vaikutus lisääntyi karummilla kasvupaikkatyypeillä (taulukko 8). Eri puulajien ja alueiden väliset erot olivat pieniä. Varsinkin kuusikoissa ja lehtipuumetsiköissä soistuneisuus alensi pituusboniteettia enemmän kuin kivisyys. Soistuneisuus oli vähemmän rajoittava tekijä Pohjanmaan rehevien kasvupaikkojen kuusikoissa kuin sisämaassa, mutta kivisyyden vaikutus oli hiukan suurempi. Pohjanmaan kaikkein karuimpien kasvupaikkojen männiköissä kivisyys näytti olevan vähemmän rajoittava tekijä kuin sisämaassa, mutta tämä lienee seurausta lajittuneiden maiden suuremmasta määrästä Pohjanmaalla. Kuivahkojen kankaiden männiköiden puuntuotoskykyyn soistuneisuus vaikutti enemmän Pohjanmaalla kuin sisämaassa. Kuntta-

kerroksen vaikutus oli karkeasti ottaen samansuuntainen kuin soistuneisuuden. Poikkeuksellisen voimakkaasti kunta rajoitti kuitenkin kuusikoiden kasvua Pohjanmaalla. Siellä pituusboniteetti oli 22 % alhaisempi kuntaantuneen kasvupaikan kuusikossa verrattuna vastaavaan kasvupaikkaan ilman tuotoskykyä alentavia tekijöitä.

3.2 Tilavuuskasvun taso ja sen alueellinen vaihtelu

Valtakunnan metsien inventoinneissa mitattua kasvua verrattiin ensisijaisesti Nyyssösen ja Mielikäisen (1978) kasvumalleilla ennustettuun kasvuun. Metsien nykykasvu laskettiin kaikille mänty- ja kuusivaltaisille metsiköille puuston iän ja tilavuuden funktiona. Ennusteyhtälöiden laadinnassa on yleensä käytetty valikoituja metsiköitä, joiden kasvun taso saattaa erota laajojen alueiden metsien keskimääräisestä kasvusta. Yleisesti on pidetty tarpeellisenä alentaa kasvuennusteita 10–20 % mallien antamasta tasosta (Nyyssösen ja Mielikäisen 1978).

Vertailu Nyyssösen ja Mielikäisen (1978) kasvumalleihin osoitti, että mitattu kasvu oli noin 90 % malleilla ennustetusta kasvusta koko aineistossa: männiköissä 92 % ja kuusikoissa 87 %. Vuosilustoindexeillä korjatun kasvun tason keskiarvo vaihteli välillä 89–96 % männiköissä ja 86–90 % kuusikoissa. Kasvun ilmastollista vaihtelua kuvaavien indeksien paikkansapitävyyttä ei voitu arvioida tässä tutkimuksessa, joten kasvun keskimääräiselle tasolle jouduttiin hyväksymään näinkin suuret vaihteluvälit. Eri inventointikertojen välillä oli myös eroa. Keski kasvun suhteellinen paraneminen inventoinnista toiseen näkyi korkeampina tasokerrotoina myöhäisemmissä inventoinneissa. Vanhemmissa, yli 60-vuotiaissa metsiköissä (70 % havainnoista) kasvun taso oli muutama %-yksikköä alempi kuin koko aineistossa keskimäärin.

Samalla tavalla selvitettiin kahden muun tilavuuskasvua ennustavan mallin hyvyttä. Kokeiltavaksi valittiin sellaiset mallit, jotka perustuvat useampiin muuttujiin kuin Nyyssösen ja Mielikäisen (1978) mallit. Inventoinneissa mitattu kasvu oli keskimäärin 97 % Gustavsenin (1977) malleilla ennustetuista kasvuista. Näissä malleissa selittävinä muuttujina oli tilavuus, ikä ja valtapituus. Vähäpuustoisille

metsiköille laadituissa malleissa (Gustavsen 1992) oli vielä enemmän muuttujia, edellisten lisäksi runkoluku ja lämpösomma. Inventoinneissa mitattu tilavuuskasvu oli 109 % näillä malleilla ennustetusta kasvusta.

Ennusteiden taso verrattuna mitattuun kasvuun on pitkälle seurausta mallien laadinta-aineiston laajuudesta ja edustavuudesta. Gustavsenin (1977) mallit talousmetsille antoivat keskimäärin oikeimmat ennusteet, koska laadinta-aineisto on koko Etelä-Suomea kattavasta ja otantaan perustuvasta 3. valtakunnan metsien inventoinnista.

