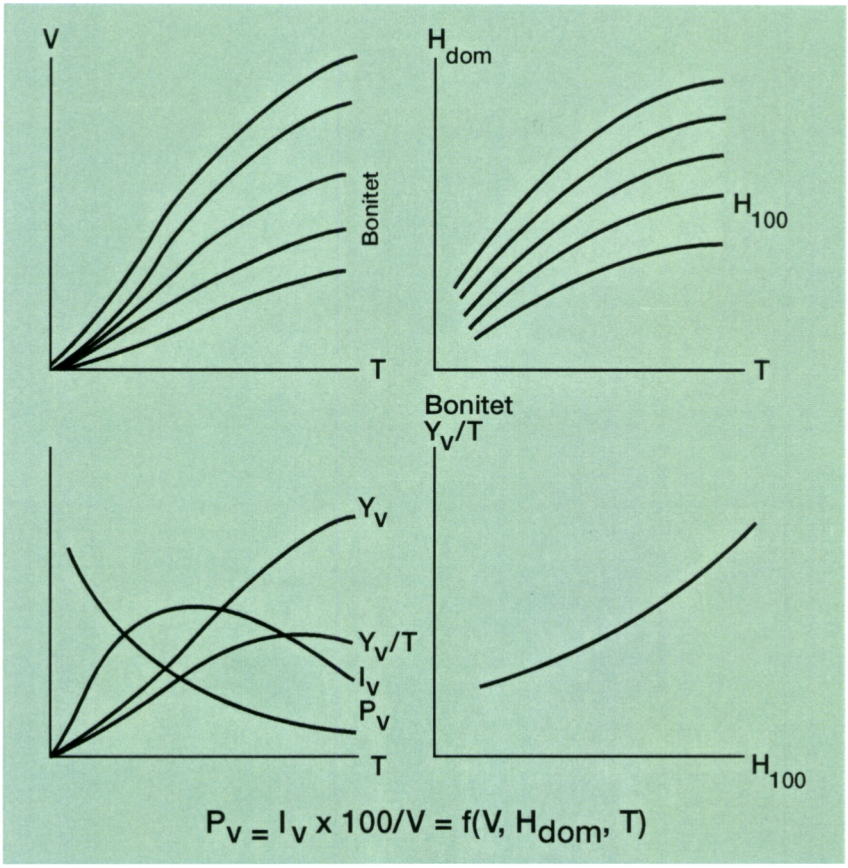
METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 707, 1998



Volymtillväxten och övre höjdens utveckling i talldominerade bestånd i Finland - en utvärdering av några modellers validitet i nuvarande skogar

Hans Gustav Gustavsen

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

METLA

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 707, 1998

Volymtillväxten och övre höjdens utveckling i talldominerade bestånd i Finland – en utvärdering av några modellers validitet i nuvarande skogar

Hans Gustav Gustavsen

AKADEMISK DISPUTATION

Presenteras med tillstånd från det skogsvetenskapliga fakultet vid Joensuu Universitet för offentlig granskning i Universitets auditorium MA155, Borealis, Yliopistokatu 7, Joensuu, 20.11.1998, klockan 12

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

Gustavsen, H. G. 1998. Volymtillväxten och övre höjdens utveckling i talldominerade bestånd i Finland – en utvärdering av några modellers validitet i nuvarande skogar. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja (Skogsforskningsinstitutets meddelanden) 707. 190 s. + 3 bilagor. ISBN 951-40-1649-1, ISSN 0358-4283.

Abstrakt:

Huvudproblemet i undersökningen var skattning av tallbeståndens framtidiga volymtillväxt och därtillhörande övre höjdutveckling. Syfte var i stort en utvärdering av olika faktorers betydelse vid utveckling av tillväxtmodeller för praktisk tillämpning.

Validering av beståndstillväxtmodeller för talldominerade skogar i Finland blev gjord med fem oberoende testdata rörande olika geografiska områden och inhämtade från fasta och tillfälliga ytor knutna till riksskogstaxeringarnas traktsystem.

Sju volymtillväxtfunktioner och en övre höjdutvecklingsfunktion från tre tidigare originalpublikationer bildade utgångspunkt i undersökningen. Jämförelser blev gjord med resultat beräknade för samma testdata enligt Nyyssönen och Mielikäinens beståndstillväxtfunktion och trädvisa Mela-funktioner och enligt TASO-systemets beståndstillväxtsimulator(fördelningsfunktion i kombination med trädvisa Mela-funktioner). Även 54 nya regionala och rikssomfattande volymtillväxtfunktioner och en ny övre höjdutvecklingsfunktion för tall över hela landet blev utvecklade på basen av olika data i undersökningen för jämförelser.

Resultaten visade att de traditionella beståndstillväxtfunktionerna, med beståndets ålder, volym och bonitet som inputvariabler baserade på historiskt material från 1950 och 1960-talet, gav tillräckligt noggranna prognosestimat i nuvarande tallskogar. Dessa funktioner uppvisade skattningar med samma noggrannhet som för Mela-funktionerna på "äkta" trädvisa data. Däremot, när input var såkallade "oäkta" trädvisa data genererade med fördelningfunktion på enbart beståndsvisa data, såsom i TASO-modellen, fick man klart sämre noggrannhet. De stora medelfelen orsakades sannorligen av stora avvikelser mellan den skattade teoretiska och den verkliga diameterfördelningen.

Enligt resultaten borde TASO-modellen borde valideras och eventuellt vidareutvecklats i betydligt större grad än tills nu, pga den omfattande tillämpning för nuvarande inom det finska skogsbrukets avverkningsberäkningar, där det är viktigt att beståndsförråden vid tillväxtperioden slut skattas noggrannt. Allmänt borde tillväxtfunktionerna endast tillämpas samma sorts inputdata som de har utvecklats från.

Beräknade medelfel och systematiska fel i undersökningen bestyrkar att vi inte kan förvänta skattning av framtidigt volymtillväxt med mindre fel än 20 % under praktiska förhållanden. Viktigt vid utveckling av tillväxtmodeller för prognostisering är bruk av klimatkorrigerade tillväxtdata, eller att ta med klimatbeskrivande variabler direkt i tillväxtmodellen. Tallbeståndens övre höjdutveckling avslöjade endast en svag stigande trend för nutida data, som troligen är en följd av att tallbeståndens medelålder är lägre.

Nyckelord: skattning av framtidig tillväxt, validering av tillväxtmodeller, prognosfel, regional tillväxt, klimatkorrigerad tillväxt, höjdboniteringskurvor, ståndortsindex, medelvolymtillväxt

Publicerad av: Metla, Joensuu forskningsstation, PL 68, 80101 Joensuu
Projekt: 3029, 3194
Godkänd av: Forskningschef Matti Kärkkäinen, 29.9.1998

Tryckning: Joensuun yliopistopaino

Tryckningsår: 1998

Författarens kontaktuppgifter:

Hans Gustav Gustavsen, Metla, Joensuu forskningsstation, PL 68, SF - 80101 Joensuu
Fax: 013 2514567, Telefonnumret: 013 - 251 4033, E-mail: Hans.Gustavsen@Metla.fi

FÖRORD

Skogsbeståndens volymtillväxt är tillsammans med volymförrådet, det viktigaste kriteriet inom skogsplaneringen för att kunna bedöma skogens nuvarande och kommande produktions- och avverkningskapacitet. Skattningen av volymtillväxten har ialt större grad blivit baserat på olika matematisk-statistiska modeller, åstadkommit av den starka utveckling av datorer och deras tillämpning inom skogsbruket.

Det föreliggande arbetet har en naturlig anknytning till det projekt som började år 1972 under ledning av professor Yrjö Vuokila, vid Skogsforskningsinstitutets dåvarande inriktning för virkesproduktion. Projektets syfte var att ge mångsidig landsomfattande information om ekonomiskogarnas produktion och struktur. Undersökningarna baserades sig därför i första hand på Riksskogstaxeringernas material. Projektet skulle vara kontinuerligt och erhållna resultat skulle testas och kompletteras med nya mätningsdata för att få en ständigt bättre tillämpning.

Forskningen skulle omfatta fyra deluppgifter :

1. Utredning av nutida gallringsskogars virkesförråd och avverkningsmöjligheter
2. Utveckling av nutida skogars tillväxtfunktioner
3. Utveckling av lokala tillväxt- och produktionstabeller
4. Utveckling av långsiktiga tillväxtprognoser

Ett annat viktigt beslut var, att de ovan nämnda utvecklade "vertygen" skulle ha den praktiska skogsbruksplaneringens mätningsmetoder, noggrannhetsnivå och kostnadskrav som utgångspunkt. Detta förde till att tillväxtmodellerna skulle endast baseras på några viktiga objektivt lätt mätbara variabler.

Denna undersökning har ingått som en del av ett avslutad projekt (3029) (1991-1996) vid Skogsforskningsinstitutet under rubriken: "Skogsbeståndens tillväxt inom olika geografiska områden i Finland". Detta projektet grundades delvist direkt på det gamla projektet från inriktningen för virkesproduktion. Syftet med detta projektet var att klargöra skogsbeståndens tillväxt, produktion och struktur inom speciellt avvikande områden, så som Österbottens kustskogar och Lapplands skyddskogar. Den föreliggande undersökningen var berättigat inom projektet, därför att redan utvecklade landsomfattande tillväxtfunktioner borde vara möjligt att använda också i områdsvisa utredningar. Även om man senare måste utveckla egna lokala tillväxtmodeller, vore det viktigt att granska de utvecklade storområdens tillväxtfunktioner på lokala nivån.

Arbetet har utförts vid Skogsforskningsinstitutets forskningsstation i Joensuu. Ämnet till forskningsuppgiften och dess planering har vuxit fram ur diskussioner med mina handledare prof. Timo Pukkala, biträd. prof. Risto Päivinen och biträd. prof. Jussi Saramäki vid Joensuu Universitet. Även min arbetskollega prof. Kari Mielikäinen har givit mig många värdefulla råd och förslag till utförande av undersökningen, och han har tillsammans med AFD Kari Korhonen granskat det slutliga manuskriptet. Denna granskningen åstadkom viktiga korrektionsförslag som har påverkat det slutliga manuskriptet. I vissa matematisk-statistiska frågor har matematiker, SVK Risto Häkkinen bestått med värdefull information.

Ett omfattande räknearbet med mätningsdata har utförts av EDB-planerare Seppo Jolkkonen. Vissa grafiska illustrationer och tabeller har utarbetats av AFK Timo Muhonen och skogstekniker Tapio Ylimartimo. Även mina forskarkollegor AFK Hannu Salminen, AFK Mauri Timonen, AFD Kari Korhonen och AFK Kristian Karlsson har på olika sätt bidragit till att beräknade beståndsdata har stått till förfogandet. Forskningsfunktionär Leena Karvinen vid Joensuu försöksstation har hjälpt till vid redigering av det slutliga manuskriptet.

Till samtliga nämnda personer och till alla mine arbetskamrater vid Joensuu forskningsstation, som har givit mig stöd och inspiration för att färdigtgöra arbetet vill jag framföra ett varmt tack.

Joensuu, September 1998

Hans Gustav Gustavsen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD 3

LISTA ÖVER ORIGINALPUBLIKATIONER 7

1 INLEDNING 9
1.1 Beståndets volymtillväxt 9
1.2 Volymtillväxtmodeller - tidigare undersökningar 15
1.2.1 Allmänt 15
1.2.2 Trädvisa modeller 18
1.2.3 Modeller med klasser inom beståndet 21
1.2.4 Beståndsvisa modeller 22
1.3 Beståndets övre höjdutveckling - höjdbonitering 34
1.3.1 Ståndortsklassificering enligt beståndskriterier - tidigare undersökningar 34
1.3.2 Teori och metoder för utveckling av höjdbonitetskurvor 37
1.4 Validering av modeller 42
1.5 Bruk och behov av olika modeller 46
1.6 Syfte och avgränsning för studien 50

2 TILLVÄXTFUNKTIONER FÖR TALLDOMINERADE BESTÅND - SAMMANFATTNING AV ORIGINALPUBLIKATIONERNA (A1 - A3) 52
2.1 Allmänt 52
2.2 Volymtillväxtprocentfunktioner för olika naturligt föryngrade talldominerade bestånd (A1) 53
2.3 Volymtillväxtfunktion för "glesa" naturligt föryngrade talldominerade bestånd (A2) 61
2.4 Utvecklingsfunktion för övre höjden i naturligt föryngrade talldominerade bestånd (A3) 65
2.5 Uppsummering 70

3 MATERIAL OCH METODER 71
3.1 Materialens urval, läge och mängd 71
3.2 Primärbearbetning och variabelvärden 77
3.3 Metodik 79

4 RESULTAT 80
4.1 Volymtillväxtfunktioner utvecklade i undersökningen för jämförelse 80
4.2 Volymtillväxtfunktionernas tillförlitlighet i nutida naturligt föryngrade talldominerade bestånd 88
4.2.1 Originalfunktionernas tillförlitlighet i oberoende test-data 89
4.2.1.1 INKA- och NF18 -data 89
4.2.1.2 KUSTINKA-, SKYDDINKA-, GLESINKA- och GLESNF18 -data 104
4.2.2 Jämförelsesfunktionernas tillförlitlighet i oberoende test-data 105
4.2.3 Tillförlitligheten för volymtillväxtfunktioner enligt Mielikäinen (1975) och Nyyssönen & Mielikäinen (1978) i oberoende testdata 109
4.2.4 Tillförlitligheten för Tapios volymtillväxtsimulator i oberoende INKA-data 112
4.3 Volymtillväxten för tall enligt olika modeller 113

4.3.1 Regional volymtillväxt för talldominerade bestånd i Finland enligt original- och jämförelsesfunktioner ... 113
4.3.2 Volymtillväxt enligt tidigare nordiska undersökningar ... 120
4.3.2.1 Jämförelser med finska undersökningar ... 120
4.3.2.2 Jämförelser med svenska och norska undersökningar ... 125
4.4 Övre höjdens utveckling för naturligt föryngrade talldominerade bestånd 127
4.4.1 Höjdutvecklingskurvornas (funktionens) tillförlitlighet i oberoende test-data ... 127
4.4.1.1 Allmänt om kontroller ... 127
4.4.1.2 Kontroller med successiva boniteringar ... 128
4.4.1.3 Övrehöjdtillväxt och utveckling till brösthöjd ... 134
4.4.2 Sambandet mellan höjdbonitet och årlig medelvolymtillväxt (bonitet) ... 135
5 DISKUSSION ... 138
5.1 Allmänt ... 138
5.2 Mätning av validitet - systematiska fel och medelfel ... 138
5.3 Materialets betydelse ... 141
5.3.1 Allmänna synpunkter på materialen ... 141
5.3.2 Klimatkorrigering av tillväxt ... 143
5.3.3 Provytornas betydelse ... 144
5.4 Skattad volymtillväxt i olika beståndstyper och regionalt ... 146
5.5 Tillväxtmodellens betydelse ... 149
5.6 Höjdbonitetskurvornas tillförlitlighet ... 152
5.7 Sammanfattande slutsatser om tillämpning ... 154
LITTERATURFÖRTECKNING ... 157
Bilaga 1. Symboler ... 172
Bilaga 2. Simulerade volymtillväxtförlopp ... 175
Bilaga 3. Hjälpfunktioner vid simulering av beståndsutveckling i talldominerade bestånd ... 190
ORIGINALPUBLIKATIONER (A1-A3)

LISTA ÖVER ORGINALPUBLIKATIONER

Beståndstillväxtfunktioner framtagna i tre orginalpublikationer utgör basen för denna doktoravhandling. I texten har refererats till orginalpublikationerna med beteckningarna A1 - A3. En sammanfattning på svenska av orginalpublikationerna framgår ur avsnitt 2.

A1. **'Volymtillväxtprocentfunktioner för naturligt föryngrade talldominerade bestånd'.** Gustavsen, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. *Abstract: Finnish volume increment functions.* Folia Forestalia 331. 37 s.

A2. **'Volymtillväxtfunktion för "glesa" naturligt föryngrade talldominerade bestånd '.** Gustavsen, H.G. 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys. *Summary: Development of understocked pine and spruce stands.* Folia Forestalia 796. 29 s.

A3. **'Utvecklingsfunktion för övre höjden i naturligt föryngrade talldominerade bestånd '.** Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. *Summary: Site index curves for conifer stands in Finland.* Folia Forestalia 454. 31 s.

1 INLEDNING

1.1 Beståndets volymtillväxt

Skogsbeståndens **volymtillväxt** är ett mycket viktigt kriterie inom den praktiska skogsplaneringen och inom produktionsforskningen. Den bildar grundval för beskrivning av beståndsvolymens utveckling genom ett livsomlopp, som igen är utgångsläget för olika skogsvärderingar och lönsamhetskalkyler. Volymtillväxten används också som mått på ståndortens virkesalstrande förmåga (boniteten) och till bestämning av massaomloppstiden. Den har därför en avgörande betydning, när de olika skogsområdens aktuella produktionstillstånd utrönas för hyggesplaneringen.

De enskilda trädens och beståndens volym och dess tillväxt kan inte direkt mätas, men är såkallade **härledade** kännetecken från direkt mätbara **ursprungliga** kännetecken. Trädens höjd är ett exempel på ett ursprungligt kriterie, som utgör en mycket viktig komponent eller dimension i beståndsvolymen och dess tillväxt. Detta starka sambandet har utnyttjats särskilt inom höjdboniteringen, där **övre höjdutvecklingen** enligt beståndsåldern överföras genom ett **ståndortsindex** till bonitet i termer av medelvolymtillväxt (m^3/ha/år).

Beståndets tillväxt, det vara sig **volym-, grundyte, diameter- , radie eller höjdtillväxt**, är inte ett entydigt begrepp. Det kan betyda tillväxten för **en föregående period** eller en antagen tillväxt för **en kommande period** eller för "**tillväxten nu**". Den principiella skillnaden mellan dessa tillväxtbegrepp är att radie-, diameter- och höjdtillväxten för en förgången period kan mätas direkt, medan de två andra begreppen måste bygga på **vissa förutsättningar**. "Tillväxten nu" kan, enligt Strand (1959, s. 354), definieras som den nutida årliga tillväxt korrigerat för klimatvariationer, och skall då gälla för ett år som är normalt med hänsyn till klimatet. För den kommande tillväxtens del tillsträvas i vissa fall en klimatisk korrigerat tillväxt och i andra fall önskas en okorrigerat tillväxt.

I denna undersökningen är huvudproblemet skattning av den framtidiga tillväxten, som behövs för att göra beslut om skogarnas framtidiga användning. Tillväxten för en föregående period är emellertid direkt eller indirekt grundval för uppbyggandet av de hjälpmedel (modeller) som vanligen används för denna prognostisering. En kännedom om de problemer som är bundna till bestämning av tillväxten för en föregående period, är därför av mycket relevant betydelse för värdering av prognostiserad tillväxt. Det följande förkortade citatet från den nordamerikanska skogsforskningslitteraturen rörande tillväxtbestämning, tatt fram av Kuusela (1953, s. 17), illusterar mycket väl det ovan nämnda: *" .....So in forestry, although past performance of trees and stands is the only sure foundation for* ***predicion of future growth****, yet it is just this prediction of future volume of stands of timber which is the real objective of all growth studies. Only when the methods of studying* ***past growth*** *are capable of producing fairly accurate forecasts of the growth of entire stands and forests in the future can they be of any real value to the owner and investor in forest property. By the test of this rule, the valifity of all growth studies must be gauged "* (enligt Herman Chapman och Walter H. Meyer).

För att värdera framtidig tillväxt beräknat från olika modeller, måste vi veta hurdan den förgångna tillväxten mäts och beräknas, samt känna till de felkällor som är förknippade till detta.

Tillväxten kan uttryckas i **relativa** och i **absoluta mått**. I regel eftersträvas den absoluta volymtillväxten för den förgångna eller för dem kommande perioden, t ex 5 eller 10 år. Många beräkningmetoder ger emellertid den relativa volymtillväxten som första steg.

Begreppet tillväxt betyder förandring i värderna för trädets, beståndets eller skogens kännetecken inom en tidsperiod. Den absoluta volymtillväxten hänvisar nutida till ökning i **hela trädstammens volym med bark** och avser härvid enheten **skogskubikmeter**. I många tillväxttabeller t ex (Vuokila & Väliaho 1980), anges också volumtillväxten inom omloppstiden för **bruksandelen** av hela stammen, dvs **sågtimmer**volymens och **massaved**volymens tillväxt. Man benämnar denna bruksandelens volymtillväxt oftast som **produktionen**.

Den dynamik, som den absoluta volymtillväxten innebär, tar sig uttryck i följande tillväxtbegrepp: **den årliga volymtillväxt** (föråldrad begrepp: löpande volymtillväxt) betyder den tillväxt som sker i en växtperiod, **den totala volymtillväxt** är summan av all tillväxt producerat från trädens och beståndets födelse till omloppets slut, **den periodiska volymtillväxt** hänvisar till all tillväxt som har tillkommit under en bestämd period (antal år), och den årliga **medelvolymtillväxt** avser den totala volymtillväxt eller periodiska volymtillväxt uttryckt som medeltal per år.

Den periodiska volymtillväxten beräknat för korta perioder (5 - 10 år) är vanligen estimat för den årliga volymtillväxten. Den årliga volymtillväxten kan karakteriseras som den momentana förändring i volymutvecklingen och kan skattas som differensen mellan två på varandra följande tillstånd i volymutvecklingen. I matematiska termer kan man säga att volymtillväxten är **riktningskoefficienten** i en punkt på volymutvecklingskurvan eller m a o **första derivatan** av utvecklingsfunktionen. På motsvarande sätt kan volymutvecklingen sägas vara **integralen** av volymtilväxtfunktionen. Dessa matematiska formuleringar har blivit använd som utgångsläge vid konstruktion av vissa tillväxtmodeller (1.2).

Tillväxten uttryckt i relativa tal är mycket hänsiktsmässigt för att göra jämförelser, och beskrivar på ett enkelt sätt trädets och beståndets tillväxtintensitet. Den relativa volymtillväxten kan beräknas som **en tillväxtkoefficient** från förhållandet mellan volymet i slutet och i början på en period. Alt enligt vilka volym i perioden som används som jämförelseskvantitet för den uppmätta (beräknade) periodiska medeltillväxten, fås **rabatt-, diskontoprocent** och **procenten för periodens medelvolym**. Den sistnämnda kallas vanligen för **Presslers procent**.

Från penningvärlden tagna **ränta på ränta-procenten** har mycket tidigt blivit använd, och har ansetts som den "riktiga" för att uttrycka medeltillväxten i en period. Från denna procent kan avledas den såkallade **absoluta tillväxtprocent** (Kuusela 1953, s. 31) , när förhållandet mellan volymet i slutet och början på en period sätts som följande:

$$V_{(slut)}/V_{(början)} = e^{n0.0p} \qquad (1)$$

En viktig förutsättning för ränta på ränta procenten är att det växande volymet till olika tidpunkt bildar en geometrisk räcka. Trots att detta inte uppfylls för skogsträden, har ränta på ränta procenten spelat en utvivelaktig viktig roll inom tillväxtforskningen. En mängd tillnärmelsesprocenter har blivit utvecklat mot denna basis, såsom t ex **Kunzes,**

Levakovics, Merkers, Shiffels, Schuberts och **Petrinis** procentformler (utförligt behandlat av Kuusela (1953)).

De olika procenternas bruk är dock avhängig av vilka syften man har med tillväxtbestämningen. När hänsikten är t ex en modell för prognostisering av kommande tillväxt på basen av nutida uppmätta beståndskriterier, är rabattprocenten naturligt att använda. Då beräknas först den relativa tillväxten från den förgångna periodens absoluta tillväxt som en rabattprocent. Sedan byggs modellen upp på rabattprocentens förhållandet till trädens och beståndets olika kännetecken vid början av den förgågna perioden, som avspeglar den situation man har vid prognostiseringen.

Den primära enhet vid skattning av beståndets volymtillväxt för en förgången period, är vanligen tillväxten för det enskilda trädet (provträd) inom beståndet. Också för skattningsmetoder, där tillväxten fås som erfarenhetstal för hela beståndet i medel, har mätningar av de enskilda trädens diameter-, grundyte- och höjdtillväxt varit basen. Beståndets volymtillväxt fås vanligen som summan av alla trädens tillväxt på provytor av olika form och storlek lagt ut inom beståndet. Alla trädens tillväxt har igen beräknats från provträdens tillväxt. Av dessa skäl finns det därför en viss analogitet mellan trädens och beståndets volymutveckling, men det finns också en principiell skillnad. Det enskilda trädets **tillväxt är tilltagande** genom hela omloppstiden, medan **beståndets tillväxt kann också vara avtagande** på grund av avgången av träd.

Med utgångspunkt i den terminologi som gäller för det enskilda trädets volymtillväxtmetoder (t ex Ojansuu 1993), och i några äldre översikter (Ilvessalo 1939, Kuusela 1953; riktlinjer angående tillväxtskattning på 1920-talet enligt Erik Lönnroth, Strand 1959, Prodan 1965), kan följande gruppering ges för skattning av hela beståndets volymtillväxt:

1. **Stamanalysmetod, tillbakariktad tillväxtanalys på fällda provträd**
2. **Derivatmetod, kallas också massakurv-(tariffdifferens-)-metod**
3. **Komponentmetod**
4. **Differensmetod, kallas också volymmetod**
5. **Direkt tillväxtbestämning med regressionmodell**
6. **Tillväxtbestämning från tillväxt och produktionstabell**
7. **Årlig volymtillväxt skattat från beräknat medeltillväxt vid ett tidpunkt**

Stamanalysmetoden ger mycket noggranna estimat av volymtillväxten för de enskilda provträden. Den ger inte automatiskt en lika god skattning på hela beståndets volymtillväxt, ifall man inte har ett mycket representativt provträdsmaterial, inhämtat med ett objektivt stickprovsförfarandet. Detta gäller självklart också vid andra metoder, där provträdsmätningar görs. Metoden är i första hand mycket aktuell i vetenskapliga undersökningar.

Derivatmetoden bygger på partiella derivat av en volymfunktion. I de enkleste fall används en massakurve (tariff-funktion) som ger relationen mellan volym och diameter, varifrån man kan skatta hur stor ökning i volym som motsvarars av en viss ökning i diameter ($\delta v/\delta d$). Metoden har varit mycket brukt i Mellan-Europa, därför att den inte kräver skattning av höjdtillväxten.

Komponentmetoden har tidigare varit mycket brukt i de skandinaviska länder. Komponentmetoden, som också kallas Jonsons (1928) metod, har baserats på att beståndsvolymet kan skattas som ett product av komponenterna grundyta (G), höjd(H) och formtal(F):

$$V = G \cdot H \cdot F \qquad (2)$$

Den absoluta och relativa tillväxten i volymet kan därför spaltas i komponenternas tillväxt. När man t ex förenar höjd och formtal till formhöjd (FH), kan metoden illustreras med formlerna 3 och 4, där ett diskontobetraktande har blivit lagt till grund:

$$I_V = FH_2 \cdot I_G + G_2 \cdot I_{FH} - I_G \cdot I_{FH} \qquad (3)$$

I_V, I_G och I_{FH} är den förgångna periodiska tillväxten i beståndets volym, grundyta och formhöjd. G_2 och FH_2 är grundytan och formhöjden vid periodens slut. Denna formeln visar att volymtillväxten inte bara är avhängig av tillväxten i komponenterna (G och FH), men också av deras absoluta storlek. Motsvarande kan visas, att sammanhanget mellan volymtillväxtprocenterna (P_V) och komponenternas tillväxtprocenter (P_G och P_{FH}) i en förgången period (n år), är det följande (t ex Seip 1964, s. 255):

$$P_V = P_G + P_{FH} - n/100 \cdot P_G \cdot P_{FH} \qquad (4)$$

I differensmetoden fås beståndets volymtillväxt som en differens mellan volymet vid slutet och vid början av en period. Denna metod, som vanligen används vid upprepande mätningar på fasta provytor, kan medföra stora fel i beståndsvolymtillväxten om inte volymskattningen och avgången inom perioden har blivit noggrannt bestämd. En lång period mellan mätningarna vill öka risken för fel i tillväxten. En svaghet vid estimering från två påföljande mätningar, är att båda mätningar är behäftade med mätfel.

Differensmetoden kan också användas vid endast en mätning på engångsytor. Volymet vid början av perioden fås då med tillbakariktade mätningar av provträdens höjd- och diametertillväxt. Ett sådant förfarande behöver inte föra till ett dårligare estimat för beståndets volymtillväxt än för två upprepande mätningar på fasta ytor, när avgången i den förgågna perioden kann noggrannt estimeras.

De två sista metoderna (6 och 7) har vanligen inte som syfte att skatta volymtillväxten noggrannt för en förgången period, och har därför inte stor betydning för den periodiska tillväxtskattningen (Kuusela 1953).

Tillväxtskattning med tillväxttabell (6) används vanligen för prognostisering av framtidig volymtillväxt. I vissa fall används tabellerna för skattning av medeltillväxten inom ett omlopp (MAI) för att uttrycka bonitetens produktivitet (t ex Eriksson 1977).

Den såkallade tillväxtmetoden (5) är den mest dominerande metoden nu för tiden. Beståndets volymtillväxt skattas direkt i en regressionmodell på basen av bestånds- och trädkännetecken. Denna metoden blev tidigt använd i USA, där de periodiska tillväxtmätningarna i fälten inte har blivit utfört i samma mån som i de skandinaviska länder (Nyyssönen 1956, Strand 1959). Den kraftiga utveckling av datorkapaciteten och de därtillhörande bättre möjligheterna för matematisk-statistiska tillämpningar, har fört till att forskningsaktiviteten har blivit mera lagt på regressionsenliga metoder.

Detta betyder emellertid inte att differensmetoden har utspelat sin roll. Vid utveckling av tillväxtmodeller behövs ständigt nytt tillväxtmaterial, skattat som en differens mellan resultat från upprepande mätningar på fasta provytor. Även det enskilda

trädets volymskattning med (t ex Ojansuu 1993) avancerade stamkurvsfunktioner (t ex Sloboda 1977, Lahtinen & Laasasenaho 1979, Lappi 1986), har fört till bättre möjligheter för skattning av beståndens tillväxt (Ojansuu 1993).

Mycket forskning har blivit gjord kring volymtillväxtens estimering och nogrannhet för en förgången period. Detta har varit naturligt, då tillväxtens komponenter i diameter och höjd kann direkt mätas för en förgången period. Förutsigelse av den framtidiga tillväxten och dess noggrannhet, har däremot blivit mycket mindre diskuterat och utvärderat. I något större grad har "tillväxten nu" på basen av den förgångna uppmätta tillväxten blivit behandlad. Den senast nämnda har isär stor intresse för beskrivning av skogens vitalitetstillstånd enligt skogsinventeringen.

Allmänt karaktäriseras den nuvarande tillväxtforskningen av en avancerat detaljerat matematisk-statistisk behandling av data. Detta avspeglas genom IUFRO-rapporter (S4.01-S4.02) från 1970- till 1990-talet, där tillväxtmodeller samt deras basdata från fasta och tillfälliga provytor har behandlats. På grund av de talrika undersökningarna hänvisas här endast till några exempel av Fries (1976), Nyyssönen et al. (1993), Burkhart et al. (1993) och Vanclay et al. (1993).

Trots den starka metodiska utvecklingen som har skjedd på de senaste 25 åren, har huvudmängden av den teoretiska och principiella "taksatoriska" tillväxtforskning blivit gjord redan tidigare. Man ser då bort från det teoretisk hypotestänkandet, som ligger bakom de nutida aktuella tillväxprocessmodellerna (t ex Adlard 1993).

I det följande nämns endast några exempler, på centrala undersökningar och redogörelser i läroböcker i vissa länder om beståndens och trädens tillväxt.

Tillväxtforskningen i Mellan-Europa, isär i Tyskland, har långa rötter tilbaka på 1800-talet (Wiedeman 1950). Den tidiga omfattande tyska tillväxtforskningen illustereras mycket bra i den noggrannt citerade litteraturlista, hos t ex Lönnroth (1926): "Likåldriga tallbeståndens inre struktur och utveckling i södra hälften av Finland". Omfattande arbeten av t ex Prodan (1949, 1965), Assmann (1970) och Loetsch et al (1973) ger inblick i teori och metodik rörande tillväxtskattningen.

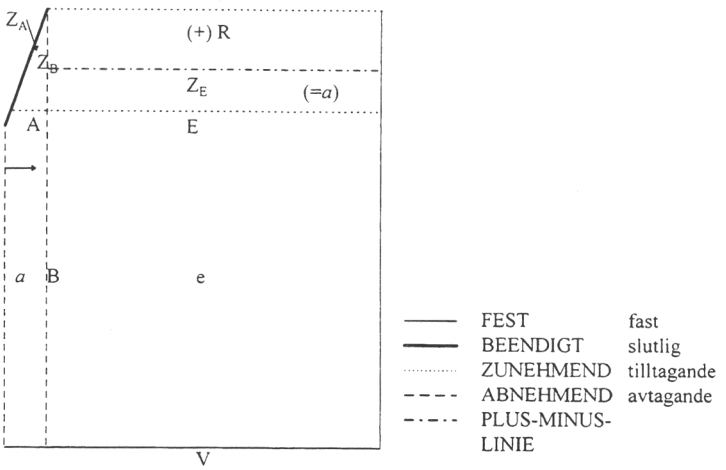
Representativa utredningar om tillväxtprincipen i Nord-Amerika är de av t ex Meyer (1942, 1952) och Spurr (1952, 1954). Den nord-amerikanska tillväxtforskningen skiljar sig från de skandinaviska ländernas, med att vara mindre förankrat i en empirisk basis och mera bygga på en teoretisk basis.

Från de skandinaviska länder och Finland har blivit tillfört tillväxtteorien en avsevärd mängd kunnskap i perioden från ca 1920 - 1960. Centralt i den danska produktionsforskningen är utredningar av Möller (1944, 1951). Av norska tillväxtstudier bör nämnas de av Langsäter (1944a), Eide & Langsäter (1941) och Strand (1959). Mycket stor betydning för tillväxtskattningen över en lång period i hela Norden fick undersökningen av Tor Jonson (1928) i Sverige: "Några nya metoder för beräkning av stamvolym och tillväxt hos stående träd". Bl a de finska tillväxttabellerna av Ilvessalo (1948) blev bygd upp enligt komponent-principen lagt fram av Jonson (1928). Av andra svenska undersökningar är de av Östlinds (1929), Petrinis (1949, 1957) och Pettersons (1937, 1955).

Den teoretiska grunden för beståndets volymutveckling och volymtillväxtberäkning, har blivit behandlat ingående i några få, men mycket konstruktiva finska undersökningar. Speciellt viktigt för att förstå tillväxtproblematiken i ett bestånd, har varit den klassiska utredningen av Lönnroth (1929): "Theoretisches über den Volymzuwach und -abgang des Waldbestandes" och den av Kuusela (1953): Zur Theorie der forstlichen Zuwachsberechnung auf Grund der periodishen Messung".

I den förstnämnda har åskådligtgjorts den teoretiska basen för tio beståndsvolymkännetecken, inklusiva volymtillväxten, med hjälp av en principskiss

(Lönnroths "stuga") (Figur 1). Ett viktigt resultat var två-delningen av hela beståndet i det blivande och det avgående beståndet. Den periodiska volymtillväxten för de olika beståndsdelarna är differensen mellan volymen vid tillväxtperiodens slut och början. Avgången och dess tillväxt är centrala faktorer i bestämningen av beståndets **bruttotillväxt** och kan illustreras med Lönnroths "stuga". Tillväxten kan också angivas som **nettotillväxt**, som utryckar det levande organiska ämnets ökning, där trädets kärnved ingår själv om detta inte är mera med i trädets livsfunktion. Bruttotillväxten i sin tur omfattar i tillägg också det döda organiska materialet (avgången) inom en period. Vanligen är det den sistnämnda tillväxten vi menar i de nordiska länder, därför att ungefär alt producerat skogsvirke utnyttjas i dessa länder (Kilkki 1984, s. 62).



FIGURENBEISPIEL

1 cm^2 = 4 m^3

B	= 288	m^3	volymet vid början av perioden
E	= 336	"	volymet vid slutet av perioden
A	= 37	"	total avgång i perioden
e	= 256	"	volymet för den kvarstående del av B
a	= 32	"	volymet för den avgående del av B
Z_B	= 85	"	total tillväxt i perioden
Z_E	= 80	"	den tilltagande del av Z_B (tillväxten för e)
Z_A	= 5	"	den avtagande del av Z_B (tillväxten för a)
R	= 48	"	produktionsrest
V	= 373	"	totalt volym

Figur 1. Principskiss enligt Lönnroth (1929) som illusterar beståndets volymtillväxt och volymutveckling. Lönnroths "stuga".

När man också tar hänsyn till den inväxt av nya träd i loppet av tillväxtperioden, kan "stugans" botten (Figur 1) utvidgas nedåt med inväxten och dess volym (Kilkki 1984).

Kuusela (1953) byggde vidare på Lönnroths princip i sin mycket omfattande teoretiska analys av beståndets och de enskilda trädens volymtillväxtskattning. Undersökningens syften var att klargöra beräkningen av den genomsnittliga tillväxten och tillväxtprocenten för en förgången period, och hurdan man kan skatta den sannolika

volymtillväxten för mätningsåret ("tillväxten nu") för det enskilda trädet, beståndet och ett skogsområde. Från denna tillväxtanalys kunde utvärderas vilka fel man gör i tillväxtskattningen, när tillväxten skattas endast från det blivande beståndet vid periodens slut.

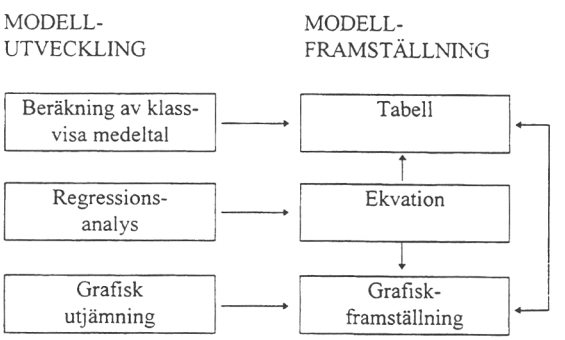
Av andra, tidigare viktiga finska undersökningar, bör nämnas Ilvessalos (1939, 1948) om beståndens tillväxtberäkning, och Nyyssönens (1951, 1954) om antalet provträd för att skatta volymtillväxtprocenten i ett bestånd och undersökning rörande de sydfinska behandlade tallbeståndens struktur och produktion. Vuokilas (1960) undersökning rörande den sibiriska lerkens tillväxt och produktion vore ett pionjärarbetet, där en volymtillväxtfunktion för första gången i Finland utvecklats med regressionsanalys.

En på senaste tiden teoretisk viktig undersökning, gällande det enskilda trädets stamutveckling och tillväxt samt provytebeståndens volymtillväxtskattning, har blivit gjord av Ojansuu (1993). Basis för denna undersökningens metod, var det enskilda trädets elementära stamkurvor: 1) med bark, 2) utan bark och 3) utan bark för 5 år sedan. Differensene mellan de elementära kurvorna gav så tillväxt- och barkkurvan.

1.2 Volymtillväxtmodeller - tidigare undersökningar

1.2.1 Allmänt

Beståndets volymtillväxt kan skattas med olika typer av modeller, beroende av vilka kännetecken man har uppgifter om. Från den första början, har modelltekniken utvecklats från grafisk utjämning av mätningsdata till mera avancerade statistiska metoder. Den grafiska subjektiva metoden har ersätts av matematisk-statistiska modeller inom datorprogram. Dessa avancerade modellerna, som ofta kan vara komplicerade och svårtolkade, borde dock för den praktiska användningens skuld också presenteras i en förenklad grafisk eller en numerisk form (Figur 2). Denna förenklade modellframställningen har på inget sätt utspelat sin roll, och ger en möjlighet till att värdera den komplexa matematisk-statistiska modellens validitet.



Figur 2. Utveckling och framställning av modeller (enligt Kangas & Päivinen 1994).

I litteraturen finns många översikter, där modellerna och deras olika principer och indelning har beskrivits, t ex Vuokila (1965), Curtis (1972), Hradetzky (1972), Munro (1974), Jeffers (1978), Alder (1980), Clutter et al. (1983), Davis & Johnson (1987), Kimmins (1987), Ek et al. (1988).

En intressant **växelverkan mellan naturlagar och utvecklade tabellmodeller** har påpekats av Hradetzky (1972), i en historisk översikt över utvecklingen av de matematiska funktionerna för framställning av produktionstabeller. Gehrhardt (1921), som måste betraktas som en nyckelperson i utvecklingen av den numeriska utjämning av data för produktionstabeller, preciserade att i början, dvs 1700 och 1800-talet i Tyskland, tillsträvades i första hand tabeller för värdering av ståndortens kvalitet och för skattning av beståndets virkesförråd och dess tillväxt. Dessa tabeller blev i sin tur analyserat för att finna **naturlagenliga drag**. I denna såkallade **tabellanalysperiod,** försökte många forskare samtidigt att använda igen de utformade naturlagar i konstruktion av nya produktionstabeller.

I ett senara skede började man utgå från ursprungliga data för att söka naturlagenlig bas för modellerna. Många av dessa uppnådda resultat bildar fortfarande riktlinjer för utveckling av tillväxt- och produktionmodeller idag. Ett exempel på hurudan ferdiga produktionstabeller kan utnyttjas, har visats i en undersökning av Hari (1968). En teoretisk tillväxtmodell, utformad som ett hypotetiskt begrepp genom ett matematisk integral, provas konkret med data från en produktionstabell för tall enligt Vuokila (1967).

Mot den historiska bakgrund kan följande riktningar urskiljas i **utvecklingen av den matematiska formulering** av skogsbeståndets **växtlagar** (ref. Hradetzky 1972):

1. Användning av matematiska **approximatfunktioner**

1.1. Bruk av **almänna flexibla funktioner**; t ex Hossfelds, Smalians och Breymanns på 1800-talet.

1.2. Bruk av mer **komplicerade funktioner**; kända från tillväxtkurvor enligt t ex Petterson, Levakovic, Korf o a på 1920-30-talet, samt från matematiska beskrivningar av sambandet mellan olika produktionsenliga kriterier, t ex Eichorns, Schiffels och Gehrhardts arbeten på början av 1900-talet.

2. Utveckling av tillväxtlagar från **elementära fysiska och kemiska lagar**; huvudföreträdare för denna riktning var Weber och Tischendorf. Det resulterade i kända tillväxtfunktioner av t ex Robertson, Mitcherlich, Backmann, Bertalanffy o a från början av 1900-talet.

3. Studier av beståndens tillväxtförlopp med hjälp av **multivariatanalyser;** några av de första representanterna var Clutter, Eide & Langsäter och Petterson o a på 1930-1950 -talet. Resultaten av dessa analyser kan inte ansees vara uttryck för sammanhangen mellan orsaker och verkningar. De visar endast beståndens tillstånd och förlopp på basen av observations- och mätningsdata, som hanterliga "växtlagar" kan framställas från (Weck 1955).

Det finns många andra sätt att klassificera de ekologiska modellerna på; t ex med utgångspunkt i modellernas uttrycksform och egenskaper eller utvecklingstekniken och

i modellens användningsobjekt. Detta har givit många olika indelnings- och karaktäriseringskriterier.

Kimmins (1987) t ex tvådelar modellerna först i **teoretisk tänkta modeller** och i **konkreta modeller.** De sistnämnda kan indelas igen t ex i **matematiska** och **verbala modeller**.

När man lägger alternativer till grund, talas om **deterministiska modeller**, där endast ett och det samma resultat fås med samma inputdata. Motsatsen är de **stokastiska modellerna**, där man tar hänsyn till variablernas variation inom populationen (t ex Jeffers 1978, Kangas et al. 1990).

Några modeller kallas **skogsmodeller,** som skall visa utvecklingen i en hel region eller skog. Den finska långtidsprognosmodellen MELAs (MEtsäLAskelma) tillväxtsimulator är ett exempel på en sådan modell. **Beståndsmodellerna** å andra sidan har som uppgift att visa tillväxtutvecklingen för enskilda bestånd eller i forskningögamål provytebestånd.

En beståndsmodell i form av en tillväxt- och produktionsmodell, består av olika komponentfunktioner som kan karakteriseras som **dynamiska** eller **statiska modeller**. De dynamiska eller **drivande** modellerna är **tidsberoende** och beskriver ändringar i beståndets liv, så som t ex höjd- och volymtillväxten. En motsats bildar de statiska funktionerna som visar **tidsoberoende samband**, t ex en funktion som ger stamvolymet för det enskilda trädet. För tillväxtmodellernas del talas också ofta om **prognos-, förklarnings- och jämförelsesmodeller**.

Clutter et al. (1983) lägger bl a till grund för indelningen av produktionsmodellerna de **skogskötselsmässiga aspekten.** Modellerna klassificeras då enligt populationerna som de skall användas för; **odlad skog, naturligt föryngrad skog, likåldrad** och **oensåldrad skog.** Enligt denna indelningsprincip har Vuokila (1983) beskrivit tillväxt- och produktionsforskningens aktivitet i Finland.

Ett annat sätt är att indela i **statistisk-empiriska modeller** och i **processmodeller**. De sistnämnda, som har blivit mer och mer aktuella på den senare tiden, skall inte behandlas i denna undersökningen. Traditionellt har de empiriska modellerna dominerat tillväxt- och produktionsforskningen. De är oftast förankrade i mätning av taksatoriska variabler som diameter, höjd, grundyta etc. De **biomatematiska eller analytiska modellerna**, med ett mer biologiskt utgångsläge för variablerna, skiljer sig lite från de empiriska modellerna (Persson 1992).

Ett praktisk utgångsläge för indelning av tillväxtmodellerna är deras **primära enhet** (Munro 1974). En sådan indelning har används av t ex Ekö (1985), Davis & Johnson (1987), Persson (1992), och i Finland av t ex Mielikäinen (1987), Gustavsen (1990), Kangas et al. (1990), Mäkelä & Salminen (1991), Saramäki (1992). Ofta används endast en två-delning i modeller med **det enskilda trädet** och med **hela beståndet** som primär enhet. Stundom används också en tredje indelningsgrupp som omfattar **modeller med klasser inom beståndet** som primär enhet. Klasserna är oftast diameterklasser som bildar beståndets diameterklassfördelning. Dessa modeller bildar en mellanform mellan de trädvisa och de beståndsvisa modellerna.

Det finns emellertid också sådana tillväxtsimulatorer, där en fördelningsfunktion används i kombination med en trädvis eller en beståndsvis tillväxtfunktion på inputdata gällande hela beståndet (beståndskännetecken). Dessa typer av modeller behandlas i denna undersökning under gruppen modeller med hela beståndet som primär enhet.

I de tre följande avsnitten beskrivs modeller enligt primära enheterna: 1) enskilda trädet, 2) klasser inom beståndet och 3) hela beståndet samt enligt vissa undergrupperingar. Undergrupperingarna har i några fall baserats på trädets position i

beståndet, på själva beräkningstekniken i modellen, eller på om vissa kännetecken är med i modellen eller icke.

Tyngdpunkten ligger på den inhämska litteraturen och på volymtillväxtmodeller för tallskog med hela beståndet som primär enhet. I vissa fall berör exemplen andra trädslag och tillväxtmodeller för diameter, grundyte och höjd, varifrån beståndets volymtillväxt i många fall kan skattas. I de finska exemplen (Tabell 1a och 1b) har angivits också den population enligt följande fyra benämningar: 1) naturligt föryngrade obehandlade bestånd (naturnormala), 2) naturligt föryngrade behandlade bestånd, 3) almänna ekonomiskogsbestånd; "vardagsskog" som riksskogstaxeringen avbildar och 4) odlade bestånd (se Vuokila 1983).

1.2.2 Trädvisa modeller

De mest vanliga trädvisa tillväxtmodellerna består oftast av två komponenter: diameter- eller grundytetillväxtfunktion och en höjdtillväxtfunktion. Något mer sällan är funktioner direkt baserats på volymtillväxten. En omfattande beskrivning av de trädvisa tillväxtmodellerna har givits av t ex Dudek & Ek (1980).

Modellerna kan indelas i två undergrupper: **1) avståndsoberoende eller icke-spatiala** modeller **och 2) avståndsberoende eller spatiala** modeller (Munro 1974). De avståndsoberoende modellerna har inga variabler som anger möjlig inverkan av naboträden på tillväxten för trädet ifråga. Denna konkurrenseffekt eller spatiala effekt som är bunden till naboträdens position, avstånd och antal tas med via vissa variabler i de avståndsberoende modellerna.

1) De allra första trädvisa avståndsoberoende modellerna blev givit i form av **tabeller** eller **grafiska kurvor**; t ex Lappi-Seppäläs (1927) volymtillväxttabell för sibirisk lerkträd i Raivola och Punkaharju. Metoden var **grafisk utjämning** av data enligt åldersklasser och skogstyp.

De första **matematiska funktionerna** var också avståndsoberoende, och utvecklades först på 1950- och 1960-talet (t ex Petterson 1955, Lemmon & Schumacher 1962, Fries 1964). Först på 1970-talet och i början på 1980-talet blev nya modeller utvecklat och tillämpningen ökades (t ex Stage 1973, Alder 1979, Jonsson 1980, Söderberg 1981, Svensson 1988). Isär i Finland har många av sådana modeller också blivit utvecklat t ex Tarvasmäki (1977), Nyyssönen & Mielikäinen (1978), Mielikäinen (1980), Ojansuu (1987, 1993), Ojansuu et al. (1991) och Korhonen (1994).

Av de ovannämnda finska modellerna är de enligt Ojansuu (1987) (Ojansuu et al. 1991), utan tvivel de mest använda och kan tillämpas för en mycket omfattande skogspopulation (Tabell 1a). Modellen är i första hand utvecklade för bruk i det finska långtidsprognossystemet Mela (MetsäLAskelma). Tillväxtsimulatormodellen kallas i det följande för fMELA.

Grundmaterialet för fMELA var, för momarksskogarnas del, data från tillfälliga relaskopsytor i den 7de riksskogstaxeringen. Modellen har i första hand utvecklats för sådana inputdata, som betyder att en rätt användning av fMELA kräver kännedom om åldern för varje träd. Detta är en svaghet, när funktionerna anpassas till data inhämtat från provyte- eller beståndsfigurinventering, där trädens ålder fattas helt eller endast finns för vissa provträd.

Modellens styrka är emellertid att den bygger på ett systematiskt och objektivt stickprov från en mycket omfattande population. Positivt är också att funktionerna har blivit i testat med oavhängigt material. Data från permanenta ytor knutna till riksskogstaxeringernas traktsystem, INKA-ytor (INventoinnin KAsvukoealat, se avsnitt

3), och från 7de riksskogstaxeringen blev brukt vid valideringen (Ojansuu et al. 1991). På provytebeståndsnivån gav fMELA-simulatoren ett systematiskt fel (underestimering) på 1.86 m^3/ha eller 8.7% av volymtillväxten för en kommande 5 års period i INKA-materialet. I NFI7-materialet gav simulatoren resultat utan systematiska fel.

Också Tarvasmäki (1977) och nyligen också Korhonen (1994) har utvecklat tillväxtfunktioner för enskilda träd på basen av riksskogstaxeringens material. Deras funktioner kan tillämpas till vanliga ekonomiskogar ("vardagsskogsbestånd"), men har vissa nackdelar för skattning av beståndens framtidiga tillväxt. Funktionerna enligt Tarvasmäki är uppbyggt på NFI3-data och skattar den kommande 5 års periodens diametertillväxt. Funktionerna fordrar bl a kännedom om den förgångna 5 års periodens diametertillväxt.

Funktionerna hos Korhonen (1994) bygger på NFI7 och NFI8- data, och ger direkt det enskilda trädets volymtillväxt. Detta är en fördel tillämpningsmässigt, men funktionernas nackdel är att de endast ger volymtillväxten för en förgången period. Funktionerna är emellertid utvecklade i första hand för användning i riksskogstaxeringens rutinberäkningar.

Tillväxtmodellen hos Ojansuu (1993) är en stamkurvset -modell uttryckt som en varianskomponentmodell, med såkallade fasta (fixed) och tillfälliga (random) parametrar. Den bygger direkt på den stamkurvmodell (blandad (mixed) linjär modell) för estimering av det enskilda trädets volym utvecklat av Lappi (1986). Ett fundamentalt utgångsläge för uppbyggandet av modellen är, att analoga geometriska punkter på en stamkurva kan bestämmas med samhörande diametrar vid konstanta vinklar för strålar i ett polar koordinatsystem. Detta har presenterats tidigare av Sloboda (1977). Modellen tar hänsyn till den tillfälliga variationen, indelad i en random beståndseffekt och en random effekt av de enskilda träden. Den tredje "dimensionen" i modellen är de fasta parametrarna. Redan länge sedan, har blivit vist att utnyttjandet av "inom-bestånds-regressioner" kan förbättra estimatens noggrannhet (t ex Strand 1970). Det är därför mycket sannolikt att stamkurvset-modellen kan ge noggrannare resultat än regressionsfunktioner med endast fasta parametrar.

Grundmaterialet bakom Ojansuus (1993) modell ble begränsat till populationen: **tallkulturbestånd,** över hela landet. Data var från Vuokila & Väliaho (1980), och har inhämtats från subjektivt utlagda tillfälliga ytor. Stamkurvset-modellen är ennu osäker för direkt anpassning till inventeringar. En risk för systematiska fel finns vid skattning av tillväxten p g a den snävre tallpopulationen bakom funktionerna (Ojansuu 1993).

Nyyssönen & Mielikäinen (1978) har byggt sina trädvisa tillväxtfunktioner för tall på ett material efter Vuokila (1965). Det representerade skogsskötselmässigt **välbehandlade naturligt föryngrade tallbestånd** belägna huvudsakligen i Södra Finlands insjöområden. En tillämpning i stor skala i ekonomiskogar måste anpassas enligt den begränsade populationen. Det samma gäller också för de nyligen utvecklade diameter- och höjdtillväxtfunktionerna hos Hynynen (1995). Data från permanenta experimentella ytor i 11 välbehandlade momarksbestånd i likåldrig tallskog blev brukt för att undersöka och modellera gallringseffekten. Syfte var en modellstruktur för tillväxtsimulering i ogallrade och gallrade bestånd.

Trots det geografisk begränsat materialet, måste blandskogsfunktionerna för gran och björk av Mielikäinen (1985) ansees att vara mycket viktiga. Det finska skogsbrukets viktigaste blandsskogsområden finns just i det området som funktionernas grundmaterial täcker. Detta gäller också för blandbeståndsfunktionerna rörande tall och björk (Mielikäinen 1980).

2) De första spatiala trädvisa tillväxtfunktionerna blev utvecklat från mitten av 1960-talet och början på 1970 -talet (t ex Newnham & Smith 1964, Lundell 1973, Hegyi

1974, Adlard 1974, Eriksson 1976, Bucht 1981, Martin & Ek 1984, Tham 1989). Bl a Tham (l.c.), har ingående behandlat trädens olika konkurrensindex utvecklade i tidigare undersökningar.

Också i Finland började man tidigt att utveckla avståndsberoende modeller t ex (Vuokila 1965). Senare har t ex Laurila (1972), Saramäki (1977), Mielikäinen (1978, 1980) och Pukkala (1988) utvecklat spatiala modeller. Isär Pukkala (l.c.) har arbetat mycket med utveckling av variabeluttryck för konkurranseffekten mellan naboträden och trädet som tillväxten skattas för. Han preciserar att noggrannheten för de spatiala tillväxtmodellerna är bättre än för de icke-spatiala, och att de passar i första hand mycket bra för forskningsproblem; t ex studier av såkallade spatiala problem såsom gallringseffekter. Pukkala (l.c.) slår fast att de tidigare utvecklade finska spatiala modellerna inte har gjorts för att studera spatiala problem. De spatialbeskrivande variablerna är endast med i funktionerna som en säkring av tillförlitlig tillväxtskattning.

Funktionerna enligt Vuokila (1965) och Laurila (1972) bygger på samma material; **naturligt föryngrade låggallrade bestånd** huvudsakeligen belägna i Södra Finlands insjöområden. Nackdelen med tillämpning av Vuokilas (1965) funktioner är att de ger tillväxtprocenten under bark. I Laurilas (1972) funktion är svårigheten att båda diameter- och höjdtillväxten i den förgångna perioden måste bestämmas. Den spatiala effekten beskrivs i funktionen med medelavstånden till de närmaste fem naboträden.

Saramäki (1977) har använd medelavstånden till de fyra närmaste naboträden och deras medelhöjd i sina funktioner för **naturligt uppkomna glasbjörksträd i homogena bestånd på dikade torvmarker** i Norra Österbotten och Kainuu.

Mielikäinen (1978) och Pukkala (1988) har inhämtat data från **naturligt föryngrade behandlade tallbestånd.** Deras snävre population gör det svårt att generalisera resultaten. En viss analogitet kan spåras i konkurrensvariablerna. Hos Mielikäinen (1978) blev konkurrensen uttryckt med naboträdens grundytesum inom en 5 meters cirkelyta, samt med en summa av kombinationen avstånd och diameter för omkringstående träd. Pukkala (1988) har använd naboträdens medeldiameter inom 5 meters avstånd, och en summavariabel för förhållandet mellan naboträdens diameter och avstånd.

I några andra undersökningar på samma tallmaterial från Norra Karelen (Pukkala & Kolström 1987, Pukkala 1989) ges andra mer komplicerade konkurrensindex och deras inverkan på radial- och grundytetillväxten.

Resultaten visar att det är liten skillnad mellan spatiala och icke spatiala funktioners noggrannhet i homogena bestånd. Troligen är därför de spatial funktionernas bästa användning ojämna olikåldriga bestånd och blandskogsbestånd. Gemensamt för alla de finska spatiala funktionerna är att de byggar på ett geografiskt begränsad material (Tabell 1a) . Detta är emellertid förståligt, då insamling av data i stor skala för utveckling av spatiala tillväxtfunktioner kostar mycket.

Tabell 1a. Exempel på finska tillväxtfunktioner med enskilda träd som primär enhet.

Klassifikation	Referens	Bonitets-variabel	Beskrivning av bakgrundsmaterial (population)
Enskilda träd avstånds-beroende	Vuokila (1965)	H_{dom} - t	Tall, momarker, naturligt föryngrade, låggallrade likåldriga bestånd. Begränsad till inre delar av Södra Finland.
-"-	Laurila (1972)	H_{dom} - t	Material från Vuokila (1965).
-"-	Saramäki (1977	H_{dom} - T	Björk, dikade torvmarker, likåldriga beestånd. Begränsad till Kainuu och Österbotten.
-"-	Mielikäinen (1978)	Skogstyp	Tall, momarker, naturligt föryngrade, gallrade tallbestånd (också granbestånd). Mycket begränsad, endast området i Punkaharju.
-"-	Mielikäinen (1980)	h - $t_{1.3}$	Blandskogsbestånd tall-björk, rena tall och björkbestånd, naturliga, gallrade, likåldriga momarksbestånd. Begränsad till inre delar av Södra Finland.
-"-	Pukkala (1988)	H_{dom} / $H_{ref}(T)$	Tall, momarker, naturliga, likåldriga rena bestånd. Begränsad till Norra Karelen.
Enskilda träd avstånds-oberoende	Tarvasmäki (1977)	H - T	Tall- och grandominerande momarksbestånd, naturligt föryngrade "vardagsskogar", NFI3-data. Omfattar hela landet.
-"-	Nyyssönen & Mielikäinen (1978)	H_{dom} - T	Material från Vuokila (1965). (också gran)
-"-	Mielikäinen (1985)	H_{100} H_{dom} - T	Blandsskogsbestånd: gran-björk, naturligt föryngrade gallrade momarksbestånd. Begränsad till inre centrala delear av Södra Finland.
-"-	Ojansuu (1987), Ojansuu et al. (1991)	Skogstyp	Tall-, gran- och björkdominerade skogsbestånd på mo-och torvmarker, NFI7-data. Omfattar hela landet.
-"-	Ojansuu (1993)	Skogstyp	Tall, odlade bestånd på momarker. Omfattar hela landet.
-"-	Korhonen (1994)	Skattklass (skogstyp)	Alla trädslag och typer av skogar på mo- och torvmarker, NFI7- och NFI8-data. Omfattar hela landet.
	Hynynen 1995)	H_{100} (H_{dom})	Tall, homogena likåldriga momarksbestånd. Begränsad till Södra Finland, Norra Österbotten och Kainuu.

1.2.3 Modeller med klasser inom beståndet

Modeller som baseras på klasser inom beståndet kan indelas i tre undergrupper enlig hur framskrivningen av klasserna sker:

1. **matrismodeller**
2. **modeller med framskrivning av medeltillväxt i klasserna**
3. **modeller med framskrivning av parametrarna i fördelningsfunktion**

I de flesta fallen är klasserna diameterklasser. När syfte är att skatta framtidig volymtillväxt, måste man i tillägg ha funktioner för höjdtillväxten inom diameterklasser och för de enskilda trädens stamvolym. Finska exempel på modeller som klart representerar denna modelltyp är mycket få. Detta är också fallet för de andra nordiska länderna.

1) Matrismodellerna kallas också för **ålder/stadium-strukturerade modeller** (*age/stage-structured models*). Namnet matrismodell kommer från det att sannolikheter för förflyttningen mellan två stadier bildar en matris. I modellerna skattas icke trädens egenskaper, men antalet stammar med en viss egenskap i respektiva diameterklasser. Stammerna förflyttas sedan uppåt enligt vissa regler. Reglene kan vara förhållanden eller sannolikheter, som igen bestämms av linjära eller icke-linjära funktioner.

Matrismodeller har blivit använd under en lång tid, men inte så mycket med skoglig tillämpning. Några av de första modellerna finns hos t ex Leslie (1945), Meyer (1952) och Usher (1966, 1969). Andra system finns hos bl a Ek (1974), Alder (1980), Bonnor & Magnussen (1988) och Solberg & Haight (1991).

I Finland har sådana modeller blivit använd av Pukkala & Kolström (1988), för att förutsäga diametertillväxt i förbindelse med simulering av utvecklingen i finska granbestånd behandlade med blädning (Tabell 1b). Materialet var mycket begränsad (endast 8 bestånd) och undersökningen hade därför en preliminär karaktär. En förflyttnings-matris-modell enligt Usher's (1969) modell och ett simuleringsprogramm har presenterats. Sannolikheter blev brukt vid förflyttningen. Också i ett studie av utvecklingen i olikåldriga heterogena bestånd har Kolström (1992) brukt en liknande modelltyp, där tillväxten bestämms med att skatta trädens diametrar fem år tidigare. Förflyttnings-sannolikheter för varje diameterklass och provyta blev beräknat för en fem års period. Också i denna undersökning var materialet mycket begränsat.

2) Modellerna med framskrivning av medeltillväxten har baserats på den separata utvecklingen av medelträdet eller typträdet för varje diameterklass. Stamfördelningen hålls konstant i tillväxtperioden medan varje klassmedelträds diameter, höjd, grundyta och volym framskrivs. Modellen är inte mycket brukt, men Persson (1992) nämnar två undersökningar. I det ena fallet skattas tillväxten direkt och i det andra fallet som en tillväxtdifferens mellan medelvolym för respektiva klasser vid två stadier.

Ett finsk exempel finns hos Valkonen (1991), där tillväxten för bestånd mätat på rot skattas med utgångspunkt i diameterklassernas mittvärde och med hjälp av det enskilda trädets tillväxtfunktion. Klassmittens värde får en ökning enligt tillväxtmodellen, men stammarna flytts inte över till högre diameterklasser trots att typträdets dimensioner kunde tillåta detta.

3) Dessa modeller räknas av några forskare (t ex Davis & Johnson 1987) till modeller med hela bestandet som primär enhet. När huvudvikten läggs på själva fördelningen av träden i olika diameterklasser, är det emellertid en modell med klasser som primär enhet. Tillväxten skattas i sådana modeller som differensen mellan två beståndstillstånd. Man kan karakterisera modellen som en dynamisk modell, där sannolikhetsfördelningsfunktionens parametrar skattas i ett funktionssamband ut från olika beståndskännetecken. I några fall skattas fördelningsprocenter i stället för funktionens parametrar. De vanligaste funktionerna är av typen beta- eller Weibull-funktion. Hela den relativa fördelningen av träden i beståndet skattas från fördelningsfunktionen och vid hjälp av det totala trädantalet bestämms tillståndet. Exempel på sådana modeller finns hos (t ex Bailey et al. 1981, Avery & Burkhart 1983).

1.2.4 Beståndsvisa modeller

Modellerna med hela beståndet som primär enhet kallas också för **areella modeller.** De kan indelas enligt den metoden som har blivit brukt för av att utjämna grundmaterialet

bakom modellen fråga. När utjämningen av data har gjorts med en handritad kurva enligt beräknade medelvärden, betecknas modellen som en grafisk modell. Den andra gruppen bildar de matematiska modellerna, där en objektive utjämning sker med ett funktionssammanhang. En vidare indelning kan göras enligt om modellen ger tillväxten för en lång period, t ex hela beståndsomloppet, eller för en kort period (5 -10 år). I första fallet betecknas modellerna ofta som en utvecklingsmodell bestående av många på varandra följande korta tillväxtperioder. När modellen ger tillväxten för en kort period talas om en tillväxtmodell, där den momentana förändring i beståndsegenskapens utveckling skattas direkt.

Vid granskning av volymutvecklingen och därtillhörande volymtillväxter genom hela beståndets omlopp, änvänds ofta begreppen synonymt. Till exempel i den norska tabellsamlingen (Boniteringstabeller..... 1978), går produktionstabellerna för hela beståndsomloppet under benämningen tillväxtmodeller.

När differentialekvationer av första och andra ordningen används för att beskriva utvecklingen, uttrycker första derivatan tillväxten och andra derivatan tillväxtförändringen över tiden. Integralen av tillväxtekvationen ger så utvecklingsfunktionen. Detta illusterar att tillväxten och utvecklingen är två sidor av samma sak. I tillväxtfunktionen läggs vikten på det årliga skeendet, medan i utvecklingsfunktionen är huvudvikten på summan av alla tidigare skeenden. Det gör att en utvecklingsmodellen ofta kan vara mer hänsiktsmässig att använda för simulering av långa perioders tillväxt.

De matematiska modellerna där input är data gällande hela beståndet, kan också indelas i två grupper enligt om en fördelningsfunktion används eller icke för estimering av en teoretisk diameterfördelning i samband med själva tillväxtskattningen.

I det följande behandlas några exempel på olika modelltyper i tidigare undersökningar enligt följande tre grupper:

1. **Grafiska utvecklings- och tillväxtmodeller; grafisk utjämning eller beräknade medeltal inom klasser**

2. **Matematiska utvecklings- och tillväxtmodeller; tillväxten skattas som derivatan av utvecklingsfunktionen eller som en tillståndsdifferens eller direkt i absoluta eller relativa tal från tillväxtfunktion**

3. **Matematiska kombinationsmodeller; fördelningsfunktion används i kombination med en trädvis eller en beståndsvis tillväxtfunktion**

1) De grafiska modellerna har vanligen blivit presenterade i tabellform med benämning **tillväxt- och produktionstabeller**. De äldre produktionstabellerna är något mer mångsidiga och har baserats i viss mån på fasta försöksytor. Olika gallringsstyrkor har därför kunnat redovisas i tabellerna. En något enklare modell kallas för **produktionsöversikter**, där man utifrån data inhämtat från tillfälliga ytor har redovisat beståndsutvecklingen i oftast välslutna bestånd. I produktionsöversikterna anges medeltal för stående volym och en viss periods tillväxt inom åldersklasser för region, trädslag, bonitet. Typiskt för de grafiska tabellerna är att beståndsutvecklingen ges som en funktion av endast av åldern över omloppstiden, och med en på förhånd antatt beståndstäthet. Modellerna benämnas därför ofta som "täthets-fria" beståndsmodeller (*density-free whole stand models).*

Det första steget vid bearbetningen av mätningsdata vid utveckling av de grafiska modellerna, var vanligen det att en bonitetskurva blev ritad som beståndshöjden över åldern. Med hjälp av grafisk utjämning blev bestämd hurdan stamantal, grundyta och volym varierade med åldern. Till slut blev resultaten korrigerat, så att det vore ett logiskt sammanhang mellan trädantal, medeldiameter och grundytesum. I några modeller har används en kombination av grafisk utjämning och matematiska funktioner. Funktionerna har anpassats efteråt till en handritad utvecklingskurv eller har blivit använd för andra sammanhang i modellen.

Ett otal av grafiska modeller har blivit konstruerade i de olika länder, med stark förankring i de tyske produktionstabellerna och deras konstruktion. Isär undersökningerna av Eichorn (1904), Gehrhardt (1921) och Assmann (1949, 1955) har fått stor betydning, också som bas för matematiska tillväxtfunktioner utvecklad senare. De olika hypoteserna som har blivit lagda till grund, har lett till lagar och teorier: **Eichorn's lag** och **Eichorn's utvidgade lag**(enligt Gehrhardt) och **Assmanns teori**.

Hypotesen bakom Eichorn's lag är att beståndets stående volym är konstant för alla normala bestånd med samma medelhöjd oberoende av boniteten. Gehrhardt (1921) utvidgade denna hypotes till att gälla totalproduktionen, som han ansåg vara endast en funktion av medelhöjden (Eichorn's utvidgade lag). Detta innebär att beståndens grundytesum måste tillnärmet vara den samma för alla boniteter. Till exempel Möllers (1933, 1944) produktionstabeller för gran och bok i Danmark och Hummel & Christie (1953) för barrträd i Storbritannien, bygger på denna lagbundenhet.

Många forskare, däribland Assmann (1955), har påpekat att totalproduktionen också är beroende av boniteten. Assmann's teori omfattar tre täthetsgrader: **den högsta, den optimala och den kritiska grundytesumman** (95 % av den högsta), som inverkar på sambandet mellan beståndets tillväxt och grundyta. Ståndortens bördighet är avgörande för vilka nivå den högsta grundytesumman i beståndet kan ligga på. Hans hypotes är därför, att **totalproduktionen är en funktion av båda ståndorten och höjden.** Höjdkriterie borda vara beståndets övre höjd och icke medelhöjden.

Några exempel på norska grafiska modeller är produktionstabellerna för gran och sitka-gran i Vest-Norge(Brantseg 1951, Bauger 1961), och tillväxt-tabeller för gråal (Börset & Langhammer 1966). I Sverige har t ex Nilsson (1961) presenterat en produktionsöversikt på basen av riksskogstaxeringens material.

Motsvarande finska tillväxtöversikter är de som finns hos Rajala (1970) och Kohmo (1972, 1980), där genomsnittliga volymtillväxtprocenter för utvecklingsdugliga bestånd i Norra och Södra Finland och i hela landet har redovisats. Data är från ca. 4000, 2000 och 8000 relaskopsytor i 5te och 6tte riksskogstaxeringens traktsystem blev brukt. Ilvessalo la redan år 1948 fram grafiska beståndstillväxtmodeller i samband med sina kuberings- och tillväxttabeller för stående träd. Tillväxtmodellerna för tall-, gran och björkbestånd blev baserat bl a på Jonsons (1928) förkortade formel (funktion 3 utan korrektionsled) och blev utvecklat på data från riksskogstaxeringens material (1927-36).

Också Koivistos (1959) utvecklingstabeller för tillfredställande och gott skötta bestånd inom södra hälften av landet, bygger på riksskogstaxeringens (NFI3) data (253 ytor). I tabellerna har redovisats bl a volymtillväxten under bark och volymutvecklingen på bark enligt beståndsåldern för skogstyperna MT, VT och CT. Koivistos tabeller blev använd som mått på normaltillstånden i **ekonomiskogarna** inom skogsplaneringen fram till 1970-talet.

Med ekonomiskog menas i denna undersökning den population som riksskogstaxeringernas material representerar. Detta betyder en mycket omfattande population som varierar alt efter vilka riksskogstaxering som läggs till grund. I

ekonomiskogarna måste man i genomsnitt förvänta ett något lägre produktionsnivå än i **obehandlade naturnormala bestånd**. Till exempel grundytesumman i talldominerade bestånd enligt Koivisto (1959), ligger relativt långt under det nivå som de obehandlade naturnormala tallbestånden (Ilvessalo 1920) uppvisar; m a o grundytesumman ligger klart under den kritiska tätheten enligt Asmanns teori.

Redan år 1872 presenterade A.G. Blomqvist de första finska tabeller som framställer utvecklingen i jämnåriga och slutna tall-, gran- och björkbestånd. Basen var ett landsomfattande material från 1360 tillfälliga ytor. Förts ca 50 år senare, publiserade Ilvessalo (1920) mångsidiga produktionstabeller för naturnormala bestånd i Södra Finland enligt Cajanders (1909) skogstyper. Utfyllande information om sydfinska ensåldriga och välslutna tallbestånd gav Lönnroths (1925) undersökning, där ett begränsat urval av Ilvessalos material blev använd.

I en 50-års period senare, blev publiserat tabeller för naturnormala bestånd inom andra områden (Ilvessalo 1937, 1967, 1969, 1970). Dessa finns uppsummerat hos Ilvessalo & Ilvessalo (1975). Resultaten är allmänt svåra att tillämpa i nutida bestånd p g a av den speciella populationen de representerar. Deras betydelse är emellertid ennu stor, då tillväxten i obehandlade naturnormala bestånd ger jämförelsesbar för behandlade bestånds tillväxt.

På 1930 talet började en omfattande diskussion i Finland om skogsskötsel och om blädningsskogarnas tillväxtförmåga, som senare förte till en målveten produktionsforskning omkring **låggallrade naturnormala bestånd** (Nyyssönen 1954, Vuokila 1956, Koivisto 1959). En orsak var bl a att Sarvas (1944) visade att de blädade tallbeståndens volymtillväxt var mycket lägre än de välslutna obehandlade naturnormala beståndens. Nyyssönens (1954) tabeller gäller för naturligt föryngrade tallbestånd behandlade med upprepande svaga gallringar. Materialet omfattar data från 190 provytor belägna söder om den 63. breddegraden i de inre delar av det sydliga Finland. Volymtillväxten under bark har med grafisk utjämning presenterats i tabeller och som grafiska kurvor.

Odlade tallbestånd har traditionellt blivit utforskat som en egen grupp i Finland. En grafisk modell finns hos Kallio (1960), där de första tillväxtvärden för tallbestånd anlagda med sådd i Finland har publiserats.

2) De erfarenheter och teorier som de äldre grafiska modellerna har åstadkommit om beståndets tillväxt och produktion, har i många fall också blivit bas för ett otaligt antal matematiska beståndsmodeller. En grundläggande hypotes har varit att beståndets volymtillväxt bestämms tillräckligt noggrannt som en funktion av beståndets ålder, täthet och bonitet. I många utvecklade multi-variabelmodeller finns emellertid flera andra variabler. De matematiska modellerna med hela beståndet som primär enhet kallas också för **täthetsvariabla modeller** (*density-variable whole stand models).*

Oftast har modellen byggts upp på basen av en multiplikativ funktion (Baule 1917), där de olika variablerna i många fall uttrycks som en blandning av olika potenser och exponentialfunktioner (t ex Koivisto 1970). En addititiv funktion, där effekten på tillväxten av de olika variablerna ansees vara deras summa, har av många blivit brukt som en alternativ lösning till den multiplikativa modellen.

När man ritar volymen eller höjden för ett bestånd eller det enskilda trädet i ett koordinatsystem, där åldern är abscisse och volymen eventuellt höjden ordinat, är den kurvan man får ett typiskt exempel på en S-formad växtkurva. Det har blivit föreslagit en mängd olika differentialekvationer av första ordningen för att beskriva denna växtkurva redan från början av 1900-talet. Man kan dock säga att ingen funktion har definitivt visat sig vara den bästa. Problemet är att finna en funktion som täcker hela

intervallet från 0 år till omloppets slut. Det typiska för ekvationerna är deras nära "släktskap", och med passande val av konstanterna ger de för centrala åldersområden tillnärmat samma resultat.

Först på senare tid har differentialekvationer av andra ordningen tillämpats (t ex Umemura 1984). Beståndsutvecklingen beskrivs med intergrallösningen, tillväxten med den första derivatan och tillväxtförändringen över tiden med den andra derivatan i differentialfunktioner av andra ordningen. Differentialfunktionerna har blivit tillpassat båda beståndets volym-, grundyte-, medeldiameter- och höjdutveckling eller deras momentana tillväxt.

I det följande ges några exempel på kända ekvationer av första ordningen hämtat från Peschel (1938), Strand (1968), Sloboda (1971), Hradetzky (1972) och Persson (1992); y är t ex beståndsvolymen och y' (dy/dx) är volymtillväxten; och x är beståndsåldern och A, a, B, b, c, k, p, m, n är parametrar ("konstanter"):

Webers ekvation:

$$y = a \cdot \left(1 - \frac{1}{p^x}\right) \qquad (5)$$

Logistikan(Verhulst):

$$\frac{dy}{dx} = (k - b \cdot y) \cdot y \; ; \; y = \frac{A}{1 + B \cdot e^{-k \cdot x}} \qquad (6)$$

Mitscherilichs virkningslag:

$$\frac{dy}{dx} = c \cdot (A - y) \; ; \; y = a \cdot (1 - e^{-k \cdot x})^n \qquad (7)$$

Gompertzs ekvation:

$$\frac{dy}{dx} = k \cdot y \cdot \ln\left(\frac{A}{y}\right) \; ; \; y = c \cdot e^{(-e^{-k \cdot x})} \qquad (8)$$

Monomolekylär ekvation:

$$y = A \cdot (1 - e^{-k \cdot x}) \qquad (9)$$

Robertsons autokatalytiska ekvation:

$$\frac{dy'}{dx} = k \cdot (A - y) \cdot y \qquad (10)$$

Gause, Bertalanffy, Chapman-Richards ekvation:

$$\frac{dy}{dx} = k \cdot \left(\frac{A - y}{A}\right) \cdot y \; ; y = B \cdot (1 - e^{-k \cdot x})^{1/(1-m)} \qquad (11)$$

Hossfelds ekvation:

$$y = \frac{x^2}{a + b \cdot x + c \cdot x^2} \qquad (12)$$

Pettersons ekvation:
(Hossfeld)

$$y = k \cdot \left(\frac{x}{b + c \cdot x} \right)^n \qquad (13)$$

Van der Vliets ekvation:

$$y = A \cdot (1 - e^{-2x} \cdot (1 + 2x + 2x^2)) \qquad (14a)$$

Hugershofs ekvation:

$$y' = a \cdot x^2 \cdot e^{-k \cdot x}; \; y = \frac{2a}{k^3} \cdot \left[1 - e^{-k \cdot x} \cdot \left(1 + k \cdot x + \frac{k^2 \cdot x^2}{2} \right) \right] \qquad (14b)$$

Andra beslektade ekvationer:

$$y' = a \cdot x \cdot e^{-k \cdot x} \qquad (14c)$$

$$y' = a \cdot x^n \cdot e^{-k \cdot x} \qquad (14d)$$

Korfs ekvation:

$$y = A \cdot e^{\left(\frac{k}{(1-n) \cdot x^{n-1}} \right)} \qquad (15)$$

Backmans ekvation:

$$\log y' = a + b \cdot \log x + c \cdot \log^2 x \qquad (16)$$

Pearsons ekvation:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y' \cdot (m - x)}{f(x)} \qquad (17)$$

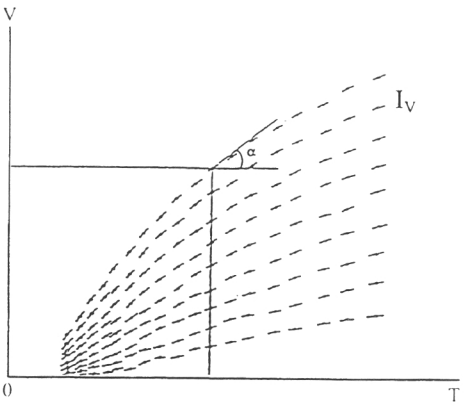
Šímeks ekvation:

$$y = \frac{1}{k} \cdot e^{\left(\frac{A}{-a+1} \cdot x^{-a+1} - B \cdot x \right)} \qquad (18)$$

Wenks ekvation:

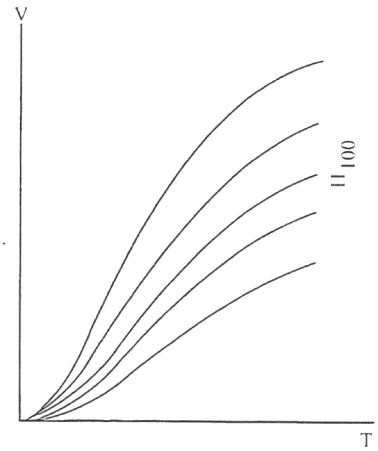
$$\frac{y'}{y} = e^{-a \cdot x \cdot \left[1 - e^{-b \cdot x \cdot \left(1 - e^{-c \cdot x} \right)} \right]} \qquad (19)$$

Det typiska för alla dessa funktioner är att de har baserats enbart på beståndsåldern. De passar därför bäst för beskrivning av det enskilda trädets utveckling eller tillväxt eller av enskilda populationer med konstant bonitet. Utan strukturella ändringar med hänsyntagande till boniteten är dessa funktioner inte passande för att beskriva det empiriska riktningsfältet (Figur 3) (Hradetzky 1972).



Figur 3. Det Wolfska "riktningsfältet" bestämt med trippelvärden på beståndsåldern (T), beståndsvolymet (V) och volymtillväxtens riktning ($I_V = tg\alpha$) (enligt Sloboda 1971).

Det såkallade Wolfska **riktningsfältet** bildar ett naturligt och teoretiskt bra utgångspunkt för utveckling av beståndstillväxt- eller -utvecklingsmodeller. Det betyder att modellen skal beskriva en kurvskara enligt figur 4, som en ersättning för det empiriska riktningsfältet.



Figur 4. En kurvskara, som beståndsvolymets (V) utvecklingsmodell beroende av beståndsålder (T) och bonitet (H_{100}) borde avbilda för att ersätta det empiriska riktningsfältet i Figur 3 (enligt Hradetzky 1972).

Den teoretiska modellen, som bildar kurvskaran i Figur 4 kan skrivas som:

$$V = F(T, H_{100}) \qquad (20)$$

Hradetzky (1972) har använd funktionen enligt Korf (15) för att konkretisera funktionen 20, och brukte följande utvecklingsfunktion (21) med tillhörande tillväxtfunktion (22):

$$V = a_4 \cdot H_{100}^{a_1} \cdot e^{\left(\frac{a_3}{(a_2 - 1) \cdot T^{(a_2 - 1)} \cdot H_{100}} \right)} \qquad (21)$$

$$V' = I_V = a_4 \cdot H_{100}^{a_1} \cdot e^{\left(\frac{a_3 / H_{100}}{(a_2 - 1) \cdot T^{(a_2 - 1)}} \right)} \cdot \frac{a_3}{H_{100} \cdot T^{a_2}} \qquad (22)$$

I funktion 21 bestämms kurvornas asymptoter av parameteren, $\gamma = \alpha_4 \cdot H_{100}^{\alpha_1}$, men som inte påverkar kurvornas vändpunkter. Parametrarna $\alpha = \alpha_3 / H_{100}$ och $\beta = \alpha_2$ påverkar vändpunkterna, men inte asymptoterna.
När värderna på parametrerna uppfyllar följande betingelser: $\alpha_1 \rangle 0, \alpha_2 \rangle 1, \alpha_3 \rangle 0, \alpha_4 \rangle 0$, tillfredställs följande krav som modellen borde uppfylle m h t kurvskaran i Figur 4 (Hradetzky 1972):

- Två kurvor har endast origo som gemensamt punkt
- Vändpunkterna för kurvorna ligger på en hyperbelenlig kurva
- Bättre boniteter motsvarar högre värden på asymptoterna

Trots den logiska bas för teorien bakom det empiriska riktningsfältet, har detta inte blivit så mycket använd som utgångsläge för utveckling av beståndstillväxtmodeller, förutom i länder som Tyskland och Tjeckoslovakien.

En utvecklingsfunktion ger alltid möjlighet för skattning av tillväxten som en differens mellan två på varandra följande tillstånd. Tillväxtskattning enligt detta förfarandet, kommer ifråga när utvecklingsfunktionen inte kan ge tillväxten som en derivationslösning. Några exempel på sådana modeller är de av t ex Thomasius (1964), Assmann & Franz (1963), Elving (1975), Magnussen (1983). En mer speciell modell är de såkallade *"difference equations"* (Bailey & Clutter 1974), där tillväxten fås som en matematisk lösning av beståndets förrådsfunktion för tillståndet vid två olika tidpunkt.

Av de ovan nämnda funktionerna (5-19), har Chapman-Richards utvecklings- och tillväxtfunktion (11) blivit mycket brukt. Exempel finns i undersökningar av Turnbull (1963), Brickell (1966), Pienaar (1965), Hägglund (1972), Alder (1975), Carcía (1983), Skovsgaard (1997). En annan relativt vanlig funktionstyp är den såkallade "samtidig tillväxt och utvecklingsmodell" enligt Clutter (1963), som har varit grundval för Sullivan & Clutter's (1972) funktion (se t ex Persson 1992).

I de nordiska länderna har man arbetat mest med tillväxtfunktioner, där beståndets diameter-, grundyte- och volymtillväxt skattas i relativa eller direkt i absoluta tal. Mellan länderna finns några skillnader m h t vilka tillväxt man har studerat flitigst. I

svenska undersökningar (Petterson 1937, Eriksson 1976, Hägglund et al 1979, Fryk 1984, Agestam 1985, Ekö 1985 och Persson 1992) har grundytetillväxtfunktioner dominerat. Också nyligen i Danmark har Skovsgaard (1997) arbetat med grundytefunktioner i ett studie rörande utvecklingen i ogallrade bestånd av sitkagran. Speciellt Ekös (1985) och Perssons (1992) tillväxt- och produktionsmodeller för tallskog bildar relevanta jämförelser för funktionerna behandlade i denna undersökningen.

Volymtillväxtfunktioner har utvecklats i Sverige av t ex Eriksson (1976) i hans omfattande undersökning av granens tillväxt och produktion. Tillväxten för beståndets medeldiameter har beskrivits med funktionsammanhang av Petterson (1955) i det omfattande studie av barrskogens produktion. Detta var ett pionjärarbete m h t utvecklingen av moderna tillväxt- och produktionmodeller enligt regressionsanalys. En ny ära inleddes då han vid den Nordiska skogskongressen lade fram dessa nya beräkningsmöjligheter.

I Norge har man arbetat speciellt mycket med funktioner för beståndets diametertillväxt; t ex Braathe (1953), Braastad (1974), Blingsmo (1984). Även grundytetillväxtfunktioner har utarbetats av t ex Eide & Langsäter (1941), Braastad (1967), Brantseg (1969). Eide & Langsäter var de första som utvecklade tillväxtfunktioner med regressionsanalys i Norge. Funktionerna enligt Blingsmo (1984) och Brantseg (1969) för tallbestånd ger relevanta jämförelser för denna undersökningens resultat. Jämförelser med vissa nordiska funktioner (Brantseg 1969, Blingsmo 1984, Ekö 1985, Gustavsen 1977) finns hos av Blingsmo (1988). Norska volymtillväxtfunktioner är de av Delbeck (1965) och Hobbelstad (1980). Strand (1983) har testat dessa två funktioner tillsammans med Braastads (1974) diametertillväxtfunktion, på ett material från 200 engångsytor med olika geografiska belägenheter och med höjd över havet. Några nya volymtillväxtfunktioner baserats på testmaterialet blev också lagt fram i undersökningen.

I Finland har beståndens relativa volym- och grundytetillväxt blivit flitigt brukt som beroende variabel i regressionsfunktioner. Exempel finns hos Kuusela & Kilkki (1963), Kuusela (1964), Vuokila (1965), Koivisto (1970), Saramäki (1977), Nyyssönen & Mielikäinen (1978), Mielikäinen (1980, 1985), Vuokila & Väliaho (1980), Oikarinen (1983), Vuokila et al. (1983) och Gustavsen & Mielikäinen (1984). Orsaken till bruk av den relativa tillväxten har bl a varit den att sambandet mellan tillväxtprocenten och beståndsvariablerna är lättare att formulera än för den absoluta tillväxten. Emellertid är det inte avgörande vilka tillväxt man väljer, när linjär regressionsanalys tillämpas (Pekkonen 1976). Pekkonen (l.c.) har preciserat att till varje ovägd procentmodell svarar en identisk lämpligt vägd absolut tillväxtmodell och vice versa. Den följande regressionsmodellen för den absoluta volymtillväxten:

$$I_V = \alpha + \beta \cdot T + \varepsilon \qquad (23)$$

har en följande motsvarande volymtillväxtprocentmodell:

$$P_V = I_V / V = \alpha/V + \beta \cdot T/V + \mu \qquad (24)$$

där α, β = konstant respektive koefficient, ε, μ= slumpmässiga fel, T = beståndsålder, V = beståndsvolym, I_V = beståndets absoluta årliga volymtillväxt och P_V = beståndets relativa årliga volymtillväxt.

Koefficienternas ovägda minsta kvadraters estimat i den första modellen (23) är de samma som den andra modellens (24) vägda estimat, när vikterna är V^2 . Enligt Pekkonen (1976) får volymtillväxtprocenten ($P_V = I_V/V$) en trivial variation genom det att den absoluta volymtillväxten divideras med volymet. En högre förklaringsgrad uppnås därför i regressionsanalyser med den relativa volymtillväxten som beroende variabel. Ur tillförlitlighetsgranskingens synvinkel kan det ofta vara en bättre lösning att arbeta med den absoluta volymtillväxten i modellkonstruerandet, då denna i de flesta praktiska fall krävs. Det är då också lättare att granska om modellen uppfylljar de teoretiska krav som man har ställt till den absoluta volymtillväxtens variation m h t beståndsåldern.

Den verkliga pionjären m h t bruk av regressionsanalys i Finland var Vuokila (1960), när han utvecklade den första matematiska beståndstillväxtfunktionen för odlad sibirisk lerk. I funktionen skattas den genomsnittliga absoluta tillväxten under bark för en kommande 5 årsperiod på basen av beståndets övre höjd och grundyta på bark. Först några tioår senare blev det vanligare att bruka den absoluta tillväxten som beroende variabel i regressionsmodellerna; t ex Kukkola & Saramäki (1983), Gustavsen & Päivänen (1986), Saramäki (1992) och Varmola (1993).

Kuusela & Kilkki (1963) var de följande i Finland, som presenterade matematiska tillväxtekvationer utarbetad med regressionsanalys. Beståndets volymtillväxtprocent bestämms i dessa på basen av beståndsåldern, volymet, medelhöjden, medeldiametern och bonitetsklass. Materialet var från Nyyssönens (1954) undersökning ca 10 år tidigare och materialet var **låggallrade naturnormala bestånd** inom Södra Finland (se Tabell 1b). Svagheten för praktisk tilämpning av funktionerna för prognostisering, är att tillväxten har blivit definierad som mätningsperiodens medeltillväxt i förhållandet till periodens medelvolym under bark. Kuusela (1964) utvecklade, enligt samma princip ekvationer på ett mycket begränsat material; 56 ytor från Evo i syd och 52 ytor från Meltaus revir i norr.

Utfyllande bas för skattning av volymtillväxten under bark i låggallrade tallbestånd gav Vuokilas (1965) bestånds och trädvisa funktioner (Tabell 1a och 1b). På grundval av dessa funktioner utvecklades några år senare produktionsmodeller för svagt, medelstarkt och starkt låggallrade tallbestånd i Södra Finland (Vuokila 1967). Också bakom dessa beståndsfunktionerna var grundmaterialet relativt litet, med begränsning till den inre delen av Södra Finland. Variablerna i funktionerna är delvist svåra att bestämma i praktiken, därför att de bl a avseer volymet och medeldiametern under bark. Vuokila (1970) har också gett motsvarande tillväxtfunktioner för ca 45 - 95 åriga VT-tallbestånd gallrade enligt blädningsprincipen.

Nya beståndsfunktioner för bl a tallbestånd blev på 1970-talet utvecklat i ett studie av Mielikäinen (1975). Material var från Nyyssönens (1954) och Vuokilas (1965) undersökningar. I funktionerna ingick variabler såsom volym, ålder, skogstyp och alternativt medeldiametern för bestämning av volymtillväxtprocenten på bark (ränta på ränta-procent). Materialet omfattade 350 engångsytor. En nackdel är den geografiskt snävra fördelning av ytorna. Funktionerna blev senare utgångsläget för Nyyssönen & Mielikäinens (1978) beståndstillväxtfunktioner, baserat på ett smärre utvidgat material. Dessa funktioner blev isär mycket använd på början av 1980-talet och bildar en naturlig jämförelsesbas för denna undersökningen. Funktionerna blev ursprungligt utvecklade

för välskötta naturligt föryngrade tall- och granbestånd, men korrektionsfaktorer från 0.60 till 0.97 enligt olika skogsnämnder har givits för allmän anpassning till **ekonomiskogar** inom Södra Finland. Korrektionerna har beräknats från förhållanden mellan funktionernas volymtillväxtestimat och observerat volymtillväxt i den 6tte riksskogstaxeringen. I de senaste utgivna Tapios fickböcker (t ex Tapion taskukirja 1994) har också givits korrektioner för tillämpnings av de samma funktioner i Norra Finland. En stor nackdel är att funktionernas angivna tillförlitlighet inte länger gäller, när estimaterna korrigeras efteråt och används för en radikalt större population än grundmaterialet tillsäger.

Tabell 1b. Exempel på finska tillväxtfunktioner med klasser inom beståndet och med hela beståndet som primär enhet (se texten 1.2.3. och 1.2.4).

Klassifikation	Referens	Bonitets-variabel	Beskrivning av bakgrundsmaterial (population)
Klasser inom bestånd -	Pukkala & Kolström (1988)	Skogstyp	Granbestånd växande under finska momarks-förhållanden, 8 blädningsbestånd. Mycket begränsad.
-"-	Kolström (1992)	Skogstyp	Granbestånd, olikåldriga heterogena bestånd, 48 ytor på momark. Begränsad till Östra Finland.
Beståndsmodell	Vuokila (1960)	H_{dom}	Sibirisk lerk, likåldriga låggallrade odlade bestånd på lundartade och friska momarker (OMT- och MT-typer). Begränsad till södra delen av insjöområden i Södra Finland.
-"-	Kuusela & Kilkki (1963)	Bonitets-klass (H_{dom})	Tall, naturligt föryngrade likåldriga momarksbestånd, behandlade med gallringar och med blädning. Begränsad till inre delar av Södra Finland.
-"-	Vuokila (1965)	H_{dom}-T	Tall, naturligt föryngrade låggallrade likåldriga momarksbestånd. Begränsad till inre delar av Södra Finland.
-"-	Koivisto (1970)	Skogstyp	Talldominerade momarksbestånd, "vardagsskogar", NFI3-data. Omfattar hela landet.
-"-	Mielikäinen (1975), Nyyssönen & Mielikäinen (1978)	Skogstyp	Tall, naturligt föryngrade behandlade homogena momarksbestånd (material från Vuokila 1965 och Nyyssönen1954)(också granbestånd). Begränsad till inre delar av Södra Finland.
-"-	Gustavsen (1977, 1980, 1992) Denna under-sökning	H_{dom} - T H_{100}	Talldominerade naturligt föryngrade momarksbestånd, "vardagsskogar", NFI3- och NFI5-data(också gran-björkbestånd). Omfattar hela landet.
-"-	Vuokila & Väliaho (1980)	H_{dom} - T H_{100}	Tall, odlade homogena bestånd. Omfattar hela landet.
-"-	Mielikäinen (1980)	H_{100}	Blandskogsbestånd av tall och björk, också rena tallbestånd, naturligt föryngrade, gallrade bestånd. Begränsad till inre delar av Södra Finland.
-"-	Kukkola & Saramäki (1983)	H_{dom} - T H_{100}	Tall, (också gran), homogena gödslade momarksbestånd, permanenta ytor. Omfattar hela landet.
-"-	Kangas (1986) fTASO (fMELA)	Skogstyp	Tall- gran- och björkdominerade bestånd på mo- och torvmarker, NFI7-data (Ojansuu et al. 1991). Omfattar hela landet.
-"-	Varmola (1993, 1996)	H_{dom} - T H_{100}	Tall, unga odlade bestånd Omfattar hela landet

Funktionernas noggrannhet har tidigare studerats av Laasasenaho & Päivinen (1986) i simuleringsberäkningar. Det var i första hand den slumpmässiga felen som granskades. Syfte var att visa hur stora fel man får i simuleringsresultaten, när vissa fel förutsätts i utgångskriterierna. Undersökningens bakgrundsproblem var ajourberäkning av beståndsvolymen vid figurvisa inventeringar.

Koivisto (1970) tok fram volymtillväxtprocentfunktioner med regressionsanalys för bl a talldominerade bestånd över hela landet. Materialet omfattade 535 NF13- ytor. Den praktiska tillämpning av funktionerna störs av att volymet måste skattas under bark. Några år senare publiserade Koivisto (1972) volymtillväxtfunktioner för tallskogar i Kainuu och Norra Österbotten baserat på ett lite material från engångsytor. Tillväxtfunktioner för **odlade tallbestånd** blev presenterat av Vuokila & Väliaho (1980) ca 20 år efter de första tillväxtvärden enligt Kallio (1960) (grafisk modell). På basen av regressionsfunktionerna blev lagt fram tillväxtmodeller med många alternativa gallringsprogramm. En nackdel var materialets begränsning med hänsyn till planterade tallbestånd. Varmolas (1993, 1996) undersökningar har givit viktig ny information om tillväxten i båda planterade och sådda unga tallbestånd (0 - 40 år).

3) Matematiska kombinationsmodeller, där en fördelningsfunktion ingår som ett indirekt "vertyg" i tillväxtskattningen, är i princip det samma som en beståndsvis prognostisering. Detta är isär fallet, när den teoretiska diameterfördelningen konstrureras från medelvärden rörande hela beståndets grundyta, trädantal och medeldiameter. Med en trädvis tillväxtfunktion på diameterklasserna i fördelningen fås med uppsummering til slut volymtillväxten för hela beståndet. Analogt kan användas en direkt prognostisering med en beståndsfunktion på de samma input-data, och estimering av en teoretisk diameterfördelning kan göras vid tillväxtperiodens början och slut (t ex Knoebel et al. 1986). Hänsikten med diameterfördelningen är att i första hand att få en bas för skattning av olika sortimenter.