Ennustemallit perustuvat metsikkötunnuksiin, joiden kautta useimmat erot alueiden kasvuolosuhteissa ja käsittelyssä tulevat huomioiduksi melko hyvin. Ero mitatun ja ennustetun kasvun välillä vaihteli kuitenkin metsälautakunnittain (taulukko 9). Itä-länsi-suunnassa näkyi laskeva trendi: Pohjanmaata ja Pohjanlahden rannikkoa kohti mitattu kasvu aleni verrattuna mallien antamiin ennusteisiin. Vain pohjoisempana olevat metsälautakunnat poikkesivat selvästi tästä trendistä. Erot eri maantieteellisten alueiden välillä säilyivät käytetyistä malleista riippumatta. Esimerkiksi Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsälautakuntien tasokerrotoimien erot vaihteli 19–22 %-yksikköä männiköissä ja 24–33 %-yksikköä kuusikoissa, vaikka käytettiin eri muuttujiin perustuvia malleja. Lehtipuuvaltaisten metsiköiden tilavuuskasvun alueellinen vaihtelu oli erilainen kuin havupuumetsiköiden. Pohjanmaan metsälautakunnan alue erottui alhaisimman ja Keski-Suomen metsälautakunta korkeimman kasvun alueena.

Teemakartta mitatun ja ennustetun (Nyyssösen ja Mielikäisen 1978) kasvun suhteesta osoitti, että kasvun taso vaihteli suuresti myös metsälautakuntien sisällä (kuva 6). Männiköiden ja kuusikoiden kasvun tason alueellinen vaihtelu oli erilaista. Männiköiden huonokasvuisia alueita (tasokerroin < 0,85) löytyi melkein pelkästään Pohjanmaalla. Huonokasvuisten männiköiden alue ulottui Pohjanmaan lautakunnasta itään Etelä-Pohjanmaan lautakunnan puoliväliin asti. Heikommin kasvavia kuusikoita löytyi suuremmassa määrin myös sisämaasta. Kuusikoiden kaikkein alhaisimman kasvun alueet (tasokerroin < 0,70) olivat yhtenäisiä vyöhykkeitä Pohjanmaan rannikolla Närpiön ja Lohtajan välillä sekä Pohjois-Karjalan vaara-alueilla. Nuorten alle 60-

Taulukko 9. Metsiköiden mitattu tilavuuskasvu sekä mitatun ja ennustetun tilavuuskasvun suhde (=tasokerroin) keskimäärin metsälautakunnittain.

	Metsälautakunta						
	17	15	14	13	12	11	10
Tilavuuskasvu, m ³ ha ⁻¹	3,2	4,1	3,8	4,4	5,8	5,8	5,0
Tasokerroin, mänty ¹⁾	0,84	0,88	0,79	0,86	0,99	0,98	0,99
Tasokerroin, mänty ²⁾	0,89	0,93	0,85	0,91	1,07	1,08	1,07
Tasokerroin, mänty ³⁾	1,09	1,10	0,95	1,05	1,14	1,15	1,07
Tasokerroin, kuusi ¹⁾	0,83	0,86	0,67	0,87	0,91	0,91	0,87
Tasokerroin, kuusi ²⁾	0,75	0,86	0,71	0,94	1,04	1,01	0,94
Tasokerroin, kuusi ³⁾	1,02	1,10	0,82	1,08	1,12	1,11	1,08
Tasokerroin, lehtipuu ²⁾	0,95	1,01	0,73	0,94	1,10	1,02	0,94

¹⁾ kasvumalli Nyssönen ja Mielikäinen 1978

²⁾ kasvumalli Gustavsen 1977

³⁾ kasvumalli Gustavsen 1992

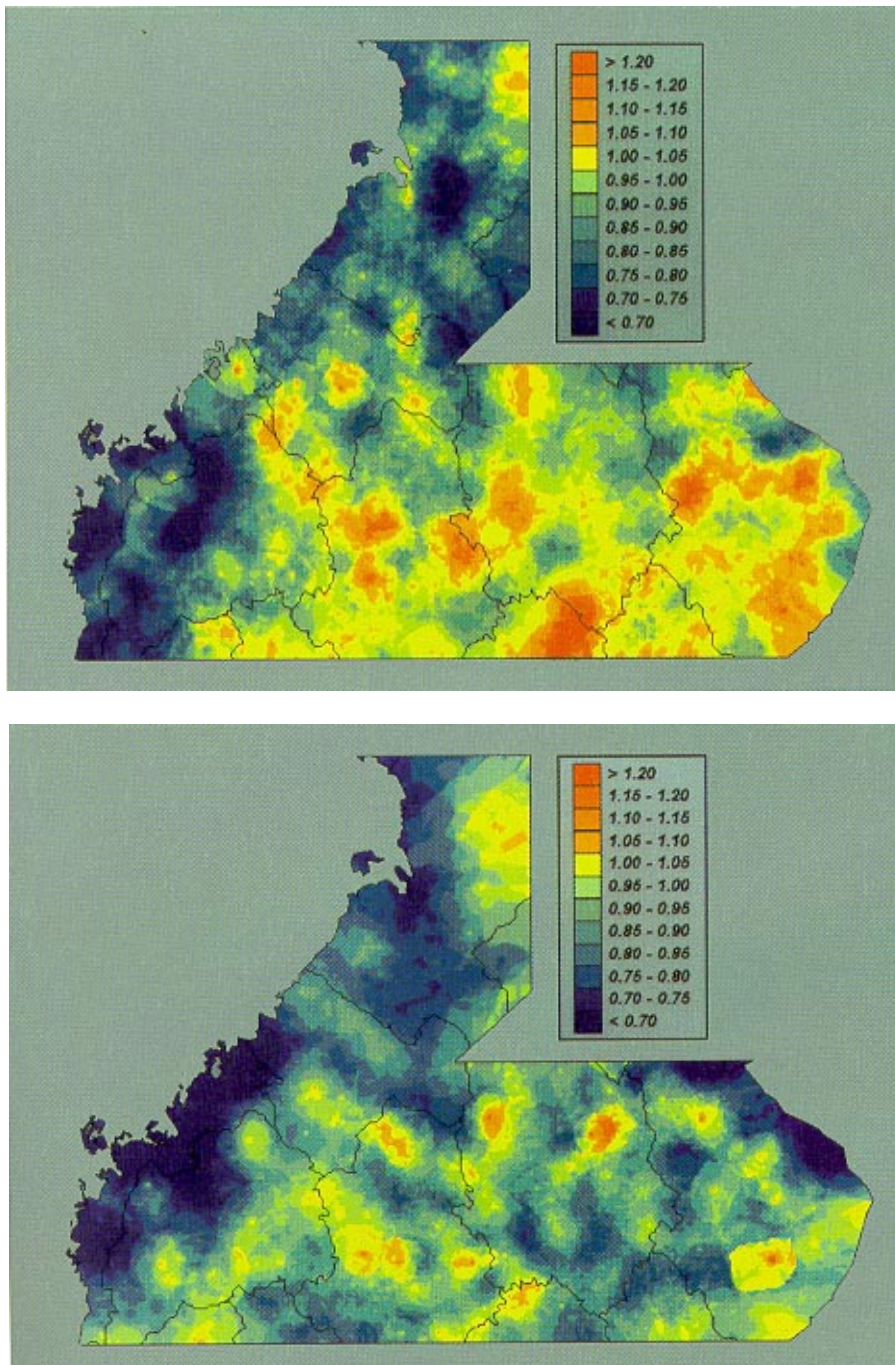
vuotiaiden metsiköiden kasvukertoimet olivat alhaisemmat alavilla alueilla, mutta alueet eivät ulottuneet yhtä pitkälle sisämaahan.

Poikkeamiin vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi laskettiin kuntakohtaiset keskiarvot tilavuuskasvun ja ennustetun tilavuuskasvun suhteesta puulajeittain (kuva 7). Näitä tarkasteltiin erikseen Pohjanmaan ja muun Etelä-Suomen alueilta.