Några finska exempel på sådana tillväxtmodeller är fTASO (Tapiolainen Alueellisen Suunnittelun Ohjelmisto) och Saramäkis (1992) prognosmodell. I TASO-systemet, som sedan 1987 (Kangas 1986) har blivit brukt inom det finska privatskogsbrukets planeringsservice, prognostiseras volymtillväxten för beståndet med trädvisa funktioner (fMELA Ojansuu et al. 1991). En teoretisk diameterfördelning konstrueras enligt en beta-funktion på basen av information om olika beståndsvariabler inhämtade från figurvis inventering (TASO - Maastotyöopas 1993). En lokal tillpassning görs med värmesumman och höjd över havet. Volymtillväxten fås som medeltillväxt för en 10-års planerings period.

En svaghet med fTASO-modellen är att systemet inte har testats i stor skala innan den blev tillämpad praktiken. I systemet används trädvis prognostisering på data som **icke** innehåller trädvis information. Själv om den trädvisa tillväxtfunktionen (fMELA) inte förorsakar några systematiska fel, kan den teoretiska diameterfördelningsfunktionen förorsaka systematiska fel i volymtillväxten. Modellen är en mycket relevant jämförelse till beståndstillväxtfunktionerna i denna undersökningen.

I Saramäkis (1992) prognosmodell skattas beståndets medelgrundyta med en utvecklingsfunktion. Beståndets ålder, bonitet och trädantal är input-data. Diameterfördelningen skattas vid början och slutet av prognosperioden med en Weibull-funktion. Funktionens parametrar bestämms på basen av beståndets medelgrundyta och diameterfördelningens varians och skevhet. Båda beståndsvis och trädvis information kan användas för skattning av funktionens parametrar. Hela beståndets volym fås med summering av diameterklassernas volym. Volymtillväxten skattas som en differens mellan två olika tillstånd, till vilka medelgrundytan har prognostiserats. För kontroll har

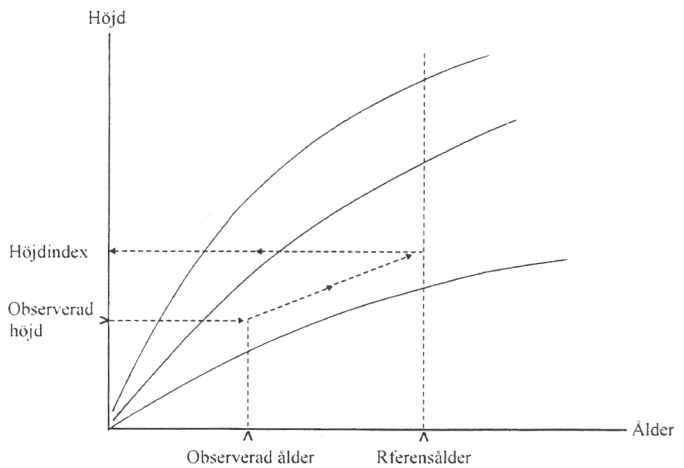
Saramäki utvecklat också en tillväxtfunktion, som direkt ger den absoluta volymtillväxten för hela beståndet.

1.3 Beståndets övre höjdutveckling - höjdbonitering

1.3.1 Ståndortsklassificering enligt beståndskriterier - tidigare undersökningar

De flesta av begreppen som är knutna till beståndets volym och volymtillväxt är också relevanta för övre höjden och dess tillväxt. Beståndets övre höjd definieras i de flesta länder som **medelhöjden av de 100 grövsta träden (i diameter) per hektar.** Medelhöjden för de 10 % grövsta träden har tidigare också blivit brukt i t ex Sverige. Ett annat sätt är att använda medelhöjden av de härskande träden (1sta kronskjiktets träd). Också endast det högsta trädets höjd har blivit brukt som estimat för beståndets övre höjd.

Beståndets övre höjdutveckling är beroende av ståndortens bördighet och är relativt oberoende av skogsbehandlingen förutsatt att man inte blädningshuggar beståndet. Därför har man kunnat utnyttja den övre höjden vid olika referensåldrar (t ex 40, 50 och 100 år), som bonitetsvisare. Dessa **ståndorts-index eller höjd-index** (H_{40}, H_{50}, H_{100}) system framställs oftast som ett sett övre höjdutvecklingskurvor (Figur 5).



Figur 5. En schematisk illustration av höjd-index kurvor (enligt Hägglund 1981a).

Ståndortsklassificering, där man utgår från det växande beståndets övre höjdutveckling, används oftast globalt sett. Detta är endast en av tre huvudriktlinjer av grundprincip för en värdering av **skogsmarkens produktionsförmåga**:

I. värdering av primärfaktorer; dvs egentliga ståndortsfaktorer som uttrycks med jord, jordart, humusskiktets tjocklek, ortens höjd över havsytan, nederbörsmängd och temperatur i en period, ortens geografiska breddegrad o s v.

II. värdering eller skattning av en eller flera såkallade sekundärfaktorer inom växtsamhället. Båda undervegetationen och träden räknas med till växtsamhället.

III. värdering eller skattning av en kombination av primär- och sekundärfaktorer.

En mycket utförlig litteraturöversikt i värdsperspektiv om värdering av skogsmarkens produktivitet har givits av bl a Hägglund (1981a), där olika princip och metoder vid höjdboniteringen och andra klassificerings-metoder har behandlats. I det följande behandlas endast ett lite urval av undersökningar med relevans till bonitering enligt det växande beståndets höjd och ålder. Innehållet är delvis hämtat från Gustavsen (1982). Huvudvikten läggs på några exempel från de nordiska länder, och annars hänvisas till Hägglund (1981a) för en mer utförlig översikt.

Klassificeringssystemen enligt det växande beståndet indelas vanligen i två huvudkategorier: **relativa** och **absoluta** bonitetssystem. Några äldre bonitetstabeller är dock svåra att hänföra till en bestämd grupp. De danska boniteringstabellerna för rödgran, ek och bok (Möller 1933, Möller & Nielsen 1953), är typiska exempel på klassiska relativa system efter tyskt mönster. Bonitetsklasserna har bildats med grafisk utjämning av beståndens medelhöjd över åldern. Antalet klasser är beroende av utgångsmaterialets omfång, och har definierats sedan från höjdkurvorna vid en fix ålder t ex 100 år. Systemet ger därför icke möjligheter till jämförelser mellan olika trädslag, och heller inte för jämförelser av motsvarande boniteringsklasser för samma trädslag inom olika geografiska områden.

Specielt Wiedemann och Assmann i Tyskland, har arbetat för ett absolut boniteringssystem med möjlighet till jämförelser mellan olika trädslag. Detta är möjligt om bonitetsklasserna uttrycks i universell skala, t ex som medelproduktion i absoluta mått (m^3/ha/år). Därför föreslogs ett system konstruerat direkt på medeltillväxten (MAI) eller på beståndets (övre) höjd.

Jonsons (1914) system i Sverige representerar en äldre version av ett absolut system med MAI_{100} som indelningskriterium. Utgångspunktet var en "ideal" medeltillväxt vid 100 års ålder. Medelhöjdskurvorna konstruerades sedan på så vis, att de framtagna kurvorna motsvarade medeltillväxtnivån för bonitetsklasserna vid 100 år. Klasserna anger systematiska nivåer (I - VIII) m h t produktionsförmågan, så att en lägre klass representerar 25 % av nivån för en klass ovan. Systemet skiljar sig på så sätt klart från det klassiska tyska relativa systemet, där medelhöjden var utgångsstöd för bonitetsklassindelningen (Petterson 1955).

Landsskogstaxeringens boniteringstabell i Norge (1938, Langsäter 1944b), är en omarbetad version av Jonsons tabell. Antalet klasser blev reducerat till fem och ble ursprungligt definierat efter MAI_{100}. Senare omarbetades systemet till klasser enligt max. MAI.

I Finland har Kangas (1976, 1977) lagt fram ett något annorlunda system, där bonitetsklasserna ("die Bonitätsmasse") i logaritmiska värden beräknades från ett funktionssammanhang med beståndets medelhöjd, trädantal och grundyta respektiva volym som oberoende variabler.

I vissa engelska och tyska tabeller har bonitetsklasserna definierats enligt medeltillväxtens nivå vid kulminationspunkten eller vid 100 års ålder. Den praktiska

boniteringen sker emellertid enligt beståndets höjd och ålder. Av detta skäl finns många system, där bonitetsklasserna har baserats på systematiska lika klasser enligt höjden vid en fix ålder, t ex i 2, 3 och 4 m's klasser.

I några norska boniteringssystem har de systematiska klasserna (3 m) bildats enligt medhöjden vid biologisk ålder 40, 50 eller 70 år med grafisk utjämning av data (Eide & Langsäter 1941, Brantseg 1951, 1969, Bauger 1961, 1970).

I björktabellen efter Strand (1967), har man använd numerisk utjämning av medelhöjdobservationerna med ett funktionssammanhang. Kurvorna har sedan knutits till bestämda medelhöjder vid fix brösthöjdsålder 40 år. I de nyaste norska höjdbonitetstabellerna (Tveite & Braastad 1981) har kurvorna knutits till brösthöjdsåldern 40 år (bonitetsindex H_{40} = 23, 20, 17 m.....).

Redan för 30 år sedan, ansågs i Sverige att beståndets övre höjd var ett bättre indelningskriterium än medelhöjden. Absoluta boniteringssystem gjordes enligt övre höjden för naturligt föryngrade och odlade bestånd av gran och tall samt för björk (Petterson 1955, Lundqvist 1957, Persson 1959 (korrigerat av Fries (1964)). Detta blev förloppet till de nyare tall- och grantabellerna i Sverige, först enligt Fries (1969) och senara kompleterade och förbättrade av Hägglund (1972, 1973 och 1974). Bonitetsklasserna (4 m) refererar sig till övre höjden vid biologisk ålder 100 år (bonitetsindex H_{100} = 32, 28, 24 m.....). Det praktiska utförande av boniteringen sker emellertid enligt brösthöjdsåldern.

I Finland blev höjdboniteringen tagit i bruk på alvar först på 1980-talet. Trots att klassificeringen enligt skogs- och torvmarkstyper hela tiden har varit det rådande systemet, har också beståndets övre höjdutveckling redan länge redovisats i finska produktionsundersökningar (t ex Ilvessalo 1920, Nyyssönen 1954, Vuokila 1956, Koivisto 1957, 1959). De grafiskt utjämnade utvecklingskurvorna för övre höjden ansågs tidigare närmast vara ett stöd vid skattning av ståndortens produktionsförmåga enligt undervegetationen. Detta understöds av t ex Mikola (1963), som har preciserat att också skogsträden är en del av vegetationssamfundet.

Det verkliga pionjärarbetet i Finland med utveckling av boniteringskurvor enligt övre höjden och åldern, blev startat av Yrjö Vuokila på mitten av 1960-talet (Vuokila 1967). Han omarbetade något senare svenska 4 m's bonitetsklasser till 3 m's klasser för finska förhållanden (Vuokila 1971). I denna sammanhanget nämns emellertid, att redan 1914 utvecklade Heikkilä (1914) ett finskt höjdboniteringssystem med fem bonitetsklasser enligt beståndets medelhöjd och ålder.

Sedan Saramäki (1977) utvecklade höjdbonitetskurvor för glasbjörk, började man allt mer använda höjdbonitetsklasser i den finska produktionsforskningen, speciellt som bas för gallringsmaller. År 1980 publicerades inhemska boniteringsmallar för odlade tall- och granbestånd av Vuokila & Väliaho (1980). Kurvorna blev knutna till vissa övre höjdvärden vid 100 år biologisk ålder (höjdindex H_{100} = 33, 30, 27, 24 m...). Boniteringsmallar finns numera för odlad vårtbjörk hos Oikarinen (1983), där referensålder är 50 år och klasserna är 2 meter (bonitetsindex H_{50} = 30, 28, 26 m ...). Bonitetsindex (H_{100} = 36, 33, 30 m...) för odlad sibirisk lerk finns hos Vuokila et al. (1983) och för unga odlade tallbestånd hos Varmola (1993) (H_{100} = 30, 27, 24 m..). Boniteringskurvor för naturliga gran och tallbestånd finns hos Gustavsen (1980, A3) och för naturliga glas- och vårtbjörkbestånd hos Gustavsen & Mielikäinen (1984) (H_{50} = 26, 24, 22 m ..).

1.3.2 Teori och metoder för utveckling av höjdbonitetskurvor

I en rad undersökningar av t ex Assmann & Franz (1964), Strand (1967), Tveite (1969), Sloboda (1971), Hradetzky (1972), Hägglund (1972) och Sterba (1974) har behandlats teoretiska grundprinciper och krav som höjdboniteringsmodellerna borde uppfylla.

De matematiska kraven har delvist blivit stadfästad av en mängd "empiriska" erfarenheter från tillväxt- och produktionsundersökningar. Höjdutvecklingsförloppet över tiden (åldern) har studerats för enskilda träd och bestånd växande under olika förhållanden. Det empiriska materialet har vanligen insamlats med stammanalyser från fällda träd eller med upprepande mätningar på permanenta beståndytor.

Erfarenheterna har visat, att sambandet mellan beståndsåldern och övre höjden är olika på olika ståndorter. Denna skillnaden anger basen för höjd-åldersboniteringen. Utvecklingskurvorna på olika ståndorter är emellertid ganska likartade i formen. Det är i första hand skalan som varierar.

Om proportionen mellan y-axlens värden (övre höjden) är konstant, kan kurvorna sägas vara **storlekskonforma**. Är däremot proportionen mellan x-axlen (åldern) konstant, är kurvorna **tidskonforma**. Man talar också om en **anamorf** kurvskara, där alla kurvorna har samma form och höjdtillväxten antagas kulminera vid samma tidpunkt för alla kurvorna. Så är inte fallet i en **polymorf** kurvskara, som räknas vara den mest realistiska (Bull 1931, Hägglund 1972). Många konstruerade kurvsätt är emellertid varken tids- eller storlekskonforma. Grafiskt illustrerad, karaktäriseras ofta beståndens höjdutveckling över ålder av ett typiskt S-formad förlopp. Detta är i regel ännu klarare hos frittstående träd.

Olika principer och metoder, föreslagna för beskrivning av höjdutvecklingen med matematiska funktioner, varierar allt efter hurudan bonitetskurvorna uppfattas. Problemet är om funktionerna skall beskriva det enskilda trädets höjdutveckling eller ge uttryck för en hel kurvskara använd för teknisk klassificering. I det sistnämnda fallet betraktas inte boniteringen som ett rent biologisk problem (Sloboda 1971).

Strand (1964) har preciserat att man måste klart skilja mellan två fall. Det fallet där kurvorna skall användas för skattning av beståndets framtidiga övre höjd, och det fallet där kurvorna skall användas för klassificering. Det sistnämnda är det ursprungliga syftet med sådana utvecklingskurvor. Ett kurvsätt som är effektivt för det ena ändamålet är inte nödvendigtvis effektivt för det andra ändamålet. Därför, måste det vara ett klart samband mellan bruk av höjd-index kurvorna och konstruktionsmetoden.

Strand (1967) beskriver något upresist, att utgångspunkten för konstruktionsmetoden är att man söker ett kurvsätt som ger minst variation i boniteten från ett tidpunkt till ett annat, när boniteringen sker på basen av höjd och ålder. Mer noggrannt formulerat i termer av minsta kvatdraters princip betyder detta ett kurvsätt, där den totala summan för de kvadratiska avviken mellan verklig höjd och beräknat höjd (det totala klassificationsfelet) blir minst möjligt.

Inom ett visst variationsområde för övre höjden och åldern, borde följande krav enligt Sloboda (1971) och Hradetzky (1972) uppfyllas av den teoretiska modellen för att kunda användas vid konstruktion av höjdboniteringskurvor (se Figur 6):

1. Kurvorna skall ha en gemensam punkt dvs origo:

   $T = 0;\ F(T,C_1) = F(T,C_2)$ när $C_1 = C_2$

   $T = 0;\ \lim F(T,C) = 0,\ T \rightarrow 0,$

   där C är en fri parameter som är konstant längs en bestämd integralkurva (höjdutvecklingskurva). I origo är x-axlen tangent till alla kurvor och deras riktning (höjdtillväxten) i origo är lik 0. Kurvorna får ej skära varandra annars än i origo. Då fylls kravet till en entydig klassificering av bestånden.

2. Varje utvecklingskurva har bara en vändpunkt (inflextionspunkt), som motsvaras av höjdtillväxtkurvornas maximipunkt. Maximipunkterna och vändpunkterna ligger inte vid samma tidpunkt (ålder), men bildar ungefär en hyperbelkurva (Assmann 1961).

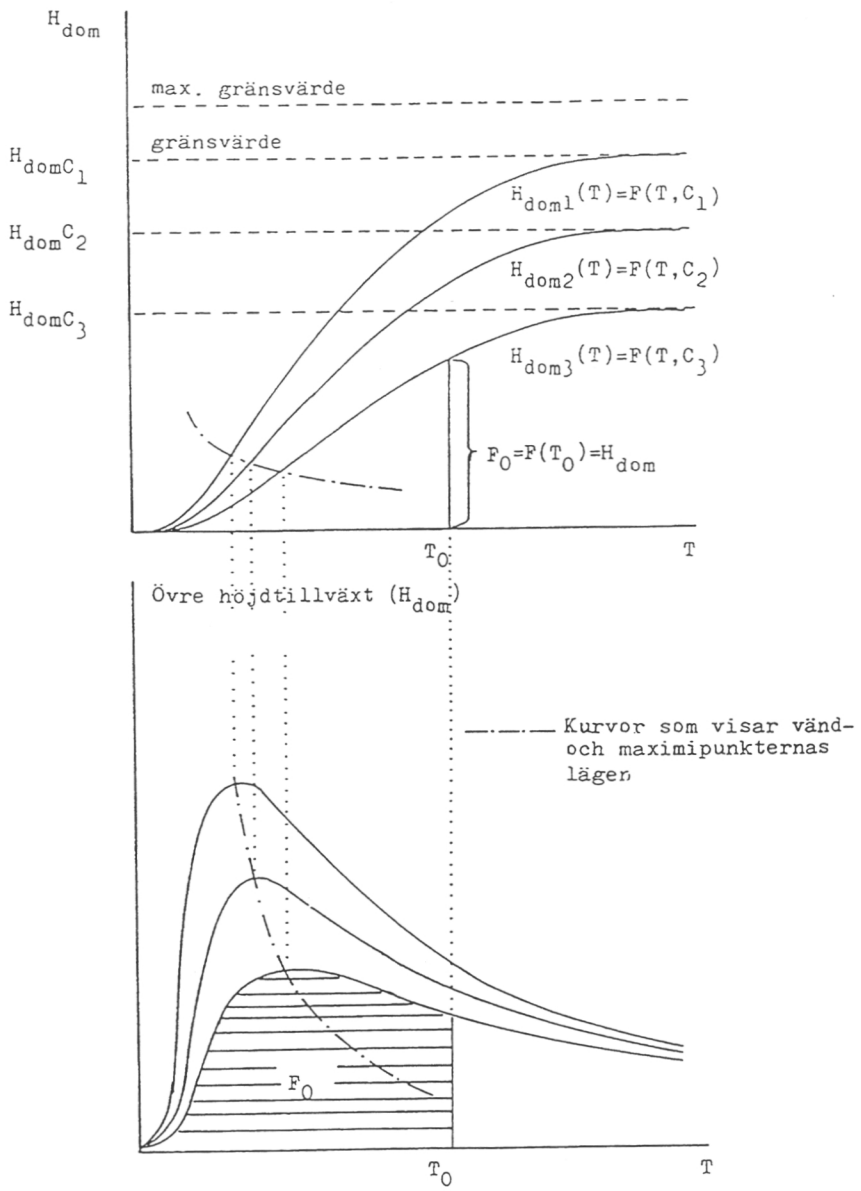
3. Varje utvecklingskurva närmar sig ett gränsvärde (asymptote) med ökande ålder; för varje bonitet finns ett gränsvärde för övre höjden: $\lim F(T,C) = H_{domC}$, när $T \rightarrow \infty$

4. Ingen integralkurva får ha en egen stationärpunkt; $F(T,C) \neq 0$, för alla $T \in (0,k)$ $k < \infty$ och $C \in (a,b)$ (variationsområden för T och C).

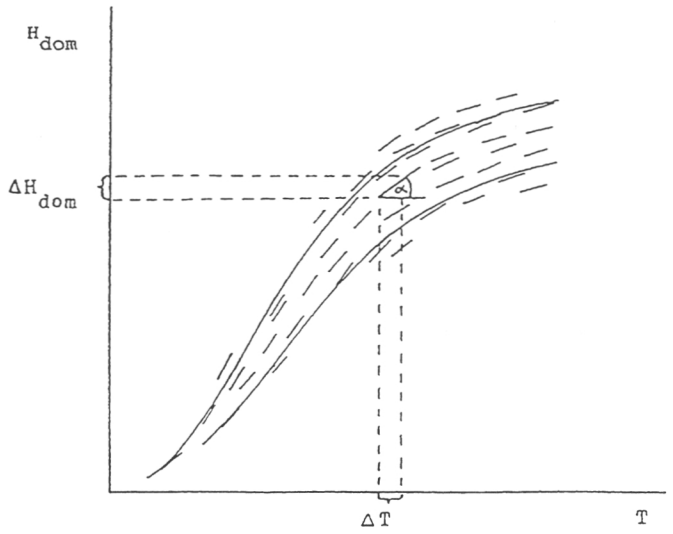
5. En enda integralkurva skall gå genom en bestämd punkt T(i), $H_{dom(i)}$ inom giltighetsområdet för kurvsskaran.

Val av beräkningsmetod för konstruktion av tillförlitliga höjdutvecklingskurvor för bonitering, är beroende av grundmaterialets kvalitet och hur detta har framtagits och vilken modell man arbetar med.

Allmänt är konstruktionen lättast med data från upprepande mätningar på permanenta provytor. Något svårare är att använda data inhämtat med stammanalyser av övre höjdsträd i äldre bestånd. Orsaken är den såkallade "omlagringseffekten" (t ex Hägglund 1972). Detta betyder att beståndets verkliga övre höjdutveckling tas från olika övre höjdträdsindivid i olika åldersskeden. De stamanalyserade träden i gamla bestånd ger icke någon klar garanti för att de de verkliga har varit övre höjdsträden i hela beståndets liv. Svårast och osäkrast måste anses vara data från engångsytor med tillväxtmätningar från korta perioder (5 - 10 år) (Figur 7). De lösryckta observationerna för åldern, övre höjden och övre höjdens tillväxt ger då inget starkt stöd för beskrivning av kurvformen. Observationerna som hör till samma bonitetsklass kan dock tänkas vara sammanfogat, (Figur 7) till kontinuerliga höjdutvecklingskurvor i en kurvskara. Engångsobservationerna gör att man måste ställa relativt hårdare krav till modellens teoretiska "beteende" än med data från permanenta ytor och stamanalyser.



Figur 6. Det matematisk-teoretiska sambandet mellan beståndets övre höjd, ålder och den årliga höjdtillväxten. Den momentana tillväxten vid en bestämd tidpunkt (T_0) är bestämd genom första derivatan till höjdfunktionen (enligt Sloboda 1971).



Figur 7. Empirisk riktningsfält bestämt av ålder, övre höjden och höjdtillväxten på engångsytor (enligt Hradetzky 1972) (se Figur 3).

Ett uppenbart svårt problem vid konstruktion av höjdutvecklingskurvor är den korrelation som ofta finns mellan bonitet och beståndsålder i grunddata. Detta förorsakas av en skev datafördelning, där de äldre bestånden huvudsakligen ligger på sämre boniteter. Lappi & Malinen (1994) har vidareutvecklat den random-parameteriska höjd-åldersmodellen enligt Lappi & Bailey (1988), för att undvika den systematiska felverkande modellen som fås med en genomsnittlig höjd-ålders kurva i data med korrelation från engångsytor. Höjdutvecklings modellen är en "blandningsmodell" (mixed linear model), där förutom den fasta delen av modellen (baskurvan), också tas med slumpmässiga parametrar för beståndet och de enskilda träden. Metodiken har presenterats som ett alternativ till de mer tradionella metoderna vid konstruktion av boniteringskurvor t ex (Biging 1985), och modellen tänks kunna användas båda för prognostisering av övrehöjdsträdens utveckling och för konstruktion av beståndets höjdutvecklingskurvor för klassificering av bestånd. Emellertid i de fall, där man har inhämtat data med en jämn fördelning på alla olika boniteter över hela åldersintervallet, vill en sådan störande korrelation mellan bonitet och ålder inte förekomma.

Ett stort antal av de kända funktionerna (5-19), som blev nämnd för volymtillväxten, har också blivit använd för numerisk konstruktion av höjdboniteringskurvor. Till exempel Chapman-Richards funktion och logistikan, Gompertzka, Mitscherlichs och Bertalanffys funktioner, som kan avledas från denne, samt Backmanns, Korfs, Mihajlows och Pettersons funktioner. Ett särdrag hos många av funktionerna är att de för vissa parametervärden ger ungefär samma resultat inom den centrala åldersintervallen 30 till 100 år (Matern 1959).

Två andra relevanta modeller (25 och 26), som tillfredsställer de ovannämnda villkoren (1-5) för en kurvskara (Figur 6), är de använda av Sloboda (1971) och Hradetzky (1972). Slobodas höjdtillväxtfunktion har utvecklats enligt Wolfs riktlinjer och ger en kurvskara för bonitering efter intergration:

$$I_{H_{dom}} = \frac{b \cdot H_{dom}}{T^a} \ln\left(\frac{d}{H_{dom}}\right) \qquad (25)$$

Funktion 26 bildar en korrekt utgångspunkt för konstruktion av boniteringskurvor (Hradetzky 1972), när följande villkor för parametrarnas storlek: $a > 0$, $b \neq -1$, $c < 1$, $d > 1$ uppfylls:

$$I_{H_{dom}} = a \cdot T^b \cdot H_{dom}^c \cdot e^{d \cdot H_{dom}} \qquad (26)$$

En uppsummering av metoderna för konstruktion av höjdutvecklingskurvor har givits i följande översikt, som är en något omarbetad och utvidgad version av den tidigare presenterat av Hägglund (1972):

1. Grafiska metoder

2. Numeriska metoder

2.1. Höjdutvecklingskurvorna tas fram som numeriska lösningar eller integrallösningar av höjdtillväxtfunktioner. Tillväxtförlopp för den absoluta eller relativa tillväxten från korta perioder (5 - 10 år). Utjämning ej knuten till skattning av höjdboniteten med funktioner, där ålder och övre höjd är oberoende variabler ($I_{H_{dom}} = f(T, H_{dom})$) (t ex Vuokila & Väliaho 1980).

2.2. Direkt skattning av höjdboniteten (H_{100}, H_{50}, H_{40}) med funktioner, där ålder och höjd är oberoende variabler ($H_{100} = f(T, H_{dom})$) (t ex Johnson & Worthington 1963).

2.3. Utjämning av höjdutvecklingsförlopp med funktioner av typen: $H_{dom} = f(T)$

2.3.1. Utjämningen ej knuten till skattning av höjdboniteten - bruk av icke-random-parametrisk regressionsfunktion (t ex Strand 1964, 1967, Hägglund 1972).

2.3.2. Utjämning ej knuten till skattning av höjdboniteten - bruk av random-parametrisk regressionsfunktion- "blandningsmodell" (t ex Biging 1985, Lappi & Bailey 1988).

2.3.3. Utjämning knuten till en för varje förlopp i materialet skattat höjdbonitet ($H_{dom} = f(T, C)$) (t ex Petterson 1955, Sloboda 1971).

2.4. "Egenvektormetod" enligt Fries & Matern (1965).

2.5. "Spridningsmetod" enligt Tveite (1969).

1.4 Validering av modeller

Skogsbruksplanläggningen stöder sig till information om det nuvarande och framtidiga skogstillståndet. Den framtidiga situationen för den existerande skogen och för den som skall anläggas, skattas nu för tiden huvudsakligen med tillväxtmodeller i computerprogram. Otillförlitliga prognoser kan leda till felbeslut, isär på längre sikt, och därför borde modellerna alltid valideras. Valideringens huvudsyfte borde vara att klargöra modellernas begränsningar, svagheter och starka sidor för tillämpning i stor skala. Begreppet validering kan innebära båda snävra och omfattande förfaranden. Den är en del av processen vid utveckling av prognosfunktioner, och kan beskrivas med tre steg (t ex Weisberg 1985) : (i) datainsamling, (ii) val av modell och estimering av parametrar och (iii) validering av modellen.

En snäver definition av en tillväxtmodells **validitet** kan vara, att **modellen gällar i ett annat material** än sitt eget grundmaterial enligt vissa statistiska kriterier. En bra definition av valdidering har givits av Van Horn (1971): **Validering är en process för att bygga upp ett acceptabelt nivå av tillförlitlighet, så att den slutsats man kan göra om en simulerat process är en korrekt eller valid slutsats om en aktuell process.**

Idéen om att testa modellernas gällandet mot ett aktuellt systems resultat är djupt förankrat i den deduktiva vetenskapen (t ex Popper 1968), och hörer till under den allmäna rubriken modellvalidering inom ekologien. En iterativ process följer, där man hoppas att modellen förbättras, när nya serier av data och förståelse blir inkorporerad i modellstrukturen (Warwick & Cale 1987).

Modellen är alltid en abstraktion av realiteten och kan därför inte vara korrekt i alla hänseenden. Validiteten kan inte vara ett bevis på att modellen är korrekt eller är en "sann" representant för verkliga värden. Valideringen av modellen borde därför bygga på slutsatser vi kan dra från modellen, och **inte från dens riktighet**. Detta betyder att validiteten av en modell inte kan skilljas från den hänsikt den är byggt för, eller från den hänsikt den potentiella brukare av modellen har.

Validering i denna undersökning betyder därför en **värdering** av modellen, som består av olika förfaranden man kan göra med modellen, **för att klargöra i första hand modellens tillämpning i praktiken**. Valideringen får då ett innehåll av att vara en bredare värdering och inte endast vara en statistisk testning.

Enligt Snee (1977) finns det allmänt den åsikt inom den statistiska litteraturen att validering av prognosfunktioner är mycket viktigt, men hurdan detta borde göras har lite behandlats. Han har preciserat att prognostisering med modellen och estimering av modellens parametrar icke är separata problemer, och en kontroll eller granskning av båda borde vara en del av valideringsprocessen. Efter att en regressionsmodell har grundast, förbättras denna modell genom använding för prognoser och genom kontroll och lärdom om den mekanism som har frambringat data.

Man kan därför säga att en prognosfunktion är endast en prototyp tills fullständigare validering har gjorts. Detta är tillfället för huvudmängden av de finska tillväxtmodellerna (Gustavsen 1990), och för många modeller utvecklade i andra länder. En orsak till detta har ofta varit brist på testmaterial. Från början av 1980-talet har man emellertid kunnit spora en ökat interess för valideringsproblemet inom skogsbruket (t ex Goulding 1979, Reynolds 1984, Soares & Tomé 1993). Tillgängligt data från permanenta ytorna anlagda över en lång period i många länder, så som också i Finland (Mielikäinen & Gustavsen 1992), har bl a bidragit till detta.

En viktigt slutsats man kan dra av diskussionen inom litteraturen kring ämnet **validering** är att detta **kan göras på många olika sätt**. Snee (1977) lägger emellertid inn ett implisitt krav, att valideringen borde göras med oavhängiga data som inte har blivit använd vid estimation av funktionens parametrar. Valideringen kan innehålla båda teoretiska och empiriska förfaranden, som finns behandlade i böker om regressionsanalyser, men det finns **inte någon bestämt valideringsmetod**; dvs att valideringen är problem-beroende (Soares & Tomé 1993).

Redan på 1960-talet behandlade Frees (1960) validering, där han kontrollerade noggrannheten av en ny teknik mot en standard. En ny teknik omfattar en ny beräkningsmetod som kan vara en ny regressionsmodell för prognosförmål, där beräknat tillväxt kan jämföras med observerad tillväxt på provytor.

Frees (l..c) skisserade tre delkrav som borde föreligga vid värdering av noggrannheten för en modell:

a) Ett utlåtandet om vilka konkreta noggrannhetskrav eller vilka fel som kan tolereras.

b) Ett mått på noggrannheten av den nya modellen, när den granskas.

c) En metode för att kunna avgöra om den uppnådde noggrannheten är lik den som krävs.

Snee (1977) har påpekat att alla möjliga testmetoder borde användas vid värdering av prognosfunktioner och ger följande indelning av valideringsprocedurerna:

1. Jämförelse av modellens prognosestimat och estimerade parametrar med fysisk-biologisk teori; t ex kan koefficienterna vara negativa, är resultaten logiskt möjliga, o s v.

2. Insamling av nytt data för kontrollberäkning av prognosestimaten.

3. Jämförelse med resultat från andra teoretiska modeller och med simulerade data.

4. Reservation av en del tillgängligt data för att skapa ett oberoende mått på noggrannheten av prognosestimaten.

Han preciserar att speciellt insamling av nytt material (pkt 2) möjliggör en helhetsgranskning av hela modellens konstruktionsprocess. Tillförlitligheten för de matematiska och fysiska förutsättningarna använd vid utveckling av modellen, styrks betydligt när funktionen ger nopggranna prognosestimat i ett nyt oberoende material. En möjlighet för såkallad "cross"-validering (pkt 4) har ofta blivit förstört genom att modellbyggaren har använt alt tillgängligt data för estimering av modellens parametrar. Önskan om att ha ett stort represetativt material bakom funktionen med tanka på praktisk tillämpning, har blivit föredragit framför en uppdelning av data för validering.

I förbindelse med validering av några norska tillväxtmodeller, bygger Strand (1983) sin strategi på det engelska uttrycket som säger att: *"The proof of the pudding is in eating"*. Detta betyder, att vill man testa en tillväxtfunktion, som skall brukas för prognosberäkning, borde man göra detta med att använda funktionen till långsiktig prognosberäkning. Det är inte tillräckligt att endast jämföra korta perioders tillväxt för

några alternativer, därför att man inte kan värdera långsiktiga verkningar från små tillväxtskillnader utan att göra långsiktiga beräkningar.

Ett mer krävjande och önskligt sätt, är att testa modellen i ett simulering- och optimeringsprogram, så som hos t ex Valstad (1994).

Huang (1970) skiljar mellan **ex ante** och **ex post** prognosmodeller. I de förstnämnda är modellens input-variabler inte kända för prognosperioden och måste först skattas. I ex post modellerna är input-variablerna kända. Därför, om prognosberäkningen blir använd till testing av hur bra en modell är (eller hur bra de estimerade equationer i modellen är), måste man eftersträva att göra en ex post prognostisering. Orsaken är den, att prognosvärden då inte vill innehålla fel som uppstår vid skattningen av input-variablernas värden. Huang (l.c.) har visat hurdan man kan testa (F-test) om regressionsekvationer från olika delsampel avviker från varandra.

Soares et al. (1995) har behandlat värderingsprocedurer för skogliga tillväxtmodeller, demostrerat med PBRAVO tillväxtmodell för maritim tallskog i Leiria i Portugal. Följande fem interkorrelerade valideringsprocedurer har givits:

1. Undersök modellen och dess komponenter i termer av logisk struktur och från teoretisk och biologisk synspunkter för att försäkra att de:
   - är sparsomligt i antal, är biologiskt realistiska, är i överenstämmelse med existerande skogsproduktionsteori, förutsäger känsligt inverkningar av skogsbehandling

2. Fastslå modellens statistiska egenskaper i förhållandet till data, som inkluderar:
   - felkomponentens natur, estimationsegenskaper för parametrerna i modellfunktionen

3. Karaktäriser felen i termer av:
   - storlek, residualernas natur, konfidensintervall och kritiska fel, modellkomponenternas felandel av det totala felet, felöverföring med modellen

4. Test med statistiska metoder för:
   - systematiska fel och precision för modellen och dess komponenter, kvaliteten på utjämning (*goodness-of-fit*), mönster i residualerna och deras fördelning, korrelationer över tid och mellan komponenter

5. Använd känslighetsanalyser för att bestämma de modellkomponenter som har störts inverkan på prognosresultaten

Centrala begrepp och kriterier vid karaktärisering av felet på prognosestimaten, är **förväntningskevhet, precision och noggrannhet**, med sitt ursprung i urvalsteorien. Varje estimat som är baserat på ett urval (*sample*) kan vara behäftadt med fel. Felet är differensen mellan det "sanna" värdet och det som är skattat med en viss metod. T ex det "sanna" värdet på volymtillväxten eller höjdboniteten kan vi inte exakt erhålla, därför att våra siffror blir behäftade med fel. Om dessa fel är **tillfälliga** eller **slumpmässiga** och tenderar mot 0 vid många uppskattningar, är felens storlek ett mått på metodens (modellens) **precision**. Precisionen defineras som en kvalitet bunden till en grupp av mätningar, och refererar sig till hurdan upprepande observationer fogar sig till varandra (Kendall & Buckland 1957).

Därsom felet är **systematiskt** och inte jämnar ut sig med många uppskattningar, är metoden behäftade med **bias.** När ett estimat konvergerar mot det "sanna" värdet sägas det vara **förväntningsrätt** och är fritt för systematiska fel. Tenderar det däremot mot ett annat värde än det "sanna" värdet, är estimatet behäftad med **förväntningsskevhet.**

När en metod bygger på förutsättningar som inte kan uppfyllas i praktiken, fås ett estimat som har en **generell** förväntningsskevhet. När metoden har förutsättningar som allmänt är riktiga, men som inte gäller för varje enskild provyta, vill estimaten ha **speciell** förväntningsskevhet.

Vi tillsträvar i våra tillväxtmodeller att få estimat som är förväntningsrätta, **men detta är inte ett absolut krav för tillämpning av modellen**. I många fall kostar det mer att uppnå förväntningsrätta estimat; dvs det krävs en större arbetsmängd med mera mätningar. Frågan är om denna ökningen i arbetsmängd står i förhållandet till den vinst man får av en reduktion av förventningsskevheten (bias). Förväntningsskevheten måste värderas i förhållandet till medelfelet. Därsom bias är endast några procent av medelfelet, vil det vara av lite betydelse (Strand 1959).

Inom forskningen, där man har möjlighet för att mäta noggrannt och mycket, läggs mycket vikt på att metoderna skall ge estimat utan bias. I tillämpningssituationen i praktiken är emellertid detta orealistiskt av kostnadsskäl. Cochran (1953) har angivit som arbetsregel, att effekten av bias på estimatets noggrannhet kan negliseras när bias(b) är mindre än en tiondedel av standardavviket för estimatet (σ); $b/\sigma < 0.1$.

Strand (1983) har preciserat att det vanligen inte är svårt att hitta modeller som ger god tillpassning utan systematiska fel i ett givit material, och speciellt inte när materialet dels upp i undergrupper med separata modeller. Man kan på detta sätt pressa standardavviket kring funktionerna för beräknat tillväxt ner till 15 % och lägre. Sådana modeller är emellertid icke utan vidare välägnade beskrivning av beståndsutvecklingen mer allmänt.

Storleken av bias eller förväntningsskevheten uttrycks enligt urvalsteorien med differensen mellan väntevärdet för estimatet ($E(\mu)$) och det "sanna" värdet i populationen (μ). När populationsvärdet inte är känd, måste detta estimeras med metoder som man vet ger förväntningsrätta estimat. Bias be måste i såfall bestämmas som en differens mellan två estimat som båda är behäftade med fel; t ex uppmätt tillväxt (det "sanna" värdet) (y) och skattat tillväxt ($\hat{y}$) (se symboler i bilaga 1). När fallet är sådant, har det liten hänsikt att bygga på resultat från enskilda ytor. Man måste använda medeltal för många ytor som grund för skattning av felet (Strand 1959).

Begreppet **noggrannhet** i allmän statistisk mening (Kendall & Buckland 1957), betyder hur nära det beräknade värdet eller estimatet ligger i förhållandet till det verkliga eller "sanna" värdet. Ett mycket bra kriterie från urvalsteorien för att karaktärisera och för att jämföra noggranheten rörande regressionsmodeller är enligt Snee (1977) medelkvadratavvikelsens kvadratrot (RMSE, se symboler i bilaga 1). Medelkvadratfelet (MSE, mean square error) avbildar estimatets noggranhet, och det omfattar båda det systematiska felet och det slumpmässiga felet (en såkallad "bruttovarians") (Husch et al. 1982). Regressionsmodellen kan betraktas som en estimator som ger skattade värden (t ex $\hat{I}_V$). De "sanna" värden är de uppmätta tillväxtvärden (I_V). Bias är sålunda medelvärdet för differenserna ($I_V - \hat{I}_V$) och RMSE ett kriterie för det genomsnittliga prognosfelet. Kendall & Buckland (1957) har definierat RMSE som kvadratroten av det andra momentet för ett set observationer kring ett villkorligt ursprung, dvs medelkvadratavvikelsen (mean square deviation) eller medelkvadratfelet (mean square

error). Minimumsvärdet för RMSE förekommer när ursprunget sammanfaller med det arimetiska medelvärdet. Det är då kallad för standardavvikelsen.

Det finns många statistiska tester, men inte någon som kan inkorporera alla aspekt bundna till validering av modellerna. Det är därför önskligt att använda flera olika enkla tester (Soares et al. 1995). Soares et al. (l.c) nämner bl a det såkallade modell-effektivitetskriteriet (EF) som mått på modellens uppfyllelse:

$$EF = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \qquad (27)$$

Värden för EF nära 1 indikerar att modellen är mycket bra, medan negativa värden visar att modellen är mycket svag i förhållande till observerat (uppmätt) data.

1.5 Bruk och behov av olika modeller

Från mitten av 1980-talet har det enskilda trädets tillväxtmodeller blivit alt vanligare i Finland medan utveckling och bruk av beståndstillväxtmodeller har minskat betraktligt (Tabell 1a och 1b). Den snabba utvecklingen av datorer har ökat möjligheterna för bruk av trädvisa modeller. Samtidigt har man kunnit använda mer sofistikerade modelltyper, så som spatiala trädvisa tillväxtmodeller och linjära blandingsmodeller. Också bruken av diameterfördelningsfunktioner i kombination med trädvisa tillväxtmodeller (t ex Päivinen 1980), har varit orsak till att de beståndsvisa modellerna har blivit åsidosatts inom den finska praktiska skogsplanläggningen (t ex Mielikäinen 1992).

I tillägg har åsikterna i Finland varit, att beståndets volymtillväxt bestämms mångsidigare och under vissa förutsättningar noggrannare med trädvisa tillväxtmodeller än med beståndsvisa (t ex Kangas et al. 1990, Päivinen et al. 1992).

Allmänt kan man antaga att det enskilda trädets tillväxtmodell kommer till sin rätta, när man har data från mätningar av individuella träd. Det är sannoligen också rätt att enskilda trädets tillväxtmodell, utvecklat som en linjär blandingsregressionsmodell, ger ett säkrare tillväxtestimat än en beståndstillväxtmodell, men endast när felkomponenten p g a variationen "mellan - bestånd" i det enskilda trädets tillväxtfunktion är mindre än beståndstillväxtfunktionens fel. Den största delen av tillväxtens variation är då "inom - bestånd" (Ojansuu 1993).

Päivinen et al. (1992) har påpekat, att när beståndstillväxten beräknas på basen av figurvis taxering, där subjektiviteten spelar starkt inn, kan detta förorsaka fel i utgångsdata och i simuleringsresultaten (Laasasenaho & Päivinen 1986). När beståndet avbildas med en teoretisk stamfördelning över diameterklasser uppnås vissa fördeler. Beståndets värdegranskning blir lättare och med bruk av en fördelningsfunktion på beståndsdata och en påföljande skattning av framtidigt tillväxt (skogsnämndernas TASO-system från år 1987) fås volym- och volymtillväxt inom olika sortimenter. Sortimenternas tillväxt kan emellertid skattas med en fördelningsfunktion på data vid tillväxt periodens början och slut (t ex Saramäki 1992). Detta har därför ingen avgörande betydelse för valet av trädvis eller beståndsvis tillväxtmodell.

Allmänt kan sägas, att den omfattande användning av trädvisa tillväxtfunktioner inom produktionsforskningen i de senaste åren i Finland, har ledat till en relativ okritisk

tillämpning av dessa funktionstyper utan omfattande validering för skattning av beståndstillväxten i den skogliga praktiken.

Med utgångspunkt från Eriksson (1976) och Ekö (1985) kan följande för- och nackdelar med trädvisa modeller anges:

Fördelar:
- Prognoserna kan få högre noggrannhet, när trädvisa data föreligger.
- Volym och stamtal erhålls direkt på stamklasser vid simulering.
- Det finns möjlighet att göra goda prognoser för heterogena bestånd.
- De behövs speciellt för att beskriva föryngelsesfasen från frö och den tidiga utvecklingsfasen i beståndets liv. Huvudhänsikten med enskilda trädets tillväxtfunktioner är också att förutsäga reaktioner i träden orsakat av starka gallringar (Mielikäinen 1992).

Nackdelar:
- Det har visat sig svårt att finna effektiva variabler som beskriver trädens närmiljö.
- Beräkningsarbetet vid simuleringarna blir större, som dock är av underordnat betydelse med dagens datorer.
- Den stora mängden inputdata till funktionerna är dyr att insamla.
- Ofta simuleras data avseende träden och ståndorten i utgångsbestånden, varvid den precisionsgevinst som finns med att använda funktioner för enskilda träd reduceras.
- Systematiska fel i tillväxtfunktionerna kan ge upphov till stora fel då det gäller hela beståndets tillväxt.
- Det är vid rekursiv tillämpning av modellen tveksamt att under hela långa prognosperioder använda sig av en detaljerad beskrivning av träden i utgångsläget.

Bruken av det enskilda trädets tillväxtmodeller bygger på det resonnement att det enskilda trädet är det naturliga tillväxtobjektet, eftersom det är där tillväxten faktiskt avsätts. Mot detta kan invändas att träden i beståndet lever i ett samhälle, där individerna påverkar varandra. Genom att använda beståndet som objekt slipper man den svåra uppgiften att beskriva det enskilda trädets tillväxtförhållande och sosiala ställning i beståndet. Man kan i stället uttrycka bördigheten och konkurrensesituationen för hela beståndet i termer av genomsnittliga beståndskännetecken, så som ståndortsindex, vegetationstyp slutenhet etc (Ekö 1985).

Några av beståndstillväxtmodellernas för- och nackdelar är:

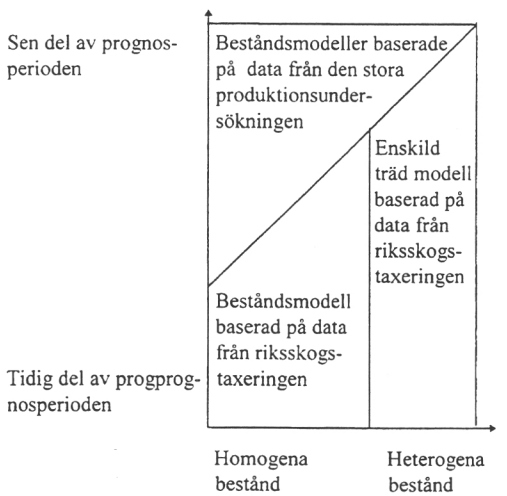
Fördelar:
- De är enkla att använda för praktisk tillämpning och kan därför lätt illustreras genom grafiska och tabellariska illustrationer. Man ger då brukaren en god möjlighet för validering av modellerna och modellbyggaren kan lätt få återinformation (*feed-back*) om noggrannheten i tillväxtskattningarna.
- De är enkla att kontrollera, analysera och därmed kan man lätt avgränsa deras användbarhet.
- De är mycket användbara i bestånd med liten variation i trädens storleksstruktur; speciellt i kulturbestånd.
- Inputdata fås till låge kostnader.

Nackdelar:

- Beståndsvisa modeller ger inte fördelningen av tillväxten på olika träddimensioner.
- De är inte mycket lämpliga i heterogena oensåldrade bestånd.
- De är inte speciellt ägnade för studier av olika ingrepp i beståndets struktur.
- De har allmänt ett snävre användingsområdet än de trädvisa modellerna; t ex de är mindre användbara för långsiktig prognostisering, där stora variationer i beståndets struktur förekommer.

Diskussion huruvida den ena modelltypen är bättre eller sämre än den andra är inte mycket befrämjande, då tillgängligt data eller den tänkte tillämpningen ofta gör valet ganska självklart. Man måste också komma ihåg att en viktig förutsättning för en eventuell jämförelse av de olika modelltypers noggrannhet, är att modellerna är teoretiskt rätt utvecklade. Detta kan ofta vara omöjligt att kontrollera och man kan därför inte dra slutsatser om vilka modell är den bästa. I många fall kan modellerna vara metodiskt rätt utvecklade, men metodernas förutsättningar har inte varit uppfylda. I verkligheten görs då endast en jämförelse mellan vissa existerande tillväxtfunktioner och inte en jämförelse mellan verkligen principiellt olika modelltyper.

En ensriktning av tillväxtmodellerna, så som delvist har skedd i Finland, avvikar klart från den allmänna uppfattning om modellmetodologien i allmänhet som råder på den internationella forskarnivån t ex (IUFRO). Till exempel inom Hugin-systemet i Sverige, har man redan länge arbetat mot en bruk av olika modelltyper för olika uppgifter, där metoderna skall komplettera varandra (Figur 8). Orsakarna till att man borde utforma alternativa modeller för skattning av beståndens tillväxt, är att vi vill undvika bias åtminstone i storskaliga tillämpningar, och få så hög noggrannhet som möjligt (Hägglund 1977). Denna åsikt stöds kraftigt av redovisningar av t ex Daniels (1981, 1993) och Burkhart (1981) i U.S.A..



Figur 8. Tänkta användningsområden för de olika produktionsmodellerna i HUGIN-systemet (enligt Hägglund 1981b).

Daniels (1993) har konstaterat vid en IUFRO-sammankomst i Virginia angående modellbyggandet genom de senast 20 åren bl a följande (sitat): *"...At the time of the Vancouver meeting (IUFRO) 20 years ago there was considerable debate over modelling approaches.* ***Which approach was best: stand level or individual tree level, distance dependent or distance independent?*** *Some strongly held positions were argued quite vehemently.* ***Of course we soon came to realize that each of the approach had its advantages and disadvantages, there might be good or poor applications of any particular approach, and (most importantly) that different kinds of problems required different kinds of solutions.*** *Within the* ***past ten years*** *there has been much* ***greater understanding*** *of the role of stand models in resource management and recognition that* ***different approaches*** *may be required for different purposes....."*

Liknande filosofi angående olika modelltyper har tidigare preciserats av Burkhart (1981) (sitat): "*.....**Projecting systems that are flexible for a wide range of management alternatives and utilization options, and that provide consistent and logical estimates of yield for varying amounts of stand detail, are needed.** .....* This system should be capable of providing logical and consistent estimates of growth and yield for varying degrees of stand detail (whole stand values, size class data, or individual tree information), thus allowing users to effeciently compute estimates with stand detail appropriate to the use of the information.....".

Burkhart (l.c.) nämnar i denna sammanhanget ett mycket bra exempel på ett önskligt integerert helhetsystem av modeller enligt Daniels (1981) för *Pinus taeda* (loblolly pine). Modellsystemet borde enligt Daniels (l.c.) vara ett "teleskoperande" system, där en mycket detaljerad helhetsmodell för beskrivande av beståndet har utvecklats. Systemets komponenter kan seden "kollaberas" från denna helhetsmodell. I systemet finns spatiella trädvisa modeller på högsta nivån. Dessa övergår till icke-spatiella enskilda träds tillväxtmodeller på lägre informationsnivå enligt vilka inputdata man har. De individuella icke-spatiella modellerna kan sedan "kollaberas" ned till en storleksklass-modell (diameterklassprognostisering); de enskilda individuella tillväxtmodellerna blir brukt på medel inom storleksklasser. Till slut utgör en beståndsmodell den lägsta nivån i systemet. Den blir uppnådd med att "kollabera" i modellen till den genomsnittliga nivån (medelträdet); hela beståndet som primärt objekt.

Med utgångspunkt i denna filosofi för behovet av olika tillväxtmodeller inom det finska praktiska skogsbruket och skogsforskningen, kan man stadfästa att **beståndstillväxtmodellerna behandlat i denna undersökning fyller en lucka i helhetssamlingen av modeller som borde finnas tillgängligt**. Då man fortfarande i många bolagsskogar och i det privata skogsbruket i Finland av kostnadsskäl registerar kännetecken rörande hela beståndet i genomsnitt (Päivinen et al. 1992), har beståndstillväxtfunktionerna en logisk plats för båda ajourföring av inventeringsresultat och för prognostisering av tillväxten för en kommande 5-10 års planläggningsperiod.

En viktig fråga är hur komplicerade modeller man skall bruka för att skatta beståndens kommande tillväxtutveckling. När modellerna skall andvändas på data, som har insamlats med vanliga taxeringar, säger det sig själv att modellerna inte kan omfatta variabler som inte kan mätas eller är svåra att bestämma i fältet. Ju mer komplicerade modeller vi väljer, ju viktigare är det att uttrycka modellen i tabeller och grafiska figurer, för att brukaren kan värdera resultaten.

Annars vilar deras tillförlitlighet endast på modellbyggarens utsagn. Ett stort "drawback" är, att vissa modeller så som t ex blandings-regressionsmodellerna, kräver relativt mycket statistisk kännedom för värdering och tolkning av resultaten, något som den vanliga brukaren inte har. Också att "gömma" de komplicerade modellerna inom datorprogram, ger inga god möjlighet för "feedback" från brukarens sida. Exempler på

modellens resultat i form av traditionella tillväxt- och produktionstabeller och som grafiska kurvor (Figur 2), har därför inte på något sätt spelat ut sin roll inom nutidens avancerade metodik.

Granskningen av funktionerna i Tabell 1a och 1b, avslöjar brister och svagheter för skattning av volymtillväxten och övre höjdutvecklingen i talldominerande ekonomiskogar i Finland. Det finns många funktioner, men de har många baserats på ett mycket begränsad material, och kan därför knappast tillämpas över hela landet. De trädvisa funktionerna som ingår i Mela-systemet bildar emellertid ett undantag i detta hänseendet. För Norra Finland finns allmänt ett dårligt utbud av goda tillväxtfunktioner. Huvudvikten av funktionerna gäller för södra delen av landet. En stor del av funktionerna passar bättre för skogsvetenskapliga syften än för praktiken. I de äldre tillväxtmodellerna är största svagheten att volymtillväxten har blivit uttryckt under bark, och de är inte matematiskt formulerade. Ofta ger också funktionerna den förgågna periodens tillväxt och är opraktiska m h t inputdata.

Beståndsfunktioner (bilaga A1-A3), som bildar huvudstommen i denna undersökning, täcker därför ett klart behov för skattning av beståndstillväxten i ekonomiskogar. Argumenteringen för att de har sin berättiga plats blant andra finska modeller är:

i) modellerna bygger på ett stort material från hela landet; representerar en mycket geografiskt vid population av talldominerade skogsbestånd.
ii) de bygger på ett material som motsvarar skogsförhållanden i praktiken.
iii) de bygger på beståndets övre höjd och ålder som bonitetsvisare.

I det följande begränsas behandlingen till att gälla endast beståndstillväxtmodeller. Med detta menas modeller som har hela beståndet som tillväxtobjekt och omfattar två alternativa typer av tillväxtmodeller (simulator):

1) modeller som ger beståndstillväxten direkt och 2) modeller, där en stamtalsfördelningfunktion och en trädvis tillväxtmodell används i kombination. I båda fallen utgörs input-data av information om variabler som gäller för hela beståndet utan individuell trädvis information.

1.6 Syfte och avgränsning för studien

Målet för undersökningen är i stort att **behandla problemet rörande prognostisering av tallbeståndens volymtillväxt och övre höjdutveckling med matematiskt formulerade modeller. Huvudsyfte är därför att ge information om vidareutveckling av tillväxtmodeller med hela beståndet som primär enhet.** Denna information skall inhämtas med granskning av viss faktorers inverkan på prognosestimatens noggrannhet. Dessa faktorer kan ha sina ursprung i modellestrukturen och i -utvecklingen samt i det empiriska materialet. Följande relevanta frågor ställs för att belysa problemställningen:

a) Kan en tillväxtmodell utarbetat på basen av data från 1950-talets riksskogstaxering ge valid skattning av tillväxten i nuvarande skogar?
b) Är det stora skillnader i skattat tillväxt mellan modeller som avser klimatkorrigerat och okorrigerat volymtillväxt?

c) Kan tillväxtfunktioner utvecklade för skattning inom stora geografiska områden såsom hela landet eller södra och norra hälften av landet, ge tillräckligt noggranna resultat inom skogsnämnderna?
d) Ger modellerna utvecklade på basen av engångsytor samma resultat som modellerna utvecklade på basen av data från permanenta ytor?
e) Måste volymtillväxtmodellerna innehålla också andra variabler, än variabler som beskiver beståndets förråd (täthet), bonitet och utvecklingfas, för att ge "bästa" skattning?
f) Borde variabelformen ha en mycket enkel form för att uppnå allmänt bättre skattning vid tilllämpning (i oavhängigt material)?
g) Är det skillnader i noggrannheten i skattat absolut volymtillväxt enligt modeller med relativ och absolut tillväxt som beroende variabel i oberoende empiriska data?
h) Uppnås samma noggrannhet med en modell som tillfrädställer de matematiska krav enligt Figur 6?
i) Verkar skattning av höjdboniteten med existerande funktion (A3) vara lika tillförlitlig över hela landet?

För att kunna svara på dessa frågor skall behandlas, som ett "case", vissa utvecklade **tillväxtfunktioners** (några skall utvecklas i denna undersökning) **validitet i oberoende testmaterial**, där **huvudvikten** läggs på kontroll av **funktionerna i originalpublikatinerna (A1-A3)**. I första hand skall granskas **volymtillväxten för en kommande 5 års period skattat med huvudfunktionerna i A1**. Volymtillväxtfunktionen i A2 för glesa talldominerade bestånd skall endast i begränsad mån testas.

Beståndets övre höjd ingår tillsammans med beståndsåldern som inputvaribel i volymtillväxtfunktionerna. Detta ger möjlighet till skattning av medelvolymtillväxten (produktionsförmågan) inom olika höjdboniteter (H_{100}) för naturligt föryngrade tallskogar. För att ett höjdboniteringssystem kan anses vara färdigt måste klargöras vilka medelvolymtillväxt som varje ståndortsindex(klass) representerar. Detta fattades för bonitetskurvorna i A3. En naturligt uppgift i denna undersökningen var därför att skatta årlig medelvolymtillväxt inom H_{100} -klasser, och därmed sammanfoga originalpublikationernas (A1-A3) modeller. Detta skall göras med simulering, där volymtillväxtfunktioner och övrehöjdfunktionen ingår.

Undersökningen har begränsats till att gälla olika typer av etablerade talldominerade skogsbestånd på momarker i Finland. Med etablerad skog avses skog med en minsta övre höjd av 5-6 meter. Med nutida talldominerad skog menas en sådan skogspopulation som de senaste riksskogstaxeringarnas material beskrivar, och som kan karaktäriseras med begreppet ekonomiskogar.

Karaktäristisk för populationen vill vara att den omfattar huvudsakligen naturligt föryngrade bestånd som inte är gödslade, där tallens andel utgör över 50 % av beståndets volym. Begreppet **glesa** talldominerade bestånd har definierats som bestånd där **båda beståndets grundyta** och **trädantal är samtidigt mindre än de minimumsvärden efter gallring** i skogscentralen Tapio's gallringsmallar för olika boniteter och geografiska områden.

2 TILLVÄXTFUNKTIONER FÖR TALLDOMINERADE BESTÅND - SAMMANFATTNING AV ORIGINALPUBLIKATIONERNA (A1 - A3)

2.1 Allmänt

I de följande avsnitten (2.2 - 2.5) har givits en sammanfattning av orginalpublikationerna, där huvudresultaten utgörs av utvecklade volymtillväxtfunktioner och en övre höjdutvecklingsfunktion för talldominerade självföryngrade bestånd i Finland. I sammanfattningarna har i första hand behandlats undersökningarnas **syfte, empiriska material, modellutveckling samt resultat och deras tillförlitlighet.** Inlednings-avsnitten, som omfattar tidigare undersökningar och teori rörande olika tillväxtmodeller, behandlas inte då dessa täcks av denna undersökningens inledning (1.1 - 1.5).

De utvecklade **tallfunktionerna** har givits följande funktionsbeteckning (ursprungliga funktionsnumror inom parantes):

P_{V5}-funktioner (A1):

Funktionsbeteckning	**Input-variabler**	**Område**
fA1.1 (1)	T, V, H_{dom}	Hela landet
fA1.4 (4)	T, V, H_{dom}	Södra Finland
fA1.5 (5)	T, V	Södra Finland
fA1.6 (6)	T, G, H_{dom}	Södra Finland
fA1.13 (13)	T, V, H_{dom}	Norra Finland
fA1.14 (14)	T, V	Norra Finland
fA1.15 (15)	T, G, H_{dom}	Norra Finland
fA1.19 (19)	T, V, H_{dom}	Norra Österbotten och Kainuu
fA1.20 (20)	T, V	Norra Österbotten och Kainuu
fA1.23 (23)	T, V, H_{dom}	Lappland
fA1.24 (24)	T, V	Lappland

I_V-funktion (A2):

fA2.1 (32.1)	T, V, H_{dom}, N, TS	Hela landet

H_{dom}-funktion (A3):

fA3.1 (1)	T, H_{100}	Hela landet

2.2 Volymtillväxtprocentfunktioner för olika naturligt föryngrade talldominerade bestånd (A1)

Syfte med undersökningen har varit att utveckla sådana volymtillväxtfunktioner, som kan göra tillväxtskattningen i den praktiska skogsplaneringen och i annan prognosberäkning enklare, billigare och snabbare. Målet har också varit att funktionerna i någon grad skulle kunna tjäna som bas för utveckling områdevisa tillväxt- och produktionstabeller.

Grundmaterialet för funktionerna har varit mätningsdata från de såkallade "hela" ytorna knutna till den 3dje riksskogstaxeringens (NFI3)(1951 - 1953) systematiska linjenät. Ytorna låg med 1000 meters avstånd från varandra på systematiska linjor, som gick i norrostlig riktning från kusten av landet till den sovjetiska gränsen. En viktig sak för beskrivning av hela beståndets tillväxt, var att mätningsuppgifterna härstämmats från stora cirkelytor med storlek 0.1 ha (radie = 17.84 m). Ett urval på ca. 10-20 provträd togs enligt uppklavat diameterfördelning, med startpunkt från ytornas centrum, och provträden representerade i genomsnitt mycket bra beståndet. En nackdel var 1950-talets blädningshuggningar, som inte länger har varit vanliga i nutida skogsbehandling.

Även material från den 5te riksskogstaxeringens (NFI5)(1964 - 1968) relaskopsytor, blev brukt för preliminär utveckling och validering av funktionerna. Fördelen med dessa data var det nyare ursprung, och därmed en förväntad bättre representation av nutida skogsbehandling. En nackdel var de små ytorna och det begränsade provträdsantalet, 7 - 8 träd. Detta låga provträdsantalet kan medföra relativt stora fel speciellt i skattningen av provytebeståndets grundytetillväxt (t ex Strand 1959), och är i genomsnitt lägre än det antalet provträd (10) som t ex Nyyssönen (1951) har angivit som ´allmän rekommendation för skattning av beståndets volymtillväxt. Nyyssönen (l.c.) har preciserat att i vissa fall kan ett lågt provträdantal medföra systematiska fel i tillväxtestimaten, när de få provträden råkar vara något bättre- eller sämre-växande än träden i genomsnitt för hela provytebeståndet. Också uppgifter om provytebeståndens övre höjd fattades i den 5te riksskogstaxeringen.

De slutliga data valdes, under vissa restriktioner för vissa bestånds- och ståndortskriterier, från NFI3s och NFI5s systematiska stickprovsdata.

NFI3-data blev begränsat till att gälla **utvecklingsdugliga talldominerade bestånd på momarker,** klassificerats som **produktiv skogsmark**. Från dessa plockades igen **enskiktiga** bestånd, där **huvudträdslaget** (tall) utgjorde **mer än 50 % av** hela beståndets volym.

Data från följande **utvecklingsklasser** blev valt:

- plantbestånd med övre höjd > 4 m
- gallringsbestånd
- genomhuggningsbestånd
- föryngringsmogna bestånd
- blädningsbestånd (ett lite antal gallringsbestånd)
- överåldriga bestånd

Det slutliga grundmaterialet (NFI3) omfattade 1626 tallbestånd från hela landet, och motsvarande 874 tallbestånd i testmaterialet (NFI5). Allmänt kunde konstaterats, att

NFI3- och NFI5-data motsvarade varandra på ett tillfredställande sätt med hänsyn till variation och nivå för observerat volymtillväxt och tillstånd (ålder, volym, osv.) (se Tabell 1 och 3 i A1).

Beståndskriterierna enligt de två inventeringarna representerade tillståndet vid mätningstidpunkten. Volymtillväxten var tillväxten i en förgången 5-årsperiod. Tillväxten representerade det stående beståndets tillväxt vid periodens slut ($I_{V(Bliv)}$), och motsvarade därför inte helt beståndets totale volymtillväxt ($I_{V(Tot)}$) i den förgågna perioden (se Lönnroths "stuga", Figur 1). Beståndskriterierna vid tillväxtperiodens början beräknades med reduktion av värderna vid periodens slut, på basen av uppgifter om provträdens diameter-, övre höjd- och volymtillväxt i den förgågna 5-årsperioden. I förhållande till kriterierna vid periodens början representerade volymtillväxten den kommande 5-årsperiodens volymtillväxt, och blev uttryckt som en rabattprocent. Tillväxten på bark beräknades från tillväxten under bark och från förhållandet mellan volymet under och på bark. Provytebeståndets grundyta vid tillväxtperiodens början beräknades enligt förhållandet mellan grundyta och volym vid mätningstidpunkten och volymet vid periodens början. För mer detaljerat beskrivning av beståndskriteriernas skattning i 3dje och 5te riksskogtaxeringen hänvisas till Ilvessalo (1951, 1956) och till Kuusela & Salminen (1969).

Volymtillväxtprocenterna blev klimatkorrigerade med genomsnittliga klimatindex för 5-årsperioden ifråga, **för utvecklingen av tillväxtfunktionerna**. Indexvärden för tallbestånden var i genomsnitt **107** och **105** för Södra Finland under NFI3s inventeringåren 1951 - 1952 och **96** för Norra Finlands inventeringsår 1953. Uppgifterna om den årliga tillväxtvariationen togs från indexserier utvecklade av Yrjö Ilvessalo på slutet av 1950-talet.

Metoden vid utveckling av tillväxtfunktionerna var vanlig linjär regressionsanalys. Utgångsprincipet var att beståndets volymtillväxt kunde skattas tillräckligt noggrannt med beståndets ålder (T) och bonitet (H_{dom} - T) samt med tätheten (V eller G). Som primärmetod för bildning av variabeltransformationer och samband användes den såkallade "matchacurve"-metoden (Jensen & Homeyer 1970, 1971, Kilkki & Siitonen 1975).

Utgångsläget var en multiplikativ model, där effekterna av de olika tillväxtfaktorerna $x_1, x_2, ..., x_n$ multipliceras med varandra enligt följande funktionstyp:

$$y = e^a \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot .... x_n^{b_n} \cdot \varepsilon \qquad (28)$$

Denna funktion blev transformerat till följande form genom logaritmering av båda sidor:

$$\ln y = a + b_1 \cdot \ln x_1 + b_2 \cdot \ln x_2 + ... + \ln x_n + \ln \varepsilon \qquad (29)$$

där $a, b_1, b_2, ..., b_n$ är koefficienter och $\ln \varepsilon$ är uttryck för felavvikelserna.

Den bästa linjärisering av sambandet mellan den avhängiga variabel (ln y = ln P_{V5}) och de oberoende variablerna (ln x_1, ln x_2, ...) fick man med logaritmisk transformation av regressorerna i potensform. Finjustering av potensexponenterna, bestämd med "matchacurve"-teknik, gjordes med regressionsanalys. Därtillhörande residualgranskningar blev utfört i en-, två och tre-dimensionella tabeller gentemot skattat tillväxt och regressorerna T, V, H_{dom}, G.

Resultaten omfattade i alt 11 volymtillväxtprocentekvationer för talldominerade bestånd inom olika geografiska områden: Hela landet, Södra Finland: skogsnämnderna (sk) 1 - 15, Norra Finland: sk 16 - 19, Norra Österbotten och Kainuu: sk 16 - 17 och Lappland : sk 18 - 19 (se 2.1).

Funktionerna grundade på beståndets ålder (T), övre höjd (H_{dom}) och volym (V) var huvudresultaten i undersökningen. Funktionerna enligt enbart beståndets volym och ålder var mindre viktiga resultat. De blev utvecklat för att kunna ge enkla tillväxttabeller för en snabb volymtillväxtskattning (se bilaga 1 i A1).

Huvudfunktionerna för tall var följande:

Hela landet :

$$P_{V5} = \exp\left[2.7743 + 1.0298 \cdot (5.69 - \ln T) - 0.0630 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1.5}\right],$$

(fA1.1) n = 1626, R^2 = 75.2%, s_e =32.0%

Södra Finland :

$$P_{V5} = \exp\left[2.9509 + 1.0599 \cdot (5.69 - \ln T)^{0.9} - 0.0710 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1.5}\right],$$

(fA1.4) n = 728, R^2 = 71.2%, s_e = 28.8%

Norra Finland :

$$P_{V5} = \exp\left[2.8332 + 0.8487 \cdot (5.69 - \ln T)^{1.25} - 0.0575 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1.5}\right],$$

(fA1.13) n = 898, R^2 = 73, %, s_e = 34.2%

Norra Österbotten och Kainuu :

$$P_{V5} = \exp\left[3.6860 + 0.6250 \cdot (5.69 - \ln T)^{1.25} - 0.0832 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1.5}\right],$$

(fA1.19) n = 391, R^2 = 75.9%, s_e = 28.6%

Lappland:

$$P_{V5} = \exp\left[2.7914 + 0.8144 \cdot (5.69 - \ln T)^{1.25} - 0.0572 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1.5}\right],$$

(fA1.23) $n = 507$, $R^2 = 69.3\%$, $s_e = 34.6\%$

Funktionernas konstantled har korrigerts för logaritmisk bias som uppstår när den beroende variablens logaritmiska transformation återförs till sin urspungliga skala. Termen $s_f^2 / 2$ har adderats till konstantleden (Meyer 1941). De okorrigerade konstantleden framgår av Tabell 5a i A1, där bl a variablernas signifikans (t-värden) har angivits.

Tillväxtfunktionernas **tillförlitlighet** har granskats huvudsakligen gentemot deras eget grundmaterial (NFI3-data). Endast i begränsad grad har funktionerna validerats genemot oavhängigt material (NFI5-data). Tillförlitligheten omfattar endast skattning av den kommande 5-årsperiodens tillväxt. Funktionernas tillförlitlighet har bl a beskrivats med vissa statistisk-matematiska kriterier (Tabellerna 4, 5a, 6 i A1), av vilka några har angivits för huvudfunktionerna ovan. I tillägg har genomsnittliga klassvisa residualer för grundmaterialet och testmaterialet redovisats (Bilaga 2 i A1), och tillväxtytornas inverkan på prognosestimatets storlek och mätningsfelets inverkan har studerats.

Förklarningsgraden R^2, varierade mellan 69 - 76% för tallfunktionerna, som dock inte har ansetts vara av stor betydning för funktionernas noggrannhet vid praktisk användning. Viktigare med tanka på användning har påpekats vara de eventuella systematiska felen som kan förekomme, när funktionerna tillämpas andra oavhängiga material. Systematiska fel har definierats i undersökningen som genomsnittligt för höga eller för låga volymtillväxtprocenter i förhållandet till den uppmätta tillväxten inom vissa variationsområden för den skattade tillväxten.

Studier av residualerna visade inte några klara systematiska avvikelser för tallfunktionerna som helhet, varken gentemot de ingående variablerna eller gentemot skattat tillväxt. Några tendenser till systematiska fel har emellertid konstaterats för yngre tallbestånd. T ex tallfunktionerna för hela landet (fA1.1) och för området Norra Finland (fA1.13, fA1.14, fA1.15) kan ge systematiskt för höga tillväxtprocenter i unga täta bestånd (25 - 45 år), där övre höjden är mer än 10 meter. I sådana fall måste dock samtidigt volymet vara över 100 m^3/ha, så dessa fallen inträffar sällan. Även tallfunktionerna för Norra Österbotten och Kainuu (fA1.20), där endast ålder och volym var regressorer, uppvisade systematiskt för höga tillväxtprocenter i bestånd yngre än 45 år. Allmänt kunde konstateras att variationerna i residualerna var mer slumpmässiga för huvudfunktionerna f(T, V, H_{dom}) än för de andra funktionerna f(T, G, H_{dom}) och f(T, V). Båda residualstudierna och förklaringsgraden samt prognosestimatens medelfel, visade att beståndets grundyta inte var likaså effektiv regressor som beståndets volym. Exempel på residualstudier av de viktigaste funktionerna gentemot eget grundmaterial(NFI3-data) har angivits i Tabell 2.

I NFI5s testmaterial fattades observationer om beståndets övre höjd. Därför kunde endast funktionerna med volymet och ålder (f(V, T)) valideras. Som naturligt var fick man i genomsnitt något större avvikelser i residualerna för testdata (Tabell 3a, 3b). Systematiskt för låga värden fick man i skattade volymtillväxtprocenter lägre än ca. 40% för Södra Finlands tallfunktion fA1.5. Systematisk för höga värden fick man för tillväxtprocenter lägre än 40% båda för Norra Finlands funktion fA1.14 och för Norra Österbotten och Kainuu's funktion fA1.20.

Ett annat kriterie för värdering av funktionernas tillförlitlighet, var felet vid skattning av tillväxtprocenterna i enskilda bestånd. Som mått på tillförlitligheten, blev använd det procentuella medelfelet (s_e%). Felet varierade för huvudfunktionerna (ovan) från ca. 28 till 35%. Medelfelet beräknades på basen av alla observationer inom tre beståndsålderklasser (Tabell 6 i A1). Först beräknades en differens mellan uppmätt och skattat volymtillväxtprocent för varje observation, och sedan blev denna differens uttryckt i förhållandet till den skattade volymtillväxtprocenten $(P_{V5} - \hat{P}_{V5}) / \hat{P}_{V5})$. Medelfelet beräknades som spridningen för dessa relativa värderna. Det lägsta medelfelet fick man för åldersklassen 46 - 80 år för alla tallfunktionerna, utom Lapplands funktioner fA1.23 och fA1.24. På basen av beräkningarna av medelfelen kunde man dra slutsatsen, att medelfelet vid skattning i enstaka bestånd ville vara ca. 30% i 68 fall utav 100.

När funktionerna tillämpas hela skogsområden, kan förväntas ett lägre medelfel därför att de slumpmässiga felen för de enskilda beståndens tillväxtskattning utjämnar varandra. En förutsättning var emellertid att funktionerna inte förorsakar stora systematiska fel i tillväxtskattningarna. För att simulera den situation man har, när man inventerar ett helt skogsområde bestående av många bestånd, gjordes flera systematiska urval från grundmaterialet (NFI3-data). Slumpmässigt blev vald från hela landets och från delområdernas data inom vissa skogsnämnder. Sedan med en slumpmässig början valdes 10, 20, 50 och 100 **påföljande provytebestånd** systematiskt. Detta upprepades 11 gånger för hela landets data, och 20 gånger för delområderna. Tanken var att de påföljande ytorna beskriver tillnärmelsevist bestånd som ligger bredvid varann, som i en inventering.

Medelfelet blev i princip beräknad på samma sätt som förklarat för skattning av enskilda bestånd (provyta). För varje sample beräknades genomsnittlig differens mellan skatta och uppmätt volymtillväxtprocent i förhållandet till medelvärdet för de skattade tillväxtprocenterna. Urvalsstorlekens inverkan på medelfelet fick man sedan med att beräkna spridningen för dessa relativa värderna enligt varje urvalsstorlek.

Resultaten har blivit grafiskt utjämnat (Figur 1 och 2 i A1), där medelfelet för skattningen av ett enskild bestånd bildar utgångspunkt för utjämningskurvorna. Ett exempel på några av tallfunktionernas noggrannhet har angivits i Figur 9. De granskade delområdernas funktioner visade att tillväxtskattningens relativa medelfel minskas från ca. 30 % för ett enskild bestånd till under 10 % för 10 - 15 bestånd. Medelfelet blev ca. 7 - 8 % för 50 provytebestånd och ca. 4 - 5 % för 100 bestånd.

Tabell 2. Residualavvikelser för hela landets funktion (fA1.1),Södra Finlands funktion (fA1.4) och Norra Finlands funktioner fA1.13, fA1.19, fA1.23 i grundmaterialet (NFI3-data).

$\hat{P}_{VS}$	$P_{VS}-\hat{P}_{VS}$	n	$\hat{P}_{VS}$	$P_{VS}-\hat{P}_{VS}$	n
fA1.1 :			**fA1.13 :**		
8.11	- 0.20	166	8.25	- 0.24	167
12.56	- 0.01	344	12.31	- 0.03	254
17.35	+ 0.27	361	17.12	+ 0.81	190
22.36	+ 0.09	277	22.23	- 0.48	117
27.15	- 0.97	153	27.05	0.00	56
32.25	- 0.66	98	32.41	+ 1.91	32
37.23	+ 1.94	71	37.64	- 1.10	23
42.00	- 2.75	38	42.32	+ 4.33	13
47.29	- 3.67	31	48.30	- 4.44	9
52.17	+ 3.43	19	53.13	+ 2.33	9
56.99	- 4.26	12	56.67	- 1.33	5
62.22	- 1.73	10	62.46	- 22.18	5
67.18	- 3.47	10	69.92	- 9.92	1
72.96	+ 7.04	3	74.26	- 26.41	3
77.93	- 14.03	7	82.17	+ 6.39	1
82.14	+ 17.75	3	88.35	+ 0.07	3
87.41	+ 19.16	4	91.37	- 8.19	1
94.25	+ 42.04	2	105.34	+ 1.80	2
97.68	- 7.71	3	117.75	+ 16.56	3
102.89	+ 0.29	5	190.62	+ 96.37	2
125.19	+ 39.09	4	**fA1.19 :**		
160.08	+ 56.74	2	9.40	+ 0.51	9
185.39	+ 58.50	3	12.79	- 0.63	79
fA1.4 :			17.42	+ 1.16	108
8.91	- 1.47	5	22.31	+ 0.16	67
12.97	+ 0.18	79	27.15	- 1.89	46
17.54	- 0.13	176	32.34	- 2.46	26
22.34	+ 0.40	158	37.69	- 1.32	18
27.34	- 1.03	109	42.54	+ 4.34	9
32.48	- 1.26	61	47.05	+ 2.22	8
37.16	+ 2.83	42	52.84	- 11.14	4
42.27	- 3.03	29	57.40	+ 8.33	3
46.17	- 0.96	14	66.39	- 17.00	3
52.38	+ 2.56	15	79.44	- 42.65	1
56.47	- 2.69	5	80.16	- 5.96	1
61.95	+ 7.04	11	99.57	+ 13.95	2
66.17	+ 0.31	4	115.99	- 45.82	1
71.46	- 18.17	4	137.20	+ 18.84	2
76.63	+ 0.58	3	192.65	+ 140.32	2
81.88	+ 5.28	2	**fA1.23 :**		
88.17	- 3.85	3	8.00	- 0.03	170
91.20	- 46.20	1	12.27	- 0.48	163
99.12	- 0.01	1	17.23	+ 0.91	84
113.14	- 1.80	2	22.16	+ 1.04	42
145.39	+ 71.43	2	27.19	- 0.13	14
168.74	+ 18.72	2	32.57	- 2.31	8
			37.39	- 2.46	6
			43.49	+ 0.25	5
			47.82	+ 11.06	4
			53.09	- 6.10	3
			56.89	- 13.72	1
			62.33	- 2.33	1
			65.85	- 12.47	2
			72.82	+ 15.74	1
			77.74	+ 17.80	2
			80.92	+ 2.26	1

Tabell 3a. Residualavvikelser för Södra och Norra Finlands funktioner fA1.5, fA1.14 i grundmaterialet (NFI3-data) och i det oberoende testmaterialet (NFI5-dta).

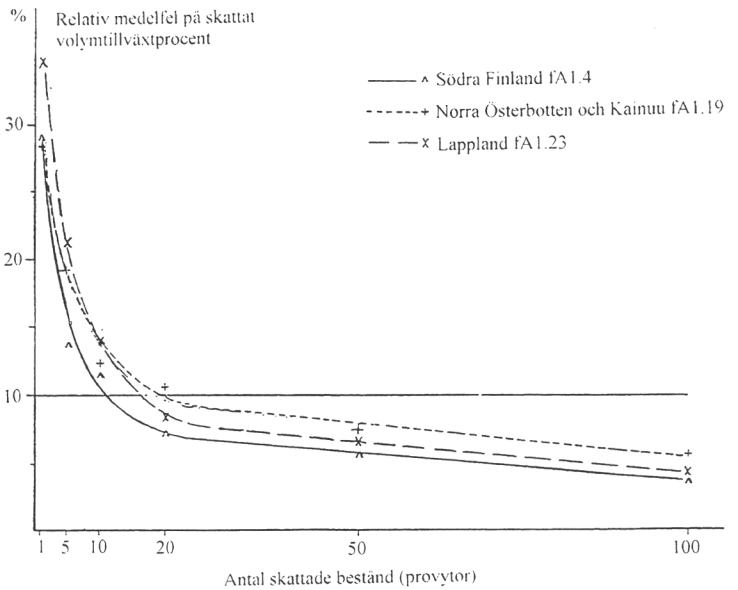
$\hat{P}_{V5}$	$P_{V5}-\hat{P}_{V5}$	n	$\hat{P}_{V5}$	$P_{V5}-\hat{P}_{V5}$	n
fA1.5 : NFI3-data			**fA1.5 : NFI5-data**		
10.00	- 2.61	1	9.01	- 1.41	7
13.38	- 0.52	80	13.11	+ 0.63	95
17.52	- 0.28	182	17.48	+ 0.82	143
22.30	+ 0.66	169	22.38	+ 1.25	114
27.38	- 0.25	102	27.36	+ 0.48	49
32.40	- 0.76	59	32.00	+ 3.46	30
37.06	+ 1.62	40	37.27	+ 0.17	16
42.02	- 0.73	27	42.65	+ 5.82	16
47.43	- 0.36	18	47.93	+ 5.95	8
52.96	+ 4.03	12	52.40	- 1.12	7
58.48	+ 21.49	4	57.65	+ 3.15	8
62.64	+ 3.47	10	61.61	- 5.68	3
67.34	+ 11.43	4	67.28	+ 3.41	7
72.15	- 33.26	2	72.73	+ 3.10	9
78.38	- 11.28	3	75.64	+ 43.25	3
82.10	+ 59.31	2	84.73	- 7.92	1
92.01	- 7.69	3	89.17	- 0.41	4
95.50	- 57.15	1	92.57	+ 15.91	6
101.95	- 52.29	2	97.16	- 24.88	2
123.87	- 16.61	3	104.37	- 20.72	2
170.36	+ 46.46	2	108.18	+ 63.16	2
214.62	- 27.16	2	113.04	- 17.55	3
			122.54	- 33.07	3
			131.32	- 29.03	2
			142.47	- 13.58	3
			148.74	+ 4.06	1
			177.14	+ 72.20	4
			262.43	+ 75.97	3
			284.38	+ 0.58	2
fA 1.14:NF13-data			**fA1.14:NF15-data**		
8.19	- 0.22	163	8.14	- 2.20	42
12.38	- 0.14	263	12.48	- 0.86	96
17.22	+ 1.30	188	16.89	- 1.36	56
22.36	- 0.87	120	22.12	- 1.00	31
27.09	- 0.11	50	27.09	- 2.38	20
32.25	+ 1.28	30	31.83	- 3.03	15
36.89	+ 0.11	22	37.98	- 3.26	8
41.92	- 3.65	16	43.18	+ 13.63	6
47.16	- 9.19	6	47.94	+ 12.64	7
52.16	+ 4.33	14	52.61	+ 8.53	5
57.72	- 13.43	4	58.44	- 0.05	2
62.03	- 11.75	3	62.54	- 4.93	7
66.49	- 33.21	2	67.47	+ 30.54	7
76.33	- 18.48	4	74.08	+ 1.51	3
82.83	- 14.54	1	77.68	+ 25.53	2
88.35	+ 0.21	1	81.18	- 7.98	1
94.39	- 10.02	1	87.24	- 14.78	3
101.93	+ 32.85	3	93.58	- 22.15	1
112.50	- 9.52	2	114.26	- 18.51	2
116.50	- 46.33	1	133.48	+ 15.77	1
146.14	+ 9.90	2	145.76	- 56.12	2
209.89	+123.07	2	170.74	+ 45.30	1
			203.44	- 68.15	1

Tabell 3b. Residualavvikelser för Norra Österbotten-Kainuus och Lapplands funktioner (fA1.20, fA1.24) i grundmaterialet (NFI3-data) och i det obereoende testmaterialet (NFI5-data).

$\hat{P}_{V5}$	$P_{V5}-\hat{P}_{V5}$	n	$\hat{P}_{V5}$	$P_{V5}-\hat{P}_{V5}$	n
fA1.20 : NFI3-data			**fA1.20 : NFI5-data**		
13.11	- 1.17	86	9.04	- 4.07	12
17.50	+ 1.41	118	12.35	- 3.39	48
22.30	- 0.22	70	17.10	- 1.76	29
26.69	- 0.55	39	22.77	- 4.47	13
37.58	- 3.22	13	28.01	- 5.14	13
41.62	+ 9.18	9	33.11	- 4.25	8
47.13	+ 2.16	7	36.33	- 0.05	3
52.76	+ 2.02	4	41.98	+ 1.47	4
57.62	- 11.18	3	47.25	+ 9.53	4
62.47	- 37.00	1	51.92	+ 3.48	2
66.35	- 25.84	1	57.08	+ 3.88	1
74.96	+ 7.22	1	63.50	+ 9.26	2
76.14	- 1.94	1	67.14	- 5.09	5
83.50	- 46.71	1	72.39	+ 78.74	1
100.39	- 16.02	1	79.01	+ 17.31	2
109.30	+ 25.49	3	87.12	+ 2.88	1
134.47	- 64.30	1	97.11	- 13.67	2
170.51	- 45.23	1	107.72	- 35.41	2
245.84	+ 2.15	2	135.90	- 46.81	1
			157.28	- 46.61	2
			196.09	-115.63	2
			247.80	-126.70	2
fA1.24 : NFI3-data			**fA1.24 : NFI5-data**		
8.11	- 0.20	170	8.38	- 0.60	10
12.20	- 0.28	167	12.55	- 1.34	64
17.18	+ 0.95	83	17.41	+ 1.46	35
22.02	+ 0.86	40	22.55	- 0.60	17
27.29	+ 3.34	13	27.00	+ 0.48	9
33.28	- 1.96	9	32.83	- 8.05	3
37.56	- 0.32	3	35.73	- 4.73	2
41.88	- 0.81	4	41.38	+ 32.99	4
47.62	+ 7.96	7	46.49	- 4.20	3
53.38	- 20.94	1	52.65	- 5.28	1
56.38	- 19.47	3	56.49	+ 10.36	2
68.40	- 12.81	3	61.03	- 9.36	3
80.75	- 2.33	2	66.42	+ 23.64	3
99.90	- 16.72	1	71.21	+ 7.49	2
			97.60	+ 8.46	2
			174.54	+ 41.51	1
			391.06	- 48.20	1

Med partiell derivation av funktionerna undersöktes inverkan av input-variablernas mätfel på tillväxtprocentestimatens noggrannhet. Resultaten visade, att ett relativt fel på 10% samtidigt i T, V och H_{dom}, förorsakar högst 15% slumpmässigt fel i estimaten från tallfunktionerna för hela landet (fA1.1), Södra Finland (fA1.4) och Norra Finland (fA1.13). 10% utgjordes av felet i ålderskattningen och 2.5% i skattningen av övre höjden och volymet. Allmänt var felet i tillväxtestimaten, på grund av mätningsfelen i variablerna, svagt avtagande eller tillnärmat oberoende av ökande beståndsålder. Ett absolut mätningsfel på T : 1 år, V : 1 m3/ha, H_{dom} : 1 m hade annorlunda inverkan på tillväxtestimatens noggrannhet än det procentuella mätningsfelet på 10%. En kubikmeters fel i beståndsvolymet förorsakade ett absolut fel på 0.6%-enheter i tillväxtprocenten, som motsvarade ett procentuellt fel lägre än 0.6%. Felet avtog med ökande kubikförråd. En meters mätfel i övre höjden hade störst inverkan på

volymtillväxtestimatet i bestånd med lägre höjd än 10 meter, där felet var 2 - 3 %-enheter och procentuellt 1.5 - 3 %. Felet var under 1%-enhet i bestånd högre än 14 meter. Ett års mätfel i åldern i 20 åriga bestånd förorsakade en fel på 5 - 15%-enheter i tillväxtestimaten. Båda det absoluta och procentuella felet i tillväxtestimaten minskade snabbt med ökande ålder. T ex i 60 åriga tallbestånd var felet ca. 0.5%-enheter och procentuellt 1.5 - 2%. Allmänt vid tillämpning av funktionerna blev preciserat att delområdernas funktioner borde användas, när det är tala om regionala tillväxtskattningar. Endast när material från hela landet föreligger, borde man tillämpa hela landets funktion fA1.1. I tillägg borde man eftersträva bruk av de såkallade huvudfunktionerna (f(T, V, H_{dom}) inom de gränser grundmaterialet har angivit i Tabell 3 i A1.



Figur 9. Sambandet mellan antal tallbestånd (provytor) och noggrannheten på genomsnittlig volymtillväxtprocent för ett skogsområde, när delområdernas funktioner tillämpas. Beräknat på basen av systematiska urval inom grundmaterialet (NFI3-data) (se texten).

2.3 Volymtillväxtfunktion för "glesa" naturligt föryngrade talldominerade bestånd (A2)

Undersökningens **syfte** var att simulera grundyte -och volumutvecklingen samt produktionen i bestånd med låga stamtal och virkesförråd. Simuleringen skulle baseras anten på färdigt utvecklad beståndstillväxtfunktioner (t ex fA1.1) eller på funktioner utevecklade i undersökningen. Val av tillväxtfunktion för beskrivning av utvecklingen i glesa bestånd, var därför den första uppgiften som måste lösas.

Glesa bestånd blev definierat som bestånd, där samtidigt båda stamtal och grundyta (volym) var lägre än det minimumsnivå efter gallring angivit i Skogscentralen Tapios gallringsmallar (1989) och Forststyrelsens behandlingsprogram (1984, 1985) för olika boniteter i Södra och Norra Finland. Beståndens låga virkesförråd ansågs vara en följd av anten misslyckad föryngring eller mycket hårda gallringar.

Grundmaterialet omfattade 734 ytor i glesa tallbestånd över hela landet (Tabell 1 och 2, Figur 2 i A2). Ytorna blev valda från det NFI3- och NFI5-material, som blev brukt i undersökning A1. Alla ytebestånd valdes som hade lägre stamtal och grundyta än de minimumsvärden angivna i Tabell 4. Urvalet gjordes separat för olika boniteter enligt gränsvärderna för stamtal och grundyta inom seks övre höjdsklasser (se Tabell 4).

Tabell 4. Maximal(gräns)värderna för grundyta (G, m^2/ha) och stamtal (N, stk/ha) på olika boniteter och övre höjdklasser vid urval av glesa tallbestånd. Baserats på uppgifter om beståndsutvecklingen efter gallring i behandlingsmallar utarbetat av skogscentralen Tapio (1989) och Forststyrelsen (1984, 1985).

Ståndortstyp H_{100}	H_{dom}, m 10.1-12.0	12.1-14.0	14.1-16.0	16.1-18.0	18.1-20.0	20.1+
Frisk mo (Ömo-Blmo)	G = 14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
27+	N = 1300	1100	850	700	600	450
Medelgod (Lgmo)	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0
24	1200	1000	800	600	500	400
Medelgod/	11.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
Torr mo (Lgmo/Rsmo)	1100	900	750	550	450	350
21						
Torr mo (Rsmo)	10.0	11.0	13.0	14.0	14.5	15.0
18	1000	750	650	500	400	325
Torr mo	8.0	9.0	11.0	13.0	14.0	14.0
(Rsmo)	900	700	600	450	400	300
15						
Mycket torr mo	7.0	8.0	10.0	12.0	13.0	13.0
(Lvmo)	800	650	500	400	350	250
12						

Speciellt viktiga variabler var beståndens grundyta, stamtal och övre höjd. Grundytan beräknades i NFI3-materialet på basen av uppgifterna om uppklavat diameterfördelning. I NFI5-materialet var grundytan under bark färdigt beräknad. Grundytan på bark vid tillväxtperiodens början fick man från förhållandet mellan grundytan på bark och under bark vid periodens slut. För båda materialen beräknades stamtalet vid 5-årsperiodens slut med hjälp av stamtalet och förhållandet mellan grundyta och diameter vid slutet och början av tillväxtperioden. I NFI5-materialet var inte uppgifter om beståndets övre höjd. Denna beräknades med hjälp av funktioner enligt Hänninen (1974), där beståndets övre höjd bestämms från medelhöjd och skogstyp.

Metodiken omfattade vanlig linjär regressionsanalys med därtillhörande ingående numeriska residualstudier, samt simulering av beståndsutvecklingen med hjälp av vissa funktioner. Simulering av beståndsutvecklingen omfattade glesa och till jämförelse också "normalt" täta bestånd. Utgångsbestånden blev karaktäriserat med kännetecken som volym, grundyta, formtal, ålder, stamtal och medeldiameter, alla estimerat från grundmaterialet. Beståndsvolymets utveckling blev simulerat med att addera 5-års volymtillväxt enligt tillväxtfunktionen till utgångsvolymet. Detta upprepades fram till omloppets slut. Med hjälp av följande formel: $G = V/(F_{Hdom} \cdot H_{dom})$, kunde

volymutvecklingen transformeras till grundyteutveckling. Beståndsformtalet (F_{Hdom}) blev estimerat med funktion enligt Gustavsen & Fagerström (1983, ekvation 3), och övre höjdutvecklingen enligt funktion fA3.1. En medeldiameterfunktion (32.4) blev utvecklat för att karaktärisera de glesa tallbestånden i olika utvecklingsfaser, och för estimering av deras formtal.

Simulering av utvecklingen i glesa bestånd byggde på vissa förutsättningar: stamtalet i början ansågs representera utvecklingsdugliga träd, som växte till omloppets slut utan storm- eller andra skador. Utgångsvärden för medeldiametern representerade båda glesa bestånd förorsakat av misslyckat föryngring, och av för hårda gallringar. Simuleringen startade från förstagallringsfasen H_{dom} = 13 m, där utgångsåldern varierade mellan 32 - 78 år enligt boniteten. I beräkningarna förutsattes, att när det glesa beståndets grundyteutveckling överstiger minimumsnivån efter gallring i behandlingsmallerna, var beståndsutvecklingen lik den enligt tillväxtfunktionen för normalt täta bestånd. Gallringar gjordes endast i de fall, där det glesa beståndets utveckling nådde stämplingsgränsen 12 - 15 år för omloppets slut.

De normalt täta tallbeståndens utveckling simulerades med funktionerna fA1.4, fA1.13 och fA1.23. Utgångsvärderna för beståndskriterierna, såsom grundyta och stamtal var enligt gallringsmallerna. Båda för de normalt täta och för de glest huggna bestånden var det nödvendigt att skatta totalproduktionen vid förstagallringstidpunkten. Detta blev skattat på basen av tidigare undersökningar i gallrade bestånd (t ex Nyyssönen 1954, Koivisto 1972). På lingonmark (VT) blev totalproduktionen skattat till 145 m^3/ha för tallbestånd med övre höjd 13 meter. Gallringsutaget var i första gallringen differensen mellan skattat totalproduktion och stående volym efter gallring.

Resultaten omfattade bl a provningar av några existerande tillväxtfunktioner enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) och enligt undersökning A1, samt en utvecklat ny funktion fA2.1 på basen av grundmaterialet. Funktionernas genomsnittliga bias

($b_e = \frac{\sum(I_{V5} - \hat{I}_{V5})}{n}$) i hela materialet var (se Bilaga 2 i A2):

	b_e
Nyyssönen & Mielikäinen's funktion	- 1.36
fA1.1	- 0.12
fA2.1	- 0.02

Förutom Nyyssönen & Mielikäinens funktion, var skillnaden i bias liten mellan hela landets funktion fA1.1 för normalt täta bestånd och de glesa beståndens funktion fA2.1. Den sistnämnda funktionen var utan systematiska fel i eget grundmaterial (se gruppvisa residualer i Bilaga 1 i A2). F-test av fA1.1 och Nyyssönen & Mielikäinens funktion gällande bias visade att observerat testvärde ($F_{obs.}$) var större än F-värde enligt tabellen på signifikansvivån 0.01. För funktion fA1.1 var testresultatet F_{obs} = 2.13 > $F_{0.01}(16,718)$ = 2.04. F- testen baserades på 16 grupper enligt skattat volymtillväxt och därtillhörande medelresidualer inom varje grupp. Som test-hypotes anfördes att förväntat värde på medelresidualerna inom varje grupp skulle vara lik noll.

Därför att de båda funktionerna för "normalt täta" bestånd överestimerade volymtillväxten i materialet, blev simuleringen av beståndsutvecklingen grundat på volymtillväxtfunktionen fA2.1 (32.1 i A2).

Modellen för denna regressionfunktionen var en multiplikativ modell (28) omskriven i en linjär logaritmisk form (29). Beroende variabel var den absoluta volymtillväxten för kommande 5-årsperiod (summa). Regressorer var bestånds ålder, volym och övre höjd, stamantal och ståndortens värmesumma. Den sistnämnda variabel skulle beskriva effekten av beståndens geografiska belägenhet på tillväxten. Stamtalet däremot ansågs vara speciellt viktigt, när volymtillväxten i glesa bestånd skulle beskrivas. En arbetshypotes var att det glesa beståndets inre struktur blev bättre avspeglat, när båda stamtalet och volymet var med i funktionen.