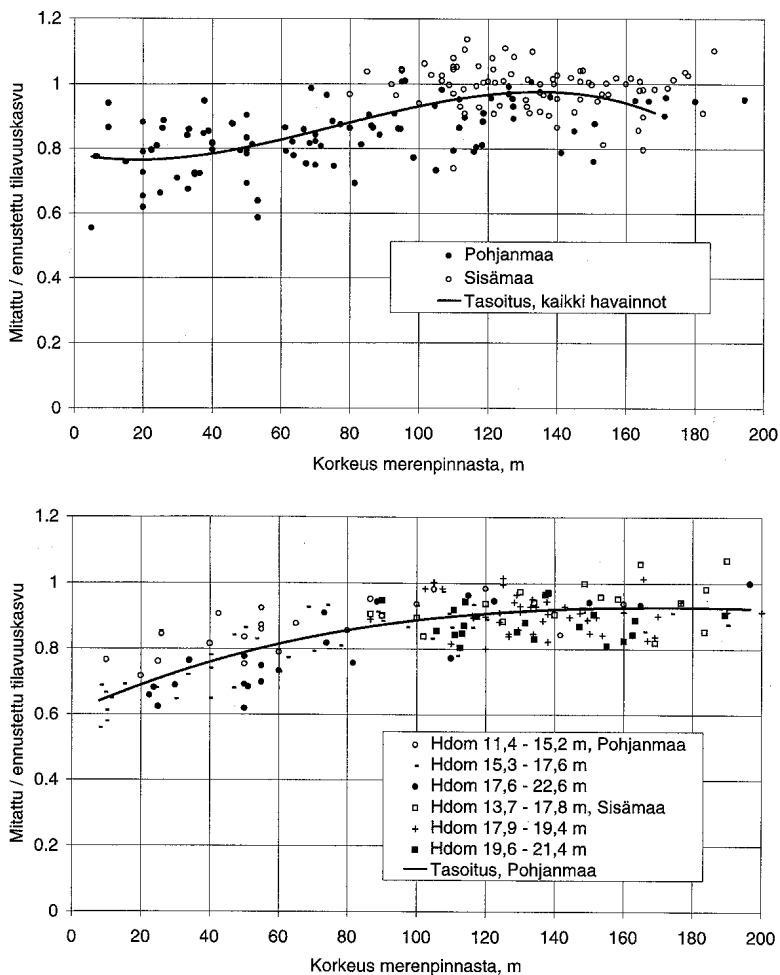
Sisämaan männiköiden tasokertoimet olivat alhaisempia kunnissa, joissa puuston pohjapinta-ala oli pieni ja kunnissa, jotka sijaitsivat alueen pohjoisosassa. Näissä kunnissa oli myös paljon karuja ja paksukunttaisia kasvupaikkoja. Tasokertoimet olivat pieniä Pohjanmaan alavilla alueilla sijaitsevista kunnissa sekä kunnissa, joissa oli runsaasti jokikerrostumia (hienojakoisia, lajittuneita maita). Kunnissa, joissa esiintyi drumliinejä (moreenikumpuja, Suomen Kartasto 1990), oli korkeampia tasokertoimia Pohjanmaalla. Nämä muuttujat lisäsivät selitysasetta siitä huolimatta, että korkeusasema yleisesti kuvasi kasvupaikkojen ominaisuuksia näillä alueilla. Tunnuslukujen tarkkuus oli kuitenkin huono, koska ne perustuiivat maaperäkartasta tehtyyn silmävaraiseen luokitukseen. Muuttujat olivat kaikki tilastollisesti merkitseviä korrelaatioanalyseissä ($p < 0,05$). Niiden yhteiskorrelaatio kunnittaisten keskimääräisten tasokertoimien kanssa vaihteli 0,56–0,68 ($n = 83-98$).

Kuusiköiden tasokertoimet olivat alhaisemmat alavilla alueilla sijaitsevista kunnissa sekä kunnissa, joissa puuston keskimääräinen valtapituus oli suuri. Riippuvuus valtapituuden ja tasokertoimien kuntakeskiarvojen välillä oli samanlainen Pohjanmaan kuusikoilla ja Etelä-Suomen sisäosien kuusikoilla. Muuttujat olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$). Korkeusaseman ja valtapituuden yhteiskorrelaatiokerroin kunnittaisten keskimääräisten tasokertoimien kanssa oli 0,80 ($n = 169$, kuva 7b). Korrelaatioanalyysi osoitti lisäksi, että korkeusaseman vaikutus osittain oli yhteydessä kasvupaikkojen ominaisuuksiin. Rehevien ja kivisten kasvupaikkojen sekä kuusivaltaisten metsiköiden osuus kasvoi Pohjanmaalla mentäessä alemmaksi ja lähemmäksi merta. Tällaisilla muuttujilla tai niiden kombinaatioilla ei kuitenkaan päästy yhtä korkeaan korrelaatioon kuin yksistään korkeudella merenpinnasta.

Tuloksia männiköiden tasokertoimiin vaikuttavista tekijöistä pidettiin vain suuntaa-antavina, mutta kuusikoissa riippuvuus korkeuden ja valtapituuden kanssa oli varsin hyvä ja samat muuttujat olivat merkitseviä eri osa-alueilla.



Kuva 6. Männiköiden (a) ja kuusikoiden (b) mitatun ja ennustetun tilavuuskasvun suhde (=tasokerroin). Kasvu ennustettiin Nyssösen ja Mielikäisen (1978) mallilla.



Kuva 7. Männiköiden (a) ja kuusikoiden (b) mitatun ja ennustetun tilavuuskasvun suhde (=tasokerroin) maaston korkeuden funktiona. Kasvu ennustettiin Nyysösen ja Mielikäisen (1978) mallilla ja kuvan havainnot ovat kunnittaisia keskiarvoja. Valtapituuden (Hdom) alimpiin ja ylimpiin luokkiin kuuluu 25% havainnoista.

4 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kangasmaiden puuntuotoskykyä valtapituusboniteetin avulla (vrt. Koivisto 1970). Pituusboniteetti määritettiin nykypuuston perusteella, jonka vuoksi tulokset eivät kerro maiden potentiaalisesta tuotoskyvystä. Valtapituusboniteetin ja alueen keskikasvun välinen riippuvuus oli tässä aineistossa kuitenkin selvä.