Funktionen för glesa tallbestånd över hela landet var följande:

(fA2.1)

$$I_{V5} = \exp\left[0.6773 + 0.3763 \cdot \ln V + 0.9441 \cdot \ln\left(H_{dom} / T\right) + 0.2415 \cdot \ln N + 0.0003 \cdot TS\right],$$

$n = 734$, $R^2 = 67.7\%$, $s_e = 33.0\%$

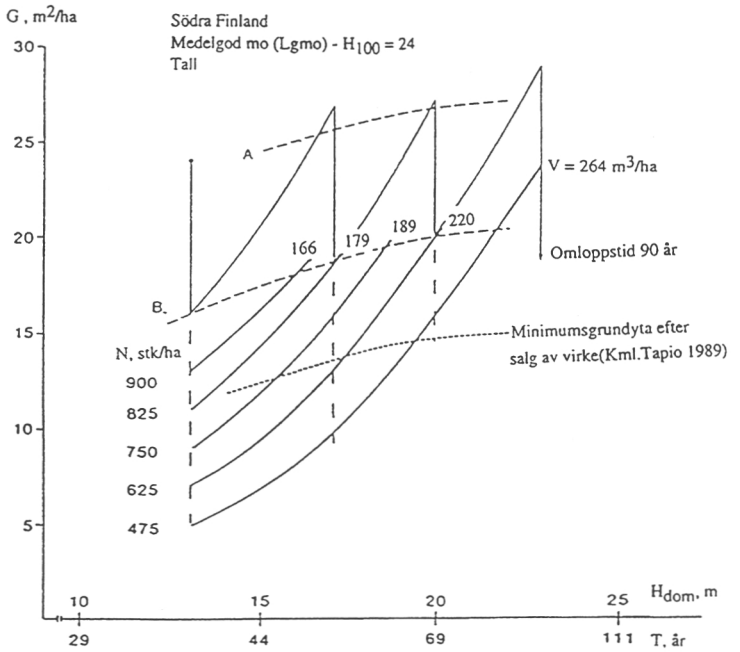
Funktionens tillförlitlighet blev granskad i först hand mot eget grundmaterial. Inga klara systematiska fel kunde sporas. På basen av restspridningen (s_f) för funktionen kunde beräknas ett fel (s_e) på 33% för volymtillväxtskattningen i enskilda bestånd. Ett mycket begränsat antal undersökningar stod till förfogande för jämförelser. Funktion fA2.1 simulerade mycket bra den 15-års långa utvecklingen på en permanent försöksyta lagt ut i ett glest tallbestånd i Södra Sverige. Det låga virkesförrådet på försöksytan var från början en följd av en mycket hård gallring (Figur 9 i A2).

En annan jämförelse, med svenska produktionstabeller enligt Fryk (1984) för utvecklingen i röjda ungskogar med låga stamtal (Figur 8 i A2), visade däremot en klar underestimering för fA2.1. I detta fallet var det emellertid osäkert om den svenska tabellen representerade sådana glesa bestånd m h t förrådet, som funktionen fA2.1 blev baserat på.

Huvudresultaten i undersökningen omfattade simulerade exempler på grundyte- och volymutvecklingen i glesa tallbestånd, samt totalproduktionen (Tabell 4, 5, 6 och Figur 3, 4, 6 i A2). Utvecklingen i "normalt täta" tallbestånd enligt fA1.1 och gallringsmallen blev angivit för jämförelse.

I ett glest tallbestånd uppkommit efter misslyckat föryngring på lingontyp (H_{100} = 24) i Södra Finland var totalproduktionen ca. 80 till 50% av det normalt täta beståndets, när det glesa beståndets utgångstäthet i förstgallringsskedet varierade från ca. 80 till 30 % av det normala tallbeståndets utgångstäthet (Figur 10).

Totalproduktionen varierade från ca 95 till 80% av det normalt täta beståndets produktion, när de glesa beståndens låga utgångsförråd var orsakat av hårda gallringar i förstagallringsskedet. Allmänt visade resultaten att grundyteutvecklingen i ett glest tallbestånd var relativt snabb efter förstagallringskedet. Ett bestånd med endast 50-60% av minimumsutgångstätheten enlig Tabell 4 uppnår troligen full täthet för omloppstidens slut.



Figur 10. Utgångstäthetens inverkan på grundyteutvecklingen i glesa tallbestånd i jämförelse med ett normalt tät bestånd behandlad enligt gallringsmallen (enligt Skogscentralen Tapio 1989). De glesa beståndens utveckling gäller båda bestånd behandlat med hårda gallringar, och bestånd uppkommit efter misslyckat föryngring. Deras utveckling har simulerats med funktion fA2.1. Det normala beståndets utveckling är enligt funktion fA1.1.

2.4 Utvecklingsfunktion för övre höjden i naturligt föryngrade talldominerade bestånd (A3)

Syfte med undersökningen var att åstadkomma höjdutvecklingskurvor för naturligt föryngrade talldominerade bestånd belägna över hela landet. Kurvorna skulle baseras på en matematisk modell och var i första hand avsedd för klassificering av bestånd enligt höjdbonitet. Systemet skulle innebära ett absolut klassificeringssystem med höjdutvecklingskurvor bundna till vissa övre höjder vid 100 års biologisk ålder. Av praktiska skäl skulle emellertid klassificeringen baseras på beståndets brösthöjdsålder och övre höjd.

Höjdboniteten är endast en av flera tänkbara kännetecken som kan uttrycka ståndortens bonitet. En skara höjdutvecklingskurvor bildar inte ett färdigt utvecklat boniteringssystem, för än sambandet mellan höjdutvecklingen och virkesproduktionen har klargjorts.

Vissa ekonomiska och praktiska skäl satte restriktioner för genomförandet av undersökningen. Sålunda måste **grundmaterialet** utgöras av redan tidigare insamlat data. Tillsammans 1069 tallytor blev basen för höjdutvecklingskurvorna. Ytorna var huvudsakligen ett övervägd urval från 1626 ytor i NFI3-data använd för utveckling av volymtillväxtfunktionen fA1.1. Den 3dje riksskogstaxeringens tillfälliga ytor blev vald, därför att den stora ytstorleken avspeglade mycket bra hela beståndet, och övre höjden

var skattat på varje provyta. I tillägg representerade data en vid tallpopulation. Ett höjdbonitetsystem baserat på ett sådant material ansågs representera ett realistiskt produktionsnivå under praktiska förhållanden.

I det totala antalet ytor (1069) ingick också ett tilläggsmaterial på tillsamman 77 ytor i tallbestånd. Dessa omfattade 40 tillfälliga ytor använd av Vuokila (1965), och 37 permanenta tillväxtytor knutna till NFI6- och NFI7-traktsystem (INKA-ytor, Gustavsen et al. 1988). Tilläggsdata omfattade självsådda bestånd, yngre än 40 år och äldre än 70 år, på de allra bördigaste ståndorterna. Detta blev gjord för att få en jämnare fördelning av observationer på övre höjd-ålder än NFI3-data alena uppvisade. Huvudmängden av de valde NFI3-ytorna (ca. 50%) låg på medelgod momark, och resten på friska och torra momarker.

Vid urval av NFI3-data blev populationen begränsad till utvecklingsklasserna: plantskogs- och störbestånd, klenare och grövre gallringsbestånd och förnyelsemogna bestånd. Bestånd klassificerade till klassen: **blädningsbestånd, var inte med** i data för bonitetskurvorna. Endast provytebestånd yngre än biologisk ålder 140 år togs med.

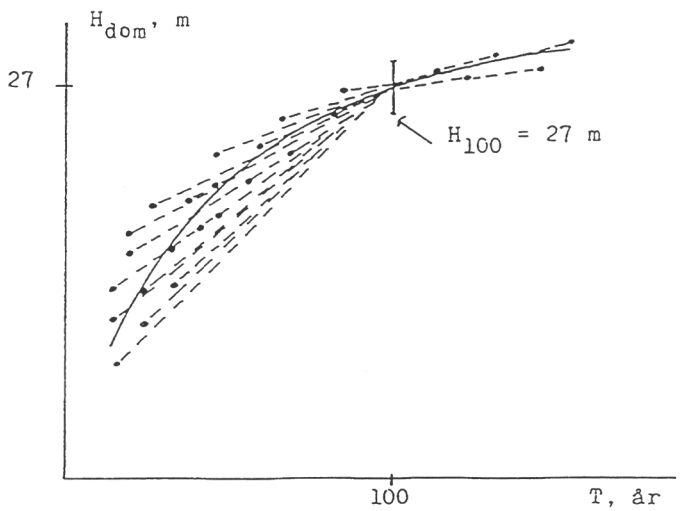
Det slutliga tallmaterialet fördelade sig med 501 beståndytor på Norra Finland och med 568 på Södra Finland. Materialet uppvisade en typisk normalfördelning för övre höjd över åldern (Figur 3 i A3) och för skogstyperna. Variationen och medelvärderna för beståndsåldern, övre höjden och övre höjdens tillväxt i hela materialet har redogjorts i Tabell 1 i A3. Utfyllande redogörelse för grundmaterialet finns hos Gustavsen (1982).

De nordfinska tallbestånden fördelade sig i medel på något lägre övre höjder än de sydfinska (Figurna 1a och 1b i A3). En därtillhörande fråga var om man kunde utveckla ett gemensamt höjdutvecklingssystem för Södra och Norra Finland delområden? För att avgöra detta, utvecklades skilda höjdtillväxtfunktioner för Södra och Norra Finland, och för hela landet enligt modell 26 (Modell 1 i A3, se också 1.3.2). Testning (F-test, Huang 1970) av funktionerna gav inga signifikanta F-värden, varken med biologisk ålder eller brösthöjdsålder som oberoende variabel tillsammans med beståndets övre höjd. Man kunde inte förkasta noll-hypotesen, som därmed betydde att höjdutvecklingen kunde anses vara någonlunda den samma på likadana boniteter inom delområderna. Också de följande värderna för övre höjdtillväxten (I_{Hdom}), skattat med modell 26 enligt fritt valda kombinationsvärden för T och H_{dom}, stadfästade detta:

T, år	H_{dom}, m	I_{Hdom}, cm	
		Södra Finland	Norra Finland
30	7	30	28
60	14	16	19
100	20	10	11

I de inledande studierna blev också använd tillväxtfunktion 25 (se 1.3.2) och en integrallösning av denna (Modellerna 2 och 3 i A3). Dessa två funktioner utvecklades med icke-linjär regressionsanalys enligt minsta kvadraternas princip, där parametrarna skattas med gradientmetod i stegvis iteration. Det förelåg två färdiga programm enligt Sloboda (1971), där modell 25 anpassas det Wolfska riktningsfältet (Figur 3 och Figur 7), bestämt av höjdtillväxten, övre höjden och åldern. Integrallösningen anpassas direkt till övre höjd-ålder observationer (övre höjdutvecklinger) utan riktningsfältet.

Tillväxtfunktionerna 25 och 26 gav tillnärmat likadana övre höjdutvecklingskurvor inom centrala områden för övre höjden och åldern. Båda gav emellertid för höga värden för övre höjden i beståndens yngsta utvecklingsfas på de bästa boniterna; dvs att kurvskaran spridde sig för mycket ut i höjdriktningen i beståndsåldersintervallet 20 - 30 år. Därför blev de slutliga bonitetskurvorna utvecklat på basen av integrallösningen av 25, fastän denna modell i först hand var utvecklat för data bestående av kontinuerliga övre höjdutvecklingsförlopp från stamanalyser eller från upprepande mätningar på fasta försöksytor. Man ansåg också att uppskattningen av övre höjden var säkrare än höjdtillväxten på engångsytorna, och att de enskilda övre höjdobservationerna, tillhörande samma höjdbonitet, kunde sammanbindas (utjämnas) till kontinuerliga utvecklingsförlopp (Figur 11), till vilka en kurvskara enligt intergrallösningen kunde anpassas.



Figur 11. Scematisk bild av utjämning av övre höjd-åldersobservationer från engångsytor tillhörande samma höjdbonitetsklass till kontinuerlig övre höjdutvecklingskurva (enligt Gustavsen 1982).

Metoden krävde att höjdbonitetsklassen (H_{100}), dvs övre höjden vid 100 års biologisk ålder, måste förutsägas för varje provytebestånd (Figur 11) för den icke-linjära regressionsanalysens början. Estimeringen blev gjord på basen av provytebeståndens skogstyp, ålder, över höjd och övre höjdens tillväxt i grundmaterialet. För bestånd nära 100 års ålder var skattningen relativt säker och okomplicerat. Ett realistiskt mål var att varje observation skulle prognostiserats till rätt 3 meters klass. Från dessa bestånd, som var nära kring 100 år gamla, kunde man beräkna H_{100} - värden för olika skogstyper, som igen gav hjälp för skattningen av de yngre bestånden. På grund av denna osäkerhet, som naturligt var knuten till skattningen av de yngste beståndens H_{100} - värden, blev också brukt uppgifter om beståndens övre höjdutveckling på olika skogstyper enligt tidigare finska undersökningar.

Därefter blev följande höjdutvecklingsfunktion (fA3.1) utvecklat för talldominerade bestånd över hela landet:

$$H_{dom} = 128.229 \cdot \left[\left(\frac{H_{100}}{128.229} \right)^{\exp\left(\frac{4.70248}{T^{0.47692}} - \frac{4.70248}{100^{0.47692}} \right)} \right], \textbf{(fA3.1)}$$

$n = 1069$, $b_e = -0.81$, $br_e = -5\%$, $s_f = 1.67$, $s_e = 10.4\%$

Funktionen var ett **slutresultat** av 400 iterationsronder med Modell 3 i A3 i en icke-linjär regressionsanalys.

För beräkning av höjdbonitetsindexen enligt totalåldern, löstes funktionen fA3.1 m h p H_{100} :

$$H_{100} = 128.229 \cdot \exp\left[\frac{\ln H_{dom} - \ln 128.229}{\exp\left(\frac{4.70248}{T^{0.47692}} - \frac{4.70248}{100^{0.47692}} \right)} \right]$$

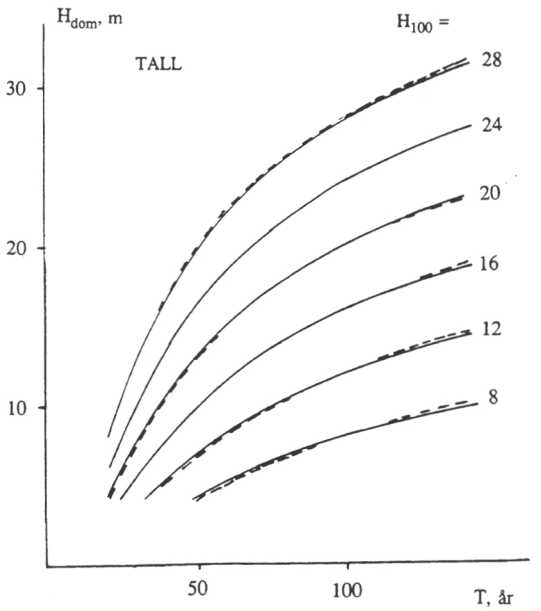
Används brösthöjdåldern, måste man istället för T i funktionen bruka $T_{1.3} + t(1.3m)$. Tiden som tallbestånden brukar för att växa till 1.3 meters höjd (t(1.3m)) på de olika höjdboniteterna framgår av Figur 8 i A3. Tiden till brösthöjd skattades från en grafisk utjämningskurva, där värderna för t(1.3m) för olika boniteter var erfarenhetstal från riksskogstaxeringarna och estimat från funktion fA3.1 för övre höjden lik 1.3 m.

Med hjälp av dessa värderna för tiden till brösthöjd och totalåldern, blev de slutliga övre höjdsutvecklingskurvorna (Figur 8 i A3) utvecklat på basen av funktion fA3.1. Höjdbonitetsindexen anger övre höjden vid 100 års totalålder (biologisk ålder), medan klassificeringen sker enligt beståndets brösthöjdsålder och övre höjd. Bonitetskurvorna blev sålunda baserad på samma princip som de svenska enligt Hägglund (1972, 1974), endast med den skillnad att bonitetsindexen angavs för 3 meters klasser och icke för 4 meters klasser. Brösthöjdsåldern var att föredraga vid klassificering av självsådda bestånd, då den är lättare att noggrannt bestämma medelvärdet av antalet årsringar i brösthöjd för överhöjdträden än beståndets totala ålder.

Höjdutvecklingsfunktionens (fA3.1) **tillförlitlighet** granskades med residualstudier, och med jämförelse till några andra undersökningar (Figur 6, 10 och 11 i A3). Residualgranskningen visade en sned fördelning med hänsyn till skattat övre höjd och totalålder. Funktionen underskattade höjden i unga bestånd och överskattade i gamla bestånd. En motsvarande granskning mot bonitetsindexet H_{100} visade däremot inte någon klar systematisk trend i residualerna. Kontroll mot övre höjdens tillväxt visade en systematisk svag överskattning av låga tillväxter och en underskattning av höga.

Orsaken till den systematiska trenden i residualerna kunde bero på den osäkerhet som var bunden till prognostisering av H_{100}-värderna före estimeringen av funktionens parametrar. För att studera detta gjordes en riktgivande subjektiv test, där H_{100}-värderna skattades på nytt för de observationer som hade ett avvik ($H_{dom} - \hat{H}_{dom}$)

större än en bonitetsklass (3 meter). Man företog därpå en ny iterationskörning (400 ronder). Detta upprepades för fyra påföljande iterationskörningar, och man fick ett ändrat residualbild (Figur 7 i A3) utan systematiska trender och nya värden för funktionens parametrar (se A3). Resultatet var emellertid att ändringarna i höjdutvecklingskurvornas förlopp enligt de nya parametrarvärderna var minimala (0.1 - 0.2 m) (Figur 12). Själv om testningen inte var teoretiskt sätt objektiv och fullt relevant, gav den ett tecken på att den systematiska trenden i residualerna enligt första analys, inte hade stor betydning för det slutliga höjdbonitetsystemet.



Figur 12. Jämförelse mellan de slutliga höjdutvecklingskurvorna enligt fA3.1 (——) och de enligt nya parametrar från fyra påföljande iterationskörningar med samma funktionsmodell (- - - - -)(enligt Gustavsen 1982).

Det mest avgörande för tillförlitligheten av bonitetskurvorna var dock kvaliteten på data. En nackdel var att riksskogstaxeringens material icke var insamlat för ändamålet att utveckla höjdbonitetskurvor. Detta framgick också av fördelningen av observationerna (Figur 3 i A3), där man hade en mängd "oeffektiva" observationer kring medelvärden; dvs över-representation. En jämnare fördelning av ålder- och övre höjdobservationer vore speciellt önskvärt vid utarbetning kurvor för bonitering. En annan nackdel var att data härstammade från engångsytor. Möjligheterna för att använda flera olika modeller och metoder försvårades av detta skälet. I ett material bestående av Engångsytorna med lösryckta observationer och en sned fördelning av dessa på t ex låga boniteter och på höga åldrar kring 100 år (Figur 1a och 1b i A3), blev avgörande för val av modell och metod i undersökningen. Materialets starka sida var att det representerade en mycket vid population av naturliga tallskogar över hela landet.

För att lätta **tillämpningen** presenterades bonitetsystemet också som numeriska tabeller för bonitering enligt brösthöjdsålder och totalålder (Bilagor i A3).

Följande begränsningar och krav blev angitt för tillämpningen bonitets-kurvorna:

- övrehöjdträdens ålder i brösthöjd får inte variera med mer än 20 - 30 år
- huvudträdslagets andel borde vara mer än 60% av hela beståndets volym
- beståndet borde endast vara behandlat med låggallringar
- dikade och gödslade bestånd var inte med i grundmaterialet, och därför fås felaktig bonitet med de utvecklade kurvorna
- beståndets övre höjd och ålder borde vara inom de gränser som framgår av Figur 8 i A3; eventuell extrapolation kan medföra systematiska fel
- bonitering av bestånd med brösthöjdsålder yngre än 15- 30 år eller med övre höjd lägre än 7 meter, ger osäkra skattningar av höjdboniteten

2.5 Uppsummering

Funktionerna i originalpublikationerna bildar en enhet med hänsyn till data och val av inputvariabler. Funktionerna har utvecklats med det för öga att de skulle kunna ge volymtillväxten för olika tallbestånd i olika utvecklingsskeden, och också tjäna som bas för skattning av volymutvecklingen på olika höjdboniteter. Undersökningen angående beståndens övre höjdutveckling (A3) ingick därför i undersökningen av naturliga skäl. Övre höjden var också en viktig variabel i volymtillväxtfunktionerna.

Det följande sammanhanget: $V = F \cdot G \cdot H_{dom}$ bildar bas för en enkel simuleringsmodell för beståndsutvecklingen. Tillväxtfunktionerna tillsammans med formtalsfunktioner (t ex Gustavsen & Fagerström 1983) möjligtgjorde bruk av denna simuleringsmodellen. Exempel blev redan vist för utvecklingen i glesa och normala bestånd (Figur 10).

Det finns emellertid vissa svagheter med hänsyn funktionerna, som gör att skattningen av beståndsutvecklingen över hela omloppstiden blir osäker. Funktionerna i A1 och A2 har utvecklats i första hand för skattning av volymtillväxten i en kommande 5års-period. En simulering över längre perioder har inte studerats mycket och kan troligen leda till systematisk överestimering om man inte har realistiska gallringsprogramm.

Övre höjdutvecklingsfunktionen har utvecklats på basen av mätningsdata från engångsytor, som måste ansees vara något osäkra. Grunddata härstammar från en relativt lång tid tilbaka, då skogsbehandlingen var något avvikande från nutida. I tillägg måste preciseras att alla funktionerna har endast i begränsad mån blivit validerat med oavhängigt material. Den riktningsgivande granskning av volymtillväxtprocentfunktionerna i A1, baserat på endast volym och ålder, har allmänt givit ett tillfredställande resultat. Ingen kontroll har emellertid blivit gjort av huvudfunktionerna med nytt oavhängigt material. Slutsatsen från en helhetsvärdering vore därför att det inte förelåg tillräckliga uppgifter om originalfunktionernas noggrannhet eller validitet i en tillämpningssituation.

Detta blev därför en utgångsbas för den föreliggande undersökningen, där frågor kring funktionernas struktur och tillämpning har blivit behandlat.

3 MATERIAL OCH METODER

3.1 Materialens urval, läge och mängd

I det följande har i första hand beskrivits de oavhängiga testmaterialen. Grundmaterialet (NFI3-data) för originalfunktionerna har beskrivits i delpublikationerna (A1- A3). Variablernas variations- och medelvärden för NFI3-data har emellertid upprepats i vissa tabeller, för att underlätta en jämförelse av test- och grunddata. Det gamla grundmaterialet har också blivit brukt i denna undersökningen för granskning av volymtillväxten på regionalt nivå. Grundmaterialet för glesa tallbestånd i A2 har givits benämningen GLESNFI3-5-data.

Testmaterialen representerade talldominerade bestånd uppmätt under perioden 1976 - 1993. Testdata valdes, enligt den strategi, att funktionerna i fråga kunde granskas inom geografiskt stora och små områden. Man önskade också att prova funktionerna inom mer speciella områden, där de skogliga förhållanden ansågs vara extrema med hänsyn tillväxtens nivå i relation till medeltillväxten i allmänhet för finsk tallskog. Man eftersträvade bl a data från stora permanenta ytor knutna till riksskogstaxeringarnas systematiska traktsystem, där tillväxten hade beräknats från ett relativt högt provträdsantal i varje bestånd. Bruk av riksskogstaxeringens data i allmänhet vore önskligt av hänsyn till bättre generalisering av resultaten.

I undersökningen har blivit brukt seks oavhängiga testdata:

1. Data från landsomfattande fasta beståndsytor knutna till den 6tte och 7de riksskogstaxeringens systematiska traktsystem, **INKA-data**

2. Data från fasta beståndsytor knutna till den 5te riksskogstaxeringens systematiska traktsystem i Lapplands skyddskogsområde, **SKYDDINKA-data**

3. Data från fasta beståndsytor knutna till den 7de riksskogstaxeringens systematiska traktsystem i Österbottens kustområde, **KUSTINKA-data**

4. Data från engångsytor (relaskopsytor) i den 8de riksskogstaxeringens systematiska traktsystem för 10 skogsnämnder i Södra Finland, **NFI8-data**

5. Data för talldominerade bestånd med låga virkesförråd (glesa) valda från INKA-data, **GLESINKA-data**

6. Data för talldominerade bestånd med låga virkesförråd valda från NFI8-data, **GLESNFI8-data**

Det slutliga antalet ytor i testmaterialen plockades ut med ungefär de samma krav och begränsningar, som för originalfunktionernas. Ytorna representerade enskiktiga talldominerade bestånd på momarker, där tallens andel var 50% och mer av beståndets totala volym. De samma utvecklingsklasser var representerade i testmaterialen som i NFI3-data, bortsett fra gruppen blädningsbestånd.

INKA-data var det viktigaste testmaterialet i undersökningen. Data blev insamlat från ett nät av permanenta ytor lagt ut över hela landet i bl a talldominerade bestånd. Syfte med INKA- ytorna var att ge mätningsdata för utveckling av framtidiga produktions- och tillväxtmodeller. Dessa borde kunna ge en representativ bild av utvecklingen i olikt behandlade ekonomiskogar.

Grundpopulationen var begränsat till tallbestånd växande på friska, medelgoda och torra momarker. Bestånden skulle vara minst 0.5 ha stora, enskiktade, utvecklingsdugliga, sunda, och samt höra till utvecklingsklasserna: plant- och störstadiet, ungt och moget utvecklingsbestånd. För Södra Finlands del togs också med en liten andel av föryelsesmogna bestånd och fröträdställningsbestånd. Några bestånd klassificerade som glesa och oskötta bestånd blev också representerad. Beståndets övre höjd skulle vara över 5 meter.

Ramen för INKA-ytorna var det systematiska urval som den 6tte och 7de riksskogstaxeringen representerar. Dessa systematiska urval var beskrivna med figurvisa data omfattande trädantal, volym och andra ståndorts och beståndsuppgifter. INKA-ytorna representerade ett uppmätt del-urval från denna grundpopulation. Detta sampel blev valt enligt stratificerad slumpmässig urval, där optimal allokering eftersträvades. Strata för de talldominerade bestånden omfattade Södra Finlands f d skogsnämnder (1-15) förutom Åland, och Norra Finlands skogsnämnder (16-19), förutom Lapplands kommuner Inari, Utsjoki och Enontekiö.

I varje INKA-bestånd blev uppmätt träden på en beståndsyta (clusteryta) bestående av tre cirkelytor. Medelpunkten för den första cirkelytan bestämdes enligt den relaskopsyta, som hade blivit valt ur riksskogstaxeringens skifte. De tre cirkelytorna som bildade clusterytan, låg inom en avstånd på 40 meter från varandra i samma bestånd. Clusterytans storlek varierade enligt beståndens täthet, men trädantalet per hektar för hela clusterytan skulle vara minst 120 träd per hektar i Södra Finland, och vara minst 100 träd per hektar i Norra Finland.

För alla träden på varje cirkelyta bestämdes trädslag, brösthöjdsdiameter och trädens koordinater (avstånd och riktning från ytans mittpunkt). En mindre provträdscirkelyta begränsades inom alla trädens cirkelyta. Dess storlek var 1/3 av hela ytans storlek. För hela beståndets clusterprovträdsyta (3 delprovsytor) eftersträvades 30 - 40 provträd, på vilka mätades diametern på 6 meters höjd, den gröna kronans längd och trädens höjd. Enligt instruktionen skulle träd med brösthöjdsdiameter större än 2.5 cm klavas för bestånd i plant- och störstadiet, och träd större än 5 cm för andra utvecklingsklasser.

INKA-ytorna anlades i perioden 1976 - 1983, och mätades på nytt två gånger, efter 5 och 10 år. Det betydde att tillväxten för två 5-årsperioder var tillgängligt från tidperioden 1976 till 1993.

Det slutliga INKA-materialet omfattade 429 clusterytor i talldominerade bestånd över hela landet (Tabell 5). Detta var ca 75% av alla INKA-ytor anlagda i tallskog. Alla kunde emellertid inte utnyttjas då en del låg på torvmarker.

Ytorna låg fördelade med huvudvikt på medelgoda momarker, men också friska moer var gott representerade i materialet. Huvudinteresset i denna undersökningen var emellertid knuten till beståndens volymtillväxt för en eller två 5-årsperioder. Antalet 5-års tillväxtperioder var i alt 806, i vilka endast ca 60 tillväxtperioder var klart behandlade med gallringar. De resterande perioderna representerade ungefär obehandlade tillstånd, där endast naturlig avgång och små reduceringar av trädantalet inom perioden hade funnits sted.

Tabell 5. Tillväxtperiodernas (5år) fördelning på övre höjds - och åldersklasser i INKA-data (= 429 beståndsclusterytor).

						Hdom, m										
		5.01	7.01	9.01	11.01	13.01	15.01	17.01	19.01	21.01	23.01	25.01	27.01			
T. years	- 5.00	-7.00	-9.00	-11.00	-13.00	-15.00	-17.00	-19.00	-21.00	-23.00	-25.00	-27.00	-29.00	*Total*	*S-F*	*N-F*
1 - 10														0	0	0
11 - 20		8	2											10	10	0
21 - 30		14	37	30	4									85	81	4
31 - 40		8	29	19	15	5								76	42	34
41 - 50		7	22	23	10	7	11	1	2					83	23	60
51 - 60		6	18	22	11	3	5	9	9	2				85	24	61
61 - 70		1	13	19	17	11	5	1	5	5				77	16	61
71 - 80			2	13	31	10	13	3	6	3	4			85	23	62
81 - 90		1	3	8	17	20	10	8	7	6	5	2	1	88	26	62
91 - 100				4	5	17	15	13	11	6	3	3	1	78	25	53
101 - 110			2		4	5	10	9	14	3	6	1	1	55	15	40
111 - 120				1	1	5	8	7	6	1				29	2	27
121 - 130					1	4	4	8	3					20	0	20
131 - 140				1	4	3	2	3	2					15	0	15
141 - 150					1	1	7	2	2	1				14	0	14
151 - 160														0	0	0
161 - 170						2	1							3	0	3
171 - 180						1								1	0	1
181 - 190							1	1						2	0	2
S-F		20	50	47	24	13	27	20	35	24	18	6	3			
N-F		25	78	93	97	81	65	45	32	3	0	0	0			
Totalt	0	45	128	140	121	94	92	65	67	27	18	6	3	806	287	519

SKYDDINKA-data omfattade data från två revisionsmätningar på clusterytor med tre delytor, som för INKA-ytorna, i talldominerade bestånd inom Lapplands skyddskogsområde. Ytorna anlades i perioden 1978 - 1980, och tillväxtdata representerade den påföljande 10-årsperioden (andra revision 1988 - 1990).

Grundpopulationens ram var den 5te riksskogstaxeringens flygbild- och fältmätningsdata i Norra Lappland. Insamling av data och anläggning av clusterytorna skilde sig mycket lite från INKA-ytornas. 100 klavningsträd eftersträvades inom hela clusterytan och därav 30 provträd.

Ytorna låg på friska, medelgoda och torra momarker. Populationens särprägel jämfört med INKA-data, var att tallbestånden hade varit obehandlade över relativt långa perioder. Också deras norrliga belägenhet i högre höjdlag gav populationen sin egen prägel. Det slutliga materialet omfattade 72 clusterytor och tillväxtperioder i tallbestånd (Tabell 6).

KUSTINKA-data insamlades i perioden 1992 - 1993 från fasta ytor inom Österbottens kustområden anlagda enligt INKA-ytornas instruktion. På grund av att man snabbt ville ha tillgängligt tillväxtdata, borrades stående provträd vid anläggningen. Endast data från mätningar på 39 clusterytor anlagda år 1992 i talldominerade bestånd (Tabell 7), var tillgängligt i denna undersökningen. 45 provträd inom varje bestånds(cluster)yta var bas för beräkning av provytebeståndets volymtillväxt (15 provträd per del-yta). 120 klavningsträd eftersträvades för hela clusterytan, och brösthöjdsdiameter och koordinater blev bestämd för varje träd.

Den beräknade volymtillväxten gäller för 5- årsperioden 1987 - 1991 före anläggning, och skattades med tillbakaberäkning av årsringar och toppskott på provträden. Då ytorna blev anlagda i bestånd, där inte huggningar har förekommit i 5-årsperioden för anläggningen, kan volymtillväxten karaktäriseras som den totala tillväxten i perioden.

Beståndenrepresenterade en grundpopulation med ram gett av den 7de riksskogstaxeringen. Det speciella med detta testmaterialet var att mätningsdata har tagits från bestånd i ett sådant kustområde, där skogsmarken präglas av ett geologiskt ungt ursprung.

Tabell 6. Tillväxtperiodernas (10 år) fördelning på övre höjds- och åldersklasser i SKYDDINKA-data (= 72 clusterytor).

	Hdom. m													
		5.01	7.01	9.01	11.01	13.01	15.01	17.01	19.01	21.01	23.01	25.01	27.01	
T. år	-5.00	-7.00	-9.00	-11.00	-13.00	15.00	-17.00	-19.00	-21.00	-23.00	-25.00	-27.00	-29.00	*Totalt*
1 - 10														0
11 - 20														0
21 - 30														0
31 - 40		1	1	1										3
41- 50														0
51 - 60		1	3	1	2									7
61 - 70		1	4	5	1									11
71 - 80			3	8	3									14
81 - 90				3	4	4	1							12
91 - 100						4								4
101 - 110					1									1
111 - 120						3								3
121 - 130						1	1							2
131 - 140					1	1								2
141 - 150							1							1
151 - 160									1					1
161 - 170						1								1
171 - 180														0
181 - 190					2									2
191 - 200						2	1							3
201 - 210						1								1
211 - 220						1	2							3
221 - 230							1							1
Totalt	0	3	11	18	14	18	7	0	1	0	0	0	0	72

Tabell 7. Tillväxtperiodernas (5 år) fördelning på övre höjds- och åldersklasser i KUSTINKA - data (= 39 clusterytor).

	Hdom. m													
		5.01	7.01	9.01	11.01	13.01	15.01	17.01	19.01	21.01	23.01	25.01	27.01	
T. år	- 5.00	-7.00	-9.00	-11.00	-13.00	-15.00	-17.00	-19.00	-21.00	-23.00	-25.00	-27.00	-29.00	*Totalt*
1 - 10														0
11 - 20	1	2	1											4
21 - 30		2	1	5	1	1								10
31 - 40					3	1	1							5
41 - 50							1	1						2
51 - 60							1		1					2
61 - 70						1	1							2
71 - 80							1	2	2					5
81 - 90							1	1						2
91 - 100								1	1	2				4
101 - 110							1	1	1					3
111 - 120														0
121 - 130														0
131 - 140														0
141 - 150														0
151 - 160														0
161 - 170														0
171 - 180														0
181 - 190														0
Totalt	1	4	2	5	4	3	7	6	5	2	0	0	0	39

NFI8-data omfattade 849 engångsytor (Tabell 8) valda från den 8de riksskogstaxeringens tillväxtytor i tio skogsnämnder uppmätt 1986-1989 inom Södra Finland (se Salminen 1993). Engångsytorna var relaskopsytor, där provträdstagning och mätningar var enligt det ursprungliga gamla systematiska traktsystemet för tidigare riksskogstaxeringar. På de valda ytorna var alla träd tillväxtprovträd, och antalet var i genomsnitt ca 7 - 8 träd per relaskopsyta. Provträdantalet kunde emellertid variera mycket från yta till yta i det utvalda materialet. I några fall var provträden 20 och i andra fall endast 3 - 4 träd, alt efter beståndets täthet. Ytstorleken kunde anslås i genomsnitt till 150 m^2, med ett variationsintervall från ca 100 till 300 m^2. Ytorna måste därför karakteriseras som relativt små jämfört med de permanenta ytorna.

Skattningen av beståndets volymtillväxt i NFI8 blev baserad på borrning av provträd, och på tilbakaräkning av provträdens höjdtillväxt för den förgångna 5-årsperioden. Provträden klavades i brösthöjd med 1 mm's noggrannhet. Barktjocklek i brösthöjd, brösthöjdsålder, diametern på 6 meters höjd, samt höjden blev också bestämd. Totalåldern blev skattat med ett ålderstillägg till brösthöjdsåldern. Mätningarna för skattning av volymtillväxten motsvarade de som blev gjord för KUSTINKA-data. Antalet provträd per bestånd var emellertid i genomsnitt betydligt lägre och ytstorleken betydligt mindre. En annan skillnad var att NFI8-bestånden omfattade också bestånd som var gallrade i tillväxtperioden. Volymtillväxten representerar därför endast tillväxten för de stående träden vid periodens slut.

Vid utplockning av NFI8-data blev satt de samme krav till grundpopulationen som för INKA-ytorna. Alla ytor i tallbestånd på bördiga till mycket näringsfattiga momarker blev tatt med i det slutliga materialet. Heller inga restriktioner med hänsyn till beståndens "kvalitet" blev gjort.

Tabell 8. Tillväxtperiodernas (5 år) fördelning på övre höjds- och åldersklasser i NFI8 - data (849 relaskopsytor inom Södra Finlands 10 sydligaste skogsnämnder).

	H dom. m															
	5.01	7.01	9.01	11.01	13.01	15.01	17.01	19.01	21.01	23.01	25.01	27.01	29.01	31.00		
T. år	- 5.00	-7.00	-9.00	-11.00	-13.00	-15.00	-17.00	-19.00	-21.00	-23.00	-25.00	-27.00	-29.00	-31.00	-33.00	*Totalt*
1 - 10																0
11 - 20		17	11	10	6											44
21 - 30		14	30	37	16	6	5									108
31 - 40		3	12	18	11	23	5	3								75
41 - 50			4	7	14	9	16	12	5	1	1	1				70
51 - 60			2	2	6	12	11	19	14	6	2					74
61 - 70				3	6	5	6	12	15	10	5	2				64
71 - 80				2	4	3	13	12	21	8	11	4	2			80
81 - 90		1	2	2	4	4	12	16	19	11	9	13	2		1	96
91 - 100				1	3	5	10	10	15	15	3	11	1			74
101 - 110			1		2	5	8	6	15	11	8	7	2			65
111 - 120				1	1	4	4	6	12	5	2		1			36
121 - 130			1		1			7	4	3	1	2	1			20
131 - 140						3	4		5	1	3	3		1		20
141 - 150							1	2	2	1	2		1			9
151 - 160				1				2		3		1				7
161 - 170									1	1						2
171 - 180							2									2
181 - 190											1					1
191 - 200						1										1
201 - 210																0
211 - 220										1						1
Totalt	0	35	63	84	74	80	97	107	128	77	48	44	10	1	1	849

GLESINKA-data och GLESNFI8-data valdes med de samma restriktioner som för data (GLESNFI3-5) brukt vid utveckling av volymtillväxtfunktionen för "glesa" naturligt föryngrade talldominerade bestånd (fA2.1) (avsnitt 2.3). Bestånd med båda grundyta och trädantal lägre än värderna angivna i Tabell 4 blev valda (Tabell 9 och 10). Dessa dataset valdes för i utvärdering av tillväxtfunktionen fA2.1.

Tabell 9. Tillväxtperiodernas (5 år) fördelning på övre höjds- och åldersklasser i GLESINKA -data (41 clusterytor).

	Hdom. m													
	5.01	7.01	9.01	11.01	13.01	15.01	17.01	19.01	21.01	23.01	25.01	27.01		
T. år	- 5.00	-7.00	-9.00	-11.00	-13.00	-15.00	-17.00	-19.00	-21.00	-23.00	-25.00	-27.00	-29.00	*Totalt*
1 - 10														0
11 - 20														0
21 - 30					2									2
31 - 40					3	1								4
41 - 50														0
51 - 60				1				1	2					4
61 - 70				2										2
71 - 80				4	4			1						9
81 - 90				2	3									5
91 - 100					1			2	1					4
101 - 110								1	1					2
111 - 120														0
121 - 130					1	3		1						5
131 - 140				1				1						2
141- 150							2							2
Totalt				10	14	4	2	7	4					41

För mer information om NFI8-data hänvisas t ex Korhonen (1994) och om INKA-, SKYDDINKA-och KUSTINKA-data till Gustavsen et al. (1988), Timonen et al. (1993) och Karlsson (1996a).

Tabell 10. Tillväxtperiodernas (5 år) fördelning på övre höjds- och åldersklasser i GLESNFI8 -data (=224 relaskopsytor).

	Hdom. m													
	5.01	7.01	9.01	11.01	13.01	15.01	17.01	19.01	21.01	23.01	25.01	27.01		
T. år	- 5.00	-7.00	-9.00	-11.00	-13.00	-15.00	-17.00	-19.00	-21.00	-23.00	-25.00	-27.00	-29.00	*Totalt*
1 - 10														0
11 - 20				3	6									9
21 - 30				9	8	4	3							24
31 - 40				4	5	9	3							21
41 - 50					5	4	7	5	3			1		25
51 - 60				1	2	5	5	3	6	2	1			25
61 - 70				1	1	2	1	3	3	2	2	1		16
71 - 80					1	1	4	3	2	2	1	1		15
81 - 90					2	2	3	4	7	2	1	2		23
91 - 100						1	5	3	2	8		4		23
101 - 110						3	1	1	7	6	2	1		21
111 - 120							1	1	6	3				11
121 - 130					1			1			1	1		4
131 - 140							1		1					2
141- 150								1	1	1				3
151 - 160				1										1
161 - 170										1				1
Totalt	0	0	0	19	31	31	34	25	38	27	8	11	0	224

3.2 Primärbearbetning och variabelvärden

Primärbearbetning betydde i först hand den beräkning av det i fält insamlade mätningsmaterial, som igen ledde till data i sådan form att tillväxtfunktionerna kunne granskas eller nya utvecklas med regressionsanalys.

För data från de fasta INKA-, SKYDDINKA- och KUSTINKA-ytorna, blev brukt standardiserat primärbearbetning enligt Skogsforskningsinstitutets rutin (KPL-beräkning, Heinonen 1994). Beräkningen gav som resultat estimat för beståndets volymtillväxt, volym, övre höjd, grundyta och trädantal etc.

Tabell 11. Genomsnittlig årlig volymtillväxt, m^3/ha/år och volym, m^3/ha (inom parantes) i de olika testmaterialen och orginalfunktionernas grundmaterial (NFI3-data).

Material-	T. år									
	-39	40 - 59	60 - 79	80 - 99	100 - 119	120 - 139	140 - 159	160 - 179	180+	Medel värde
NFI3- data	5.3	4.6	3.5	2.9	2.3	1.6	1.3	1.0	1.0	3.0
	(47.9)	(75.1)	(80.0)	(87.9)	(82.5)	(75.8)	(66.8)	(62.0)	(69.9)	(77.6)
INKA- data	7.3	5.1	3.7	3.8	3.3	2.3	2.0	2.4	2.0	4.6
	(54.6)	(77.5)	(89.2)	(130.8)	(150.2)	(104.9)	(120.7)	(97.8)	(111.2)	(96.6)
NFI8-data	6.8	6.7	5.7	4.4	3.8	3.8	3.1	2.9	3.3	5.5
	(52.5)	(117.7)	(158.9)	(151.0)	(148.2)	(165.6)	(175.6)	(123.7)	(163.2)	(121.7)
SKYDDINKA- data	0.8	1.1	1.6	1.9	1.5	1.1	2.0	1.6	1.2	1.5
	(47.9)	(36.5)	(43.1)	(89.0)	(91.8)	(73.4)	(137.9)	(112.0)	(109.4)	(70.4)
KUSTINKA- data	6.7	8.6	5.2	4.5	3.9	-	-	-	-	6.1
	(60.4)	(160.8)	(136.7)	(184.8)	(184.4)	-	-	-	-	(114.3)

I KPL-beräkningen blev brukt två alternativa beräkningsmetoder för estimering av den periodiska volymtillväxten. Det vanliga förfarandet för fasta försöksytor, där volymtillväxten fås som en differens mellan estimerat beståndsvolym vid början och slutet av tillväxtperioden (differensmetoden, avsnitt 1.1), blev brukt för INKA- och SKYDDINKA-data. För KUSTINKA-ytorna blev brukt metoden baserats på diameter- och höjdtillväxt från provträd. I det sista fallet blev värderna för beståndskännetecken vid periodens början beräknat med reduktion, enligt tillväxtuppgifterna, av variablernas värden vid tillväxtperiodens slut. Förfarandet var det samma som blev brukt vid beräkning av orginalfunktionernas grundmaterial NFI3-data och testdata NFI8-data. NFI8-data beräknades emellertid enligt riksskogstaxeringens egna rutin för engångsytor (Korhonen 1994).

Tabell 12. Extrem- och medelvärden (inom parantes) för några beståndskännetecken i olika testmaterial och i orginalfunktionernas grundmaterial (NFI3-data).

Material-	T	V	G	Hdom
	år-yrs	m^3/ha	m^2/ha	m
NFI3-data	15 - 295 (91)	2.2 - 389.2 (77.5)	0.8 - 35.1 (11.3)	4.5 - 26.2 (14.6)
INKA-data	17 - 188 (71)	5.9 - 349.4 (96.6)	1.8 - 37.1 (14.7)	6.1 - 27.6 (13.3)
NFI8-data	15 - 213 (69)	3.8 - 453.9 (121.7)	1.3 - 39.4 (15.7)	6.0 - 31.0 (16.4)
SKYDDINKA-data	35 - 230 (100)	4.9 - 196.0 (70.4)	1.1 - 27.5 (11.7)	5.4 - 20.6 (11.8)
KUSTINKA-data	16 - 110 (53)	6.5 - 319.1 (114.3)	2.4 - 33.0 (16.2)	5.0 - 22.1 (14.1)

Tabell 13. Medelvärden för några beståndskännetecken inom olika skogsnämnder i testmaterialen INKA- och NFI8 - data och i orginalfunktionernas grundmaterial (NFI3-data).

Skogsnämnden	Iv, m^3/ha/år			V, m^3/ha/år			T, år			Hdom, m		
	NFI3	INKA	NFI8	NFI3	INKA	NFI8	NFI3	INKA	NFI8	NFI3	INKA	NFI8
1 Helsinki	4.8	5.7	4.2	100.8	154.0	110.0	62	66	82	15.8	15.8	15.8
2 Lounais-Suomi	4.1	6.1	4.8	96.2	159.9	100.5	61	64	68	14.9	16.8	14.9
3 Satakunta	-	5.7	4.6	-	101.0	93.5	-	49	68	-	13.1	14.6
4 Uusimaa-Häme	4.9	4.5	6.4	93.7	163.2	134.9	65	85	70	16.4	19.2	18.1
5 Pirkka-Häme	-	6.1	5.1	-	135.9	125.9	-	63	70	-	16.2	16.7
6 Itä-Häme	5.0	7.7	6.2	95.7	111.2	124.6	64	52	67	17.0	13.3	17.2
7 Etelä-Savo	5.6	8.0	6.6	71.3	166.1	151.4	47	56	65	15.7	17.2	18.4
8 Etelä-Karjala	-	8.1	6.4	-	115.7	112.9	-	45	61	-	13.4	16.1
9 Itä-Savo	-	7.9	7.0	-	149.6	163.6	-	59	69	-	16.0	18.6
10 Pohjois-Karjala	4.4	6.2	5.3	98.2	108.1	114.9	70	56	70	16.6	13.5	15.6
11 Pohjois-Savo	4.3	7.9	-	92.4	157.1	-	66	51	-	16.4	15.8	-
12 Keski-Suomi	6.6	7.7	-	137.1	119.2	-	50	47	-	18.0	13.5	-
13 Etelä-Pohjanmaa	3.4	5.8	-	67.1	99.6	-	69	57	-	13.6	13.1	-
14 Vaasa	3.7	6.7	-	69.5	105.7	-	65	41	-	13.8	13.5	-
15 Keski-Pohjanmaa	3.4	6.6	-	60.8	65.3	-	68	34	-	13.5	10.3	-
16 Kainuu	3.1	4.3	-	92.2	111.6	-	90	77	-	16.0	14.1	-
17 Pohjois-Pohjanmaa	2.7	3.4	-	62.7	79.6	-	79	70	-	13.1	12.1	-
18 Koillis-Suomi	1.4	2.8	-	62.1	70.4	-	132	92	-	13.5	12.7	-
19 Lappi	1.4	2.6	-	60.4	55.6	-	131	85	-	13.2	11.6	-

Medelvärden och variationsintervaller för de viktigaste variablerna i de olika data har angivits i Tabell 11 och 12. Medelvärdernas regionala variation framgår av Tabell 13. Test- och grunddata enbart för de glese tallbestånden kan studeras på basen av uppgifterna i Tabell 14. I Tabell 15 har angivits medelvärden för några beståndskännetecken i alla data.

Tabell 14. Extrem- och medelvärden för olika beståndskännetecken i testmaterialen GLESINKA och GLESNFI8 och i grundmaterialet GLESNFI3-5 (funktion fA2.1) rörande talldominerade bestånd med låga virkesförråd.

Variabel	Medelvärde			Minimumsvärde			Maximumsvärde		
	GLES-NFI3-5	GLES-INKA	GLES-NFI8	GLES-NFI3-5	GLES-INKA	GLES-NFI8	GLES-NFI3-5	GLES-INKA	GLES-NFI8
D	17.4	17.8	20.9	5.6	10.0	7.6	37.3	28.0	37.3
G	9.4	9.2	10.8	1.1	5.0	1.3	19.0	17.0	18.7
H_{dom}	15.7	13.7	17.1	10.1	10.0	10.2	27.9	21.0	26.9
V	67.2	61.3	81.3	3.0	25.0	9.0	227.1	156.0	263.0
I_{V5}	13.0	13.8	21.6	1.8	3.1	1.3	49.4	40.4	64.1
TS	1100	908	1232	650	674	980	1375	1325	1360
H_{100}	18.1	16.6	23.4	12.0	8.9	8.0	31.2	28.4	33.4
N	506	567	383	61	179	23	1299	1168	1198
T	84	84	68	24	26	15	228	148	163
n	734	41	224						

Tabell 15. Uppsummering av de viktiga beståndskännetecknens medelvärden i undersökningens alla data.

Variabel	NFI8	INKA		NFI3		KUST-INKA	SKYDD-INKA	GLES-NFI3-5	GLES-NFI8	GLES-INKA
	S-F (sk1-10)	S-F	N-F	S-F	N-F	S-F (sk13-15)	N-Lapp-land	Hela landet	S-F (sk1-10)	Hela landet
T, år	69	54	80	66	111	53	70	84	68	84
V, m^3/ha	121	124	81	88	69	114	99	67	81	61
H_{100}	22	23	15	20	14	24	13	18	23	17
I_{V5}, m^3/ha/5år	28	34	17	21	10	31	8	13	22	14
n	849	287	519	729	897	39	72	734	224	41

3.3 Metodik

Metodiken använd i undersökningen kan i stort karaktäriseras som ett valideringsförfarandet (1.4), där granskning av modellerna med statistisk oavhängiga data var det centrala. Också jämförelse med andra modellers resultat ingick i helhetsgranskningen, där det ursprungliga grundmaterialet NFI3-data utnyttjades tillsammans med testdata. Granskningen blev konsentrerat i första hand på volymtillväxten i en kommande kort tillväxtperiod (5- och 10-år). Skattning av medelvolymtillväxten och beståndsvolymets utveckling i omloppstiden på olika höjdboniteter blev gjort med simulering (Figur 13), för bl a jämförelse med tidigare undersökningars resultat. I simuleringsprocessen blev brukt bestånds värden för undersökningen ifråga, som startvärden och också undersökningarnas värden för eventuella gallringsuttak.

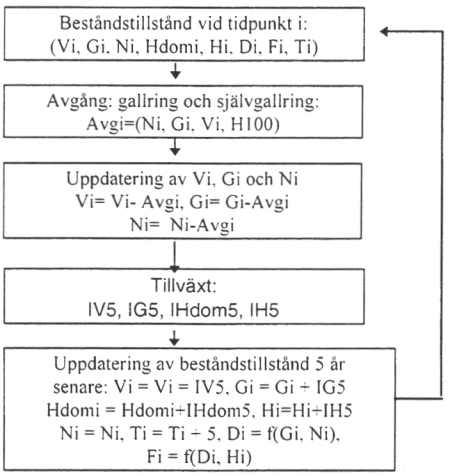
Skogscentralen Tapio's tillväxtsimulator, fTASO (redan nämnd under 1.2.4) blev tillämpad på beståndskriterier rörande INKA-datas provytebestånd. Beräkningen skedde enligt rutin för TASO-systemet och på basen av kriterier rörande hela beståndet och dess ståndort, så som angivits i instruktion för fältarbetet (TASO -Maastotyöopas 1993). Basdata för tillväxtberäkningen var ståndortsuppgifter om skogstyp, näringsmässiga förhållanden och jordbundstyp. Regionala uppgifter för enskilda INKA -bestånd omfattade geografisk belägenhet (koordinater och kommun) bildade styrningsdata för tillväxtberäkningen tillsammans med ståndortens värmesumma och höjd över havet. Inputdata rörande bestånden var uppgifter om medeldiameter, medelhöjd, stamtal, volym, ålder och utvecklingsklass från INKA's KPL-beräkning och mätningar i fältet. Från detta fick man estimerat för varje bestånd en teoretisk diameterfördelning och en påföljande prognostiserad volymtillväxt med trädvisa tillväxtfunktioner (MELA - funktioner, Ojansuu et al. 1991).

Några funktioner till hjälp vid uppdatering av beståndets grundyte och medelhöjdsutveckling har angivits i bilaga 3. Dessa tillväxtfunktioner blev utvecklat i undersökningen med linjär regressionsanalys på basen av ett gemensamt NF13-5-material.

Valideringen omfattade olika geografiska stora områden såsom hela landet, Södra Finland och Norra Finland med delområderna Norra Österbotten -Kainuu och Lappland. Den regionala granskningen för geografiskt mindre områden blev gjort inom f d skogsnämderna. En F-test enligt Huang (1970) blev brukt för att fastställa eventuella signifikanta skillnader mellan olika regionala regressionsfunktionerna.

De nya tillväxtfunktionerna i undersökningen blev utvecklat med linjär och icke-linjär regressionsanalys (SPSS-rutiner för Windows, 6.1.3. (1995).

Skattade tillväxtvärden med de olika funktionerna blev granskad grafiskt och numeriskt i förhållandet till de olika regressorerna och skattat värde för beroende variabel. Detta gav basis för värdering av funktionernas gällande i de olika data och deras skillnader sinsemellan. Centralt i valideringsprocessen var karaktärisering av de systematiska felen för de olika funktionerna. Denna tillförlitlighetsgranskning omfattade studier av skattat värdets ($\hat{y}$) avvik $\hat{e}(i)$ från de verklig (uppmätt) värdet (y). Residualerna studerades som logaritmiska och/eller som ursprungliga enheter, beroende av om funktionens avhängiga variabel var i logaritmisk form eller inte. För vidare bedömning av funktionernas tillförlitlighet i de olika data, blev brukt följande statistiska kriterier: det absoluta och relativa genomsnittliga avvik b_e , b_e% (bias), avvikens standardavvikelse s_d inom klasser enligt olika regressorer och skattat värde på y, det absoluta och relativa medelfelet RMSE, RMSE% (se symboler i bilaga 1).



Figur 13. Beståndsutvecklingens simuleringsprincip (se texten och A2).

4 RESULTAT

4.1 Volymtillväxtfunktioner utvecklade i undersökningen för jämförelse

I undersökningen blev utvecklat vissa funktioner för jämförelse och validering av orginalfunktionerna. Dessa funktioner har sina ursprung i de frågor (a-i) som har angivits under arbetets syfte (1.6). Funktionerna har betecknats enligt vilka data de har utvecklats från på följande vis:

B-funktioner är från NFI3-data,
C-funktionerna från NFI8-data,
D-funktionerna från INKA-data,
E-funktionerna från KUSTINKA-data,
F-funktionerna från SKYDDINKA-data.

I avsnitt 2.1 framgick originalfunktionernas numrering som A-funktioner; fA1.1-fA1.24, fA2.1, fA3.1. För de jämförelsesfunktioner som har utvecklats enligt originalfunktionernas modeller, har den samma numrering blivit använd. Till exempel hela landets funktions modell (fA1.1) har betecknats med fB1.1, fD1.1, när denna modell har tillämpats till NFI3- och INKA-data. I sådana fall är funktionerna exakt samma med hänsyn till variabler och deras transformationer, men har skillnader endast i parametrarna.

Jämförelsesfunktioner inom olika enskilda och grupper av skogsnämnder (sk), har betecknats med numror inom parantes för skogsnämnden (rna) ifråga. Till exempel, när jämförelsesfunktioner har utvecklats enligt Södra Finlands funktionsmodell fA1.4 på basen NFI3-, NFI8- och INKA-data för skogsnämnden Helsinki (1) eller för skogsnämnderna från 1 till 10, har dessa blivit betecknat som fB1.4(1), fC1.4(1) och fD1.4(1) eller fB1.4(1-10), fC1.4(1-10) och fD1.4(1-10).

Funktioner på basen av NFI3 -data, där modellen är annorlunda än orginalfunktionernas, har blivit betecknat med numror från 4 och uppåt; fB4, fB5, ...

Jämförelsesfunktioner har utvecklats för olika "stora" geografiska områden, så som hela landet, Södra Finland och området omfattande skogsnämnderna från Helsinki (1) till P-Karjala (10), Norra Finland med delområden Norra Österbotten - Kainuu (17 - 16) och Lappi - Koillis-Suomi (19 - 18), och för "mindre" regionala områden, så som de f d enskilda 19 skognämnder samt för de två speciella områden: Lapplands skyddskogsområde och Österbottens kustskogsområde.

De i undersökningen utvecklade tallfunktionerna för jämförelse framgår av följande översikt m h t funktionsbeteckning ,variabelsammansättning och data:

P_{V5} - funktioner:

Funktions-beteckning	**Input-variabler**	**Område**	**Data**
fB1.1	T, V, H_{dom}	Hela landet	NFI3, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB4	T, V, H_{100}, N	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.1	T, V, H_{dom}	Hela landet	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4	T, V, H_{dom}	Södra Finland	NFI3, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4	T, V, H_{dom}	Södra Finland	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(1-10)	T, V, H_{dom}	Sk 1-10, S-F	NFI3, icke-klimatkorrigert tillväxt
fC1.4(1-10)	T, V, H_{dom}	Sk 1-10, S-F	NFI8, icke-klimatkorrigert tillväxt
fD1.4(1-10)	T, V, H_{dom}	Sk 1-10, S-F	INKA, icke-klimatkorrigert tillväxt
fB1.4(1)	T, V, H_{dom}	Helsinki sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(1)	T, V, H_{dom}	Helsinki sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(2)	T, V, H_{dom}	L-Suomi sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(2)	T, V, H_{dom}	L-Suomi sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(2)	T, V, H_{dom}	L-Suomi sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(3)	T, V, H_{dom}	Satakunta sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(3)	T, V, H_{dom}	Satakunta sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(4)	T, V, H_{dom}	U - Häme sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(4)	T, V, H_{dom}	U - Häme sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(5)	T, V, H_{dom}	P - Häme sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(5)	T, V, H_{dom}	P - Häme sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(6)	T, V, H_{dom}	I - Häme sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(6)	T, V, H_{dom}	I - Häme sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(6)	T, V, H_{dom}	I - Häme sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(7)	T, V, H_{dom}	E - Savo sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(7)	T, V, H_{dom}	E - Savo sk	INKA,icke-klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(8)	T, V, H_{dom}	E - Karjala sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(8)	T, V, H_{dom}	E - Karjala sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt

fC1.4(9)	T, V, H_{dom}	I - Savo sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(9)	T, V, H_{dom}	I - Savo sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(10)	T, V, H_{dom}	P - Karjala sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fC1.4(10)	T, V, H_{dom}	P - Karjala sk	NFI8, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(10)	T, V, H_{dom}	P - Karjala sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(11)	T, V, H_{dom}	P - Savo sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(11)	T, V, H_{dom}	P - Savo sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(12)	T, V, H_{dom}	K - Suomi sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(13)	T, V, H_{dom}	E - P.maa sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(13)	T, V, H_{dom}	E - P.maa sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(14)	T, V, H_{dom}	Vaasa sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(15)	T, V, H_{dom}	K - P.maa sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(15)	T, V, H_{dom}	K - P.maa sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fE1.4	T, V, H_{dom}	Österbotten	KUSTINKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.4(13-15)	T, V, H_{dom}	Sk 13-15, S-F	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.4(13-15)	T, V, H_{dom}	Sk 13-15, S-F	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.13	T, V, H_{dom}	Norra Finland	NF13, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.13	T, V, H_{dom}	Norra Finland	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.13(16-17)	T, V, H_{dom}	Sk 16-17, N-F	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fD1.13(18-19)	T, V, H_{dom}	Sk 18-19, N-F	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.13(16)	T, V, H_{dom}	Kainuu sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.13(16)	T,V, H_{dom}	Kainuu sk	INKA, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.13(17)	T, V, H_{dom}	P - P.maa sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.13(18)	T, V, H_{dom}	Koillis-S sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.18(18)	T, V, H_{dom}	Koillis-S sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fB1.13(19)	T, V, H_{dom}	Lappi sk	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fD1.13(19)	T, V, H_{dom}	Lappi sk	INKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fF1.14	T, V	P - Lappi	SKYDDINKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt
fF4	T, H_{dom}	P - Lappi	SKYDDINKA, icke-klimatkorrigerat tillväxt

I_{V5} - funktioner:

fB5	T, V, H_{100}, N, TS	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fB6	T, V, H_{100}, N, TS, FRISK, M-GO, TORR	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt

fB7	T, V, N, FRISK, M-GO, TORR	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fB7(FRISK)	T, V, N, TS	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fB7(M-GO)	T, V, N, TS	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fB7(TORR)	T, V, N, TS	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fB8	T, V, H_{100}	Hela landet	NFI3, klimatkorrigerat tillväxt
fC4(1-10)	T, V, H_{dom}, N	Sk 1-10, S-F	GLESNFI8, icke-klimat- korrigerat tillväxt
fD4	T, V, H_{dom}, N	Hela landet	GLESINKA, icke-klimat-korrigerat tillväxt

Jämförelsesfunktionernas parametrar och tillhörande statistiska kriterier har redovisats i Tabellerna 16 - 22.

Tabell 16. Jämförelsesfunktioner, utvecklat på basen av NFI3-, NFI8- och INKA-data med linjär regressionsanalys, för talldominerade bestånd över hela landet (fB1.1, fD1.1, fB4) och inom Södra Finland (fB1.4, fD1.4) och det sydfinska delområde bestående av skogsnämnderna från 1 till 10 (fB1.4(1-10), fC1.4(1-10), fD1.4(1-10)). Beroende variabel **ln P_{V5}**. Funktionsförklaring framgår av översikt i texten.

	Funktion							
	fB1.1		fD1.1		fB1.4		fD1.4	
Variabel	Koefficienter och t-värden							
Konstant [1]	2.6316	50.8	3.3627	35.1	3.0146	28.8	3.5234	18.0
(5.69-ln T)	1.0890	64.1	0.9894	33.6				
$(5.69\text{-ln T})^{0.9}$					1.0605	27.9	0.9681	17.3
$\ln(V \cdot H_{dom})^{1.5}$	-0.0507	-24.8	-0.0873	-25.7	-0.0710	-19.6	-0.0872	-15.9
R^2	76.2		82.0		71.2		91.7	
s_f	0.3212		0.3593		0.2930		0.2471	
n	1626		806		728		287	
	fB1.4(1-10)		fC1.4(1-10)		fD1.4(1-10)		fB4	
Konstant [1]	3.0852	21.8	2.9256	28.8	3.5049	12.8	6.8090	23.2
$(5.69\text{-ln T})^{0.9}$	1.0497	22.1	1.0337	34.7	0.9922	13.0		
ln T							-0.8285	-21.5
$\ln(V \cdot H_{dom})^{1.5}$	-0.0767	-15.8	-0.0611	-18.7	-0.0884	-11.3		
ln V							-0.4345	-20.9
$\ln H_{100}$							0.2482	4.1
ln N							0.1329	13.0
R^2	74.4		82.3		91.4		77.9	
s_f	0.2784		0.3384		0.2606		0.3010	
n	435		849		177		1626	

1) Korrigerat för logaritmisk skevhet

Tabell 17. Jämförelsesfunktioner, utvecklat på basen av NFI3-data med linjär regressionsanalys, för talldominerade bestånd över hela landet. Beroende variabel **ln I_{V5}**. Funktionsförklaring framgår av översikt i texten.

	Funktion					
	fB5		fB6		fB7	
Variabel	Koefficienter och t-värden					
Konstant [1]	1.0796	3.6	-0.1734	3.9	2.1078	13.5
In T	-0.7226	-18.9	-0.4999	-25.0	-0.8336	-38.2
In V	0.5452	27.8	0.4189	35.2	0.5935	46.2
InH_{100}	0.2375	4.0	0.4854	15.7		
In N	0.1593	16.7	0.1706	20.9	0.1148	16.0
TS	0.0006	10.0	0.0006	12.1	0.0006	9.9
FRISK [2]			0.0521	3.0	0.0412	2.2
M-GO [2]						
TORR [2]			-0.0398	-2.3	-0.0401	-2.0
R^2	84.6		84.7		84.6	
s_f	0.2889		0.2885		0.2894	
n	1626		1626		1626	
	fB7(FRISK) [3]		fB7(M-GO) [3]		fB7cTORR) [3]	
	Koefficienter och t-värden					
Konstant [1]	2.1110	7.4	2.1375	8.8	2.2576	7.5
ln T	-0.7984	-21.3	-0.8443	-24.3	-0.8831	-21.1
lnV	0.5796	25.2	0.5516	29.6	0.6683	25.3
ln N	0.1217	6.9	0.1611	11.6	0.1328	7.4
TS	0.0007	6.4	0.0006	7.8	0.0004	3.1
R^2	80.4		76.6		77.7	
s_f	0.2373		0.2895		0.3218	
n	367		781		478	

1) Korrigerat för logaritmisk skevhet
2) Indikatorvariabler i fB6 och fB7 (se symboler)
3) Funktioner baserat på deldata enligt indikatorvariablerna

Den icke-linjära volymtillväxtmodellen (fB8) som har redovisats i Tabell 18, har sitt ursprung i funktionsmodellen 22 (se 1.2.4). I funktionen har införts beståndsvolymet i tillägg till höjdboniteten och beståndsåldern. Ett exempel på volymtillväxtutvecklingen enligt funktionens input-variabler har redovisats i Figur 14.

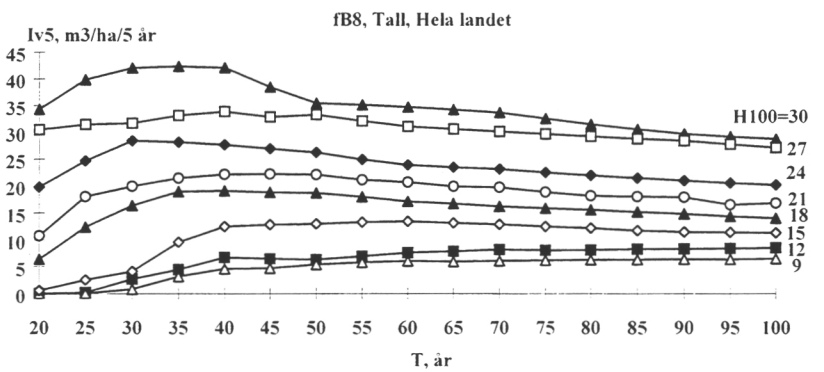
Jämförelsesfunktioner för vissa mindre regionala områder (skogsnämnder) i Södra Finlands NFI3- och INKA-data fattas i Tabell 19 p g a för få observationer. Det måste preciseras att antalet observationer bakom de regionala funktionerna utvecklat på basen av INKA-data var i allmänhet klart mindre än för NFI3- och NFI8-data. Den ojämna fördelningen av NFI3- och INKA-data på skogsnämnderna och den något olika spridningen i volymtillväxtprocenterna för de olika data, måste beaktas vid jämförelse av funktionernas statistiska kriterier.

Tabell 18. Jämförelsesfunktion (fB8) utvecklat på basen av NFI3-data med icke-linjär regressionsanalys för talldominerade bestånd omfattande hela landet. Beroende variabel I_{V5}. Funktionsförklaring framgår av översikt i texten.

Funktion fB8:

$$I_{V5} = a_0 \cdot V^{a1} \cdot H_{100}{}^{a2} \cdot \exp\left[\frac{-a_3}{V \cdot H_{100} \cdot (a_4 - 1) \cdot T^{(a4-1)}}\right] \cdot \sqrt[1]{V \cdot H_{100} \cdot T^{a4}}$$

Parameter	Estimat	Asymptotisk standardfel
a_0	91.414	26.166
a_1	1.608	0.023
a_2	0.923	0.065
a_3	-0.296	0.495
a_4	0.968	0.023
R^2	76.0	
s_f	4.54	
n	1626	



Figur 14. Exempel på simulerad volymtillväxtförlopp enligt den icke-linjära funktionen fB8 på olika boniteter, där beståndsvolymet följer genomsnittlig utveckling i NFI3-data (Tabell 18).

Tabell 19. Regionala jämförelsesfunktioner, utvecklat på basen av NFI3-, NFI8- och INKA-data med linjär regressionsanalys, för talldominerade bestånd inom sydfinska skogsnämnder (sk, se symbolförklaring). Beroende variabel **ln P_{V5}**. Funktionsförklaring i översikt i texten.

Funktion	Variabel								
	Konstant[1]		$(5.69\text{-ln } T)^{0.9}$		$\ln(VHdom)^{1.5}$		R^2	s_f	n
	Koefficienter och t-värden								
fB1.4(sk=1)	2.7868	6.7	1.0256	7.4	-0.0619	- 4.4	70.0	0.2671	57
fC1.4(1)	2.8148	6.6	0.8294	5.7	-0.0452	- 2.8	47.2	0.4644	61
fB1.4(2)	3.0086	9.1	0.9898	7.7	-0.0742	- 7.6	74.6	0.2840	75
fC1.4(2)	2.7378	8.8	0.9297	10.4	-0.0451	- 4.2	72.8	0.3514	96
fD1.4(2)	3.0107	2.1	1.1396	2.5	-0.0770	- 2.1	78.8	0.3748	14
fC1.4(3)	3.8291	11.0	0.8204	7.9	-0.0922	- 7.8	83.3	0.3621	73
fD1.4(3)	3.8035	7.9	0.8912	6.3	-0.1020	- 7.2	95.6	0.1805	22
fB1.4(4)	2.4725	4.4	0.9907	5.9	-0.0380	- 1.5	51.4	0.2779	38
fC1.4(4)	3.6320	6.8	0.7922	5.9	-0.0754	- 4.4	83.2	0.3231	42
fC1.4(5)	2.4810	10.3	1.0850	16.0	-0.0487	- 6.4	89.7	0.2711	103
fD1.4(5)	3.8088	3.2	0.9448	3.2	-0.1009	- 2.9	87.7	0.3242	26
fB1.4(6)	3.5343	12.5	0.8938	9.5	-0.0829	- 8.1	74.3	0.2294	82
fC1.4(6)	3.4566	7.6	0.7880	6.9	-0.0652	- 4.2	70.6	0.3807	67
fD1.4(6)	2.7957	1.6	1.1099	2.9	-0.0638	- 1.1	94.9	0.2412	11
fC1.4(7)	2.1422	7.8	1.3015	16.2	-0.0440	- 5.4	89.0	0.2596	88
fD1.4(7)	3.6390	5.6	0.9018	4.9	-0.0834	- 4.9	93.7	0.1819	24
fC1.4(8)	2.8829	9.8	1.0873	13.0	-0.0614	- 6.5	87.6	0.2793	81
fD1.4(8)	4.5160	5.3	0.7779	3.1	-0.1171	- 5.5	96.2	0.1712	15
fC1.4(9)	2.5459	5.0	1.2691	9.2	-0.0585	- 3.9	85.1	0.3112	59
fD1.4(9)	3.5699	4.6	0.9647	5.0	-0.0863	- 3.8	97.5	0.1530	14
fB1.4(10)	3.2109	14.6	1.1066	15.9	-0.0872	-11.5	80.5	0.2790	180
fC1.4(10)	3.3336	17.2	1.0165	17.3	-0.0785	-13.0	92.2	0.2569	164
fD1.4(10)	4.0070	7.3	0.8229	5.0	-0.0960	- 6.2	93.5	0.2432	35
fB1.4(11)	2.8543	11.1	0.9736	11.3	-0.0608	- 6.5	74.5	0.2296	87
fD1.4(11)	5.1795	7.8	0.4817	2.5	-0.1240	- 7.7	97.2	0.1433	23
fD1.4(12)	3.5503	4.4	0.8704	4.0	-0.0750	- 3.5	92.3	0.2431	31
fB1.4(13)	2.9186	9.1	0.9686	7.8	-0.0621	- 5.5	58.9	0.3463	101
fD1.4(13)	3.8662	10.0	0.9714	8.0	-0.1074	- 8.5	93.2	0.2002	25
fB1.4(14)	3.6518	6.5	0.7345	4.2	-0.0843	- 3.4	54.8	0.2653	33
fB1.4(15)	2.5116	6.5	1.3726	9.3	-0.0708	- 5.1	72.5	0.3597	72
fD1.4(15)	3.2328	4.1	1.1254	3.7	-0.0932	- 5.0	78.4	0.2555	21

1) korrigerat för logaritmisk skevhet

Tabell 20. Jämförselsfunktioner utvecklat på basen av NFI3- och INKA-data med linjär regressionsanalys, för talldominerade bestånd i Norra Finland och delområder av skogsnämnder (sk, se symbolförklaring). Beroende variabel **ln P_{V5}**. Funktionsförklaring framgår av översikt i texten.

Funktion	Konstant[1]		Variabel (5.69-ln T)$^{1.25}$		ln(V·Hdom)$^{1.5}$		R^2	s_f	n
			Koefficienter och t-värden						
fB1.13	2.7961	39.9	0.8493	41.8	-0.0577	- 17.0	73.9	0.3332	898
fD1.13	3.8422	26.4	0.7415	18.0	-0.1016	- 18.6	76.8	0.3954	519
fD1.13(16-17)	3.3449	14.4	0.8857	15.2	-0.0893	-10.7	77.7	0.4047	297
fD1.13(18-19)	3.8887	14.8	0.6864	8.4	-0.0967	-9.7	76.8	0.3684	222
fB1.13(16)	3.7160	24.8	0.5979	12.6	-0.0814	- 13.0	66.4	0.2687	221
fD1.13(16)	2.6725	7.5	1.0534	13.1	-0.0656	- 5.3	85.9	0.3629	151
fB1.13(17)	3.7766	22.4	0.6490	14.2	-0.0932	- 13.0	81.2	0.2932	169
fD1.13(17)	3.9393	12.6	0.7372	8.2	-0.1127	- 9.4	66.2	0.4269	146
fB1.13(18)	3.0302	14.8	0.7157	11.9	-0.0661	- 6.6	66.7	0.3771	164
fD1.13(18)	3.7463	9.1	0.7950	5.9	-0.0950	- 6.4	80.5	0.3591	98
fB1.13(19)	2.6983	23.7	0.8633	23.9	-0.0542	- 9.3	71.5	0.3184	343
fD1.13(19)	3.9103	11.3	0.6412	6.2	-0.0954	- 6.9	73.6	0.3750	124

1) Korrigerat för logaritmisk skevhet

Tabell 21. Jämförelsesfunktioner, utvecklat på basen av KUSTINKA- och SKYDDINKA-data med linjär regressionsanalys, för talldominerade bestånd inom Österbottens kustområde (fE1.4), samt sk. 13-15 enligt NF13- och INKA-data (fB1.4(13-14), fD1.4(13-14)), och Lapplands skyddskogssområde (fF1.14, fF4). Beroende variabel **ln P_{V5}**. Funktionsförklaring i översikt i texten.

Variabel	Funktion fE1.4		fB1.4(13-15)		fD1.4(13- 15)		fF1.14		fF4	
	Koefficienter och t-värden									
Konstant[1]	3.3991	12.2	2.8708	12.8	3.7495	12.2	1.3244	8.2	-24.5188	-5.2
(5.69-ln T)$^{0.9}$	0.9379	12.6	1.0876	12.7	0.9547	9.8				
(5.69-ln T)$^{1.25}$							1.0635	6.5		
(5.69-ln T)$^{4.50}$							-0.1136	-6.6		
ln T									13.5390	6.4
ln T^2									-1.4519	-6.5
ln(V·H_{dom})$^{1.5}$	-0.0821	-9.9	-0.0688	-8.4	-0.1018	-10.8				
(5.97-ln V)$^{1.55}$							0.1128	2.8		
ln H_{dom}									-1.7156	-5.6
R^2	97.8		63.6		90.8		55.1		57.7	
s_f	0.1286		0.3437		0.2115		0.4267		0.4143	
n	39		206		56		72		72	

1) Korrigerat för logaritmisk skevhet

I funktionerna för Lapplands skyddskogsområdet (Tabell 21) gav variablen, baserat på övre höjd och volym i kombination enligt funktionsmodell fA1.13, icke signifikant resultat. Därför blev två alternativa funktioner fF1.14 (funktionsmodell fA1.14) och fF4 utvecklat, där beståndsåldern ingick i funktionerna tillsammans med beståndsvolymet och respektiva övre höjden.

I Tabell 22 har presenterats jämförelsesfunktioner för värdering av funktionernas tillförlitlighet i testdata rörande glesa tallbestånd. Ståndortens värmesumma (TS) var icke significant i test-data och funktionerna blev utvecklat utan denna variabel, som dock ingick i originalfunktionen fA2.1 (NFI3-5-data).

Tabell 22. Jämförelsesfunktioner, utvecklat på basen av GLESINKA- och GLESNFI8-data med linjär regressionsanalys, för glesa talldominerade bestånd inom hela landet (fD4) och inom sydfinska delområdet sk 1 - 10 (fC4(1-10)). Beroende variabel $\ln I_{V5}$.Funktionsförklaring i översikt i texten.

Variabel	Funktion fD4		fC4(1-10)	
	Koefficienter och t-värden			
Konstant[1]	- 0.6440	-0.2	- 1.4557	- 5.3
ln V	0.4682	2.0	0.4882	14.1
$\ln(H_{dom}/T)$	0.6941	2.8	0.5133	7.8
ln N	0.3994	1.5	0.5210	13.4
R^2	66.6		78.1	
s	0.3747		0.3595	
n	41		224	

1) Korrigerat för logaritmisk skevhet

4.2 Volymtillväxtfunktionernas tillförlitlighet i nutida naturligt föryngrade talldominerade bestånd.

Tillförlitligheten för prognosestimaten skattade från volymtillväxtfunktionerna utvecklat i originalpublikationerna (fA1.1-fA1.23, fA2.1, se avsnitt 2), olika jämförelsesfunktioner utvecklat i undersökningen (se 4.1) samt vissa volymtillväxtfunktioner från tidigare undersökningar, har blivit karaktäriserade med grafiska residualbilder och numeriska klassvisa residualvärden samt med genomsnittliga systematiska fel och RMSE (medelfel) i de olika oberoende testdata. De olika testdata förutsättas att i helhet representera en mycket omfattande population av nutida talldominerade ekonomiskogar, som huvudsakligen har uppkommit efter naturlig föryngring.

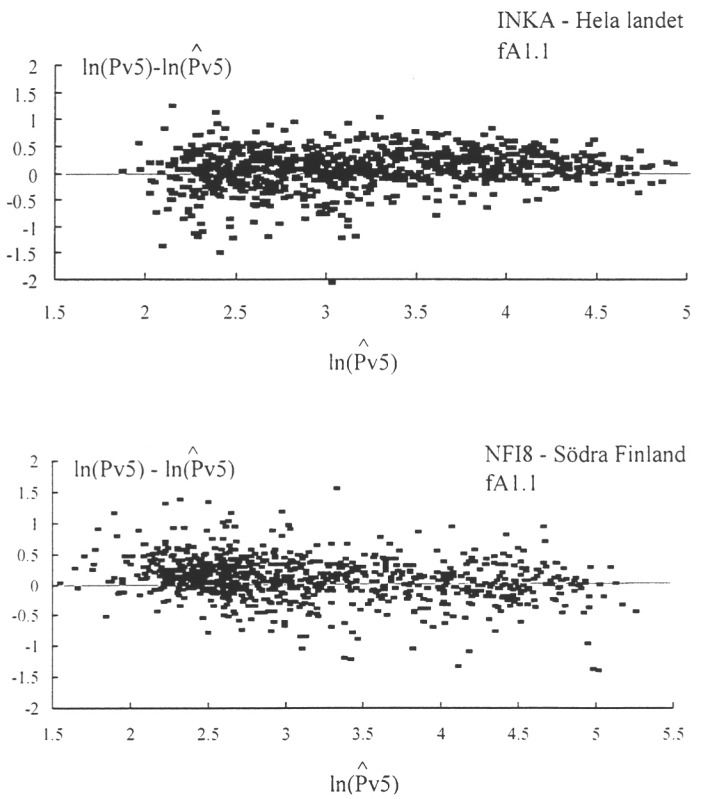
Resultaten har huvudsakligen koncentrerats till den absoluta tillväxten, då denna har största praktiska betydning. Resultat rörande funktionernas ursprungliga logaritmerade tillväxt har endast i liten skala presenterats. Det samma gäller tillväxtprocenterna. Avgränsning har också varit nödvendigt med hänsyn till vilka variabler som residualerna har presenterats gentemot. I första hand har resultaterna presenterats gentemot prognostiserat tillväxt (tex $\hat{I}_{V5}$). Dessa avgränsningar har varit nödvendiga på

grund av det stora antalet olika funktioner som har behandlats, och därmed på grund av det stora antalet variabler inom funktionerna.

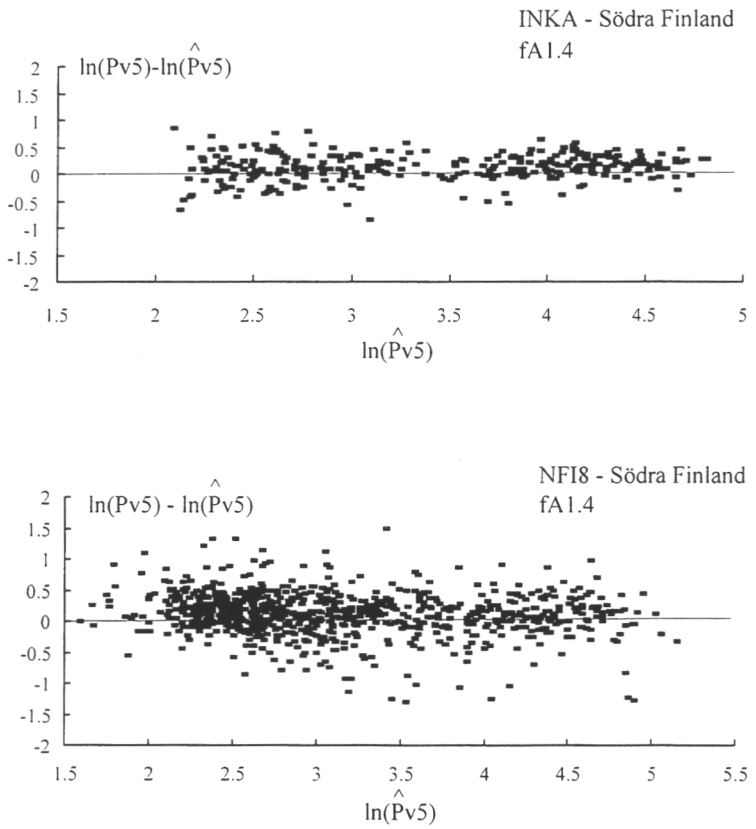
4.2.1 Originalfunktionernas tillförlitlighet i oberoende test-data

4.2.1.1 INKA - och NFI8 - data

Residualstudier av den logaritmerade volymtillväxtprocenten för de viktigaste funktionerna (T, Hdom, V - funktioner) avseende talldominerade ekonomibestånd inom stora regioner: hela landet, Södra och Norra Finland samt Kainuu- Norra Österbotten och Lappland har visats i Figurerna 15, 16 och 17.



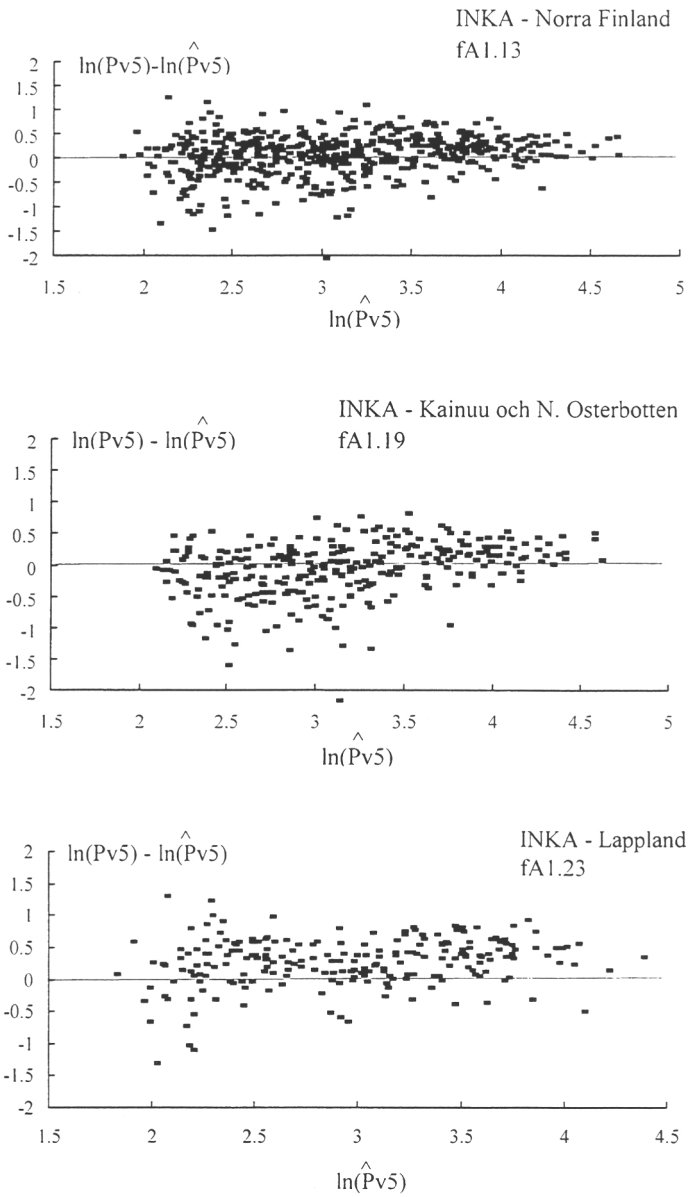
Figur 15. Residualer för hela landets volymtillväxtfunktion fA1.1 avseende talldominerade bestånd i de oberoende testmaterialen INKA- och NFI8 -data (skogsnämnderna 1 - 10).



Figur 16. Residualerna för Södra Finlands volymtillväxtfunktion fA1.4 avseende talldominerade bestånd i de oberoende testmaterialen INKA- och NFI8 -data (skogsnämnderna 1 - 10).

Studier av logaritmiska residualer visade allmänt inte stora systematiska avvikelser för de ovan nämnda funktionerna, varken gentemot de ingående variablerna eller gentemot skattat logaritmerad volymtillväxt. En relativt klar men svag underskattning av den logaritmerade tillväxten för de båda test-data (INKA och NFI8) kan dock sporas i vissa fall (figur 15 - 17). Detta stadfestas numeriskt i uppsummeringstabellen 42 för alla originalfunktionerna.

Av praktiska skäl är dock viktigare vilka systematiska avvikelser som funktionerna ger i absolut volymtillväxt (I_{V5}, m^3/ha/5år). Statistiska kriterier för bedömandet av detta har givits i Tabell 23 - 42 , där resultat rörande enskilda skogsnämnder också i vissa fall har redovisats.



Figur 17. Residualer för Norra Finlands volymtillväxtfunktioner fA1.13, fA1.19, fA1.23 avseende tallbestånd i det oberoende testmaterialet INKA -data.

Tabell 23. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för hela landets originalfunktion fA1.1 i oberoende INKA-data, och för jämförelsesfunktioner utvecklat på basen av INKA -data (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

Område	fA1.1					Jämförelsesfunktioner				
	n	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	Funktion
Hela landet	806	21.81	1.05	4.8	31.8	23.33	-0.47	-2.0	30.0	fD1.1
S - Finland	287	32.86	1.02	3.1	24.1	34.01	-0.13	-0.4	22.5	fD1.4
S - F (sk 1-10)	177	32.18	1.07	3.3	25.2	33.40	-0.16	-0.5	23.6	fD1.4(1-10)
Hki 1	8	31.84	-3.56	-11.2	20.1					
L - S 2	14	30.31	0.21	0.7	30.3	30.82	-0.30	-1.0	30.0	fD1.4(2)
Sat 3	22	30.90	-2.57	-8.3	16.9	28.30	0.03	0.1	15.3	fD1.4(3)
U - H 4	8	25.85	-3.34	-12.9	36.0					
P - H 5	26	30.88	-0.21	-0.7	32.7	31.39	-0.72	-2.3	30.6	fD1.4(5)
I - H 6	11	39.94	-1.47	-3.7	17.4	39.38	-0.91	-2.3	14.4	fD1.4(6)
E - S 7	24	36.30	3.59	9.9	22.5	39.91	-0.02	-0.05	17.9	fD1.4(7)
E - K 8	15	36.31	4.08	11.2	22.8	40.29	0.10	0.2	16.0	fD1.4(8)
I - S 9	14	37.12	2.44	6.6	16.9	39.90	-0.34	-0.8	13.6	fD1.4(9)
P - K 10	35	27.33	3.80	13.9	30.8	31.18	-0.05	-0.2	23.2	fD1.4(10)
P - S 11	23	37.78	1.53	4.0	15.8	39.32	-0.02	-0.05	13.8	fD1.4(11)
K - S 12	31	35.50	2.93	8.2	28.7	38.71	-0.28	-0.7	22.3	fD1.4(12)
E-P,Vaasa,K-P	56	31.41	-0.28	0.9	20.7	31.07	0.06	0.2	19.4	fD1.4(13-15)
E - P 13	27	27.93	1.24	4.4	21.2	29.14	0.03	0.1	19.3	fD1.4(13)
Vaasa 14	8	36.62	-3.31	-9.0	13.9					
K - P 15	21	33.98	-1.14	-3.4	22.3	33.05	-0.21	-0.6	21.0	fD1.4(15)
N - Finland	519	15.70	1.06	6.8	40.4	16.98	-0.21	-1.2	34.3	fD1.13
Kainuu - P - P	297	19.05	0.22	1.2	36.9	19.71	-0.43	-2.2	32.6	fD1.13(16-17)
Kainuu 16	151	19.97	1.49	7.4	35.5	21.96	-0.50	-2.3	16.1	fD1.13(16)
P - P 17	146	18.11	-1.08	-6.0	38.6	17.43	-0.40	-2.3	34.6	fD1.13(17)
Koil - S - Lappi	222	11.22	2.18	19.5	46.9	13.37	-0.03	-0.2	35.9	fD1.13(18-19)
Koil - S 18	98	11.54	2.36	20.4	44.9	13.95	-0.05	-0.4	32.4	fD1.13(18)
Lappi 19	124	10.97	2.04	18.6	48.6	12.98	0.02	0.2	37.8	fD1.13(19)

Allmänt har originalfunktionerna givit rätt hyfsade resultat m h t systematiska fel i INKA- och NFI8- data, när de granskas gentemot data inom de geografiska områden funktionerna ursprungligt har utvecklats för. I INKA-data gav hela landets funktion fA1.1 4.8% eller 1.05 m^3/ha/5års underskattning av den kommande 5årsperiodens summatillväxt (=24.81 m^3/ha/5år), och volymtilväxtens relativa medelkvadratavvikelsens kvadratrot (RMSE %) var 31.8 %. I NFI8 -data var underskattningen något större lik 6.7 % eller 1.74 m^3/ha/5år och prognosestimatets relativa medelfel 33.2 % (Tabell 23 - 24).

Norra Finlands funktion fA1.13 och Kainuu - Norra Österbottens funktion fA1.19 gav ungefär förväntningsrätta resultat i INKA - data, när jämförelse görs till funktionerna (fD1.13 och fD1.13(16-17) utvecklade på basen av testdata. Norra Finlands funktion fA1.13 gav endast en mycket svag underskattning på 0.56 m^3/ha/5år eller 3.4 %, och Kainuu - Norra Österbottens funktion en motsvarande svag överskattning på 0.47 m^3/ha/5år eller ett relativt fel lik 2.4% (Tabell 27 - 28). Södre Finlands funktion fA1.4 gav relativtett klart systematiskt fel på ungefär 10 % i INKA - och i NFI8 - data (Tabell 25 - 26). Underskattningen var 2.93 och 2.92 m^3/ha/5år och RMSE % var 26.5 % och 34 %. En systematisk underskattning av samma storleksordning gav också Lapplands funktion fA1.23 i INKA-data. Felet var 3.05 m^3/ha/5år eller 29.5% av medelvärdet för skattat volymtillväxt (10.35 m^3/ha/5år). Prognosestimatets relativa medelfel var så högt som 55.2 %. Dessa höga värden för det

relativa medelfelet (ca. 45 - 55 %) var ett typiskt särdrag för de två nordligaste skogsnämndernas del, oberoende av vilka funktioner (fA1.1, fA1.13, fA1.23) som tillväxten blev skattat med (se Tabell 23, 27 och 28).

Tabell 24. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m³/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för hela landets originalfunktion fA1.1 i oberoende NFI8-data omfattande Södra Finlands skogsnämnder 1-10, och för jämförelsesfunktioner utvecklat på basen av NFI8-data (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

Område		fA1.1				Jämförelsesfunktioner				
	n	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	Funktion
S - F (sk 1-10)	849	25.93	1.74	6.7	33.2	28.24	-0.57	-2.0	28.2	fC1.4(1-10)
Hki 1	61	21.26	-0.21	-1.0	35.0	21.83	-0.77	-3.5	33.5	fC1.4(1)
L - S 2	96	24.02	0.12	0.5	28.9	24.89	-0.75	-3.0	23.9	fC1.4(2)
Sat 3	73	22.04	0.73	3.3	32.4	23.05	-0.28	-1.2	28.1	fC1.4(3)
U - H 4	42	30.11	1.69	5.6	42.6	32.23	-0.43	-1.3	31.3	fC1.4(4)
P - H 5	103	26.63	-1.10	-4.1	29.2	25.75	-0.22	-0.8	25.4	fC1.4(5)
I - H 6	67	28.22	2.61	9.3	37.6	31.76	-0.92	-2.9	26.8	fC1.4(6)
E - S 7	88	30.17	2.82	9.4	24.6	34.08	-1.09	-3.2	21.4	fC1.4(7)
E - K 8	81	28.93	2.85	9.8	33.8	32.33	-0.56	-1.7	28.8	fC1.4(8)
I - S 9	59	29.88	4.90	16.4	38.1	34.90	-0.12	-0.3	29.2	fC1.4(9)
P - K 10	164	23.29	3.10	13.3	31.8	26.50	-0.11	-0.4	24.6	fC1.4(10)

Tabell 25. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m³/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för Södra Finlands originalfunktion fA1.4 i oberoende INKA-data, och för jämförelsesfunktioner utvecklat på basen av INKA-data (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

Område		fA1.4				Jämförelsesfunktioner				
	n	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	Funktion
S - Finland	287	30.95	2.93	9.5	26.5	34.01	-0.13	-0.4	22.5	fD1.4
S - F (sk 1-10)	177	30.43	2.81	9.2	27.5	33.40	-0.16	-0.5	23.6	fD1.4(1-10)
Hki 1	8	30.42	-2.14	-7.0	18.9					
L - S 2	14	29.21	1.31	4.5	32.5	30.82	-0.30	-1.0	30.0	fD1.4(2)
Sat 3	22	29.15	-0.82	-2.8	14.9	28.30	0.03	0.1	15.3	fD1.4(3)
U - H 4	8	24.72	-2.20	-8.9	34.3					
P - H 5	26	29.37	1.30	4.4	33.6	31.39	-0.72	-2.3	30.6	fD1.4(5)
I - H 6	11	36.53	1.94	5.3	15.6	39.38	-0.91	-2.3	14.4	fD1.4(6)
E - S 7	24	34.27	5.63	16.4	26.8	39.91	-0.02	-0.05	17.9	fD1.4(7)
E - K 8	15	34.01	6.38	18.8	28.7	40.29	0.10	0.2	16.0	fD1.4(8)
I - S 9	14	34.68	4.88	14.1	21.4	39.90	-0.34	-0.8	13.6	fD1.4(9)
P - K 10	35	26.04	5.09	19.6	34.2	31.18	-0.05	-0.2	23.2	fD1.4(10)
P - S 11	23	35.43	3.87	10.9	18.9	39.32	-0.02	-0.05	13.8	fD1.4(11)
K - S 12	31	32.95	5.48	16.6	32.0	38.71	-0.28	-0.7	22.3	fD1.4(12)
E-P.Vaasa.K-P	56	29.63	1.50	5.1	22.0	31.07	0.06	0.2	19.4	fD1.4(13-15)
E - P 13	27	26.76	2.40	9.0	23.6	29.14	0.03	0.1	19.3	fD1.4(13)
Vaasa 14	8	34.30	-0.99	-2.9	11.8					
K - P 15	21	31.54	1.29	4.1	23.6	33.05	-0.21	-0.6	21.0	fD1.4(15)

Tabell 26. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för hela landets originalfunktion fA1.4 i oberoende NFI8-data omfattande Södra Finlands skogsnämnder 1-10, och för jämförelsesfunktioner utvecklat på basen av NFI8-data (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

Område		fA1.4				Jämförelsesfunktioner				
	n	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	Funktion
S - F (sk 1-10)	849	24.81	2.92	11.8	34.0	28.24	-0.57	-2.0	28.2	fC1.4(1-10)
Hki 1	61	20.69	0.36	1.8	32.2	21.83	-0.77	-3.5	33.5	fC1.4(1)
L - S 2	96	23.07	1.07	4.6	27.0	24.89	-0.75	-3.0	23.9	fC1.4(2)
Sat 3	73	21.18	1.59	7.5	32.1	23.05	-0.28	-1.2	28.1	fC1.4(3)
U - H 4	42	28.23	3.57	12.6	40.9	32.23	-0.43	-1.3	31.3	fC1.4(4)
P - H 5	103	25.24	0.29	1.1	27.1	25.75	-0.22	-0.8	25.4	fC1.4(5)
I - H 6	67	26.70	4.13	15.5	36.8	31.76	-0.92	-2.9	26.8	fC1.4(6)
E - S 7	88	28.59	4.40	15.4	28.4	34.08	-1.09	-3.2	21.4	fC1.4(7)
E - K 8	81	27.27	4.50	16.5	35.8	32.33	-0.56	-1.7	28.8	fC1.4(8)
I - S 9	59	28.56	6.23	21.8	43.4	34.90	-0.12	-0.3	29.2	fC1.4(9)
P - K 10	164	22.45	3.95	17.6	34.1	26.50	-0.11	-0.4	24.6	fC1.4(10)

Tabell 27. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för Norra Finlands originalfunktion fA1.13 i oberoende INKA-data, och för jämförelsesfunktioner utvecklat på basen av INKA-data (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

Område		fA1.13				Jämförelsesfunktioner				
	n	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	Funktion
N - Finland	519	16.21	0.56	3.4	38.6	16.98	-0.21	-1.2	34.3	fD1.13
Kainuu - P - P	297	19.90	-0.63	-3.2	34.7	19.71	-0.43	-2.2	32.6	fD1.13(16-17)
Kainuu 16	151	20.96	0.50	2.4	30.6	21.96	-0.50	-2.3	16.1	fD1.13(16)
P - P 17	146	18.81	-1.79	-9.5	39.3	17.43	-0.40	-2.3	34.6	fD1.13(17)
Koil - S - Lappi	222	11.26	2.14	19.0	46.7	13.37	-0.03	-0.2	35.9	fD1.13(18-19)
Koil - S 18	98	11.54	2.36	20.4	44.6	13.95	-0.05	-0.4	32.4	fD1.13(18)
Lappi 19	124	11.04	1.97	17.8	48.5	12.98	0.02	0.2	37.8	fD1.13(19)

Hela landets funktion fA1.1 ~~viste~~ för delområdet Södra Finland i INKA -data (Tabell 23) ett klart lägre systematiskt fel (b_e = 1.02) än för funktionen fA1.4 utvecklat för själva delområdet (b_e = 2.93, Tabell 25). Detta var allmänt också fallet när de systematiska felen för de två funktionerna blev granskade gentemot beståndsvolymet för hela området (Tabell 36), och i tillägg inom enskilda sydfinska skogsnämnder (Tabell 37 - 39).