Männiköissä suhde oli samanlainen sekä Pohjanmaalla että Etelä-Suomen sisäosissa. Kuusikoiden keskikasvu oli Pohjanmaalla hiukan pienempi suhteessa pituusboniteettiin. Lasketut pituusboniteetit kuvasivat metsien tuotoskykyä nykyisin ja myös varsin pitkälle tulevaisuuteen.

Valtapituuden määrittämiseen liittyi epävarmuutta. Tutkimuksessa käytettiin Hännisen (1974) malleja ennustamaan valtapituudet keskipituudesta. Mallien hyvyttä ei pystytty tarkistamaan. Toisaal-

ta kokeiltiin suoraan aineistosta laskettuja valtapituuksia. Nämä perustuvat käytännössä usein koelan yhteen ainoaan puuhun ja ne olivat systemaattisesti pienemmät kuin malleilla lasketut. Niiden käyttö ei johtanut toisiin johtopäätöksiin puuntuotoskyvyn alueellisuudesta tai siihen vaikuttavista tekijöistä. Julkaisussa esitettiin vain tuloksia, jotka perustuvat Hännisen (1974) malleilla laskettuihin valtapituuksiin. Näillä lähtöarvoilla metsätyyppien pituusboniteetit olivat samaa suuruusluokkaa kuin esimerkiksi Gustavsenin (1980) julkaisussa.

Valtapituusboniteettia selittävien yhtälöiden perusteella näytti siltä, että erot Pohjanmaan ja Etelä-Suomen sisäosien metsien kasvussa johtuivat pitkälti kasvupaikkojen laadusta. Karuja, kivisiä ja soistuneita kasvupaikkoja oli enemmän Pohjanmaalla. Tämän lisäksi korkeusasema vaikutti jossain määrin puuntuotoskykyyn niin, että alavien alueiden tuotoskyky oli heikompi. Runsaammat sateet ja suurempi humidisuus sekä huuhtoutuneemman maaperän ilmavuus ja liikkuva pohjavesi voivat vaikuttaa myönteisesti kasvupaikan tuotoskykyyn korkeammalle mentäessä. Kankaiden keskimääräinen pituusboniteetti ei kuitenkaan laskenut rannikkoa kohti, koska lämpösunnan kohoaminen ja rehevien kasvupaikkojen yleistyminen kumosivat rannikon läheisyyden puuntuotoskykyä rajoittavat vaikutukset. Pohjoisempina sijaitsevien alueiden osalta boniteetin riippuvuus suhteesta korkeusasemasta oli päinvastainen eli boniteetti laski korkeuden mukaan lämpösunnan ja tykkylumen takia (Roiko-Jokela 1980, Kärkkäinen 1984). Ruotsalaisessa bonitointijärjestelmässä maaston korkeus on sinällään pituusboniteettia alentava tekijä, mutta tämä johtuu ensisijaisesti siitä, ettei lämpötilatunnuksia käytetä. Etäisyys rannikolta, liikkuva pohjavesi ja suuri humidisuus nostavat boniteettia erityisesti kuusikoissa (Hägglund ja Lundmark 1977, Lundmark 1974, Tegnhamar 1992). Lundmarkin (1974) mukaan korkeusasema oli myös boniteettia nostava tekijä 100–200 m:n korkeudelle asti.

Viljeltyjen metsiköiden valtapituusboniteetti on suurempi kuin luontaisesti syntyneiden metsiköiden samalla metsätypillä (Gustavsen 1980, Vuokila ja Väliaho 1980). Käytännön metsänviljelyssä saavutettua hyötyä voitaisiin siten arvioida pituusboniteetin avulla, mutta valtapituuteen ja ikään perustuvat pituusbonitointimallit eivät sovi nuorille

viljelymetsille (kuva 5, männiköt, vrt. Tamminen 1993, Varmola 1993). Tämä olisi voinut vaikuttaa myös alueellisiin vertailuihin, koska Pohjanmaalla on vähemmän viljeltyjä metsiä kuin Etelä-Suomen sisäosissa. Aluevertailuissa saatiin tässä suhteessa oikeampi kuva sisällyttämällä puuston ikä yhtälöihin. Jos taulukon 7:n yhtälöillä halutaan ennustaa tiettyjen metsiköiden (alueen metsien) keskimääräistä pituusboniteettia, tulisi iäksi antaa tämän aineiston keski-ikä (75 vuotta). Tämä sen takia, ettei voida sanoa milloin ja missä määrin pituusboniteetin riippuvuus iästä johtuu viljelystä, käytettyjen bonitointimallien sopimattomuudesta, ympäristömuutoksista (kasvuolosuhteiden paranemisesta) tai yli 80-vuotiaitten metsiköiden kohdalla, alhaisemmasta uudistamisiästä viljavilla kuin karuilla kasvupaikoilla. Kuusikoissa pituusboniteetin riippuvuus iästä oli selvästi erilainen kuin männiköissä. Laskeva trendi iän suhteen oli hyvin selkeä myös keski-ikäisissä puustoissa (kuva 5, kuusikot). Tämä voi olla seurausta metsien käsittelytapojen muutoksesta ja siirtymisestä alaharvennuksiin tai bonitointimallien harhaisuudesta (Tamminen 1993, Tegnhamar 1992).