Norra Finlands funktion fA1.13 gav däremot i medel ett något bättre resultat än hela landets funktion fA1.1 för delområdet Norra Finland i INKA -data (be = 0 .56 och 1.02 m^3/ha/5år i Tabell 40). De båda funktionerna viste sig att vara ungefär förväntningsrätta granskade mot beståndsvolymen. För de enskilda nordfinska skogsnämnderna gav de två funktionerna något sämre resultat i medel totalt och inom volymklasserna (Tabell 41).

Det måste preciseras att antalet observationer inom volymklasserna i Tabellerna 37 - 39 och 41 var i genomsnitt endast 1 och 2 bestånd. Resultaten gav emellertid storleksordningen av det systematiska felet vid tillämpninga av funktionerna fA1.1, fA1.4 och fA1.13 inom enskilda bestånd med olika volym förråd.

Tabell 28. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m³/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för Norra Österbotten - Kainuus och Lapplands originalfunktioner fA1.19 och fA1.23 i oberoende INKA-data, och för jämförelsesfunktioner utvecklat på basen av INKA-data (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

			fA1.19			Jämförelsesfunktioner				
	n	$\bar{y}$	b_e	b_e %	RMSE%	$\bar{\hat{y}}$	b_e	b_e %	RMSE%	Funktion
Kainuu - P - P	297	19.80	-0.47	-2.4	34.9	19.71	-0.43	-2.2	32.6	fD1.13(16-17)
Kainuu	151	20.64	0.82	4.0	34.0	21.96	-0.50	-2.3	16.1	fD1.13(16)
P - P	146	18.83	-1.81	-9.6	35.9	17.43	-0.40	-2.3	34.6	fD1.13(17)
			fA1.23							
Koil - S - Lappi	222	10.35	3.05	29.5	55.2	13.37	-0.03	-0.2	35.9	fD1.13(18-19)
Koil - S 18	98	10.64	3.26	30.6	53.2	13.95	-0.05	-0.4	32.4	fD1.13(18)
Lappi 19	124	10.12	2.89	28.6	56.9	12.98	0.02	0.2	37.8	fD1.13(19)

Tabell 29. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{I}_{V5}$) avseende hela landets funktion fA1.1 i INKA-data omfattande hela landet.

$\hat{I}_{V5}$	b_e	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
3.85	2.30	2.44	4.74	-0.14	52
8.65	1.74	4.41	6.15	-2.67	59
10.30	2.05	5.25	7.30	-3.20	46
11.70	1.72	5.15	6.87	-3.43	49
13.10	0.86	5.47	6.33	-4.61	52
14.45	1.67	5.24	6.91	-3.57	44
15.85	0.34	5.88	6.22	-5.54	50
17.80	-0.20	6.72	6.52	-6.92	50
20.00	1.43	7.26	8.69	-5.83	49
22.00	1.29	7.46	8.75	-6.17	53
24.25	1.35	7.83	9.18	-6.48	51
27.25	3.03	9.01	12.04	-5.98	50
31.00	1.13	8.49	9.62	-7.36	53
35.75	1.29	8.16	9.45	-6.87	51
41.75	0.23	7.60	7.83	-7.37	46
52.50	-3.45	8.64	5.19	-12.09	51

I Tabell 29 - 35 har redovisats de ovan behandlade funktionernas absoluta systematiska fel och standardavvikelser inom klasser enligt skattat 5 års volymtillväxt, där antalet observationer är likt inom klasserna. För funktionerna fA1.1, fA1.4 och fA1.23 hölls underskattningen konstant gentemot skattat tillväxt för båda INKA- och NFI8 - data. Funktionerna A1.13 och fA1.19, som i genomsnitt gav nära förväntingsrätta resultat (Tabell 27 och 28), viste en svag tendens till delvis underskattning och överskattning gentemot skattat tillväxt (Tabell 33 och 34) i INKA - data.

Tabell 30. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{I}_{V5}$) avseende hela landets funktion fA1.1 i NFI8-data omfattande Södra Finlands skogsnämnder 1 - 10.

$\hat{I}$	b	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
5.35	1.39	4.27	5.66	-2.88	50
9.33	2.93	6.94	9.87	-4.01	50
12.11	1.95	4.33	6.28	-2.38	50
14.30	2.09	5.01	7.10	-2.92	50
16.15	2.58	7.28	9.86	-4.70	50
17.89	3.98	9.69	13.67	-5.71	50
19.76	1.58	7.17	8.75	-5.59	50
21.61	2.92	6.90	9.82	-3.98	50
23.25	3.50	8.59	12.09	-5.09	50
25.21	3.22	6.86	10.08	-3.64	50
27.40	2.56	6.94	9.50	-4.38	50
30.07	3.10	9.28	12.38	-6.18	50
32.79	2.84	9.10	11.94	-6.26	50
36.04	2.40	8.34	10.74	-5.94	50
40.83	3.55	10.00	13.55	-6.45	50
46.51	-2.88	10.29	7.41	-13.17	50
61.17	-7.76	10.75	2.99	-18.51	47

Tabell 31. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{I}_{V5}$) avseende Södra Finlands funktion fA1.4 i INKA-data omfattande Södra Finland.

$\hat{I}$	b	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
14.10	2.67	3.83	6.50	-1.16	28
19.77	2.35	6.60	8.95	-4.25	28
23.56	0.67	7.37	8.04	-6.70	28
25.97	5.53	10.04	15.57	-4.51	29
29.00	3.38	6.83	10.21	-3.45	29
31.55	2.44	10.10	12.54	-7.66	29
34.51	2.98	6.16	9.14	-3.18	29
37.95	5.22	8.59	13.81	-3.37	29
42.22	1.21	5.02	6.23	-3.81	29
49.60	2.75	9.17	11.92	-6.42	29

Tabell 32. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{I}_{V5}$) avseende Södra Finlands funktion fA1.1 i NFI8-data omfattande Södra Finlands skogsnämnder 1 - 10.

$\hat{I}$	b	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
5.70	0.98	4.30	5.28	-3.32	50
9.78	2.64	6.92	9.56	-4.28	50
12.47	1.49	4.32	5.81	-2.83	50
14.61	1.55	5.27	6.82	-3.72	50
16.24	2.31	7.10	9.41	-4.79	50
17.80	3.42	9.17	12.59	-5.75	50
19.65	3.20	8.32	11.52	-5.12	50
21.34	1.96	6.46	8.42	-4.50	50
22.88	5.22	7.77	12.99	-2.55	50
24.53	3.61	7.79	11.40	-4.18	50
26.45	2.32	6.33	8.65	-4.01	50
28.86	5.89	7.89	13.78	-2.00	50
31.10	2.67	8.55	11.22	-5.88	50
33.96	5.41	8.10	13.51	-2.69	50
37.76	6.30	10.42	16.72	-4.12	50
42.48	0.60	9.09	9.69	-8.49	50
54.36	0.26	10.85	11.11	-10.59	47

Tabell 33. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{I}_{V5}$) avseende Norra Finlands funktion fA1.13 i INKA-data omfattande Norra Finland.

$\hat{I}$	b	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
5.90	2.48	2.82	5.30	-0.34	52
8.56	1.84	4.38	6.22	-2.54	52
10.31	1.52	4.99	6.51	-3.47	52
12.08	1.56	5.57	7.13	-4.01	52
13.57	0.23	4.90	5.13	-4.67	52
15.22	1.23	5.90	7.13	-4.67	52
17.53	-1.20	6.68	5.48	-7.88	52
21.01	-0.57	7.13	6.56	-7.70	52
24.39	0.52	6.22	6.74	-5.70	52
33.82	-2.07	10.12	8.05	-12.19	51

Tabell 34. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{I}_{V5}$) avseende Kainuu - Norra Österbottens funktion fA1.19 i INKA-data omfattande Kainuu - Norra Österbotten.

$\hat{I}$	b_e	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
9.91	0.43	5.14	5.57	-4.71	30
13.39	-0.41	5.36	4.95	-5.77	30
15.21	-2.20	4.70	2.50	-6.90	30
16.72	-1.51	5.39	3.88	-6.90	30
18.13	-3.72	7.09	3.37	-10.81	30
20.33	-0.52	6.76	6.24	-7.28	30
21.79	-0.48	7.11	6.63	-7.59	30
23.66	1.01	7.47	8.48	-6.46	30
26.34	1.60	8.06	9.66	-6.46	30
33.38	1.24	9.78	11.02	-8.54	27

Tabell 35. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt skattad volymtillväxt ($\hat{i}_{V5}$) avseende Lapplands funktion fA1.23 i INKA-data omfattande Lappland.

$\hat{i}_{V5}$	b	s_d	$b + s_d$	$b - s_d$	n
5.10	2.69	1.48	4.17	1.21	30
6.97	3.44	4.47	7.91	-1.03	30
8.43	1.76	3.15	4.91	-1.39	30
9.68	2.85	5.07	7.92	-2.22	30
11.02	2.99	5.58	8.57	-2.59	34
12.62	3.30	6.12	9.42	-2.82	34
17.50	4.18	5.87	10.05	-1.69	34

Utfyllande information rörande validiteten för hela landets funktion i INKA - data har redovisats i Figur 18(a -c), där relativa avvikelser har granskats gentemot viktiga input-variabler i funktionen. Ståndortsindex H100 representerar i princip kombinationen av övre höjd - beståndsålder i granskningen av de relativa residualerna. fA1.1 gav inom hela landets material endast smärre systematiska tendenser till något större residualer för låga beståndsvolym och ståndortindex. Detta blev huvudsakligen orsakad av Norra Finlands observationer, därför att Södra Finlands data inte uppvisade större avvikelser med låga värden för nämnda kriterier (se Figur 18).

Tabell 36. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt beståndsvolym (V) avseende funktionerna fA1.1 och fA1.4 i INKA-data.

V, m^3/ha	fA1.1						fA1.4		
	INKA-data. hela landet			INKA-data. Södra Finland			INKA-data. Södra Finland		
	b	s_d	n	b	s_d	n	b	s_d	n
50	2.51	5.14	181	2.90	6.43	49	5.32	5.84	49
75	1.63	6.87	132	-0.20	7.40	45	3.10	7.17	45
100	0.43	7.09	101	-0.67	7.76	29	2.00	7.80	29
125	-0.72	7.31	89	-2.27	9.26	21	0.81	8.39	21
150	-1.01	7.13	61	0.43	8.29	27	1.43	8.45	27
175	-1.31	7.64	50	1.32	7.24	22	2.10	7.66	22
200	2.18	7.74	31	2.98	8.01	19	3.66	7.79	19
225	-0.64	7.13	31	-0.66	7.30	20	0.47	7.39	20
250	0.42	9.17	17	2.88	7.93	12	4.24	7.10	12
275	-1.20	9.76	16	0.59	7.98	13	1.37	8.18	13
300	0.60	7.05	9	1.66	7.76	7	2.82	7.88	7
325	7.40	17.01	7	10.06	16.96	6	10.93	16.8	6
350	-2.70	7.95	3	-4.61	10.22	2	-3.22	10.87	2
Totalt	1.05	6.87	806	1.02	7.87	287	2.93	7.67	287

Tabell 37. Systematiska fel (b_e) inom klasser enligt beståndsvolym (V) avseende funktionerna fA1.1 och fA1.4 i INKA-datas skogsnämnder 1 - 6.

V.	Hki 1		L - S 2		Sat 3		U - H 4		P - H 5		I - H 6	
m^3/ha	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4
						b						
25					1.12	2.47						
50	-7.46	-2.25	1.47	2.82	-1.77	1.16	-0.22	5.33	7.09	10.03	2.16	5.71
75	-3.77	0.50		0.75	-2.40	-0.12	-18.24	13.84	2.80	5.84	-6.27	-1.13
100					-5.75	-5.28	2.66	2.18	-7.98	-3.75	-8.19	-3.00
125					-6.32	-2.54			-14.18	-10.53	-2.07	4.76
150	-5.66	-5.98	-7.16	-6.08	0.58	1.26			0.43	0.82		
175	9.62	10.19	7.05	8.41	-3.37	-3.54			-2.78	-2.22	4.73	4.92
200			1.65	2.62	-2.20	-0.79			2.49	2.26	7.25	7.18
225	-6.59	-6.07	-5.29	-3.51	-9.44	-9.26	6.79	6.75	5.59	5.53	-6.38	-6.73
250			16.38	16.63	-3.67	-1.30						
275	-2.38	-1.48	-0.76	-0.46			-6.77	-6.73				
300									14.34	15.21		
325												
350									-11.84	-10.91		
Totalt	-3.56	-2.14	0.21	1.31	-2.57	-0.82	-3.34	-2.20	-0.21	1.30	-1.47	1.94

Tabell 38. Systematiska fel (b_e) inom klasser enligt beståndsvolym (V) avseende funktionerna fA1.1 och fA1.4 i INKA-datas skogsnämnder 7 - 12.

V.	E - S 7		E - K 8		I - S 9		P - K 10		P - S 11		K - S 12	
m^3/ha	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4
						b						
25							3.52	4.23	7.47	8.70	0.24	2.84
50	2.30	5.64	10.43	12.72	3.79	6.84	2.55	4.44	5.93	8.65	-0.18	3.45
75	-2.06	1.40	5.21	7.96	6.09	10.03	1.86	4.84	-6.40	-2.89	0.91	5.27
100	9.41	11.71			-2.74	5.24	0.95	3.09	-2.10	1.12	3.29	7.30
125	12.76	12.52	-2.79	-0.04	-7.13	-2.55	11.82	11.61	2.03	6.80	0.72	1.67
150	12.73	14.55					10.50	11.50			2.91	3.95
175	1.30	3.67	4.51	6.85	1.18	1.67	0.58	0.29	13.19	13.11	9.23	10.41
200	3.40	5.04			7.11	7.05	6.58	6.54	11.36	11.69	-1.66	1.32
225	2.27	2.92	0.00	2.79	2.11	4.09	2.87	2.91	2.80	3.90	-8.43	-3.88
250	1.34	3.22	4.10	4.30			13.48	13.62	-0.96	1.34	-3.88	-3.65
275	4.00	6.22	0.79	0.98	8.13	8.84			-1.78	-0.99	12.78	12.98
300	6.12	7.47					-7.39	-6.55	0.98	2.66	4.01	4.82
325					-1.07	-0.33	6.33	7.02	-3.97	-2.01	19.69	20.30
350									2.61	4.46		
Totalt	3.59	5.63	4.08	6.38	2.44	4.88	3.80	5.09	1.53	3.87	2.93	5.48

Tabell 39. Systematiska fel (b_e) inom klasser enligt beståndsvolym (V) avseende funktionerna fA1.1 och fA1.4 i INKA-datas skogsnämnder 13 - 15.

V, m^3/ha	E - P 13		Vaasa 14		K - P 15	
	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4	fA1.1	fA1.4
			b			
25	2.14	2.66	-		3.17	3.34
50	6.73	7.35	1.72	3.83	2.49	4.18
75	-3.11	-0.06	-0.40	1.61	0.83	3.82
100	1.16	2.78			-4.74	-1.46
125	-2.41	-0.65	-3.82	-1.63	-5.04	-1.24
150	-0.73	0.39	-8.07	-4.65	-3.16	-2.45
175	-4.23	-4.28	-3.72	-2.01		
200	-0.35	0.18				
225						
250	4.73	5.83				
275						
300						
325						
350						
Totalt	1.24	2.40	-3.31	-0.99	-1.14	1.29

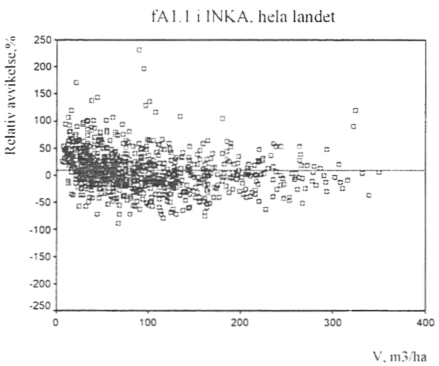
Tabell 40. Systematiska fel (b_e) och därtillhörande standardavvikelse (s_d) inom klasser enligt beståndsvolym (V) avseende funktionerna fA1.1 och fA1.13 i INKA-data.

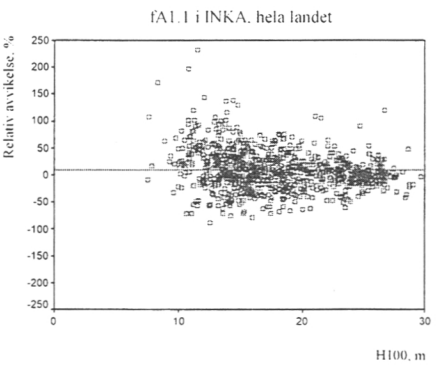
V, m^3/ha	fA1.1 INKA-data, Norra Finland			fA1.13 INKA-data, Norra Finland		
	b	s_d	n	b	s_d	n
25	3.17	3.42	63	2.82	3.18	63
50	2.36	4.59	132	1.77	4.62	132
75	2.58	6.42	87	1.80	5.85	87
100	0.87	6.80	72	0.52	6.79	72
125	-0.25	6.60	68	-0.53	6.72	68
150	-2.16	5.94	34	-2.50	6.13	34
175	-3.37	7.42	28	-3.94	7.84	28
200	0.90	7.46	12	0.55	7.62	12
225	0.58	7.18	11	-1.00	7.39	11
250	-5.47	10.11	5	-5.76	10.13	5
275	-8.97	14.85	3	-11.13	17.64	3
300	-3.11	0.33	2	-3.56	0.40	2
325	-8.59	-	1	-9.73	-	1
350	1.13	-	1	0.08	-	1
Totalt	1.06	6.26	519	0.56	6.24	519

Tabell 41. Systematiska fel (b_e) inom klasser enligt beståndsvolym (V) avseende funktionerna fA1.1 och fA1.13 i INKA-datas skogsnämnder 16-19.

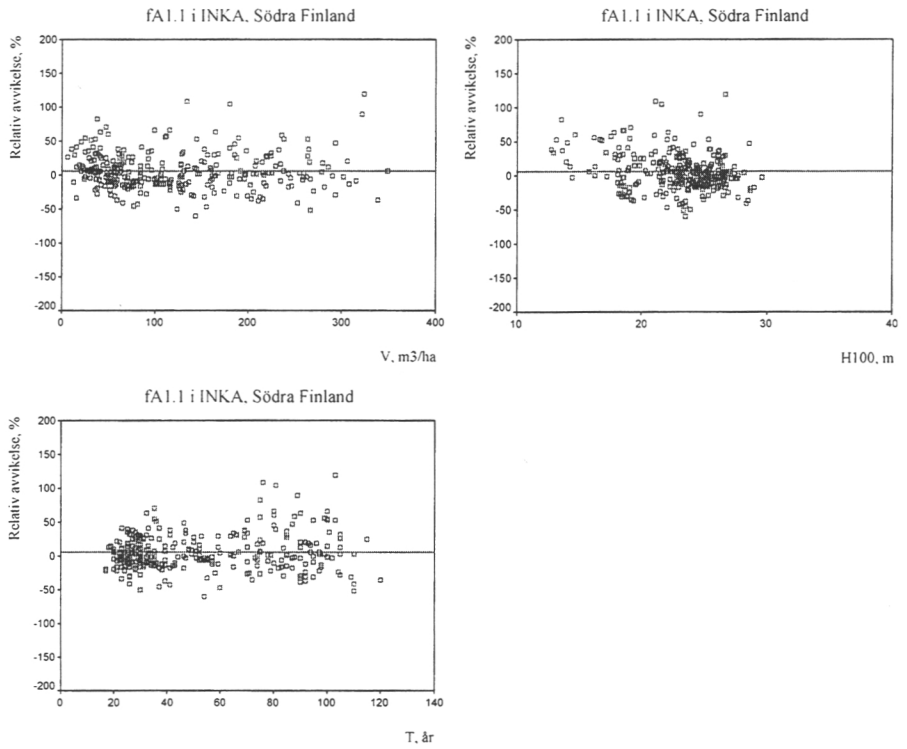
V,	Kainuu 16		P - P 17		Koil - S 18		Lappi 19	
m^3/ha	fA1.1	fA1.13	fA1.1	fA1.13	fA1.1	fA1.13	fA1.1	fA1.13
				b				
25	7.48	5.64	2.71	2.07	3.14	3.12	2.21	2.10
50	4.29	2.60	1.84	1.28	2.79	2.70	1.49	1.35
75	4.29	2.63	0.79	0.17	2.60	2.65	2.29	2.24
100	1.19	-0.27	-3.29	-3.72	2.96	2.96	3.91	3.97
125	-0.53	-0.96	-2.20	-2.87	0.80	0.89	3.06	3.09
150	-3.59	-3.74	-5.64	-6.75	1.18	1.25	2.84	2.82
175	-1.54	-1.68	-8.55	-10.61	11.18	10.40	-8.85	-8.92
200	2.65	2.37	-4.37	-4.92				
225	1.13	0.87	-4.92	-5.55	0.36	-0.43		
250	-5.47	-5.76						
275	-1.04	-1.48	-24.84	-30.44				
300	-3.11	-3.56						
325	-8.59	-9.73						
350	1.13	0.08						
Totalt	1.49	0.50	-1.08	-1.79	2.36	2.36	2.04	1.97

a)

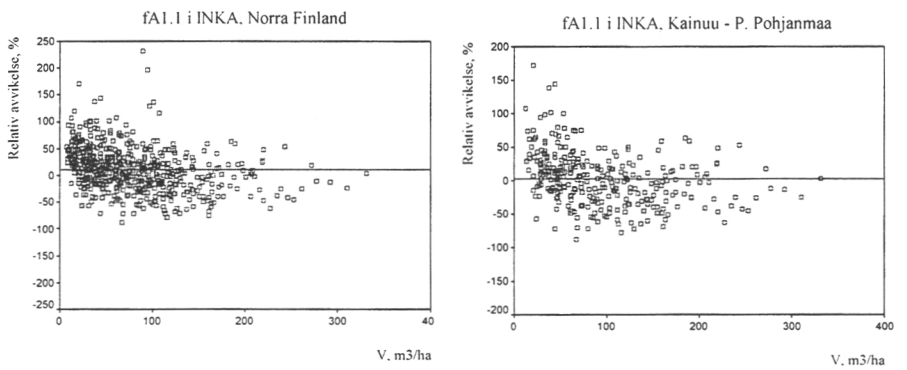




b)



c)



Figur 18. Relativa residualer $(I_{V5} - \hat{I}_{V5}) \cdot 100 / \hat{I}_{V5}$ enligt viktiga variabler avseende hela landets funktion f A1.1 i hela INKA -data (a), i Södra Finlands data (b) och i Norra Finlans data (c).

I Tabell 42 har redovisats alla originalfunktionernas tillförlitlighetskriterier för logaritmerad tillväxtprocent, absolut volymtillväxtprocent och volymtillväxt i INKA- och NFI8 - data. Jämförelse mellan huvudfunktionerna (T, V, Hdom) och de andra (T, V och T, G, Hdom) visade allmänt något större systematiska fel och medelfel för de sistnämnda. Detta var fallet oberoende av i vilken skala man granskade skattat tillväxt. Endast i två enstaka fall för Södra Finlands test-data gav fA1.5 (T,V- funktion) något mindre fel än huvudfunktionen fA1.4.

Tabell 42. Volymtillväxtens tillförlitlighetskriterier för alla originalfunktionerna fA1.1 - fA1.24 i oberoende INKA- och NFI8-data.

Funktion	Skala	INKA-data			Område		NFI8-data			Område	
		b_c	b_c%	RMSE	RMSE%		b_c	b_c%	RMSE	RMSE%	
	lnP_{V5}	0.08	2.5	0.379	11.9	Hela	0.10	3.2	0.364	11.6	S - F
fA1.1	P_{V5}	3.76	11.4	12.76	38.8	landet	1.34	3.8	17.11	48.7	sk 1-10
	I_{V5}	1.05	4.8	6.95	31.8		1.74	6.7	8.61	33.2	
	lnP_{V5}	0.11	3.2	0.275	8.1		0.12	3.8	0.361	11.5	S - F
fA1.4	P_{V5}	5.04	12.3	12.7	31.1	S - F	3.34	10.1	16.74	50.6	sk 1-10
	I_{V5}	2.93	9.5	8.2	26.5		2.92	11.8	8.42	34.0	
	lnP_{V5}	0.10	2.9	0.289	8.5		0.06	1.9	0.358	11.2	S - F
fA1.5	P_{V5}	5.53	13.7	13.5	33.6	S - F	1.47	4.2	18.23	52.0	sk 1-10
	I_{V5}	2.53	8.1	8.6	27.5		1.67	6.4	8.25	31.8	
	lnP_{V5}	0.15	4.5	0.304	9.1		0.14	4.5	0.370	11.9	S - F
fA1.6	P_{V5}	7.78	20.4	15.6	40.9	S - F	4.56	14.3	17.68	55.4	sk 1-10
	I_{V5}	4.10	13.8	9.1	30.7		2.90	11.7	8.26	33.3	
	lnP_{V5}	0.06	2.0	0.426	13.9						
fA1.13	P_{V5}	3.70	13.3	12.50	44.9	N - F					
	I_{V5}	0.56	3.4	6.26	38.6						
	lnP_{V5}	0.09	3.0	0.440	14.4						
fA1.14	P_{V5}	4.91	18.4	13.42	50.4	N - F					
	I_{V5}	0.98	6.2	6.73	42.6						
	lnP_{V5}	0.09	3.0	0.440	14.4						
fA1.15	P_{V5}	4.72	17.6	13.46	50.2	N - F					
	I_{V5}	0.92	5.8	6.48	40.9						
	lnP_{V5}	-0.07	-2.2	0.439	13.9	Kainuu					
fA1.19	P_{V5}	1.57	5.4	11.73	40.1	- P - P					
	I_{V5}	-0.47	-2.4	6.90	34.9						
	lnP_{V5}	-0.03	-1.0	0.456	14.7	Kainuu					
fA1.20	P_{V5}	3.62	13.3	13.33	49.1	- P - P					
	I_{V5}	0.16	0.8	7.72	40.4						
	lnP_{V5}	0.28	9.5	0.473	16.1	Lapp-					
fA1.23	P_{V5}	8.76	36.9	15.55	66.4	land					
	I_{V5}	3.05	29.5	5.72	55.2						
	lnP_{V5}	0.29	9.9	0.486	16.6						
fA1.24	P_{V5}	9.06	38.7	15.65	69.9						
	I_{V5}	3.19	31.2	5.89	57.6						

4.2.1.2 KUSTINKA -, SKYDDINKA -, GLESINKA - och GLESNFI8 - data

Några av originalfunktionerna blev validerat gentemot data från geografiska områden med särpräglade skogliga förhållanden, och mot data rörande glesa bestånd med låga stamtal och grundytor. Hela landets funktion fA1.1 och funktionen fA1.4 för Södra Finland, blev granskade med data inhämtat från Österbottens kustregion (KUSTINKA - data). Forutom fA1.1, blev funktionen fA1.23 för Lapplands "hushållsskogar" (ekonomiskogar) och funktionen för glesa bestånd fA2.1, provat i data för nordliga Lapplands skyddsskogsregion (SKYDDINKA - data) (Tabell 43).

Tabell 43. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5å) tillförlitlighetskriterier för hela landets funktion fA1.1 och Södra Finlands funktion fA1.4 i oberoende KUSTINKA - data, samt för fA1.1, Lapplands funktion fA1.23 och funktion fA2.1 rörande glesa bestånd i oberoende SKYDDINKA - data. Tillförlitlighet för fE1.4, fF1.14 och fF4, utvecklade från test-data, har redovisats som jämförelsesbas (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

Funktion	KUSTINKA - data, n = 39					SKYDDINKA - data, n = 72				
	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE	RMSE %	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE	RMSE %
fE1.4	30.89	-0.18	-0.6	3.69	11.9					
fA1.4	30.57	0.15	0.5	3.95	12.9					
fA1.1	32.67	-1.96	-6.0	5.83	17.8	12.05	-4.05	-33.6	5.79	48.0
fA1.23						11.18	-3.50	-31.3	5.36	48.0
fA2.1						8.69	-0.69	-7.9	3.30	38.0
fF1.14						8.10	-0.10	-1.2	2.56	31.6
fF4						8.40	-0.40	-4.8	2.41	28.7

Södra Finlands funktion fA1.4 gav i medel inga systematiska fel (b_e = 0.15 m^3/ha/5år), medan hela landets funktion fA1.1 överskattade volymtillväxten i KUSTINKA -data med ca. 2 m^3/ha/5år. I detta sammanhanget måste emellertid preciseras att fA1.1 icke gav nämnvärdiga systematiska fel (b_e = -0.28) i INKA - data för kustregionen (sk 13 - 15), medan fA1.4 underskattade volymtillväxten med 1.5 m^3/ha/5år (se Tabell 23 och 25).

För SKYDDINKA - datas del visade sig hålla stick, att funktionen för glesa bestånd fA2.1 kunde vara lämplig att använda vid tillväxtprognostisering av de nordligaste tallbestånden. Funktionen gav endast en svag överskattning (b_e = -0.69). Funktionen fA1.23 för vanliga ekonomiskogar i Lappland överskattade klart volymtillväxten i SKYDDINKA -data, så som också hela landets funktion fA1.1.

Resultaten i Tabell 44 stadfästade att funktion fA1.1 vore möjligt att tillämpa vid prognostisering av tillväxten för glesa tallbestånd (GLESINKA - och GLESNFI8 - data). Också vid utvecklingen av funktion fA2.1 för glesa bestånd enligt GLESNFI3-5-data, var det genomsnittliga systematiska felet (logaritmerad värde) endast något större för fA1.1 än för fA2.1 (se 2.3 och A2: Bilaga 2).

Tabell 44. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för hela landets funktion fA1.1 och funktion fA2.1 i oberoende GLESINKA - och GLESNFI8 -data. Tillförlitlighet för fD4 och fC4(1-10), utvecklad från testdata, har redovisats som jämförelsesbas (se 1.4 och symboler i bilaga 1).

		GLESINKA -data							
Område/ jämförelses- funktion	n	fA2.1 $\bar{\hat{y}}$	b_e	b_e%	RMSE %	fA1.1 $\bar{\hat{y}}$	b_e	b_e%	RMSE %
Hela landet	41	12.23	1.56	12.8	36.8	14.46	-0.67	-4.6	35.0
S -Finland	12	23.63	1.95	8.2	25.7	27.93	-2.35	-8.4	26.4
N -Finland	29	7.52	1.40	18.7	48.8	8.89	0.02	0.3	41.6
Hela landet/ fD4	41	13.86	-0.07	-0.5	30.0				
		GLESNF18 -data							
S -Finland (sk 1-10)	224	18.98.	2.65	14.0	41.0	20.67	0.96	4.7	35.9
Hki 1	19	12.87	0.32	2.5	54.8	13.55	-0.36	-2.6	50.4
L - S 2	30	17.48	1.59	9.1	38.8	19.10	-0.03	-0.2	33.1
Sat 3	18	17.18	-0.70	-4.1	23.0	17.16	-0.68	-4.0	24.7
U - H 4	8	16.32	1.37	8.4	48.2	15.44	2.25	14.6	54.0
P - H 5	19	18.38	0.16	0.9	34.8	20.21	-1.66	-8.2	46.2
I - H 6	28	21.92	3.97	18.1	41.9	24.44	1.44	5.9	41.9
E - S 7	27	22.31	2.96	13.3	28.4	23.57	1.69	7.2	24.3
E - K 8	22	20.87	2.25	10.8	33.7	21.05	2.06	9.8	35.4
I - S 9	15	22.71	8.05	35.4	58.2	25.78	4.98	19.3	39.7
P - K 10	38	17.94	4.62	25.7	45.7	21.47	1.09	5.1	25.3
S -Finland/ fC4(1-10)	224	21.99	-0.35	-1.6	30.1				

4.2.2 Jämförelsesfunktionernas tillförlitlighet i oberoende test-data

Jämförelsesfunktionernas tillförlitlighet i egna grundmaterial framgick av originalfunktionernas testning (se 4.2.1). Detta visade dock inte deras validitet i oberoende data. Därför blev jämförelsesfunktionerna utvecklade i undersökningenade på basen av NFI3 -data (B - funktioner) testat i INKA- , NFI8 - och KUSTINKA -data. Funktionerna baserade på INKA - data (D - funktioner) blev validerad gentemot NFI8 - , KUSTINKA - och GLESNFI8 -data. Även funktion fC1.4(1-10) baserat på NFI8 -data blev provad i KUSTINKA -data. Tillförlitlighetskriterier enligt denna granskning har redovisats i Tabell 45 - 50.

De alternativa funktionerna enligt NFI3 -data (Tabell 16 - 18) gav allmänt större systematiska fel i INKA -data än originalfunktionerna (Tabell 45). Förutom funktionen fB1.1 baserat på okorrigerade volymtillväxtprocenter, var underskattningen ca 2 till 3 gånger större än hela landets originalfunktion fA1.1. fB1.1 gav en motsvarande stor överskattning. Södra Finlands funktion fB1.4 baserad på okorrigerat tillväxt gav mindre fel än fA1.4, medan Norra Finlands funktion fB1.13 gav större fel än originalfunktionen fA1.13.

Av de andra funktionera gav fB7 endast en underskattning på ca 10 % i hela landets data (b_e = 2.19 m^3/ha/5år) och ca 7 % i Södra Finlands data (b_e = 2.20). I denna funktionen, där oberoende variabel är den absoluta volymtillväxten, hade övre höjden blivit ersatt av skogstyp (dummy), värmesumma och stamantal (Tabell 17). Annars fick man inga förbättrande effekt av tilläggsvariablerna värmesumma, stamantal eller kombinationen av skogstyp och höjdbonitet i de andra funktionerna med korrigerat tillväxtprocent (fB4) eller absolut tillväxt (fB5, fB6). Funktionen fB8 utvecklat med

icke-linjär regressionanalys gav största systematiska felet (b_e = 4.08 m^3/ha/5år) i INKA-data. Denna klara underskattningen visade att funktionsmodellen måste utvecklas vidare.

Resultaten rörande NFI8 -data var någonlunda samma som för INKA -data mht systematiska fel och medelfel (RMSE) för de ovan nämnda funktionerna enligt NFI3 -data. Funktionerna enligt INKA -data, som representerade i medel bättre skötta nutida skogsbestånd, gav inga nämndvärdiga systematiska fel i NFI8 -data. Rätt tillfredställande systematiska fel (under 10 %) gav också funktionerna fB7, fA1.1 och fB1.4 i NF18 -data, så som i INKA -data.

Tabell 45. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för stora områdens funktioner, utvecklade på basen av NFI3 -data (B -funktioner), i oberoende INKA -data. För jämförelse har angivits originalfunktionernas tillförlitlighet (se 4.1, 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

Funktion	INKA - data								
	Hela landet, n = 806			S -Finland, n = 287			N -Finland, n = 519		
	$\bar{y}$	b_e	RMSE	$\bar{y}$	b_e	RMSE	$\bar{y}$	b_e	RMSE
fB1.1/fB1.4/fB 1.13	26.36	-3.50	8.88	33.02	0.86	7.73	15.58	1.19	6.28
fB4	19.70	3.16	7.63	29 04	4.84	9.02	14.53	2.23	6.74
fB5	19.70	3.16	7.78	30.02	3.85	8.86	13.99	2.78	7.12
fB6	19.60	3.25	7.73	28.73	5.15	9.25	14.56	2.21	6.75
fB7	20.67	2.19	7.38	31.68	2.20	8.34	14.58	2.18	6.79
fB7(FRISK)									
fB7(M-GO)	19.56	3.29	7.87	29.48	4.39	9.18	14.08	2.69	7.05
fB7(TORR)									
fB8	18.78	4.08	8.24	27.33	6.55	10.27	14.05	2.72	6.87
fA1.1/fA1.4 fA1.13 *)	21.81	1.05	6.93	30.95	2.93	8.20	16.21	0.56	6.25

*) se Tabell 23, 25, 27

Tabell 46. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighets kriterier för stora områdens funktioner, utvecklade på basen av NFI3 - och INKA -data (B - och D -funktioner), i oberoende NFI8 -data. För jämförelse har angivits originalfunktionernas tillförlitlighet (se 4.1, 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

Funktion	NFI8 - data. S - Finland (sk 1 - 10). n = 849				
	$\bar{\hat{y}}$	b_e	b_e%	RMSE	RMSE %
fB1.1	31.99	-4.32	-13.5	11.13	34.8
fD1.1	26.78	0.89	3.3	9.39	35.1
fB1.4	26.40	1.27	4.8	8.04	30.5
fD1.4	27.22	0.46	1.7	8.08	29.7
fB1.4(1-10)	24.82	2.85	11.5	8.49	34.2
fD1.4(1-10)	27.16	0.52	1.9	8.23	30.3
fB4	22.51	5.16	22.9	9.51	42.2
fB5	24.07	3.61	15.0	8.67	36.0
fB6	22.31	5.36	24.0	9.59	43.0
fB7	26.08	1.59	6.1	8.19	31.4
fB7(FRISK)					
fB7(M-GO)	23.41	4.26	18.2	8.87	37.9
fB7(TORR)					
fB8	22.35	5.32	23.8	9.80	43.8
fA1.1*)	25.93	1.74	6.7	8.61	33.2
fA1.4	24.81	2.92	11.8	8.43	34.0

*) se Tabell 24, 26

Tabell 47. Volymtillväxtens ($\hat{I}_{V5}$, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för skogsnämndernas funktioner, utvecklade på basen av NFI3 -data (B -funktioner), i oberoende INKA -data. För jämförelse har angivits originalfunktionen fA1.1s tillförlitlighet (se 4.1, 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

		INKA -data					
					fA1.1*)		
Skogsnämnd	Funktion	$\bar{\hat{y}}$	b_e	RMSE%	$\bar{\hat{y}}$	b_e	RMSE%
Hki 1	fB1.4(1)	29.40	-1.12	20.7	31.84	-3.56	20.1
L - S 2	fB1.4(2)	25.89	4.62	41.7	30.31	0.21	30.3
U - H 4	fB1.4(4)	27.98	-5.46	41.5	25.85	-3.34	36.0
I - H 6	fB1.4(6)	37.78	0.69	14.3	39.94	-1.47	17.4
P - K 10	fB1.4(10)	27.45	3.68	31.4	27.33	3.80	30.8
P - S 11	fB1.4(11)	34.21	5.09	23.8	37.78	1.53	15.8
E - P 13	fB1.4(13)	26.16	3.00	27.8	27.93	1.24	21.2
Vaasa 14	fB1.4(14)	29.00	4.31	22.1	36.62	-3.31	13.9
K - P 15	fB1.4(15)	38.85	-6.01	26.1	33.98	-1.14	22.3
Kainuu 16	fB1.13(16)	21.05	0.41	34.3	19.97	1.49	35.5
P - P 17	fB1.13(17)	17.95	-0.93	35.1	18.11	-1.08	38.6
Koil -S 18	fB1.13(18)	10.15	3.75	59.6	11.54	2.36	44.9
Lappi 19	fB1.13(19)	10.40	2.61	54.1	10.97	2.04	48.6

*) se Tabell 23

Tabell 48. Volymtillväxtens (I_{V5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för skogsnämndernas funktioner, utvecklade på basen av NFI3- och INKA -data (B- och D -funktioner), i oberoende NFI8 -data. För jämförelse har angivits originalfunktion fA1.1's tillförlitlighet (se 4.1, 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

		NFI8 - data, Södra Finland (sk 1 - 10)								
Skogs-nämnd	Funktion	$\bar{y}$	b_e	RMSE %	Funktion	$\bar{y}$	b_e	RMSE %	fA1.1 b_e	RMSE %
Hki 1	fB1.4(1)	20.07	0.98	33.0					-0.21	35.0
L - S 2	fB1.4(2)	20.45	3.70	34.5	fD1.4(2)	24.99	-0.85	29.0	0.12	28.9
Sat 3					fD1.4(3)	21.20	1.57	32.2	0.73	32.4
U - H 4	fB1.4(4)	40.67	-8.87	41.5					1.69	42.6
P - H 5					fD1.4(5)	27.15	-1.62	29.9	-1.10	29.2
I - H 6	fB1.4(6)	28.30	2.54	31.0	fD1.4(6)	28.87	1.97	33.7	2.61	37.6
E - S 7					fD1.4(7)	33.58	-0.59	20.2	2.87	24.6
E - K 8					fD1.4(8)	32.17	-0.40	27.6	2.85	33.8
I - S 9					fD1.4(9)	32.69	2.10	32.3	4.90	38.1
P - K 10	fB1.4(10)	23.01	3.39	34.5	fD1.4(10)	27.02	-0.63	24.0	3.10	31.8

*) se Tabell 24

Funktionerna för mindre regioner (skogsnämnderna) enligt NFI3 -data gav allmänt något större systematiska fel och RMSE än motsvarande för hela landets funktion fA1.1 i INKA - och NFI8 -data på skogsnämndsnivån (Tabell 47 - 48). För de flesta skogsnämdernas del var det fråga om underskattning. Hela landets funktion fA1.1 gav ungefär lik stora fel i de båda test-materialen. Skogsnämndsfunktionerna enligt INKA - data visade endast en något bättre resultat än fA1.1 i NFI8 -data (Tabell 48).

Tabell 49. Volymtillväxtens (I_{V5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för funktioner, utvecklade på basen av NFI3 -, NFI8 - och INKA -data (B -, C - och D -funktioner) I oberoende KUSTINKA - data. För jämförelse har angivits originalfunktion fA1.4s tillförlitlighet (se 4.1, 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

Funktion	KUSTINKA - data, n = 39				
	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE	RMSE %
fB1.4(13-15)	30.97	-0.26	-0.8	4.14	13.4
fD1.4(13-15)	31.22	-0.51	-1.6	5.09	16.3
fD1.4	33.59	-2.88	-8.6	5.28	15.7
fC1.4(1-10)	34.31	-3.60	-10.5	5.72	16.7
fA1.4*)	30.57	0.15	0.5	3.95	12.9

*) se Tabell 43

Förutom funktionen fC1.4(1-10) baserat på NFI8 -data, uppvisade de andra granskade funktionerna enligt INKA - och NFI3 -data mycket bra noggrannhet i talldominerade bestånd inom Österbottens kustregion (Tabell 49). Från Tabell 50 kunde stadfästas att hela landets funktioner fA1.1 och fD1.1 gav noggrannare resultat i glesa bestånd enligt NFI8 än funktionerna fA2.1 och fD4 baserats på data rörande enbart glesa bestånd. Det måste emellertid i detta sammanhanget nämnas att data för de glesa bestånden enligt NFI3 och INKA också ingick i materialet bakom hela landets funktioner.

Tabell 50. Volymtillväxtens (I_{v5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för hela landets funktion fD1.1 och glesa beståndsfunktion fD4, utvecklade på basen av INKA - och GLESINKA -data (D - funktioner), i oberoende GLESNFI8 -data. För jämförelse har angivits motsvarande originalfunktioners tillförlitlighet (se 4.1, 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

Funktion	GLESNFI8 -data, S - Finland (sk 1 - 10), n = 224				
	$\bar{\hat{y}}$	b_e	b_e%	RMSE	RMSE %
fD4	17.79	3.85	21.6	7.85	44.2
fD1.1	21.78	-0.15	0.7	7.75	35.6
fA2.1*)	18.98	2.65	14.0	7.78	41.0
fA1.1*)	20.67	0.96	4.7	7.42	35.9

*) se Tabell 44

4.2.3 Tillförlitligheten för volymtillväxtfunktioner enligt Mielikäinen (1975) och Nyyssönen & Mielikäinen (1978) i oberoende testdata

Tillförlitlighetskriterier för beståndsfunktionerna enligt Mielikäinen (1975) och Nyyssönen & Mielikäinen (1978) har redovisats i Tabell 51 - 54. Som jämförelse har angivits kriterier för originalfunktionen fA1.1 (Tabell 23 - 24).

Mielikäinens funktion (fM1975) har utvecklats på basen av icke-klimatkorrigerade tillväxtdata. Nyyssönen & Mielikäinens (1978) funktion (fN&M1978) däremot blev utarbetad på basen av klimatkorrigerade tillväxtdata. Funktionen fM1975 var en föregångare för den sistnämnda. fN&M1978 blev utvecklat på ett något bredare material än fM1975 inhämtat från Södra Finland. (se texten i 1.2.4 och Tabell 1b).

Nyyssönen & Mielikäinens funktion (fN&M1978) har i denna undersökningen tillämpats med och utan korrektioner. För Södra Finland har används korrektionsfaktorer för enstaka skogsnämnder, som finns hos Nyyssönen & Mielikäinen (1978). För hela Södra Finland var t ex korrektionsfaktoren 0.9. Korrektionsfaktorer för tillämpning inom Norra Finlands skogsnämnder var de angivna i Tapios skogshandbok (Tapio taskukirja 1994, s. 365).

De systematiska felen och medelfelen (RMSE) för den okorrigerade tillväxtprocentfunktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen 1978 var i genomsnitt mycket små i båda Södra och Norra Finlands INKA -data. Jämfört med hela landets funktion fA1.1 var validiteten i INKA - data en aning bättre för fN&M1978 inom stora regioner, medan de båda funktionerna i stort uppvisade samma noggranhet för skogsnämnderna. När tillväxtkorrektioner tillämpades gav funktionen betydlig underskattning med mycket högre medelfel (Tabell 51). Isär för Norra Finlands del blev de procentuala felen höga. Granskningen av funktionen i oberoende NFI8 -data från enbart Södra Finland, gav ungefär samma resultat med betydligt underskattning, när korrektioner (se 1.2.4) gjordes (Tabell 54).

Funktion fM1975, baserat på icke-klimatkorrigerade data, blev endast testat med ungefär geografiskt motsvarande data till funktionens grund-data (Tabell 52-53). En relativt klar underskattning var resultatet i båda INKA - och NFI8 -data, och visade att klimatkorrigering av tillväxten för funktionen fN&M1978 har haft en klart förbättrande effekt med minskning av det systematiska felet.

Tabell 51. Volymtillväxtens (I_{V5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för Nyyssönen & Mielikäinens (1978) funktion med och utan tillväxtkorrektion (fN&M1978, fN&M1978korr.) i oberoende INKA -data. För jämförelse har angivits originalfunktionen fA1.1s tillförlitlighet (se 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

	INKA - data										
	fN&M1978				fN&M1978korr				fA1.1*)		
Område	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE %	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE %	b_e	b_e%	RMSE %
S - Finland	33.44	0.44	1.3	24.0	29.93	3.95	13.2	29.6	1.02	3.1	24.1
Hki 1	32.30	-4.02	-12.4	20.3	26.16	2.11	8.1	23.6	-3.56	11.2	20.1
L - S 2	31.44	-0.92	-2.9	30.9	24.53	5.99	24.4	47.2	0.21	0.7	30.3
Sat 3	31.70	-3.37	-10.6	20.5	25.68	2.65	10.3	21.6	-2.57	-8.3	16.9
U - H 4	27.10	-4.58	-16.9	36.6	24.66	-2.14	-8.7	35.4	-3.34	-12.9	36.0
P - H 5	31.96	-1.29	-4.0	30.7	27.49	3.18	11.6	36.3	-0.21	-0.7	32.7
I - H 6	39.01	-0.54	-1.4	15.2	33.55	4.92	14.7	23.1	-1.47	-3.7	17.4
E - S 7	37.52	2.38	6.3	20.7	31.51	8.38	26.6	35.8	3.59	9.9	22.5
E - K 8	37.01	3.38	9.1	23.8	32.57	7.82	24.0	34.5	4.08	11.2	22.8
I - S 9	37.33	2.23	6.0	15.7	33.23	6.33	19.0	25.3	2.44	6.6	16.9
P - K 10	27.62	3.52	12.7	30.5	22.37	8.76	39.1	51.7	3.80	13.9	30.8
P - S 11	38.43	0.88	2.3	16.0	33.81	5.49	16.2	23.6	1.53	4.0	15.8
K - S 12	35.22	3.21	9.1	28.4	34.16	4.27	12.5	30.2	2.93	8.2	28.7
E - P 13	28.81	0.35	1.2	21.2	23.34	5.83	24.9	36.7	1.24	4.4	21.2
Vaasa 14	38.51	-5.20	-13.5	17.2	23.11	10.20	44.1	48.1	-3.31	-9.0	13.9
K - P 15	34.16	-1.33	-3.9	23.8	27.33	5.50	20.1	34.4	-1.14	-3.4	22.3
N -Finland	16.68	0.09	0.5	38.2	10.68	6.08	56.9	83.0	1.06	6.8	40.4
Kainuu 16	21.20	0.25	1.2	33.0	15.74	5.72	36.3	60.2	1.49	7.4	35.5
P - P 17	19.34	-2.32	-12.0	37.6	14.35	2.67	18.6	48.1	-1.08	-6.0	38.6
Koil-S 18	12.26	1.65	13.4	41.3	6.01	7.89	131.2	156.9	2.18	20.4	44.9
Lappi 19	11.53	1.48	12.8	45.5	5.76	7.24	125.7	155.7	2.04	18.6	48.6

*) se Tabell 23 för bl a antal observationer inom områder

Tabell 52. Volymtillväxtens (I_{V5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för funktion enligt Mielikäinen (1975) (fM1975) i oberoende INKA - data från Södra Finland. För jämförelse har angivits originalfunktion fA1.1s tillförlitlighet (se 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

	INKA -data, Södra Finland						
	fM1975				fA1.1*)		
Område	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE%	b_e	b_e%	RMSE%
S -Finland	30.37	3.51	11.6	29.1	1.02	3.1	24.1
Hki 1	29.85	-1.58	-5.3	19.6	-3.56	11.2	20.1
L - S 2	28.68	1.84	6.4	35.0	0.21	0.7	30.3
Sat 3	28.97	-0.64	2.2	19.1	-2.57	-8.3	16.9
U - H 4	25.51	-2.99	-11.7	34.7	-3.34	-12.9	36.0
P - H 5	29.12	1.55	5.3	33.2	-0.21	-0.7	32.7
I - H 6	34.74	3.73	10.7	23.3	-1.47	-3.7	17.4
E - S 7	33.61	6.28	18.6	29.0	3.59	9.9	22.5
E - K 8	33.66	6.73	20.0	31.4	4.08	11.2	22.8
I - S 9	34.05	5.51	16.2	23.0	2.44	6.6	16.9
P - K 10	25.26	5.88	23.3	38.2	3.80	13.9	30.8
P - S 11	34.26	5.04	14.7	23.0	1.53	4.0	15.8
K - S 12	31.64	6.79	21.5	36.2	2.93	8.2	28.7
E - P 13	26.64	2.53	9.5	25.3	1.23	4.4	21.2
Vaasa 14	35.02	-1.71	-4.9	12.7	-3.31	-9.0	13.9
K - P 15	31.15	1.68	5.4	25.4	-1.14	-3.4	22.3

*) se Tabell 23 för bl a antal observationer inom områder

Tabell 53. Volymtillväxtens (l_{v5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för funktion enligt Mielikäinen (1975) (fM1975) i oberoende NFI8 - data från Södra Finlands skogsnämnder 1-10. För jämförelse har angivits originalfunktion fA1.1's tillförlitlighet (se 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

	NFI8 -data. Södra Finland. sk 1 -10						
	fM1975				fA1.1*)		
Område	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE%	b_e	b_e%	RMSE%
S- Finland	24.61	3.06	12.4	36.6	1.74	6.7	33.2
Hki 1	20.61	0.45	2.2	32.9	-0.21	-1.0	35.0
L-S 2	23.51	0.63	2.7	28.4	0.12	0.5	28.9
Sat 3	21.02	1.75	8.3	35.1	0.73	3.3	32.4
U-H 4	27.58	4.22	15.3	39.8	1.69	5.6	42.6
P-H 5	25.22	0.31	1.2	28.7	-1.10	-4.1	29.2
I-H 6	26.55	4.29	16.1	37.1	2.61	9.3	37.6
E-S 7	28.08	4.91	17.5	35.4	2.82	9.4	24.6
E-K 8	27.27	4.50	16.5	36.4	2.85	9.8	33.8
I-S 9	28.21	6.57	23.3	47.6	4.90	16.4	38.1
P-K 10	22.29	4.10	18.4	38.5	3.10	13.3	31.8

*) se Tabell 24 för bl a antal observationer inom områder

Tabell 54. Volymtillväxtens (l_{v5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för Nyyssönen & Mielikäinens (1978) funktion med och utan tillväxtkorrektion (fN&M1978, fN&M1978korr.) i oberoende NFI8 -data från Södra Finlands skogsnämnder 1 - 10. För jämförelse har angivits originalfunktionen fA1.1's tillförlitlighet (se 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

NFI8 - data. Södra Finland. sk 1 - 10											
	fN&M1978				fN&M1978korr				fA1.1*)		
Område	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE%	$\bar{y}$	b_e	b_e%	RMSE%	b_e	b_e%	RMSE%
S -Finland	26.99	0.68	2.5	30.7	24.17	3.50	14.5	36.7	1.74	6.7	33.2
Hki 1	22.02	-0.97	-4.4	31.9	17.70	3.35	18.9	43.0	-0.21	-1.0	35.0
L - S 2	25.31	-1.16	-4.6	28.8	19.52	4.63	23.7	40.4	0.12	0.5	28.9
Sat 3	22.87	-0.10	-0.4	32.8	18.30	4.47	24.4	45.2	0.73	3.3	32.4
U - H 4	30.86	0.94	3.0	35.8	27.96	3.84	13.7	49.1	1.69	5.6	42.6
P - H 5	27.47	-1.94	-7.1	27.5	23.44	2.09	8.9	30.9	-1.10	-4.1	29.2
I - H 6	29.49	1.35	4.6	32.9	25.19	5.65	22.5	42.0	2.61	9.3	37.6
E - S 7	31.58	1.41	4.5	23.5	26.34	6.64	25.2	38.6	2.82	9.4	24.6
E - K 8	29.79	1.98	6.6	29.5	26.06	5.72	21.9	39.9	2.85	9.8	33.8
I - S 9	31.56	3.22	10.2	36.0	27.97	6.81	24.3	46.9	4.90	16.4	38.1
P - K 10	24.24	2.15	8.9	30.9	19.44	6.96	35.8	51.7	3.10	13.3	31.8

*) se Tabell 24 bl a för antal observationer inom områder

I KUSTINKA -data visade Nyyssönen & Mielikäinens funktion en överskattning på 2.54 m^3/ha/5år eller 7.6 %. Funktionen med korrektion gav en kraftig underskattning på 6.84 m^3/ha/5år eller 28.6 %. Däremot gav Mielikäinens (1975) funktion i genomsnitt tillväxtvärden utan nämnvärdiga systematiska fel (b_e = 0.33 m^3/ha/5år). Södra Finlands fuktion fA1.4 och hela landets funktion fA1.1 gav som jämförelser systematiska fel på 0.15 och -1.96 m^3/ha/5år för samma test -data (se Tabell 43).

Funktionen fN&M1978 blev också provad i SKYDDINKA -, GLESINKA- och GLESNFI8 -data. Som förväntat överskattade funktionen mycket klart de nordligaste tallbeståndens volymtillväxt med hela 4.30 m^3/ha/5år eller 35 %. I glesa tallbestånd enligt GLESINKA -data var överskattningen 14.2 % (b_e = -2.29 m^3/ha/5år) och enligt GLESNFI8 -data endast 6 % (b_e = - 1.38 m^3/ha/5år). Dessa systematiska felen var

ungefär av samma storlek som för originalfunktion fA2.1 baserat på endast glesa bestånd, men något högre än för hela landets funktion fA1.1 (se Tabell 44).

4.2.4 Tillförlitligheten för Tapios volymtillväxtsimulator i oberoende INKA -data

Modellen fTASO (se 1.2.4) blev testat endast för det landsomfattande INKA -materialet, bl a på grund av det omfattande räknearbetet modellen krävde.

Taso-modellen uppvisade (Tabell 55) någonlunda det samma systematiska felet (överskattning på ca. 2 m^3/ha/5år eller ca. 8 %) som hela landets funktion fA1.1 och Nyyssönen & Mielikäinens funktion på hela landets nivå i oberoende INKA -data. På alla andra nivå en uppvisade fTASO -modellen klart sämre nogrannhet i det oberoende materialet. Det systematiska felet för hela landets data med fTASO var emellertid ett medelvärde av en klar underskattning på 3.38 m^3/ha/5år eller ca. 11 % för Södra Finlands INKA -bestånd, och en motsvarande signifikant överskattning på hela 4.86 m^3/ha/år eller ca. 22 % för Norra Finlands del. Det systematiska felet variarade mycket starkt för de enskilda skogsnämndernas del, och var i genomsnitt klart högre än för fA1.1 och funktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978).

Osäkerheten i tillväxtestimaten enligt fTASO avspeglades genom mycket höga värden på RMSE. Medelfelen var från ca. 10 till 20 procentenheter högre för fTASO-modellen än för fA1.1 och fN&M1978. Detta var fallet också för de enskilda skogsnämnderna, och oberoende av fakts det systematiska felets storlek (jmf. Tabell 51 och 55).

Tabell 55. Volymtillväxtens (l_{v5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier i oberoende INKA -data för volymtillväxtsimulator fTASO till bruk i skogsbruksplaneringen inom finska privatskogsbruket. För jämförelse har angivits originalfunktionen fA1.1s tillförlitlighet (se 4.2.1 och symboler i bilaga 1).

		INKA - data					
	fTASO				fA1.1*)		
Område	$\bar{\hat{y}}$	b_e	b_e%	RMSE%	b_e	b_e%	RMSE%
Hela landet	24.78	-1.92	-7.7	70.0	1.05	4.8	31.8
S -Finland	30.50	3.38	11.1	53.4	1.02	3.1	24.1
Hki 1	28.19	0.09	0.3	43.6	-3.56	-11.2	20.1
L - S 2	30.86	-0.34	-1.1	72.7	0.21	0.7	30.3
Sat 3	27.93	0.40	1.4	38.2	-2.57	-8.3	16.9
U - H 4	26.63	-4.11	-15.4	60.5	-3.34	-12.9	36.0
P - H 5	29.37	1.30	4.4	54.2	-0.21	-0.7	32.7
I - H 6	30.91	7.56	24.4	64.9	-1.47	-3.7	17.4
E - S 7	27.00	12.89	47.7	68.9	3.59	9.9	22.5
E - K 8	31.03	9.36	30.2	59.8	4.08	11.2	22.8
I - S 9	35.96	3.60	10.0	42.9	2.44	6.6	16.9
P - K 10	31.54	-0.41	-1.3	48.8	3.80	13.9	30.8
P - S 11	28.96	10.35	35.7	48.4	1.53	4.0	15.8
K - S 12	31.61	6.82	21.6	48.1	2.93	8.2	28.7
E - P 13	30.98	-1.81	-5.8	51.1	1.24	4.4	21.2
Vaasa 14	36.94	-3.63	-9.8	42.2	-3.31	-9.0	13.9
K - P 15	31.69	1.15	3.6	58.5	-1.14	-3.4	22.3
N -Finland	21.62	-4.86	-22.5	82.7	1.06	6.8	40.4
Kainuu 16	19.89	1.57	7.9	59.4	1.49	7.4	35.5
P - P 17	22.34	-5.32	-23.8	57.6	-1.08	-6.0	38.6
Koil -S 18	21.99	-8.09	-36.8	97.8	2.18	20.4	44.9
Lappi 19	22.59	-9.59	-42.4	109.3	2.04	18.6	48.6

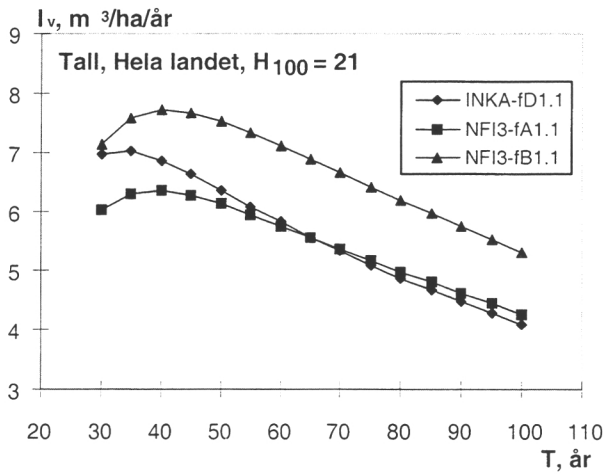
*) se Tabell 23 för bl a antal observationer inom områder

4.3 Volymtillväxten för tall enligt olika modeller

4.3.1 Regional volymtillväxt för talldominerade bestånd i Finland enligt original- och jämförelsesfunktioner

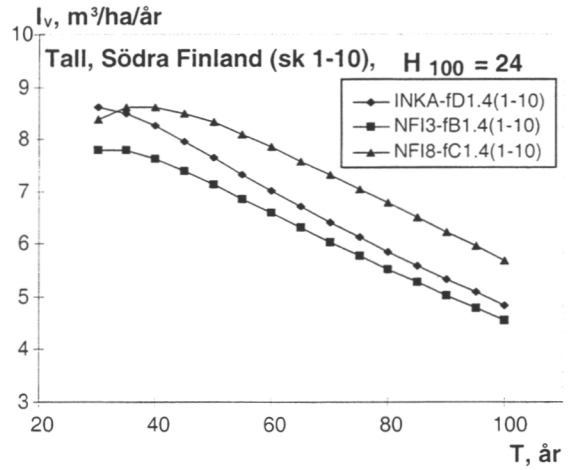
Tillväxtförlopp över hela omloppstiden blev simulerad med hjälp av de i avsnitt 4.1 - 4.2.1 och 4.2.2 behandlade original- och jämförelsesfunktioner. Resultaten blev redovist i grafiska figurer och numeriska tabeller för olika stora geografiska regioner. I jämförelserna har används samma funktionsmodeller för att kunda granska t ex olika datas inverkan.

Volymtillväxten har angivits som den kommande 5 -årsperiodens genomsnittliga årliga volymtillväxt, då detta är ett mera vanligt än 5 -årsperiodens summatillväxt.



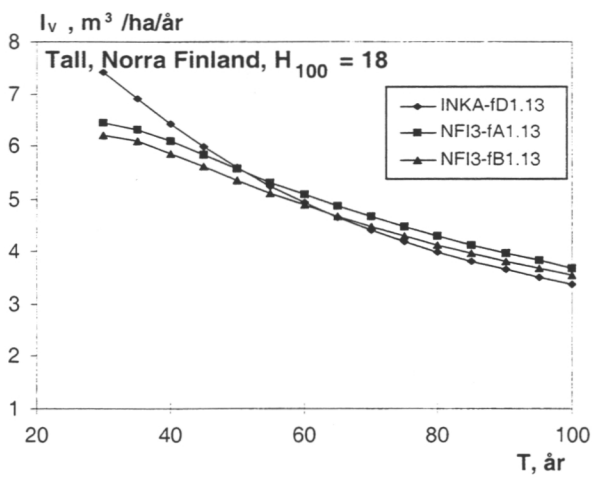
Figur 19. Genomsnittlig volymtillväxtutveckling i talldominerade bestånd över hela landet på höjdbonitet H_{100} = 21 enligt funktionerna baserat på NFI3- (fA1.1, fB1.1) och INKA -data (fD1.1). Volymutveckling enligt genomsnitt för hela landets INKA -data (se texten).

Skillnaden i simulerad volymutveckling var liten för hela landets funktioner fA1.1 och fD1.1, medan funktionen fB1.1 baserats på icke-klimatkorrigerade NFI3 -tillväxtdata gav klart högre förlopp (Figur 19). Klimatkorrigeringens inverkan kunde sporas som en ca. 1.5 m^3/ha/år systematisk högre volymtillväxt från 40 års beståndsålder till omloppstidens slut. För Norra Finlands del var skillnaden mycket liten mellan tillväxtförloppen enligt funktion fA1.13 (Figur 21) baserats på klimatkorrigerade NFI3 - data och funktion fB1.13 baserats på icke-klimatkorrigerade data. För Norra Finlands del var emellertid genomsnittlig årsindex mycket nära 100 (96, se 2.2).



Figur 20. Genomsnittlig volymtillväxtutveckling i tall-dominerade bestånd inom Södra Finlands skogs-nämndsregion 1 - 10 på höjdbonitet H_{100} = 24 enligt funktionerna baserat på INKA - (fD1.4(1-10)), NFI3 - (fB1.4(1-10)) och NFI8 -data (fC1.4(1-10)). Volymutveckling enligt genomsnitt för skogsnämnds regionens (1-10) INKA -data (se texten).

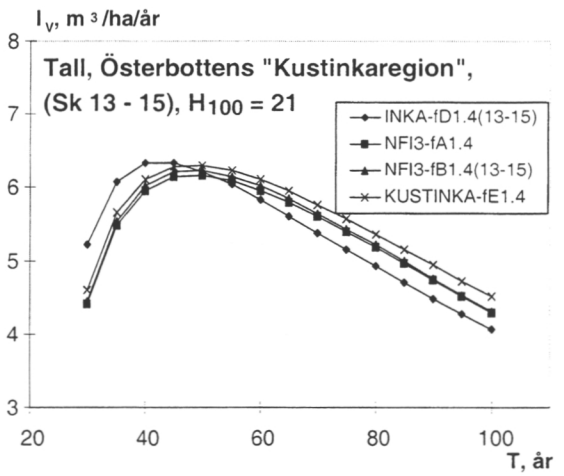
I Figur 20 har redovisats tillväxtförloppet enligt funktionerna utvecklat på basen av olika data inhämtat från skogsnämndsregionen 1 - 10 inom Södra Finland. Funktionen fC1.4(1-10), baserat på de små relaskopsytorna i NFI8s traktsystem, gav klart högre volymtillväxtvärden än INKAs och NFI3s funktion för beståndsålder högre än 45 år. Skillnaden i årlig volymtillväxt var ca. 1 m^3/ha/år mellan fB1.4(1-10) och fC1.4(1-10), när höjdbonitet och volymutveckling under omloppstiden var den samma. Det måste preciseras att även en mycket mindre skillnad i den skattade absoluta årliga volymtillväxten enligt olika funktioner, kan föra till betydliga skillnader i simulerad medeltillväxt eller m a o totalproduktionen under hela omloppet(se t ex 4.4.2, Figur 32).



Figur 21. Genomsnittlig volymtillväxtutveckling för talldominerade bestånd i Norra Finland på höjdbonitet H_{100} = 18 enligt funktioner baserat på NFI3- (fA1.13, fB1.13) och INKA -data (fD1.13). Volymutveckling enlig genomsnitt för Norra Finlands INKA -data (se texten).

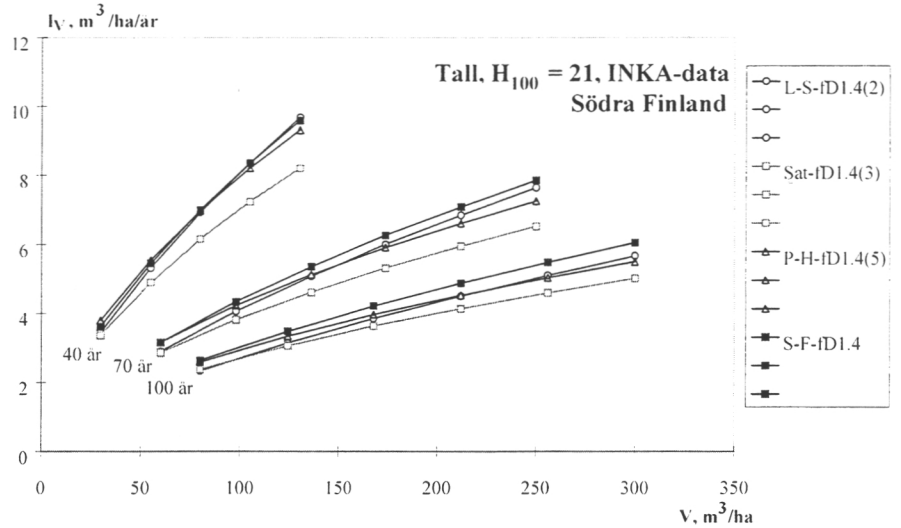
Tillväxtförloppen för Österbottens "Kustinkaregion" var mycket likadana enligt olika data med samma funktionsmodell (Figur 22), och gav därför inte starkt stöd åt hypotesen om att en lokal prognosfunktion vill ge betydligt noggrannere skattning av tillväxten än funktionen för hela södra hälften av landet. Funktionen fE1.4 baserad enbart på den egentliga kustregionens tallbestånd gav svagt högre tillväxtvärden, när volymutvecklingen hade normerats till ett genomsnittlig nivå enligt INKA -data (Figur 22).

Simulerad volymtillväxtutveckling för andra boniteter och regioner än de redovisats i Figurerna 19 - 22 framgår av Tabell 1 och 2 i Bilaga 2. För varje region har volymtillväxtutvecklingen simulerats för omloppstiden 100 år. I alla beräkningar har volymutvecklingen normerats till att följa INKA -datas genomsnittliga förlopp, änten för Södra eller Norra Finland. Från dessa enkla regionala tillväxtutvecklingstabeller kan granskas skillnader i tillväxtskattningar för funktioner inom samma skogsnämnd och inom hela Södra och Norra Finland. Resultaten har redovisats för höjdboniteterna H_{100} = 27 -18 för Södra Finland och 24 - 15 för Norra Finland. Funktionerna brukt i simuleringarna var de baserade på NFI3 -, NFI8 -, INKA - och KUSTINKA -data (se 4.1, Tabell 19 - 21).

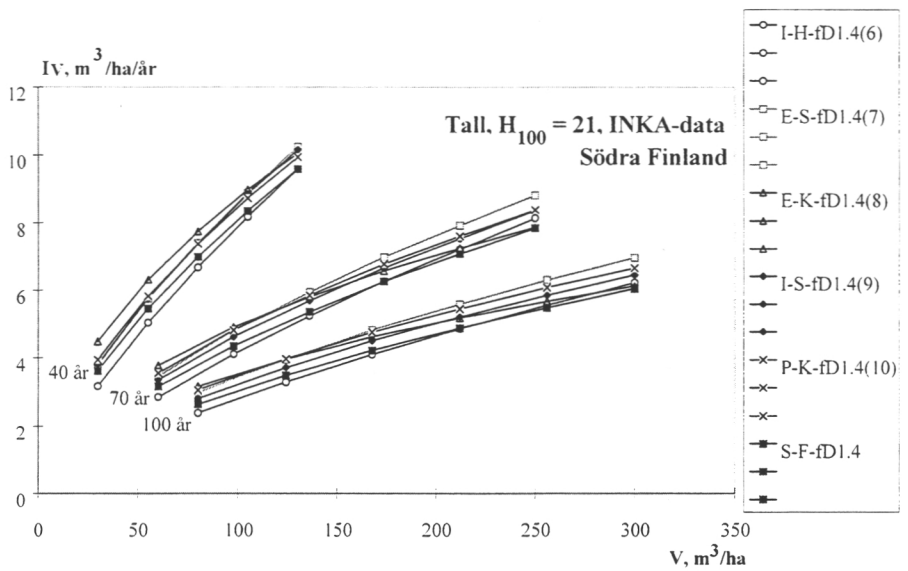


Figur 22. Genomsnittlig volymtillväxtutveckling i talldominerade bestånd inom Österbottens skogsnämndsregion 13 - 15 på höjdbonitet H_{100} = 21 enligt funktioner baserat på NFI3 - (fA1.4, fB1.4(13-15), INKA - (fD1.4(13-15) och KUSTINKA -data (fE1.4). Volymutveckling enligt genomsnitt för skogsnämndsregionen (13-15) i INKA-data (se texten).

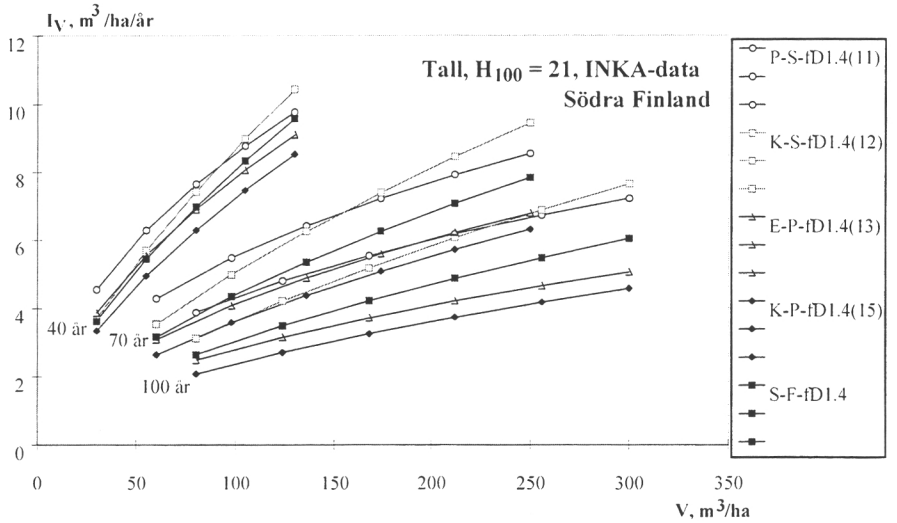
Förhållandet mellan skattat årlig volymtillväxt och beståndsvolym inom tre åldersklasser har redovisats för enskilda skogsnämnder enligt INKA -funktioner i Figur 23 - 26. Motsvarande resultat enligt funktioner baserat på NFI3 - och NFI8 -data finns i Bilaga 2, Figur 1 - 2. Vid värdering och jämförelse av tillväxtvärderna enligt dessa grafiska kurvor måste iakttagas, att bakom vissa funktionerna för enskilda skogsnämnder var antalet observationer lågt (se Tabell 19), och funktionernas parametrer har av den grund blivit osäkra. Vid simulering av volymtillväxtförloppen hölls höjdboniteten konstant dvs. ålder och övre höjd, medan volymet ökades som det framgår av t ex Figur 23. Speciellt de funktioner med stora medelfel knutna till parametrarna vill lätt ge ologiska resultat, när volymet varieras till extrema och ofta orealistiska gränser.



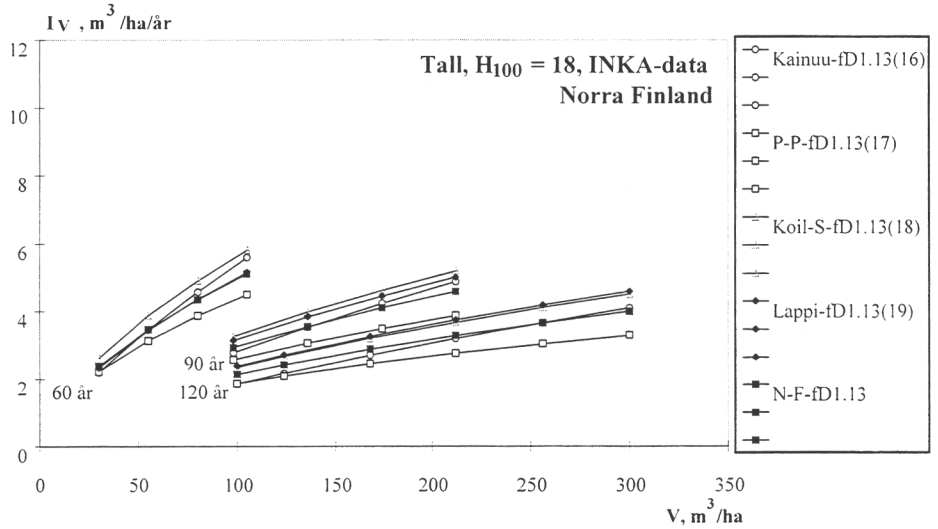
Figur 23. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_v) och volym (V) inom tre åldersklasser i talldominerade bestånd för skogsnämnderna 2, 3 och 5 och Södra Finland enligt INKA - funktioner.



Figur 24. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_v) och volym (V) inom tre åldersklasser i talldominerade bestånd för skogsnämnderna 6 - 10 och Södra Finland enligt INKA -funktioner.



Figur 25. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_v) och volym (V) i tre åldersklasser i talldominerade bestånd för skogsnämnderna 11-13, 15 och Södra Finland enligt INKA - funktioner.



26. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_v) och volym (V) inom tre åldersklasser i talldominerade bestånd för skogsnämnderna 16-19 och Norra Finland enligt INKA -funktioner.

Tillväxtskattningarna rörande enskilda skogsnämnder i Södra Finland granskades i början inom grupper av 5 skogsnämnder. Grupperingen skedde systematiskt enligt

skogsnämndernas stigande numror, utan hänsyn till geografisk belägenhet och klimatiska förhållanden. Grupp 1 omfattade skogsnämnderna 1 - 5, grupp 2 sk 6 - 10 och till grupp 3 hörde sk 11 - 15. Norra Finlands skogsnämnder (16 - 19) behandlades skild som en grupp (se Figur 23 - 26 och Figur 1 - 2 i bilaga 2).

I det följande nämnas några iaktagelser rörande tillväxtnivån inom dessa grupperingar (se också Tabell 56). Inom grupp 1 visade Hki (1) och Satakunta (3) att ha lägsta tillväxtnivån enligt alla tre data. Uudenmaan - Häme (4) hade högsta tillväxt enligt NFI3 - och NFI8 - funktioner, men lägsta nivån enligt INKA. Skillnaden mellan lägsta och högsta tillväxtnivån var relativt klart och konstant inom gruppen för alla tre data. Skillnaden var i medel ca 1 - 2 m^3/ha/år. I grupp 2, med tyngdpunkt på skogsnämnderna i Södra Finlands syd-östliga och östliga inland, var skillnaden mellan tillväxtnivån mycket liten oberoende av vilka testmaterial som var bas för funktionerna. Allmänt låg tillväxten i medel en aning högre för denna grupp jämfört med grupp 1.

Tabell 56. Skogsnämndernas rangordning enligt genomsnittlig volymtillväxtnivå i talldominerade INKA- och NFI8 - bestånd (detta arbete: Gustavsen) och några tidigare regionala redovisningar (se texten).

Ilvessalo (1960) NFI1-3(1924 -53) 1)	Koivisto (1970) NFI3(1951 - 53) 2)	Kuusela (1977) NFI6(1971 - 76) 3)	Nyyssönen& Mielikäinen (1978) NFI6(1971 - 76) 4)	Gustavsen INKA (1976 - 93) 5)	Gustavsen NFI8 (1981 - 89) 5)
1. I - H 6	1. U - H 4	1. U - H 4	1. K - S 12	1. E - K 8	1. I - S 9
2. I - S 9	2. I - H 6	2. I - H 6	2. U - H 4	2. E - S 7	2. E - S 7
3. Hki 1	3. Hki 1	3. Hki 1	3. I - S 9	3. I - S 9	3. E - K 8
4. U - H 4	4. I - S 9	4. I - S 9	4. P - S 11	4. P - S 11	4. U - H 4
5. P - H 5	5. P - H 5	5. E - S 7	5. E - K 8	5. I - H 6	5. I - H 6
6. P - S 11	6. E - S 7	6. E - K 8	6. I - H 6	6. K - S 12	6. P - K 10
7. E - S 7	7. P - S 11	7. P - H 5	7. P - H 5	7. Vaasa 14	7. P - H 5
8. K - S 12	8. L - S 2	8. L - S 2	8. E - S 7	8. K - P 15	8. L - S 2
9. E - K 8	9. Sat 3	9. K - S 12	9. Hki 1	9. P - K 10	9. Sa 3
10. L - S 2	10. E - K 8	10. P - S 11	10. Sat 3	10. P - H 5	10. Hki 1
11. Vaasa 14	11. K - S 12	11. Sat 3	11. P - K 10	11. L - S 2	
12. Sat 3	12. Vaasa 14	12. P - K 10	12. E - P 13	12. E - P 13	
13. P - K 10	13. P - K 10	13. E - P 13	13. K - P 15	13. Sat 3	
14. E - P 13	14. E - P 13	14. Vaasa 14	14. L - S 2	14. Hki 1	
15. K - P 15	15. K - P 15	15. K - P 15	15. Vaasa 14	15. U - H 4	
16. Kainuu 16	16. Kainuu 16	16. P - P 17		16. Kainuu 16	
17. P - P 17	17. P - P 17	17. Kainuu 16		17. P - P 17	
18. Lappi 19	18. Koil - S 18	18. Lappi 19		18. Koil - S 18	
19. Koil - S 18	19. Lappi 19	19. Koil - S 18		19. Lappi 19	

1) enligt skogarnas naturliga virkesproduktionsförmåga(all skogsmark), alla trädslag
2) enligt relativ volymtillväxt på momarkernas medelbonitet, tall-, gran- och björkdominerade bestånd
3) enligt skogsmarkens medeltillväxt, alla trädslag
4) enligt tillväxtkorrektionsfaktorer på basen av NFI6, gran- och talldominerade bestånd
5) enligt uppmätt periodisk volymtillväxt för talldominerade bestånd på momarker

Grupp 3 bestod av skogsnämnder från båda det vestliga kustområdet i Österbotten och det mellersta och östliga inland. Skillnaden i tillväxt var störst för denna gruppen (se t ex Figur 25). Inlandsregionerna Pohjois-Savo (11) och Keski-Suomi (12) visade ett högre nivå än de österbottniska skogsnämnderna 13 - 15 enligt INKA -funktioner. Också NFI3 -funktionernas tillväxtvärden visade det samma. Detta kan tolkas som ett klart stöd åt de resultat Karlsson (1996b) tidigare har redovisat. Tillväxtsnivån enligt

funktionerna för Keski-Suomi (12) och Pohjois-Savo (11) låg ungefär på samma nivå som för grupp 2.

Inom Norra Finland var volymtillväxtskillnaderna i absoluta mått små. I relativa tal var dock skillnaderna klart större. Skattade värden enligt funktionerna baserat på INKA - och NFI3 -data samt enligt observerat genomsnittlig volymtillväxt på INKA -ytorna (Tabell 56, se också Tabell 13), visade högsta tillväxt för Kainuu (16). De två nordligaste områden (sk 18 och 19) hade allmänt lägsta nivån. För skogsnämnden Pohjois - Pohjanmaa (17) var resultaten något motstridiga. Simulerad volymtillväxt enligt INKA -funktionen gav lägsta nivån inom alla tre åldersklasser (Figur 26). Detta var icke fallet för NFI3 -funktionen, och heller icke enligt uppmätt tillväxt, där Pohjois-Pohjanmaa i medel hade högre tillväxtnivå än båda Koillis - Suomi (18) och Lappi (19).

Det måste emellertid tilläggas att skillnaderna påverkas av olika fördelningar i data på beståndsålder, övre höjd och volym för delområderna. Enligt Tabell 13 låg t ex tyngdpunkten av observationerna för Koillis-Suomi och Lappi på betydligt äldre talldominerade bestånd än Pohjois-Pohjanmaa. En tendens till sned fördelning på unga eller äldre bestånd i basdata vill lätt kunna föra till förvränging av resultaten vid simulering med funktionerna där beståndsvolymet ökas extremt i förhållandet till volymvärderna i basdata.

Som ett nästa skede testades (F-test, se 3.3) alla de lokala regressionsfunktionerna. Man testade nollahypotesen om lika stora parametrar för de olika regionernas funktioner. Testresultaten krävde varsom tolkning och var endast riktningsgivande, bl a därför att antalet observationer bakom funktionerna spelade en relativt stor roll för testresultaten.

Norra Finlands lokala INKA - och NFI3 -funktioner blev testat mot en gemensam modell fA1.13 och fD1.13. I båda fallen var F-värdet starkt signifikant (NFI3: F_{obs}=15.16**(9,886), INKA: F_{obs}=4.39**(9,507)), och man kunde förkasta noll-hypotesen; dvs att funktionernas parametrar var signifikant olika för skogsnämnderna inom Norra Finland. En motsvarande testning av de två större delområders funktioner för Kainuu-Pohjois Pohjanmaa (16-17) och Lappi-Koillis-Suomi (18-19) visade samma resultat. Också testning av Kainuus funktioner gentemot Pohjois-Pohjanmaas gav signifikanta F -värden; NFI3: F_{obs}=6.21** (3,385) och INKA: F_{obs}=5.52**(3,291). Icke signifikant F-värde fick man för testning av Lappis INKA -funktion gentemot Koillis-Suomi (F_{obs}=1.11 (3,216)), medan NFI3 -funktioner gav svagt signifikant resultat (F_{obs}=3.16* (3,501)).

Testresultaten för hela Södra Finland gav signifikanta F-värden, och nollahypotesen kunde förkastas på basen av detta (NFI3: F_{obs}=2.44**(24,701), INKA: F_{obs}=1.46* (24, 242)). Testning av NFI8-funktionerna för skogsnämndsregionen 1 - 10 visade mycket starkt signifikant F-värde (NFI8: F_{obs}=15.20** (8,816)). Detaljerad testning av skogsnämndernas funktioner inom och mellan de ovan skisserade grupperna 1 -3, ledde till något olika resultat för NFI3 -, NFI8 - och INKA -funktioner. För båda NFI3 - och INKA -funktioner kunde man inte förkasta nollahypotesen för funktioner inom en grupp av skogsnämnder 1 - 12. För NFI8 -funktionernas del fick man emellertid signifikant F-värde för regionen sk 1 - 10, men inte därsom man testade separat funktioner för en grupp bestående av sk 1 - 6 sk och en grupp av sk 7 - 10. Heller inte för regionen bestående av sk 13 - 15 fick man signifikanta värden enligt INKA - och NFI3 -data.

I Tabell 13 stöds rangordningen enligt INKA -data klart av tidigare undersökningar för Norra Finlands del, där tallen huvudsakligen dominerar skogsförhållanden. Den statistiska testningens resultat överenstemmer i stort med de beräknade genomsnittliga volymtillväxtvärderna för Södra Finlands del. Vaasa (14) och Keski - Pohjanmaa (15) uppvisade dock en något högre rangording enligt INKA -data (Tabell 56) än tidigare

undersökningar. Detta var troligen ett resultat av att bestånden var fördelade på betydligt yngre bestånd för dessa skogsnämnder. Medelåldern var endast 41 år och 34 år (Tabell 13).

I detta sammanhanget måste precisera att skillnaderna i rangordningen för olika skogsnämnder inom Södra Finland var något motstridiga för olika undersökningarna enligt Tabell 56. En viktigt orsak var att i denna undersökningen har behandlats endast talldominerade bestånd i motsats till de andra undersökningarna, där resultaten avser flera trädslag. För vissa skogsnämnder, där granen och björkens andel är stor, vill därför tillväxtnivån påverkas och därmed rangordningen ändras. Detta var fallet för t ex U - H (4) och P - H (5), som har fått en högre rang enligt tidigare undersökningar än enligt tallbestånden i denna undersökningen. Jämförelsen visade också tydligt, att när olika riksskogstaxeringars data (historiska data) läggs till grund för rangering av lokala områdens tillväxtnivåer, vill detta lätt kunna föra till motstridiga resultat.

På basen av alla olika granskningarna kunde man skissera en följande indelning av skogsnämnderna i 3 områden båda inom Södra och Norra Finland, som bas för en eventuell utveckling av regionala tillväxt och produktionstabeller för talldominerad skog i Finland.

Inom Södra Finland kunde man skillja ut följande 3 områden enligt tillväxtnivå, beståndsstruktur, förråd och klimatiska och geografiska förhållanden: **ett sydligt/syd-vestligt området** bestående av skogsnämnderna Hki(1), L-S(2), Sat(3), **U-H(4), P-H(5) och I-H(6), ett östligt/syd-östligt kontinentalt inlandsområde** omfattande E-S(7), E-K(8), I-S(9), P-K(10), P-S(11) och K-S(12), och ett vestligt/nord-vestligt område bildat av E-P(13), Vaasa(14) och K-P(15).

Inom Norra Finland vore följande områden möjlig bas för lokala produktionsmodeller: ett nordligt området omfattande Koillis-Suomi (18) och Lappi (19), ett östligt omfattande Kainuu (16) och ett vestligt bestående av Pohjois - Pohjanmaa (17). Som uppsummering måste preciseras att skogsnämndernas gränser bildar naturligtvis inte några klara "riktiga" gränser för områderna, som vill tilldels överlappa varandra. Indelningen enligt skogsnämnderna är därför endast riktgivande och mera detaljerade undersökningar krävs i fortsättningen för att kunna bestämma den verklig gränsdragningen för lokala tillväxtområden.

4.3.2 Volymtillväxt enligt tidigare nordiska undersökningar

Jämförelser med tidigare undersökningar hade som syfte att få veta hurudan skillnader man fick mellan tillväxtskattningar enligt vissa original- och jämförelsesfunktioner utvecklat i denna undersökningen och enlig några tidigare undersökningars modeller, när de sistnämndas beståndsutveckling (material) var utgångspunkt.

4.3.2.1 Jämförelser med finska undersökningar

Av finska undersökningar blev valt några centrala, som representerade olikt behandlade tallbestånd med uppgifter om volymtillväxten i olika delar av landet. Redovisningarna har begränsat endast till tallens vanligaste ståndortstyper. I Tabell 57 och 58 har redovisats välskötta rena tallbestånd inom Södra Finland. Tabell 59 visar jämförelse av volymtillväxten i obehandlade tallbestånd i Norra och Södra Finland, och i Tabell 60 "hushålls"-tallbestånd inom Kainuu och Österbotten. Ett exempel har också redovisat för naturligt föryngrade rena tallbestånd enligt Mielikäinens (1980) undersökning i blandsskog av tall och björk i Södra Finland. I Figur 27 har jämförts tillväxtskattningar

enligt funktioner för kulturbestånd av tall enligt Vuokila & Väliaho (1980), för naturligt föryngrade rena skötta bestånd enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) och för ekonomibestånd av tall enligt originalfunktionerna fA1.4 och fA1.5 för Södra Finland.

Tabell 57. Jämförelse mellan årlig volymtillväxt (I_V) av tall i Södra Finland behandlade med upprepande gallringar enligt Nyyssönen(1954) och enligt funktioner i denna undersökningen. Beståndsutveckling enligt Nyyssönen (1954).

Bonitet MT H_{100} = 27.3			I_V, m^3/ha/år*)				
T. år	H_{dom}, m	V,m^3/ha	Nyys 1954	fA1.1	fC1.4(1-10)	fD1.4(1-10)	fD1.1
40	14.8	165	11.6	10.5	11.2	10.2	10.3
60	20.7	240	8.6	8.3	9.5	8.1	7.7
80	24.5	283	6.2	6.7	7.9	6.5	6.0
100	27.3	310	4.9	5.5	6.7	5.4	4.9
120	29	324	3.9	4.6	5.7	4.6	4.1
Bonitet VT H_{100} = 23.7							
40	13	118	8.8	8.5	9.0	8.6	8.7
60	17.9	185	8.2	7.2	8.1	7.3	6.9
80	21.3	225	5.6	5.9	6.9	6.0	5.5
100	23.7	245	4.5	4.8	5.8	5.0	4.5
120	25.3	255	4.2	4.0	5.0	4.2	3.7
Bonitet CT H_{100}= 17.6							
60	11.3	79	4.6	4.3	4.8	5.0	4.7
80	14.7	119	4.4	4.1	4.8	4.6	4.2
100	17.6	153	4.0	3.7	4.5	4.2	3.7
120	19.8	176	3.3	3.3	4.1	3.7	3.2

*) Avser volymtillväxt på bark. Nyyssönens tillväxt utan bark har korrigerats med hjälp av uppgifter om barkprocenter i undersökningen

Tabell 58. Jämförelse mellan årlig volymtillväxt (I_V) av tall i Södra Finland behandlade med många starka gallringar enligt Vuokila (1967) och enligt funktioner i denna undersökningen. Beståndsutveckling enligt Vuokila (1967).

Bonitet II H_{100} = 27			I_V, m^3/ha/år*)				
T. år	H_{dom}, m	V,m^3/ha	Vuok1967	fA1.1	fC1.4(1-10)	fD1.4(1-10)	fD1.1
30	11.7	101	9.6	10.4	10.5	10.3	10.9
37	14.4	136	8.9	10.0	10.4	9.7	9.9
45	17	167	7.8	9.1	9.8	8.8	8.8
53	19.4	186	6.6	8.0	8.9	7.8	7.6
61	21.5	194	5.6	6.9	7.9	6.9	6.5
69	23.2	195	4.9	6.0	7.0	6.0	5.6
77	24.8	190	4.3	5.2	6.1	5.3	4.9
Bonitet IV H_{100} = 22							
38	8.8	60	6.0	5.9	6.2	6.6	6.7
45	10.8	82	5.9	6.0	6.5	6.6	6.5
52	12.7	99	5.5	5.7	6.3	6.2	6.0
60	14.6	115	5.0	5.3	6.0	5.8	5.5
68	16.5	126	4.6	4.9	5.6	5.3	4.9
76	18.1	131	4.1	4.3	5.1	4.8	4.4
84	19.5	133	3.6	3.9	4.6	4.3	3.9
92	20.9	131	3.4	3.4	4.1	3.8	3.4

*) Avser volymtillväxt på bark. Vuokilas tillväxt utan bark har korrigerats med hjälp av uppgifter om barkprocenter i under sökningen.

Funktionerna baserat på NFI3-, NFI8- och INKA -data skattade mycket tillfredställande tillväxten på basen av uppgifter om rena tallbestånd behandlade med upprepande gallringar (Tabell 57). I starkt gallrade bestånd enligt Vuokila (1967) var skillnaderna något större. En svag överskattning kunde sporas på bästa bonitet. Högst låg värderna enligt funktionen fC1.4(1-10) baserat på NFI8 -data.

Tabell 59. Jämförelse mellan årlig volymtillväxt (I_v) av naturnormala obehandlade tallbestånd enligt Ilvessalo & Ilvessalo (1975) och enligt funktioner i denna undersökningen. Beståndsutveckling enligt Ilvessalo & Ilvessalo (1975).

Bonitet VT, H_{100} = 23.2 S-Finland				I_V, m^3/ha/år*)		
T, år	H_{dom}, m	V,m^3/ha	Ilves1975	fA1.1	fD1.1	
40	11.8	134	7.2	9.6	9.8	
60	17.6	219	6.8	8.1	7.7	
80	21.2	299	5.6	7.2	6.6	
100	23.2	351	3.8	6.3	5.6	
120	24.5	375	2.1	5.4	4.8	
Bonitet EVT, H_{100} = 18.7 N-Finland						
T, år	H_{dom}, m	V,m^3/ha	Ilves1975	fA1.19	fD1.13	fA1.23
40	9.2	119	5.4	9.0	9.9	9.3
60	13.7	148	3.0	6.3	6.2	6.3
80	16.8	243	1.9	6.3	5.6	6.3
100	18.7	260	1.4	5.3	4.5	5.1
120	19.9	272	1.1	4.6	3.8	4.3

*) Avser tillväxten på bark. Ilvessalo & Ilvessalo's tillväxt utan bark har korrigerats med hjälp av uppgifter om barkprocenter i undersökningen.

Ingen funktion gav bra estimat för de naturnormala obehandlade tallbestånden enligt Ilvessalo & Ilvessalo (1975). Den starka överskattningen för alla funktioner kunde man förvänta, därför att basdata för funktionerna inte i stor grad omfattade sådana bestånd. Funktionerna förmår inte att t ex uppfånga det för nutida behandlade skogars "onormala" förhållandet mellan mycket låg volymtillväxt och högt volym (Tabell 59).

Däremot Koivistos (1972) redovisade volymtillväxtvärden för ekonomiskogar inom distriktet Kainuu-Norra Österbotten (Tabell 60), stämde mycket bra överens med båda INKA -funktionen och NFI3 -funktionen för samma området. Detta var naturligt då riksskogstaxeringernas data allmänt representerar sådana skogar.

Något mindre förväntat vore den goda överenstemmelsen i Tabell 61 mellan tillväxtprocenterna enligt Mielikäinens (1980) undersökning och funktion fA1.5. Jämförelsen omfattade dock endast en ståndortstyp.

Den grafiska framställningen av funktionerna i Figur 27 visade att originalfunktionens fA1.5 linjära förlopp var beroende av att övre höjden, dvs. boniteten (T - H_{dom}), icke var med som inputvariabel (jmf fA1.4). Bortsett från den lägsta åldersklassen 45 år, följer simulerad tillväxtutveckling enligt huvudfunktionen fA1.4 mycket väl båda Nyyssönen & Mielikäinens (1978) och Vuokila & Väliahos (1980)) icke-linjära utveckling.

Det linjära volymtillväxtförloppet enligt funktion fA1.5 var troligen en orsak till att man fick i medel något högre systematiska fel med denna än med funktionerna fA1.4 och fA1.1 (se Tabell 42). I vanliga "vardagsskogar" där tätheten varierar mycket, skattas beståndets volymtillväxt inte tillräckligt noggrannt endast med volymet och åldern som

in-put variabler. Därför behövs också sådana bonitets- och träddimensions-beskrivande variabler i tillägg, så som t ex övre höjden, skogstyp, medeldiameter etc.

Tabell 60. Jämförelse mellan årlig volymtillväxt (I_v) av behandlade talldominerade ekonomiskogsbestånd i området Kainuu-Norra Österbotten enligt Koivisto(1972) och enligt funktioner i denna undersökningen. Beståndsutveckling enligt Koivisto(1972).

Bonitet VMT, H_{100} = 21.2			I_V, m^3/ha/år		
T, år	H_{dom}, m	V,m^3/ha	Koiv1972	fA1.19	fD1.13(16-17)
40	11.9	106	7.3	7.7	9.0
50	14.5	131	7.4	6.7	7.2
60	16.5	148	6.7	5.9	5.9
70	18.2	161	5.8	5.3	4.9
80	19.5	170	5.2	4.8	4.2
90	20.5	175	4.5	4.3	3.7
100	21.2	178	3.9	4.0	3.3
110	21.8	181	3.5	3.7	2.9
Bonitet EVT, H_{100} = 19.1					
40	11	83	6.0	6.7	7.9
50	13.2	105	6.0	6.0	6.5
60	14.9	122	5.2	5.4	5.4
70	16.3	136	4.6	4.9	4.6
80	17.4	145	4.1	4.5	4.0
90	18.3	151	3.6	4.1	3.5
100	19.1	155	3.3	3.8	3.1
110	19.7	157	3.0	3.5	2.8
Bonitet ECT, H_{100} = 16.2					
50	10.3	61	4.1	4.5	4.9
60	12	79	4.0	4.3	4.4
70	13.4	94	3.9	4.1	3.9
80	14.5	106	3.6	3.9	3.5
90	15.4	115	3.3	3.6	3.2
100	16.2	122	3.1	3.4	2.9
110	16.8	126	2.8	3.2	2.6

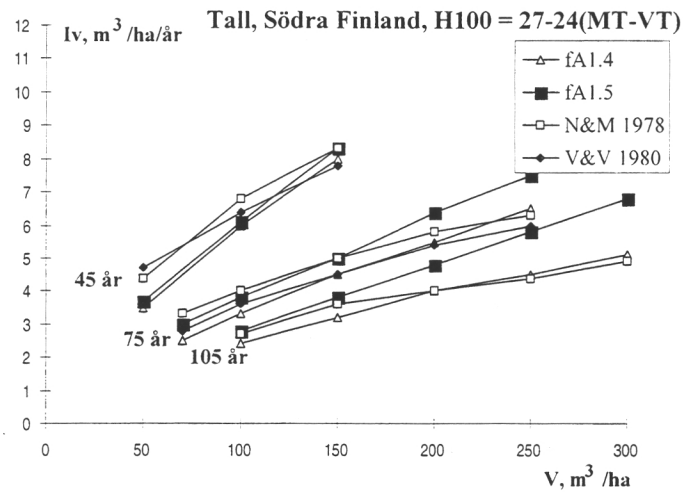
Tabell 61.Jämförelse mellan volymtillväxtprocenten för rena tallbestånd i Södra Finland enligt Mielikäinens (1980) funktion för blandskog av tall och björk och enligt originalfunktionen fA1.5 (V,T - funktion). Beståndsutveckling enligt Mielikäinen (1980).

Bonitet MT : H_{100} = 27		P_V, %	
T, år	V, m^3/ha	Mielikäinen (1980)	fA1.5
40	140	6.56	6.16
45	186	5.34	5.13
50	175	5.01	4.68
55	219	4.18	4.08
60	200	4.01	3.81
65	240	3.44	3.42
70	215	3.35	3.25
75	251	2.94	2.97

Nyyssönen & Mielikäinen (1978) har tidigare jämfört fA1.5 med sin egen funktion fN&M1978 i ett mycket begränsad material (28 ytor) inhämtat från Södra Finland. Medelfelet i det oberoende testmaterialet var något högre för fA1.5 (28.5 %) än för deras egen funktion (22.5 %). Det systematiska felet var -16.3 % (överskattning) med fA1.5 och 5 % (underskattning) med fN&M1978. I undersökningen blev det linjära förloppet gentemot beståndsvolymet (Figur 27) enligt fA1.5 förklarad som ett resultat av de små ytorna i NF13. Slutsatsen är emellertid mycket osäkert, därför att ytestorleken i NF13 var så stor som 1000 m^2 och det tillhörande provträdsantalet i medel 15-20 träd, som allmänt har blivit brukt inom produktionsforskningen för skattningen av beståndets volymtillväxt (t ex Nyyssönen 1951, Strand 1959). Ett antagandet om att funktionens linjäritet skulle vara förorsakat av de små ytorna är därför mycket osannolikt.

Också en jämförelse mellan två funktioner med olikt antal variabler och stuktur kan man teoretiskt sett ifrågeställa. Nämligen, när estimaten från en funktion baserad endast på volym och ålder (utan bonitetsled) blir jämfört med en funktion som i tillägg också har en bonitetsvariabel (skogstyp). I det sistnämnda funktionen (fN&M1978) vill också bonitetsvariablen påverka tillväxtförloppet enligt volymet. En mer relevant jämförelse borde ha omfattad t ex funktionen fA1.4 så som i Figur 27, där bonitetsvariablen är med i form av åldern och övre höjden.

Emellertid, som tidigare har stadfästas vid granskning av systematiska felen och medelfelen i olika testdata i denna undersökningen, ger Nyyssönen & Mielikäinens (1978) funktion ungefär samma resultat som originalfunktionerna fA1.4 och fA1.1. Skillnaderna i prognostiserad volymtillväxt var heller inte stor jämfört med funktionen enligt Vuokila & Väliaho (1980) för kulturtallbestånd huvudsakligen uppkommit efter sådd.



Figur 27. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_v) och volym (V) i tre åldersklasser i tallbestånd enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978), Vuokila & Väliaho (1980) och original- funktionerna fA1.4 (V, T, H_{dom}-funktion) och fA1.5 (V, T - funktion).

4.3.2.2 Jämförelser med svenska och norska undersökningar

Några relevanta svenska jämförelsesmodeller var de enligt Persson (1992) (Tabell 62) och Ekö (1985) (Tabell 63). Båda dessa undersökningar hade beståndets grundytetillväxtfunktion som basfunktion vid simulering av volymtillväxten över hela omloppstiden.

Tabell 62. Jämförelse mellan årlig volymtillväxt (I_V) av tall i Södra och Norra Sverige enligt Persson (1992) och enligt denna undersökningens funktioner. Beståndsutveckling enligt Persson (1992), där utgångsbeståndet var enligt Riksskogstaxeringen.

Bonitet Tall H_{100}=28 : (7S-S)			I_V, m^3/ha/år				Bonitet Tall H_{100}=24 : (9N-S)			I_V, m^3/ha/år		
T, år	H_{dom}, m	V, m^3/ha	Pers1992	fA1.1	fD1.1	fD1.4	T, år	H_{dom}, m	V, m^3/ha	Pers1992	fA1.13	fD1.13
30	12.8	100	10.1	10.1	10.5	9.8	37	12.6	77	5.8	7.7	7.3
38	16	178	11.2	11.5	11.0	10.8	46	15.2	128	6.6	8.3	7.2
42	17.4	156	8.8	9.2	8.9	8.9	55	17.4	185	7.0	8.5	6.9
50	19.8	231	10.5	9.9	9.1	9.4	61	18.6	181	6.4	7.3	6.0
55	21.1	227	9.8	8.7	8.0	8.4	70	20.3	236	6.6	7.4	5.8
63	22.9	301	10.1	9.1	8.1	8.7	75	21.1	215	6.0	6.3	5.0
66	23.5	265	9.2	7.8	7.1	7.6	84	22.3	267	6.1	6.5	5.0
74	24.9	335	9.6	8.1	7.1	7.8	93	23.3	320	6.3	6.5	4.9
82	26	408	9.8	8.3	7.1	7.9	102	24.2	373	6.3	6.5	4.8
Bonitet Tall H_{100} =24 :(9S-S)							Bonitet Tall H_{100}=20 :(8N-S)					
37	12.6	97	7.5	8.0	8.4	8.2	49	12.5	88	4.7	6.0	5.8
45	14.9	118	7.3	7.3	7.4	7.5	60	14.7	137	5.1	6.4	5.7
54	17.2	180	7.9	7.9	7.6	8.0	68	16.1	133	4.6	5.3	4.8
59	18.2	165	7.1	6.7	6.5	6.9	79	17.7	181	4.9	5.5	4.7
68	19.9	225	7.5	7.1	6.6	7.2	90	19	232	5.0	5.6	4.6
73	20.8	197	6.7	5.9	5.6	6.1	92	19.2	182	4.3	4.5	3.9
82	22	255	7.1	6.2	5.7	6.4	103	20.3	227	4.5	4.7	3.9
91	23.1	315	7.3	6.4	5.8	6.5	114	21.2	274	4.5	4.8	3.8
100	24	378	7.5	6.5	5.8	6.6						
Bonitet Tall H_{100} =20 : (7S-S)							Bonitet Tall H_{100}=16: (7N-S)					
49	12.5	89	5.4	5.6	6.0	6.2	70	12.6	104	3.6	4.5	4.4
60	14.7	144	5.9	6.3	6.3	6.7	79	13.8	96	3.2	3.6	3.6
65	15.6	122	5.2	5.0	5.2	5.5	92	15.2	135	3.4	3.8	3.6
76	17.3	175	5.5	5.4	5.3	5.9	104	16.4	123	2.9	3.1	3.0
81	17.9	142	4.8	4.3	4.3	4.8	117	17.5	159	3.1	3.2	3.0
92	19.2	192	5.2	4.7	4.5	5.1						
103	20.3	246	5.4	4.9	4.6	5.3						
Bonitet Tall H_{100} =16 : (7 S-S)												
70	12.6	84	3.7	3.7	4.1	4.4						
83	14.2	129	4.1	4.2	4.4	4.9						
90	15.0	110	3.6	3.4	3.5	4.0						
103	16.3	154	3.9	3.7	3.7	4.3						
116	17.4	201	4.1	3.9	3.8	4.4						

Perssons (1992) undersökning bygde på den stora svenska produktionsundersökningens material inhämtat från helt subjektivt anlagda tillfälliga ytor över hela Sverige. Grundmaterialet representerade därför troligen inte medelvärden av svensk tallskog. Tillväxtvärden redovisats i Tabell 62 har emellertid simulerats med utgångspunkt i den

svenska riksskogstaxtens beståndsstruktur, och borde därför ge en någonlunda rätt bild av svensk tallskog i medel. I stort var det små skillnader i tillväxtskattningarna mellan denna undersökningens funktioner baserade på INKA- och NFI3 -data. Jämfört med Persson (1992) var överensstämmelsen god. Endast en svag systematisk tendens finns till högre värden med Perssons modell för mycket höga beståndsförråd. De finska funktionerna gav allmänt en motsvarande högre tillväxt i unga bestånd.

Ekös (1985) funktion däremot har baserats på svenska riksskogstaxeringens material. Den simulerade volymtillväxten i Tabell 63 enligt Ekös funktion gäller emellertid för välskötta och väl anlagda tallbestånd i Sverige. Syfte med simuleringen var att översätta SI till bonitet (medeltillväxt, MAI) (Ekö 1985, s 167).

Tabell 63. Jämförelse med årlig volymtillväxt av välskötta tallbestånd i Mellersta och Norra Sverige enligt Ekö (1985) och enligt denna undersökningens funktioner fA1.6(G,T,H_{dom}-funktion) och fA1.1. Beståndsutveckling enligt Ekö (1985).

Bonitet Tall H_{100} = 20 . Område: Mellan Sverige				I v. m^3/ha/år		Tall H_{100} = 20. Område: Nord Sverige		I v. m^3/ha/år	
T. år	Hdom.m	G.m^2/ha	V.m^3/ha	Ekö1985	fA1.6	G m^2/ha	V m^3/ha	Ekö1985	fA1.1
40	10.5	22.0	101	8.0	6.8	20.0	92	7.0	7.8
45	11.6	24.0	122	6.3	7.0	23.0	117	6.7	7.2
50	12.7	25.0	139	6.9	7.0	27.0	150	6.5	8.4
55	13.7	28.0	169	6.2	7.2	20.0	120	6.0	6.4
60	14.7	22.5	146	6.5	6.0	24.0	155	5.5	7.0
70	16.4	27.5	203	6.5	6.5	28.0	203	5.0	7.1
80	17.8	25.0	204	5.7	5.7	32.0	260	5.0	7.3
90	19.0	27.5	242	5.8	5.8	29.0	273	4.7	6.4
100	20.0	32.0	297	5.9	6.0	33.0	315	4.0	6.6
Bonitet Tall H_{100} = 16. Område: Nord Sverige fA1.1									
50	9.5	15.0	61	7.1	4.4				
60	11.0	19.0	92	3.9	4.8				
70	12.6	25.0	140	3.7	5.3				
75	13.4	26.0	157	3.8	5.3				
80	13.9	20.0	127	3.6	4.3				
90	15.0	21.0	146	3.5	4.2				
95	15.6	23.0	167	3.0	4.3				
100	16.0	25.0	187	3.0	4.4				

Tillväxtförloppet var mycket likt och låg på samma nivå för båda funktionerna i exemplet på relativt torr momark (SI=20) i Mellarsta Sverige (Tabell 63). I funktionen för Södra Finland är beståndet grundyta inputvariabel i stället för volymet, så som i Ekös funktioner. Hela landets funktion fA1.1 avvek något mera från Ekös tillväxtförlopp för nordsvenska tallbestånd, isär i gamla bestånd.

En tendens till något lägre tillväxtnivå enligt Ekös funktion blev stadfästat i jämförelsen i Tabell 64, där denna tillsamman med Södra Finlands funktion fA1.4 och två norska (Brantseg 1969 och Blingsmo 1984) har redovisats enligt den norska beståndsutveckling över brösthöjdsålder ($T_{1.3}$) på hög, medelgod och låg bonitet. Redovisningen har grundats på Blingsmos (1988) grafiska framställning av funktionerna i fråga. Det blev enligt Blingsmo (l.c.) gjort flera förutsättningar, isär för Ekös funktion, som kan ha orsakad att denna har givit så låga tillväxtvärden i förhållandet till de finska, som också har utvecklats från riksskogstaxeringens data. Till exempel att funktionen

för Mellan Sverige blev valt, och att alla indikatorvariabler blev satt till 0, samt att breddgraden blev satt till 60° och höjd över havet till 100m.

Tillväxtförloppet var allmänt mycket likt för alla modellerna på ståndorterna ifråga. Skillnader förkom närmast i tillväxtnivån. De norska tillväxtskattningarna låg högst på den allra bästa ståndorten och Södra Finlands funktion gav högsta tillväxtvärden på den sämsta boniteten. Speciellt för medelboniteten var skillnaderna i tillväxten mellan de norska och den finska modellen mycket små. Den goda översenstämmelsen i stort var förvånansvärd bra, tatt i betraktande att tillväxtskattningen i de olika funktionerna blev baserat på bl a olika beroende variabler. Den svaga allmänna tendensen till att de finska tillväxtmodellerna gav högre värden enligt svenska och norska förhållanden på något svagare momarksståndorter kan vara orsakad av att tallen på sådana marker i Finland växer bättre och/eller att beståndsstrukturen annorlunda.

Tabell 64. Jämförelse mellan årlig volymtillväxt (I_v) av tall enligt Brantseg (1969), Blingsmo (1984), Ekö (1985) och Södra Finlands funktion fA1.4. Beståndsutveckling enligt Blingsmo (1988) för tall i Norge (se texten).

H_{100} = 28.9		I_V, m^3/ha/år			
$T_{1.3}$, år	V, m^3/ha	Brantseg1969	Blingsmo1984	Ekö1985	fA1.4
30	289	17.0	17.0	13.0	15.8
40	374	15.8	16.0	11.0	14.4
50	434	14.0	14.6	9.4	12.6
60	480	12.4	13.0	8.0	11.4
70	515	11.0	11.8	7.0	10.2
80	541	10.0	11.0	6.0	9.0
90	561	9.0	10.0	5.5	8.2
H_{100} = 21.9					
40	219	9.4	9.6	8.0	10.4
60	327	8.8	8.8	6.5	9.2
80	389	7.2	7.5	5.4	7.6
100	427	6.0	6.5	4.4	6.7
110	485	5.4	6.0	4.0	6.2
H_{100} = 13.4					
50	64	2.2	2.6	2.4	3.5
70	154	4.0	4.0	3.3	4.8
80	194	4.2	4.0	3.3	5.0
90	218	4.3	3.7	3.2	4.8
110	258	3.6	3.5	2.6	4.5
130	285	3.3	3.2	2.5	4.0

4.4 Övre höjdens utveckling för naturligt föryngrade talldominerade bestånd

4.4.1 Höjdutvecklingskurvornas (funktionens) tillförlitlighet i oberoende test-data

4.4.1.1 Allmänt om kontroller

Kontroller mot oberoende material av fasta och tillfälliga provytor hade som syfte att visa det för kurvornas konstruktion använda materialets generaliserbarhet. För att denna generalisering skall vara försvarsbar är det viktigt att kurvorna och funktionen inte uppvisar stora systematiska fel. Orsakerna till sådana fel kan vara många. Felen kan vara

bl a orsakade av modellen, bearbetning, uppmätning av data, estimering av årantal till brösthöjd för olika boniteter, och av grundmaterialet inte är tillräckligt representativt.

Vid utveckling av kurvorna blev kontroller gjorts mot det vid kontrstruktionen använda material (tillfälliga ytor) och vissa jämförelser med andra undersökningar (se A3). Något snedhet residualbilden kunde konstateras, men detta förorsakades endast smärre skillnader i själva kurvorna (Gustavsen 1982, Figur 12). Sådana kontroller mot det använda materialet kan dock endast upptäcka systematiska fel i modellen och bearbetningen.

För att upptäcka fel knutna till grundmaterialets generalisering måste oberoende material användas. Därför blev kontroll av höjdutvecklingskurvorna gjort mot oberoende material redan år 1982 (Gustavsen 1982). Successiva boniteringar blev gjort i tallbestånd på fasta försöksytor anlagda av Skogsforskningsinstitutets avdelning för skogstaxering (se Figur 31 i 4.4.1.2). Denna kontrollen visade inte några klara tecken på att kurvförloppen avvikar systematiskt från de fasta ytornas övre höjdutvecklingförlopp. Numeriska residualer i H_{100}-värderna blev dock inte redovisat.

4.4.1.2 Kontroller med successiva boniteringar

I denna undersökningen var det därför viktigt att granska på nytt höjdutvecklingskurvorna i oberoende material från de permanenta INKA - och SKYDDINKA -ytorna. Materialet från de tillfälliga NFI8 - ytorna blev också brukt, men de förstnämnda måste betraktas som mest pålitliga i detta sammanhanget.

Originalfunktionen fA3.1 hade i första hand utvecklats för bonitering eller klassifiering av bestånden, och inte för att avbilda verkliga höjdutvecklingsförlopp i enskilda bestånd. Föra att kunna skatta övre höjden med funktion fA3.1 måste H100-värdet på förhand vara känd (se avsntt 2.4). Lösas emellertid funktionen mh på ståndortsindexet, kan detta beräknas när övre höjd och ålder är kända; dvs som man gör vid bonitering från kurvskaran. Därför att syfte med utvecklingskurvorna var att bestämma beståndens H_{100} -värden, blev kontrollen av funktionens tillfölitlighet knuten huvudsakligen till residualerna eller de systematiska felen i H_{100} -värderna. Dessa blev skattade enligt succesiva boniteringar; t ex på basen av uppmätt ålder och övre höjd vid första ($\hat{H}_{100}1$), andra ($\hat{H}_{100}2$) och eventuell tredje uppmätningen ($\hat{H}_{100}3$) för INKA - bestånd, samt första och andra uppmätningen för SKYDDINKA -bestånd. Övre höjd och ålder vid femårs -periodens början (första uppmätning) blev för NFI8 skattat med reduktion av andra uppmätningens värden.

En positiv differens (d_e) betydde att ståndortsindexet hade stigit vid tidpunkt 5 eller 10 år senare eller m a o att höjdutvecklingen enligt test-data har hatt en starkare utveckling än bonitetsskurvorna enligt fA3.1. Detta var fallet i medel för bestånd med lägre övre höjd än 17 m för 5 år mellan boniteringarna (Tabell 65). Detta var något klarare tendens för 10 år mellan boniteringarna (Tabell 66), där gränsen låg vid ca. 21 meter. En motsvarande tendens med sjunkande ståndortsindex kunde sporas i höga ålders- och höjdklasser.

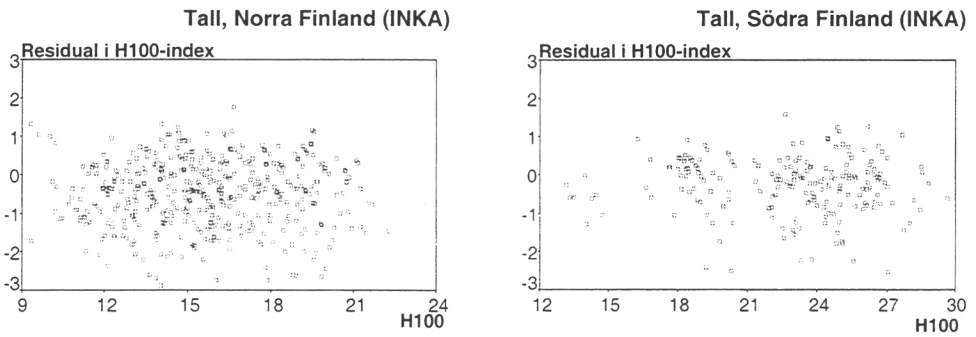
Den genomsnittliga differensen för alla INKA -bestånd var 0.26 eller 1.5 % av skattad genomsnittlig ståndortsindex, när en femårsperiod läggs till grund. När en 10 årsperiod granskades var differensen något större 0.61 eller 3.4 %. I båda fallen måste de systematiska felen karaktäriseras som små.

Tabell 65. Kontroll av höjdutvecklingsfunktionen(kurvorna) fA3.1 med successiva höjdboniteringar av INKA-beståndeп; genomsnittlig differens ($d_{e)}$ mellan skattad H_{100} vid andra och första uppmätning ($d_e = \hat{H}_{100}2 - \hat{H}_{100}1$) inom övre höjds- och åldersklasser. 5 år mellan uppmätningarna.

	H_{dom} m													
T. år	5.1-7.0	7.1-9.0	9.1-11.0	11.1-13.0	13.1-15.0	15.1-17.0	17.1-19.0	19.1-21.0	21.1-23.0	23.1-25.0	25.1-27.0	27.1-29.0	$\bar{x}$	n
11-20	-0.64												-0.64	5
21-30	0.66	0.26	0.14	0.07	-0.08								0.33	34
31-40	0.80	0.52	0.56	-0.11		-0.26		-0.07					0.56	27
41-50	1.45	0.86	0.37	0.54	0.08	0.46	0.36	0.32					0.68	28
51-60	1.31	0.71	0.38	-0.47	-0.14	-0.52		0.14	0.08				0.68	37
61-70	1.15	0.63	0.16	0.02	0.01	0.05	0.44	0.32	0.31				0.11	30
71-80		0.77	0.29	-0.03	-0.22	0.22	-0.24	0.03	0.29	-0.23	-0.36	-0.08	0.15	32
81-90	0.71	1.34	0.23	0.55	0.21	0.10	-0.42	-0.35	-0.03	-0.39	0.02		0.15	44
91-100			1.00	0.39	0.12	0.46	-0.08	-0.20	-0.25	-0.38			-0.03	33
101-110		0.29		0.13	0.25	0.34	0.11	0.02	-0.79				-0.02	23
111-120					0.05	0.27	-0.18	0.56					0.11	9
121-130				0.76	1.23		1.31	0.04					0.12	10
131-140				0.68			-0.23	0.06					0.79	5
141-150						0.04							-0.01	5
151-160														
161-170					1.15								1.15	2
171-180														
181-190						1.71							1.71	1
$\bar{x}$	0.73	0.57	0.32	0.17	0.08	0.18	-0.08	-0.04	-0.02	-0.33	-0.11	-0.08	**0.26**	325
n	33	61	43	43	36	35	26	30	8	6	3	1		

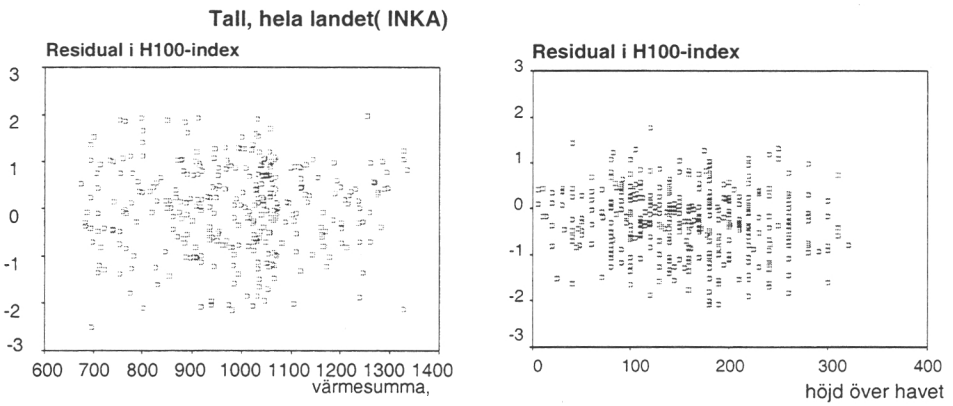
Tabell 66. Kontroll av höjdutvecklingsfunktionen(kurvorna) fA3.1 med successivahöjdboniteringar av INKA-bestånden; genomsnittlig differens ($d_{e)}$ mellan skattad H_{100} vid tredje och första uppmätning ($d_e = \hat{H}_{100}3 - \hat{H}_{100}1$) inom övre höjds- och åldersklasser. 10 år mellan uppmätningarna.

	H_{dom} m													
T. år	5.1-7.0	7.1-9.0	9.1-11.0	11.1-13.0	13.1-15.0	15.1-17.0	17.1-19.0	19.1-21.0	21.1-23.0	23.1-25.0	25.1-27.0	27.1-29.0	$\bar{x}$	n
11-20	0.12												0.12	5
21-30	1.19	1.02	0.83	0.06	0.81								0.99	34
31-40	1.59	1.42	1.17	-0.46		-0.74		0.31					1.35	27
41-50	1.94	1.53	1.19	0.80	0.16	0.34	0.81	0.42					1.26	28
51-60	1.91	1.15	0.90	-0.09	0.22	-0.56		0.27	-0.16				0.89	37
61-70	2.02	1.13	0.57	0.38	0.03	0.52	1.40	1.15	0.11				0.43	30
71-80	1.72	1.11	0.45	0.29	0.05	0.18	-0.12	0.26	0.16	-0.21	-0.67	0.21	0.44	32
81-90		1.81	0.49	0.86	0.32	0.35	-0.36	-0.21	0.02	-0.15	0.89		0.35	44
91-100			1.43	0.80	-0.11	0.69	-0.02	-0.18	-0.36	-0.77			0.17	33
101-110		0.50		0.17	0.22	0.50	0.21	0.10	-0.65				-0.02	23
111-120					0.12	0.12	-0.18	0.63					0.22	9
121-130				0.95	1.26		1.27	-0.15					0.14	10
131-140				0.95		0.10	-0.23	0.42					0.85	5
141-150													0.10	5
151-160														
161-170					0.91								0.91	2
171-180														
181-190						2.13							2.13	1
$\bar{x}$	1.39	1.24	0.84	0.45	0.23	0.31	0.06	0.11	-0.09	-0.38	0.37	0.21	**0.61**	325
n	33	61	43	43	36	35	26	30	8	6	3	1		



Figur 28. Residual i skattat H_{100} -index för två successiva boniteringar enligt fA3.1 i INKA - bestånd i Södra och Norra Finland i förhållande till skattat index vid andra boniteringen.

Enskilda differenser (residualer) har redovisats skild för Södra och Norra Finlands INKA - bestånd i Figur 28, och enligt ståndortens värmesumma och höjd över havet för hela materialet i Figur 29. De två sistnämnda variablerna ingick inte i funktion fA3.1.



Figur 29. Residual i skattat H_{100} -index för två successiva boniteringar enligt fA3.1 i INKA - bestånd i förhållande till ståndortens värmesuumma (d.d.) och höjd över havet (m).

Residualstudierna avslöjade att mycket klara systematiska avvik mellan successiva boniteringar i INKA -bestånden inte kunde påvisas. Också separata granskningar inom enskilda skogsnämnder i Södra Finland, visade ingen tendens till systematiska avvik. För Södra Finlands del var differensen -0.08 (variation från +0.40 till -0.41) för två successiva boniteringar och för Norra Finland 0.33 eller 2.2 %. Inom enskilda skogsnämnder i Norra Finland var differensen för Lappi och Koillis - Suomi 0.46 och 0.64 eller 3.3 %, och 4.5 %, för Pohjois-Pohjanmaa 0.13 eller 0.8 %, och för Kainuu 0.22 eller 1.2 %. Varken i kontrollen mot värmesumman eller höjd över havet kunde sporas några klara systematiska tendenser i boniteringsresultaten för INKA -bestånd med funktionen fA3.1.

För bättre att kunna illustrera skillnaderna mellan höjdutvecklingskurvorna enligt fA3.1 och INKA -data, utvecklades en funktion (fD3, Pettersons ekvation (13), 1.2.4)) på basen av INKA -data. Metoden har beskrivits hos Strand (1964) för konstruktion av kurvor för ståndortsklassificering.

$$H_{dom} = \left[\frac{T}{B_0 - B_1 \cdot T} \right]^{n=1}, \quad \textbf{(fD3)}$$

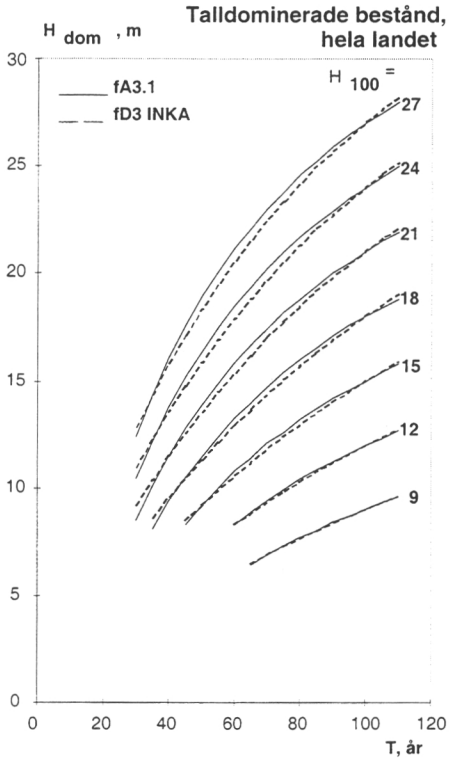
där $B_1 = 0.002 \cdot B_0 + 0.016$

De båda kurvskaror har framställts i Figur 30, och övre höjdutevecklingen enligt fD3 numeriskt i Tabell 67.

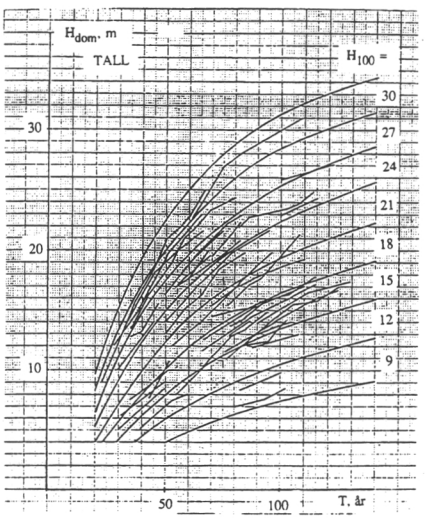
Tabell 67. Medelvärden för övre höjden inom H_{100} -klasser enligt totalåldern. Beräknad med hjälp av funktion fD3 baserat på INKA -data (se Figur 30).

	$H_{100} = 27$	24	21	18	15	12	9
	$B_0 = 1.7531$	2.1389	2.6349	3.2963	4.2222	5.6111	7.9259
T. år	$B_1 = 0.0195$	0.0203	0.0213	0.0226	0.0244	0.0272	0.0318
30	12.8	10.9	9.2				
35	14.4	12.3	10.4	8.6			
40	15.8	13.6	11.5	9.5			
45	17.1	14.7	12.5	10.4	8.4		
50	18.3	15.8	13.5	11.3	9.2		
55	19.5	16.9	14.4	12.1	9.9		
60	20.5	17.9	15.3	12.9	10.5	8.3	
65	21.5	18.8	16.2	13.6	11.2	8.8	6.5
70	22.4	19.7	17.0	14.4	11.8	9.3	6.9
75	23.3	20.5	17.7	15.0	12.4	9.8	7.3
80	24.1	21.3	18.4	15.7	12.9	10.3	7.6
85	24.9	22.0	19.1	16.3	13.5	10.7	8.0
90	25.6	22.7	19.8	16.9	14.0	11.2	8.3
95	26.3	23.4	20.4	17.4	14.5	11.6	8.7
100	27.0	24.0	21.0	18.0	15.0	12.0	9.0
105	27.6	24.6	21.6	18.5	15.5	12.4	9.3
110	28.2	25.2	22.1	19.0	15.9	12.8	9.6

Höjdutvecklingskurvorna enligt INKA -funktionen fD3 gav ett mera linjärliknande förlopp. Detta kan förklara varför de successiva boniteringarna med fA3.1 i medel gav systematiskt något ökande värden på ståndortsindex vid andra och tredje uppmätning av INKA - bestånden (Tabell 65 - 66). Skillnaderna mellan utvecklingskurvorna hålls klart innanför en ram av en halv bonitetsklass, och har därför liten praktisk betydelse. Differensen var störst vid totalålder under 40 år, där kurvorna allmänt var osäkra, och på de bästa ståndsorter. Trots att skillnaderna i kurvorna var små i granskningsperioder på endast 5 och 10 år kan dessa avvikelser föra till betydliga tillväxtskillnader i långsiktiga simuleringsberäkningar.



Figur 30. Jämförelse mellan höjdutvecklingskurvor för talldominerade bestånd enligt originalfunktionen fA3.1 och enligt funktion fD3 utvecklad i undersökningen på basen av INKA-data (se texten).



Figur 31. Kontroll av höjdutvecklingskurvorna (fA3.1) med successiva boniteringar av ett material från fasta försöksytor anlagda av Skogsforskningsinstitutet i vårdade naturbestånd av tall (enligt Gustavsen 1982).

Utfyllande information om fA3.1s validitet i oberoende material har redovisats i Figur 31 från tidigara successiva boniteringar av ett material bestående av Skogsforskningsinstitutets 50 permanenta produktionsytor i naturligt föryngrade tallbestånd. Som helhet kunde inga klara systematiska avvikelser sporas för de enskilda utvecklingsförloppen från boniteringskurvornas förlopp.

Heller inte en separat kontroll mot planterade, sådde eller naturligt föryngrade INKA -bestånd gav några skillnader i ståndortsindex. Differensen i index mellan andra och första uppmätning var i medel 0.27 för alla tre typer av bestånd. En skild granskning av INKA -bestånden inom "KUSTINKA"-området (sk 13-15), gav en medeldifferens på 0.07 i ståndortsindex med successiva boniteringar.

Eventuella skillnader i ståndortindex för fA3.1 i de nordliga talldominerade SKYDDINKA -bestånden uppmätta på fasta försöksytor, och de sydfinska NFI8 -bestånden på tillfälliga ytor, blev granskade inom bonitetsklasser (Tabell 68 och 69). För SKYDDINKA -bestånden kunde inte sporas några signifikanta korrelationer mellan avvikelser i ståndortsindex och övre höjd, ålder, värmesumma eller höjd över havet. Höjdboniterna var som förväntad mycket låga, huvudsakligen från H_{100} = 11 till 13. I medel var indexen också i detta material något högre enligt andra bonietering (d_e = 0.4). Endast på de bästa boniteterna var det tvärtom en negativ skillnad (Tabell 68). Den genomsnittliga absoluta skillnaden i indexet i detta fallet var som för andra områden, men procentualiskt klart större. En praktisk tillämpning av fA3.1 inom Lapplands skyddskogsområde måste dock anses vara möjligt utan hämnvärdiga korrektioner.

Tabell 68. Kontroll av höjdutvecklingsfunktionen fA3.1 med successiva boniteringar av SKYDDINKA-bestånden; genomsnittlig differens ($d_{e)}$ mellan skattat H_{100} vid andra och första uppmätning ($d_e = \hat{H}_{100}2 - \hat{H}_{100}1$) inom bonitetsklasser. 10 år mellan uppmätningarna.

Kriterium	H_{100} = - 10.9	11 - 12.9	13 - 14.9	15 +
Medelvärde av d_e	0.43	0.49	0.37	-0.29
Medelvärde av H_{100}	10.65	12.17	14.19	16.27
n	13	32	21	10

Tabell 69. Kontroll av höjdutvecklingsfunktionen fA3.1 med successiva boniteringar av NFI8 -bestånden; genomsnittlig differens ($d_{e)}$ mellan skattat H_{100} vid andra och första uppmätning ($d_e = \hat{H}_{100}2 - \hat{H}_{100}1$) inom bonitetsklasser. 5 år mellan uppmätningarna.

Kriterium	H_{100} = 9	12	15	18	21	24	27	30
Medelvärde av d_e	0.29	0.47	0.57	0.59	0.64	0.48	0.39	-0.56
Medelvärde av H_{100}	9.64	13.10	15.54	18.74	21.76	24.57	27.31	31.24
n	7	23	62	119	160	188	173	117

Ståndortsindex beräknade med fA3.1 gav också i NFI8 -data större värden vid andra boniteringen än vid första bortsett från högsta bonitet. Medelvärdet för differensen i hela materialet var emellertid endast 0.41 eller 1.7 % av medelvärdet för skattat H_{100}.

4.4.1.3 Övrehöjdtillväxt och utveckling till brösthöjd

Övre höjdens årliga tillväxt kunde skattas med 1. derivationlösning till funktion fA3.1 (se A3 funktion 3, s. 14). Den skattade övrehöjdtillväxten, som uttrycker tangentens riktning i en punkt på höjdutvecklingskurvan, gav mer information om skillnaderna mellan verkliga utvecklingsförlopp i testdata och i boniteringskurvorna enligt fA3.1. Årlig tillväxt för INKA - och NFI8 -bestånd skattades och de systematiska felen har redovisats i Tabell 70.

Tabell 70. Systematiska fel (b_e, cm) i skattat övrehöjdtillväxt ($\hat{I}_{Hdom}$, cm) och medelvärde inom höjdbonitetsklasser för INKA- och NFI8 -data. Beräknat med 1. derivatekvation till fA3.1 (se A3).

	INKA - data		NFI8 - data	
H_{100}	b_e	$\hat{I}_{Hdom}$	b_e	$\hat{I}_{Hdom}$
9	15	7	6	6
12	12	8	10	6
15	6	11	9	10
18	2	15	11	11
21	2	18	11	15
24	3	28	9	20
27	1	30	8	27
30	1	39	-2	44
Totalt	4	21	8	21

Båda INKA -beståndens höjdtillväxt och NFI8 -beståndens underskattades i medel med 4 cm och 8 cm per år. Detta betydde att höjdutvecklingskurvorna uppvisade en något svagare utveckling än test -data, som de successiva boniteringarna också visade (t ex Figur 30). Underskattningen av NFI8 -beståndens höjdtillväxt kan bero på de små relaskopsytorna, där beståndets övre höjd lätt kan bliva överskattat när endast några få övrehöjdsträd var basen. Man måste emellertid tillägga att man inte kan lägga för stor vikt på resultaten i samband med denna typ av kontroll, då boniteringskurvorna har utvecklats för klassificering av bestånd och inte för att visa verkliga övre höjdförlopp för enskilda bestånd.

Tiden det tar för övrehöjdsträden att växa till brösthöjd t(1.3m) har betydelse för de slutliga kurvförloppen enligt brösthöjdsålder utvecklat för bonitering i praktiken (se A3, Figur 8). Kontroll av detta blev gjort gentemot INKA-data som har redovisats i Tabell 71 för olika bonitetsklasser.

Tabell 71. Tiden det tar att växa till brösthöjd t(1.3m), år för övre höjdsträden i talldominerade bestånd enligt delundersökningen A3 och enlig det oberoende testdata INKA.

H_{100}	A3	INKA-data
30	9	10
27	10	10
24	11	11
21	12	14
18	14	16
15	17	21
12	19	22
9	23	23

I stort var det en god överensstämmelse mellan testdata och tidigare estimat för t(1.3m), isär på högsta (30 - 24) och allra lägsta boniteter (9). En skillnad på 2 - 3 år förekom i t(1.3m) mellan de två data på ståndorter lägre än $H_{100} = 21$.

4.4.2 Sambandet mellan höjdbonitet och årlig medelvolymtillväxt (bonitet)

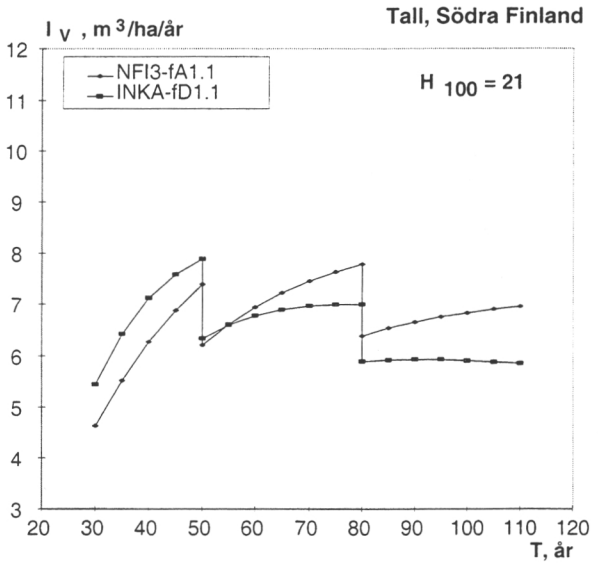
Inledningsvist blev beståndets övre höjd karaktäriserat som ett ursprungligt kännetecken med ett starkt logiskt samband med härledade kännetecken som beståndsvolym och volymtillväxt (1.1). Medeltillväxten i m^3sk per ha och år anger boniteten, som ger utryck för ståndortens förmåga att producera virke. Boniteten borde avse ett välskött oskadat bestånd som fullt ut har utnyttjat ståndorten. Beståndets produktionsnivå, som är ett uttryck för den faktiska medelvolymtillväxten från beståndets början till medeltillväxtens kulmination, blir därför betingad av trädslag och i vilka skick beståndet har varit, dvs skogsbehandling, skador, etc.. Produktionsnivå vill därför ofta vara lägre än det potentiella.

I höjdbonitetsystemet systemet skattas först boniteten indirekt via höjdboniteten (H_{100}). För att höjdboniteringssystemet kunde anses vara färdigt, skulle därför årlig medelvolymtillväxt inom H_{100} -klasser skattas, med simulering. I simuleringsmodellen blev brukt, förutom höjdutvecklingsfunktionen fA3.1 olika volymtillväxtfunktioner baserat på INKA -data och NFI3 -data för hela landet och Södra och Norra Finland, också Nyyssönen & Mielikäinens (1978) funktion (utan korrektioner). Beståndets utveckling simulerades från första gallringskedet till omloppstidens slut, där 1 till 3 gallringar enlig Tapios gallringsmallar blev gjort beroende av boniteten ifråga. Exempel på simulering av beståndets utveckling har angivits i originalpublikation A2 (Figur 3-4 och 6). I Figur 32 har i tillägg givits ett exempel på volymtillväxtens variation under omloppstiden i ett sydfinskt tallbestånd behandlat med två gallringar på ståndort $H_{100} = 21$ simulerad med INKA och NFI3 -funktion.

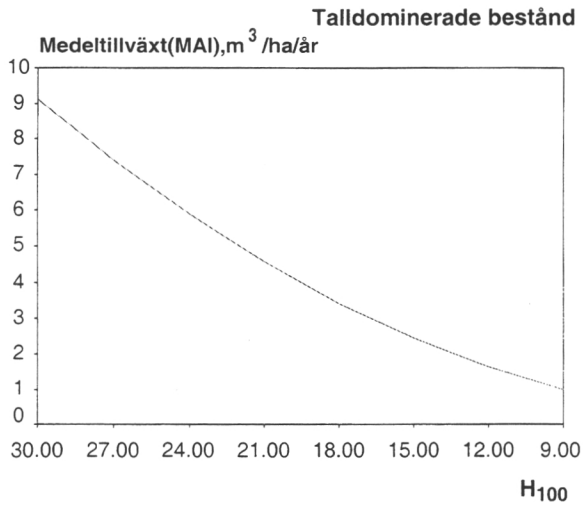
Sambandet mellan simulerade värden för medeltillväxt och höjdbonitet blev utjämnat med en funktion (29) (Figur 33). Standardavvikelsen för medeltillväxtvärderna låg kring 1.0 - 1.5 m^3/ha/år. I detta sammanhanget att Eriksson (1977) redovisade standardavvikelse från 0.24 (bonitetet 12.5-14.9) till 1.36 m^3/ha/år(> 25.0) kring medeltalen för medeltillväxt enligt observationer på fasta försöksytor i tallskog i Sverige. Variationen i simulerad medeltillväxt var beroende av bl a gallringsprogram och inte minst av utgångsbeståndet. Det var därför förnuftigt att ange medelvolymtillväxten, som höjdbonitetsklassens produktionsförmåga, med endast en noggrannhet av 0.5 m^3/ha/år för praktisk tillämpning. Funktion 29 ger emellertid möjlighet till beräkning av värderna i önskade decimaltal för kontinuerliga höjdindexvärden.

Följande funktion låg bakom utjämningskurvan i Figur 33 för talldominerade bestånds medelvolymtillväxt (MAI, m^3/ha/år):

$$MAI = 0.204 + 0.0099 \cdot H_{100}^2 \qquad (29)$$



Figur 32. Volymtillväxtförloppet enligt två volymtillväxtfunktioner brukt i simulering av tallbeståndens medeltillväxt för olika boniteter (se texten).



Figur 33. Sambandet mellan bonitet (medelvolymtillväxt, m^3sk/ha/år) och och höjdbonitet H_{100} (Gustavsen 1980) för talldominerade ekonomibestånd i Finland (se texten).

Tabell 72. Produktionsförmåga (medelvolymtillväxt, m^3/ha/år)(MAI) för talldominerade ekonomibestånd i Finland i höjdbonitetsklasser enligt Gustavsen (1980)(A3).

H_{100}	27	24	21	18	15	12	9
MAI	7.5	6.0	4.5	3.5	2.5	1.5	1.0
Omloppstid	80	90	100	120	130	150	170

Resultaten blev jämfört med beräknade medelvolymvärden på olika boniter i tidigare nordiska undersökningar (Tabell 73). På basen av detta kunde konstateras att undersökningens resultat verkar vara tämligen realistiska för naturligt föryngrade talldominerade ekonomiskogar. De största skillnaderna finns på höga bonitetsklasser H100 = 28 - 30, där t ex medeltillväxten enligt Vuokila & Väliaho (1980) ligger lågt i förhållandet till denna undersökningens, och Ekös (1985) något högre. På de centrala skogstyperna MT, VT och CT som i medel motsvaras av höjdbonitsindexen 27, 24 och 18, var det mycket bra överenstämmelse med de finska resultaten. I allmänhet visade alla de redovisade undersökningar ungefär samma produktionsförmåga för största delen av bonitetsskalan.

Tabell 73. Jämförelse mellan skattad årlig medeltillväxt (m^3/ha/år) inom olika bonitetsklasser enligt tidigare nordiska undersökningar och denna undersökningen (Gustavsen 1998).

Undersökning/	H_{100}, tall											
Område	30	28	27	26	24	21	20	18	16	15	12	10
Gustavsen 1998	9.1	8.0	7.4		5.9	4.6	4.2	3.4	2.7	2.4	1.6	1.2
Ekö 1985												
Norra Sverige		9.1			7.1		4.5		2.8		1.9	1.6
Mellersta Sverige	12.5	10.8			7.7		5.2		3.0		2.1	1.7
Södra Sverige	9.3	8.4			6.5		4.9		3.1		2.0	1.6
Persson 1992												
Norra Sverige		8.3			6.2		4.5					
Norra Sverige					5.0		3.5		2.1		1.3	
Södra Sverige		9.1			6.8		4.8					
Södra Sverige		8.0			6.0		4.0		2.6			
Tveite&Braastad 1981		9.0		7.0		5.0		3.5			1.6	
Braastad 1980	9.3		6.6			4.8		3.1		2.0		
Vuokila & Väliaho 1980	7.5		6.4		4.7	3.9		2.6		1.8		
Vuokila 1967	7.9		7.1		6.0	4.8		2.6				
Nyyssönen 1954			7.2		5.9			3.3				
Ilvessalo 1920			7.4		5.3			3.0				
Koivisto 1972						4.5		2.9		2.7		
Mielikäinen 1980			7.7									

5 DISKUSSION

5.1 Allmänt

I det följande har resultaten granskats huvudsakligen enligt de frågor som blev ställt i samband med undersökningens syfte (1.6). Många av de saker frågorna berör är förknippade eller korrelerade sinsemellan och måste därför behandlas tillsammans. Frågorna berör utveckling av modeller beträffande båda beståndets volymtillväxt och övre höjdutveckling. Dessa modellers syften är emellertid olika, själv om övre höjden bildar en viktig grundval för förutsägelse av framtidig volymtillväxt.

5.2 Mätning av validitet - systematiska fel och medelfel

För att kunna utvärdera modellers validitet i ett oberoende testmaterial borde man ha ett mått eller mätare på validiteten, så som Frees (1960) har föreslagit. Detta blev gjort med att ange ungefärlig storlek på ett systematiskt fel och medelfel på basen av denna och tidigare undersökningars testresultat i olika oberoende material. Ett problem var emellertid att mycket sällan i tidigare undersökningar har man tagit ställning till vilken storlek på felen som kan accepteras. För finska skogsmodellers del har validitetstestning gjorts i mycket begränsat mån, något som också har varit ett faktum inom den statistiska litteraturen (se Snee 1977). Också från praktikens sida har framförts få konkreta krav till vilka fel man kan acceptera.

Vid utvärdering av prognosestimatens systematiska fel och medelfel måste man likaledes taga hänsyn till vilket träd- eller beståndskännetecken det är fråga om. Till skattning av grundyte- och diametertillväxt borde man tillämpa hårdare krav än t ex höjdtillväxten, då de förstnämnda vanligen grundas på noggrannare mätningar. Volymtillväxten, som är ett härledad kännetecken, måste anses vara en svårare skattninguppgift, och kravet till ett systematiskt fel borde vara något svagare. Också beståndets utvecklingsfas vill inverka på hurudan storlekskrav man borde sätta till prognosfelen. Variationen i tillväxt mellan enskilda träd är naturligtvis stor inom bestånd, men deras tillväxt kan noggrannare mätas än för hela beståndet i medel. Därför kan man sätta ungefär likadana krav till skattning av beståndets volymtillväxt, när en trädvis modell eller en modell med hela beståndet som primär enhet tillämpas.

MELA-funktionerna (Ojansuu et al. 1991) blev först efter 6 års tillämpning i stor skala validerad gentemot oberoende material inhämtat från de samma INKA -ytor använt i denna undersökningen. Dessa trädvisa funktioner tillämpas för nuvarande nästan inom all skogsplanering i Finland. I förhållandet till denna omfattande tillämpningen av funktionerna måste emellertid valideringen betraktas som bristfällig. Tallträdens årliga höjd-, diameter- och volymtillväxt blev enligt testningen av Mela - funktionerna underskattat med b_e = 0.06 m/år, b_e = 0.03 cm/år och b_e = 0.54 dm^3/år. Förhållandet mellan det systematiska felet och standardavvikelsen var för höjdtillväxtens del 0.5 och för diameter- och volymtillväxten 0.2. Det sistnämnda värdet var på gränsen till det intervall, som Cochran (1953) har skisserat som arbetsregel beträffande noggrannheten av en skattning inom urvalstekniken, där en kvot mindre än 0.1 inte anses vara ofördelaktig för en estimeringsmetod. Även en kvot lik 0.2 kunde anses ha relativt liten störande inverkan på felsannoligheten.

På beståndsnivån för tall gav fMELA en underskattning av uppmätt volymtillväxt i INKA-data (n = 782) på b_e = 2.24 m^3/ha/5 år eller 11.7 % av medelvärdet för skattat volymtillväxt ($\bar{\hat{Y}}$ = 19.21). Medelfelet (RMSE) var 8.04 eller 41.8 % av skattat tillväxt. I ett oberoende urval från VMI7-data, varifrån också fMELAs grund-data var inhämtat, uppvisade funktionerna utan överraskning förväntningsrätta resultat för volymtillväxten i tallbestånd, och RMSE var 7.08 eller 36.3 %.

Testresultat för fMELA rörande enskilda skogsnämnder i INKA-data, utan specifikation på trädslag, har redovisats i Tabell 74 med jämförelse till några andra modeller. Allmänt blev de systematiska felen i INKA -data karaktäriserade som en måttlig underskattning (Ojansuu et al. 1991). Som en möjlig orsak till underskattningen blev nämnd att INKA -data representerade i medel bättre skötta ekonomiskogar än VMI7 -data. INKA-ytorna blev för Södra Finlands del grundat på VMI7s traktsystem och bestånden ingick därför också i VMI7 -data.

Valkonen (1991) korrigerade MELA -funktionerna för bruk vid skattning av tillväxten i bestånd mätade på rot. Testning av korrigerade MELA-funktioner i INKA -data gav samma resultat som hos Ojansuu et al. (1991), eller underskattning på 8.7% av volymtillväxten för alla trädslag tillsammans. Bias i höjdtillväxten för endast tallbestånden(n = 955) var b_e% = -3.7 (överskattning) och RMSE% = 22.1. Däremot diametertillväxten i tallbestånden blev underskattad med 9.5% och RMSE% var 29.4. Hos Ojansuu et al. (1991) var b_e% = 28.3 och RMSE% = 25.5 för tallbeståndens höjdtillväxt i INKA -data, och för grundytetillväxten var b_e = 8.3 och RMSE% = 48.4.

Saramäki (1992) har gjort en välplanerad validering av sina modeller för *Pinus kesiya* i Sambia. I ett oberoende testmaterial var det systematiska felet för beståndsvolymet b_e = 9.05 m^3/ha och s_d = 23.72 (kvot = 0.38). I undersökningen blev använt som mått på det systematiska felet att det hölls inom en standardavvikelse.

Ojansuu (1993) har testat sin stamkurvmodell i ett relativt litet material av tallträd (103 träd). De systematiska felen i volymtillväxten för provträden avtok med ökande antal mätningar (variabler) som var gjort. Det systematiska felet varierade mellan -23.8 % och 3.8 % och motsvarande RMSE från 51.1 % till 12.2 %.

Hynynen (1995) rapporterade systematiska fel av storleken 6.8 % och 14.3 % i grundytetillväxten för tallbestånd (28 bestånd), där tillväxten blev prognostiserad med trädvisa modeller. För volymtillväxten var det systematiska felet betydligt mindre, och endast en svag överskattning på -0.9 % och 3.8 % var resultatet av testningen i det oberoende materialet. Författaren preciserade att detta var en följd av att underskattningen i grundytetillväxten blev utjämnat med en överskattning i de enskilda stamvolymen. RMSE% var 30.3 och 35.1 för skattat grundytetillväxt enligt de två granskade modellerna, och endast 15.4 och 17.8 för volymtillväxtens del.

Valkonens (1997) modell för skattning av tillväxten och beståndsutvecklingen i unga bestånd av kulturgran, blev validerat genemot ett oberoende material, där det systematiska felet var 10.8% överskattning och RMSE lik 25.5% för övre höjdutvecklingsmodellen för unga bestånd. Den trädvisa höjdtillväxtmodellen gav en överskattning på 8.3 % med RMSE% lik 32.7, och grundytetillväxtmodellen gav en underskattning på hela 14.8 % med RMSE% lik 45.7.

De nyligen utvecklade trädvisa grundytetillväxtmodellerna för dikade torvmarksbestånd enligt Hökkä et al. (1997) (Hökkä 1997), blev testade i ett oberoende material från permanenta försöksytor; 32 tallbestånd med 2644 träd. De systematiska felen i grundytetillväxten för två påvarandra följande 5 års perioder var b_e = 5.766 cm^2/5år (standard error = 0.324) och -4.216 cm^2/5år (s.e. = 0.299).

Strand (1983) har testat några norska volymtillväxtfunktioner enligt Delbeck (1965) och Hobbelstad (1980), med data inhämtat från engångsytor (1000 m^2) tillknutna den

Norska Landsskogstakseringens system. Volymtillväxten för båda funktionerna blev klart överskattad med 14 % och 29 %. En testning av Braastads (1974) funktion för beståndets diametertillväxt i den samma undersökningen, gav ett systematiskt fel på 25 % för gran och -5 % för tall.

I en äldre undersökning enligt Strand (1959) rörande noggrannheten i volym- och tillväxtskattning på provytor, har också skattning av framtidig tillväxt diskuterats. Författaren presicerade att man måste räkna med osäkerhetsfaktorer vid prognostiseringen orsakade av klimatvariationen och möjlig avgång av träd genom huggningar och naturligavgång. Alt i alt gör detta att den kommande tillväxten vill vara behäftad med relativt stora fel. Strand (l.c.) konkluderar med att man sannoligen inte kan pressa ned medelfelet vesentligt under 20 %. I undersökningen har redovisats en standardavvikelse på 0.79 % för differensen mellan skattad och observerad grundytetillväxtprocenten i en 5 års period, som utgjorde 24.5 % av den genomsnittliga grundytetillväxtprocenten.

Kangas & Kangas (1997) har nyligen också behandlat de olika felens och osäkerhetsfaktorerenas effekt på långsiktiga simulerade utvecklingsprognoser. Det preciseras att man borde känna bättre till dessa osäkerhetsfaktorer än vad fallet är för nuvarandet. Exempel har visats för konfidensintervall mellan empiriska och från modellen simulerade utvecklingsförlopp och utvärdering med hjälp av simulerade systematiska fel och prognosvarianser. Många källor för osäkerhet har enligt Kangas & Kangas (l.c.) blivit bortglömda i många tidigare undersökningar, så som t ex somrarnas klimatförhållanden. I långsiktiga prognosberäkningar har skador, trädens naturliga föryngring och plantornas avvgång inverkan. Också de lokala förhållanden som är karaktäristiska för enskilda skogsägendomer, är annorlunda än i genomsnitt vid tillförlitlighetsvärdering av större områden. Själv om man kan utvärdera med statistiska metoder flera av osäkerhetsfaktorernas inverkan på tillväxtskattningarna, står det dock kvar en sådan osäkerhet som man inte kan beakta speciellt för de långsiktiga prognoserna (Kangas & Kangas 1997).

På basen av jämförelse mellan de i denna undersökningen granskade funktionernas systematiska fel och RMSE, och de i ovannämnda tidigare undersökningar, kunde konstaterats att många av de för praktiken mest aktuella funktionerna gav mycket tillfrädsställande resultat beträffande de flesta av testdata. Isär var detta fallet för funktionerna utvecklade för stora regioner, när dessa blev testat mot motsvarande data. Inom skogsnämnderna varierade felen betydligt mera, där det mindre antalet observationer naturligtvis spelar starkt in på felens storlek.

Också jämfört med de beräknade fel för vissa jämförelsesfunktioner i egna grundmaterial (t ex Tabell 24 - 27) gav en likadan slutsats. För jämförelsesfunktionerna var det systematiska felet stort sett mindre än 2 % i egna grundmaterial (INKA - och NFI8 - data) och brutto-medelfelet (RMSE) på ca 20 - 30 %, som måste tolkas som ett förväntningsrätt resultat. Flera av originalfunktionerna och jämförelsesfunktionerna samt den okorrigerade funktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) gav i samma (oberoende) data något högre systematiska fel på ca. 2 - 8 % och RMSE på 25 - 35 % (se t ex Tabell 42, 47-48, 51 och 54).

En avgörande faktor vid tillämpning av en tillväxtmodell är hur stor det systematiska felet är i förhållande till det tillfälliga felet eller i förhållandet till hela "bruttofelet". Det är emellertid mycket svårt för modellbyggaren att ge konkreta mått för detta. Det är slutligen den som tillämpar modellen som måste klargöra hur stora systematiska fel man kan acceptera i olika prognossituationer. När funktionerna tillämpas på många bestånd sänks det tillfälliga felet medan det systematiska förblir oförändrat. Ett högt värde på residualvariansen i en tillväxtmodell kan tänkas uttrycka

det, att modellen klarar endast uttrycka några inverkande variablers effekt på tillväxten. I modellen fattas då egentliga regressorer, enligt vilka modellen har ett förväntningssnett förhållandet, som inte försvinnar själv om antalet observationer ökas. När tillväxtmodellen används som hjälpverktyg i skogsplaneringen, är man inte i första hand intresserade av tillväxten men av beståndenssituationen vid tillväxtprognosperiodens slut. Med andra ord tillväxt- och utvecklingsmodellerna borde kunna prognostisera på ett tillförlitligt sätt basen för behandlingsbehovet inom enskilda bestånd.

Det är också viktigt att komma ihåg, att själv med testdata som troligen borde beskriva bra en tillämpningssituation i praktiken, kan man dock inte tolka de beräknade värderna för statistiska kriterier som allmänna. Problemet är att man inte känner till felen på förhand vid tillämpning av tillväxtfunktionerna. Ofta måste man därför nöja sig med riktgivande arbetsregler, såsom Cochran (1953) har skisserad. Kvotvärden mellan bias och standardavvikelsen i INKA -data för t ex originalfunktionen fA1.1 i hela landets material var 0.15, och i Södra Finlands material 0.13 och i Norra Finlands material 0.17. Annars hölls allmänt det systematiska felet inom en standardavvikelse för originalfunktioner i INKA - data, när detta granskades enligt volymtillväxt- och volymklasser (se Tabell 29 - 36 och 40). Man måste troligen i praktiken räkna som ett bra resultat, att det systematiska felet i den absoluta volymtillväxtskattningen utgör 15 % och mindre av brutto-medelfelet (RMSE).

En mer omfattande beräkning och utvärdering av skillnaderna i fördelningsfrekvensen av skattade och observerade tillväxtvärden, som förorsakar de systematiska felen, krävde en mycket mer ingående statistisk behandling än det som ansågs ligga innanför denna undersökningens syfte. Också den stora mängden av funktioner som blivit utvecklade och granskade, var en begränsande faktor för detta.

5.3 Materialets betydelse

Här behandlas huvudsakligen frågorna a), b) och d) om materialets ålder, klimatkorrektion och om provytetypens betydelse (se 1.6). Vid utarbetning av modeller med regressionsanalys vill ofta grundmaterialets kvalitet ha stor betydelse för hur bra modellen fungerar i en tillämpningssituation. Tillförlitligen i skattad tillväxt är i många fall en "fånga" av materialets representativitet och kvalitet. En utveckling med avancerade regressionsanalyser på ett bristfälligt material, kan därför inte korrigera för detta och ge modellen stor tillförlitlighet i praktiken.

5.3.1 Allmänna synpunkter på materialen

Jämförelse av tallbeståndspopulationerna som de olika data representerar kunde göras på basen av information om olika beståndskännetecken, redovisats i Tabellerna 11 -15. Man måste beakta att bakom medelvärderna låg ett olikt antal observationer, och att endast NFI3- och INKA -data täckte hela landet. Trots detta avspeglas tallskogarnas förändring från 1950 tills 1990 talet genom dessa data. Tyngdpunkten har i stort flyttats från äldre glesare bestånd till något yngre och förrådsrikare skogsbestånd. Sett ur granskningens synvinkel vore det bra att testmaterialen sinsemellan representerade olika populationer, och också jämfört med grundmaterialet (NFI3 -data) för originalfunktionerna. Originalfunktionernas förmåga att ge "goda" prognosvärden kunde därför sättas på ett "hårdare" prov.

Det urvalet som NFI3 -data representerade, har inhämtats från en någon annorlunda tallpopulation än testdata i denna undersökningen. I NFI3 -data ingick huvudsakligen

naturligt föryngrade bestånd, medan i NFI6 -, NFI7 - och NFI8 -data fanns mera kulturbestånd. Framtidens skogstillstånd vill kunna förändras på grund av ändringar i skogsvårdsbehandling, i långsiktigt klimat och i ståndortsförhållanden som kan avvika från dagens och gårsdagens skogstillstånd. Denna svaghet är oavhjälpligt vid utveckling av tillväxtmodeller, då man inte, när empirisk material läggs till grund, kan göra ett urval i en population som inte ännu existerar.

Vissa fördelar och nackdelar fanns i de olika testdata. Med tanke på generalisering av resultaten var det en fördel att testdata hade insamlats från ett systematiskt objektivt anlagd provytenät. En tillräcklig stor variationsvidd blev garanterat i en mångsidig tallpopulation, isär för NFI8 - och INKA -datas del. När populationen karaktäriseras med höjd- och åldersklasser (Tabell 5 - 10), kunde konstaterats att INKA -data täckte mycket bra NFI8 -datas variationsintervall. INKA -data uppvisade en något jämnare fördelning av observationer på åldersklasser än NFI8 -data. Detta ansågs allmänt vara en fördel för utvärdering av tillväxtmodellerna. Några olikheter fanns dock mellan de två testdata. T ex INKA -datas tyngpunkt låg på något lägre höjdklasser än NFI8 - data (jmf Tabell 5 och 8). Den låga volymtillväxtnivån i SKYDDINKA -data (Tabell 11) och en relativ stor variation på höjd-åldersklasser var en fördel. Det sistnämnda var också fallet för KUSTINKA -data.

En nackdel i NFI8 - och INKA -data var den överrepresentation som förekom inom speciella höjdklasser; en koncentration av observationer på centrala klasser, som bildade ungefär en normalfördelning(se t ex A3, Figur 3). Detta betydde en mängd "oeffektiva" observationer bakom tillväxtfunktionerna. Också de små ytorna i NFI8 kunde vara en svaghet. Frågan är om volymtillväxten beräknat på basen av dessa ytor representerade tillfrädställande hela beståndet.

INKA -datas svaghet var att huvudvikten låg på såkallade tillfrädställande och gott skötta tallbestånd enligt riksskogstaxeringens kvalitetsklassificering. Detta betydde emellertid inte att dessa bestånd kunde likaställas med de subjektivt valda homogena likåldriga bestånd från fasta eller temporära ytor, som tidigare vanligen har blivit använd inom produktionsforskningen (t ex Vuokila 1965).

Annars fanns mindre skillnader i de olika materialen med hänsyn till de uppklavade trädens minimumsdiametrar. För INKA, SKYDDINKA och KUSTINKA gällde volymtillväxten i plant- och störskogsbestånd för träd med brösthöjdsdiameter lik eller större än 2.5 cm. I äldre bestånd var minimumsdiameter 5 cm. Detta var i överensstämmelse med NFI3 -data, där träden klavades i 2 cms klasser och lägste klassen var 3 - 5 cm för äldre bestånd. I plant och störskogsbestånd var 1 cm lägsta klass. I NFI8 däremot uppklavades alla träden på provytan som hade en höjd lik eller högre än 1.3 meter. Träden som tillhörde klassen 0-2 cm utgjorde emellertid endast en liten del av hela provytans volymtillväxt. Salminen (1993) anslog att dessa småträdens volym utgjorde endast 0.5% av hela skogsförrådet inom de nio sydligaste skogsnämndernas region.

En annan svaghet var att den periodiska volymtillväxten inte har beräknats på samma sätt, pga olika typer av provytor. Till slut påpekas att historiska data, som grund- och testdata i denna undersökningen representerade, allmänt inte har den samma kvalitet som data avsedd för regressionssamband insamlat från intensiva exprimentella försöksytor, där små fel förkommer och där starka korrelationer mellan respons och förklarande variabler förekommer. Det är därför inte ovanligt att relativt stora fel är bundna till historiska data för båda beroende och oberoende variabler. Detta försvårar i allmänhet en utvärdering av tillförlitlighetsgranskningen för utvecklade funktionssamband.

Jämförelse mellan testresultaten i NFI8 -data (Tabell 46 och 48) för funktioner utvecklade med ett material från 1950-talet (NFI3) och med ett material huvudsakligen från 1980-talet (INKA), visade att de sistnämnda gav endast ett något bättre resultat. Hela landets funktion fA1.1 gav emellertid ett mycket tillfrädställande resultat, så man kan konkludera med att ett 30 årig material kan användas också i skattning av tillväxten i nutida skogar. En förutsättning är emellertid att materialet är omfattande och med en jämn fördelning av observationer på hela variotionsintervallen för olika beståndskriterier, och att man har klargjort bl a klimatförhållanden för data ifråga (se 5.3.2 senare). Allmänt borde man dock eftersträva ett så "färskt" material som möjligt vid utveckling av prognosmodeller.

5.3.2 Klimatkorrigering av tillväxt

En viktig uppgift vid utveckling av tillväxtmodeller för prognosberäkning är att man har kännedom om klimatförhållanden under grundmaterialet insamlingsperiod. Enligt t ex Mielikäinen (1997) kan klimatets avvikelse från den såkallade normalnivån förorsaka upp till 10 % ändring i medelvärdet för tillväxten i en 5-årsperiod. Bl a Ording (1941) har tidigare stadfästad detta i en undersökning på fyra lokaliteter, där medelavvikelsen mellan årsringsbredden för två påvarandra följande 10-årsperioder varierade från 10 - 16 %. Därsom man vill prognostisera tillväxten för en kommande period på basen av den förgångna periodens tillväxt, måste man räkna med fel av denna storlekordning därför att klimatet varierar. Felen blir något mindre därsom man önskar att förutsäga "klimatkorrigerad" framtidigt tillväxt (Strand 1959). NFI3 -data blev korrigerade i originalundersökningen, där syfte med justeringen var att tillväxten skulle vara vänteriktig för år med normal väderlek. För att kunna studera justeringens inverkan blev också i denne undersökning redovisad några funktioner (fB1.1, fB1.13, fB1.4(1-10)) utvecklade på basen av okorrigerade tillväxtdata.

Vid utvärdering av tillväxtfunktionernas validitetsgranskning måste man också ha motsvarande klimatindex gällande det oberoende materialet. Vid tidpunkten för primärbearbetningens början fanns tyvärr inte tillgängliga klimatindex för uppmätningsperioden beträffande test-data. Den uppmätta tillväxten i dessa data har därför inte justerats. Senare, efter att denna undersökning var gjort, har emellertid Mielikäinen och Timonen (1996) publiserat klimatindex för bl a tall i perioden 1964 - 1993. Medelvärdet för de årliga årsringsindexen för tall inom Norra och Södra Finland var i hela INKA -datas insamlingsperiod 1976 - 1993 för Södra Finland 97 och för Norra Finland 101; altså nära 100 eller normalnivån. NFI-8 data omfattade perioden 1981-1989 innehåller också 5 år för uppmättning pg av tillbakaräkning av årsringar, där medelvärdet för indexen var 95; dvs att uppmätt tillväxt var något lågt i förhållandet till normalnivån. Klara skillnader förekom dock i medelvärden av klimatindex för de fyra 5- årsperioder som INKA -data täckte:

Period	Södra Finland	Norra Finland
1976-80	102	108
1981-1985	89	96
1986-1990	104	106
1991-1993	91	87

Dessa skillnader i årsringsindexen betyder att de olika skogsnämnderna hade något olika klimatförhållanden, därför att uppmätningenstidpunkten beträffande INKA- och NFI8 -

data har varit olika för olika delar av landet. När man förenar tillväxtresultaten från olika regioner fås en utjämning av klimatvariationerna (se t ex Kuusela 1997), som motsvarar en korrektion av tillväxten med klimatindex. För enstaka skogsnämnder fick man också en utjämning av tillväxten i många fall för INKA -data, där observationerna härstammade från två påvarandra följande 5-årsperioder i samma bestånd. Enligt den periodiska 5-årsvariationen i klimatindexen (ovan), vill man i dessa fall från samma ort båda få ett tillväxtvärde från en i medel lite bättre klimatperiod och en i medel något sämre klimatperiod än den såkallade normala. Detta kan vara en orsak till att originalfunktionerna baserade på korrigerade tillväxtdata från NFI3, gav bättre överensstämmelse med INKA -data än funktionerna utvecklade från okorrigerade tillväxtdata (se Figur 19 och Figur 21). Den ursprungliga okorrigerade funktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) (fN&M1978) baserad på korrigerade tillväxtdata, gav också bättre tillpassning till INKA -data än funktionen enligt Mielikäinen (1975) (fM1975) baserad på okorrigerade tillväxtdata (jmf Tabellerna 51 - 54).

Jämförelse av resultaten mellan den på basen av NFI6 -data kalibrerade funktionen fN&M1978korr och den ursprungliga fN&M1978 (Tabell 51 och 54), visar klart att kalibreringen har förstärkt underskattningen, och därmed ökad också medelfelet. Resultatet har blivit likadant som för funktionen fM1975, baserad på okorrigerade tillväxtdata; dvs kalibreringen har eliminerat klimatkorrektionen och man har fått ett klart sämre resultat båda i INKA - och NFI8 -data. Korrigeringsfaktorerna hos Nyyssönen & Mielikäinen (1978) blev utarbetade inom enskilda skogsnämnder på basen av NFI6 -ytor, och gäller för båda tall- och granfunktionerna. Därsom riksskogstaxeringens tillväxtdata (1966 - 1975) råkar representera i medel en sämre klimatperiod, som sannoligen har varit fallet (se Mielikäinen & Timonen 1997), vill resultatet vara lägre tillväxtvärden. Dessa korrektionsfaktorer blev utarbetat för att man trodde den ursprungliga funktionen ville allmänt överskatta tillväxten vid tillämpning. Resultaten i denna undersökningen visar emellertid tvärt om, och funktionen gav mycket noggrannare resultat i testdata utan kalibrering. På basen av detta borde man tillämpa tallfunktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) utan korrektioner även i nord-finska bestånd.

Också för SKYDDINKA -data kan man räkna med att en viss klimatkorrigering har funnits sted, därför att data har för en 10 -årsperiod blivit brukt. För NFI3 -data däremot, fick man inte en sådan utjämning av de okorrigerade ursprungliga tillväxtvärderna, därför att dessa ytor blev uppmätt inom en kort period på 2 år för Södra Finland (1951 - 1952) och inom ett år i Norra Finland (1953). Också enskilda NFI8 -data inom skogsnämnder representerade sannoligen ungefär okorrigerade tillväxtdata, då endast en 5 -årsperiod blev brukt, och uppmätningarna skedde i olika år enligt följande: sk 1,2, 8 uppmätt 1986, sk 3-6 1987, sk 7 och 9 1988 och 1sk 10 1989. Vid bruk av så korta tillväxtperioder (5 - 10 år) måste man räkna med att klimatvariationen inte blir fullständigt eliminerad (t ex Strand 1959).

Slutsatsen är att man kan förvänta relativt klara skillnader i båda kortsiktiga och långsiktiga tillväxtskattningar enligt funktioner baserad på klimatkorrigerad tillväxt, och enligt funktioner utvecklade på basen av icke-korrigerade tillväxtdata.

5.3.3 Provytornas betydelse

Vid diskussionen kring noggrannheten för en prognosfunktion, som har sitt ursprung i den periodiska volymtillväxten för en förgången period, spelar naturligtvis också inn på vilka sätt den sistnämnda har blivit inhämtat och beräknat. För provytornas betydelse i

helhet kan urskiljas fyra "faktorer" 1) hurdan ytorna har blivit utlagda, 2) storleken på ytorna, 3) provytetyp och 4) kvaliteten eller noggrannheten i mätningarna på provytan.

1) När tillväxtobservationerna har blivit inhämtat från subjektivt utlagda provytor i bestånden, finns alltid en risk för att tillväxtmodellen på denna bas vill kunna ge förväntningsskeva estimat. Denna risken kan förminskas med att använda många regressorer, och att tillämpa modellen endast inom materialets variationsområde. Bortsett från funktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978), byggde de granskade funktioner på objektivt utlagda provytor enligt riksskogstaxeringens systematiska system. Detta garanterade data som representerade mycket olika typer av finska talldominerade bestånd. I detta sammanhanget måste tilläggas, att Nyyssönen & Mielikäinen (l.c.) kompletterade senare (1969-1970) Nyyssönens (1954) och Vuokilas (1965) data med tilläggsmätningar, för att få ett material som avbildade en mer omfattande population.

2) En viktig fråga är om provytorna har varit tillräckligt stora för att representera hela beståndets volymtillväxt. Eriksson (1976) har gjort en jämförelse mellan fasta ytor (0.25 ha) och hela bestånd (en trakt = 8 ha). Försöksperioden var 39 år. I medel var produktionen på trakterna 85 % av de fasta försöksytornas produktion. På bakgrund av detta fanns en risk för att alla tillväxtdata brukt i undersökningen har inhämtats från för små ytor för att gälla hela beståndet. INKA-, KUSTINKA-, SKYDDINKA- , NFI3 -ytor samt försöksytorna hos Nyyssönen & Mielikäinen (1978) var emellertid av en sådan storlek som allmänt har varit tillämpat inom finska tillväxt- och produktionsforskningen (t ex Ilvessalo 1932, Nyyssönen 1954).

Också i skogstaxeringarna tidigare i Finland har rekommenderats relativt stora ytor ca. 300 - 1000 m^2 (t ex Ilvessalo 1935, Kuusela 1960), medan i Sverige och Norge har mindre ytor 100 - 138 m^2 blivit ansett att vara förmånliga och tillräckliga för skattning i av beståndsvolymen för skogsområden (t ex Hagberg 1957, Strand 1957a). Nyyssönen & Vuokila (1963) kom till en sådan slutsats att man behöver större ytor i äldre bestånd än i yngre bestånd, och därför är relaskopsytorna användbara i praktiska taxeringar. Detta innebär mätningar av stora träd från ytor med större radie än för småträden.

Likaså viktiga för tillväxtskattningens noggranhet, som provytestorleken, är naturligtvis provträdsantalet och hurudan provträden har blivit valt. Provträdsantalet och provytestorleken är dock ofta positivt korrelerade. Allmänt har ett antal på minst 20 provträd för skattning av beståndets tillväxt och volym blivit en standard inom produktionsforskningen (t ex Ilvessalo 1932, Nyyssönen 1954, Strand 1959, Vuokila 1965). Nyyssönen (1951) fant emellertid inte vesentliga skillnader i noggrannheten för tillväxtestimaten baserade på provträdsantal lägre än 20 (1, 3, 5, 10 och 15 träd). Han preciserade att det finns en risk för att bättreväxande träd blivit valt som provträd när antalet är lågt. Också en fördelning av provträden så ett de representerar lika stora volymklasser har påpekats i undersökningen. I stratifiering på diameterklasser måste man okcså tas hänsyn till olikheter i variationskoeffisienter för trädvolymet, som enligt Näslund (1944) är avvtagande med ökande diameter. Vuokila (1959) visade att tillväxtskattning på basen av relaskopsytor med ett och tre provträd gav samma absolut och procentuell volymtillväxt som med cirkulära ytor av storlek 500 m^2 enligt Ilvessalos (1956b) rekommendation. På bakgrund av dessa tidigare undersökningar kan man draga slutsatsen att provträdsurval och -antal rörande NF18 -relaskopsytor inte borde orsaka några systematiska fel i beräknat volymtillväxt.

Nyyssönen & Mielikäinen (1978) har emellertid framfört att tillväxtdata från små ytor kan förorsaka linjära tillväxtfunktionens volymtillväxtförlopp gentemot beståndsvolymutvecklingen, därför att de små ytorna med höga volymförråd uttnyttjar också ett eventuellt glest omkringliggande område för att växa, medan små ytor med

låga volymförråd kan ha ett tät omkringliggande område som hinder för tillväxten. Linjäriteten framkommer som systematiska fel i tillväxtskattningarna för mera extrema volymförhållanden. Detta kan man inte helt se bort från för relaskopsytornas del. Enligt denna undersökningen var det endast en svag tendens till något högre tillväxtvärden för helt unga och gamla bestånd i simuleringsresultaten med NF18 -funktionerna (se Tabell 1 i Bilaga 1). Trots detta, kan man dock draga slutsatsen att alla data brukt i denna undersökningen borde vara passande för utveckling och testning av tillväxtfunktioner.

3) Provytetypen är relaterat till vilka tillväxt som redovisas, så som inledningsvist (1.1) blev illustrerat med "Lönnroths stuga "(Figur 1). Engångsytorna i riksskogstaxeringarna NFI3 och NFI8 gav endast tillväxten för de stående träden vid slutet av en period. På de fasta INKA -ytorna skattades tillväxten på basen av två påvarandra följande mätningar, där tillväxten omfattade också avgången och inväxten av träd inom perioden. Också på engångsytorna hos Nyyssönen & Mielikäinen (1978) blev avgången skattat. I princip borde därför deras funktion (fN&M1978) skatta INKAs tillväxt med något lägre systematiska fel än originalfunktionerna. De sistnämnda borde å andra sidan underskatta tillväxten, så som resultaten också visade. NFI3 -funktionerna borde i princip kunna skatta bra tillväxten i NFI8 -data.

4) Mätningsfelen spelar naturligtvis inn på beräknad tillväxt och beståndskännetecken. På fasta och tillfälliga produktionsytor för forskningsändamål med relativt högt provträdantal, är noggrannheten i uppmätningarna allmänt bättre än jämfört med riksskogstaxeringens. Med vidare övergång till praktikens beståndsvisa inventering vill noggrannheten lätt blivit ytterligare försämrat för input-data. Detta är en faktor som vill öka medelfelet och bias (5.2) vid tillämpning av funktionen. En säkning av felen betyder emellertid tilläggskostnader genom noggrannare och flera mätningar, och därför vill man i praktiken acceptera bias av en viss storlek i samband med tillväxtskattningarna. För funktionerna baserade på ålder, volym och övre höjd blev granskat med hjälp av partiell derivation (A1, 2.2) mätningsfelens inverkan på tillväxtestimaten. Allmänt var slutsatsen att mätningsfelen i beståndsåldern orsakade största felet i tillväxtskattningen, isär för unga bestånd. De absoluta och relativa mätningsfelens inverkan varierade på något olika sätt med beståndsutvecklingen.

Diskussionen under delavsnitten 5.2.1-5.3.3 visar hur många faktorer som tillsammans utgör den helhetsbetydelse materialet har vid utveckling av regressionsmodeller för tillväxtprognoser. Ett gott material ger en modell med god tillämpning, när man har de viktigaste regressorer med i en fornuftig form (se 5.5 senare).

5.4 Skattad volymtillväxt i olika beståndstyper och regionalt

Här behandlas huvudsakligen frågan c) (1.6) rörande storområdernas funktioner och deras gällandet inom geografiskt olika områden; skogsnämnder, Österbottens kust- och Lapplands skyddskogsområde. Också glesa talldominerade bestånds volymtillväxt och regionala volymtillväxtnivåer diskuteras under denna rubriken.

Orginalfunktionen fA2.1 för glesa bestånd över hela landet har tidigare blivit jämfört med resultat enligt en volymtillväxtfunktion för fröträdställingsbestånd av tall (Niemistö et al 1993). Fröträdställningsbestånden representerade en extrem nedre gräns med hänsyn till volym och stamtal jämfört med materialet bakom fA2.1. Funktionen överskattade också klart de mycket glesa förträdställningarna, med volym lägre en ca 60 - 70 m^3/ha och med stamantal lägre än 120 /ha. För bestånd med volym ca 70 - 100

m^3/ha och med stamantal 120 - 200 /ha, gav de båda funktionerna ungefär lika resultat i områder enligt ståndortens värmesumma 800, 1000 och 1250 d.d..

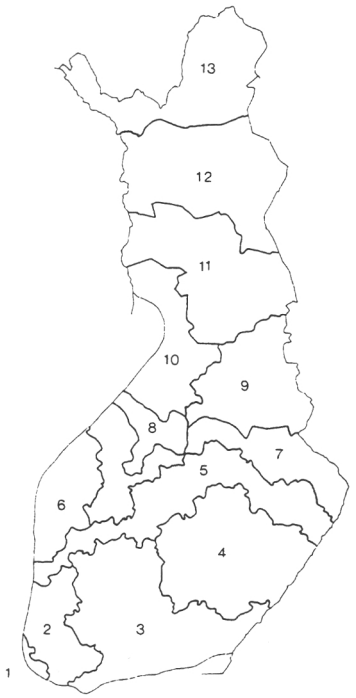
Hela landets funktioner fA1.1 och fD1.1 gav ungefär förväntningsrätta resultat i GLESINKA- och GLESNFI8 -data (Tabell 44 och 50). De glesa beståndens egna funktioner fA2.1 och fD4 underskattade däremot klart de samma test-data. En förklaring till att hela landets funktioner gav noggrannare resultat kan, vara att de glesa tallbestånden i GLESNFI3 - data och GLESINKA - data också ingick i grundmaterialet för hela landet.

Däremot i de glesa tallskogarna i Lapplands nordliga skyddskogsområde överskattades klart volymtillväxten med hela landets funktion fA1.1, och med funktionen fA1.23 för Lappland. Funktionen för glesa bestånd fA2.1 uppvisade en klart noggrannare tillväxtskattning; endast en svag överskattning på 0.69 m^3/ha/5år (b_e% = -7.9) (Tabell 43). I detta fallet ingick inte skyddskogarnas data i grundmaterialet för hela landets och Lapplands funktioner. Funktionen för glesa bestånd bildar enligt denna testningen ett alternativ för skattning av tillväxten i skyddskogarna.

I stort stöds volymtillväxtskattningarna med vissa original- och jämförelsesfunktioner i olika skötta bestånd och i allmänna ekonomibestånd av tidigare finsk, norska och svenska undersökningar (Tabell 57-58, 60 64). Endast i de obehandlade naturnormala skogarna (Ilvessalo & Ilvessalo 1975) överskattades isär de gamla täta beståndens volymtillväxt med denna undersökningens funktioner (Tabell 59), och borde därför inte användas i sådana tallbestånd.

Också när tillväxtskattningarna med hela landets och Södra och Norra Finlands funktioner jämförs med skogsnämndernas funktioner, var slutsatsen att funktionerna för de stora områderna gav regionalt ungerfär fel av samma storleksordning i oberoende data (t ex Tabell 47, 48, 51, 54). För funktionerna baserade på hela NFI3 -materialet ingick naturligtvis också data för de enskilda skogsnämnderna, och en likadan slutsats som för de glesa bestånden kan vara en förklaring till att man fick tillfrädsställande skattningar lokalt. Strand (1983) har föreslagit en grundmodell och korrektioner i denna för att "uppfånga" tillväxtvariationer i olika bestånd. Bättre vore emellertid att man hade en modell baserad på ett sådant allmänt material att inga korrektioner behövs, då korrektionsfaktorer alltid vill vara svåra att hitta rätt på. När grundmaterialet för hela landet eller Södra och Norra Finland innehåller data inhämtat från ett geografiskt mycket täckande området, och med en jämn fördelning av observationer på olika områder och beståndstyper, vill tillväxtfunktioner baserade på dessa data kunna ge lokalt noggranna nog tillväxtskattningar för praktisk tillämpning. Isåfall detta inte lyckas bildar de regionala tillväxtfunktionera ett alternativ.

Skillnaden i volymtillväxtnivån för talldominerade skogar inom Norra och Södra hälften av landet var klart signifikant. Också inom områderna fick man signifikanta skillnader för vissa grupper av skogsnämnder. I undersökningen (4.3.1) förslogs 5 till 6 tillväxtregioner för tall, som bl a en utgångspunkt för utveckling av regionala tillväxt- och produktionsmodeller(-tabeller). Testresultaten stöds av Kuuselas (1977) skisserade 13 tillväxtregioner (Figur 34), på basen av tillväxtuppgifter från 6tte riksskogstaxeringens resultat utan specifikation på olika trädslag. Det föreslagna sydlig-syd-vestliga området i denna undersökningen omfattas av region 2 och 3 hos Kuusela (l.c). Det östliga-sydöstliga området består huvudsakligen av region 4 och delar av 5 i Figur 34, medan det vestliga österbottniska området omfattar Kuuselas region 6, och delar av 7 och 8. Man måste beakta att indelningen i Figur 34 inte bara gällde talldominerade bestånd.



Figur 34. Tillväxtregioner i Finland enligt Kuusela (1977).

Resultaten i denna undersökningen visade, att t ex volymtillväxten för tall inom Satakunta (3), inte avvek vesentligt från det skisserade vestliga östebottniska områdets tillväxtnivå. På motsvarande sätt vore det möjligt att delar av Itä-Häme (6) hör till det mer inlandspreglade östliga-sydöstliga området. Man måste komma ihåg som Kuusela (1977) har preciserat, att tillväxtgränserna följar starkt beståndsförråden. Tvådelning i ett östligt och vestligt område i Södra Finland vore naturligt, då också granens dominans (enligt NFI8) inom det vestliga området (1-6) i medel är vesentligt större än för skogsnämnderna 7-12.

För Norra Finlands del stöds klart resultaten i denna undersökningen Kuuselas (l.c.) indelning. Inom Norra Finland vore följande områden möjlig utgångsbas för regionala produktionsmodeller: ett nordligt område omfattande Koillis-Suomi (18) och Lappi (19)(11 och delar av 10 och 12 i Figur 34), ett östligt omfattande Kainuu (16) (hos Kuusela 9 och delar av 7), och ett vestligt område bestående av Pohjois-Pohjanmaa (17) (område 10 hos Kuusela). Sydliga delar av det sistnämnda området kunde man tänka sig höra till det långsträkta vestliga österbottniska området, och Kainuu-området borde överlappa i söder det östliga inlandsområdet vid skognämnderna Pohjois-Savo (11) och Pohjois-Karjala (10). I slutsatsen måste preciseras att gränserna för tillväxtområderna inte följer skogsnämndernas eller skogscentralernas gränser. Dessa fungerar endast i stort som utgångspunkt för utveckling nya lokala tillväxt och produktionstabeller, som bättre representerar nuvarande regionala skogar än tabeller enligt Koivisto (1959) och Vuokila & Väliaho (1980) för hela landet, Södra Finland och Norra Finland. Denna indelning i regionala områden är inte i strid med tanken om eventuell bruk av storområdens tillväxtfunktioner i uppbyggandet av lokala produktionsmodeller, därför

att modellerna måste ha empirisk utgångspunkt i lokala beståndsförhållanden vid simuleringar.

Rangering av olika regioner enligt volymtillväxten kan lätt föra till olika resultat, därför att de klimatiska förhållanden inom olika områden inte är lika för varje år. När man granskar resultat från olika år, kan några områden ha hatt gunstigare förhållanden än andra för 50 år sedan, och man får därför olika rangeringar. (jmf Tabell 56).

5.5 Tillväxtmodellens betydelse

Också själva tillväxtmodellens struktur med variabelsammansättning (frågorna e - h i 1.6) har inverkan på estimatens noggrannhet i praktiken, men troligen inte så mycket som det empiriska grundmaterialet (5.3). Några av dessa frågor kunde granskas bl a på basen av funktionerna fB4 - fB8 gällande hela landet och deras testresultat i INKA - och NFI8 - data jämfört med originalfunktionernas (fA1.1, fA1.4, fA1.23) (Tabell 45 - 46 och 16-18).

Endast funktionen fB7 gav tillväxtskattning med ungefär samma noggrannhet som originalfunktionerna. I fB7 ingick (Tabell 17), förutom ålder och volym också skogstyp (indikatorvariabel) , ståndortens värmesumma och stamantal, alla i en "enkel" form. Också de andra alternativa funktionerna hade samma enkla variabeltransformation, men de gav alla mycket klar underskattning av observerad volymtillväxt. Detta kunde emellertid vara beroende av att bonitetsvariablen i dessa funktioner var uttryckt som H_{100}. Det verkar som om övre höjden tillsammans med beståndsåldern eller enbart skogstypen, är en bättre uppfångare av volymtillväxtvariationerna än själva ståndortindexet (jmf resultat fB5, fB4 med fB7, fA1).

Det verkar också vara onödigt att införa båda skogstyp och en bonitetsvariabel enligt övre höjd och ålder i tillväxtfunktionen (fB6). Heller inte verkar det lyckad att utveckla separata funktioner fB(FRISK), fB(M-GO), fB(TORR) för delstrata enligt skogstyp, jämfört med endast en funktion (FB7). I sådana fall fås lätt en "för god" tillpassning till grundmaterialet, och vissa egenskaper införs i funktionen som däremot inte har en allmän giltighet i det materialet funktionen tillämpas för. Detta gäller också variabeltransformationerna som med för mycket finjustering till grundmaterialet inte ger förväntade bättre resultat än den mer enkla och almännare variabelformen. Detta kan t ex vara orsaken till att Södra Finlands funktion fA1.4 gav sämre resultat än hela landets funktion fA1.1 i Södra Finlands test-data. Den större underskattningen av volymtillväxten med med fA1.4 kan ha orsakats av åldersvariablens potensvärde 0.9.

På basen av resultaten var det svårt att svara något definitivt på frågan om vilka variabler som borde vara med i en volymtillväxtmodell för bruk i praktiken. Ett första krav från praktikens sida är vilka kostnader som är förknippade till nya variabler och hur lätta de är att mäta. Modellbyggaren på sin sida vill gärna använda variabler som kan bestämmas objektivt och noggrannt.

Originalfunktionerna tillsammans med Nyyssönen & Mielikäinens (1978) funktion uppvisade tillfrädsställande tillväxtskattningar på basen av ålder, volym och bonitet. En ersättning av volymet med grundytan gav inte fullt så goda resultat. Med endast volym och ålder som input-variabler kan man förvänta större systematiska fel (överskattning) isär i yngre och äldre bestånd med höga skogsförråd (Tabell 42, Figur 27). Detta visade också testning av Delbecks (1965) funktion, där endast volym och ålder ingick (Strand 1983).

Beståndets stamtal och ståndortens värmesumma ingick i vissa funktioner, t ex fB6 och fB7, men man kan inte säga om dessa är absolut nödvendiga. Problemet är

emellertid den starka korrelationen mellan dessa och ålder, volym och bonitet. Korrelationen täcker lätt över och försvårar utvärdering av deras verkliga inverkan på tillväxtestimatens tillförlitlighet. De redovisade t-värden är därför opålitliga av detta skäl och är endast riktgivande. Det är emellertid skäl att förvänta en bättre "stabilitet" i volymtillväxtskattningar över hela omloppstiden (produktionsmodeller) med funktioner, där beståndets stamtal, ståndortens värmesumma och höjd över havet också ingår. För korta perioders prognoser (5-10 år) är det möjligt att dessa tilläggsvariabler inte spelar så stor roll.

Funktionen fB7, med den absoluta volymtillväxten som beroende variabel, visade ungefär samma tillförlitlighet som tillväxtprocentfunktionerna. Den icke-linjära modellen fB8, där också den absoluta tillväxten var beroende variabel, gav rätt stor underskattning av tillväxten. Figur 14 visade att funktionen teoretiskt har möjligheter för att kunda ge logiska tillväxtskattninger över omloppstiden, men maximala tillväxtnivån på de bästa boniteter (H_{100} = 30 - 27) ligger lågt (under 9 m^3/ha/år). Funktionen är ännu inte mogen för tillämpning och borde vidareutvecklas med INKA -data, och t ex ståndortsindexet kunde ersättas av övre höjden och några andra variabler också införas.

De trädvisa tillväxtmodellerna fMELA använd på beståndskännetecken (fTASO) tillämpas för nuvarande nästan enbart inom hela den finska praktiska skogsbruks planläggningen, och har därför åsidosatt de traditionella beståndstillväxtmodellerna (t ex Nyyssönen & Mielikäinens (1978) och fA1.1). Detta har blivit ett resultat av att man inom den finska produktionsforskningen har genom de senaste 10 - 15 år arbetat huvudsakligen med trädvisa modeller. Det var därför logiskt i denna undersökningen att göra vissa jämförelser mellan olika typer av existerande modeller. Testningen av fMELA-funktionerna i det oberoende INKA -materialet (Ojansuu et al. 1991) gav möjlighet till en jämförelse av några statistiska tillförlitlighetskriterier för olika existerande funktioner brukt inom praktiken (Tabell 74). Så som t ex Ekö (1985) har preciserat tidigare måste jämförelser mellan olika produktionsmodeller och tillväxtmodeller utföras i större utsträckning än hittills, eftersom de kan ge värdefull information om tillämpningsområden och indikationer till metodförbättring. Ekö (l.c) nämnar att det vore t ex interessant att jämföra olika typer av tillväxtmodeller, där parametrarna skattas utifrån samma bakgrundsmaterial. Särskilt interessant nämnas jämförelse mellan modellbestånds grundad på enskilda träds tillväxter. Jämförelsen hos Ekö (l.c) mellan preliminära och slutliga tillväxtfunktioner har visat att modellens utformning kan ha stor betydelse.