Tamminen (1993) esitti tutkimuksessaan valtapituusboniteetteja alueelta lähellä Pohjanlahden rannikkoa. Kuusikoiden pituusboniteetit olivat keskimäärin pienemmät kuin tässä tutkimuksessa Pohjanmaan keskiosissa. Ero johtunee suurimmaksi osaksi Tamminsen (1993) aineiston korkeasta iästä, mutta havainnot olivat myös alueelta, joka kartassa (kuva 3a) erottui ympäristöstään pienemmällä pituusboniteetilla. Männiköiden pituusboniteetit olivat samaa suuruusluokkaa tässä tutkimuksessa kuin Tamminsellä (1993).

Kasvupaikkojen kivisyyden, soistuneisuuden ja kuntaisuuden vaikutuksista tuotoskykyyn on vain vähän aikaisempia tutkimustuloksia. Vaikutus puuntuotoskykyyn todettiin melko pieneksi. Kivisyyden vaikutus oli tosin suurempi kuin Tamminsen (1993), mutta pienempi kuin Viron (1958) tutkimuksissa. Valtakunnan metsien inventoinneissa nämä tunnuksot määritettiin silmävaraisesti. On mahdollista, että kasvupaikat luokiteltiin huonompaan kasvupaikkatyyppiin mieluummin kuin kiviksi tai soistuneiksi.

Metsiköiden mitattua tilavuuskasvua verrattiin kasvumalleilla ennustettuihin arvoihin. Kaikista

malleista löytyi sama piirre: jos mallit kalibroidaan Etelä-Suomen sisäosien metsiköiden kasvun mukaan, saadaan Pohjanmaan metsälautakunnan alueen männiköille 17–22 %:n ja kuusikoille 23–29 %:n yliarvioita (taulukko 9). Mikään käytetyistä kasvumalleista ei suoraan ”reagoanut” eri alueiden metsien erilaisuuteen selittävien muuttujien kautta. Tulokset antavat kuitenkin paremman kuvan Pohjanmaan metsälautakunnan metsien kasvusta kuin Mielikäisen ja Nyysösen (1978) tutkimus. Siinä suositeltiin kasvuennusteiden korjaamista kertomella 0,6, kun sopiva kerroin oli 0,79 männiköille ja 0,67 kuusikoille tässä tutkimuksessa. Osasyitä tähän eroon oli varmasti tämän tutkimuksen kattava aineisto sekä uudempien inventointitulosten käyttö.

Kuusikoiden alhainen kasvun taso oli selkeästi ominaista Pohjanmaan alaville alueille. Kuntatasolla korkeusasema selitti poikkeamat kasvuennusteista melko hyvin. Heikkokasvuisen alueen ulottuminen syvemmälle sisämaahan Pohjois-Pohjanmaalla kuin Etelä-Pohjanmaalla (kuva 6) voi olla seurausta kuusikoiden vähydestä pohjoisosissa. Männiköiden alhaisen kasvun alue ei seurannut korkeutta yhtä selvästi, vaan painopiste oli Etelä-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella (kuva 6). Molempien puulajien kohdalla saatiin viitteitä siitä, että maaperä voi olla vaikuttava tekijä. Mänyllä tämä johtuisi maaperän tiivyydestä ja kuusella rehevistä mutta kivisistä kasvupaikoista.

Toisaalta kasvun vuosien välistä vaihtelua kuvaavien vuosilustoindeksien perusteella (vrt. taulukko 3 ja 9) kasvun alhaisempi taso alueen länsiosissa voi osittain olla seurausta tilapäisesti epäedullisimmista sääolosuhteista. Timosen (1984) metsälautakunnittaiten indeksien käyttö nosti puuston kasvua tasoittaen samalla länsi–itä-suunnassa esiintyvää trendiä. Metsälautakunnittaiten vuosilustoindeksien käyttö vaikutti siis oleellisesti kuvaan puuston kasvun alueellisuudesta. Tiihosen (1984, 1985, 1986) indekseillä ei ollut samanlaista vaikutusta, mutta niiden osalta aluejako oli huomattavasti karkeampi. Säästä aiheutuva kasvun vaihtelu on yhtenäistä melko laajoilla alueilla, mutta kaikkein poikkeavimman kasvun alueet olivat melko suppeita. Alhaisen kasvun alueilla voi siis olla kyse maaperän ja ilmaston tai sääolosuhteiden (ja puulajin) yhteisvaikutuksesta. Sääolosuhteiden vaikutusta on syytä tutkia tarkemmin analysoimalla kasvun vuotuista vaihtelua.

Mallien antamat tilavuuskasvun ennusteet voidaan korjata ”keskimäärin” oikeiksi alueittaisilla tasokertoimilla (taulukko 9, kuvat 6 ja 7). Periaatteessa voidaan myös ajatella, että Pohjanmaalla käytettäisiin vähäpuustoisille metsiköille laadittuja kasvumalleja, koska ne antavat alueelle sopivimpia ennusteita. Kaikkien kasvumallien ennusteissa oli kuitenkin suurta vaihtelua esimerkiksi metsälautakuntien sisällä. Lisäksi Pohjanmaan alavien alueiden metsien poikkeavat kasvuluvut voivat olla seurausta metsien erilaisesta kehitysrytmistä, joten paras ratkaisu olisi laatia alueen metsille uudet kasvumallit. Aluetta ei voida rajata kovinkaan tarkasti, joten jatkotyössä pitäisi kiinnittää huomiota kasvumallien soveltumiseen laajemmille alueille. Tähän voidaan päästää myös sitä kautta, että täsmällisemmin eritellään kasvuun ja kehitykseen vaikuttavat tekijät lähellä Pohjanlahden rannikkoa.

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.). 1993. Metsätilastollinen vuosikirja 1992. Skogsstatistisk årsbok 1989. Yearbook of forest statistics 1992. SVT Maa- ja metsätalous 1993:5. 317 s. ISBN 951-40-1320-4, ISSN 0784-8404, ISSN 0359-968X.
- , Uusitalo, M., & Herrala-Ylinen, H. (toim.). 1990. Metsätilastollinen vuosikirja 1989. Skogsstatistisk årsbok 1989. Yearbook of forest statistics 1989. SVT Maa- ja metsätalous 1990:4. Folia Forestalia 760. 246 s. ISBN 951-40-1320-4, ISSN 0784-8404, ISSN 0359-968X.
- Aaltonen, V.T. 1940. Metsämaa. 615 s.
- Alho, P. 1968. Pohjois-Pohjanmaan metsien käytön kehitys ja sen vaikutus metsien tilaan. Summary: Utilization of forests in North Ostrobothnia and its effect on their condition. Acta Forestalia Fennica 89. 216 s.
- Cajander, A.K. 1909. Über Waldtypen. Acta Forestalia Fennica 1(1). 175 s.
- 1949. Forest types and their significance. Acta Forestalia Fennica 56. 71 s.
- Cell based modeling with GRID. 1992. Arc/Info users guide. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA, USA. 276 s.
- Dixon, W.J. (toim.). 1992. BMDP statistical software manual, Volume 1 & 2. University of California Press. 1500 s. ISBN 0-520-08138-2, ISBN 0-520-08139-0.