Bakgrunden för att använda trädvisa funktioner på beståndsdata växte fram med utvecklingen av fördelningsfunktioner (Kilkki & Siitonen 1975, Päivinen 1980 och Kilkki & Päivinen 1986). Man framförde som en fördel att samma beräkningsmetod då kunde användas för båda mindre skogsägendomer och för storområder. MELA - funktionerna vore ursprungligt planerade för planläggning av stora skogsområder (se också Päivinen et al. 1992). Bakom detta låg mer eller mindre teoretisk argumentation till fördel för bruk av trädvisa modeller i allmänhet. Kangas et al 1990 har preciserat, att när hela beståndets tillväxt beräknas med trädvisa modeller närmar inom-bestånds variationens felkomponent sig noll, medan mellan-bestånds variationens felkomponent förblir oförandrad som en bias på beståndsnivå (jmf Lappi 1986). Den trädvisa modellens skattning är noggrannare än beståndsmodellens, själv om den trädvisa modellens medelfel är något större än beståndsmodellens, när den trädvisa modellens mellan-bestånds felkomponent är mindre än beståndsmodellens fel (Kangas et al. l.c.). En förutsättning för detta måste bl a vara att man använder den trädvisa modellen på ekta trädvis information, och inte på "oekta" information inom diameterklasser

estimerad med en fördelningsfunktion på data med hela beståndets som primär enhet (t ex fTASO).

Det måste emellertid vid utvärdering av resultaten i Tabell 74 preciseras, att vi inte kan dra slutsatser om vilka modelltyper är bäst, därför att vi inte vet om de är teoretiskt rätt utvecklade. De olika typer av tillväxtfunktioner som jämförs är endast existerande olika funktioner, och vi kan endast kartlägga deras möjliga användningsområden och noggrannhet på basen av oberoende material (INKA - data). Det oberoende material kan heller inte uppfattas som fullständigt täckande alla tillämpningssituationer i nuvarande praktiskt finskt skogsbruk över hela landet.

Bias och relativt medelfel (RMSE%) visade att de traditionella beståndsfunktionerna fA1.1 och fN&M1978 gav volymtillväxtestimat med samma tillförlitlighet i INKA -data. Dessa modeller gav i stort något mindre systematiska fel för båda stora och små regioner än fMELA och fTASO. Den sistnämnda modellen har givit sämsta resultaten, och speciellt stora fel förkom i de nordfinska tallbestånden. Heller inte i medelfelen (RMSE%) fanns det stor skillnad mellan de traditionella modellerna och fMELA, medan fTASO gav mycket högre fel.

Tabell 74. Volymtillväxtens (I_{v5}, m^3/ha/5år) tillförlitlighetskriterier för olika typer av tillväxtfunktioner i oberoende INKA-data (se Tabell 23, 51, 55).

Område	fA1.1[1]		fN&M1978[2]		fTASO[2]		fMELA[4]	
	b_c m^3/ha/5år	RMSE %	b_c m^3/ha/5år	RMSE %	b_c m^3/ha/5år	RMSE %	b_c m^3/ha/5år	RMSE %
Hela landet	1.05	31.8			-1.92	70.0	1.86	39.0
S - Finland	1.02	24.1	0.44	24.0	3.38	53.4		
S - F (sk 1-10)	1.07	25.2						
Hki 1	-3.56	20.1	-4.02	20.3	0.09	43.6	6.39	38.8
L-S 2	0.21	30.3	-0.92	30.9	-0.34	72.7	3.38	28.0
Sat 3	-2.57	16.9	-3.37	20.5	0.40	38.2	3.86	29.1
U - H 4	-3.34	36.0	-4.58	36.6	-4.11	60.5	4.06	24.5
P - H 5	-0.21	32.7	-1.29	30.7	1.30	54.2	-0.44	30.4
I - H 6	-1.47	17.4	-0.54	15.2	7.56	64.9	-4.03	32.1
E - S 7	3.59	22.5	2.38	20.7	12.89	68.9	-2.29	29.3
E - K 8	4.08	22.8	3.38	23.8	9.36	59.8	3.01	27.4
I - S 9	2.44	16.9	2.23	15.7	3.60	42.9	-0.54	22.3
P - K 10	3.80	30.8	3.52	30.5	-0.41	48.8	7.97	26.5
P - S 11	1.53	15.8	0.88	16.0	10.35	48.4		
K - S 12	2.93	28.7	3.21	28.4	6.82	48.1		
E-P,Vaasa, K-P	-0.28	20.7						
E - P 13	1.24	21.2	0.35	21.2	-1.81	51.1	1.09	11.6
Vaasa 14	-3.31	13.9	-5.20	17.2	-3.63	42.2		
K - P 15	-1.14	22.3	-1.33	23.8	1.15	58.5		
N - Finland	1.06	40.4	0.09	38.2	-4.86	82.7		
Kainuu - P - P	0.22	36.9						
Kainuu 16	1.49	35.5	0.25	33.0	1.57	59.4	1.67	38.2
P - P 17	-1.08	38.6	-2.32	37.6	-5.32	57.6	-0.87	37.3
Koil - S - Lappi	2.18	46.9						
Koil - S 18	2.36	44.9	1.65	41.3	-8.09	97.8	5.93	63.8
Lappi 19	2.04	48.6	1.48	45.5	-9.59	109.3	3.18	56.4

1) Beräknat på basen av beståndsfunktion fA1.1 (bonitet: Hdom-T) och input-variabler med hela INKA - beståndet som primär enhet, endast tall

2) Beräknat på basen av okorrigerad beståndsfunktion enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) (bonitet: skogstyp) och input-variabler med hela INKA- beståndet som primär enhet, endast tall

3) Beräknat på basen av fördelningsfunktion och trädvisa fMELA-funktioner (Ojansuu et al. 1991)(bonitet: skogstyp) och input-variabler med hela INKA - beståndet som primär enhet, endast tall
4) Beräknat på basen av av fMELA-funktioner (Ojansuu et al. 1991) och INKA -beståndens provträdsdata från delclusterytorna i tall-, björk- och grandominerade bestånd.

5.6 Höjdbonitetskurvornas tillförlitlighet

Riksomfattande höjdbonitetskurvor för praktisk bonitering har stundom blivit ifrågasatt, därför att beståndens övre höjdutveckling över lång tid förändras och att det kan finnas skillnader i beståndens höjdutvecklingen inom olika loka regioner.

Den granskade övre höjdens utvecklingsfunktion fA3.1, baserad på 1950-talets riksskogstaxeringens material, gav i medel något för högre värden för ståndortindexet vid andra uppmätningstidpunkten, när två successiva boniteringar blev tillämpat. Detta var fallet båda för de permanenta ytorna INKA och SKYDDINKA, och också för de tillfälliga NFI8 -ytorna. I vissa fall, på de allra bästa boniteterna i testmaterialen, var indexet i medel något lägre för andra boniteringen. (Tabell 65,68,69).

De systematiska avviken (d_e) var dock av en sådan storlek att de inte förhindrar en fortfarande tillämpning av bonitetskurvorna (fA3.1) i praktiken. Detta stadfästade också jämförelsen med de i undersökelsen nya kurvorna enligt funktion fD3, utarbetad på basen av INKA -data. Dessa kurvor borde vara mycket representativa för finska talldominerade bestånds nuvarande övre höjdutveckling (Figur 30 och Tabell 70, 71).

Ökningen i H_{100} var i de flesta fall mindre än 0.5, och resultaten stadfästar de nyligen rapporterade resultater för svenska och finska data enligt Eriksson & Karlsson (1996) och Mielikäinen & Timonen (1996). I den svenska undersökningen hade indexet i medel ökat med 0.29, 0.62, 0.38 och 1.56 för de senaste 40 år, och motsvarande ökat med 0.75, 0.64, 0.70 och 1.45 för de senaste 20 år för tall på permanenta ytor inom fyra olika regioner enligt Hägglunds (1974) boniteringskurvor. Dessa boniteringskurvor har baserats på data uppmätt i perioden 1941-1965. Enligt Eriksson & Karlsson (1996) kunde inte påvisas några klara bias bundna till metoden eller utvecklingen av boniteringskurvorna, och heller inte klara skillnader mellan skogsbehandlingen gällande grundmaterialet och det materialet som blev boniterad. Slutsatsen var att ökningen i ståndortsindexet indikerade en trend av produktionsökning i Sverige.

De finska resultaten för bonitering med funktion fA3.1 på fällda provträd på fasta försöksytor i tallskog, visade en ökning i indexet på ca 10 % för perioden 1950 - 1990 på boniteter H_{100} = 24-27. Man konstaterte emellertid att där inte kunde påvisas någon verklig produktivitetstrend i Finland, men att den klara ökning i totala tillväxten hade orsakats av ökning i skogsförrådet genom olika skogsförbättringsåtgärder och ändringar i beståndens utvecklingsklasser. I motsats till den svenska undersökelsen förklaras ökningen i ståndortsindexet med skillnader i skogsbehandlingen för materialet bakom bonitetskurvorna (1950 -talet) och det boniterade materialet. Tolkningen var att de på 1950 - talet vanliga blädningshuggningarna kan ha minskat beståndens övre höjdutveckling i förhållande till de vanligen låggallrade nutida skogsbestånden.

Man måste emellertid av olika skäl ifrågasätta tolkningen, därför att i grundmaterialet för fA3.1 ingår icke blädningsklassificerade bestånd (se 2.4), och därför att kurvorna enligt fA3.1 visade ett mycket likartad förlopp som Hägglunds (1974) (se Figur 10 i A3). Också jämförelsen med kurvorna enligt INKA -data (Figur 30) visade endast små skillnader. Detta gör att man inte helt kan utesluta en verklig trend finns i ståndortsindexet, men funden är troligen inte en verklig ökning av skogsmarkens naturliga produktionsförmåga. Mera sannolikt är att ökningen av höjdbonitetsindexen

har orsakats av nuvarande skogsbehandling. I Finland har tyngdpunkten flytts till yngre betstånd pg av kalhuggningar. Detta avspeglas naturligt i en genomsnittlig högre aktuell volymtillväxtnivå (höjdbonitetsindex).

Lappi & Baileys (1988) blandningsmodell har blivit vidareutvecklat av Lappi & Malinen (1994) för båda prognostisering av framtidig höjdutveckling för enskilda träd och bestånd, och för höjdbonitering. En modell som är likaså bra för båda syften har emellertid tidigare blivit ansett att vara tvivelaktigt (Strand 1964). Hos Malinen (1992) har gjorts jämförelser mellan kurvor enligt Lappi & Baileys (1988) blandningsmodell och kurvor enligt fA3.1, och enligt Vuokila & Väliahos (1980) modell för kulturtall. I stort var det små skillnader i enstaka kurvförlopp. I hela kurvsettet var skillnaderna större, isär för låg ålder 30-40, där variationsintervallet för kurvorna enligt blandningsmodellen var mycket vidare än för kurvor enligt den traditionella modellen. Materialet i undersökningen var litet, och äldre bestånd över 70 år på goda boniteter fattades. Huvudvikten låg på 40-70 åriga bestånd.

Slutsatsen var att den bästa tillämpning av blandningsmodellen var prognostisering av höjden för enskilda träd t ex vid 100 års ålder, och inte för att konstruera bonitetskurvor. Det verkar därför så att man inte vill kunna uppnå tillförlitligare boniteringsresultat på beståndsnivån med denna modell jämfört med de nuvarande traditionella höjdutveckklingskurvorna. I båda fallen måste ett visst antal övrehöjdträd mätas. Modellen styrka kommer troligen bäst till sin rätt i olika forskningsuppgifter.

Karlsson (1994) har gjort jämförelse mellan hela landets kurvsett (fA3.1) och höjdutvecklingskurvor baserade på ett litet material av 32 tallbestånd, huvudsakligen belägna på karriga torra marker i Österbotten. Kurvförloppen avvek ifrån varandra isär på unga åldrar, där Karlssons(l.c.) kurvor hade en större spridning. På låga boniteter fortsatta utvecklingen starkare i hans kurvor än i hela landets kurvset. På de bästa boniteterna var förloppen tämligen lika. Man måste beakta jämförelsesmaterialets begränsade omfang, och att skattning av höjdutveckling med fällda övrehöjdträd i nutida gamla bestånd har en osäkerhet genom omlagringseffekten (Hägglund 1972). Den sistnämnda gör skattningen av höjdutvecklingen ösäker speciellt i yngre åldersskeden. I detta sammanhanget måste nämnas att skattningarna av INKA-bestånden belägna inom Österbottens skogsnämnder 13-15 med fA3.1 var ungefär väntesriktiga.

I stort visade volymtillväxten inte stora skillnader mellan olika geografiska områder. Det vore därför också logiskt att heller inte övre höjdtillväxten avvek så mycket för regionerna sinsemellan . Naturligtvis fanns skillnader i tillväxtnivån mellan Norra och Södra Finland. Detta tog sig, för övre höjdutvecklingens del, uttryck i att de nordliga bestånden huvudsakligen låg med tyngpunkten på något lägre höjdbonitetsklasser (se t ex Figur 1a och 1b i A3). På basen av avvikelsen mellan successiva boniteringar kunde inga geografiska systematiska tendenser sporas för Norra och Södra Finland. Detta var fallet också när avvikelsen granskades enligt ståndortens värmesumma och höjd över havet (Figur 28 och 29).

Värderna för medelvolymtillväxten eller produktionsförmågan skattat i av Vuokila (1968) på basen av resultat enligt Carbonnier (1968) och Vuokila (1967), stämmer mycket bra med resultaten redovisade i Figur 33, och i Tabell 72 för sambandet mellan medelvolymtillväxt och ståndortsindex. Vuokila (1968) preciserade i detta sammanhanget, att när det är fråga om tallbestånd finns inga skäl att förutsätta att kulturtallens produktion vore signifikant avvikande från de naturligt föryngrade tallbeståndens. Något som också jämförelse med Vuokila & Väliahos (1980) volymtillväxtvärden också visade i denna undersökningen (Tabell 73).

5.7 Sammanfattande slutsatser om tillämpning

Inom det finska skogsbrukets planeringsarbetet inhämtas grund-data huvudsakligen för nuvarande med figurvis eller beståndsvis inventering. Grund-data omfattar medelvärden av viktiga beståndskännetecken, som t ex volym, ålder, höjd, grundyta, diameter, för skattning av bl kommande planperioders volymtillväxt. Beståndstillväxtfunktionerna har just utvecklats på denna typ av data. Det var därför sannoligt att sådana funktioner, baserade på omfattande material, visade mycket tillfrädställande noggrannhet i oberoende material rörande talldominerade finska bestånd, som vi möter i en tillämpningssituation i praktiken. Bruk av mångsidigt oberoende material har länge varit ansett som en av de "bästa" metoder för att undersöka modellers giltighet. Det är emellertid viktigt att valideringens resultat inte uppfattas som en absolut sanning, men mer som en riktgivande information om egenskaper knutna till tillväxtmodellen.

Beståndstillväxtfunktionerna för stora regioner gav i denna undersökningen relativt noggranna tillväxtskattningar också på skogsnämndsnivå. Allmänt, när en tillväxtfunktion har baserats på ett mycket stort landsomfattande material som också representerar olika lokala förhållanden, är funktionens tillämpningsområde vitt och man behöver inte många lokala tillväxtfunktioner. Därsom materialet inte representerar en mycket vid population, måste man trygga sig åt lokala tillväxtfunktioner. De lokala tillväxtfunktionerna kommer också troligen mer ifråga vid simulering av tillväxtutvecklingen för hela omloppet. I sådana fall borde beståndstillväxtfunktionen styrkas med tilläggsvariabler, så som ståndortens värmesumma och höjd över havet, samt med beståndets stamtal och eventuellt medeldiameter. Vid volymtillväxtskattning för kortare perioder 5-10 år räcker volym, ålder och bonitet för att ge ett tillfredställande resultat.

De enkla volymtillväxtserierna i Bilaga 2 ger en möjlighet för tillväxtskattning på lokalt nivå på basen av tre olika data. Tillväxt-tabellerna avser genomsnittlig volymtillväxt i en kommande 5 årsperiod för stående träd i beståndet till olika tidpunkt inom omloppet på boniteter från H_{100} = 27 till 18 i Södra Finlands skogsnämnder, och från 24 till 15 inom Norra Finlands skogsnämnder. Man måste emellertid komma ihåg att i dessa enkla deterministiska simuleringar finns en mängd osäkerhetsfaktorer, så som Kangas & Kangas (1997) har behandlat. I t ex tillväxtvärden enligt NFI8 -data finns en svag risk för systematisk överskattning för låga beståndsåldrar. Dessa lokala tabeller bildar också en möjlig bas för utveckling av mera detaljerade regionala detaljerade tillväxt - och produktionstabeller.

Speciellt i långsiktiga tillväxtprognosberäkningar finns en fara för systematiska fel, när funktionen har baserats på mycket gammalt historiskt material. Som också Kuusela (1997) har nyligen preciserat måste man glömma tesen om att boniteten är oföränderlig över tiden. En möjlig trend i ökande eller minskande bonitet över lång tid (jmf 5.5) kan göra det säkrare att tillämpa funktionerna enligt INKA -data än funktioner baserade på data från 1940 - och 1950-talet. Detta problem gäller naturligtvis också för de trädvisa MELA-funktioner enligt Ojansuu et al (1991), där tillväxt-data härstammar för etablerad skog från 1972-1982, för plantbestånd från 1930-1976, och för bestånd på dikade mosser från 1968-1971.

Emellertid måste tilläggas att funktionerna baserade på 1950 -talets data, visade i denna undersökningen likaså och även i vissa fall bättre noggrannhet än funktionerna från senare data. De förstnämnda är därför fullt tillämpningsbara praktiken nutidas, själv om de inte har baserats på ett representativt urval från nuvarande tallskogar.

Därsom man som Mielikäinen & Timonen (1997) utgår från inga trend i Finland, borde också hela landets funktion fA1.1 ge fortfarande valida resultat tillsammans med

funktion fD1.1, där boniteten avbildas med övre höjd och ålder. Bonitering enligt höjdutvecklingskurvor på basen av fA3.1 och på basen av fD3 vill under praktiska förhållanden ge lika resultat, då differenserna mellan kurvförloppen på olika boniteter var små. Därför blev också medeltillväxten inom olika höjdboniteter skattat med volymtillväxtfunktioner baserade på båda INKA- och NFI3- data samt med funktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (1978) (fN&M1978). Medeltillväxten borde inte uppfattas som en maximal produktionsförmåga för ståndorten ifråga, men heller som en produktionsförmåga boniteten uppnår när praktikens nuvarande skogsbehandling tillämpas. Tillämpning av utvecklingskurvorna enligt INKA-data (fD3) ger emellertid en försäkring om att boniteringen har skedd på aktuell basis. Funktionen enligt Nyyssönen & Mielikäinen (l.c) kompletterar möjligheterna för tillväxtskattning på beståndsnivå tillsammans med funktionen fB7, i de fall där skogstypen är bonitetsvariabel.

Funktionen fN&M1978 borde tillämpas enligt denna undersökningen utan korrektioner, då detta kan medföra en risk för grov underskattning av tallbeståndens volymtillväxt. Funktionen har också som fB7 baserats på klimatkorrigerat tillväxt och påföljande nivåkorrektion för lokala förhållanden enligt NFI6s tillväxtdata verkar vara ologiskt. Klimatkorrigerat tillväxt borde allmänt efterstrevas för att eliminera klimatets medförande osäkerhet skattningen av framtidig tillväxt. Det finns därför ett fortgående behov för aktuella årsringsserier täckande olika geografiska regioner. Ett annat alternativ är att ta klimatbeskrivande variabler i funktionerna med direkt inverkan på tillväxten.

En tillväxtkorrigering baserat på medelvärdet av indexen inom en 5-årsperiod för stora regioner t ex Södra Finland, eliminerar inte fullständigt klimatets inverkan på tillväxten. I undersökningen fick man relativt stora skillnader i estimaten enligt okorrigerade och korrigerade funktioner. Skillnaden kan öka betydligt i långsiktiga prognosberäkningar.

Hela landets funktioner, t ex fA1.1 och fD1.1, kan också brukas för skattning av volymtillväxten i glesa talldominerade bestånd. För äldre glesa bestånd som har täthet lägre än 150/ha, borde man tillämpa volymtillväxtmodell utvecklat för fröträdställningar enligt Niemistö et al (1993). I Lapplands skyddskogar behövs de egna tillväxtmodeller fF1.14 och fF4, medan bonitering kan ske enligt fA3.1. I täta naturnormala talldominerade bestånd överskattas tillväxten med beståndsfunktionerna behandlade i denna undersökning, på samma vis som också MELA-funktionerna gjorde enligt Ojansuu et al (1991).

Skillnaderna i volymtillväxt mellan kulturtall huvudsakligen uppkommit efter sådd (Vuokila & Väliaho 1980) och naturligt föryngrad tall i denna undersökningen var små. Det är därför tveksamt om man borde ha seprata tillväxtfunktioner för naturligt föryngrade tall- och kulturtallbestånd. I t ex Sverige och Norge tillämpas allmänt gemensamma funktioner. Det har i Finland framförts som en hypotes att planterade tallbestånd etablerade på 1980- och 1990- talet möjligen vill uppvisa i medel högre tillväxt än naturligt föryngrade bestånd, men ännu har vi för lite empiriskt material för att utvärdera detta.

Två slutsatser kunde göras på basen av tillförlitligheten i tillväxtskattningar enligt olika typer av modeller (Tabell 74). Den ena är att de trädvisa MELA-funktioner inte bildar något överlägset alternativ för prognostisering av volymtillväxten för en kommande 5-årsperiod i talldominerade finska ekonombestånd jämfört med traditionella existerande funktioner som Nyyssönen & Mielikäinens(1978) eller hela landets funktion fA1.1.

Den andra slutsatsen är att fTASO liknande modeller, där en trädvis tillväxtmodell (fMELA) används på oekta trädvis information dvs diameterklasser som utgångspunkt för tillväxtskattningen, ger estimat med mycket större medelfel än vanliga beståndsmodeller. Tillämpning på enstaka bestånd, isär under nordfinska förhållanden, innebär en mycket stor risk för stora fel. Eftersom fMELA använd på ekta trädvisa data i stort gav resultat med samma tillförlitlighet som de traditionella modellerna, måste de stora medelfelen troligen förorsakas av att fördelningsfunktionen inte ger realistiska stamtalsfördelning på basen av data gällande enbart hela beståndet. fTASO -modellen används huvudsakligen för beräkning av avverkningskvantum och just för sådant ändamål krävs att tillväxtfunktionens estimat är endast behäftade med små medelfel. Genomsnittliga "riktiga" prognosvärden har inte i detta sammanhanget så stor betydelse.

Systemet borde testas i mycket större skala än till nu, eftersom det redan har mycket omfattande tillämpning i praktiken. Systemet kunde förbättras med att inlägga en beståndsfunktion som kontroll på tillväxtskattningen för hela beståndet eller med mera mätning av trädvis information, som naturligtvis betyder ökade inventeringskostnader. En testning av fördelningsfunktionen på landsomfattande material kunde ge möjligheter för nya parametrar. Beståndstillväxtmodellerna är i sådana fall ett mycket bra alternativ, så som realiserat i KUHA-systemet (Päivinen & Halinen 1995). Med hjälp av en tillämpning av fördelningsfunktioner vid tillväxtperiodens början år 0, och efter 5 och 10 år, vill man på samma sätt som i ett system enligt fTASO få volymförråd och grundyta fördelad till sortimenter utan trädvis tillväxtskattning (t ex Saramäki 1992).

På grund av mätfel i input -data i tillämpningsituationer tillsammans med andra osäkerheter knutna till framtidig tillväxt, gör att vi måste allmänt räkna med större medelfel än 20 % i volymtillväxtskattningen. För enskilda bestånd vill grovt anslått felet vara av storlek 35-40 % där systematisk och tillfälligt fel ingår. Storleksordningen på dessa fel visar tydligen skillnaderna mellan skattning av det statiska virkesförrådet, där kraven till noggrannhet måste och kan vara mycket hårdare än till förrådets dynamiska volymtillväxt. I praktiken kan man acceptera vissa systematiska fel, eftersom det kostar mycket att få väntesriktiga estimat. Hur stora systematiska fel och medelfel vi är villiga att acceptera vid prognostisering av framtidig volymtillväxt, vore för moddellbyggaren viktigt att veta, eftersom detta fattas i Finland. Vid utveckling av tillväxtmodeller hjälper därför mycket lite att lägga för stor vikt på förväntningsrätta resultat i modellens eget grundmaterialmaterial.

Inom det praktiska skogsbruket finns en mängd olika uppgifter och behov som är bundna till den helhetliga skogsplaneringen och till skogsvården. Dessa behov och åtgärder är olika för det privata skogsbruket, bestående av mindre skogsägendomer, jämfört med de stora bolagsskogarna och statens skogar. Dessa olika hänsyn som också bildar olika krav till tillförlitlighet i tillväxtskattningarna, måste modellbyggaren vara klar över vid utveckling av nya tillväxtmodeller. Det gör att i skattningen av den totala tillväxten för hela skogsägendomen, isär för stora sådana, har de trädvisa modellerna en mycket stark plats, förutsatt att man verkligen har mätat några trädvisa data. För skattning av tillväxtutvecklingen på beståndsnivå, som grundval för olika skötselsåtgärder, har däremot beståndsmodellerna en naturligt plats. Detta har bl a Mielikäinen (1991) tidigare preciserat i samband med en redogörelse om basen för olika tillväxtmodeller. Han stadfästade som slutsats att man ännu behöver modeller baserade på medelvärden gällande hela beståndet för att "producera" fattande kännedom om tillväxten på olika ståndorter och om regionala tillväxtförhållanden, och inte minst för att kontrollera och testa de trädvisa tillväxtmodellerna.

Ut från alla dessa olika hänsyn, förstår man lätt Daniels (1992) åsikt om att båda praktik och forskning har behov av olika modeller, och att man inte kan utveckla en

modell(typ) som passar för alla typer av uppgifter, något som också denna undersökningen delvist har vist. I denna helhetsbilden får man inte glömma bort processmodellerna. Själv om sådana modeller inte ännu är starka konkurrenter till de empiriska regressionmodellerna inom praktiska skogsbruket, vill dessa troligen kunna producera vissa viktiga komponenter till framtiga traditionella tillväxtmodeller. En allmän slutsats om en tillförlitlig tillämpning av tillväxtmodeller för skattning av framtidig tillväxt måste vara, att varje modell borde användas på samma typ av data som modellen har utvecklat från, eller m a o en trädvismodell på trädvis information och en modell med hela beståndet som primär enhet på data omfattande medelvärden för hela beståndet.

LITTERATURFÖRTECKNING

Adlard, P.G. 1974. Development of an empirical competition model for individual trees within a stand. Ur: Fries, J. (ed). Growth models for tree and stand simulation. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 30: 22-37.

Adlard, P.G. 1993. Myth and reality in growth estimation. Ur: Vanclay, J.K., Skovsgaard, J.P. & Gertner, G.Z. (eds.). Growth and Yield Estimation from Successive Forest Inventories. Proceedings IUFRO Conference Copenhagen 14.-17. June 1993. Forskningscentret for Skov & Landskab/Den Kgl. Veterinär- og Landbohöjskole. Forskningsserien 3: 1-9.

Agestam, E. 1985. En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran, och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Garpenberg, Institutionen för Skogsproduktion. Rapport 15: 1-150.

Alder, D. 1975. Site index curves for *Pinus patula*, *Pinus radiata* and *Cupressus lusitancia* in East Africa. Unit of Tropical Silviculture, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. UK. 20 s.

Alder, D. 1979. A distance-dependent tree model for exotic conifer plantations in East Africa. Forest Science 25(1): 59-71.

Alder, D. 1980. Forest volume and yield prediction. FAO Forestry Paper 22.4: 1-194.

Assmann, E. 1949. Zur Ertragstafelfrage. Forstwissenschaftliches Centralblatt 68: 414-430.

Assmann, E. 1955. Die Bedeutung des"erweiterten Eichorn´schen Getsetzes" für die Konstruktion von Fichten-Ertragstafeln. Forstwissenschaftliches Centralblatt 74(11-12): 321-330.

Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft. München-Bonn-Wien. 490 s.

Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study: Studies in the organic production, structure increment and yield of forest stands. Pergamon Press, Oxford. 506 s.

Assmann, E. & Franz, F. 1963. Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschunganstalt München. 104 s.

Avery, T.E. & Burkhart, H.E. 1983. Forest measurement. McGraw-Hill. New York. 331 s.

Bailey, R.L. & Clutter, J.L. 1974. Base-aged invariant polymorphic site curves. Forest Science 20: 155-159.

Bailey, R.L., Abernethy, N.C. & Jones, E.P. 1981. Diameter distribution models for repeatedly thinning slash pine plantations. U.S. Department Acriculture, Forest Service, General Technical Report SO-34: 115-126.

Bauger, E. 1961. Foreløpig produksjonstabell for sitkagran på Vestlandet. Meddelelser Vestlandets Forstlige Forsøksstasjon 11: 123-167.

Bauger, E. 1970. Sammenligning mellom sitkagranens og granens høydeutvikling på Vestlandet og i Nord-Norge. Meddelelser Vestlandets Forstlige Forsøksstasjon 50(14): 145-221.

Baule, B. 1917. Zu Mitscherlichs Gesetz der physiologischen Beziehungen. Lantwirtschaftliche Jahrbuch 51: 363-385.

Blingsmo, K. 1984. Diametertilvekstfunksjoner for bjørk-, furu- og granbestand. Norsk institutt skogforskning. Rapport 84.7: 1-22.

Blingsmo, K. 1988. Tilveksfunksjoner. Tilvekstfunksjoner i norske produksjonsmodeller/-tabeller og planleggingsprogram. Sammenligning av noen nordiske tilvekstfunksjoner. Nordisk seminar om langsiktige planleggingsmetoder i skogbruket. Ås 15.11.1988. Stencil. 8 s. + bilagss.

Blomqvist, A.K. 1872. Tabeller framställande utvecklingen af jamnåriga och slutna skogsbestånd af tall, gran och björk. Helsingsfors. 22 s.

Boniteringstabeller og utdrag av produksjons- og tilveksttabeller 1978. Det norske Skogselskap. Oslo. 70 s.

Bonnor, G.M. & Magnussen, S. 1988. Predicting stem diameter distributions from growth probability equations. U.S. Department Acriculture, Forest Service, General Technical Report NC-120: 192-200.

Braastad, H. 1967. Produksjonstabeller for björk. Meddelelser norske skogforsøksvesen 84.22: 265-365.

Braastad, H. 1974. Diametertilvekstfunksjoner for gran. Meddelelser norske skogforsøksvesen 31.1: 1-74.

Braathe, P. 1953. Undersøkelser over utviklingen av glissen gjenvekst av gran. Meddelelser norske skogforsøksvesen 42.12: 213-238.

Brantseg, A. 1951. Kubikk- og produksjonsundersøkelser i vestnorsk granplantninger. Meddelelser Vestlandets forstlige Forsøksstasjon 28(9): 35-91.

Brantseg, A. 1969. Furu sønnafjells. Produksjonstabeller. Meddelelser norske skogforsøksvesen 26.1: 1-291.

Brickell, J.E. 1966. Site Index Curves for Engelmann Spruce in Northern and Central Rocky Mountains. U.S. Department Agriculture, Forest Service, Intermountine Forest & Range Experiment Station, Ogden, Research Note INT - 42.

Bucht, S. 1981. Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå, Institutionen för Skogsskötsel. Rapporter och Uppsatser 4: 1-275.

Bull, H. 1931. The use of polymorohic curves in determining site quality in young red pine plantations. Journal of Agricultural Research 43(1): 1-28.

Burkhart, H.E. 1981. Growth and yield models for *Pinus taeda* plantations. Paper prepered for Presentation at XVII IUFRO World Congress Kyoto, Japan Sept. 6.-17. 1981. 6 s.

Burkhart, H.E., Gregoire, T.G. & Smith, J.L. (eds) 1993. Modelling Stand Response to Silvicultural Practices. Proceedings IUFRO S4.01. Virginia Sept. 27 - Oct. 1. 1993. Virginia Polytechnic Institute and State University. 201 s.

Børset, O. & Langhammer, Å. 1966. Vekst og produksjon i bestand av gråor (*Alnus incana*). Meldinger Norges Landbrukshögskole 45(24): 1-35.

Cajander, A.K. 1909. Ueber Waldtypen. Acta Forestalia Fennica 1.1: 1-175.

Carbonnier, C. 1968. Bonitering av skogsmark. Skogen s. 86-87, 107.
Carcía, O. 1983. A stochastic differential equation model for the height growth of forest stands. Biometrics 39: 1059-1072.
Clutter, J.L. 1963. Compatible Growth and Yield Models for Loblolly Pine. Forest Science 9: 354-371.
Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. & Bailey, R.L. 1983. Timber Management: A quantitative approach. J. Wiley & Sons Inc., New York. 333 s.
Cochran, W.G. 1953. Sampling techniques. J. Wiley & Sons, New York-Chapman & Hall, London. s. 1-16.
Curtis, R.O. 1972. Yield tables past and present. Journal of Forestry 70.1: 28-32.
Daniels, R.F. 1981. An integrated system of stand models for lobkolly pine. Ph.D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. 104 s.
Daniels, R.F. 1993. Twenty years of stand modelling. Paper presented at IUFRO S4.01 Conference Blacksburg, Virginia, U.S.A. Sept. 27-Oct. 1. 1993. 7 s.
Davis, L.S. & Johnson, K.N. 1987. Forest Management. McGraw-Hill. New York. 790 s.
Delbeck, K. 1965. Metoder for tilvekstberegning i glissen skog. Tidsskrift for Skogbruk 73: 5-45.
Dudek, A. & Ek, A.R. 1980. A bibliography of worldwide literature on individual tree based forest stand growth models. University Minnesota, Department of forest resources. Staff paper 12: 1-33.
Eichorn, F. 1904. Beziehungen zwischen Bestandshöhe und Bestandsmasse. Allgemeine Forst- und JagdZeitung. 80: 45-49.
Eide, E. & Langsäter, A. 1941. Produksjonsundersökelser i granskog. Meddelelser norske skogsforsöksvesen 7: 355-500.
Ek, A.R. 1974. Nonlinear Models for Stand Table Projection in Northern Hardwood Stands. Canadian Journal of Forest Research 4: 23-27.
Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (eds.) 1988. Forest growth modelling and prediction. U.S. Department Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report, NC-120. IX: I-VII.
Ekö, P.M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Rapport 16: 1-224 + 83 bilagss.
Elving, B. 1975. Volym och struktur i ogallrade tallbestånd. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 35: 1-28.
Eriksson, H. 1967. En jämförelse mellan produktionen på fasta försöksytor och i hela bestånd. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 14: 1-72.
Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 41: 1-291.
Eriksson, H. 1977. Från höjdbonitet till bonitet - en översikt. Summary: Relationships between Site Index and Site quality in Terms of Mean Annual Increment. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift, Häfte 5: 447-456.
Eriksson, H. & Karlsson, K. 1996. Long-Term Changes in Site Index in Growth and Yield Experiments with Norway Spruce (*Picea abies*, (L.) Karst) and Scots Pine (*Pinus sylvestris*, L.) in Sweden. Ur: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (eds.) Growth Trends in European Forests. European Forest Institute Research Report 5: 79-88.

Eriksson, L. 1976. Konkurrensmodeller för enskilda träds tillväxt efter röjning. Skogshögskolan, Garpenberg, Institutionen för Skogsteknologi. Rapporter och Uppsatser 108: 1-67.

Forststyrelsens behandlingsprogram 1984. Ohjekirjeet vajaapuustoisten metsien käsittelystä. 1984. Metsähallitus. Monisteet 106-108. 12 s. + bilagss.

Forststyrelsens behandlingsprogram 1985. Ohjekirjeet metsien käsittelystä Perä-Pohjolan, Etelä-Suomen ja Pohjanmaan piirikunnassa. 1985. Metsähallitus. Monisteet 110-112. 98 s. + bilagss.

Frees, F. 1960. Testing accuracy. Forest Science 6: 139-145.

Fries, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. Studia Forestalia Suecica 14: 1-303.

Fries, J. 1969. Boniteringskurvor för tall och gran. Skogen 1: 20-30.

Fries, J. (ed.) 1976. Permanent plots in forestry growth and yield research. IUFRO, Subject Group S4.01. Proceedings 1975. Instutitionen för skogsproduktion 43: 1-151.

Fries, J. & Matern, B. 1965. On the Use of Multivariate Methods for the Construction of Tree Taper Curves. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skoglig Matematisk Statistik. Rapporter och Uppsatser 9.

Fryk, J. 1984. Tillstånd och produktion i röjda ungskogar med låga stamantal. Sveriges lantbruksuniversitet, Garpenberg, Institutionen för Skogsproduktion. Rapport 13: 1-248.

Gehrhardt, E. 1921. Eine neue Fichten-Ertragstafel. Allgemeine Forst- und JagdZeitung 97: 145-156.

Goulding, C.J. 1979. Validation of growth models used in forest management. New Zealand Journal of Forestry 24: 108-124.

Gustavsen, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Summary: Finnish volume increment functions. Folia Forestalia 331: 1-37.

Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for conifers stands in Finland. Folia Forestalia 454: 1-31.

Gustavsen, H.G. 1982. Om övre höjdutvecklingenskurvor för bonitering. Licentiatarbete i skogstaxation för agronomie- och forstlicentiatexamen. Helsingfors universitet. Skogstaxationsvetenskapliga institutet. 159 s.

Gustavsen, H.G. & Fagerström, H. 1983. Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran-, och björkbestånd. Folia Forestalia 576: 1-32.

Gustavsen, H.G., Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 292. 212 s.

Gustavsen, H.G. 1990. Puuston kasvumallit. Ur: Saramäki, J & Mäkkeli, P. (redakt). Metsätalouden suunnittelu. Metsäntutkimuspäivät Joensuussa 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 357: 13-23.

Gustavsen, H.G. 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys. Summary: Development of understocked pine and spruce stands. Folia Forestalia 796: 1-29.

Gustavsen, H.G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia Forestalia 597: 1-20.

Gustavsen, H.G. & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Summary: Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland. Folia Forestalia 673: 1-27.

Hagberg, E. 1957. The new Swedish national forest survey. Unasylva 11: 2-8, 28.

Hari, P. 1968. A growth model for a biological population applied to a stand on pine. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66.7: 1-16.
Heikkilä, T. 1914. Tuotantotaulut pääpuulajeillemme. Suomen Metsäyhdistyksen julkaisu. Erikoistutkimuksia 2: 1-35.
Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504: 1-80.
Heqyi, F. 1974. A simulation model for managing jack pine stands. Ur: Fries, J. (ed). Growth models for tree and stand simulation. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 30: 102-118.
Hobbelstad, K. 1980. En analyse av noen avkastningsprognoser i skogbruket og en ny tilvekstfunksjon for gran. Norsk institutt for skogforskning. Rapport 3: 1-35.
Hradetzky, J. 1972. Modell eines intergrierten Ertragstafel-Systems in modularer Form. Mitteilungen Baden-Würtembergishen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Abteilung Biometrie. 45.11: 1-172.
Huang, D.S. 1970. Regression and Econometric Methods. J. Wiley & Sons, Inc. New York. s. 88-125.
Hummel, F.C. & Christie, J. 1953. Revised Yield Tables for Conifers in Great Britain. Forestry Commission, Forest Record 24: 1-24.
Husch, B., Milier, C.I. & Beers, T.W. 1982. Forest Mensuration. John Wiley & Sons.
Hynynen, J. 1995. Modelling tree growth for managed stands. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 576: 1-136.
Hägglund, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 21: 1-298.
Hägglund, B. 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra Finland. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 24: 1-49.
Hägglund, B. 1974. Om övre höjdens utveckling i tallbestånd. Skogshögskolan, Stockholm, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 31: 1-54.
Hägglund, B. 1977. Boniteringssystemets praktiska tillämpning. Ur: Bonitering. Redovisning av dagsläget i boniteringsfrågan. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 5: 463-471.
Hägglund, B. 1981a. Evaluation of forest productivity. CAB, Forestry Abstracts. 42.11: 515- 527.
Hägglund, B. 1981b. Forecasting growth and yield in established forests. Sveriges lanbruksuniversitet, Umeå, Institutionen för Skogstaxering. Rapport 31: 1-132.
Hägglund, B., Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Project Hugin. Rapport 13: 1-133.
Hänninen, T. 1974. Harvennusmetsien puustoisuus ja hakkumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the Southern half of Finland. Folia Forestalia 208: 1-32.
Hökkä, H. 1997. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 651: 1-98.
Hökkä, H., Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, Pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. Silva Fennica 31(2): 161-178.
Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkebbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta Forestalia Fennica 15.4: 1-94.

Ilvessalo, Y. 1932. Establishment and measurement of permanent plots in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 34.4: 1-28.
Ilvessalo, Y. 1935. Käytännöllisistä metsänarvioimistavoista. Referat: Über die praktischen Forsttaxationsmethoden. Silva Fennica 39: 1-12, 299.
Ilvessalo, Y. 1939. Metsikön kasvun ennustaminen. Silva Fennica 52: 20-37.
Ilvessalo, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja laskentataulukot. Tapio. Helsinki. 148 s.
Ilvessalo, Y. 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third National Survey of the forest of Finland. Plan and instructions for field work. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(3): 1-67.
Ilvessalo, Y. 1956a. Suomen metsät vuosista 1921-24 vuosiin 1951-53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921-24 to 1951-53. A survey based on three National Forest Inventories. Communicationes Institituti Forestalis Fenniae 47.1: 1-227.
Ilvessalo, Y. 1956b. Metsän arvioiminen. Tapion taskukirja. painos 13. Helsinki.
Ilvessalo, Y. 1960. Suomen metsät kartakkeiden valossa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 52.2: 1-70.
Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Summary: On the development of naturla normal forest stands in south-eastern North-Finland. Acta Forestalia Fennica 81.5: 1-85.
Ilvessalo, Y. 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Summary: On the development of naturla normal forest stands on mineral soils on Ostrobothnia. Acta Forestalia Fennica 96: 1-37.
Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Summary: Natural development and yield capacity of forest stands on mineral soils in Northern Lapland. Acta Forestalia Fennica 108: 1-43.
Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyyppit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta Forestalia Fennica 144: 1-101.
Jeffers, J.N.R. 1978. An Introduction to Systems Analysis: with ecological applications. Contemporary biology. E. Arnold Ltd. London. 198 s.
Jensen, C.E. & Homeyer, J.W. 1970. Matchacurve-1 for algebraic transforms to describe sigmoid- or bell-shaped curves. U.S. Department Agriculture, Forest Service, Intermountine Forest & Range Experiment Station. Research Paper 1970: 1-22.
Jensen, C.E. & Homeyer, J.W. 1971. Matchacurve-2 for algebraic transform to describe curves of the class X^n. U.s.Department Agriculture, Forest Service, Intermountine Forest & Range Experiment Station. Research Paper INT-146: 1-42.
Johnson, F.A. & Worthington, N.A. 1963. Procedure for developing a site index estimating system from stem analysis data. U.S. Department Agriculture, Forest Service, Pacific North-West Forest & Range Experiment Station. Research Paper RnW-7.
Jonson, T. 1914. Om bonitering av skogsmark. Svenska Skogsvårdsförbunds Tidskrift 12: 369-392.
Jonson, T. 1928. Några nya metoder för beräkning av stamvolym och tillväxt hos stående träd. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidsskift 26: 423-527.
Jonsson, B. 1980. Funktioner för långsiktiga prognoser beträffande virkesförrådets storlek och sammmansättning. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå, Institutionen för biometri och skogsindelning, Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning. Rapport 7: 1-121.

Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta Forestlia Fennica 71.3: 1-78.

Kangas, A., Kangas, J., Korhonen, K.T., Maltamo, M. & Päivinen, R. 1990. Metsää kuvaavat mallit. Silva Carelia 17: 1-143.

Kangas, A. & Päivinen, R. 1994. Metsän mittaus. Silva Carelia 27: 1-172.

Kangas, A. & Kangas, J. 1997. Mallit, ennusteet ja simulointi metsätalouden laskentajärjestelmissä. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 3: 389-404.

Kangas, J. 1986. MELAn soveltaminen suurella kuvioittain arvioidulla metsäalueella. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. 43 s. + bilagss.

Kangas, Y. 1976. Die Messung der Bestandesbonität, 1. Teil und 2. Teil. Theoretische Grundlagen. Acta Forestalia Fennica 152: 1-48.

Kangas, Y. 1977. Die Messung der Bestandesbonität, 3. Teil. Ein für das Kontrollmaterial entwickeltes, auf Bestockungsmerkmalen gründenes Bonitierungsfunktionsmodell. Acta Forestalia Fennica 160: 1-52.

Karlsson, K. 1994. Männiköiden kasvu ja tuotos karuilla kasvupaikoilla. Ur: Hytönen, J. & Polet, K. (redakt.). Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 540: 42-48.

Karlsson, K. 1996a. Pohjanmaan rannikkoalueen talousmetsien seurantakokeet. Ett nätverk med fasta provytor i Österbottens kustområde. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 606: 1-41.

Karlsson, K. 1996b. Kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn ja puuston kasvun alueellinen vaihtelu Pohjanlahden rannikolta sisämaahan. Folia Forestalia 1996(2): 113-132.

Kendall, M.G. & Buckland, W.R. 1957. Longman Inc., New York. 213 s.

Kilkki, P. 1984. Metsänmittausoppi. Joensuun yliopisto. Silva Carelica 3: 1-222.

Kilkki, P. & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta Forestalia Fennica 145: 1-33.

Kilkki, P. & Päivinen, R. 1986. Weibull function in the estimation of basal area distribution. Silva Fennica 20(2): 149-156.

Kimmins, J.P. 1987. Forest Ecology. Macmillan Publ. Co. New York. 531 s.

Knoebel, B.R., Burkhart, H.E. & Beck, D.E. 1986. A growth and Yield Model for Thinned Stands of Yellow-Poplar. Forest Science 27: 1-62.

Kohmo, I. 1972. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen pohjoispuoliskossa vuosina 1969-70. Folia Forestalia 163: 1-15.

Kohmo, I. 1980. Metsälöiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971-76. Summary: Increment percentage of forest stands in Finland 1971-1976. Folia Forestalia 425: 1-21.

Koivisto, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 158 s.

Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(8): 1-49.

Koivisto, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 71.2: 1-76.

Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Abstract: On the development of Scots pine stands in central Finland. Folia Forestalia 142: 1-19.

Kolström, T. 1992. Dynamics of unevenaged stands of Norway spruce: a model approach. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 411: 1-89.

Korhonen, K.T. 1994. Calculation system for large-scale forest inventory. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 505: 1-36.

Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 114: 1-55.

Kuusela, K. 1953. Zur Theorie der forstlichen Zuwachsberechnung auf grund der periodischen Messung. Acta Forestalia Fennica 60.1: 1-136.

Kuusela, K. 1960. Maan kuvioiden ja puuston vaihtelu sekä sen vaikutus metsän inventoinnin tarkkuuteen. Summary: Variation of the site pattern and growing stock and its effect on the precision of forest inventory. Acta Forestalia Fennica 72.3: 1-72.

Kuusela, K. 1964. Increment-drain forecast for large forest area. Acta Forestalia Fennica 77.5: 1-79.

Kuusela, K. 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: 1-31.

Kuusela, K. 1997. Puuston kasvun ennustamisen karikoita. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 3: 415-417.

Kuusela, K. & Kilkki, P. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scots-pine stands. Acta Forestalia Fennica 75.4: 1-40.

Kuusela, K. & Salminen, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 69(4): 1-72.

Laasasenaho, J. & Päivinen, R. 1986. Kuviottaisen arvioinnin tarkistamisesta. Summary: On the checking of inventory by compartments. Folia Forestalia 664: 1-19.

Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 95(8): 1-63.

Landskogstakseringen 1938. Taksering av Norges skoger. Østfold fylke. Revisjonstaksering 1937.

Langsæter, A. 1944a. Om tilvekstberegning. Skogbrukeren 19: 117-135.

Langsæter, A. 1944b. Skogen i Østfold fylke. Norske Landskogstaksering.

Lappi, J. 1986. Mixed linear models for analyzing and predicting stem form varaiation of Scots pine. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 134: 1-69.

Lappi, J. & Bailey, R.L. 1988. A height prediction moedl with random stand and tree parameters: An alternative to traditional site index methods. Forest Science 34.4: 907-927.

Lappi, J. & Malinen, J. 1994. Random-Parameter Height/Age Models when Stand Parameters and Stand Age Are Correlated. Forest Science. 40.4: 715-731.

Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der sibirichen Lärchen in Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 15(2): 1-241.

Laurila, M. 1972. Puun kasvun ennustaminen. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 98 s.

Lemmon, P.E. & Schumacher, F.X. 1962. Volume and diameter growth of ponderosa pine trees as influenced by site index density, age, and size. Forest Science 9: 236-249.

Leslie, P.H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. Biometrika 33: 183-212.
Lönnroth, E. 1925. Untersuchungen uber die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der Sudhälfte Finnlands. Acta Forestalia Fennica 30.1: 1-313.
Lönnroth, E. 1929. Theoretisches uber den Volymzuwach und -abgang des Waldbestandes. Acta Forestalia Fennica 34.32: 1-17.
Loetsch, L., Zöhrer, F. & Haller, K.E. 1973. Forest inventory 2. BLV Verlagsgesellschaft, Munchen. 469 s.
Lundell, S. 1973. En modell för simulering av volymtillväxt i teoretiska bestånd. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsskötsel. Rapporter och Uppsatser 2: 1-64.
Lundqvist, B. 1957. Om höjdutvecklingen i kulturbestånd av tall, och gran i Norrland. Meddelelser Statens Skogsforskningsinstitut 47(2).
Magnussen, S. 1983. En tilvækstoversigt for rødgran på østersønære lerede morænejorder. Dansk Skovforenings Tidsskrift 68: 215-246.
Malinen, J. 1992. Männyn valtapituuden ennustaminen sekamallitekniikalla. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Metsäntuotantotieteen syventävien opintojen tutkielma. 47 s.
Martin, G.L. & Ek, A.R. 1984. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. Forest Science 30: 731-743.
Matern, B. 1959. Några synspunkter på extrapolation av höjdutvecklingskurvor. Statens Skogsforskningsinstitut, Kontoret för matematisk statistik. Rapport 2: 1-13.
Meyer, H.A. 1942. Methods of forest growth determination. Bulletin Pacific Agriculture Experiment Station 453: 1-93 s.
Meyer, H.A. 1952. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. Journal of Forestry 50: 85-92.
Mielikäinen, K. 1975. Männiköiden ja kuusikoiden kuutiokasvuyhtälöt ja niiden laatiminen. Helsingin yliopisto. Metsänarvioimistieteen pro gradu-tutkielma. 103 s.
Mielikäinen, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Summary: Predictability of tree growth. Folia Forestalia 363: 1-15.
Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99.3: 1-82.
Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 133: 1-79.
Mielikäinen, K. 1987. Metsikön puustoa ja yksittäistä puuta koskevia kasvumalleja. Metsäntutkimuslaitos, puuntuotoksen tutkimussuunta. Stencil. 22 s.
Mielikäinen, K. 1991. Kasvumallien perusteet. Esitelmä. Taksaattoriklubi 14.02.1991. Stencil 7 s.
Mielikäinen, K. 1992. Growth models for predicting stand development. Ur: Salminen, H. & Katermaa, T. (eds.). Simulation of Forest Development. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 407: 10-14.
Mielikäinen, K. 1997. Puitten kasvussa aina vaihtelua. Metsä - UPM. 2 s.
Mielikäinen, K. & Timonen, M. 1996. Growth Trends of Scots Pine (*Pinus sylvestris*, L.) in Unmanaged and Regulary Managed Stands in Southern and Central Finland. Ur: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (eds.) Growth Trends in European Forests. European Forest Institute Research Report 5: 41-59.

Mielikäinen, K., Timonen, M. & Nöjd, P. 1996. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomessa 1964-1993. Folia Forestalia 4: 309-320.
Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(5): 1-131.
Mikola, P. 1963. Ajatuksia metsätyypeistä ja niiden nimistöstä. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 4.
Munro, D.D. 1974. Forest growth models - a prognosis. Skogshögskolan Stockholm, Institutionen för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 30: 260-287.
Mäkelä, H. & Salminen, H. 1991. Metsäntilaa ja muutoksia kuvaavia puu- ja puustotunnusmalleja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 398: 1-265.
Møller, C.M. 1933. Boniteringstabeller og bonitetsvise tilvækstoversigter for Bøg, Eg och Rødgran i Danmark. Dansk Skovforenings Tidsskrift 18: 457-513, 537-623.
Møller, C.M. 1944. Unterchungen uber Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes. Det forstlige Forsögsväsen Danmark 17: 1-287 + Tabeller.
Møller, C.M. 1951. Træmålings- og tilvæxtlære. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København 6: 1-332.
Møller, C.M. & Nielsen, J. 1953. Afprøvning af de bonitetsvise tilvækstoversigter for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark. Dans Skovforenings Tidsskrift 18: 457-513, 537-623.
Newnham, R.M. & Smith, J.H.G. 1964. Development and testing of stand models for Douglas-fir and Lodgepole pine. Forestry Chronicle 40: 494-502.
Niemistö, P., Lappalainen, E. & Isomäki, A. 1993. Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys pitkitetyn luontaisen uudistamisvaiheen aikana. Summary: Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during a protracted regeneration period. Folia Forestalia 826: 1-26.
Nilsson, N.E. 1961. Riksskogstaxeringens produksjonsöversikter. Meddelelser statens skogsforskningsinstitut 50(1): 1-152.
Nyyssönen, A. 1951. Havaintoja metsikön kasvun arvioimistavoista. Summary: Observations on the methods of estimating growth of a stand. Metsätalouden Aikakauslehti 68: 167-171.
Nyyssönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of finnish pine stands treated with different cuttings. Acta Forestalia Fennica 60: 1-194.
Nyyssönen, A. 1956. On the methods of determination of stand growth in U.S.A. 12th Congress IUFRO, Oxford. 12 s.
Nyyssönen, A. & Vuokila, Y. 1963. The effect of stratification on the number of sample plots of different sizes. Acta Forestalia Fennica 75.2: 1-17.
Nyyssönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta Forestalia Fennica 163: 1-40.
Nyyssönen, A., Poso, S. & Rautala, J. (eds.) 1993. Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories IUFRO S4.02, Aug. 1992. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 444: 1-279.
Näslund, M. 1944. Antalet provträd och kubikkmassans noggranhet vid stamräkning av skog. Meddelanden Statens Skogsförsöksanstalt 34.2. Stockholm.
Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models dor silver birch (*Betula pendula*) plantations in southern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 113: 1-75.
Ojansuu, R. 1987. Metsän kehityksen simulointi metsälaskelmassa (MELA). Luonnonprosessin tarkastelu. Metsäntutkimuslaitos. 22 s.

Ojansuu, R. 1993. Prediction of Scots pine increment using a multivariate variance component model. Acta Forestalia Fennica 239: 1-72.

Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (Mela) - metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385: 1-59.

Ording, A. 1941. Årringsanalyse på gran og furu. Meddelelser norske skogforsøksvesen 7: 101-354.

Pekkonen, T. 1976. "Kasvu % vai absoluuttinen kasvu kasvumallien selitettävänä muuttujana?" Erään tietoiskun jälkimietteitä. Metsäntutkimuslaitos, Matemaattinen osasto 22.12.1976. Stencil. 11 s.

Persson, O. 1959. En höjdutvecklingsmodell för björk konstruerad ned hjälp av logistikan. Statens Skogsforskningsinstitut, Kontoret för matematisk statistik. Rapport 1: 1-18.

Persson, O.A. 1992. En produktionsmodell för tallskog i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion. Rapport 31: 1-206.

Peschel, W. 1938. Die mathematischen Methoden zur Herleitung der Wachstumsgesetze von Baum und Bestand und die Ergebnisse ihrer Anwendung. Tharandter Forstliches Jahrbuch 89: 169-247.

Petrini, S. 1949. Tillväxtprognoser vid skogsindelning. Två problem. Prognosis of increment for calculation of cutting. Simplified deduction of some statistical formulae. Kungl. Skogshögskolans Skrifter, Stockholm. 2 - 3.

Petrini, S. 1957. En överblick över metodiken vid tillväxtprocentberäkning. Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidsskrift 1957: 111-120.

Petterson, H. 1937. Utvecklingsprognoser för skogsbestånd. Ur: 1937 års nordiska skogskongress, Stockholm, Exkursion II: 4-31.

Petterson, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. Meddelanden Statens Skogsforskningsinstitut 45: 1-391.

Pienaar, L.V. 1965. Quantitative Theory of Forest Growth. University of Washington. Faculty of Forestry. 176 s.

Popper, K.R. 1968. The Logic of Scientific Discovery. Harper and Row. New York. 480 s.

Prodan, M. 1949. Die Bestimmung des Massenzuwachses von Beständen mit Hilfe des Massenzuwachsprozentes. Forstwissenschaftliches Centralblatt 68: 292-299.

Prodan, M. 1965. Holzmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 644 s.

Pukkala, T. 1988. Studies of the effect of spatial distribution of trees on the diameter growth of Scots pine. University of Joensuu. Publications in Sciences. 136 s.

Pukkala, T. 1989. Predicting of diameter growth in even-aged Scots pine stands with a spatial and non-spatial model. Silva Fennica 23(2): 101-116.

Pukkala, T. & Kolström, T. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. Silva Fennica 21(1): 55-67.

Pukkala, T. & Kolström, T. 1988. Simulation of the Development of Norway Spruce stands using a Transition Matrix. Forest Ecology and Management 25: 255-267.

Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of stem-diameter distribution and stand characteristics. Folia Forestalia 442.

Päivinen, R., Kangas, J. & Varjo, J. 1992. Katsaus metsätalouden suunnitteluun Suomessa ja Ruotsissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 406: 1-52.

Päivinen, R. & Halinen, M. 1995. A strategic planning system for large forest area. Lesnictví - Forestry 41(4): 147-150.

Rajala, J. 1970. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964-68. Folia Forestalia 95: 1-28.

Reynolds, M.R, Jr., 1984. Estimating the error in model predictions. Forest Science 30: 454-469.

Salminen, S. 1993. Eteläisimmän Suomen metsävarat 1986 - 1988. Summary: Forest resources of Southernmost Finland, 1986-1988. Folia Forestalia 825: 1-111.

Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern Central Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91.2 : 1-59.

Saramäki, J. 1992. A growth and yield prediction model of *Pinus kesiya* (Royle ex Gordon) in Zambia. Acta Forestalia Fennica 230: 1-68.

Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksitysmetsiin. Referat: Einwirkung der Säge stammplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39.1: 1-82.

Seip, H.K. 1964. Tremåling. Skogbruksboka, Skogforlaget A/S, Oslo. Band 3: 227-292.

Skogscentralen Tapios gallringsmallar 1989. Metsänhoito 1990-luvulla. Metsälehti 19/1986: 1-16.

Skovsgaard, J.P. 1997. Tyndingsfri drift af sitkagran. Forskningscentret for Skov & Landskab/Den Kgl. Vetrinær- og Landbohøjskole. Forskningsserien 19: 1-525.

Sloboda, B. 1971. Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen erster Ordnung. Mitteilungen der Baden-Württembergischer Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt 32: 1-109 + bilagss.

Sloboda, B. 1977. Die Beschreibung der Dynamik der Schaftformfortpflanzung mit Hilfe der Ähnlichkeitsdifferentialgleichung und der Affinität. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien 120: 53-60.

Snee, R.D. 1977. Validation of regression models; methods and examples. Technometrics 19: 415-428.

Soares, P. & Tome´, M. 1993. Procedures for validation of forest management growth models. An application to conitnuous forest inventory data. Ur: Vanclay, J.K., Skovsgaard, J.P. & Gertner, G.Z. (eds.) 1993. Growth and Yield Estimation from Succcessive Forest Inventories. Proceedings IUFRO Conference Copenhagen 14.-17. June 1993. Forskningscentret for Skov & Landskab/Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Forskningsserien 3: 167-180.

Soares, P., Tome´, M., Skovsgaard, J.P. & Vanclay, J.K. 1995. Forest Ecology and Management 71: 251-265.

Solberg, B. & Haight, R. G. 1991. Analysis of optimal economic management regimes for *Picea abies* stands using a stage-structured optimal-control model. Scandinavian Journal of Forest Research 6: 559-572.

Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory. Ronald Press Company. New York. 476 s.

Spurr, S.H. 1954. Simplified computation of volume and growth. Journal of Forestry 52: 914-922.

Stage, A.R. 1973. A model for the prognosis of Forest stand development. U.S. Department Agriculture, Forest Service, Intermountine Forest & Range Experiment Station Ogden. Technical Report 133: 1-32.

Sterba, H. 1974. Ertragkundliche Hypothesen über den Standort. Hochschule für Bodenkultur, Wien, Veröffentlichen der Institut für Forstliche Ertragslere. 132 s.

Strand, L. 1957a. Virkningen avflatestørrelsen på nøyaktigheten ved prøveflatetakster. Meddelelser Norske skogforsøksvesen 48: 623-633.

Strand, L. 1957b. Litt om bruken av relaskopet. Norsk Skogbruk, s. 255-257.

Strand, L. 1959. Nøyaktigheten ved noen metoder til bestemmelse av kubikk- og tilvekstmassen på prøveflater. Summary: The accuracy of some methods for estimating volume and increment on sample plots. Meddelser Det Norske Skogforsøksvesen 52: 1-392.

Strand, L. 1964. Numerical constructions of site-index curves. Forest science 10: 410-414.

Strand, L. 1967. Høydekurver for bjørk. Ur: Braastad, H. 1967. Produksjonstabeller for bjørk. Meddelelser norske skogforsøksvesen 84.22: 291-302.

Strand, L. 1968. Skogbrukets produksjonslære. Forelesningsnotat. Norges landbrukshøgskole Vollebekk. 88 s.

Strand, L. 1970. Regression Problems by Yield Table Construction. Meddelelser Norske skogforsøksvesen 100: 497-505.

Strand, L. 1983. Tilvekstfunksjoner for prognoseformål. Norsk institutt for skogforskning. Rapport 15: 1-28.

Sullivan, A.D. & Clutter, J.L. 1972. A simultaneous Growth and Yield Model for Lablolly Pine. Forest Science 18(1): 76-86.

Svensson, S.V. 1988. Estimation of annual stem volume increment. A method to be applied to sample trees of Scots pine and Norway spruce on temporary plots in the Swedish National Forest Inventory. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå, Institutionen för Skogstaxering. Rapport 46: 1-140.

Söderberg, U. 1981. Prognoser baserade på enskilda träds utveckling. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1-2.

Tarvasmäki, P. 1977. Puu- ja metsikkötunnuksiin perustuva sädekasvu. Helsingin yliopiston metsänarviomistieteen laitos. 24 s. + bilagss.

TASO - Maastotyöopas 1993. Metsäkeskus Tapio - Metsälautakunnat. No 332.1. 51 s. Tapion taskukirja. 1994. 22. painos. Kustannusyhtiö Metsälehti, Helsinki. s. 364-365.

Tham, Å. 1989. Prediction of Individual Tree Growth in Managed Stands of Mixed *Picea abies* (L.) Karst. and *Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.. Scandinavian Journal of Forest Research. Vol. 4(4): 491-512.

Thomasius, H. 1964. Über die Abhängigkeit des Wachstums der Waldbäume von Zeit und Umwelt. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Tagungsberichte 66: 123-149.

Timonen, M., Gustavsen, H.G., Ruotsalainen, K. & Timonen, T. 1993. Lapin suojametsäalueen pysyvät (SUOJAINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittausohjeet ja aineiston kuvaus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 481: 1-31.

Turnbull, K. J. 1963. Population dynamics in mixed forest stands. A system of mathematical models of mixed stand growth and structure. University of Washington. Dissertation Abstracts Vol. 24: 2642-2643.

Tveite, B. 1969. A Method for Construction of Site-Index Curves. Meddelelser Norske Skogforsøksvesen 97(2): 134-159.

Tveite, B. & Braastad, H. 1981. Bonitering for gran, furu og bjørk. Norsk Skogbruk 4: 17-22.

Umemura, T. 1984. An entirely new growth curves based on a second-order linear differential equation. Ur: Proceedings IUFRO symposium on forest management and managerial economics. October 15.-19. Tokyo. 8 s.

Usher, M.B. 1966. A matrix approach to management of renewable resources, with special reference to the selection forests. Journal Applied Ecology 3: 355-367.

Usher, M.B. 1969. A matrix model for forest management. Biometrics 25: 309-315.

Valkonen, S. 1991. Pystymitatun puuston kasvulaskenta puun kasvumalleilla.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 400. 43 s.
Valkonen, S. 1997. Viljelykuusikoiden alkukehityksen malli. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 3: 321-347.
Valstad, L. 1994. Stand management optimization based on growth simulators. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 453. 51 s.
Van Horn, R.L. 1971. Validation of simulation results. Management Science 17: 247-258.
Vanclay, J.K., Skovsgaard, J.P. & Gertner, G.Z. (eds.) 1993. Growth and Yield Estimation from Succcessive Forest Inventories. Proceedings IUFRO Conference Copenhagen 14.-17. June 1993. Forskningscentret for Skov & Landskab/Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Forskningsserien 3: 1-281 s.
Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehityksestä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. Folia Forestalia 813: 1-43.
Varmola, M. 1996. Nuorten viljelymänniköiden tuotos ja laatu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 585. 211 s.
Warwick, J.J. & Cale, W.G. 1988. Estimating model reliability using data with uncertainty. Elsevier Science Publishers B.V. Ecological Modelling 41: 169-181.
Weck, J. 1955. Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde. Neumann Verlag. Berlin. 160 s.
Weisberg, S. 1985. Applied Linear Regression. J. Wiley. New York. 324 s.
Wiedeman, E. 1950. Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 198 s.
Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in southern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 48.1: 1-138.
Vuokila, Y. 1959. Relaskooppimenetelmän tarkkuudesta puuston arvioinnissa. Summary: On the accuracy of the relascope method of cruising. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51.4: 1-62.
Vuokila, Y. 1960. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. Summary: On development of siberian larch stands and their importance to forestry in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 52.5: 1-111.
Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Communicationes Forestalis Fenniae 60.4: 1-86.
Vuokila, Y. 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern central-Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63.2: 1-123.
Vuokila, Y. 1968. Männyn kasvupaikkojen puuntuotantokyky ja sen arvioiminen. Summary: On the productive capacity of pine sites and its estimation. Eripainos Metsätaloudellisesta Aikakauslehdestä 6-7. 3 s.
Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Summary: Selection from above in intermediate cuttings. Acta Forestalia Fennica 110: 1-45.
Vuokila, Y. 1971. Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Sammanfattning: Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd. Folia Forestalia 99: 1-18.
Vuokila, Y. 1983. Suomalaisen puuntuotostutkimuksen menneisyys ja tulevaisuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 89: 1-103.

Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(2): 1-271.

Vuokila, Y., Gustavsen, H.G. & Luoma, P. 1983. Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu ja harvennusmallit. Abstract: Site classification and thinning models for Siberian larch (*Larix siberica*) stands in Finland. Folia Forestalia 554: 1-12.

Östlind, J. 1929. Trädets grundytetillväxt. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift, Stockholm.

Bilaga 1. Symboler

Skogliga symboler :

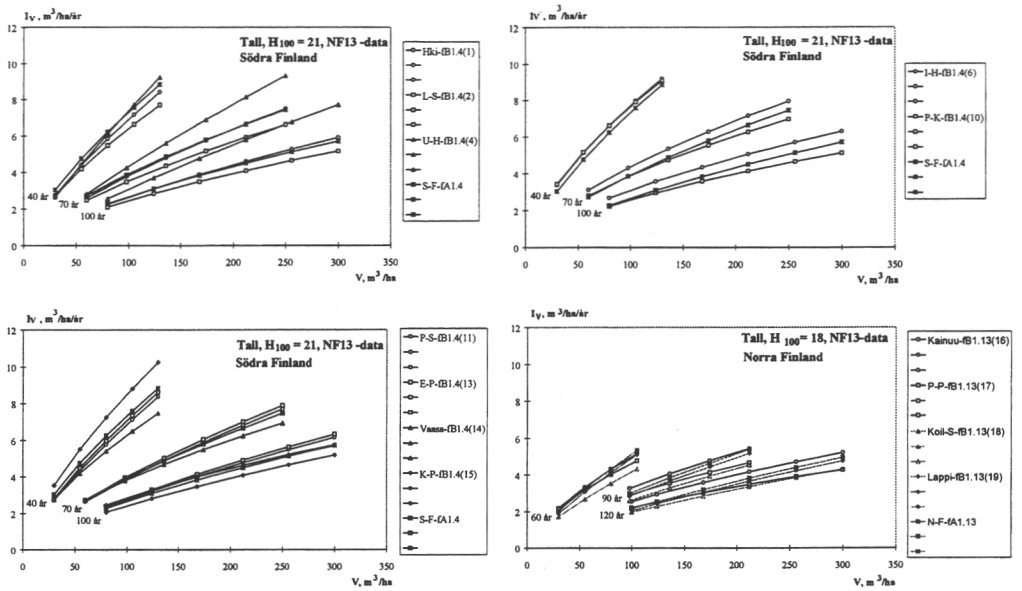
Avg	=	volymavgång (naturlig + gallring) inom ett bestånd under period(n år), m^3/ha/n år
D	=	beståndets grundytevägda medeldiameter, cm
$d_{1.3}$	=	trädets brösthöjdsdiameter, cm
F_{Hdom}	=	beståndets brösthöjdsformtal som förhållandet mellan bestånds-volymet och en cylinder bestämd av övre höjd och grundytesumman i brösthöjd
fMELA	=	Tillväxtsimulator använd i långtidsprognossystemet Mela baserat på enskilda trädets diameter- och höjdtillväxt
FRISK	=	indikatorvariabel för frisk momarksklass (och bättre) = 1; annars = 0
fTASO	=	beståndstillväxtsimulator använd i Skogscentralen Tapios planläggningsrutin Taso för privatskogsbruket baserat på fMELA, diameterfördelningsfunktion och beståndskriterier
G	=	beståndets grundyta på bark, m^2/ha
H	=	beståndets grundytevägda medelhöjd, m
H_{dom}	=	beståndets övre höjd, den aritmetiska medelhöjden av de grövsta träden per hektar, m
$H_{dom}(i)$	=	övre höjd för åldern T(i) enligt en höjdutvecklingskurva (bonitetskurva), m
H_{100}	=	övre höjd vid 100 års total ålder (höjdbonitetsindex - ståndortsindex SI)
H_{40}	=	övre höjd vid 40 års ålder (höjdbonitetsindex - ståndortsindex SI)
H_{50}	=	övre höjd vid 50 års ålder (höjdbonitetsindex - ståndortsindex SI)
I_{G5}	=	beståndets grundytetillväxt på bark i en kommande 5-årsperiod, m^2/ha/5år
I_{H5}	=	beståndets höjdtillväxt i en kommande 5-årsperiod, m/ha/5år
I_{Hdom}	=	beståndets årliga övre höjdtillväxt, m/år
I_V	=	beståndets årliga volymtillväxt på bark (den kommande 5-årsperiodens medeltillväxt), m^3/ha/år
I_{V5}	=	beståndets volymtillväxt på bark i en kommande 5- årsperiod, m^3/ha/5år
$I_{V(Avg)}$	=	volymtillväxt för avgången inom ett bestånd under en period(n år), m^3/ha/n
$I_{V(Bliv)}$	=	volymtillväxt för det kvarvarande beståndet under en period(n år), m^3/ha/n år
$I_{V(Tot)}$	=	volymtillväxt för hela beståndet under en period(n år), m^3/ha/n år
MAI	=	årlig medelvolymtillväxt (= produktionsförmåga) för en viss bonitet, m^3/ha/år

M-GO	=	indikatorvariabel för medelgod momarksklass = 1; annars = 0
N	=	beståndets stamantal per hektar
P_V	=	beståndets genomsnittliga årliga volymtillväxtprocent i en kommande 5-årsperiod, %
P_{V5}	=	beståndets volymtillväxtprocent i en kommande 5-års period, % av volymet på bark vid periodens början (rabatt%) eller % enligt ränta på ränta-formlen
sk	=	skogsnämnd : 1 = Hki - Helsinki - Helsingfors 2 = L-S - Lounais-Suomi - Sydvästfinland 3 = Sat - Satakunta - Satakunda 4 = U-H - Uusimaa-Häme - Nyland-Tavastland 5 = P-H - Pirkka-Häme - Birkatavastland 6 = I-H - Itä-Häme - Östra Tavastland 7 = E-S - Etelä-Savo - Södra Savolax 8 = E-K - Etelä-Karjala - Södra Karelen 9 = I-S - Itä-Savo - Östra Savolax 10 = P-K - Pohjois-Karjala - Norra Karelen 11 = P-S - Pohjois-Savo - Norra Savolax 12 = K-S - Keski-Suomi - Mellanfinland 13 = E-P - Etelä-Pohjanmaa - Södra Österbotten 14 = Vaasa - Vasa 15 = K-P - Keski-Pohjanmaa - Mellanösterbotten 16 = Kainuu - Kalix (Kajanaland) 17 = P-P - Pohjois-Pohjanmaa -(Norra Österbotten) 18 = Koil-S - Koillis-Suomi - Nordöstfinland 19 = Lappi - Lappland sk(16-19) = Norra Finland sk(1-15) = Södra Finland
t(1.3m)	=	tiden det tar för beståndet att växa till brösthöjd (1.3m)
T	=	beståndets totala ålder (biologisk ålder), år
T(i)	=	beståndsålder för övre höjd $H_{dom}(i)$ enligt en höjdutvecklingskurva (bonitetskurva), år
TORR	=	indikatorvariabel för torr momarksklass (och sämre) = 1; annars = 0
TS	=	ståndortens värmesumma (dygnets medeltemperatur är större än eller lik 5 °C), d.d.
V	=	beståndets volym på bark, m^3/ha
$V_{(början)}$	=	beståndets volym vid början av en tillväxtperiod
$V_{(slut)}$	=	kvarvarande beståndets volym vid slutet av en tillväxtperiod

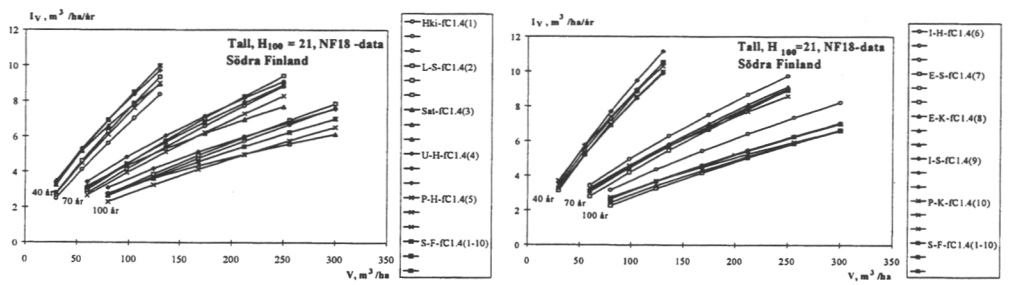
Matematiska och statistiska symboler:

α, β	=	konstant respective koefficient i en regressionsmodel
B_0, B_1	=	parametrar i en övre höjdutvecklingsfunktion
b_e	=	skattat medelvärde för prognosestimatens absoluta avvik (systematiskt fel): $\frac{\sum_{i=1}^{n}(y - \hat{y})}{n}$
$b_e\%$	=	prognosestimatens relativa avvik (relativt systematiskt fel): $b_e \cdot 100/\bar{\hat{y}}$
d_e	=	differens mellan två successiva boniteringsvärden: $\hat{H}_{100}(i+5) - \hat{H}_{100}(i)$
e	=	basen för de naturliga logaritmerna(= 2,718218...)
$\hat{e}(i)$	=	skattat avvik (residual) för ite observation: $y(i) - \hat{y}(i)$
ε, γ	=	slumpmässiga fel
F_{obs}	=	beräknat testkvantitet för test mot F-fördelningen (F_{tab})
i	=	index
ln	=	naturlig logaritme
n	=	antal observationer
p	=	antal parametrer i funktionen incl konstantled
PRESS	=	kvadratsumma för prognosestimaternas avvik (residualer) i testmaterial $\sum_{i=1}^{n}\hat{e}(i)^2 = \sum_{i=1}^{n}(y(i) - \hat{y}(i))^2$
R^2	=	förklarningsgrad, %
RMSE	=	prognosestimatets absoluta medelfel (medelkvadratavvikelsens kvadratrot): $\sqrt{\frac{PRESS}{n}}$
RMSE%	=	prognosestimatets relativa medelfel: $RMSE \cdot 100/\bar{\hat{y}}$
s	=	standardavvikelse
s_d	=	standardavvikelse för prognosestimatens avvik(residualer)
$s_e\%$	=	relative medelfel för en funktion
s_f	=	standardavvikelse kring en funktion
s_y	=	ursprunglig standardavvikelse för avhängig variabel y
x	=	förklarande variabel i en regressionsfunktion
$\bar{x}$	=	medelvärde av observationer
y	=	avhängig variabel i en regressionsfunktion eller observerat(uppmätt) värde för variabel y
$\hat{y}$	=	skatta värde för variabel y enligt en funktion
$\bar{\hat{y}}$	=	medelvärde av skattade värden ($\hat{y}$) enligt en funktion

Bilaga 2. Simulerade volymtillväxtförlopp.



Figur 1. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_V) och volym (V) för tre åldersklasser i talldominerade bestånd inom olika skogsnämnder och Södra Finland enlig NF13 -funktioner.



Figur 2. Förhållandet mellan årlig volymtillväxt (I_v) och volym (V) för tre åldersklasser i talldominerade bestånd inom skogsnämndernal till 10 och hela regionen (1-10) enligt NF18 -funktioner.

Tabell 1. Simulerad genomsnittlig volymtillväxtutveckling (I_v, m^3/ha/år) i talldominerade bestånd på ståndorter H_{100} = 27, 24, 21 och 18 inom Södra Finlands regioner enligt funktioner utvecklade på basen av INKA- , NFI8 -, KUSTINKA - och NFI3 - data. Genomsnittlig volymutveckling för beståndet (stående träden) enligt INKA - data.

	Södra Finland				Södra Finland				Södra Finland			
	Bonitet H100 = 27				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	Iv-fD1.4	Iv-fA1.4	V	Hdom	Iv-fD1.4	Iv-fA1.4	V	Hdom	Iv-fD1.4	Iv-fA1.4
30	122.9	12.4	11.4	10.7	83.5	10.4	9.4	8.5	44.1	8.5	6.5	5.7
35	139.7	14.4	10.3	9.8	100.4	12.2	8.9	8.1	61.0	10.1	6.8	6.0
40	155.7	16.1	9.5	9.1	116.3	13.8	8.4	7.8	76.9	11.5	6.8	6.1
45	170.7	17.6	8.9	8.5	131.3	15.2	7.9	7.4	91.9	12.8	6.7	6.0
50	184.8	18.9	8.3	8.0	145.4	16.4	7.6	7.1	106.1	13.9	6.5	5.9
55	198.1	20.1	7.9	7.6	158.7	17.5	7.2	6.8	119.3	14.9	6.4	5.8
60	210.4	21.2	7.4	7.2	171.0	18.5	6.9	6.5	131.6	15.9	6.2	5.6
65	221.8	22.2	7.1	6.8	182.4	19.4	6.6	6.2	143.1	16.7	6.0	5.5
70	232.4	23.0	6.7	6.5	193.0	20.2	6.3	5.9	153.6	17.5	5.8	5.3
75	242.0	23.8	6.4	6.2	202.6	21.0	6.1	5.7	163.2	18.2	5.6	5.1
80	250.7	24.6	6.2	5.9	211.4	21.7	5.8	5.5	172.0	18.8	5.4	5.0
85	258.6	25.2	5.9	5.7	219.2	22.3	5.6	5.3	179.8	19.4	5.2	4.8
90	265.5	25.9	5.7	5.4	226.1	22.9	5.4	5.1	186.8	20.0	5.0	4.6
95	271.6	26.5	5.4	5.2	232.2	23.5	5.2	4.9	192.8	20.5	4.8	4.5
100	276.7	27.0	5.2	5.0	237.3	24.0	5.0	4.7	197.9	21.0	4.7	4.3

	Södra Finland				Södra Finland, sk 1-10				
	Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 27				
T	V	Hdom	Iv-fD1.4	Iv-fA1.4	V	Hdom	Iv-fD1.4 (1-10)	Iv-fC1.4 (1-10)	Iv-fB1.4 (1-10)
30					122.9	12.4	11.5	12.0	10.7
35	21.6	8.1	3.6	2.9	139.7	14.4	10.4	11.2	9.8
40	37.5	9.4	4.5	3.8	155.7	16.1	9.5	10.5	9.0
45	52.5	10.5	4.9	4.2	170.7	17.6	8.9	9.9	8.4
50	66.7	11.5	5.2	4.5	184.8	18.9	8.3	9.4	7.9
55	79.9	12.4	5.2	4.6	198.1	20.1	7.8	9.0	7.4
60	92.2	13.3	5.2	4.6	210.4	21.2	7.4	8.5	7.0
65	103.7	14.0	5.2	4.6	221.8	22.2	7.0	8.2	6.7
70	114.2	14.7	5.1	4.5	232.4	23.0	6.6	7.8	6.3
75	123.9	15.4	5.0	4.4	242.0	23.8	6.3	7.5	6.1
80	132.6	16.0	4.9	4.3	250.7	24.6	6.0	7.2	5.8
85	140.4	16.5	4.7	4.2	258.6	25.2	5.8	6.9	5.5
90	147.4	17.1	4.6	4.1	265.5	25.9	5.5	6.7	5.3
95	153.4	17.5	4.4	4.0	271.6	26.5	5.3	6.4	5.1
100	158.6	18.0	4.3	3.9	276.7	27.0	5.1	6.2	4.9

	Södra Finland, sk 1-10					Södra Finland, sk 1-10				
	Bonitet H100 = 24					Bonitet H100 = 21				
T	V	Hdom	Iv-fD1.4 (1-10)	Iv-fC1.4 (1-10)	Iv-fB1.4 (1-10)	V	Hdom	Iv-fD1.4 (1-10)	Iv-fC1.4 (1-10)	Iv-fB1.4 (1-10)
30	83.5	10.4	9.5	9.4	8.7	44.1	8.5	6.6	6.0	5.8
35	100.4	12.2	8.9	9.1	8.2	61.0	10.1	6.9	6.5	6.1
40	116.3	13.8	8.4	8.8	7.8	76.9	11.5	6.8	6.7	6.2
45	131.3	15.2	7.9	8.5	7.4	91.9	12.8	6.7	6.8	6.1
50	145.4	16.4	7.5	8.2	7.0	106.1	13.9	6.5	6.7	6.0

55	158.7	17.5	7.2	7.9	6.7	119.3	14.9	6.3	6.6	5.8
60	171.0	18.5	6.8	7.6	6.4	131.6	15.9	6.1	6.5	5.6
65	182.4	19.4	6.5	7.3	6.1	143.1	16.7	5.9	6.4	5.5
70	193.0	20.2	6.2	7.1	5.9	153.6	17.5	5.7	6.2	5.3
75	202.6	21.0	6.0	6.8	5.6	163.2	18.2	5.5	6.0	5.1
80	211.4	21.7	5.7	6.6	5.4	172.0	18.8	5.3	5.9	4.9
85	219.2	22.3	5.5	6.4	5.2	179.8	19.4	5.1	5.7	4.7
90	226.1	22.9	5.3	6.1	5.0	186.8	20.0	4.9	5.5	4.6
95	232.2	23.5	5.1	5.9	4.8	192.8	20.5	4.7	5.3	4.4
100	237.3	24.0	4.9	5.7	4.6	197.9	21.0	4.6	5.2	4.2

	Södra Finland, sk 1-10					Södra Finland, sk 13-15, "Kustinkaregion"				
	Bonitet H100 = 18					Bonitet H100 = 27				
T	V	Hdom	lv-fD1.4 (1-10)	lv-fC1.4 (1-10)	lv-fB1.4 (1-10)	V	Hdom	lv-fE1.4 Kustinka	lv-fD1.4 (13-15)	lv-fB1.4 (13-15)
30						122.9	12.4	10.4	10.4	11.0
35	21.6	8.1	3.6	3.0	3.1	139.7	14.4	9.6	9.3	10.0
40	37.5	9.4	4.5	4.0	3.9	155.7	16.1	8.9	8.5	9.3
45	52.5	10.5	5.0	4.6	4.4	170.7	17.6	8.3	7.8	8.7
50	66.7	11.5	5.2	5.0	4.6	184.8	18.9	7.9	7.3	8.1
55	79.9	12.4	5.2	5.1	4.7	198.1	20.1	7.5	6.8	7.7
60	92.2	13.3	5.2	5.2	4.7	210.4	21.2	7.1	6.4	7.3
65	103.7	14.0	5.1	5.2	4.6	221.8	22.2	6.8	6.1	6.9
70	114.2	14.7	5.0	5.2	4.5	232.4	23.0	6.5	5.7	6.6
75	123.9	15.4	4.9	5.1	4.5	242.0	23.8	6.2	5.5	6.3
80	132.6	16.0	4.8	5.1	4.3	250.7	24.6	6.0	5.2	6.0
85	140.4	16.5	4.7	4.9	4.2	258.6	25.2	5.7	5.0	5.7
90	147.4	17.1	4.5	4.8	4.1	265.5	25.9	5.5	4.8	5.5
95	153.4	17.5	4.4	4.7	4.0	271.6	26.5	5.3	4.6	5.3
100	158.6	18.0	4.2	4.6	3.8	276.7	27.0	5.1	4.4	5.0

	Södra Finland, sk 13-15, "Kustinkaregion"					Södra Finland, sk 13-15, "Kustinkaregion"				
	Bonitet H100 = 24					Bonitet H100 = 21				
T	V	Hdom	lv-fE1.4 Kustinka	lv-fD1.4 (13-15)	lv-fB1.4 (13-15)	V	Hdom	lv-fE1.4 Kustinka	lv-fD1.4 (13-15)	lv-fB1.4 (13-15)
30	83.5	10.4	8.5	8.8	8.7	44.1	8.5	5.8	6.5	5.7
35	100.4	12.2	8.1	8.2	8.3	61.0	10.1	6.1	6.5	6.0
40	116.3	13.8	7.7	7.6	7.9	76.9	11.5	6.2	6.4	6.1
45	131.3	15.2	7.4	7.2	7.5	91.9	12.8	6.2	6.2	6.1
50	145.4	16.4	7.1	6.7	7.2	106.1	13.9	6.1	6.0	6.0
55	158.7	17.5	6.8	6.4	6.8	119.3	14.9	5.9	5.8	5.8
60	171.0	18.5	6.5	6.1	6.6	131.6	15.9	5.8	5.6	5.7
65	182.4	19.4	6.3	5.8	6.3	143.1	16.7	5.6	5.4	5.5
70	193.0	20.2	6.0	5.5	6.0	153.6	17.5	5.5	5.1	5.3
75	202.6	21.0	5.8	5.2	5.8	163.2	18.2	5.3	4.9	5.2
80	211.4	21.7	5.6	5.0	5.5	172.0	18.8	5.2	4.8	5.0
85	219.2	22.3	5.4	4.8	5.3	179.8	19.4	5.0	4.6	4.8
90	226.1	22.9	5.2	4.6	5.1	186.8	20.0	4.8	4.4	4.6
95	232.2	23.5	5.0	4.4	4.9	192.8	20.5	4.7	4.2	4.5
100	237.3	24.0	4.8	4.2	4.7	197.9	21.0	4.5	4.1	4.3

	Södra Finland, sk 13-15, "Kustinkaregion"					Sk: Hki 1			
	Bonitet H100 = 18					Bonitet H100 = 27			
T	V	Hdom	lv-fE1.4 Kustinka	lv-fD1.4 (13-15)	lv-fB1.4 (13-15)	V	Hdom	lv-fC1.4(1)	lv-fB1.4(1)
30						122.9	12.4	9.6	10.1

35	21.6	8.1	3.2	3.7	2.9	139.7	14.4	9.3	9.4			
40	37.5	9.4	4.0	4.5	3.8	155.7	16.1	9.1	8.8			
45	52.5	10.5	4.5	4.8	4.3	170.7	17.6	8.9	8.4			
50	66.7	11.5	4.7	4.9	4.5	184.8	18.9	8.7	7.9			
55	79.9	12.4	4.8	4.9	4.6	198.1	20.1	8.5	7.5			
60	92.2	13.3	4.9	4.9	4.6	210.4	21.2	8.3	7.2			
65	103.7	14.0	4.8	4.8	4.6	221.8	22.2	8.1	6.9			
70	114.2	14.7	4.8	4.7	4.5	232.4	23.0	7.9	6.6			
75	123.9	15.4	4.7	4.5	4.5	242.0	23.8	7.7	6.3			
80	132.6	16.0	4.6	4.4	4.3	250.7	24.6	7.5	6.1			
85	140.4	16.5	4.5	4.3	4.2	258.6	25.2	7.3	5.9			
90	147.4	17.1	4.4	4.1	4.1	265.5	25.9	7.1	5.6			
95	153.4	17.5	4.3	4.0	4.0	271.6	26.5	6.9	5.4			
100	158.6	18.0	4.1	3.8	3.9	276.7	27.0	6.8	5.2			

	Sk: Hki 1				Sk: Hki 1				Sk: Hki 1			
	Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(1)	Iv-fB1.4(1)	V	Hdom	Iv-fC1.4(1)	Iv-fB1.4(1)	V	Hdom	Iv-fC1.4(1)	Iv-fB1.4(1)
30	83.5	10.4	7.2	7.9	44.1	8.5	4.4	5.1				
35	100.4	12.2	7.3	7.7	61.0	10.1	5.0	5.5	21.6	8.1	2.2	2.6
40	116.3	13.8	7.4	7.4	76.9	11.5	5.4	5.7	37.5	9.4	3.1	3.4
45	131.3	15.2	7.4	7.1	91.9	12.8	5.7	5.7	52.5	10.5	3.7	3.9
50	145.4	16.4	7.3	6.9	106.1	13.9	5.8	5.7	66.7	11.5	4.1	4.2
55	158.7	17.5	7.3	6.7	119.3	14.9	5.9	5.6	79.9	12.4	4.4	4.3
60	171.0	18.5	7.2	6.4	131.6	15.9	6.0	5.5	92.2	13.3	4.6	4.4
65	182.4	19.4	7.1	6.2	143.1	16.7	6.0	5.4	103.7	14.0	4.8	4.4
70	193.0	20.2	7.0	6.0	153.6	17.5	6.0	5.3	114.2	14.7	4.8	4.4
75	202.6	21.0	6.8	5.8	163.2	18.2	5.9	5.1	123.9	15.4	4.9	4.4
80	211.4	21.7	6.7	5.6	172.0	18.8	5.8	5.0	132.6	16.0	4.9	4.3
85	219.2	22.3	6.6	5.4	179.8	19.4	5.8	4.8	140.4	16.5	4.9	4.2
90	226.1	22.9	6.4	5.2	186.8	20.0	5.7	4.7	147.4	17.1	4.8	4.1
95	232.2	23.5	6.3	5.0	192.8	20.5	5.6	4.5	153.4	17.5	4.8	4.0
100	237.3	24.0	6.1	4.8	197.9	21.0	5.4	4.4	158.6	18.0	4.7	3.9

	Sk: Lounais-Suomi 2					Sk: Lounais-Suomi 2				
	Bonitet H100 = 27					Bonitet H100 = 24				
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(2))	Iv-fD1.4(2)	Iv-fB1.4(2)	V	Hdom	Iv-fC1.4(2)	Iv-fD1.4(2)	Iv-fB1.4(2)
30	122.9	12.4	11.0	12.0	9.2	83.5	10.4	8.3	9.7	7.4
35	139.7	14.4	10.6	10.8	8.5	100.4	12.2	8.3	9.0	7.1
40	155.7	16.1	10.2	9.8	7.9	116.3	13.8	8.3	8.5	6.8
45	170.7	17.6	9.8	9.1	7.4	131.3	15.2	8.2	8.0	6.5
50	184.8	18.9	9.5	8.4	7.0	145.4	16.4	8.0	7.5	6.2
55	198.1	20.1	9.2	7.9	6.6	158.7	17.5	7.9	7.1	6.0
60	210.4	21.2	8.9	7.4	6.3	171.0	18.5	7.8	6.8	5.7
65	221.8	22.2	8.7	7.0	6.0	182.4	19.4	7.6	6.4	5.5
70	232.4	23.0	8.4	6.6	5.8	193.0	20.2	7.4	6.1	5.3
75	242.0	23.8	8.2	6.3	5.5	202.6	21.0	7.3	5.8	5.1
80	250.7	24.6	7.9	6.0	5.3	211.4	21.7	7.1	5.6	4.9
85	258.6	25.2	7.7	5.7	5.1	219.2	22.3	6.9	5.3	4.7
90	265.5	25.9	7.4	5.4	4.9	226.1	22.9	6.7	5.1	4.6
95	271.6	26.5	7.2	5.2	4.7	232.2	23.5	6.5	4.8	4.4
100	276.7	27.0	7.0	4.9	4.5	237.3	24.0	6.3	4.6	4.2

	Sk: Lounais-Suomi 2					Sk: Lounais-Suomi 2				
	Bonitet H100 = 21					Bonitet H100 = 18				
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(2))	Iv-fD1.4(2)	Iv-fB1.4(2)	V	Hdom	Iv-fC1.4(2)	Iv-fD1.4(2)	Iv-fB1.4(2)
30	44.1	8.5	5.0	6.5	4.9					
35	61.0	10.1	5.7	6.7	5.2	21.6	8.1	2.5	3.4	2.6
40	76.9	11.5	6.1	6.7	5.3	37.5	9.4	3.5	4.3	3.4
45	91.9	12.8	6.3	6.6	5.3	52.5	10.5	4.1	4.7	3.8
50	106.1	13.9	6.4	6.4	5.2	66.7	11.5	4.5	4.9	4.0
55	119.3	14.9	6.5	6.2	5.1	79.9	12.4	4.8	5.0	4.1
60	131.6	15.9	6.5	6.0	5.0	92.2	13.3	5.0	4.9	4.1
65	143.1	16.7	6.4	5.7	4.9	103.7	14.0	5.1	4.9	4.1
70	153.6	17.5	6.4	5.5	4.7	114.2	14.7	5.2	4.8	4.1
75	163.2	18.2	6.3	5.3	4.6	123.9	15.4	5.2	4.6	4.0
80	172.0	18.8	6.2	5.1	4.5	132.6	16.0	5.1	4.5	3.9
85	179.8	19.4	6.0	4.9	4.3	140.4	16.5	5.1	4.3	3.8
90	186.8	20.0	5.9	4.7	4.2	147.4	17.1	5.0	4.2	3.7
95	192.8	20.5	5.8	4.5	4.0	153.4	17.5	4.9	4.0	3.6
100	197.9	21.0	5.6	4.3	3.9	158.6	18.0	4.8	3.9	3.5

	Sk: Satakunta 3				Sk: Satakunta 3				Sk: Satakunta 3			
	Bonitet H100 = 27				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(3)	Iv-fD1.4(3)	V	Hdom	Iv-fC1.4(3)	Iv-fD1.4(3)	V	Hdom	Iv-fC1.4(3)	Iv-fD1.4(3)
30	122.9	12.4	11.0	9.5	83.5	10.4	8.3	8.1	44.1	8.5	5.9	6.5
35	139.7	14.4	10.6	8.6	100.4	12.2	8.3	7.6	61.0	10.1	6.1	6.7
40	155.7	16.1	10.2	7.9	116.3	13.8	8.3	7.1	76.9	11.5	6.0	6.7
45	170.7	17.6	9.8	7.3	131.3	15.2	8.2	6.7	91.9	12.8	5.9	6.6
50	184.8	18.9	9.5	6.9	145.4	16.4	8.0	6.4	106.1	13.9	5.7	6.4
55	198.1	20.1	9.2	6.5	158.7	17.5	7.9	6.1	119.3	14.9	5.5	6.2
60	210.4	21.2	8.9	6.1	171.0	18.5	7.8	5.8	131.6	15.9	5.3	6.0
65	221.8	22.2	8.7	5.8	182.4	19.4	7.6	5.5	143.1	16.7	5.1	5.7
70	232.4	23.0	8.4	5.5	193.0	20.2	7.4	5.3	153.6	17.5	4.9	5.5
75	242.0	23.8	8.2	5.3	202.6	21.0	7.3	5.1	163.2	18.2	4.8	5.3
80	250.7	24.6	7.9	5.0	211.4	21.7	7.1	4.9	172.0	18.8	4.6	5.1
85	258.6	25.2	7.7	4.8	219.2	22.3	6.9	4.7	179.8	19.4	4.4	4.9
90	265.5	25.9	7.4	4.6	226.1	22.9	6.7	4.5	186.8	20.0	4.3	4.7
95	271.6	26.5	7.2	4.5	232.2	23.5	6.5	4.3	192.8	20.5	4.1	4.5
100	276.7	27.0	7.0	4.3	237.3	24.0	6.3	4.2	197.9	21.0	4.0	4.3

	Sk: Satakunta 3				Sk: Uudenmaa-Häme 4				Sk: Uudenmaa-Häme 4			
	Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 27				Bonitet H100 = 24			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(3)	Iv-fD1.4(3)	V	Hdom	Iv-fC1.4(4)	Iv-fB1.4(4)	V	Hdom	Iv-fC1.4(4)	Iv-fB1.4(4)
30					122.9	12.4	11.0	11.1	83.5	10.4	8.9	8.2
35	21.6	8.1	2.5	3.4	139.7	14.4	10.4	10.6	100.4	12.2	8.7	8.2
40	37.5	9.4	3.5	4.2	155.7	16.1	9.9	10.2	116.3	13.8	8.5	8.2
45	52.5	10.5	4.1	4.5	170.7	17.6	9.5	9.9	131.3	15.2	8.3	8.1
50	66.7	11.5	4.5	4.7	184.8	18.9	9.1	9.5	145.4	16.4	8.1	8.0
55	79.9	12.4	4.8	4.7	198.1	20.1	8.8	9.2	158.7	17.5	7.9	7.8
60	92.2	13.3	5.0	4.6	210.4	21.2	8.5	8.9	171.0	18.5	7.7	7.7
65	103.7	14.0	5.1	4.6	221.8	22.2	8.2	8.7	182.4	19.4	7.5	7.5
70	114.2	14.7	5.2	4.5	232.4	23.0	7.9	8.4	193.0	20.2	7.3	7.3
75	123.9	15.4	5.2	4.4	242.0	23.8	7.7	8.1	202.6	21.0	7.1	7.2
80	132.6	16.0	5.1	4.3	250.7	24.6	7.4	7.9	211.4	21.7	6.9	7.0

85	140.4	16.5	5.1	4.1	258.6	25.2	7.2	7.6	219.2	22.3	6.7	6.8
90	147.4	17.1	5.0	4.0	265.5	25.9	7.0	7.4	226.1	22.9	6.5	6.6
95	153.4	17.5	4.9	3.9	271.6	26.5	6.8	7.2	232.2	23.5	6.4	6.4
100	158.6	18.0	4.8	3.8	276.7	27.0	6.6	6.9	237.3	24.0	6.2	6.2

	Sk: Uudenmaa-Häme 4				Sk: Uudenmaa-Häme 4				Sk: Pirkka-Häme 5			
	Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 27			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(4)	Iv-fB1.4(4)	V	Hdom	Iv-fC1.4(4)	Iv-fB1.4(4)	V	Hdom	Iv-fC1.4(5)	Iv-fD1.4(5)
30	44.1	8.5	6.0	4.9					122.9	12.4	11.0	11.0
35	61.0	10.1	6.5	5.5	21.6	8.1	3.2	2.3	139.7	14.4	10.3	9.8
40	76.9	11.5	6.7	5.9	37.5	9.4	4.3	3.3	155.7	16.1	9.7	9.0
45	91.9	12.8	6.8	6.1	52.5	10.5	4.9	3.9	170.7	17.6	9.2	8.3
50	106.1	13.9	6.9	6.3	66.7	11.5	5.2	4.3	184.8	18.9	8.8	7.7
55	119.3	14.9	6.8	6.3	79.9	12.4	5.5	4.6	198.1	20.1	8.4	7.3
60	131.6	15.9	6.8	6.3	92.2	13.3	5.6	4.8	210.4	21.2	8.0	6.8
65	143.1	16.7	6.7	6.3	103.7	14.0	5.6	4.9	221.8	22.2	7.7	6.5
70	153.6	17.5	6.6	6.2	114.2	14.7	5.6	5.0	232.4	23.0	7.4	6.2
75	163.2	18.2	6.4	6.1	123.9	15.4	5.6	5.0	242.0	23.8	7.1	5.9
80	172.0	18.8	6.3	6.0	132.6	16.0	5.6	5.0	250.7	24.6	6.8	5.6
85	179.8	19.4	6.2	5.9	140.4	16.5	5.5	4.9	258.6	25.2	6.5	5.3
90	186.8	20.0	6.0	5.8	147.4	17.1	5.4	4.8	265.5	25.9	6.3	5.1
95	192.8	20.5	5.9	5.6	153.4	17.5	5.3	4.8	271.6	26.5	6.0	4.9
100	197.9	21.0	5.7	5.5	158.6	18.0	5.2	4.7	276.7	27.0	5.8	4.7

	Sk: Pirkka-Häme 5				Sk: Pirkka-Häme 5				Sk: Pirkka-Häme 5			
	Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(5)	Iv-fD1.4(5)	V	Hdom	Iv-fC1.4(5)	Iv-fD1.4(5)	V	Hdom	Iv-fC1.4(5)	Iv-fD1.4(5)
30	83.5	10.4	8.3	9.3	44.1	8.5	5.1	6.8				
35	100.4	12.2	8.2	8.7	61.0	10.1	5.6	6.9	21.6	8.1	2.5	3.9
40	116.3	13.8	7.9	8.1	76.9	11.5	5.9	6.8	37.5	9.4	3.4	4.7
45	131.3	15.2	7.7	7.6	91.9	12.8	6.0	6.6	52.5	10.5	3.9	5.1
50	145.4	16.4	7.5	7.2	106.1	13.9	6.0	6.4	66.7	11.5	4.3	5.2
55	158.7	17.5	7.2	6.8	119.3	14.9	6.0	6.2	79.9	12.4	4.5	5.2
60	171.0	18.5	7.0	6.5	131.6	15.9	5.9	5.9	92.2	13.3	4.6	5.2
65	182.4	19.4	6.8	6.2	143.1	16.7	5.8	5.7	103.7	14.0	4.6	5.1
70	193.0	20.2	6.5	5.9	153.6	17.5	5.6	5.5	114.2	14.7	4.6	5.0
75	202.6	21.0	6.3	5.6	163.2	18.2	5.5	5.3	123.9	15.4	4.6	4.8
80	211.4	21.7	6.1	5.4	172.0	18.8	5.3	5.1	132.6	16.0	4.5	4.7
85	219.2	22.3	5.9	5.1	179.8	19.4	5.2	4.9	140.4	16.5	4.4	4.5
90	226.1	22.9	5.7	4.9	186.8	20.0	5.0	4.7	147.4	17.1	4.3	4.4
95	232.2	23.5	5.5	4.7	192.8	20.5	4.9	4.5	153.4	17.5	4.2	4.3
100	237.3	24.0	5.3	4.5	197.9	21.0	4.7	4.4	158.6	18.0	4.1	4.1

	Sk: Itä-Häme 6					Sk: Itä-Häme 6				
	Bonitet H100 = 27					Bonitet H100 = 24				
T	V	Hdom	Iv-fB1.4(6)	Iv-fC1.4(6)	Iv-fD1.4(6)	V	Hdom	Iv-fB1.4(6)	Iv-fC1.4(6)	Iv-fD1.4(6)
30	122.9	12.4	10.7	11.2	11.8	83.5	10.4	8.8	8.8	9.2
35	139.7	14.4	9.9	10.7	10.8	100.4	12.2	8.4	8.8	8.8
40	155.7	16.1	9.2	10.3	10.0	116.3	13.8	8.0	8.7	8.4
45	170.7	17.6	8.7	9.9	9.4	131.3	15.2	7.7	8.6	8.0
50	184.8	18.9	8.2	9.6	8.8	145.4	16.4	7.4	8.4	7.7
55	198.1	20.1	7.8	9.3	8.3	158.7	17.5	7.1	8.3	7.4
60	210.4	21.2	7.5	9.0	7.9	171.0	18.5	6.9	8.1	7.1
65	221.8	22.2	7.1	8.8	7.5	182.4	19.4	6.6	7.9	6.8

70	232.4	23.0	6.9	8.5	7.1	193.0	20.2	6.4	7.8	6.5
75	242.0	23.8	6.6	8.3	6.8	202.6	21.0	6.2	7.6	6.2
80	250.7	24.6	6.3	8.1	6.5	211.4	21.7	5.9	7.4	6.0
85	258.6	25.2	6.1	7.9	6.2	219.2	22.3	5.7	7.2	5.7
90	265.5	25.9	5.9	7.6	6.0	226.1	22.9	5.5	7.1	5.5
95	271.6	26.5	5.7	7.4	5.7	232.2	23.5	5.4	6.9	5.3
100	276.7	27.0	5.5	7.2	5.5	237.3	24.0	5.2	6.7	5.1

	Sk: Itä-Häme 6 Bonitet H100 = 21					Sk: Itä-Häme 6 Bonitet H100 = 18				
T	V	Hdom	Iv-fB1.4(6)	Iv-fC1.4(6)	Iv-fD1.4(6)	V	Hdom	Iv-fB1.4(6)	Iv-fC1.4(6)	Iv-fD1.4(6)
30	44.1	8.5	6.0	5.7	6.0					
35	61.0	10.1	6.4	6.4	6.4	21.6	8.1	3.3	3.0	3.0
40	76.9	11.5	6.5	6.7	6.5	37.5	9.4	4.2	4.1	3.9
45	91.9	12.8	6.4	6.9	6.5	52.5	10.5	4.7	4.8	4.4
50	106.1	13.9	6.4	7.0	6.4	66.7	11.5	5.0	5.2	4.7
55	119.3	14.9	6.2	7.0	6.2	79.9	12.4	5.1	5.5	4.8
60	131.6	15.9	6.1	7.0	6.1	92.2	13.3	5.1	5.6	4.9
65	143.1	16.7	6.0	6.9	5.9	103.7	14.0	5.1	5.7	4.9
70	153.6	17.5	5.8	6.9	5.7	114.2	14.7	5.1	5.8	4.8
75	163.2	18.2	5.6	6.8	5.5	123.9	15.4	5.0	5.8	4.7
80	172.0	18.8	5.5	6.6	5.3	132.6	16.0	4.9	5.8	4.6
85	179.8	19.4	5.3	6.5	5.2	140.4	16.5	4.8	5.7	4.5
90	186.8	20.0	5.2	6.4	5.0	147.4	17.1	4.7	5.6	4.4
95	192.8	20.5	5.0	6.3	4.8	153.4	17.5	4.6	5.5	4.2
100	197.9	21.0	4.8	6.1	4.6	158.6	18.0	4.4	5.4	4.1

	Sk: Etelä-Savo 7 Bonitet H100 = 27				Sk: Etelä-Savo 7 Bonitet H100 = 24				Sk: Etelä-Savo 7 Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(7)	Iv-fD1.4(7)	V	Hdom	Iv-fC1.4(7)	Iv-fD1.4(7)	V	Hdom	Iv-fC1.4(7)	Iv-fD1.4(7)
30	122.9	12.4	13.6	12.0	83.5	10.4	10.2	9.8	44.1	8.5	6.2	6.7
35	139.7	14.4	12.4	11.0	100.4	12.2	9.8	9.4	61.0	10.1	6.7	7.1
40	155.7	16.1	11.5	10.3	116.3	13.8	9.3	9.0	76.9	11.5	6.8	7.2
45	170.7	17.6	10.7	9.7	131.3	15.2	8.9	8.6	91.9	12.8	6.8	7.2
50	184.8	18.9	10.0	9.1	145.4	16.4	8.5	8.2	106.1	13.9	6.7	7.1
55	198.1	20.1	9.4	8.7	158.7	17.5	8.1	7.9	119.3	14.9	6.6	6.9
60	210.4	21.2	8.9	8.3	171.0	18.5	7.7	7.6	131.6	15.9	6.4	6.8
65	221.8	22.2	8.4	7.9	182.4	19.4	7.4	7.3	143.1	16.7	6.2	6.6
70	232.4	23.0	8.0	7.6	193.0	20.2	7.0	7.1	153.6	17.5	6.0	6.4
75	242.0	23.8	7.6	7.3	202.6	21.0	6.7	6.8	163.2	18.2	5.8	6.3
80	250.7	24.6	7.2	7.0	211.4	21.7	6.4	6.6	172.0	18.8	5.6	6.1
85	258.6	25.2	6.9	6.7	219.2	22.3	6.1	6.4	179.8	19.4	5.4	5.9
90	265.5	25.9	6.5	6.5	226.1	22.9	5.9	6.1	186.8	20.0	5.2	5.7
95	271.6	26.5	6.2	6.3	232.2	23.5	5.6	5.9	192.8	20.5	5.0	5.5
100	276.7	27.0	5.9	6.0	237.3	24.0	5.4	5.7	197.9	21.0	4.7	5.3

	Sk: Etelä-Savo 7 Bonitet H100 = 18				Sk: Etelä-Karjala 8 Bonitet H100 = 27				Sk: Etelä-Karjala 8 Bonitet H100 = 24			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(7)	Iv-fD1.4(7)	V	Hdom	Iv-fC1.4(8)	Iv-fD1.4(8)	V	Hdom	Iv-fC1.4(8)	Iv-fD1.4(8)
30					122.9	12.4	12.8	11.3	83.5	10.4	10.0	10.0
35	21.6	8.1	2.9	3.7	139.7	14.4	11.8	10.2	100.4	12.2	9.6	9.3
40	37.5	9.4	3.9	4.7	155.7	16.1	11.0	9.4	116.3	13.8	9.2	8.7
45	52.5	10.5	4.4	5.2	170.7	17.6	10.4	8.7	131.3	15.2	8.9	8.2
50	66.7	11.5	4.8	5.5	184.8	18.9	9.8	8.1	145.4	16.4	8.5	7.7

55	79.9	12.4	4.9	5.7	198.1	20.1	9.3	7.7	158.7	17.5	8.2	7.4
60	92.2	13.3	5.0	5.7	210.4	21.2	8.8	7.3	171.0	18.5	7.9	7.0
65	103.7	14.0	4.9	5.7	221.8	22.2	8.4	6.9	182.4	19.4	7.5	6.7
70	114.2	14.7	4.9	5.6	232.4	23.0	8.0	6.6	193.0	20.2	7.3	6.4
75	123.9	15.4	4.8	5.5	242.0	23.8	7.7	6.3	202.6	21.0	7.0	6.2
80	132.6	16.0	4.7	5.4	250.7	24.6	7.3	6.0	211.4	21.7	6.7	5.9
85	140.4	16.5	4.5	5.3	258.6	25.2	7.0	5.8	219.2	22.3	6.5	5.7
90	147.4	17.1	4.4	5.2	265.5	25.9	6.7	5.6	226.1	22.9	6.2	5.5
95	153.4	17.5	4.2	5.0	271.6	26.5	6.5	5.4	232.2	23.5	6.0	5.3
100	158.6	18.0	4.1	4.9	276.7	27.0	6.2	5.2	237.3	24.0	5.7	5.1

	Sk: Etelä-Karjala 8				Sk: Etelä-Karjala 8				Sk: Itä-Savo 9			
	Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 27			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(8)	Iv-fD1.4(8)	V	Hdom	Iv-fC1.4(8)	Iv-fD1.4(8)	V	Hdom	Iv-fC1.4(9)	Iv-fD1.4(9)
30	44.1	8.5	6.4	7.7					122.9	12.4	14.2	12.0
35	61.0	10.1	6.9	7.7	21.6	8.1	3.2	4.7	139.7	14.4	12.9	11.0
40	76.9	11.5	7.1	7.6	37.5	9.4	4.3	5.6	155.7	16.1	11.8	10.1
45	91.9	12.8	7.1	7.4	52.5	10.5	4.8	5.9	170.7	17.6	10.9	9.4
50	106.1	13.9	7.0	7.1	66.7	11.5	5.2	6.1	184.8	18.9	10.1	8.9
55	119.3	14.9	6.9	6.9	79.9	12.4	5.3	6.1	198.1	20.1	9.5	8.4
60	131.6	15.9	6.7	6.6	92.2	13.3	5.4	6.0	210.4	21.2	8.9	7.9
65	143.1	16.7	6.6	6.4	103.7	14.0	5.4	5.9	221.8	22.2	8.4	7.5
70	153.6	17.5	6.4	6.2	114.2	14.7	5.3	5.8	232.4	23.0	7.9	7.2
75	163.2	18.2	6.2	6.0	123.9	15.4	5.3	5.6	242.0	23.8	7.5	6.9
80	172.0	18.8	6.0	5.7	132.6	16.0	5.1	5.5	250.7	24.6	7.1	6.6
85	179.8	19.4	5.8	5.5	140.4	16.5	5.0	5.3	258.6	25.2	6.8	6.3
90	186.8	20.0	5.6	5.4	147.4	17.1	4.9	5.1	265.5	25.9	6.4	6.0
95	192.8	20.5	5.4	5.2	153.4	17.5	4.8	5.0	271.6	26.5	6.1	5.8
100	197.9	21.0	5.2	5.0	158.6	18.0	4.6	4.8	276.7	27.0	5.8	5.6

	Sk: Itä-Savo 9				Sk: Itä-Savo 9				Sk: Itä-Savo 9			
	Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	Iv-fC1.4(9)	Iv-fD1.4(9)	V	Hdom	Iv-fC1.4(9)	Iv-fD1.4(9)	V	Hdom	Iv-fC1.4(9)	Iv-fD1.4(9)
30	83.5	10.4	11.0	9.9	44.1	8.5	7.0	6.9				
35	100.4	12.2	10.4	9.4	61.0	10.1	7.4	7.2	21.6	8.1	3.4	3.8
40	116.3	13.8	9.8	8.9	76.9	11.5	7.5	7.2	37.5	9.4	4.5	4.7
45	131.3	15.2	9.3	8.4	91.9	12.8	7.4	7.1	52.5	10.5	5.0	5.2
50	145.4	16.4	8.8	8.0	106.1	13.9	7.2	6.9	66.7	11.5	5.3	5.5
55	158.7	17.5	8.3	7.7	119.3	14.9	7.0	6.8	79.9	12.4	5.4	5.5
60	171.0	18.5	7.9	7.3	131.6	15.9	6.7	6.6	92.2	13.3	5.4	5.5
65	182.4	19.4	7.5	7.0	143.1	16.7	6.5	6.4	103.7	14.0	5.3	5.5
70	193.0	20.2	7.1	6.7	153.6	17.5	6.2	6.1	114.2	14.7	5.2	5.4
75	202.6	21.0	6.8	6.5	163.2	18.2	6.0	5.9	123.9	15.4	5.1	5.3
80	211.4	21.7	6.5	6.2	172.0	18.8	5.8	5.7	132.6	16.0	4.9	5.2
85	219.2	22.3	6.2	6.0	179.8	19.4	5.5	5.5	140.4	16.5	4.8	5.0
90	226.1	22.9	5.9	5.7	186.8	20.0	5.3	5.4	147.4	17.1	4.6	4.9
95	232.2	23.5	5.6	5.5	192.8	20.5	5.1	5.2	153.4	17.5	4.4	4.7
100	237.3	24.0	5.4	5.3	197.9	21.0	4.8	5.0	158.6	18.0	4.3	4.6

	Sk: Pohjois-Karjala 10					Sk: Pohjois-Karjala 10				
	Bonitet H100 = 27					Bonitet H100 = 24				
T	V	Hdom	Iv-fB1.4(10)	Iv-fC1.4(10)	Iv-fD1.4(10)	V	Hdom	Iv-fB1.4(10)	Iv-fC1.4(10)	Iv-fD1.4(10)
30	122.9	12.4	11.1	12.4	11.4	83.5	10.4	9.2	10.0	9.6
35	139.7	14.4	9.9	11.3	10.5	100.4	12.2	8.5	9.5	9.1

40	155.7	16.1	9.0	10.4	9.7	116.3	13.8	7.9	9.0	8.7
45	170.7	17.6	8.3	9.7	9.1	131.3	15.2	7.4	8.6	8.3
50	184.8	18.9	7.7	9.2	8.6	145.4	16.4	7.0	8.2	7.9
55	198.1	20.1	7.2	8.6	8.2	158.7	17.5	6.6	7.8	7.6
60	210.4	21.2	6.7	8.2	7.8	171.0	18.5	6.2	7.5	7.3
65	221.8	22.2	6.3	7.8	7.5	182.4	19.4	5.9	7.2	7.0
70	232.4	23.0	6.0	7.4	7.2	193.0	20.2	5.6	6.9	6.8
75	242.0	23.8	5.7	7.1	6.9	202.6	21.0	5.3	6.6	6.5
80	250.7	24.6	5.4	6.8	6.6	211.4	21.7	5.1	6.3	6.3
85	258.6	25.2	5.1	6.5	6.4	219.2	22.3	4.8	6.1	6.1
90	265.5	25.9	4.9	6.2	6.1	226.1	22.9	4.6	5.8	5.9
95	271.6	26.5	4.6	6.0	5.9	232.2	23.5	4.4	5.6	5.7
100	276.7	27.0	4.4	5.7	5.7	237.3	24.0	4.2	5.4	5.5

	Sk: Pohjois-Karjala 10					Sk: Pohjois-Karjala 10				
	Bonitet H100 = 21					Bonitet H100 = 18				
T	V	Hdom	Iv-fB1.4(10)	Iv-fC1.4(10)	Iv-fD1.4(10)	V	Hdom	Iv-fB1.4(10)	Iv-fC1.4(10)	Iv-fD1.4(10)
30	44.1	8.5	6.4	6.8	6.9					
35	61.0	10.1	6.5	7.1	7.2	21.6	8.1	3.4	3.6	3.9
40	76.9	11.5	6.4	7.2	7.2	37.5	9.4	4.3	4.6	4.9
45	91.9	12.8	6.3	7.1	7.1	52.5	10.5	4.6	5.1	5.4
50	106.1	13.9	6.0	7.0	7.0	66.7	11.5	4.8	5.4	5.6
55	119.3	14.9	5.8	6.8	6.8	79.9	12.4	4.8	5.5	5.7
60	131.6	15.9	5.6	6.6	6.7	92.2	13.3	4.7	5.5	5.8
65	143.1	16.7	5.3	6.4	6.5	103.7	14.0	4.6	5.4	5.7
70	153.6	17.5	5.1	6.2	6.3	114.2	14.7	4.5	5.4	5.6
75	163.2	18.2	4.9	6.0	6.1	123.9	15.4	4.4	5.3	5.5
80	172.0	18.8	4.7	5.8	5.9	132.6	16.0	4.2	5.1	5.4
85	179.8	19.4	4.5	5.6	5.8	140.4	16.5	4.1	5.0	5.3
90	186.8	20.0	4.3	5.4	5.6	147.4	17.1	3.9	4.9	5.2
95	192.8	20.5	4.1	5.2	5.4	153.4	17.5	3.8	4.7	5.0
100	197.9	21.0	4.0	5.0	5.2	158.6	18.0	3.7	4.6	4.9

	Sk: Pohjois-Savo 11				Sk: Pohjois-Savo 11				Sk: Pohjois-Savo 11			
	Bonitet H100 = 27				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	Iv-fB1.4(11)	Iv-fD1.4(11)	V	Hdom	Iv-fB1.4(11)	Iv-fD1.4(11)	V	Hdom	Iv-fB1.4(11)	Iv-fD1.4(11)
30	122.9	12.4	9.9	10.3	83.5	10.4	7.7	9.2	44.1	8.5	5.0	7.2
35	139.7	14.4	9.3	9.6	100.4	12.2	7.6	8.8	61.0	10.1	5.4	7.5
40	155.7	16.1	8.8	9.0	116.3	13.8	7.4	8.5	76.9	11.5	5.6	7.5
45	170.7	17.6	8.4	8.6	131.3	15.2	7.1	8.2	91.9	12.8	5.7	7.4
50	184.8	18.9	8.0	8.2	145.4	16.4	6.9	7.9	106.1	13.9	5.7	7.3
55	198.1	20.1	7.6	7.9	158.7	17.5	6.7	7.6	119.3	14.9	5.6	7.2
60	210.4	21.2	7.3	7.6	171.0	18.5	6.5	7.4	131.6	15.9	5.6	7.1
65	221.8	22.2	7.0	7.3	182.4	19.4	6.3	7.2	143.1	16.7	5.5	6.9
70	232.4	23.0	6.8	7.1	193.0	20.2	6.1	7.0	153.6	17.5	5.4	6.8
75	242.0	23.8	6.5	6.9	202.6	21.0	5.9	6.8	163.2	18.2	5.2	6.7
80	250.7	24.6	6.3	6.7	211.4	21.7	5.7	6.7	172.0	18.8	5.1	6.5
85	258.6	25.2	6.0	6.6	219.2	22.3	5.5	6.5	179.8	19.4	5.0	6.4
90	265.5	25.9	5.8	6.4	226.1	22.9	5.4	6.3	186.8	20.0	4.8	6.3
95	271.6	26.5	5.6	6.2	232.2	23.5	5.2	6.2	192.8	20.5	4.7	6.1
100	276.7	27.0	5.4	6.1	237.3	24.0	5.0	6.0	197.9	21.0	4.5	6.0

	Sk: Pohjois-Savo 11 Bonitet H100 = 18				Sk: Keski-Suomi 12 Bonitet H100 = 27			Sk: Keski-Suomi 12 Bonitet H100 = 24		
T	V	Hdom	lv-fB1.4(11)	lv-fD1.4(11)	V	Hdom	lv-fB1.4(12)	V	Hdom	lv-fB1.4(12)
30					122.9	12.4	12.1	83.5	10.4	9.7
35	21.6	8.1	2.5	4.6	139.7	14.4	11.3	100.4	12.2	9.4
40	37.5	9.4	3.4	5.6	155.7	16.1	10.7	116.3	13.8	9.1
45	52.5	10.5	3.9	6.1	170.7	17.6	10.1	131.3	15.2	8.9
50	66.7	11.5	4.2	6.4	184.8	18.9	9.7	145.4	16.4	8.6
55	79.9	12.4	4.4	6.5	198.1	20.1	9.2	158.7	17.5	8.3
60	92.2	13.3	4.5	6.5	210.4	21.2	8.9	171.0	18.5	8.1
65	103.7	14.0	4.5	6.5	221.8	22.2	8.5	182.4	19.4	7.8
70	114.2	14.7	4.5	6.4	232.4	23.0	8.2	193.0	20.2	7.6
75	123.9	15.4	4.4	6.4	242.0	23.8	7.9	202.6	21.0	7.3
80	132.6	16.0	4.4	6.3	250.7	24.6	7.7	211.4	21.7	7.1
85	140.4	16.5	4.3	6.2	258.6	25.2	7.4	219.2	22.3	6.9
90	147.4	17.1	4.2	6.1	265.5	25.9	7.1	226.1	22.9	6.7
95	153.4	17.5	4.1	6.0	271.6	26.5	6.9	232.2	23.5	6.5
100	158.6	18.0	4.0	5.8	276.7	27.0	6.7	237.3	24.0	6.3

	Sk: Keski-Suomi 12 Bonitet H100 = 21			Sk: Keski-Suomi 12 Bonitet H100 = 18			Sk: Etelä-Pohjanmaa 13 Bonitet H100 = 27			
T	V	Hdom	lv-fB1.4(12)	V	Hdom	lv-fB1.4(12)	V	Hdom	lv-fB1.4(13)	lv-fD1.4(13)
30	44.1	8.5	6.5				122.9	12.4	10.2	10.8
35	61.0	10.1	7.0	21.6	8.1	3.5	139.7	14.4	9.6	9.6
40	76.9	11.5	7.2	37.5	9.4	4.6	155.7	16.1	9.0	8.7
45	91.9	12.8	7.3	52.5	10.5	5.2	170.7	17.6	8.6	8.0
50	106.1	13.9	7.3	66.7	11.5	5.5	184.8	18.9	8.2	7.4
55	119.3	14.9	7.2	79.9	12.4	5.7	198.1	20.1	7.8	6.9
60	131.6	15.9	7.1	92.2	13.3	5.8	210.4	21.2	7.5	6.4
65	143.1	16.7	6.9	103.7	14.0	5.9	221.8	22.2	7.2	6.1
70	153.6	17.5	6.8	114.2	14.7	5.8	232.4	23.0	6.9	5.7
75	163.2	18.2	6.6	123.9	15.4	5.8	242.0	23.8	6.7	5.4
80	172.0	18.8	6.5	132.6	16.0	5.7	250.7	24.6	6.4	5.2
85	179.8	19.4	6.3	140.4	16.5	5.6	258.6	25.2	6.2	4.9
90	186.8	20.0	6.1	147.4	17.1	5.5	265.5	25.9	6.0	4.7
95	192.8	20.5	6.0	153.4	17.5	5.4	271.6	26.5	5.8	4.5
100	197.9	21.0	5.8	158.6	18.0	5.2	276.7	27.0	5.6	4.3

	Sk: Etelä-Pohjanmaa 13 Bonitet H100 = 24				Sk: Etelä-Pohjanmaa 13 Bonitet H100 = 21			Sk: Etelä-Pohjanmaa 13 Bonitet H100 = 18				
T	V	Hdom	lv-fB1.4(13)	lv-fD1.4(13)	V	Hdom	lv-fB1.4(13)	lv-fD1.4(13)	V	Hdom	lv-fB1.4(13)	lv-fD1.4(13)
30	83.5	10.4	8.0	9.3	44.1	8.5	12.8	17.4				
35	100.4	12.2	7.8	8.6	61.0	10.1	16.9	21.0	21.6	8.1	2.6	4.0
40	116.3	13.8	7.6	7.9	76.9	11.5	20.7	24.2	37.5	9.4	3.5	4.8
45	131.3	15.2	7.3	7.4	91.9	12.8	24.4	27.1	52.5	10.5	4.0	5.1
50	145.4	16.4	7.1	6.9	106.1	13.9	28.0	29.8	66.7	11.5	4.3	5.2
55	158.7	17.5	6.9	6.5	119.3	14.9	31.4	32.4	79.9	12.4	4.5	5.1
60	171.0	18.5	6.7	6.1	131.6	15.9	34.8	34.8	92.2	13.3	4.6	5.0
65	182.4	19.4	6.5	5.8	143.1	16.7	38.0	37.1	103.7	14.0	4.6	4.9
70	193.0	20.2	6.3	5.5	153.6	17.5	41.2	39.3	114.2	14.7	4.6	4.8
75	202.6	21.0	6.1	5.3	163.2	18.2	44.3	41.4	123.9	15.4	4.6	4.6
80	211.4	21.7	5.9	5.0	172.0	18.8	47.3	43.5	132.6	16.0	4.5	4.5

85	219.2	22.3	5.7	4.8	179.8	19.4	50.1	45.5	140.4	16.5	4.4	4.3
90	226.1	22.9	5.5	4.6	186.8	20.0	52.9	47.4	147.4	17.1	4.3	4.2
95	232.2	23.5	5.3	4.4	192.8	20.5	55.6	49.2	153.4	17.5	4.2	4.0
100	237.3	24.0	5.1	4.2	197.9	21.0	58.2	51.0	158.6	18.0	4.1	3.9

	Sk: Vaasa 14			Sk: Vaasa 14			Sk: Vaasa 14			Sk: Vaasa 14		
	Bonitet H100 = 27			Bonitet H100 = 24			Bonitet H100 = 21			Bonitet H100 = 18		
T	V	Hdom	lv-fB1.4(14)	V	Hdom	lv-fB1.4(14)	V	Hdom	lv-fB1.4(14)	V	Hdom	lv-fB1.4(14)
30	122.9	12.4	8.4	83.5	10.4	6.9	44.1	8.5	4.7			
35	139.7	14.4	7.9	100.4	12.2	6.7	61.0	10.1	5.1	21.6	8.1	2.6
40	155.7	16.1	7.5	116.3	13.8	6.5	76.9	11.5	5.3	37.5	9.4	3.4
45	170.7	17.6	7.1	131.3	15.2	6.3	91.9	12.8	5.3	52.5	10.5	3.9
50	184.8	18.9	6.8	145.4	16.4	6.2	106.1	13.9	5.3	66.7	11.5	4.2
55	198.1	20.1	6.6	158.7	17.5	6.0	119.3	14.9	5.3	79.9	12.4	4.3
60	210.4	21.2	6.4	171.0	18.5	5.9	131.6	15.9	5.2	92.2	13.3	4.4
65	221.8	22.2	6.2	182.4	19.4	5.7	143.1	16.7	5.2	103.7	14.0	4.4
70	232.4	23.0	6.0	193.0	20.2	5.6	153.6	17.5	5.1	114.2	14.7	4.4
75	242.0	23.8	5.8	202.6	21.0	5.4	163.2	18.2	5.0	123.9	15.4	4.4
80	250.7	24.6	5.6	211.4	21.7	5.3	172.0	18.8	4.9	132.6	16.0	4.4
85	258.6	25.2	5.4	219.2	22.3	5.1	179.8	19.4	4.8	140.4	16.5	4.3
90	265.5	25.9	5.3	226.1	22.9	5.0	186.8	20.0	4.7	147.4	17.1	4.2
95	271.6	26.5	5.1	232.2	23.5	4.9	192.8	20.5	4.5	153.4	17.5	4.2
100	276.7	27.0	5.0	237.3	24.0	4.7	197.9	21.0	4.4	158.6	18.0	4.1

	Sk: Keski-Pohjanmaa 15				Sk: Keski-Pohjanmaa 15				Sk: Keski-Pohjanmaa 15			
	Bonitet H100 = 27				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	lv-fB1.4(15)	lv-fD1.4(15)	V	Hdom	lv-fB1.4(15)	lv-fD1.4(15)	V	Hdom	lv-fB1.4(15)	lv-fD1.4(15)
30	122.9	12.4	13.4	10.5	83.5	10.4	10.7	8.8	44.1	8.5	7.1	6.2
35	139.7	14.4	11.8	9.3	100.4	12.2	9.8	8.1	61.0	10.1	7.2	6.3
40	155.7	16.1	10.6	8.4	116.3	13.8	9.0	7.4	76.9	11.5	7.0	6.1
45	170.7	17.6	9.6	7.7	131.3	15.2	8.3	6.9	91.9	12.8	6.8	5.9
50	184.8	18.9	8.8	7.1	145.4	16.4	7.7	6.5	106.1	13.9	6.5	5.7
55	198.1	20.1	8.1	6.5	158.7	17.5	7.2	6.1	119.3	14.9	6.2	5.4
60	210.4	21.2	7.5	6.1	171.0	18.5	6.7	5.7	131.6	15.9	5.9	5.2
65	221.8	22.2	7.0	5.7	182.4	19.4	6.3	5.4	143.1	16.7	5.6	4.9
70	232.4	23.0	6.5	5.4	193.0	20.2	5.9	5.1	153.6	17.5	5.3	4.7
75	242.0	23.8	6.1	5.1	202.6	21.0	5.6	4.8	163.2	18.2	5.0	4.5
80	250.7	24.6	5.7	4.8	211.4	21.7	5.3	4.6	172.0	18.8	4.8	4.3
85	258.6	25.2	5.4	4.6	219.2	22.3	5.0	4.4	179.8	19.4	4.5	4.1
90	265.5	25.9	5.1	4.3	226.1	22.9	4.7	4.2	186.8	20.0	4.3	3.9
95	271.6	26.5	4.8	4.1	232.2	23.5	4.5	4.0	192.8	20.5	4.1	3.7
100	276.7	27.0	4.5	3.9	237.3	24.0	4.2	3.8	197.9	21.0	3.9	3.6

	Sk: Keski-Pohjanmaa 15			
	Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	lv-fB1.4(15)	lv-fD1.4(15)
35	21.6	8.1	3.5	3.4
40	37.5	9.4	4.4	4.1
45	52.5	10.5	4.8	4.4
50	66.7	11.5	4.9	4.5
55	79.9	12.4	4.9	4.5
60	92.2	13.3	4.8	4.4
65	103.7	14.0	4.7	4.3

70	114.2	14.7	4.5	4.2
75	123.9	15.4	4.4	4.1
80	132.6	16.0	4.2	3.9
85	140.4	16.5	4.0	3.8
90	147.4	17.1	3.8	3.6
95	153.4	17.5	3.7	3.5
100	158.6	18.0	3.5	3.3

Tabell 2. Simulerad genomsnittlig volymtillväxtutveckling (I_V, m^3/ha/år) i talldominerade bestånd på ståndorter H_{100} = 24, 21, 18 och 15 inom Norra Finlands regioner enligt funktioner utvecklade på basen av INKA- och NFI3 - data. Genomsnittlig volymutveckling för beståndet (stående träden) enligt INKA - data.

	Norra Finland				Norra Finland				Norra Finland			
	Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13	Iv-fA1.13	V	Hdom	Iv-fD1.13	Iv-fA1.13	V	Hdom	Iv-fD1.13	Iv-fA1.13
30	83.5	10.4	10.5	11.3	44.1	8.5	7.7	7.1				
35	100.4	12.2	9.2	10.3	61.0	10.1	7.4	7.3	21.6	8.1	4.1	3.3
40	116.3	13.8	8.3	9.4	76.9	11.5	6.9	7.1	37.5	9.4	4.8	4.3
45	131.3	15.2	7.5	8.7	91.9	12.8	6.5	6.9	52.5	10.5	5.0	4.7
50	145.4	16.4	6.9	8.1	106.1	13.9	6.1	6.6	66.7	11.5	5.0	4.8
55	158.7	17.5	6.3	7.6	119.3	14.9	5.8	6.4	79.9	12.4	4.9	4.9
60	171.0	18.5	5.9	7.1	131.6	15.9	5.4	6.1	92.2	13.3	4.7	4.8
65	182.4	19.4	5.5	6.7	143.1	16.7	5.1	5.8	103.7	14.0	4.6	4.7
70	193.0	20.2	5.2	6.4	153.6	17.5	4.9	5.6	114.2	14.7	4.4	4.6
75	202.6	21.0	4.9	6.1	163.2	18.2	4.6	5.3	123.9	15.4	4.2	4.5
80	211.4	21.7	4.6	5.8	172.0	18.8	4.4	5.1	132.6	16.0	4.0	4.4
85	219.2	22.3	4.4	5.5	179.8	19.4	4.2	4.9	140.4	16.5	3.9	4.2
90	226.1	22.9	4.2	5.2	186.8	20.0	4.0	4.7	147.4	17.1	3.7	4.1
95	232.2	23.5	4.0	5.0	192.8	20.5	3.8	4.5	153.4	17.5	3.6	3.9
100	237.3	24.0	3.8	4.8	197.9	21.0	3.6	4.3	158.6	18.0	3.4	3.8

	Norra Finland				Kainuu - Pohjois-Pohjanmaa 16 - 17				Kainuu - Pohjois-Pohjanmaa 16 - 17			
	Bonitet H100 = 15				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13	Iv-fA1.13	V	Hdom	Iv-fD1.13(16-17)	Iv-fA1.19	V	Hdom	Iv-fD1.13(16-17)	Iv-fA1.19
30					83.5	10.4	11.9	9.0	44.1	8.5	8.4	6.2
35					100.4	12.2	10.3	8.3	61.0	10.1	7.9	6.3
40					116.3	13.8	9.1	7.7	76.9	11.5	7.4	6.2
45	13.2	8.3	2.2	1.6	131.3	15.2	8.1	7.3	91.9	12.8	6.9	6.1
50	27.3	9.2	3.1	2.5	145.4	16.4	7.3	6.9	106.1	13.9	6.4	5.9
55	40.5	10.0	3.5	3.0	158.7	17.5	6.7	6.5	119.3	14.9	5.9	5.7
60	52.9	10.8	3.7	3.3	171.0	18.5	6.2	6.2	131.6	15.9	5.5	5.6
65	64.3	11.4	3.7	3.4	182.4	19.4	5.7	6.0	143.1	16.7	5.2	5.4
70	74.8	12.1	3.7	3.5	193.0	20.2	5.3	5.7	153.6	17.5	4.9	5.2
75	84.5	12.6	3.7	3.5	202.6	21.0	5.0	5.5	163.2	18.2	4.6	5.0
80	93.2	13.2	3.6	3.5	211.4	21.7	4.7	5.3	172.0	18.8	4.3	4.9
85	101.1	13.7	3.5	3.4	219.2	22.3	4.4	5.1	179.8	19.4	4.1	4.7
90	108.0	14.1	3.4	3.4	226.1	22.9	4.1	4.9	186.8	20.0	3.9	4.6
95	114.0	14.6	3.3	3.3	232.2	23.5	3.9	4.7	192.8	20.5	3.7	4.4
100	119.2	15.0	3.1	3.2	237.3	24.0	3.7	4.6	197.9	21.0	3.5	4.3

	Kainuu - Pohjois-Pohjanmaa 16 - 17				Kainuu - Pohjois-Pohjanmaa 16 - 17			
	Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 15			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13 (16-17)	Iv-fA1.19	V	Hdom	Iv-fD1.1 (16-17)	Iv-fA1.19
30								
35	21.6	8.1	4.2	3.3				
40	37.5	9.4	4.9	4.1				
45	52.5	10.5	5.1	4.4	13.2	8.3	2.1	1.8
50	66.7	11.5	5.0	4.6	27.3	9.2	3.0	2.7
55	79.9	12.4	4.9	4.7	40.5	10.0	3.4	3.1
60	92.2	13.3	4.7	4.7	52.9	10.8	3.5	3.4
65	103.7	14.0	4.5	4.6	64.3	11.4	3.6	3.6
70	114.2	14.7	4.3	4.5	74.8	12.1	3.5	3.7
75	123.9	15.4	4.1	4.4	84.5	12.6	3.4	3.7
80	132.6	16.0	3.9	4.3	93.2	13.2	3.4	3.7
85	140.4	16.5	3.7	4.2	101.1	13.7	3.2	3.6
90	147.4	17.1	3.6	4.1	108.0	14.1	3.1	3.6
95	153.4	17.5	3.4	4.0	114.0	14.6	3.0	3.5
100	158.6	18.0	3.2	3.9	119.2	15.0	2.9	3.5

	Koillis-Suomi - Lappi 18-19				Koillis-Suomi - Lappi 18-19				Koillis-Suomi - Lappi 18-19			
	Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13 (18-19)	Iv-fA1.23	V	Hdom	Iv-fD1.13 (18-19)	Iv-fA1.23	V	Hdom	Iv-fD1.13 (18-19)	Iv-fA1.23
30	83.5	10.4	10.3	9.9	44.1	8.5	7.4	6.2				
35	100.4	12.2	9.2	9.0	61.0	10.1	7.3	6.4	21.6	8.1	4.0	2.9
40	116.3	13.8	8.4	8.4	76.9	11.5	7.0	6.3	37.5	9.4	4.8	3.8
45	131.3	15.2	7.7	7.8	91.9	12.8	6.6	6.2	52.5	10.5	5.0	4.2
50	145.4	16.4	7.1	7.3	106.1	13.9	6.3	6.0	66.7	11.5	5.1	4.3
55	158.7	17.5	6.7	6.9	119.3	14.9	6.0	5.7	79.9	12.4	5.0	4.4
60	171.0	18.5	6.3	6.5	131.6	15.9	5.7	5.5	92.2	13.3	4.9	4.4
65	182.4	19.4	5.9	6.2	143.1	16.7	5.4	5.3	103.7	14.0	4.8	4.3
70	193.0	20.2	5.6	5.8	153.6	17.5	5.2	5.1	114.2	14.7	4.7	4.2
75	202.6	21.0	5.3	5.6	163.2	18.2	5.0	4.9	123.9	15.4	4.5	4.1
80	211.4	21.7	5.1	5.3	172.0	18.8	4.8	4.7	132.6	16.0	4.4	4.0
85	219.2	22.3	4.8	5.1	179.8	19.4	4.6	4.5	140.4	16.5	4.2	3.9
90	226.1	22.9	4.6	4.9	186.8	20.0	4.4	4.3	147.4	17.1	4.1	3.8
95	232.2	23.5	4.4	4.6	192.8	20.5	4.2	4.2	153.4	17.5	3.9	3.7
100	237.3	24.0	4.2	4.5	197.9	21.0	4.0	4.0	158.6	18.0	3.8	3.5

	Koillis-Suomi - Lappi 18-19				Sk : Kainuu 16				Sk : Kainuu 16			
	Bonitet H100 = 15				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13 (18-19)	Iv-fA1.23	V	Hdom	Iv-fD1.13 (16)	Iv-fB1.13 (16)	V	Hdom	Iv-fD1.13 (16)	Iv-fB1.13 (16)
30					83.5	10.4	14.8	8.8	44.1	8.5	9.6	6.0
35					100.4	12.2	12.7	8.2	61.0	10.1	9.2	6.2
40					116.3	13.8	11.1	7.8	76.9	11.5	8.6	6.2
45	13.2	8.3	2.2	1.4	131.3	15.2	9.8	7.3	91.9	12.8	7.9	6.1
50	27.3	9.2	3.1	2.3	145.4	16.4	8.8	7.0	106.1	13.9	7.3	6.0
55	40.5	10.0	3.6	2.7	158.7	17.5	8.0	6.7	119.3	14.9	6.8	5.8
60	52.9	10.8	3.8	3.0	171.0	18.5	7.3	6.4	131.6	15.9	6.3	5.7
65	64.3	11.4	3.9	3.1	182.4	19.4	6.7	6.1	143.1	16.7	5.9	5.5
70	74.8	12.1	3.9	3.2	193.0	20.2	6.2	5.9	153.6	17.5	5.5	5.3
75	84.5	12.6	3.9	3.2	202.6	21.0	5.8	5.7	163.2	18.2	5.1	5.2
80	93.2	13.2	3.8	3.2	211.4	21.7	5.4	5.5	172.0	18.8	4.8	5.0

85	101.1	13.7	3.7	3.2	219.2	22.3	5.0	5.3	179.8	19.4	4.5	4.9
90	108.0	14.1	3.6	3.1	226.1	22.9	4.7	5.1	186.8	20.0	4.3	4.7
95	114.0	14.6	3.5	3.0	232.2	23.5	4.4	4.9	192.8	20.5	4.0	4.6
100	119.2	15.0	3.4	3.0	237.3	24.0	4.2	4.8	197.9	21.0	3.8	4.5

	Sk : Kainuu 16				Sk : Kainuu 16			
	Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 15			
T	V	Hdom	lv-fD1.13 (16)	lv-fB1.13 (16)	V	Hdom	lv-fD1.13 (16)	lv-fB1.13 (16)
30								
35	21.6	8.1	4.4	3.2				
40	37.5	9.4	5.3	4.0				
45	52.5	10.5	5.5	4.4	13.2	8.3	2.0	1.8
50	66.7	11.5	5.5	4.6	27.3	9.2	2.9	2.7
55	79.9	12.4	5.3	4.7	40.5	10.0	3.4	3.2
60	92.2	13.3	5.1	4.7	52.9	10.8	3.5	3.5
65	103.7	14.0	4.9	4.7	64.3	11.4	3.6	3.6
70	114.2	14.7	4.6	4.6	74.8	12.1	3.6	3.7
75	123.9	15.4	4.4	4.6	84.5	12.6	3.5	3.8
80	132.6	16.0	4.2	4.5	93.2	13.2	3.4	3.8
85	140.4	16.5	4.0	4.4	101.1	13.7	3.3	3.8
90	147.4	17.1	3.8	4.3	108.0	14.1	3.1	3.7
95	153.4	17.5	3.6	4.2	114.0	14.6	3.0	3.7
100	158.6	18.0	3.4	4.1	119.2	15.0	2.9	3.6

	Sk : Pohjois-Pohjanmaa 17				Sk : Pohjois-Pohjanmaa 17				Sk : Pohjois-Pohjanmaa 17			
	Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18			
T	V	Hdom	lv-fD1.13 (17)	lv-fB1.13 (17)	V	Hdom	lv-fD1.13 (17)	lv-fB1.13 (17)	V	Hdom	lv-fD1.13 (17)	lv-fB1.13 (17)
30	83.5	10.4	9.4	8.8	44.1	8.5	7.1	6.2				
35	100.4	12.2	8.2	8.0	61.0	10.1	6.7	6.2	21.6	8.1	4.0	3.4
40	116.3	13.8	7.2	7.4	76.9	11.5	6.2	6.1	37.5	9.4	4.5	4.1
45	131.3	15.2	6.5	6.8	91.9	12.8	5.8	5.8	52.5	10.5	4.6	4.4
50	145.4	16.4	5.9	6.4	106.1	13.9	5.4	5.6	66.7	11.5	4.5	4.5
55	158.7	17.5	5.4	6.0	119.3	14.9	5.0	5.4	79.9	12.4	4.4	4.5
60	171.0	18.5	5.0	5.7	131.6	15.9	4.7	5.1	92.2	13.3	4.2	4.4
65	182.4	19.4	4.7	5.4	143.1	16.7	4.4	4.9	103.7	14.0	4.0	4.3
70	193.0	20.2	4.4	5.1	153.6	17.5	4.2	4.7	114.2	14.7	3.8	4.2
75	202.6	21.0	4.1	4.9	163.2	18.2	3.9	4.5	123.9	15.4	3.7	4.1
80	211.4	21.7	3.9	4.7	172.0	18.8	3.7	4.4	132.6	16.0	3.5	4.0
85	219.2	22.3	3.7	4.5	179.8	19.4	3.5	4.2	140.4	16.5	3.4	3.9
90	226.1	22.9	3.5	4.3	186.8	20.0	3.4	4.1	147.4	17.1	3.2	3.7
95	232.2	23.5	3.3	4.1	192.8	20.5	3.2	3.9	153.4	17.5	3.1	3.6
100	237.3	24.0	3.1	4.0	197.9	21.0	3.1	3.8	158.6	18.0	2.9	3.5

	Sk : Pohjois-Pohjanmaa 17				Sk : Koillis-Suomi 18				Sk : Koillis-Suomi 18			
	Bonitet H100 = 15				Bonitet H100 = 24				Bonitet H100 = 21			
T	V	Hdom	lv-fD1.13 (17)	lv-fB1.13 (17)	V	Hdom	lv-fD1.13 (18)	lv-fB1.13 (18)	V	Hdom	lv-fD1.13 (18)	lv-fB1.13 (18)
30					83.5	10.4	12.5	8.1	44.1	8.5	8.9	5.3
35					100.4	12.2	10.9	7.5	61.0	10.1	8.6	5.5
40					116.3	13.8	9.7	7.0	76.9	11.5	8.1	5.4
45	13.2	8.3	2.2	1.9	131.3	15.2	8.8	6.6	91.9	12.8	7.5	5.3
50	27.3	9.2	2.9	2.7	145.4	16.4	8.0	6.2	106.1	13.9	7.1	5.2
55	40.5	10.0	3.3	3.1	158.7	17.5	7.4	5.9	119.3	14.9	6.6	5.0
60	52.9	10.8	3.4	3.3	171.0	18.5	6.9	5.6	131.6	15.9	6.2	4.9
65	64.3	11.4	3.4	3.4	182.4	19.4	6.4	5.4	143.1	16.7	5.9	4.7

70	74.8	12.1	3.3	3.5	193.0	20.2	6.0	5.1	153.6	17.5	5.6	4.5
75	84.5	12.6	3.3	3.5	202.6	21.0	5.6	4.9	163.2	18.2	5.3	4.4
80	93.2	13.2	3.2	3.4	211.4	21.7	5.3	4.7	172.0	18.8	5.0	4.2
85	101.1	13.7	3.1	3.4	219.2	22.3	5.0	4.5	179.8	19.4	4.7	4.1
90	108.0	14.1	3.0	3.3	226.1	22.9	4.8	4.4	186.8	20.0	4.5	4.0
95	114.0	14.6	2.9	3.2	232.2	23.5	4.5	4.2	192.8	20.5	4.3	3.8
100	119.2	15.0	2.8	3.2	237.3	24.0	4.3	4.0	197.9	21.0	4.1	3.7

	Sk : Koillis-Suomi 18				Sk : Koillis-Suomi 18				Sk : Lappi 19			
	Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 15				Bonitet H100 = 24			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13 (18)	Iv-fB1.13 (18)	V	Hdom	Iv-fD1.13 (18)	Iv-fB1.13 (18)	V	Hdom	Iv-fD1.13 (19)	Iv-fB1.13 (19)
30									83.5	10.4	9.5	10.9
35	21.6	8.1	4.7	2.6					100.4	12.2	8.6	9.9
40	37.5	9.4	5.5	3.3					116.3	13.8	7.9	9.1
45	52.5	10.5	5.7	3.7	13.2	8.3	2.4	1.3	131.3	15.2	7.3	8.4
50	66.7	11.5	5.7	3.9	27.3	9.2	3.4	2.1	145.4	16.4	6.8	7.8
55	79.9	12.4	5.5	3.9	40.5	10.0	3.9	2.5	158.7	17.5	6.4	7.4
60	92.2	13.3	5.4	3.9	52.9	10.8	4.1	2.7	171.0	18.5	6.1	6.9
65	103.7	14.0	5.2	3.9	64.3	11.4	4.1	2.9	182.4	19.4	5.8	6.5
70	114.2	14.7	5.0	3.8	74.8	12.1	4.1	3.0	193.0	20.2	5.5	6.2
75	123.9	15.4	4.8	3.8	84.5	12.6	4.1	3.0	202.6	21.0	5.2	5.9
80	132.6	16.0	4.6	3.7	93.2	13.2	4.0	3.0	211.4	21.7	5.0	5.6
85	140.4	16.5	4.4	3.6	101.1	13.7	3.8	3.0	219.2	22.3	4.8	5.3
90	147.4	17.1	4.2	3.5	108.0	14.1	3.7	2.9	226.1	22.9	4.6	5.1
95	153.4	17.5	4.0	3.4	114.0	14.6	3.6	2.9	232.2	23.5	4.4	4.8
100	158.6	18.0	3.8	3.3	119.2	15.0	3.5	2.8	237.3	24.0	4.3	4.6

	Sk : Lappi 19				Sk : Lappi 19				Sk : Lappi 19			
	Bonitet H100 = 21				Bonitet H100 = 18				Bonitet H100 = 15			
T	V	Hdom	Iv-fD1.13 (19)	Iv-fB1.13 (19)	V	Hdom	Iv-fD1.13 (19)	Iv-fB1.13 (19)	V	Hdom	Iv-fD1.13 (19)	Iv-fB1.13 (19)
30	44.1	8.5	6.8	6.8								
35	61.0	10.1	6.7	7.0	21.6	8.1	3.7	3.1				
40	76.9	11.5	6.5	6.8	37.5	9.4	4.4	4.0				
45	91.9	12.8	6.3	6.6	52.5	10.5	4.8	4.4	13.2	8.3	2.0	1.5
50	106.1	13.9	6.0	6.4	66.7	11.5	4.8	4.6	27.3	9.2	2.9	2.4
55	119.3	14.9	5.8	6.1	79.9	12.4	4.8	4.6	40.5	10.0	3.4	2.8
60	131.6	15.9	5.5	5.9	92.2	13.3	4.8	4.6	52.9	10.8	3.6	3.1
65	143.1	16.7	5.3	5.6	103.7	14.0	4.7	4.5	64.3	11.4	3.7	3.3
70	153.6	17.5	5.1	5.4	114.2	14.7	4.5	4.4	74.8	12.1	3.8	3.3
75	163.2	18.2	4.9	5.1	123.9	15.4	4.4	4.3	84.5	12.6	3.8	3.3
80	172.0	18.8	4.7	4.9	132.6	16.0	4.3	4.2	93.2	13.2	3.7	3.3
85	179.8	19.4	4.5	4.7	140.4	16.5	4.2	4.0	101.1	13.7	3.7	3.3
90	186.8	20.0	4.4	4.5	147.4	17.1	4.0	3.9	108.0	14.1	3.6	3.2
95	192.8	20.5	4.2	4.3	153.4	17.5	3.9	3.8	114.0	14.6	3.5	3.1
100	197.9	21.0	4.1	4.2	158.6	18.0	3.8	3.6	119.2	15.0	3.4	3.0

Bilaga 3. Hjälpfunktioner vid simulering av bestånds- utveckling i talldominerade bestånd.

Tabell 1. Funktioner för skatning av grundytetillväxt i talldominerade bestånd. Utvecklade på basen NFI3&5-data gällande hela landet.

Beroende variabel: $\ln(I_{G5})$

Variabel	Frisk mo	Medelgo mo	Torr mo
		Funktion nr	
	1	2	3
konstant*)	0.9905	1.1276	1.8655
ln(T)	-0.9172	-0.9159	-0.9392
ln(G)	0.2576	0.2119	0.3916
ln(N)	0.2708	0.2731	0.2234
ln(H)	0.1973	0.2754	0.1619
TS	0.0006	0.0004	
s_f	0.2993	0.3406	0.3604
R^2	74.0	66.7	73.3
n	646	1365	574

Tabell 2. Funktioner för skattning av medelhöjdtillväxt i talldominerade bestånd. Utvecklade på basen NFI3&5-data gällande hela landet.

Beroende variabel: $\ln(I_{H5})$

Variabel	Frisk mo	Medelgo mo	Torr mo
		Funktion nr	
	4	5	6
konstant*)	3.5998	3.2262	2.1357
ln(T)	-0.8448	-0.7955	-0.6662
ln(G)	0.0981	0.0865	
ln(N)	-0.0953	-0.0631	
ln(H)			0.1701
TS	0.00022	0.00016	
s_f	0.3569	0.3899	0.3882
R^2	51.2	39.6	40.8
n	646	1365	574

*) korrigerat för logaritmisk skevhet

A1



FOLIA FORESTALIA 331

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1977

Hans Gustav Gustavsen

VALTAKUNNALLISET KUUTIOKASVUYHTÄLÖT

Finnish volume increment functions

ODC 564
ISBN 951-40-0306-3
ISSN 0015-5543

GUSTAVSEN, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. Folia For. 331: 1—00.

Tutkimuksen tarkoituksena on sellaisten kuutiokasvuyhtälöiden kehittäminen, joita voidaan käyttää käytännön metsänarviointitehtävissä helpottamaan, nopeuttamaan ja halventamaan tulevan kauden kasvuennusteen laadintaa.

Tutkimuksessa on ollut välttämätöntä käyttää aineistoa, joka edustaa nykymetsiä kokonaisuudessaan. Tällaisen aineiston tarjoavat valtakunnan metsien inventointien maastomittaukset. Tästä syystä kolmannen inventoinnin aineisto muodostaa esitettävien yhtälöiden varsinaisen pohjan, ja viidennen inventoinnin kasvutiedot ovat vertailuaineistona.

Yhtälöitä on kehitetty kaikkiaan 27 kpl, ja ne perustuvat 1 626 mänty-, 1 409 kuusi- ja 286 koivukoealaan. Yhtälöt antavat metsikön tulevan 5-vuotiskauden kuutiokasvuprosentin kuorineen. Ne on laadittu koko maata, Etelä-Suomea ja Pohjois-Suomea sekä vielä erikseen Pohjois-Pohjanmaa—Kainuuta ja Lappia varten. Kullekin kolmelle puulajille, männylle, kuuselle ja koivulle, on omat yhtälönsä. Pääyhtälöissä ovat selittävinä muuttujina puuston ikä, kuutiomäärä ja valtapituus.

Yhtälöt soveltuvat parhaiten metsäalueen puuston kasvuennusteen laadintaan. Arvion keskivirhe on tällöin n. 5 %, kun koealojen lukumäärä on 100 kpl. Tällöin edellytetään, että nykymetsät eivät rakenteellisesti poikkea olennaisesti 1950-luvun metsistä. Metsikkökohtaisen kasvun ennustamisessa keskivirhe on 30 %:n luokkaa. Esitetyt yhtälöt ovat siinä mielessä alustavia, että tutkimustyö jatkuu yhä luotettavampien yhtälöiden laatimiseksi sitä mukaa kuin uusia aineistoja on käytettävissä.

The paper presents functions for predicting the increment of forest stands based on simple stand measurements, thereby avoiding tree boring ofen used in management planning.

The main material for the functions has been obtained from the 3 rd National Forest Inventory (1951—53), comprising 1 626 circular sample plots of 0,1 ha in pine-dominated stands, 1 409 in spruce-dominated stands and 286 in birch-dominated stands. The sample plots of the 5th National Inventory (1964—68) have been used as an additional test material.

In all, 27 functions have been derived giving the volume percentage of the stand during the future 5-year period. Concerning each of the tree species mentioned, functions have been determined for the whole country, as well as for the southern and northern halves of it. Furthermore, the northern part of the country has been divided into subareas, Kainuu—Pohjois-Pohjanmaa and Lapland (Lappi), and given their own functions. The main functions include stand age, stand volume and dominant height as independent variables. Functions based on age and volume and those based on age, dominant height and basal area are also presented in this publication.

The functions published are most reliable in predicting the increment of forest areas comprising numerous stands. The standard error of estimate, based on 100 sample plots, is c. 5 %. In single stands, the standard error of estimate is naturally rather great, 30 % on an average for all the functions. No function shows a clear tendency of systematic error within the normal variation range of the stand criteria.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
2. TUTKIMUSAINEISTO 6
3. VALTAKUNNALLISET KUUTIOKASVUYHTÄLÖT 7
   31. Yhtälöissä käytetyt merkinnät 7
   32. Yhtälöiden laadinta ja rakenne 7
   33. Yhtälöt 8
4. YHTÄLÖIDEN LUOTETTAVUUS 9
   41. Tilastomatemaattinen luotettavuus 9
   42. Systemaattinen virhe 10
   43. Yhtälöiden luotettavuus metsäalueen inventoinnissa 11
   44. Mittausvirheiden merkitys 14
5. SOVELTAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ 15
KIRJALLISUUS 16
TAULUKOT 18
LIITTEET 24
   1. Kasvuprosenttitaulukot 24
   2. Kasvuyhtälöiden systemaattisen virheen tarkastelu 32

1. JOHDANTO

Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnalla aloitettiin v. 1972 laaja tutkimus, jonka tarkoituksena on antaa monipuolista tietoa nykymetsien rakenteesta ja kasvusta. Pyrkimyksenä on saada maan kaikkiin metsiin soveltuvia tuloksia, mistä syystä tutkimus nojautuu valtakunnan metsien inventointien aineistoihin.

Sarjan ensimmäisenä ilmestyi tutkimus (Hänninen 1974), jossa selviteltiin Suomen metsien puustoisuutta ja hakkuumahdollisuuksia valtakunnan metsien viidennen inventoinnin aineiston pohjalta. Alkuperäisen tutkimussuunnitelman seuraavana selvityskohteena ovat nykymetsien kuutiokasvuyhtälöt, jotka ovat käsillä olevan tutkimuksen aiheena.

Erilaisten metsiköiden kuutiokasvuyhtälöitä on Suomessa kehitetty tähän mennessä verrattain suuri määrä (Vuokila 1960b, 1965, Kuusela ja Kilkki 1963, Koivisto 1970, Nakari 1971, Mielikäinen 1975, Saramäki 1977). Yhtä poikkeusta (Koivisto 1970) lukuun ottamatta niiden sovellutusalue on kuitenkin maan metsiä kokonaisuutena ajatellen suppea, sillä ne perustuvat eräänlaisiin ihannemetsiköihin, joita Suomen metsistä on vain pieni osa. Keskimääräisissä ja sitä heikommissa metsällisissä olosuhteissa yhtälöillä voidaan saada harhainen, yleensä kasvua liioitteleva käsitys. Käytön esteenä voi olla myös se, että tietty yhtälö vaatii sellaisia metsikkötunnuksia, joita ei käytännön tasolla ole olemassa tai joiden hankkiminen on hankalaa tai mahdotonta. Tähänastiset yhtälöt ovat käyttökelpoisia mm. teoreettisten metsikkömallien kehittelyyn, mutta käytännön metsätalouden tarpeisiin ne eivät sovellu yhtä hyvin. Tämän tyyppisiä yhtälöitä on kuitenkin käytetty esim. eräitä puuntuotanto-ohjelmia koskevissa laskelmissa (Kilkki ym. 1977).

Nyt julkaistavien kuutiokasvuyhtälöiden tavoite on ennen muuta metsätalouden suunnittelun yhteydessä tapahtuva kasvun ennustaminen (mm. Mielikäinen 1976). Käytännössä tämä on tapahtunut tähän mennessä kasvukairauksien avulla, jos on pyritty tietyt tarkkuusvaatimukset täyttävään kasvun ennustamiseen. Eräät aputaulukot, joita on käytettävissä (mm. Ilvessalo 1948, Rajala 1970, Kohmo 1972), ovat siinä mielessä suurpiirteisiä, että ne eivät ota kuutiomäärän ja valtapituuden vaihtelua tietyn ikäluokan puitteissa huomioon.

Kasvun kairaus on merkittävä kustannustekijä hankittaessa perustietoja metsätalouden suunnitteluun. Sitä voidaan arvostella myös muista syistä. Niinpä on varmaa, että kairaukset vaarantavat ainakin kuusen ja koivun terveydentilan (Vuokila 1976).

Kairauksiin nojautuva kasvuennuste voi olla merkittävän virheellinen myös siinä tapauksessa, että tutkimuksen kohteena olevat vuodet ovat ilmastollisesti keskitasosta huomattavasti poikkeavia. Kasvuarviota tehtäessä ei ole yleensä käytettävissä ko. vuosien kasvuindeksejä, jotka osoittaisivat, missä määrin harhainen kasvuarvio saadaan juuri senhetkisten kairausten nojalla. Kairaus on sitä paitsi aina taannehtiva, kun tietoa kuitenkin haluttaisiin tulevien vuosien kasvutapahtumasta.

Kasvuyhtälö voi tietenkin edellyttää menneen kauden kasvun tutkimista. Kairaus ei ole kuitenkaan aina välttämätön. Yhtälö voidaan perustaa yksinkertaisiin metsikkötunnuksiin, jotka selvitetään maastomittauksessa kuutiomäärän määrittämistä varten. Näin menetellen kasvuarvio saadaan laskennallisesti kuutioimisen maastokustannuksilla. Kun kairaukset jäävät suorittamatta, puuston terveydentilaa ei vaaranneta. Kasvuyhtälöt voidaan lisäksi laatia vastaamaan ko. maantieteellisen alueen keskimääräistä ilmastoa, koska ne ovat aina tulevaisuuteen kohdistuvia ennusteyhtälöitä.

Yksittäisille metsiköille kasvuyhtälöt voivat antaa merkittävästi virheellisen kasvuarvion, mutta koko metsäalueen puuston kasvun

arvioinnissa ne ovat merkittävästi luotettavampia. Etenkin suuralueille kasvuyhtälöt ovat helppo ja kätevä ratkaisu.

Käsillä oleva tutkimus pyrkii sellaisten kuutiokasvuyhtälöiden kehittämiseen, joita voidaan käyttää käytännön metsänarviointitehtävissä helpottamaan, nopeuttamaan ja halventamaan taloussuunnitelman laadintaan tai vastaavaan tehtävään liittyvän kasvuennusteen suorittamista. Tavoitteena ovat yhtälöt, joiden avulla voidaan laatia myös nykymetsien alueellisia kasvu- ja tuotostaulukoita sekä lyhytaikaisia valtakunnallisia kehitysennusteita.

Merkittävää tukea ja apua ovat antaneet professori Yrjö Vuokila työn kaikissa vaiheissa, VTK Risto Häkkinen tilastomatemaattisissa ja ATK kysymyksissä, sekä MMK Kari Mielikäinen. Aineistojen esikäsittelyssä ovat avustaneet MMK Tapani Hänninen, tutk. apulaiset Hannele Alhola ja Riitta Paussu (lisäksi konekirjoitus), metsät.yo. Pertti Tarvasmäki ja lävistäjät Airi Pouttu ja Maire Soimula.

Ashley Selby, B.Sc., on tarkistanut tutkimuksen englanninkielisen osan. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Kullervo Kuusela ja Yrjö Vuokila, MMT Pentti Roiko-Jokela, VTK Risto Häkkinen, MMK Kari Mielikäinen ja MH Mauri Timonen.

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

2. TUTKIMUSAINEISTO

Varsinaisena tutkimusaineistona on käytetty valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin (1951—53) koealoja. Koeala-aineiston tekee erityisen arvokkaaksi tämän tutkimuksen kannalta se seikka, että ympyräkoealojen koko oli suuri (0,1 ha) ja että puustotiedot, kasvu mukaan luettuna, laskettiin aikanaan koealakohtaisesti. Tutkimusaineisto käsittää koko maan (Ilvessalo 1951).

Tulosten luotettavuutta on pyritty testaamaan valtakunnan metsien viidennen inventoinnin (1964—68) aineiston avulla siinä määrin kuin se on ollut mahdollista. Kyseisen inventoinnin koealat olivat relaskooppihavaintoja, jotka peittivät lohkosysteemin puitteissa koko maan. Keskimäärin relaskooppikoeala käsitti 7—8 puuta. Jokainen luettu puu oli koepuu, josta määritettiin kuutiomäärä ja kasvun laskennan vaatimat tunnukset (Kuusela ja Salminen 1969).

Kolmannen inventoinnin aineiston käyttöä voidaan arvostella siltä pohjalta, että se on jo vanhentunut. Näin epäilemättä onkin, jos aineistoa tarkastellaan inventointityyppisten selvitysten kannalta. Metsävarat ovat sitten 1950-luvun merkittävästi muuttuneet, eikä kolmas inventointi voi antaa niistä enää tätä nykyä tyydyttävää kuvaa. Käsillä olevassa julkaisussa ei ole kuitenkaan kysymys tällaisesta inventointitutkimuksesta. Tarkoitus on selvittää ko. aineistosta, miten siinä kuutiokasvu riippuu metsikkötunnuksista ja niiden muutoksista. Tässä mielessä aineiston voidaan katsoa olevan yhä käyttökelpoinen, vaikka metsien kehitysluokkasuhteet ovat nykyisin erilaiset kuin aineiston mittaushetkellä. Metsiköitä käsiteltiin 1950-luvulla todennäköisesti jonkin verran toisin kuin nykyisin. Harsinnan luonteiset hakkuut olivat nykyistä yleisempiä, vahvat harvennukset olivat harvinaisia, ja metsikön sisäinen rakenne oli kenties vaihtelevampi kuin nykyisin.

Tärkeämpää kuin aineston ikä tai metsikön käsittely on kuitenkin, että mittaustiedot täyttävät tutkimustehtävän asettamat edellytykset ja että yhtälöihin sisältyvien metsikkötunnusten vaihtelualue on yhtä laaja kuin nykyisinkin (ks. taulukko 3).

Taulukossa 1 on esitetty puulajeittain ja ikäluokittain kummastakin tutkimusaineistosta lasketut 5-vuotiskausien keskimääräiset kasvuprosentit aritmeettisina keskiarvoina ja vastaavat keskikuutiomäärät.

Taulukosta nähdään, että koko aineiston keskiarvona viides inventointi antaa männyn ja kuusen osalta selvästi korkeamman kasvuprosentin kuin kolmas inventointi. Eron aiheuttaa kuitenkin pääasiassa nuorin ikäluokka, alle 40 v, missä viides inventointi osoittaa kolmanteen verrattuna selvästi korkeampaa kasvutasoa. Toisaalta on merkille pantavaa, että vanhemmissa ikäluokissa puolestaan kolmannen inventoinnin tulokset johtavat viidettä inventointia korkeampiin kasvuprosentteihin.

Taulukossa 1 suoritettu vertailu ei merkitse välttämättä sitä, että jompikumpi inventointi olisi johtanut systemaattisesti virheelliseen tulokseen. Pääsyynä eroihin ovat ikäluokkarakenteessa tapahtuneet muutokset ja keskikuutiomäärän nouseminen vertailtavien inventointien välisenä aikana. Kahta nuorinta ikäluokkaa huomioon ottamatta kolmannen inventoinnin korkeampi kasvutaso johtuu siitä, että keskikuutiomäärä on yleensä pienempi kuin viidennessä inventoinnissa. Toisaalta alle 60 vuotta vanhoissa metsiköissä pienikin ero aineistoihin sisältyvien metsiköiden keskimääräisessä iässä selittää todetun kasvuprosenttieron. Nuoria taimistoja oli 1960- luvun lopussa enemmän kuin 1950-luvun alussa. Taimistoja on ryhdytty myös harventamaan entistä voimakkaammin, mikä kohottaa keskimääräistä kasvuprosenttia. Kokonaan ei voida sulkea pois sitä mahdollisuutta, että ero johtuu jossain määrin myös erilaisista inventointimenetelmistä ja ilmastollisesta vaihtelusta. Menetelmistä aiheutuvan ristiriidan mahdollisuus on suurin taimistoissa ja nuorissa metsiköissä.

Kaiken kaikkiaan taulukko 1 (ks. myös taulukot 2 ja 3) vahvistaa sitä olettamusta, että kolmannen inventoinnin aineisto on edelleen sovellutuskelpoinen. Epäilemättä tämänkin inventoinnin aineistoon sisältyy kaikkia niitä käsittelyvaihtoehtoja, joita tavataan nykymetsissä, olkoonkin että painopiste on jossain määrin toisella taholla kuin viidennessä inventoinnissa.

Kolmannen inventoinnin aineistosta on valittu kasvuyhtälöiden laadintaa varten sellaiset täyskoealat, jotka sijaitsevat kasvullisen metsämaan kangaskuvioilla. Näistä on edelleen hyväksytty vain yksijaksoiset mänty-, kuusi- ja koivumetsiköt, joissa pääpuulajia on ollut yli 50 % kuutiomäärästä. Seuraavat kehitysluokat (Ilvessalo 1951) ovat aineistossa mukana:

Taimistot (valtapituus 4 ÷ m)
Harvennusmetsiköt
Väljennysmetsiköt
Uudistusmetsiköt
Harsitut metsiköt
Yli-ikäiset ja puulajiltaan muutettavat (kuusi- ja koivu-) metsiköt

Vastaavaan valintaan on pyritty myös viidennen nventoinn in osalta, mutta käsitteiden ja menetelmien erilaisuudesta johtuen aineistot poikennevat jossain määrin toisistaan.

Tutkimuksen koeala-aineisto käy ilmi taulukosta 2. Kolmannen inventoinnin aineistosta on mukana 3 321 täyskoealaa, näistä 1 626 männikköä, 1 409 kuusikkoa ja 286 koivikkoa. Viidennestä inventoinnista saatu vertailuaineisto käsittää puolestaan 1 573 relaskooppikoealaa, näistä 874 männikköä, 631 kuusikkoa ja 68 koivikkoa. Aineisto on siten erittäin suuri ja takaa sen, että edellytykset luotettavien kasvuyhtälöiden laatimiseen ovat hyvät. Taulukosta 3 ilmenevät edelleen aineistojen tiettyjen metsikkötunnusten vaihtelualueet ja keskiarvot puulajeittain.

Ennen yhtälöiden laatimista kuutiokasvuprosentit korjattiin keskimääräistä ilmastoa vastaaviksi mittausjakson keskimääräisten ilmastoindeksien avulla. Indeksit on laskettu 1950-luvulla metsäntutkimuslaitoksen arvioimisosastolla.

3. VALTAKUNNALLISET KUUTIOKASVUYHTÄLÖT

31. Yhtälöissä käytetyt merkinnät

Yhtälöissä esiintyvillä merkinnöillä tarkoitetaan seuraavaa.

Metsikkömerkinnät — *Stand symbols:*

P_{v5} = metsikön tulevan 5-vuotiskauden kuutiokasvuprosentti kuorineen
increment percentage of the stand during the future 5-year period, incl. bark

T = metsikön ikä, v
stand age, years

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

V = metsikön kuutiomäärä kuorineen, m^3/ha
volume of the stand, i.e. solid stem wood above stump, m^3 per ha incl. bark

G = metsikön pohjapinta-ala kuorineen, m^2/ha
basal area of the stand, m^2 per ha incl. bark

Matemaattiset merkinnät — *Mathematical symbols:*

$\exp(f(x)) = e^{f(x)}$
e = Neperin luku = 2,7182818 . . .
ln = luonnollinen logaritmi (järjestelmä)
system of natural logarithms

32. Yhtälöiden laadinta ja rakenne

Yhtälöissä on pyritty käyttämään sellaisia metsikkötunnuksia, muuttujia, jotka ovat helposti mitattavissa käytännön metsänarvioimistehtävissä. Tämä perustuu siihen, että puuston kasvu voidaan selittää käytäntöä ajatellen riittävän tarkasti metsikön ikää (T), kasvupaikkaa (T,H_{dom}) ja tiheyttä (V tai G) kuvaavin tunnuksin.

Yhtälöiden laadinnassa ja muuttujien muunnosten valinnassa sovellettiin aluksi graafista menettelyä, missä ns. »matchacurve»-menetelmä (vrt. Jensen ja Homeyer 1970, 1971, Jensen 1973) oli tärkeällä sijalla (vrt. myös Kilkki ja Siitonen 1975). Potenssieksponenttien hienosäätö ja yhtälöiden lopullisten parametrien määritys tapahtui tämän jälkeen tavanomaista regressioanalyysiä käyttäen. Erityistä huomiota kiinnitettiin viime vaiheessa vaihtoehtoisten yhtälömallien systemaattisten virheiden tarkasteluun. Tämä tapahtui selvittämällä yhtälön luotettavuutta aineiston kaikissa osissa.

Yhtälöiden perusmallit perustuvat aikaisempien tutkimusten tuloksiin (Kuusela ja Kilkki 1963, Vuokila 1965 ja Koivisto 1970). Pelkät logaritmimuunnokset eivät tässä tapauksessa olleet riittäviä, vaan korottamalla logaritmimuunnokset sopiviin potensseihin saatiin selitettävän ja selittävien muuttujien suhteet parhaiten linearisoiduiksi. Puuston valtapituus ja kuutiomäärä korreloivat keskenään voimakkaasti, ja näiden muuttujien yhteisvaikutus määrää sen tason, jolle kasvuprosentin iänmukainen trendi asettuu.

Kaikkiaan kuutiokasvuyhtälöitä on 27 kpl. Alueellisesti niitä on kolmea tyyppiä. Lisäksi yhtälöt poikkeavat toisistaan muuttujien lukumäärän puolesta:

	Selittävät muuttujat		
	T, H_{dom}, V	T, H_{dom}, G	T, V
	Yhtälön numero		
Koko maa			
Mänty	1		
Kuusi	2		
Koivu	3a		3b
Etelä-Suomi			
Mänty	4	6	5
Kuusi	7	9	8
Koivu	10	12	11
Pohjois-Suomi			
Mänty	13	15	14
Kuusi	16	18	17
Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa			
Mänty	19		20
Kuusi	21		22
Lappi			
Mänty	23		24
Kuusi	25		26

33. Yhtälöt

Koko maa — Whole country

Mänty — Pine

1. $P_{v5} = \exp\{2{,}77432+1{,}02982[5{,}69-\ln T]-0{,}06296[\ln (V\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$

Kuusi — Spruce

2. $P_{v5} = \exp\{10{,}86168-2{,}71727[\ln T]^{0{,}65}-0{,}00164[\ln (V\ H_{dom})]^{3{,}00}\}$

Koivu — Birch

3a. $P_{v5} = \exp\{9{,}28134-3{,}28948[\ln T]^{0{,}60}+0{,}74753\ \ln(V\ H_{dom})-0{,}07086[\ln (V\ H_{dom})]^{2{,}00}\}$
3b. $P_{v5} = \exp\{11{,}89924-3{,}26896[\ln T]^{0{,}60}-0{,}21898\ \ln V\}$

Etelä-Suomi—Southern Finland (piirimetsälautakunnat 1—15) (Forestry board districts 1—15)

Mänty

4. $P_{v5} = \exp\{2{,}95091+1{,}05986[5{,}69-\ln T]^{0{,}90}-0{,}07100[\ln (V\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$
5. $P_{v5} = \exp\{1{,}63805+0{,}68384[5{,}69-\ln T]^{1{,}25}+0{,}15543[5{,}97-\ln V]^{1{,}55}\}$
6. $P_{v5} = \exp\{2{,}43732+1{,}91365[\ln T]^{0{,}60}-0{,}33499\ \ln (G\ H_{dom})\}$

5.69-

Kuusi

7. $P_{v5} = \exp\{9{,}25266-1{,}99553[\ln T]^{0{,}65}-0{,}00216[\ln (V\ H_{dom})]^{3{,}00}\}$
8. $P_{v5} = \exp\{9{,}50150-1{,}31769[\ln T]^{0{,}80}-0{,}52557[\ln V]^{0{,}90}\}$
9. $P_{v5} = \exp\{3{,}16628+0{,}71152[5{,}50-\ln T]^{1{,}10}-0{,}00499[\ln (G\ H_{dom})]^{3{,}00}\}$

Koivu

10. $P_{v5} = \exp\{10{,}65520-2{,}50830[\ln T]^{0{,}60}-0{,}07567[\ln (V\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$
11. $P_{v5} = \exp\{11{,}16634-2{,}66489[\ln T]^{0{,}60}-0{,}36693\ \ln V\}$
12. $P_{v5} = \exp\{7{,}83970-0{,}60329[\ln T]^{1{,}20}-0{,}09984[\ln (G\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$

Pohjois-Suomi — Northern Finland (piirimetsälautakunnat 16—19)

Mänty

13. $P_{v5} = \exp\{2{,}83315+0{,}84866[5{,}69-\ln T]^{1{,}25}-0{,}05750[\ln (V\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$
14. $P_{v5} = \exp\{1{,}53846+0{,}79884[5{,}69-\ln T]^{1{,}40}-0{,}00723[5{,}69-\ln T]^{4{,}50}+0{,}12236[5{,}97-\ln V]^{1{,}55}\}$
15. $P_{v5} = \exp\{2{,}61551+0{,}90981[5{,}69-\ln T]^{1{,}20}-0{,}07761[\ln (G\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$

Kuusi

16. $P_{v5} = \exp\{12{,}85558-3{,}22716[\ln T]^{0{,}65}-0{,}16904\ \ln (V\ H_{dom})\}$
17. $P_{v5} = \exp\{9{,}36616-1{,}23072\ \ln T-0{,}10872[\ln V]^{1{,}30}\}$
18. $P_{v5} = \exp\{2{,}63485+1{,}15340[5{,}50-\ln T]^{1{,}10}-0{,}05744[\ln (G\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$

Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa (piirimetsälautakunnat 16—17)

Mänty

19. $P_{v5} = \exp\{3{,}68602+0{,}62500[5{,}69-\ln T]^{1{,}25}-0{,}08320[\ln (V\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$
20. $P_{v5} = \exp\{1{,}82037+0{,}54257[5{,}69-\ln T]^{1{,}40}+0{,}16992[5{,}97-\ln V]^{1{,}55}\}$

Kuusi

21. $P_{v5} = \exp\{12{,}20508-2{,}68005[\ln T]^{0{,}65}-0{,}28188\ \ln (V\ H_{dom})\}$
22. $P_{v5} = \exp\{8{,}99150-1{,}03789\ \ln T-0{,}18069[\ln V]^{1{,}30}\}$

Lappi (piirimetsälautakunnat 18—19)

Mänty

23. $P_{v5} = \exp\{2{,}79139+0{,}81442[5{,}69-\ln T]^{1{,}25}-0{,}05720[\ln (V\ H_{dom})]^{1{,}50}\}$
24. $P_{v5} = \exp\{1{,}55713+0{,}72825[5{,}69-\ln T]^{1{,}40}+0{,}11238[5{,}97-\ln V]^{1{,}55}\}$

Kuusi

25. $P_{v5} = \exp\{11{,}33760-2{,}75520[\ln T]^{0{,}65}-0{,}14934\ \ln (V\ H_{dom})\}$
26. $P_{v5} = \exp\{8{,}27459-1{,}04671\ \ln T-0{,}08691[\ln V]^{1{,}30}\}$

Yhtälöitä, jotka sisältävät muuttujina metsikön iän, valtapituuden ja kuutiomäärän, on pidettävä tärkeimpinä. Näitä täydentävät yhtälöt, jotka perustuvat ikään ja kuutiomäärään. Lisäksi on laadittu vaihtoehtona kolmen muuttujan yhtälöt, joissa kuutiomäärä on korvattu pohjapinta-alalla.

Käytäntöä varten on taulukoitu (ks. liite 1) vain iän ja kuutiomäärän sisältävät yhtälöt. Muiden yhtälöiden taulukointi vaatisi kohtuuttomasti tilaa. Laajamittainen taulukointi ei liene tarpeenkaan, koska yhtälöt soveltuvat lähinnä tietokonein tapahtuvaan kasvun ennustamiseen.

Yhtälöiden vakiotermeissä on korjattu se virhe, joka syntyy kun selitettävänä muuttujana oleva logaritmimuunnos palautetaan alkuperäiselle asteikolle. Regressioanalyysin antamat alkuperäiset vakiotermit (ks. taulukot 5a, b, c) ovat tämän takia kaikki saaneet lisäyksen $s_e^2/2$ (vrt. Laasasenaho 1976 s. 33). Yhtälöitä vastaavat jäännöshajonnat s_e (s_e^2 = jäännösvarianssi) ilmenevät taulukosta 4.

4. YHTÄLÖIDEN LUOTETTAVUUS

41. Tilastomatemaattinen luotettavuus

Muodostettujen yhtälöiden yleistä tilastomatemaattista luotettavuutta havainnollistaa taulukko 4.

Mänty-yhtälöt selittävät tässä aineistossa esiintyvästä kasvun vaihtelusta 69—76 %. Selitysasteessa ei esiinny suuria eroja maan eri osia varten laadittujen yhtälöiden välillä. Kuitenkin voidaan todeta, että Lapin yhtä-

löillä on hieman alhaisempi selitysaste kuin muilla. Kuusiyhtälöiden selitysaste vaihtelee alueittain eniten. Se on yleensä alle 70 %. Lapin yhtälöt selittävät vain hieman yli 40 % vaihtelusta. Keskimäärin korkein selitysaste, 71—78 %, on koivuyhtälöillä, joita on kuitenkin laadittu vain koko maalle ja Etelä-Suomelle. Alhainen selitysaste ei välttämättä merkitse sitä, että yhtälö olisi vähemmän luotettava. Osa-alueiden yhtälöt perustuvat erilaisiin otoksiin, ja selitysastetta ei pidä käyttää luotettavuuskriteerinä verrattaessa eri otoksista laskettuja yhtälöitä. Se on nimenomaan jokaista yhtälöä erikseen hyvin kuvaava tilastomatemaattinen tunnus (vrt. K o z a k 1976). Lapin yhtälöiden alhaiset selitysasteet johtuvat useista tekijöistä. Pääsyy on aineiston painottuminen vanhojen, jopa yli-ikäisten metsien osalle kolmannessa inventoinnissa. Tämä merkitsee, että selitettävä hajonta (ks. taulukko 4) sekä selittävien muuttujien vaihtelualueet ovat pieniä, mikä heikentää selitysastetta (vrt. K o z a k 1976).

Valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin aineistosta voitaisiin myös laatia yhtälöitä, joiden selitysaste olisi vielä parempi kuin mitä taulukossa 4 on esitetty. Yhtälöiden tilastomatemaattista luotettavuutta voitaisiin parantaa siten, että yhdeksi selittäväksi muuttujaksi otettaisiin edellisen kauden kairauksin mitattu kasvu. Kun tarkoituksena kuitenkin oli saada aikaan käytännössä helposti sovellettavat yhtälöt, muuttujiksi oli valittava yksinkertaisia metsikkötunnuksia. Tavoitteena oli nimenomaan eliminoida kairaus kasvun arvioinnista.

Taulukot 5a—c esittävät yhtälöissä käytettyjen selittävien muuttujien merkitsevyyttä. Niistä käy ilmi, että muuttujista on merkitsevin puuston ikä (vrt. K u u s e l a ja K i l k i 1963, V u o k i l a 1965, K o i v i s t o 1970, M i e l i k ä i n e n 1975). Pohjapinta-ala ei sen sijaan kykene täysin korvaamaan kuutiomäärää tiheystunnuksena. Yleensä muuttujien t-arvot ovat erittäin korkeita. Eräissä tapauksissa on kuitenkin todettu heikohkonkin t-arvon saaneen muuttujan parantavan yhtälön luotettavuutta. Edelleen (vrt. taulukko 4) voidaan päätellä, että puuston iän ja kuutiomäärän jälkeen valtapituus selittää kuutiokasvuprosentissa esiintyvää jäännösvaihtelua merkittävästi.

Yhtälön selitysaste, sen korkeus tai alhaisuus, ei ole kuitenkaan ratkaiseva käyttökelpoisuuden mitta. Hyvä selitysaste ei poista esim. sitä mahdollisuutta, että tietyssä osassa aineistoa yhtälö voi antaa sangen virheellisiä tuloksia. Heikommalla selitysasteella varustettu yhtälö voi olla tässä suhteessa parempi. Tärkeintä on, että yhtälö ei anna systemaattisia virheitä kasvun normaalilla vaihtelualueella.

42. Systemaattinen virhe

Systemaattisella virheellä tarkoitetaan sitä, että yhtälöt antavat keskimäärin liian suuria tai pieniä kasvuprosentteja kasvun tietyillä vaihtelualueilla. Tämä ratkaisee loppujen lopuksi yhtälön hyväksymisen tai hylkäämisen.

Systemaattisen virheen eliminoimiseksi yhtälöiden kehittelyn yhteydessä tarkkailtiin jatkuvasti, miten vaihtoehtoiset yhtälö- ja muuttujaratkaisut sopivat aineiston kaikkien osien tasoittamiseen. Tarkastelua varten viitataan liitteeseen 2.

Tärkein ja tehokkain kontrolli saatiin kolmiulotteisin (ikä-valtapituus-kuutiomäärä/pohjapinta-ala) ja kaksiuloitteisin (ikä-kuutiomäärä) taulukoin. Systemaattista virhettä tutkittiin näin tilanteissa, joissa metsikkötunnukset vaihtelivat aineiston koko peittävyysalueella.

Yleisesti voidaan sanoa, ettei yksikään esitetyistä yhtälöistä sisällä selvää systemaattista virhettä, kun tätä mahdollisuutta tarkastellaan yhtälöiden taustana olevan aineiston perusteella. Tämä päätelmä koskee etenkin metsikkötunnusten normaaleja vaihtelualueita, joilta on käytettävissä riittävästi havaintoja systemaattisen virheen luotettavaksi toteamiseksi.

Vaihtelualueiden äärilaidoilla luotettavuustarkastelu antaa joissakin tapauksissa aihetta epäillä, että systemaattisen virheen mahdollisuus on olemassa. Kysymys on kuitenkin vain epäilystä, sillä aineiston vähäisyyden vuoksi virhe voi johtua sattumasta.

Koko maan mänty-(1), kuusi-(2) ja koivu-(3b) yhtälöt sekä Pohjois-Suomen mänty-yhtälöt (13, 14, 15) voivat antaa systemaattisesti liian korkeita kuutiokasvuprosentteja nuorehkoissa (25—45 v) ylitiheissä metsiköissä, jos valtapituus on yli 10 m. Kun kuutiomäärän täytyy samanaikaisesti olla yli 100 m^3/ha, ovat tällaiset tapaukset harvinaisia.

Vastaavaa virhevaaraa ei ole alueellisissa yhtälöissä, jotka on laadittu Etelä-Suomea, Pohjois-Pohjanmaa—Kainuuta ja Lappia varten, koska alueelliset yhtälöt perustuvat kasvun kannalta yhtenäisempiin olosuhteisiin. Kuitenkin täytyy mainita, että myös Pohjois-Pohjanmaa—Kainuun ja Lapin yhtälöissä on kuusikoiden ja männiköiden osalta vaara saada systemaattisesti liian korkeita kasvuprosentteja nuorehkoissa (alle 45 v) metsiköissä. Tämä pätee ensi sijassa ikään (T) ja kuutiomäärään (V) perustuviin yhtälöihin. Epävarmuus johtuu nimenomaan siitä, että havaintojen lukumäärä Pohjois-Suomen nuorehkoista metsiköistä on alhainen.

Liitteestä 2 todettavissa oleva virheen vaihtelu osoittaa, ettei yhtälöihin liity keskimäärin systemaattista virhettä. Virheen mahdollisuus näyttää olevan suhteellisen vähäinen varsinkin 5-vuotiskauden kasvuprosentin tavallisella vaihtelualueella, ts. kun kasvuprosentti on pienempi kuin 60. Mainittua korkeammilla kasvuprosenttiarvoilla, joita esiintyy käytännössä sangen harvoin, voidaan havaita suhteellisen suuriakin virheitä. Toisaalta on huomattava, että näin korkeita prosentteja esiintyy vain nuorissa metsiköissä (alle 30 v), joissa kuutiomäärä on pieni ja absoluuttisessa kuutiokasvussa mahdollisesti syntyvä virhe tästä syystä siedettävä.

Huomattakoon, että virhevaihtelu on pääfunktioilla (T, H_{dom}, V) pienempi ja satunnaisempi kuin muilla yhtälöillä. Ikään (T) ja kuutiomäärään (V) perustuvia yhtälöitä on testattu myös viidennen inventoinnin aineistolla (liite 2). Testaus jouduttiin rajoittamaan näihin yhtälöihin siitä syystä, että testiaineistosta puuttuvat valtapituutta koskevat tiedot (vrt. taulukko 3). Odotetusti tämä vertailu ei anna yhtä myönteistä tulosta kuin edellä selostettu tarkastelu. Syynä tähän on oletettavasti kolmannen ja viidennen inventoinnin aineistojen välinen systemaattinen ero (taulukko 1). Tästä syystä kyseiselle vertailulle ei voida antaa erityisempää painoa. Tulos on kuitenkin mielenkiintoinen siinä mielessä, että yleensäkin saadaan suurempi virhearvio silloin, kun vertailua suoritetaan rinnakkaisaineistoon (vrt. S t r a n d 1968). Myös viimeksi mainittu vertailu osoittaa, että tavanomaisissa vaihtelurajoissa virhemahdollisuus on hyväksyttävää suuruusluokkaa. Todettakoon että korkeimpien prosenttien osalta ei virhe ole kovin paljon suurempi kuin omaan laskentamateriaaliin verrattaessa. Myös tässä tapauksessa voidaan todeta satunnaisempi virhevaihtelu pääfunktiota testattaessa.

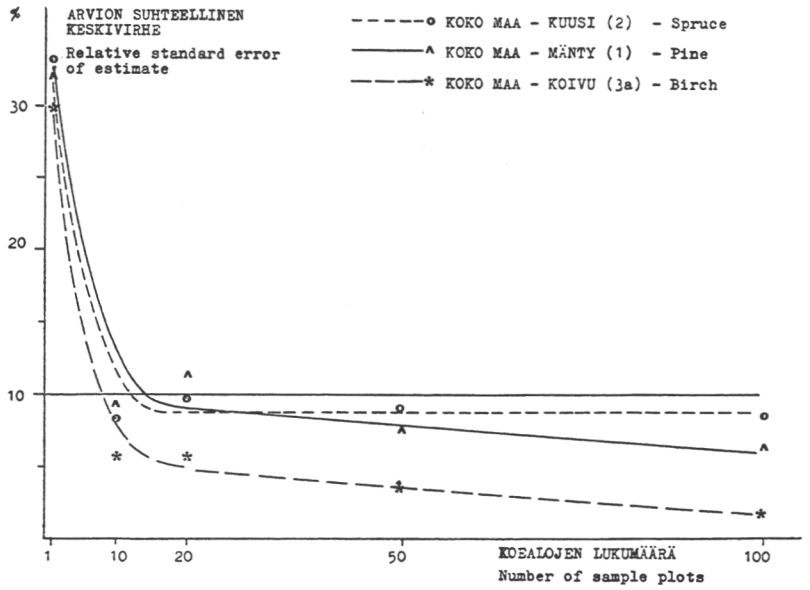
43. Yhtälöiden luotettavuus metsäalueen inventoinnissa

Käytännöllisen luotettavuustarkastelun lähtökohtana voidaan pitää sitä virhettä, joka syntyy yhden metsikön kuutiokasvuprosentin arvioinnissa. Luotettavuutta on mitattu laskemalla kunkin havainnon yhtälöllä lasketun ja mitatun kasvuprosentin eron suhteellinen suuruus lasketusta arvosta ja lopuksi laskemalla näiden lukujen hajonta (vrt. V u o k i l a 1960a). Jatkossa tätä hajontaa nimitetään arvion suhteelliseksi keskivirheeksi.

Eri yhtälöillä saatujen arvioiden suhteellista keskivirhettä esittää taulukko 6. Siinä on tiedot annettu paitsi koko aineistolle myös kolmelle ikäluokalle. Koska kysymyksessä on logaritminen yhtälö (vrt. L a a s a s e n a h o 1976 s. 37), saataisiin likimain samat luvut kuin taulukossa 6 suoraan kertomalla taulukon 4 jäännöshajonnat (s_e) luvulla 100. Samankaltaisuus on sitä tarkempi, mitä pienempi jäännöshajonta on. Nyt kysymyksessä olevassa vertailussa taulukosta 4 ilmikäyvät arvot jäävät kahta tapausta lukuunottamatta jonkin verran taulukossa 6 esitettyjä pienemmiksi, koska jäännöshajonta on suhteellisen suuri. Jos taulukon 4 lukujen sijalle asetetaan $s_e = \sqrt{e^{s_c^2}-1}$, saadaan parempi yhdenmukaisuus.

Käytettäessä esitettyjä yhtälöitä yhden metsikön kasvuprosentin arvioinnissa on taulukon 6 mukaan arvion suhteellinen keskivirhe puulajista riippumatta n. 30 %. Jos oletetaan, että edellä mainitut suhteelliset poikkeamat ovat satunnaisia ja noudattavat likipitäen normaalijakaumaa, voidaan määritellä luotettavuusrajat niin, että 32:ssa tapauksessa 100:sta on arvion suhteellinen keskivirhe yli 30 %. Vastaavasti 5:ssä tapauksessa 100:sta yli 60 %, ja harvinaisissa äärimmäistapauksissa voi siis syntyä jopa yli 90 %:n virhe.

Vaikka havaintojen lukumäärä vaihtelee eri luokissa, voitaneen todeta, että koivuyhtälöiden antaman arvion suhteellinen keskivirhe kasvaa iän lisääntyessä. Kun vastaavasti kasvuprosentti pienenee puuston vanhentuessa, arvion luotettavuus pysynee absoluuttisesti jokseenkin muuttumattomana kaikissa puuston kehitysvaiheissa.



Kuva 1. Koealojen lukumäärän vaikutus metsäalueen keskimääräisen kasvuprosenttiarvion suhteelliseen keskivirheeseen koko maan yhtälöitä sovellettaessa.

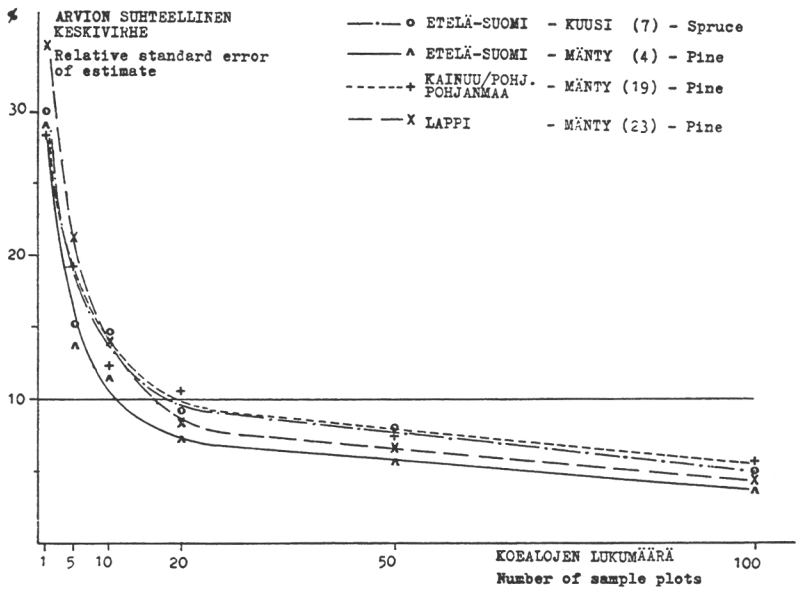
Figure 1. The relative error of estimate based on varying numbers of sample plots, when applying the functions for the whole country.