- Gustavsen, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Summary: Finnish volume increment functions. *Folia Forestalia* 331. 37 s. ISBN 951-40-0306-3. ISSN 0015-5543.
- 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia Forestalia* 454. 31 s. ISBN 951-40-0479-5, ISSN 0015-5543
- 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys. Summary: Development of understocked pine and spruce stands. *Folia Forestalia* 796. 29 s. ISBN 951-40-1243-7, ISSN 0015-5543.
- & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for natural birch stands in Finland. *Folia Forestalia* 597. 20 s. ISBN 951-40-0670-4, ISSN 0015-5543.
- Heikurainen, L. & Seppälä, K. 1966. Regionality in stand increment and its dependence on temperature factor on drained swamps. *Acta Forestalia Fennica* 78(4). 14 s.
- & Seppälä, K. 1973. Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Summary: Regionality and continuity of stand growth in old forest drainage areas. *Acta Forestalia Fennica* 132. 36 s. ISBN 951-651-007-8.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1977. Skattning av höjdboniteteten med ståndorsfaktorer. Tall och gran i Sverige. Institutionen för växtekologi och marklära, Skogshögskolan, Rapporter och uppsatser 28. 240 s.
- Hänninen, T. 1974. Harvennismetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland. *Folia Forestalia* 208. 32 s. ISBN 951-40-0120-6.
- Högnäs, B. 1966. Undersökning av skogstyper och beståndsutveckling på Åland. Summary: Investigations on forest sites and stand development in Åland. *Acta Forestalia Fennica* 78(2). 127 s.
- Ilvessalo, Y. 1960. Suomen metsät kartakkeiden valossa. Summary: The forests of Finland in the light of maps. Referat: Die Wälder Finnlands im Licht von Karten. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(2). 70 s. + 30 liites.
- & Ilvessalo M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. *Acta Forestalia Fennica* 144. 101 s.
- Kohmo, I. 1985. Metsiköiden valtapituus suhteessa rinnankorkeusikään Etelä-Suomen kankailla. Verohallitukselle tehty sopimustutkimus. Metsäntutkimuslaitos, metsäinventoinnin tutkimussuunta-Verohallitus. *Moniste*. 20 s.
- Koivisto, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. Seloste: Metsän kasvun alueellisuus Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 71(2). 76 s.
- Kuusela, K. 1977. Suomen metsien kasvu ja puutavara-lajirakenne 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. ISBN 951-40-0289-X, ISSN 0015-5543.
- Kärkkäinen, S. 1984. Kasvupaikkatekijäin vaikutus puustoon ja sen tykkytuhoihin Kuusamossa. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Pro gradu -työ. 73 s.
- Lehto, J. & Leikola, M. 1987. Käytännön metsätyypit. 96 s. ISBN 951-26-3101-6.
- Lindroos, H. 1987. Maaperätekijät merestä kohonneessa nuorena metsämaassa. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. *Lisensiaattityö*. 91 s. + liitteet.
- 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.
- Martinmaa, P. 1979. Metsikön valtapituuden kehitys veroluokittain. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. *Laudaturtyö*. 52 s. + liitteet.
- Nyyssönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. *Acta Forestalia Fennica* 163. 40 s. ISBN 951-651-038-8.
- Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatustallit. Summary: Growth and yield models for silver birch (*Betula pendula*) in plantations in southern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 113. 75 s. ISBN 951-40-0619-4, ISSN 0358-9609.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittautiedoista. 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(2): 143–160.
- Penttilä, T. & Varmola, M. 1987. Lapin kolmion puuntuotannon mahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 243. 120 s.
- Roiko-Jokela, P. 1980. Maaston korkeus puuntuotant-

- toon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of altitude on the forest yield in northern Finland. *Folia Forestalia* 452. 21 s.
- Starr, M. R. 1989. Maan kehitys ja viljavuus Pohjanlahden rannikolla. Abstract: Soil formation and fertility in coastal sand deposits along the gulf of Bothnia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 322: 67–77. ISBN 951-40-1035-3, ISSN 0358-4283.
- Suomen Kartasto. 1987. Ilmasto, vihko 131: 1–31. Maanmittaushallituksen karttapaino. ISBN 951-47-0970-5.
- Suomen Kartasto. 1990. Geologia, vihko 123–126: 1–58. Maanmittaushallituksen karttapaino. ISBN 951-48-0518-6.
- Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce in south Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819: 26 s. ISBN 951-40-1337-9, ISSN 0015-5543.
- Tegnhammar, L. 1992. Om skattning av ståndortsindex för gran. Summary: On the estimation of site index for Norway spruce. Institutionen för skogstaxering, Sveriges lantbruksuniversitet, Rapport 53. 259 s. ISSN 0348-0496.
- Tiihonen, P. 1984. Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Summary: Growth variation in the forestry board districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th national forest inventory. *Folia Forestalia* 588. 8 s. ISBN 951-40-0658-5, ISSN 0015-5543.
- 1985. Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Growth variation in the forestry board districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th national forest inventory. *Folia Forestalia* 615. 8 s. ISBN 951-40-0693-3, ISSN 0015-5543.
- 1986. Kasvun vaihtelu Suomen pohjoispuoliskossa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation in north Finland according to the 7th national forest inventory. *Folia Forestalia* 658. 9 s. ISBN 951-40-0740-9, ISSN 0015-5543.
- Timonen, M. 1984. Männyn ja kuusen kasvunvaihtelu Etelä-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitos. Moniste.* 11 s. + liitteet.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. 1971. *Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste.* 44 s. + liitteet.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. 1977. *Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. Moniste.* 59 s. + liitteet.
- Valtakunnan metsien 8. inventointi. 1991. *Kenttätyön ohjeet. Metsäntutkimuslaitos, metsien käytön tutkimusosasto. Moniste.* 94 s. + liitteet.
- Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. *Folia Forestalia* 813. 43 s. ISBN 951-40-1324-7, ISSN 0015-5543.
- Viro, P.J. 1958. Suomen metsämaiden kivisydestä. Summary: Stoniness of forest soil in Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 49(4). 45 s.
- Vuokila, Y. & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatustavat. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s. ISBN 951-40-0425-3, ISSN 0026-1610.

47 viitettä