Lukuun ottamatta yhtälöitä 23 ja 24 suunta näyttää olevan se, että mänty-yhtälöt antavat ikäluokassa 46—80 v. tarkemman tuloksen kuin sitä nuoremmissa ja vanhemmissa ikäluokissa. Sama koskee kuusen koko maan ja Etelä-Suomen yhtälöitä. Pohjoissuomalaiset kuusiyhtälöt ovat nuorimmassa ikäluokassa luotettavammat kuin vanhemmissa puustoissa. Kysymyksessä voi tosin olla sattuma, koska aineistoa on maan pohjoisosan nuorista kuusikoista niukasti. Sekä männyllä että kuusella koko Pohjois-Suomen yhtälöt ovat jonkin verran epätarkemmat kuin Etelä-Suomen. Tämä johtunee siitä, että Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa toisaalta ja Lappi toisaalta ovat kasvualueina toisistaan huomattavasti poikkeavia, mikä näkyy yhteisten yhtälöiden luotettavuustunnuksissa. Erityisesti Kainuun osalta on merkitystä sillä, että käytettävissä ovat omat alueelliset kasvuyhtälöt.

Yhtälöiden soveltaminen useita metsiköitä käsittävällä metsäalueella johtaa tarkempaan kasvuarvioon kuin yhdessä metsikössä, koska eri suuntiin vaikuttavat poikkeamat tasoittavat toisiaan. Metsäalueen inventoinnissa tapahtuvan virheen suuruusluokan selvittämiseksi suoritettiin laskelmia kolmannen inventoinnin aineistosta.

Koko maan aineistosta valittiin sattumanvaraisesti kaikille kolmelle puulajille otoksia, joiden koko oli 10, 20, 50 tai 100 koealaa. Kullakin otoskoolla otanta toistettiin 11 kertaa. Kukin otos käsitti tietyn piirimetsälautakunnan tiedoston perättäiset koealat, koska näin saatiin aikaan likimain sama tilanne kuin käytännön inventoinneissa, joissa arvioitavat metsiköt sijaitsevat rinnan saman suppean alueen puitteissa. Kustakin otoksesta laskettiin mitattujen ja koko maan yhtälöllä laskettujen kasvuprosenttien keskiarvojen erotuksen ja laskettujen kasvuprosenttien keskiarvon suhde, jota käytettiin otoksen ennustevirheen mittana. Otoskoon vaikutusta ennustevirheeseen selvitettiin laskemalla kunkin otoskoon osalta edellä esitettyjen suhdelukujen hajonta, joka kuvaa käytännössä saavutettavaa tarkkuutta metsäalueen inventoinnissa.

Tulokset ovat nähtävissä kuvassa 1. Vertailun vuoksi kuvaan on merkitty myös yhden metsikön kasvuarvion suhteellinen keskivirhe. Kuvasta havaitaan edellä jo todettu



Kuva 2. Koealojen lukumäärän vaikutus metsäalueen keskimääräisen kasvuprosenttiarvion suhteelliseen kaskivirheeseen osa-alueiden yhtälöitä sovellettaessa.

Figure 2. The relative error of estimate based on varying numbers of sample plots, when applying some of the functions for subareas.

seikka (ks. taulukko 6), että yhden koealan perusteella tehdyn arvion suhteellinen keskivirhe on noin 30 %. Kun koealoja on 10 kpl, keskivirhe putoaa alle 10 %:n. Koivulla arvion suhteellinen keskivirhe laskee kuvan 1 mukaan jyrkästi tämänkin jälkeen havaintojen lukumäärän lisääntyessä. Männyllä virhe pienenee huomattavasti hitaammin. Kuusella ei tapahdu kuvan 1 mukaan mainittavaa keskivirheen pienenemistä, vaikka lisätään havaintojen lukumäärää.

Kuvassa 1 esitetyt käyrät perustuvat kunkin otoskoon osalta vain 11 toistettuun otokseen. Vertailu perustuu sitä paitsi vain koko maata varten tarkoitettuihin ja siitä syystä keskimääräisiin yhtälöihin. Tämä näkyy ennen muuta kuusta esittävässä käyrässä, jonka poikkeuksellisen käyttäytymisen se samalla selittää. Kuvan perusteella voidaan joka tapauksessa todeta, että koko maata kuvaavilla yhtälöilläkin päästään käytännön metsänarvioimistehtävissä alle 10 %:n keskivirheeseen. Suhteellinen keskivirhe lienee 8—9 %:n luokkaa niillä koealamäärillä, joita käytännössä sovelletaan. Tämä merkitsee sitä, että 32:ssa tapauksessa 100:sta on arvion suhteellinen keskivirhe yli 8—9 %, ja 5:ssä tapauksessa 100:sta yli 16—18 %. Äärimmäistapauksissa virhe voi olla 25—30 %.

Vastaavia laskelmia on suoritettu myös Etelä-Suomen mänty- ja kuusiyhtälöillä sekä Lapin ja Pohjois-Pohjanmaa—Kainuun mänty-yhtälöillä. Nämä lienevät niitä, joita käytännössä tullaan lähinnä soveltamaan. Tulokset ovat nähtävissä kuvassa 2. Edellisestä poiketen kullakin otoskoolla otanta toistettiin 20 kertaa.

Kuva 2 täsmentää kuvan 1 antamaa käsitystä ja selvittää samalla sitä epäjohdonmukaisuutta, joka ilmeni koko maan kuusi- ja osaksi myös mänty-yhtälöiden luotettavuustarkastelussa. Kokeilluilla alueellisilla yhtälöillä arvion suhteellinen keskivirhe laskee alle 10 %:n 10—15 koealan aineistolla. Kasvuarvion keskivirhe on 50 koealan perusteella 7—8 % ja 100 koealalla 4—5 %. Havaintojen lukumäärän lisääntyessä saadaan yhä tarkentuva kasvuarvio.

Kaiken kaikkiaan yhtälöiden ja erityisesti alueellisten yhtälöiden antamaa kasvuarvion tarkkuutta on pidettävä käytäntöä ajatellen vähintäänkin tyydyttävänä. Kasvuarvio voi-

daan tosin saada tätä tarkemmaksi, jos otetaan kairauksin runsaasti kasvunäytteitä. Niinpä Nyyssönen (1954) on arvioinut, että suoritettaessa yli 20 kairausta koealaa kohden päästään yksittäiskoealalla 5—6 %:n keskivirheeseen. Jos kairausten lukumäärä alennetaan esim. alle viiden, suhteellinen keskivirhe kasvaa kuitenkin huomattavasti (Nyyssönen 1951, 1954 s. 158). Käytännössä ei kairauksia yleensä voida suorittaa juuri tätä enempää. Lisäksi on huomattava, että kairaus on taannehtiva ja että käytännössä menneen kauden kasvu voi poiketa huomattavasti tulevan kauden kasvusta, mistä kuitenkin ollaan lähinnä kiinnostuneita. Yhtälöt ovat sitä vastoin tarkoitetut ennustamiseen ja antavat keskimääräisilmastoa vastaavan kasvuarvion. Suurten alueiden kasvun arvioinnissa kestokoealoja käytettäessä Nyyssönen (1968) toteaa keskikasvun keskivirheen vaihtelevan 2,3 %:sta 4 %:iin. Koealojen lukumäärä on tällöin ollut huomattavasti suurempi kuin kuvassa 2 esitetyssä äärimmäistapauksessa (100 kpl). Toisen vertailukohdan tarjoavat Mäkisen (1964) tutkimukset. Yhtenäisessä koeala-arvioinnissa kolmen aarin koealoin, kairattujen koepuiden lukumäärän ollessa koealaa kohden huomattavasti alle 10, tarvitaan Mäkisen mukaan yli 40 koealaa, jotta keskivirhe laskisi alle 10 %:n, ja 174 koealaa 5 %:n keskivirheen saavuttamiseen.

Tähän mennessä ovat olleet käytettävissä Ilvessalon (1948) kasvunlaskentataulukoihin liittyvät likimääräisprosentit ja viidennen inventoinnin tuloksista lasketut keskimääräiset kasvuprosentit (Rajala 1970, Kohmo 1972) suurten alueiden hakkuulaskelmien valmistamista varten. Liitteessä 1 esitettyjen taulukoiden kasvuprosenttiarvot ovat systemaattisesti korkeampia kuin Ilvessalon esittämät arvot. Suurin ero on nuorissa metsiköissä (alle 40 vuotta), missä se voi tulevalle 5-vuotiskaudelle laskettuna olla 10—20 %-yksikköä. Ero pienenee iän lisääntyessä ja on yleensä 3—5 %-yksikköä. Viidennen inventoinnin sarjat antavat likimain samat kasvuprosentit kuin tässä tutkimuksessa, jos metsikön ikä on yli 40 vuotta. Tämä koskee kaikkia puulajeja ja alueita, paitsi Pohjois-Pohjanmaata ja Kainuuta, joille liitteessä esitetyt prosentit ovat systemaattisesti hiukan korkeampia kuin Kohmon (1972) tutkimuksessa. Alle 40 vuotta vanhoissa metsiköissä viidennen inventoinnin lukusarjat antavat jopa 10 %-yksikköä pienempiä kasvuprosentteja. Korostettakoon, että esitetty vertailu on suurpiirteinen ja vain suuntaa-antava mm. siksi, että sarjoissa on käytetty eri prosenttikäsitteitä. Viidennen inventoinnin prosentit ovat diskonttoprosentteja ja tässä tutkimuksessa esitetyt taas ennusteihin tarkoitettuja rabattiprosentteja.

Alueellisia taulukoita käytettäessä ei voida sulkea pois sitä mahdollisuutta, että puuston maantieteellinen sijainti vaikuttaa kasvuprosentin suuruuteen käyttöalueen sisällä (vrt. Kuusela 1977). Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että pääyhtälöitä käytettäessä, joissa valtapituus on mukana, voidaan luotettavuutta parantaa myös tässä mielessä.

44. Mittausvirheiden merkitys

Tarkin kasvuprosentin arvio saadaan luonnollisesti silloin, kun metsikön ikä, kuutiomäärä tai pohjapinta-ala ja valtapituus on määritetty oikein. Yhtälöiden luotettavuutta tarkasteltaessa tehtiin myös osittaisderivaattojen avulla laskelmia siitä, kuinka suuri virhe aiheutuu em. tunnusten epätarkasta määrityksestä. Tatkastelu suoritettiin selittävien muuttujien koko vaihtelualueilla. Koko maan pääyhtälöt (T, H_{dom}, V) sekä Pohjois- ja Etelä-Suomen yhtälöt olivat ensi sijassa tarkasteltavina.

Lyhyesti voidaan todeta kaikkia em. yhtälöitä yhteisesti tarkastelemalla, että 10 %:n samanaikainen mittausvirhe kaikissa yhtälöön sisältyvien metsikkötunnusten arvioissa aiheuttaa kasvuprosenttiin enintään n. 15 %:n virheen. Tästä on ikätunnuksen osuus n. 10 % sekä kuutiomäärän ja valtapituuden kummankin n. 2,5 %. Kasvuennusteen luotettavuuden kannalta on siten ensiarvoisen tärkeää, että puuston ikä määritetään mahdollisimman tarkasti. Toisaalta on huomattava, että eri muuttujien mittausvirheet eivät toki välttämättä vaikuta samansuuntaisesti, vaan ne voivat yhtä hyvin eliminoida toisiaan.

Yksityiskohtaisessa tarkastelussa on todettu, että Etelä-Suomen yhtälöitä (4, 7, 10) sovellettaessa 10 %:n virhe iän määrityksessä johtaa 8—9 %:n virheeseen kasvuprosentissa. Pohjoissuomalaisten yhtälöiden (13, 16) osalta vastaava kasvuprosentin virhe on hieman suurempi, 11—14 %. Koko maan yhtälöillä (1, 2, 3a) iän 10 %:n mittausvirhe aiheuttaa samansuuruisen virheen kasvuprosenttiin. Muuttujien vaihdellessa riippuu kasvuprosentin virhe mm. siitä, missä matemaattisessa muodossa muuttuja on yhtälössä. Iän määritysvirheen merkitys vähenee yleensä puuston vanhetessa. Poikkeuksen muodostavat yhtälöt 1 (koko maa) ja 4 (Etelä-Suomi), joissa iän määrityksessä syntyvän virheen merkitys on likimain vakio kaikenikäisissä metsiköissä.

Jos valtapituuden ja kuutiomäärän määrityksessä syntyy 10 %:n virhe, kasvuprosentin virhe kohoaa lievästi valtapituuden ja kuutiomäärän lisääntyessä riippumatta siitä, vaihteleeko ikä samanaikaisesti vai ei. Ainoan poikkeuksen tekee Pohjois-Suomen yhtälö 16.

Johtuen mm. yhtälöiden rakenteellisesta samankaltaisuudesta ja kertoimien suuruudesta edellä esitetty tarkastelu kuvastanee kaikkien esitettävien yhtälöiden luotettavuutta.

Jos tarkastellaan absoluuttisten mittausvirheiden (1 vuosi, 1 metri ja 1 m^3/ha) merkitystä kasvuprosenttiarvioon, saadaan jonkin verran edellisestä poikkeava kuva. Yhden m^3:n virhe merkitsee vähän sekä absoluuttisesti (0,6 %-yksikköä) että suhteellisesti (alle 0,6 %). Virhe pienenee sitä paitsi kuutiomäärän lisääntyessä. Valtapituudesta kysymyksen ollen merkitsee yhden metrin mittausvirhe enimmän nuorissa metsiköissä (alle 10 m). Keskimäärin absoluuttinen virhe on 2—3 %-yksikköä, joka vastaa 1,5—3 % suhteellisesti n. 10 m:n valtapituusvaiheessa. Absoluuttinen virhe laskee alle yhden %-yksikön 14 m:n valtapituudella. Suhteellinen virhe pienenee hitaammin valtapituuden lisääntyessä.

Jos sitä vastoin ikä arvioidaan yhden vuoden verran virheellisesti 20-vuotisessa puustossa, kasvuprosenttiarvioon syntyy 5—15 %-yksikön virhe. Sekä suhteellinen että absoluuttinen virhe laskevat nopeasti iän lisääntyessä ja ovat 60 vuoden iällä vain n. 0,5 %-yksikköä ja 1,5—2 %.

5. SOVELTAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

Tässä tutkimuksessa on pyritty kehittämään sellaiset kasvuyhtälöt, jotka ovat käyttökelpoisia erityisesti metsätalouden suunnitteluun tai muuhun vastaavaan tehtävään liittyvässä kasvun ennustamisessa. Tästä syystä yhtälöt perustuvat yksinkertaisiin metsikkötunnuksiin (ikä, valtapituus ja kuutiomäärä tai pohjapinta-ala). Yhtälöt antavat metsikön tulevan 5-vuotiskauden kuutiokasvuprosentin kuorineen korjattuna vastaamaan ko. maantieteellisen alueen keskimääräistä ilmastoa.

Yhtälöt eivät edellytä kasvun kairausta. Näin ollen ne tulevat yksinkertaistamaan, nopeuttamaan ja halventamaan maastotöitä. Kasvuarvio saadaan ilman lisämittauksia, eikä puuston terveystilaa vaaranneta.

Tutkimuksessa on käytetty sellaisia aineistoja, jotka edustavat nykymetsiä mahdollisimman hyvin. Yhtälöt nojautuvat näet valtakunnan metsien inventointien aineistoihin. Kaikki kasvatuskelpoisten metsiköiden kehitysluokat ovat mukana aineistoissa (ks. 2. Tutkimusaineisto).

Yhtälöiden taustana olevien aineistojen vaihtelurajat on esitetty taulukossa 3. Näitä rajoja ei yhtälöitä sovellettaessa tulisi ylittää. Sitä paitsi eräät yhtälöissä käytetyt logaritmimuunnokset edellyttävät, että ikä ei saa ylittää männiköiden osalta 295 v, eikä kuusikoissa 235 v. Lisäksi on männiköissä kuutiomäärän yläraja 390 m^3/ha. Liitteessä 1 on esitetty käytäntöä ajatellen ikään ja kuutiomäärään perustuvilla alueellisilla yhtälöillä saatavat arvot. Näistä taulukoista saadaan myös suurpiirteiset arvot ikään ja kuutiomäärään perustuvien yhtälöiden sovellutusrajoille. Pääyhtälöillä saavutettavia lukuarvoja ei ole taulukoitu niiden vaatiman suuren tilan vuoksi. Tietokoneella taulukointi on kuitenkin helppoa. Yhtälöiden käyttäminen sellaisenaankin on suhteellisen helppoa, jos käytettävissä on laskin, joka kykenee luonnollisten logaritmien ja desimaalipotenssien laskentaan. Esitetyissä yhtälöissä on logaritmimuunnoksesta aiheutuva korjaus jo otettu huomioon.

Yhtälöitä ei ole toistaiseksi kokeiltu käytännössä, eikä niitä ole tarkoitettu pitkän ajan kasvuennusteiden tekoon.

Esitetyt yhtälöt eivät sisällä metsikkötunnusten normaaleilla vaihtelualueilla selviä systemaattisia virheitä. Systemaattisten virheiden tarkastelun perusteella vaikuttaa perustellulta, että käytännössä sovellettaisiin mieluimmin kullekin alueelle laadittuja omia yhtälöitä. Valtakunnallisia yhtälöitä on syytä käyttää silloin, kun on kysymys todella koko maan peittävästä selvityksestä ja kun halutaan yksinkertaistaa laskentaa mahdollisimman paljon. Koivuyhtälöitä 3a ja 3b on kenties mahdollista soveltaa koko maan alueella. On kuitenkin syytä korostaa, että Pohjois-Pohjanmaata ja Kainuuta sekä Lappia varten laadituissa alueellisissa yhtälöissä on mahdollista päätyä kasvuprosentin yliarviointiin silloin, kun metsikön ikä on alle 45 vuotta.

Hyvin hoidettujen metsiköiden puuston kasvukyky tulee todennäköisesti aliarvioiduksi. Nimenomaan hoidettuja metsiköitä varten on olemassa yhtälöitä, jotka soveltunevat nyt julkaistavia paremmin ko. tehtävään.

Yhtälöt soveltuvat parhaiten metsäalueen puuston kasvuennusteen laskentaan. Taustana olevan aineiston perusteella arvion keskivirhe on tällöin 68 tapauksessa 100:sta alle 5 %, kun koealojen lukumäärä on 100 kpl. Vastaavasti vain 5 tapauksessa 100:sta virhe

on suurempi kuin 10 %. Äärimmäistapauksissa virhe voi olla n. 15 %. Tällöin oletetaan, että nykymetsät eivät rakenteellisesti poikkea olennaisesti 1950-luvun metsistä.

Lisäksi voidaan päätellä, että 68 %:n todennäköisyydellä tarvitaan 10—15 koealaa suhteellisen keskivirheen pysyttämiseksi 10 %:n virherajan alapuolelle.

Yhtälöitä voidaan käyttää myös yhden metsikön kasvun ennustamiseen. Tällöin on kuitenkin muistettava, että kasvuprosenttiarvion suhteellinen keskivirhe on 68 % todennäköisyydellä 30 %:n luokkaa. Tämä merkitsee sitä, että harvinaisissa äärimmäistapauksissa voi syntyä yli 90 %:n virhe.

Paras kasvuprosentin arvio saadaan, kun metsikkötunnukset on määritetty mahdollisimman tarkoin. Voidaan päätellä, että 10 %:n samanaikainen mittausvirhe kaikkien yhtälöön sisältyvien metsikkötunnusten arvioinnissa aiheuttaa kasvuprosenttiin n. 15 %:n virheen. Tästä on iän osuus n. 10 % sekä kuutiomäärän ja valtapituuden kummankin n. 2,5 %. Kuitenkin on muistettava, että eri muuttujien mittausvirheet eivät välttämättä vaikuta samansuuntaisesti, vaan ne voivat eliminoida toisiaan.

Yhden yksikön absoluuttinen mittausvirhe merkitsee enimmän iän (1 vuosi) arvioinnissa ja vaikuttaa enimmän absoluuttisesti, 5—15 %-yksikköä, kasvuprosenttiarvioon nuorissa metsiköissä. Absoluuttinen virhe laskee kuitenkin nopeasti iän lisääntyessä.

Yhtälöt ovat osoittautuneet tarkkuudeltaan niin hyviksi, että niitä voidaan käyttää alueellisten kasvu- ja tuotostaulukoiden laadintaan. Tällaisia keskimääräistasolla liikkuvia taulukoita kaivataan erityisesti Pohjois-Suomessa. Tutkimuksia nyt julkaistavien yhtälöiden kehittämiseksi tullaan jatkamaan. Yhtälöiden tarkkuus paranee varsinkin sen jälkeen, kun käytettävissä on tuloksia parhaillaan perustettavina olevilta kestokoealoilta, jotka on valittu valtakunnan metsien inventoinnin aineistosta alaotoksena.

KIRJALLISUUS

HÄNNINEN, T. 1974. Harvennusmetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland. Folia For. 208: 1—32.

ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot 148 s. Helsinki. Tapio.

» 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third National Survey of the forest of Finland. Plan and instructions for field work. Commun. Inst. For. Fenn. 39 (3): 1—67.

JENSEN, C. E. 1973. Matchacurve-3: Multiple-component and multidimensional matematical models for natural resource studies. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-146: 1—42.

» & HOMEYER, J. W. 1970. Matchacurve-1 for algebraic transforms to describe sigmoid- or bell-shaped curves. USDA For. Serv., Intermt. For. & Range Exp. Stn. 1970: 1—22.

» & HOMEYER, J. W. 1971. Matchacurve-2 for algebraic transforms to describe curves of the class X^n. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-106: 1—39.

KILKKI, P & SIITONEN, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. 145: 1—33.

» , KUUSELA, K. & SIITONEN, M. 1977. Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille. Summary: Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland. Folia For. 307: 1—61.

KOHMO, I. 1972. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen pohjoispuoliskossa vuosina 1969—70. Folia For. 163: 1—15.

KOIVISTO, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. Seloste: Metsän kasvun alueellisuus Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 72 (2): 1—76.

KOZAK, A. 1976. Notes on regression and correlation analyses as important tools in forest research. Paper prepared for the XVI IUFRO World Congress, 1976: 1—6.

KUUSELA, K. 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 For. 320: 1—31.

» & KILKKI, P. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scotch-Pine stands. Seloste: Kasvuprosentin ja muiden metsikkötunnusten välinen yhteiskorrelaatio männiköissä. Acta For. Fenn. 75: 1—40.

» & SALMINEN, S. 1969. The 5th National Forest Inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Commun. Inst. For. Fenn. 69 (4): 1—72.

LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. 109 s. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen lisensiaattityö.

MIELIKÄINEN, K. 1975. Männiköiden ja kuusikoiden kuutiokasvuyhtälöt ja niiden laadinta. 103 s. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos.

» 1976. Metsikön kasvun arvioiminen. Metsä ja Puu 4: 12—14.

MÄKINEN, V. O. 1964. Yhtenäinen ja metsälöittäinen arviointi metsäalueen inventointimenetelminä. Summary: Uniform survey and survey by holdings as methods of forest inventory. Commun. Inst. For. Fenn. 58 (2): 1—129.

NAKARI, L. 1971. Kuutiokasvuyhtälöt. 39 s. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos.

NYYSSÖNEN, A. 1951. Havaintoja metsikön kasvun arvioimistavoista. Erip. Metsätal. Aikakausl. 6: 1—3.

» 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60 (4): 1—194.

» 1968. Pysyvät koealat metsän inventoinneissa. Erip. Metsätal. Aikakausl. 2: 1—3.

RAJALA, J. 1970. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964—68. Folia For. 95: 1—28.

SARAMÄKI, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in Northern Central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (2): 1—59.

STRAND, L. 1968. Skogbrukets produksjonsläre. Forelesningsnotat. 88 s. Vollebekk. Norges landbrukshögskole.

VUOKILA, Y. 1960a. Lehtikuusen kuutioimisyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for larch. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (10): 1—89.

» 1960b. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. Summary: On development of Siperian larch stand and their importance to forestry in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 52 (5): 1—111.

» 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Seloste: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Commun. Inst. For. Fenn. 60 (4): 1—86.

» 1976. Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana. Summary: The borings of standing trees as a source of defects. Folia For. 282: 1—11.

Taulukko 1. Keskimääräiset 5-vuotiskausien kuutiokasvuprosentit ja keskikuutiomäärät kahden inventoinnin aineistoista laskettuina.

Table 1. 5-year mean volume increment percentages and volumes calculated from the two inventory materials

Inventointi n:o National Forest Inventory no.	Ikäluokka, v Age class, years									Keskiarvo Mean
	- 39	40 - 59	60 - 79	80 - 99	100-119	120-139	140-159	160-179	180 +	
	Kasvuprosentti - Increment percentage (Kuutiomäärä m^3/ha) - (volume m^3/ha)									
	Mänty - Pine									
III	79,5 (48,3)	35,2 (76,1)	24,3 (80,8)	18,4 (87,9)	15,6 (82,5)	11,9 (74,8)	10,3 (67,5)	8,9 (61,9)	8,0 (72,7)	23,4 (77,5)
V	108,0 (36,2)	40,5 (73,6)	23,6 (90,3)	16,8 (99,5)	14,1 (100,0)	11,0 (81,9)	7,9 (115,5)	8,2 (76,0)	5,3 (90,0)	31,8 (85,1)
	Kuusi - Spruce									
III	80,1 (48,8)	39,6 (79,6)	30,6 (92,4)	22,6 (87,5)	19,7 (88,4)	15,5 (80,6)	12,4 (62,5)	11,8 (64,2)	9,6 (63,8)	28,2 (81,5)
V	136,4 (42,8)	44,0 (89,4)	26,1 (125,2)	19,6 (128,4)	18,4 (107,8)	12,6 (107,5)	9,8 (92,7)	6,6 (128,6)	6,8 (80,0)	33,2 (107,0)
	Koivu - Birch									
III	75,1 (56,6)	36,8 (70,8)	33,0 (72,1)	20,5 (68,0)	16,7 (66,7)	14,0 (44,0)	9,7 (48,6)	12,7 (30,0)	-	33,3 (67,6)
V	60,9 (72,8)	29,8 (116,5)	21,6 (122,6)	22,7 (133,3)	9,6 (140,0)	5,4 (20,0)	-	-	-	32,9 (109,6)

Taulukko 2. Tutkimusaineisto.

Table 2. Research material.

Inventointi n:o National Forest Inventory no.	Etelä-Suomi Southern Finland			Pohjois-Suomi Northern Finland			Koko maa Whole country		
	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch
	Koealojen lukumäärä - Number of sample plots								
III	728	867	174	898	542	112	1626	1409	286
V	553	480	58	321	151	10	874	631	68

Taulukko 3. Eräiden metsikkötunnusten vaihtelualueet ja keskiarvot tutkimusaineistoissa.

Table 3. The variation ranges and the means of some stand variables in the research material.

Inventointi n:o National Forest Inventory no.	Ikä, v Age, years	Valtapituus, m Dominant height, m	Kuutiomäärä, m^3/ha Volume, m^3/ha	Pohjapinta-ala, m^2/ha Basal area, m^2/ha
	Vaihtelualue (keskiarvo) - Range (mean)			
	Mänty - Pine			
III	15 - 295 (91,1)	4,5 - 26,2 (14,6)	2,2 - 389,2 (77,5)	0,8 - 35,1 (11,3)
V	17 - 259 (80,1)	-	1,4 - 332,2 (85,1)	0,9 - 34,8 (13,0)
	Kuusi - Spruce			
III	20 - 235 (87,8)	6,6 - 25,6 (15,3)	6,9 - 357,4 (81,5)	2,6 - 35,2 (12,2)
V	18 - 244 (80,7)	-	2,2 - 286,0 (107,0)	1,1 - 32,8 (31,7)
	Koivu - Birch			
III	20 - 175 (68,2)	4,0 - 23,8 (14,3)	5,0 - 219,4 (67,6)	1,8 - 26,8 (10,8)
V	19 - 122 (58,2)	-	5,9 - 247,2 (109,6)	2,1 - 31,7 (29,6)

Taulukko 4. Yhtälöiden yleinen tilastomatemaattinen kuvaus

Table 4. General statistical characteristics of the functions

Yhtälö n:o Function no.	Käyttöalue Area of application	Selitysaste,% 100 R^2, %	¤ Selitettävä hajonta s_y Total std. deviation	¤ Jäännöshajonta s_e Residual dev.	¤ Selitettävän muuttujan keskiarvo Mean of dep. variable	Havaintojen lukumäärä Number of observations
		Mänty - Pine				
1.	Koko maa	75,2	,63983	,31854	2,92514	1626
4.	E - Suomi	71,2	,54515	,29311	3,15294	728
5.	"	70,6	,54515	,29590	3,15294	728
6.	"	69,6	,54515	,29888	3,15294	728
13.	P - Suomi	73,7	,65152	,33464	2,74049	898
14.	"	73,6	,65152	,33558	2,74049	898
15.	"	72,7	,65152	,34076	2,74049	898
19.	Kainuu	75,9	,57888	,28473	3,03418	391
20.	"	74,8	,57888	,29100	3,03418	391
23.	Lappi	69,3	,61330	,34054	2,51399	507
24.	"	69,0	,61330	,34154	2,51399	507
		Kuusi - Spruce				
2.	Koko maa	70,4	,60058	,32697	3,15536	1409
7.	E - Suomi	66,7	,51932	,29965	3,37108	867
8.	"	66,9	,51932	,29931	3,37108	867
9.	"	66,0	,51932	,30304	3,37108	867
16.	P - Suomi	64,0	,55958	,33642	2,81031	542
17.	"	63,7	,55958	,33742	2,81031	542
18.	"	63,5	,55958	,33844	2,81031	542
21.	Kainuu	73,3	,52781	,27342	3,04774	276
22.	"	73,6	,52781	,27183	3,04774	276
25.	Lappi	42,6	,48012	,36501	2,56395	266
26.	"	41,5	,48012	,36849	2,56395	266
		Koivu - Birch				
3a.	Koko maa	77,6	,57576	,27410	3,32850	286
3b.	"	76,2	,57576	,28148	3,32850	286
10.	E - Suomi	74,6	,50065	,25390	3,53684	174
11.	"	74,0	,50065	,25672	3,53684	174
12.	"	71,4	,50065	,26919	3,53684	174

¤) logaritminen yksikkö

logarithmic unit

Taulukko 5a. Männikköyhtälöiden selittävien muuttujien merkitsevyys.

Table 5a. Significance of the different independent variables in the pine functions.

Muuttuja Variable	Regressio-kerroin Regression coeff.	Kertoimen suhteellinen keskivirhe Relative standar error of coeff.	t-arvo t-value	Muuttuja Variable	Regressio-kerroin Regression coeff.	Kertoimen suhteellinen keskivirhe Relative standar error of coeff.	t-arvo t-value
	Yhtälö 1. - Function 1.				Yhtälö 4. - Function 4.		
vakio-constant	2,72359	-	-	vakio-constant	2,90795	-	-
5,69-ln T	1,02982	1,64	61,14	$[5,69-\ln T]^{0,90}$	1,05986	3,58	27,91
$[\ln (V\ H_{dom})]^{1,50}$	- 0,06296	3,73	- 26,76	$[\ln (V\ H_{dom})]^{1,50}$	- 0,07100	5,11	- 19,58
	Yhtälö 5. - Function 5.				Yhtälö 6. - Function 6.		
vakio	1,59427	-	-	vakio	2,39266	-	-
$[5,69-\ln T]^{1,25}$	0,68384	3,32	30,16	$[\ln T]^{0,60}$	1,91365	3,41	29,35
$[5,97-\ln V]^{1,55}$	0,15543	5,33	18,76	$\ln (G\ H_{dom})$	- 0,33499	5,30	- 18,87
	Yhtälö 13. - Function 13.				Yhtälö 14. - Function 14.		
vakio	2,77716	-	-	vakio	1,48216	-	-
$[5,69-\ln T]^{1,25}$	0,84866	2,40	41,60	$[5,69-\ln T]^{1,40}$	0,79884	3,69	27,11
$[\ln (V\ H_{dom})]^{1,50}$	- 0,05750	5,93	- 16,84	$[5,69-\ln T]^{4,50}$	- 0,00723	38,49	- 2,60
				$[5,97-\ln V]^{1,55}$	0,12236	6,15	16,27
	Yhtälö 15. - Function 15.				Yhtälö 19. - Function 19.		
vakio	2,55745	-	-	vakio	3,64549	-	-
$[5,69-\ln T]^{1,20}$	0,90981	2,36	42,35	$[5,69-\ln T]^{1,25}$	0,62500	5,22	19,15
$[\ln (G\ H_{dom})]^{1,50}$	- 0,07761	6,37	- 15,70	$[\ln (V\ H_{dom})]^{1,50}$	- 0,08320	5,48	- 18,24
	Yhtälö 20. - Function 20.				Yhtälö 23. - Function 23.		
vakio	1,77803	-	-	vakio	2,73340	-	-
$[5,69-\ln T]^{1,40}$	0,54257	5,22	19,16	$[5,69-\ln T]^{1,25}$	0,81442	3,84	25,99
$[5,97-\ln V]^{1,55}$	0,16992	5,86	17,07	$[\ln (V\ H_{dom})]^{1,50}$	- 0,05720	8,93	- 11,19
	Yhtälö 24. - Function 24.						
vakio	1,49881	-	-				
$[5,69-\ln T]^{1,40}$	0,72825	3,88	25,75				
$[5,97-\ln V]^{1,55}$	0,11238	9,31	10,74				

Taulukko 5b. Kuusikkoyhtälöiden selittävien muuttujien merkitsevyys.

Table 5b. Significance of the different independent variables in the spruce functions.

Muuttuja Variable	Regressio-kerroin Regression coeff.	Kertoimen suhteellinen keskivirhe Relative standar error of coeff.	t-arvo t-value	Muuttuja Variable	Regressio-kerroin Regression coeff.	Kertoimen suhteellinen virhe Relative standar error of coeff.	t-arvo t-value
	Yhtälö 2. - Function 2.				Yhtälö 7. - Function 7.		
vakio-constant	10,80823	-	-	vakio-constant	9,20777	-	-
$[\ln T]^{0,65}$	-2,71727	1,86	-53,49	$[\ln T]^{0,65}$	- 1,99553	4,07	- 24,55
$[\ln (V H_{dom})]^{3,00}$	- 0,00164	4,68	-21,30	$[\ln (V H_{dom})]^{3,00}$	- 0,00216	4,37	- 22,88
	Yhtälö 8. - Function 8.				Yhtälö 9. - Function 9.		
vakio	9,45670	-	-	vakio	3,12036	-	-
$[\ln T]^{0,80}$	- 1,31769	4,04	- 24,78	$[5,50-\ln T]^{1,10}$	0,71152	4,03	24,80
$[\ln V]^{0,90}$	- 0,52557	4,35	- 23,01	$[\ln (G H_{dom})]^{3,00}$	- 0,00499	4,52	- 22,16
	Yhtälö 16. - Function 16.				Yhtälö 17. - Function 17.		
vakio	12,79899	-	-	vakio	9,30924	-	-
$[\ln T]^{0,65}$	- 3,22716	3,58	-27,90	ln T	- 1,23072	3,58	- 27,90
ln $(V H_{dom})$	- 0,16904	11,98	- 8,35	$[\ln V]^{1,30}$	- 0,10872	12,11	- 8,26
	Yhtälö 18. - Function 18.				Yhtälö 21. - Function 21.		
vakio	2,57758	-	-	vakio	12,16770	-	-
$[5,50-\ln T]^{1,10}$	1,15340	3,56	28,09	$[\ln T]^{0,65}$	- 2,68005	5,54	- 18,05
$[\ln (G H_{dom})]^{1,50}$	- 0,05744	12,94	- 7,73	ln $(V H_{dom})$	- 0,28188	8,73	- 11,45
	Yhtälö 22. - Function 22.				Yhtälö 25. - Function 25.		
vakio	8,95455	-	-	vakio	11,27098		
ln T	- 1,03789	5,45	- 18,35	$[\ln T]^{0,65}$	- 2,75520	8,44	- 11,84
$[\ln T]^{1,30}$	- 0,18069	8,53	- 11,72	ln $(V H_{dom})$	- 0,14934	22,93	- 4,36
	Yhtälö 26. - Function 26.						
vakio	8,20669	-	-				
ln T	- 1,04671	8,39	- 11,92				
$[\ln V]^{1,30}$	- 0,08691	26,51	- 3,77				

Taulukko 5c. Koivikkoyhtälöiden selittävien muuttujien merkitsevyys.

Table 5c. Significance of the different independent variables in the birch functions.

Muuttuja Variable	Regressio-kerroin Regression coeff.	Kertoimen suhteellinen keskivirhe Relative standar error of coeff.	t-arvo t-value	Muuttuja Variable	Regressio-kerroin Regression coeff.	Kertoimen suhteellinen keskivirhe Relative standar error of coeff.	t-arvo t-value
	Yhtälö 3a. - Function 3a.				Yhtälö 3b. - Function 3b.		
vakio-constant	9,24377	-	-	vakio-constant	11,85962	-	-
$[\ln T]^{0,60}$	- 3,28948	3,39	- 29,51	$[\ln T]^{0,60}$	- 3,26896	3,50	- 28,55
$\ln (V H_{dom})$	0,74753	24,64	4,06	ln V	- 0,21898	11,90	- 8,41
$[\ln (V H_{dom})]^{2,00}$	- 0,07086	20,40	- 4,90				
	Yhtälö 10. - Function 10.				Yhtälö 11. - Function 11.		
vakio	10,62296	-	-	vakio	11,13339	-	-
$[\ln T]^{0,60}$	- 2,50830	8,10	- 12,34	$[\ln T]^{0,60}$	- 2,66489	7,43	- 13,45
$[\ln (V H_{dom})]^{1,50}$	- 0,07567	10,66	- 9,38	ln V	- 0,36693	11,02	- 9,08
	Yhtälö 12. - Function 12.						
vakio	7,80347	-	-				
$[\ln T]^{1,20}$	- 0,60329	7,66	-13,05				
$[\ln (G H_{dom})]^{1,50}$	- 0,09984	14,34	- 8,03				

Taulukko 6. Metsikön kasvuarvion suhteellinen keskivirhe ja sen iänmukainen vaihtelu.

Table 6. Relative standard error of estimate and its variation according to stand age.

Yhtälö n:o Function no.	Käyttöalue Area of application	¤ Arvion suhteellinen keskivirhe, % Relative standard error of estimate, %						
		Ikäluokka Age class - 45v	n	Ikäluokka Age class 46 - 80v	n	Ikäluokka Age class 81v +	n	Kaikkiaan In all
		Mänty - Pine						
1.	Koko maa	33,2	205	28,6	624	34,1	797	32,0
4.	E - Suomi	31,8	158	27,6	395	28,6	175	28,8
5.	"	32,6	158	27,8	395	29,4	175	29,3
6.	"	35,3	158	27,9	395	29,7	175	30,1
13.	P - Suomi	35,7	47	30,0	229	35,6	622	34,2
14.	"	32,5	47	30,2	229	35,9	622	34,4
15.	"	37,8	47	31,1	229	36,3	622	35,1
19.	Kainuu	36,2	31	23,9	158	30,7	202	28,6
20.	"	31,2	31	24,9	158	32,6	202	29,6
23.	Lappi	32,1	16	37,2	71	34,3	420	34,6
24.	"	30,0	16	37,9	71	34,5	420	34,8
		Kuusi - Spruce						
2.	Koko maa	31,3	162	30,8	584	35,9	663	33,4
7.	E - Suomi	32,8	154	28,2	515	33,1	198	30,2
8.	"	33,1	154	27,9	515	33,9	198	30,3
9.	"	34,2	154	28,5	515	34,1	198	31,0
16.	P - Suomi	19,3	8	35,6	69	33,8	465	33,9
17.	"	20,1	8	35,5	69	33,9	465	33,9
18.	"	19,6	8	36,6	69	34,1	465	34,3
21.	Kainuu	18,4	8	36,2	56	26,0	212	28,2
22.	"	19,0	8	34,8	56	25,9	212	27,7
25.	Lappi	-	0	38,3	13	37,2	253	37,2
26.	"	-	0	41,7	13	37,6	253	37,7
		Koivu - Birch						
3a.	Koko maa	25,7	73	28,4	135	33,7	78	29,3
3b.	"	26,3	73	29,6	135	33,8	78	30,0
10.	E - Suomi	25,7	66	27,5	97	40,7	11	27,8
11.	"	26,4	66	27,6	97	38,4	11	27,9
12.	"	27,4	66	29,3	97	42,6	11	29,8

¤) kts. tekstiin

LIITTEET - APPENDICES

Liite 1. Metsiköiden 5-vuotiskausien kuutiokasvuprosenttien ennustearvot ikään (T) ja kuutiomäärään (V) perustuvilla yhtälöillä laskettuina.

App. 1. Stand increment percentages for the future 5-year periods based on functions with age (T) and volume (V) as independent variables.

Etelä-Suomi, koivikot, yhtälö 11 - Southern Finland, birch stands, function 11.

Kuutio-määrä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
30	118,0	78,6	59,5	48,3	40,8	35,5	31,6	28,4	26,0	23,9	22,2	20,7	19,4	18,4
40	106,2	70,7	53,6	43,4	36,8	32,0	28,4	25,6	23,4	21,5	20,0	18,6	17,5	16,5
50	97,9	65,1	49,4	40,0	33,9	29,5	26,2	23,6	21,5	19,8	18,4	17,2	16,1	15,2
60	91,5	60,9	46,2	37,4	31,7	27,6	24,5	22,1	20,1	18,5	17,2	16,1	15,1	14,2
70	86,5	57,6	43,6	35,4	29,9	26,0	23,1	20,8	19,0	17,5	16,2	15,2	14,3	13,4
80		54,8	41,5	33,7	28,5	24,8	22,0	19,8	18,1	16,7	15,5	14,4	13,6	12,8
90		52,5	39,8	32,3	27,3	23,8	21,1	19,0	17,3	16,0	14,8	13,8	13,0	12,3
100		50,5	38,3	31,0	26,3	22,8	20,3	18,3	16,7	15,4	14,3	13,3	12,5	11,8
110		48,8	37,0	30,0	25,4	22,1	19,6	17,7	16,1	14,8	13,8	12,9	12,1	11,4
120		47,2	35,8	29,0	24,6	21,4	19,0	17,1	15,6	14,4	13,3	12,5	11,7	11,0
130		45,9	34,8	28,2	23,8	20,8	18,4	16,6	15,2	14,0	13,0	12,1	11,4	10,7
140		44,6	33,8	27,4	23,2	20,2	17,9	16,2	14,7	13,6	12,6	11,8	11,0	10,4
150			33,0	26,8	22,6	19,7	17,5	15,8	14,4	13,2	12,3	11,5	10,8	10,2
160			32,2	26,1	22,1	19,2	17,1	15,4	14,0	12,9	12,0	11,2	10,5	9,9
170			31,5	25,6	21,6	18,8	16,7	15,0	13,7	12,6	11,7	11,0	10,3	9,7
180			30,8	25,0	21,2	18,4	16,4	14,7	13,4	12,4	11,5	10,7	10,1	9,5
190			30,2	24,5	20,8	18,0	16,0	14,4	13,2	12,1	11,3	10,5	9,9	9,3
200			29,7	24,1	20,4	17,7	15,7	14,2	12,9	11,9	11,0	10,3	9,7	9,2
210				23,6	20,0	17,4	15,4	13,9	12,7	11,7	10,9	10,1	9,5	9,0
220				23,2	19,7	17,1	15,2	13,7	12,5	11,5	10,7	10,0	9,4	8,8
230				22,9	19,3	16,8	14,9	13,5	12,3	11,3	10,5	9,8	9,2	8,7
240				22,5	19,0	16,6	14,7	13,3	12,1	11,1	10,3	9,7	9,1	8,6
250				22,2	18,8	16,3	14,5	13,1	11,9	11,0	10,2	9,5	8,9	8,4
260					18,5	16,1	14,3	12,9	11,8	10,8	10,0	9,4	8,8	8,3
270					18,2	15,9	14,1	12,7	11,6	10,7	9,9	9,2	8,7	8,2
280					18,0	15,7	13,9	12,5	11,4	10,5	9,8	9,1	8,6	8,1
290						15,5	13,7	12,4	11,3	10,4	9,6	9,0	8,5	8,0
300						15,3	13,6	12,2	11,2	10,3	9,5	8,9	8,4	7,9
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

Etelä-Suomi, kuusikot, yhtälö 8.

Southern Finland, spruce stands, function 8.

Kuutiomäärä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
30	115,6	82,4	65,1	54,4	47,0	41,6	37,4	34,2	31,5	29,2	27,3	25,7	24,3	23,0
40	102,6	73,1	57,8	48,2	41,7	36,9	33,2	30,3	27,9	25,9	24,2	22,8	21,5	20,4
50	93,5	66,6	52,6	44,0	38,0	33,6	30,3	27,6	25,4	23,6	22,1	20,8	19,6	18,6
60	86,7	61,8	48,8	40,8	35,3	31,2	28,1	25,6	23,6	21,9	20,5	19,3	18,2	17,3
70	81,4	58,0	45,8	38,3	33,1	29,3	26,4	24,0	22,2	20,6	19,2	18,1	17,1	16,2
80		54,9	43,4	36,3	31,4	27,7	25,0	22,8	21,0	19,5	18,2	17,1	16,2	15,4
90		52,4	41,4	34,6	29,9	26,4	23,8	21,7	20,0	18,6	17,4	16,3	15,4	14,6
100		50,2	39,6	33,1	28,6	25,3	22,8	20,8	19,2	17,8	16,6	15,6	14,8	14,0
110		48,3	38,1	31,9	27,5	24,4	21,9	20,0	18,4	17,1	16,0	15,0	14,2	13,5
120		46,6	36,8	30,8	26,6	23,5	21,2	19,3	17,8	16,5	15,5	14,5	13,7	13,0
130		45,1	35,6	29,8	25,7	22,8	20,5	18,7	17,2	16,0	15,0	14,1	13,3	12,6
140		43,8	34,6	28,9	25,0	22,1	19,9	18,2	16,7	15,5	14,5	13,7	12,9	12,2
150			33,6	28,1	24,3	21,5	19,4	17,6	16,3	15,1	14,1	13,3	12,6	11,9
160			32,8	27,4	23,7	21,0	18,9	17,2	15,8	14,7	13,8	12,9	12,2	11,6
170			32,0	26,7	23,1	20,4	18,4	16,8	15,5	14,4	13,4	12,6	11,9	11,3
180			31,3	26,1	22,6	20,0	18,0	16,4	15,1	14,0	13,1	12,3	11,7	11,1
190			30,6	25,6	22,1	19,6	17,6	16,1	14,8	13,7	12,8	12,1	11,4	10,8
200			30,0	25,0	21,6	19,2	17,2	15,7	14,5	13,5	12,6	11,8	11,2	10,6
210				24,6	21,2	18,8	16,9	15,4	14,2	13,2	12,3	11,6	11,0	10,4
220				24,1	20,8	18,4	16,6	15,1	14,0	13,0	12,1	11,4	10,8	10,2
230				23,7	20,5	18,1	16,3	14,9	13,7	12,7	11,9	11,2	10,6	10,0
240				23,3	20,1	17,8	16,0	14,6	13,5	12,5	11,7	11,0	10,4	9,9
250				22,9	19,8	17,5	15,8	14,4	13,2	12,3	11,5	10,8	10,2	9,7
260					19,5	17,2	15,5	14,2	13,0	12,1	11,3	10,7	10,1	9,6
270					19,2	17,0	15,3	14,0	12,8	11,9	11,2	10,5	9,9	9,4
280					18,9	16,8	15,1	13,8	12,7	11,8	11,0	10,4	9,8	9,3
290						16,5	14,9	13,6	12,5	11,6	10,8	10,2	9,6	9,1
300						16,3	14,7	13,4	12,3	11,4	10,7	10,1	9,5	9,0
310							14,5	13,2	12,2	11,3	10,6	9,9	9,4	8,9
320							14,3	13,0	12,0	11,2	10,4	9,8	9,3	8,8
330							14,1	12,9	11,9	11,0	10,3	9,7	9,2	8,7
340							14,0	12,7	11,7	10,9	10,2	9,6	9,0	8,6
350							13,8	12,6	11,6	10,8	10,1	9,5	8,9	8,5
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

Etelä-Suomi, männiköt, yhtälö 5.

Southern Finland, pine stands, function 5.

Kuutiomäärä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
30	106,6	69,0	51,2	41,0	34,3	29,6	26,2	23,6	21,5	19,8	18,4	17,2	16,2	15,3
40	95,3	61,6	45,8	36,6	30,6	26,5	23,4	21,0	19,2	17,6	16,4	15,4	14,5	13,7
50	87,7	56,8	42,2	33,7	28,2	24,4	21,6	19,4	17,6	16,3	15,1	14,2	13,3	12,6
60	82,3	53,3	39,6	31,6	26,5	22,9	20,2	18,2	16,6	15,3	14,2	13,3	12,5	11,8
70	78,2	50,6	37,6	30,0	25,2	21,7	19,2	17,3	15,7	14,5	13,5	12,6	11,9	11,2
80		48,5	36,0	28,8	24,1	20,8	18,4	16,6	15,1	13,9	12,9	12,1	11,4	10,8
90		46,8	34,8	27,8	23,3	20,1	17,8	16,0	14,6	13,4	12,4	11,7	11,0	10,4
100		45,4	33,7	26,9	22,6	19,5	17,2	15,5	14,1	13,0	12,1	11,3	10,6	10,1
110		44,2	32,8	26,2	22,0	19,0	16,8	15,1	13,7	12,6	11,8	11,0	10,4	9,8
120		43,2	32,0	25,6	21,5	18,5	16,4	14,7	13,4	12,4	11,5	10,8	10,1	9,6
130		42,3	31,4	25,1	21,0	18,2	16,0	14,4	13,1	12,1	11,2	10,5	9,9	9,4
140		41,5	30,8	24,6	20,6	17,8	15,8	14,2	12,9	11,9	11,0	10,3	9,7	9,2
150			30,3	24,2	20,3	17,5	15,5	13,9	12,7	11,7	10,9	10,2	9,6	9,1
160			29,9	23,9	20,0	17,3	15,3	13,7	12,5	11,5	10,7	10,0	9,4	8,9
170			29,5	23,6	19,7	17,0	15,1	13,5	12,3	11,4	10,6	9,9	9,3	8,8
180			29,1	23,3	19,5	16,8	14,9	13,4	12,2	11,2	10,4	9,8	9,2	8,7
190			28,8	23,0	19,3	16,6	14,7	13,2	12,0	11,1	10,3	9,7	9,1	8,6
200			28,5	22,8	19,1	16,5	14,6	13,1	11,9	11,0	10,2	9,6	9,0	8,5
210				22,6	18,9	16,3	14,4	13,0	11,8	10,9	10,1	9,5	8,9	8,4
220				22,4	18,7	16,2	14,3	12,9	11,7	10,8	10,0	9,4	8,8	8,4
230				22,2	18,6	16,1	14,2	12,8	11,6	10,7	10,0	9,3	8,8	8,3
240				22,0	18,5	16,0	14,1	12,7	11,6	10,6	9,9	9,2	8,7	8,3
250				21,9	18,3	15,8	14,0	12,6	11,5	10,6	9,8	9,2	8,7	8,2
260					18,2	15,8	13,9	12,5	11,4	10,5	9,8	9,1	8,6	8,2
270					18,1	15,7	13,8	12,4	11,3	10,4	9,7	9,1	8,6	8,1
280					18,0	15,6	13,8	12,4	11,3	10,4	9,7	9,0	8,5	8,1
290						15,5	13,7	12,3	11,2	10,4	9,6	9,0	8,5	8,0
300						15,5	13,7	12,3	11,2	10,3	9,6	9,0	8,4	8,0
310							13,6	12,2	11,2	10,3	9,5	8,9	8,4	8,0
320							13,6	12,2	11,1	10,2	9,5	8,9	8,4	8,0
330							13,5	12,2	11,1	10,2	9,5	8,9	8,4	7,9
340							13,5	12,1	11,0	10,2	9,5	8,9	8,3	7,9
350							13,5	12,1	11,0	10,2	9,4	8,8	8,3	7,9
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

Koko maa, koivikot, yhtälö 3b.

The whole country, birch stands, function 3b.

Kuutiomäärä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
30	76,8	54,6	42,3	34,4	29,0	25,1	22,1	19,7	17,8	16,3	15,0	13,9	12,9	12,1
40	72,1	51,3	39,7	32,3	27,2	23,5	20,7	18,5	16,7	15,3	14,0	13,0	12,1	11,3
50	68,6	48,8	37,8	30,8	25,9	22,4	19,7	17,6	15,9	14,6	13,4	12,4	11,5	10,8
60	66,0	46,9	36,3	29,6	24,9	21,5	19,0	17,0	15,3	14,0	12,9	11,9	11,1	10,4
70		45,4	35,1	28,6	24,1	20,8	18,3	16,4	14,8	13,5	12,4	11,5	10,7	10,0
80		44,1	34,1	27,8	23,4	20,2	17,8	15,9	14,4	13,1	12,1	11,2	10,4	9,7
90			33,2	27,1	22,8	19,7	17,4	15,5	14,0	12,8	11,8	10,9	10,1	9,5
100			32,5	26,4	22,3	19,3	17,0	15,2	13,7	12,5	11,5	10,6	9,9	9,3
110			31,8	25,9	21,8	18,9	16,6	14,8	13,4	12,2	11,3	10,4	9,7	9,1
120			31,2	25,4	21,4	18,5	16,3	14,6	13,2	12,0	11,0	10,2	9,5	8,9
130				25,0	21,0	18,2	16,0	14,3	12,9	11,8	10,8	10,0	9,4	8,8
140				24,6	20,7	17,9	15,8	14,1	12,7	11,6	10,7	9,9	9,2	8,6
150				24,2	20,4	17,6	15,5	13,9	12,5	11,4	10,5	9,7	9,1	8,5
160					20,1	17,4	15,3	13,7	12,4	11,3	10,4	9,6	8,9	8,4
170					19,8	17,2	15,1	13,5	12,2	11,1	10,2	9,5	8,8	8,3
180					19,6	16,9	14,9	13,3	12,0	11,0	10,1	9,4	8,7	8,2
190					19,4	16,7	14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,2	8,6	8,1
200					19,2	16,6	14,6	13,0	11,8	10,7	9,9	9,2	8,5	8,0
210						16,4	14,4	12,9	11,6	10,6	9,8	9,0	8,4	7,9
220						16,2	14,3	12,8	11,5	10,5	9,7	9,0	8,3	7,8
230							14,1	12,6	11,4	10,4	9,6	8,9	8,3	7,7
240							14,0	12,5	11,3	10,3	9,5	8,8	8,2	7,7
250							13,9	12,4	11,2	10,2	9,4	8,7	8,1	7,6
260								12,3	11,1	10,1	9,3	8,6	8,0	7,5
270								12,2	11,0	10,1	9,2	8,6	8,0	7,5
280								12,1	10,9	10,0	9,2	8,5	7,9	7,4
290								12,0	10,8	9,9	9,1	8,4	7,8	7,4
300								11,9	10,8	9,8	9,0	8,4	7,8	7,3
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa, kuusikot, yhtälö 22.

Kainuu and North Ostrobothnia, spruce stands, function 22.

Kuutiomäärä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
30	97,0	71,9	57,0	47,2	40,2	35,0	31,0	27,8	25,2	23,0	21,2	19,6	18,2	17,1
40	87,8	65,2	51,7	42,8	36,4	31,7	28,1	25,2	22,8	20,8	19,2	17,8	16,5	15,5
50	81,2	60,2	47,8	39,6	33,7	29,4	26,0	23,3	21,1	19,3	17,7	16,4	15,3	14,3
60	76,1	56,5	44,8	37,1	31,6	27,5	24,3	21,8	19,8	18,0	16,6	15,4	14,3	13,4
70	72,0	53,4	42,4	35,1	29,9	26,0	23,0	20,6	18,7	17,1	15,7	14,6	13,6	12,7
80		50,9	40,4	33,4	28,5	24,8	21,9	19,7	17,8	16,3	15,0	13,9	12,9	12,1
90			38,6	32,0	27,3	23,7	21,0	18,8	17,0	15,6	14,3	13,3	12,4	11,6
100			37,2	30,8	26,2	22,8	20,2	18,1	16,4	15,0	13,8	12,8	11,9	11,1
110			35,9	29,7	25,3	22,0	19,5	17,5	15,8	14,5	13,3	12,3	11,5	10,7
120			34,7	28,7	24,5	21,3	18,9	16,9	15,3	14,0	12,9	11,9	11,1	10,4
130				27,9	23,8	20,7	18,3	16,4	14,9	13,6	12,5	11,6	10,8	10,1
140				27,1	23,1	20,1	17,8	16,0	14,4	13,2	12,2	11,2	10,5	9,8
150				26,4	22,5	19,6	17,3	15,5	14,1	12,9	11,8	11,0	10,2	9,5
160					22,0	19,1	16,9	15,2	13,7	12,6	11,6	10,7	10,0	9,3
170					21,4	18,7	16,5	14,8	13,4	12,3	11,3	10,4	9,7	9,1
180					21,0	18,3	16,2	14,5	13,1	12,0	11,0	10,2	9,5	8,9
190					20,6	17,9	15,8	14,2	12,9	11,8	10,8	10,0	9,3	8,7
200					20,2	17,5	15,5	13,9	12,6	11,5	10,6	9,8	9,1	8,5
210						17,2	15,2	13,7	12,4	11,3	10,4	9,6	9,0	8,4
220						16,9	15,0	13,4	12,2	11,1	10,2	9,5	8,8	8,2
230							14,7	13,2	11,9	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1
240							14,5	13,0	11,7	10,7	9,9	9,1	8,5	8,0
250							14,2	12,8	11,6	10,6	9,7	9,0	8,4	7,8
260								12,6	11,4	10,4	9,6	8,9	8,2	7,7
270								12,4	11,2	10,2	9,4	8,7	8,1	7,6
280								12,2	11,0	10,1	9,3	8,6	8,0	7,5
290								12,0	10,9	10,0	9,2	8,5	7,9	7,4
300								11,9	10,8	9,8	9,0	8,4	7,8	7,3
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa, männiköt, yhtälö 20.

Kainuu and North Ostrobothnia, pine stands, function 20.

Kuutiomäärä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
30	72,5	53,9	43,3	36,5	31,8	28,3	25,7	23,6	21,9	20,6	19,4	18,4	17,6	16,9
40	64,1	47,6	38,3	32,3	28,1	25,0	22,7	20,9	19,4	18,2	17,2	16,3	15,6	15,0
50	58,6	43,5	35,0	29,5	25,7	22,9	20,8	19,1	17,7	16,6	15,7	14,9	14,2	13,7
60	54,6	40,6	32,6	27,5	24,0	21,4	19,4	17,8	16,5	15,5	14,6	13,9	13,3	12,8
70		38,4	30,8	26,0	22,6	20,2	18,3	16,8	15,6	14,6	13,8	13,2	12,6	12,0
80		36,6	29,4	24,8	21,6	19,3	17,5	16,1	14,9	14,0	13,2	12,6	12,0	11,5
90			28,3	23,9	20,8	18,5	16,8	15,4	14,4	13,4	12,7	12,1	11,5	11,1
100			27,4	23,1	20,1	17,9	16,2	14,9	13,9	13,0	12,3	11,7	11,2	10,7
110			26,6	22,4	19,5	17,4	15,8	14,5	13,5	12,6	11,9	11,3	10,8	10,4
120			25,9	21,8	19,0	17,0	15,4	14,1	13,1	12,3	11,6	11,0	10,6	10,1
130				21,4	18,6	16,6	15,0	13,8	12,8	12,0	11,4	10,8	10,3	9,9
140				20,9	18,2	16,2	14,7	13,5	12,6	11,8	11,1	10,6	10,1	9,7
150				20,6	17,9	16,0	14,5	13,3	12,4	11,6	10,9	10,4	9,9	9,5
160					17,6	15,7	14,2	13,1	12,2	11,4	10,8	10,2	9,8	9,4
170					17,4	15,5	14,0	12,9	12,0	11,2	10,6	10,1	9,6	9,2
180					17,1	15,3	13,8	12,7	11,8	11,1	10,5	9,9	9,5	9,1
190					16,9	15,1	13,7	12,6	11,7	11,0	10,3	9,8	9,4	9,0
200					16,7	14,9	13,5	12,4	11,6	10,8	10,2	9,7	9,3	8,9
210						14,8	13,4	12,3	11,4	10,7	10,1	9,6	9,2	8,8
220						14,6	13,3	12,2	11,3	10,6	10,0	9,5	9,1	8,7
230							13,1	12,1	11,2	10,5	9,9	9,4	9,0	8,7
240							13,0	12,0	11,2	10,4	9,9	9,4	9,0	8,6
250							13,0	11,9	11,1	10,4	9,8	9,3	8,9	8,5
260								11,8	11,0	10,3	9,7	9,2	8,8	8,5
270								11,8	10,9	10,2	9,7	9,2	8,8	8,4
280								11,7	10,9	10,2	9,6	9,1	8,7	8,4
290								11,6	10,8	10,1	9,6	9,1	8,7	8,3
300								11,6	10,8	10,1	9,5	9,1	8,6	8,3
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Lappi, kuusikot, yhtälö 26.

Lapland, spruce stands, function 26.

Kuutio-määrä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
30	72,8	53,8	42,6	35,2	30,0	26,1	23,0	20,6	18,7	17,1	15,7	14,5	13,5	12,6
40	69,4	51,4	40,7	33,6	28,6	24,9	22,0	19,7	17,8	16,3	15,0	13,8	12,9	12,0
50	66,9	49,5	39,2	32,4	27,5	24,0	21,2	19,0	17,2	15,7	14,4	13,3	12,4	11,6
60	64,8	48,0	38,0	31,4	26,7	23,2	20,5	18,4	16,6	15,2	14,0	12,9	12,0	11,2
70		46,7	37,0	30,5	26,0	22,6	20,0	17,9	16,2	14,8	13,6	12,6	11,7	10,9
80		45,6	36,1	29,8	25,4	22,1	19,5	17,5	15,8	14,4	13,3	12,3	11,4	10,7
90			35,4	29,2	24,9	21,6	19,1	17,1	15,5	14,1	13,0	12,0	11,2	10,5
100			34,7	28,7	24,4	21,2	18,8	16,8	15,2	13,9	12,8	11,8	11,0	10,3
110			34,1	28,2	24,0	20,9	18,4	16,5	15,0	13,6	12,6	11,6	10,8	10,1
120			33,6	27,8	23,6	20,5	18,2	16,3	14,7	13,4	12,4	11,4	10,6	9,9
130				27,4	23,3	20,2	17,9	16,0	14,5	13,2	12,2	11,3	10,5	9,8
140				27,0	23,0	20,0	17,7	15,8	14,3	13,1	12,0	11,1	10,3	9,7
150				26,6	22,7	19,7	17,4	15,6	14,1	12,9	11,9	11,0	10,2	9,6
160					22,4	19,5	17,2	15,4	14,0	12,8	11,7	10,8	10,1	9,4
170					22,2	19,3	17,0	15,3	13,8	12,6	11,6	10,7	10,0	9,3
180					21,9	19,1	16,9	15,1	13,7	12,5	11,5	10,6	9,9	9,2
190					21,7	18,9	16,7	15,0	13,5	12,4	11,4	10,5	9,8	9,1
200					21,5	18,7	16,5	14,8	13,4	12,2	11,2	10,4	9,7	9,0
210						18,5	16,4	14,7	13,3	12,1	11,2	10,3	9,6	9,0
220						18,4	16,2	14,5	13,2	12,0	11,0	10,2	9,5	8,9
230							16,1	14,4	13,0	11,9	11,0	10,1	9,4	8,8
240							16,0	14,3	13,0	11,8	10,9	10,1	9,4	8,8
250							15,8	14,2	12,8	11,7	10,8	10,0	9,3	8,7
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Lappi, männiköt, yhtälö 24.

Lapland, pine stands, function 24.

Kuutio-määrä (V) m^3/ha	Ikä (T), v													
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
30	78,5	52,8	39,3	31,3	26,0	22,3	19,5	17,4	15,8	14,5	13,4	12,5	11,8	11,1
40	72,4	48,6	36,3	28,8	24,0	20,5	18,0	16,1	14,6	13,4	12,4	11,5	10,9	10,3
50	68,2	45,8	34,2	27,2	22,6	19,3	17,0	15,1	13,7	12,6	11,6	10,9	10,2	9,7
60	65,1	43,8	32,6	25,9	21,6	18,5	16,2	14,5	13,1	12,0	11,1	10,4	9,8	9,2
70		42,2	31,4	25,0	20,8	17,8	15,6	13,9	12,6	11,6	10,7	10,0	9,4	8,9
80		40,9	30,5	24,2	20,1	17,2	15,1	13,5	12,2	11,2	10,4	9,7	9,1	8,6
90			29,7	23,6	19,6	16,8	14,7	13,2	11,9	10,9	10,1	9,5	8,9	8,4
100			29,0	23,1	19,2	16,4	14,4	12,9	11,7	10,7	9,9	9,2	8,7	8,2
110			28,5	22,7	18,8	16,1	14,1	12,6	11,4	10,5	9,7	9,1	8,5	8,1
120			28,0	22,3	18,5	15,8	13,9	12,4	11,2	10,3	9,6	8,9	8,4	7,9
130				22,0	18,2	15,6	13,7	12,2	11,1	10,2	9,4	8,8	8,3	7,8
140				21,7	18,0	15,4	13,5	12,1	10,9	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7
150				21,4	17,8	15,2	13,4	11,9	10,8	9,9	9,2	8,6	8,1	7,6
160					17,6	15,1	13,2	11,8	10,7	9,8	9,1	8,5	8,0	7,5
170					17,4	14,9	13,1	11,7	10,6	9,7	9,0	8,4	7,9	7,5
180					17,3	14,8	13,0	11,6	10,5	9,6	8,9	8,3	7,8	7,4
190					17,1	14,7	12,9	11,5	10,4	9,5	8,8	8,2	7,8	7,3
200					17,0	14,6	12,8	11,4	10,3	9,5	8,8	8,2	7,7	7,3
210						14,5	12,7	11,3	10,3	9,4	8,7	8,1	7,6	7,2
220						14,4	12,6	11,3	10,2	9,4	8,7	8,1	7,6	7,2
230							12,5	11,2	10,1	9,3	8,6	8,0	7,6	7,2
240							12,5	11,1	10,1	9,2	8,6	8,0	7,5	7,1
250							12,4	11,1	10,0	9,2	8,5	8,0	7,5	7,1
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Liite 2. Kasvuyhtälöiden systemaattinen virhe.
App. 2. Systematic error of the increment functions.

Koivu-yhtälöt. Koko maa ja Etelä-Suomi.
Birch functions. The whole country and Southern Finland.

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5			
Yhtälö 3a - Function 3a			
9,80	11,14	- 1,34	1
13,34	12,53	+ 0,81	29
17,40	18,98	- 1,58	37
22,56	22,29	+ 0,27	47
27,19	27,99	- 0,80	41
31,97	31,40	+ 0,57	38
37,79	38,36	- 0,57	25
42,05	39,34	+ 2,71	15
47,87	49,03	- 1,16	13
51,76	41,73	+ 10,02	11
56,57	58,77	- 2,20	6
63,18	53,76	+ 9,42	6
67,30	83,59	- 16,29	1
74,24	38,07	+ 36,17	1
78,06	97,95	- 19,89	4
80,56	95,93	- 15,37	2
86,94	95,64	- 8,70	1
100,84	106,93	- 6,09	5
127,86	132,70	- 4,84	3
Yhtälö 3b			
9,91	11,14	- 1,23	1
13,11	11,95	+ 1,16	27
17,52	18,62	- 1,10	37
22,08	22,80	- 0,72	42
27,18	26,99	+ 0,19	45
31,99	32,31	- 0,32	41
37,66	36,36	+ 1,30	29
42,79	43,39	- 0,60	13
47,42	42,15	+ 5,27	14
52,91	48,57	+ 4,34	12
57,70	61,97	- 4,27	6
62,72	51,67	+ 11,05	2
67,39	80,56	- 13,17	2
70,34	38,07	+ 32,27	1
76,66	112,70	- 36,04	3
81,42	76,60	+ 4,82	2
89,02	102,99	- 13,97	1
93,93	110,46	- 16,53	1
97,92	118,50	- 20,58	1
102,25	138,20	- 35,95	1
105,71	86,16	+ 19,55	1
111,15	88,80	+ 22,35	1
120,52	117,08	+ 3,44	1
151,60	123,11	+ 28,49	1
156,44	157,92	- 1,48	1
Yhtälö 11			
18,14	19,27	- 1,13	12
22,89	21,89	+ 1,00	19
27,22	27,09	+ 0,13	37
32,24	33,74	- 1,50	28
37,91	35,07	+ 2,84	23
42,48	42,75	- 0,27	10
46,74	48,88	- 2,14	13
52,81	52,04	+ 0,77	9
58,37	53,41	+ 4,96	5
64,42	46,20	+ 18,22	2
66,83	57,80	+ 9,03	2
71,96	89,61	- 17,65	2
78,39	112,70	- 34,31	3
83,21	102,99	- 19,78	1
85,07	57,55	+ 27,52	1
103,80	124,59	- 20,79	3
113,96	95,14	+ 18,82	3
159,83	123,11	+ 36,72	1

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5			
Yhtälö 10 - Function 10			
18,32	18,83	- 0,51	12
22,87	21,68	+ 1,19	19
27,32	28,29	- 0,97	39
32,29	32,80	- 0,51	28
38,00	35,99	+ 2,01	21
42,33	40,78	+ 1,55	10
47,14	48,79	- 1,65	13
51,56	53,97	- 2,41	8
58,36	53,42	+ 4,95	5
62,38	45,05	+ 17,33	3
67,91	57,80	+ 10,11	2
71,53	95,64	- 24,11	1
75,27	74,16	+ 1,11	2
80,71	98,30	- 17,59	2
87,74	134,31	- 46,57	1
98,50	110,74	- 12,24	2
100,12	138,20	- 38,08	1
108,33	113,77	- 5,44	2
113,81	87,47	+ 26,33	2
162,09	123,11	+ 38,98	1
Yhtälö 3b (V inv.)			
13,16	11,22	+ 1,94	4
17,71	22,64	- 4,93	6
22,12	19,64	+ 2,48	17
27,88	25,03	+ 2,85	14
32,62	29,90	+ 2,72	6
37,62	33,00	+ 4,62	3
41,11	46,44	- 5,33	4
46,75	41,38	+ 5,37	4
51,60	36,18	+ 15,42	2
57,66	55,11	+ 2,55	2
63,67	68,69	- 5,02	1
65,89	78,51	- 12,62	1
74,04	59,92	+ 14,12	1
85,53	24,26	+ 61,27	1
94,38	167,80	- 73,41	1
161,08	164,18	- 3,10	1
Yhtälö 11 (V inv.)			
18,02	21,91	- 3,89	8
21,94	20,86	+ 1,08	16
27,69	26,06	+ 1,63	11
32,56	29,50	+ 3,06	7
38,08	41,07	- 2,99	3
42,99	42,29	+ 0,70	4
47,30	36,18	+ 11,12	2
51,53	52,32	- 0,80	1
57,44	57,90	- 0,46	1
62,53	64,30	- 1,77	2
90,92	24,26	+ 66,66	1
146,80	165,99	- 19,19	2
Yhtälö 12			
17,82	19,13	- 1,31	11
22,70	22,72	- 0,02	20
27,39	26,09	+ 1,30	34
31,84	33,84	- 2,00	28
37,97	35,39	+ 2,58	24
42,59	41,50	+ 1,09	11
46,86	47,48	- 0,62	14
52,68	51,31	+ 1,37	9
57,70	55,38	+ 2,32	3
62,17	52,85	+ 9,32	4
67,03	48,76	+ 18,27	2
71,67	89,61	- 17,94	2
79,22	87,60	- 8,38	2
81,82	110,30	- 28,48	3
89,85	102,99	- 13,14	1
96,37	128,00	- 31,63	2
110,98	87,48	+ 23,50	2
153,08	123,11	+ 29,97	1

Kuusi-yhtälöt. Koko maa ja Etelä-Suomi.

Spruce functions. The whole country and Southern Finland.

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations	Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured			Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5				Pv_5			
Yhtälö 2 - Function 2				Yhtälö 7 - Function 7			
9,11	9,52	- 0,41	30	8,69	10,90	- 2,21	1
12,96	12,23	+ 0,73	205	13,26	12,51	+ 0,75	43
17,41	17,59	- 0,18	278	17,98	17,92	+ 0,06	94
22,52	23,58	- 1,06	244	22,82	23,86	- 1,04	136
27,26	28,20	- 0,94	164	27,61	27,90	- 0,29	176
32,25	30,83	+ 1,42	146	32,24	30,46	+ 1,78	114
37,43	37,92	- 0,49	103	37,38	37,20	+ 0,18	87
42,37	42,35	+ 0,02	67	42,36	40,63	+ 1,73	64
47,61	44,38	+ 3,23	45	47,04	44,68	+ 2,36	45
52,47	50,66	+ 1,81	34	51,95	56,08	- 4,13	34
56,65	55,90	+ 0,75	24	57,00	54,03	+ 2,97	19
62,55	52,90	+ 9,65	17	61,40	56,27	+ 5,13	13
67,43	69,64	- 2,21	11	67,52	72,94	- 5,42	6
72,02	78,13	- 6,11	7	71,89	80,24	- 8,35	8
77,99	90,44	- 12,45	6	76,38	75,80	+ 0,58	8
82,13	74,94	+ 7,19	8	82,88	129,18	- 46,29	6
87,06	87,12	- 0,06	6	86,73	75,04	+ 11,69	7
92,93	123,44	- 30,51	3	94,10	121,58	- 27,48	1
97,26	84,00	+ 13,26	3	96,24	91,17	+ 5,07	2
103,50	106,68	- 3,18	4	102,74	128,36	- 25,63	1
105,47	65,69	+ 39,78	1	114,16	179,40	- 65,24	1
124,56	153,88	+ 29,32	2	132,73	113,80	+ 18,93	1
163,32	113,80	+ 49,52	1				
Yhtälö 8				Yhtälö 8 (V inv.)			
13,39	11,68	+ 1,71	35	13,45	11,83	+ 1,62	16
17,95	17,73	+ 0,22	101	17,78	17,59	+ 0,19	100
22,74	23,74	- 1,00	143	22,30	24,43	- 2,13	111
27,51	27,95	- 0,44	180	27,32	30,00	- 2,68	87
32,22	30,69	+ 1,53	114	32,50	36,52	- 4,02	48
37,30	37,59	- 0,29	81	36,96	45,12	- 8,16	33
42,03	42,00	+ 0,03	67	42,65	49,82	- 7,17	15
47,04	45,53	+ 1,51	42	46,53	52,79	- 6,26	12
52,09	56,16	- 4,07	32	52,34	61,86	- 9,51	14
57,41	58,63	- 1,22	17	57,11	81,20	- 24,09	14
62,56	55,01	+ 7,55	14	62,25	75,82	- 13,57	4
67,42	73,99	- 6,57	7	66,28	68,36	- 2,08	5
72,50	66,70	+ 5,80	3	74,46	112,10	- 37,64	2
76,89	79,71	- 2,82	7	84,10	164,51	- 80,41	2
82,32	116,73	- 34,41	2	93,54	53,48	+ 40,06	2
87,33	90,75	- 3,42	7	100,19	109,14	- 8,95	1
92,09	83,09	+ 9,00	6	108,64	69,44	+ 39,20	2
97,71	92,72	+ 4,99	2	119,54	181,74	- 62,20	2
102,72	121,58	- 18,86	1	149,40	242,05	- 92,65	3
107,64	91,17	+ 16,47	2	188,35	258,82	- 70,47	2
111,32	73,10	+ 38,22	1	355,33	322,63	+ 32,70	3
116,31	128,36	- 12,05	1				
133,74	113,80	+ 19,94	1				
144,87	179,40	- 34,53	1				
Yhtälö 9							
9,06	9,48	- 0,41	2				
13,07	12,10	+ 0,97	36				
17,99	17,99	0,00	103				
22,79	23,93	- 1,14	132				
27,47	27,40	+ 0,07	167				
32,18	30,62	+ 1,56	116				
37,41	36,88	+ 0,53	91				
42,21	41,37	+ 0,84	71				
47,39	46,58	+ 0,81	50				
52,29	53,48	- 1,19	29				
57,41	57,02	+ 0,39	23				
62,33	63,57	- 1,24	8				
67,72	72,26	- 4,54	6				
71,93	66,98	+ 4,95	8				
76,97	95,09	- 18,12	6				
82,08	109,66	- 27,58	7				
87,55	86,45	+ 1,10	5				
92,41	93,99	- 1,58	3				
101,14	54,48	+ 46,66	1				
107,93	128,36	- 20,44	1				
114,84	179,40	- 64,56	1				
123,64	113,80	+ 9,84	1				

Kuusi-yhtälöt. Pohjois-Suomi, Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa, ja Lappi.

Spruce functions. Northern Finland, Kainuu and North Ostrobothnia, and Lapland.

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5			
Yhtälö 16 - Function 16			
8,84	9,29	- 0,45	42
12,77	12,57	+ 0,20	174
17,23	16,80	+ 0,43	144
22,16	22,17	- 0,01	92
26,96	30,73	- 3,77	25
31,59	27,72	+ 3,87	19
37,02	36,92	+ 0,10	15
42,75	45,31	- 2,56	8
47,85	54,48	- 6,62	6
53,15	56,55	- 3,40	6
57,77	49,46	+ 8,31	2
61,99	105,31	- 43,32	1
67,45	55,05	+ 12,40	3
77,43	69,70	+ 7,73	3
86,29	105,74	- 19,45	1
93,56	94,40	- 0,84	1
Yhtälö 17			
8,78	9,20	- 0,42	43
12,71	12,41	+ 0,30	167
17,18	16,74	+ 0,44	149
22,28	22,67	- 0,39	94
27,24	28,39	- 1,15	24
31,68	28,67	+ 3,01	20
37,15	41,47	- 4,32	13
42,26	39,80	+ 2,46	9
47,35	47,21	+ 0,14	5
51,83	61,44	- 9,61	7
56,59	49,46	+ 7,13	2
62,72	67,48	- 4,76	3
67,28	68,01	- 0,73	1
73,21	66,82	+ 6,39	1
75,35	71,14	+ 4,21	2
82,73	105,74	- 23,01	1
89,31	94,40	- 5,09	1
Yhtälö 25			
8,83	8,99	- 0,16	36
12,56	12,55	+ 0,01	136
16,91	16,28	+ 0,63	63
21,75	22,62	- 0,87	16
26,78	24,90	+ 1,88	9
33,33	44,08	- 10,75	3
36,52	47,29	- 10,77	3
Yhtälö 22			
9,51	10,88	- 1,37	6
13,12	12,80	+ 0,32	48
17,27	17,37	- 0,10	70
22,25	21,34	+ 0,91	68
26,50	27,32	- 0,82	26
32,33	35,68	- 3,35	17
36,99	35,56	+ 1,43	11
43,31	45,54	- 2,23	6
46,93	49,04	- 2,11	7
53,75	44,70	+ 9,05	2
56,10	51,67	+ 4,43	3
61,61	55,45	+ 6,16	5
67,31	89,42	- 22,11	2
71,26	67,42	+ 3,84	2
84,89	68,76	+ 16,13	1
87,95	100,07	- 12,12	2
Yhtälö 26 (V inv.)			
9,83	6,82	+ 3,01	2
12,68	9,92	+ 2,76	37
17,17	15,40	+ 1,77	26
21,76	19,36	+ 2,40	5
26,69	30,32	- 3,63	7
32,58	41,05	- 8,47	5
40,12	45,06	- 4,94	1

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5			
Yhtälö 18 - Function 18			
9,02	9,32	- 0,30	43
12,78	12,70	+ 0,08	173
17,18	16,65	+ 0,53	146
22,23	22,69	- 0,46	91
27,43	29,30	- 1,87	27
32,01	29,08	+ 2,93	16
36,77	35,25	+ 1,52	12
42,30	43,18	- 0,88	11
47,31	57,60	- 10,29	5
52,57	53,38	- 0,81	6
56,90	52,26	+ 4,64	3
61,77	105,31	- 43,54	1
67,91	55,05	+ 12,86	3
73,58	68,76	+ 4,82	1
75,32	66,82	+ 8,50	1
83,16	73,52	+ 9,64	1
86,80	105,74	- 18,94	1
92,54	94,40	+ 1,86	1
Yhtälö 17 (V inv.)			
8,66	6,67	+ 1,99	18
12,65	10,44	+ 2,21	55
16,99	13,57	+ 3,42	45
22,05	17,70	+ 4,35	13
26,61	23,13	+ 3,48	5
32,32	29,44	+ 2,88	7
38,61	29,12	+ 9,49	2
41,53	49,00	- 7,47	3
47,15	51,72	- 4,57	1
50,68	45,06	+ 5,62	1
Yhtälö 21			
9,77	10,88	- 1,11	6
13,16	12,71	+ 0,45	46
17,25	17,40	- 0,15	74
22,20	21,42	+ 0,78	64
26,48	29,11	- 2,63	30
32,46	31,70	+ 0,76	17
37,36	36,64	+ 0,72	8
42,75	43,24	- 0,49	9
47,03	53,88	- 6,85	4
52,47	49,95	+ 2,52	4
58,61	35,18	+ 23,43	1
62,35	57,10	+ 5,25	5
66,20	77,50	- 11,30	3
72,76	67,42	+ 5,34	2
88,63	81,58	+ 7,05	2
91,09	105,74	- 14,65	1
Yhtälö 22 (V inv.)			
8,43	5,83	+ 2,60	8
12,53	10,25	+ 2,28	27
17,12	13,37	+ 3,75	24
22,63	19,03	+ 3,60	5
28,22	13,29	+ 14,93	1
43,97	13,66	+ 30,31	1
49,55	51,72	- 2,17	1
Yhtälö 26			
8,89	8,89	0,00	37
12,64	12,73	- 0,09	136
16,89	16,14	+ 0,75	61
22,03	21,24	+ 0,79	19
26,40	26,12	+ 0,28	6
32,36	40,62	- 8,26	5
36,01	54,36	- 18,35	2

Mänty-yhtälöt. Koko maa ja Etelä-Suomi.

Pine functions. The whole country and Southern Finland.

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
P_{V5}			
Yhtälö 1 - Function 1			
8,11	7,91	+ 0,20	166
12,56	12,55	+ 0,01	344
17,35	17,63	- 0,27	361
22,36	22,45	- 0,09	277
27,15	26,18	+ 0,97	153
32,25	31,59	+ 0,66	98
37,23	39,17	- 1,94	71
42,00	39,24	+ 2,75	38
47,29	43,62	+ 3,67	31
52,17	55,59	- 3,43	19
56,99	52,73	+ 4,26	12
62,22	60,49	+ 1,73	10
67,18	63,71	+ 3,47	10
72,96	80,00	- 7,04	3
77,93	63,90	+ 14,03	7
82,14	99,89	- 17,75	3
87,41	106,57	- 19,16	4
94,25	136,29	- 42,04	2
97,68	89,97	+ 7,71	3
102,89	103,18	- 0,29	5
125,19	164,28	- 39,09	4
160,08	216,82	- 56,74	2
185,39	243,89	- 58,50	3
Yhtälö 5			
10,00	7,39	+ 2,61	1
13,38	12,86	+ 0,52	80
17,52	17,24	+ 0,28	182
22,30	22,96	- 0,66	169
27,38	27,13	+ 0,25	102
32,40	31,64	+ 0,76	59
37,06	38,68	- 1,62	40
42,02	41,29	+ 0,73	27
47,43	47,07	+ 0,36	18
52,96	56,99	- 4,03	12
58,48	79,97	- 21,49	4
62,64	66,11	- 3,47	10
67,34	78,77	- 11,43	4
72,15	38,89	+ 33,26	2
78,38	67,10	+ 11,28	3
82,10	141,41	- 59,31	2
92,01	84,32	+ 7,69	3
95,50	38,35	+ 57,15	1
101,95	49,66	+ 52,29	2
123,87	107,26	+ 16,61	3
170,36	216,82	- 46,46	2
214,62	187,46	+ 27,16	2
Yhtälö 6			
8,51	8,31	+ 0,20	5
13,00	13,34	- 0,34	84
17,54	17,34	+ 0,20	164
22,44	22,64	- 0,20	159
27,31	26,24	+ 1,07	105
32,17	30,71	+ 1,46	69
37,16	39,48	- 2,32	43
42,39	39,42	+ 2,97	36
47,44	49,97	- 2,53	13
52,47	56,36	- 3,89	14
58,46	67,98	- 9,52	8
62,31	67,35	- 5,04	6
67,30	74,22	- 6,92	6
72,31	92,22	- 19,91	2
77,14	90,99	- 13,85	4
82,34	68,70	+ 13,64	1
88,04	38,35	+ 49,69	1
94,12	99,11	- 4,99	1
98,28	48,91	+ 49,37	2
119,14	169,86	- 50,72	1
146,56	216,82	- 70,26	2
166,62	187,46	- 20,84	2

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
P_{V5}			
Yhtälö 4 - Function 4			
8,91	7,44	+ 1,47	5
12,97	13,15	- 0,18	79
17,54	17,41	+ 0,13	176
22,34	22,74	- 0,40	158
27,34	26,31	+ 1,03	109
32,48	31,22	+ 1,26	61
37,16	39,99	- 2,83	42
42,27	39,24	+ 3,03	29
46,17	45,21	+ 0,96	14
52,38	54,94	- 2,56	15
56,47	53,78	+ 2,69	5
61,95	68,99	- 7,04	11
66,17	65,86	+ 0,31	4
71,46	89,63	- 18,17	4
76,63	76,05	+ 0,58	3
81,88	87,16	- 5,28	2
88,17	84,32	+ 3,85	3
91,20	45,00	+ 46,20	1
99,12	99,11	+ 0,01	1
113,14	111,34	+ 1,80	2
145,39	216,82	- 71,43	2
168,74	187,46	- 18,72	2
Yhtälö 5 (V inv.)			
9,01	7,60	+ 1,41	7
13,11	13,74	- 0,63	95
17,48	18,30	- 0,82	143
22,38	23,63	- 1,25	114
27,36	27,84	- 0,48	49
32,00	35,46	- 3,46	30
37,27	37,44	- 0,17	16
42,65	48,47	- 5,82	16
47,93	53,88	- 5,95	8
52,40	51,28	+ 1,12	7
57,65	60,80	- 3,15	8
61,61	55,93	+ 5,68	3
67,28	70,69	- 3,41	7
72,73	75,83	- 3,10	9
75,64	118,89	- 43,25	3
84,73	76,81	+ 7,92	1
89,17	88,76	+ 0,41	4
92,57	108,48	- 15,91	6
97,61	72,73	+ 24,88	2
104,37	83,65	+ 20,72	2
108,18	171,34	- 63,16	2
113,04	95,49	+ 17,55	3
122,54	89,47	+ 33,07	3
131,32	102,29	+ 29,03	2
142,47	128,89	+ 13,58	3
148,74	152,80	- 4,06	1
177,14	249,34	- 72,20	4
262,43	338,40	- 75,97	3
284,38	284,96	- 0,58	2

Mänty-yhtälöt. Pohjois-Suomi, Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa, ja Lappi.

Pine functions. Northern Finland, Kainuu and North Ostrobothnia, and Lapland.

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5			
Yhtälö 13 - Function 13			
8,25	8,01	+ 0,24	167
12,31	12,28	+ 0,03	254
17,12	17,93	- 0,81	190
22,23	21,75	+ 0,48	117
27,05	27,05	0,00	56
32,41	34,32	- 1,91	32
37,64	36,54	+ 1,10	23
42,32	37,99	- 4,33	13
48,30	43,86	+ 4,44	9
53,13	55,46	- 2,33	9
56,67	55,34	+ 1,33	5
62,46	40,28	+ 22,18	5
69,92	60,00	+ 9,92	1
74,26	47,85	+ 26,41	3
82,17	88,56	- 6,39	1
88,35	88,42	- 0,07	3
91,37	83,18	+ 8,19	1
105,34	107,14	- 1,80	2
117,75	134,31	- 16,56	3
190,62	286,99	- 96,37	2
Yhtälö 14			
8,19	7,97	+ 0,22	163
12,38	12,24	+ 0,14	263
17,22	18,52	- 1,30	188
22,36	21,49	+ 0,87	120
27,09	26,98	+ 0,11	50
32,25	33,53	- 1,28	30
36,89	37,00	- 0,11	22
41,92	38,27	+ 3,65	16
47,16	37,97	+ 9,19	6
52,16	56,49	- 4,33	14
57,72	44,29	+ 13,43	4
62,03	50,27	+ 11,75	3
66,49	33,28	+ 33,21	2
76,33	57,85	+ 18,48	4
82,83	68,29	+ 14,54	1
88,35	88,56	- 0,21	1
94,39	84,37	+ 10,02	1
101,93	134,78	- 32,85	3
112,50	102,98	+ 9,52	2
116,50	70,17	+ 46,33	1
146,14	156,04	- 9,90	2
209,89	332,96	- 123,07	2
Yhtälö 19			
9,40	9,91	- 0,51	9
12,79	12,16	+ 0,63	79
17,42	18,58	- 1,16	108
22,31	22,47	- 0,16	67
27,15	25,26	+ 1,89	46
32,34	29,88	+ 2,46	26
37,69	36,37	+ 1,32	18
42,54	46,88	- 4,34	9
47,05	49,27	- 2,22	8
52,84	41,70	+ 11,14	4
57,40	65,73	- 8,33	3
66,39	49,39	+ 17,00	3
79,44	36,79	+ 42,65	1
80,16	74,20	+ 5,96	1
99,57	113,52	- 13,95	2
115,99	70,17	+ 45,82	1
137,20	156,04	- 18,84	2
192,65	332,97	- 140,32	2

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
Pv_5			
Yhtälö 15 - Function 15			
8,24	8,11	+ 0,13	172
12,47	12,20	+ 0,27	246
17,18	18,20	- 1,02	189
22,39	21,75	+ 0,64	123
27,04	26,14	+ 0,90	53
32,09	34,46	- 2,37	34
37,24	36,65	+ 0,59	24
42,02	37,38	+ 4,64	10
47,53	44,06	+ 3,47	11
53,17	53,02	+ 0,15	12
57,82	64,76	- 6,94	2
61,16	38,51	+ 22,65	4
69,19	53,18	+ 16,01	2
72,59	48,59	+ 24,00	2
75,52	88,56	- 13,04	1
84,15	68,29	+ 15,86	1
86,83	93,39	- 6,56	3
90,54	84,37	+ 6,17	1
109,72	186,80	- 77,08	1
114,06	118,63	- 4,57	4
140,88	217,24	- 76,36	2
221,82	356,75	- 134,92	1
Yhtälö 14 (V inv.)			
8,14	5,94	+ 2,20	42
12,48	11,62	+ 0,86	96
16,89	15,53	+ 1,36	56
22,12	21,12	+ 1,00	31
27,09	24,71	+ 2,38	20
31,83	28,80	+ 3,03	15
37,98	34,71	+ 3,26	8
43,18	56,81	- 13,63	6
47,94	60,58	- 12,64	7
52,61	61,14	- 8,53	5
58,44	58,39	+ 0,05	2
62,54	57,61	+ 4,93	7
67,47	98,01	- 30,54	7
74,08	75,59	- 1,51	3
77,68	103,01	- 25,33	2
81,18	73,20	+ 7,98	1
87,24	72,46	+ 14,78	3
93,58	71,43	+ 22,15	1
114,26	95,75	+ 18,51	2
133,48	149,25	- 15,77	1
145,76	89,64	+ 56,12	2
170,74	216,05	- 45,30	1
203,44	135,29	+ 68,15	1
Yhtälö 23			
8,00	7,97	+ 0,03	170
12,27	11,79	+ 0,48	163
17,23	18,14	- 0,91	84
22,16	23,20	- 1,04	42
27,19	27,06	+ 0,13	14
32,57	30,26	+ 2,31	8
37,39	34,93	+ 2,46	6
43,49	43,74	- 0,25	5
47,82	58,88	- 11,06	4
53,09	46,99	+ 6,10	3
56,89	43,17	+ 13,72	1
62,33	60,00	+ 2,33	1
65,85	53,38	+ 12,47	2
72,82	88,56	- 15,74	1
77,74	95,54	- 17,80	2
80,92	83,18	- 2,26	1

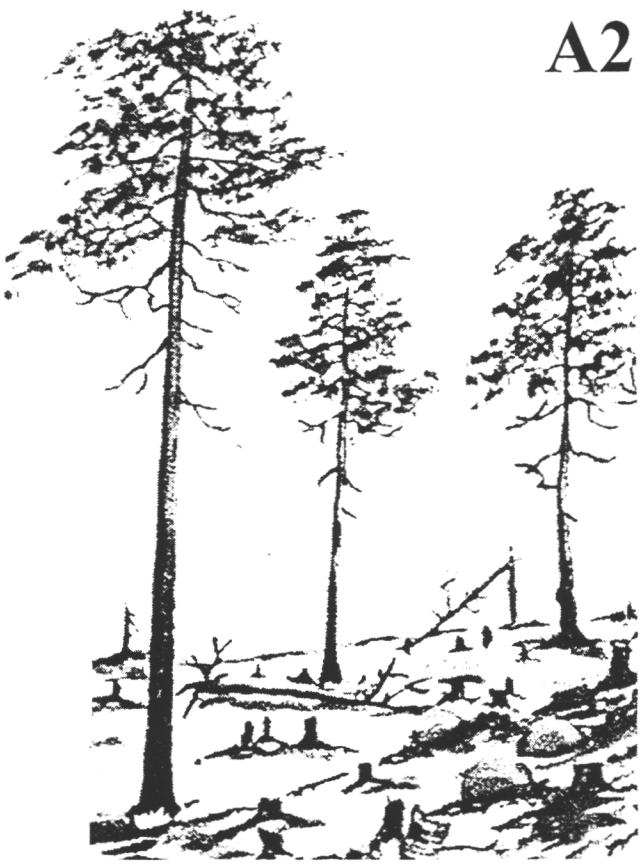
Mänty-yhtälöt. Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa, ja Lappi.

Pine functions. Kainuu and North Ostrobothnia, and Lapland.

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
P_{V5}			
Yhtälö 20			
13,11	11,94	+ 1,17	86
17,50	18,91	- 1,41	118
22,30	22,08	+ 0,22	70
26,69	26,14	+ 0,55	39
37,58	34,36	+ 3,22	13
41,62	50,80	- 9,18	9
47,13	49,29	- 2,16	7
52,76	54,78	- 2,02	4
57,62	46,44	+ 11,18	3
62,47	25,47	+ 37,00	1
66,35	40,51	+ 25,84	1
74,96	82,18	- 7,22	1
76,14	74,20	+ 1,94	1
83,50	36,79	+ 46,71	1
100,39	84,37	+ 16,02	1
109,30	134,79	- 25,49	3
134,47	70,17	+ 64,30	1
170,51	125,28	+ 45,23	1
245,84	247,99	- 2,15	2
Yhtälö 24			
8,11	7,91	+ 0,20	170
12,20	11,92	+ 0,28	167
17,18	18,13	- 0,95	83
22,02	22,88	- 0,86	40
27,29	30,63	- 3,34	13
33,28	31,32	+ 1,96	9
37,56	37,24	+ 0,32	3
41,88	41,07	+ 0,81	4
47,62	55,58	- 7,96	7
53,38	32,44	+ 20,94	1
56,38	36,91	+ 19,47	3
68,40	55,59	+ 12,81	3
80,75	78,42	+ 2,33	2
99,90	83,18	+ 16,72	1
102,71	122,78	- 20,07	1

Luokan keskiarvo Class average		Erotus Difference	Havaintojen lukumäärä Number of observations
Laskettu Calculated	Mitattu Measured		
P_{V5}			
Yhtälö 20 (V inv.)			
9,04	4,97	+ 4,07	12
12,35	8,96	+ 3,39	48
17,10	15,34	+ 1,76	29
22,77	18,30	+ 4,47	13
28,01	22,87	+ 5,14	13
33,11	28,86	+ 4,25	8
36,33	36,28	+ 0,05	3
41,98	43,46	- 1,47	4
47,25	56,78	- 9,53	4
51,92	55,40	- 3,48	2
57,08	60,96	- 3,88	1
63,50	72,76	- 9,26	2
67,14	62,05	+ 5,09	5
72,39	151,13	- 78,74	1
79,01	96,32	- 17,31	2
87,12	90,00	- 2,88	1
97,11	83,44	+ 13,67	2
107,72	72,31	+ 35,41	2
135,90	89,09	+ 46,81	1
157,28	110,67	+ 46,61	2
196,09	80,46	+ 115,63	2
247,80	121,10	+ 126,70	2
Yhtälö 24 (V inv.)			
8,38	7,78	+ 0,60	10
12,55	11,21	+ 1,34	64
17,41	18,87	- 1,46	35
22,55	21,95	+ 0,60	17
27,00	27,48	- 0,48	9
32,83	24,78	+ 8,05	3
35,73	31,00	+ 4,73	2
41,38	74,37	- 32,99	4
46,49	42,29	+ 4,20	3
52,65	47,37	+ 5,28	1
56,49	66,84	- 10,36	2
61,03	51,67	+ 9,36	3
66,42	90,06	- 23,64	3
71,21	78,70	- 7,49	2
97,60	106,06	- 8,46	2
174,54	216,05	- 41,51	1
391,06	342,86	+ 48,20	1

A2



FOLIA FORESTALIA 796

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992

Hans Gustav Gustavsen

VÄHÄPUUSTOISTEN MÄNNIKÖIDEN JA KUUSIKOIDEN KEHITYS

Development of understocked pine and spruce stands

Approved on 26.8.1992

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 4
2 TUTKIMUSAINEISTO 5
3 PERUSTEET JA MENETELMÄT 8
3.1 Kasvupaikkaluokittelu ja käsittelyohjelmat 8
3.2 Tilavuuskasvumallit ja apumallit 8
3.3 Metsiköiden kehityksen simulointi 10
4 VÄHÄPUUSTOISTEN HAVUMETSIKÖIDEN KEHITYS 11
4.1 Pohjapinta-alan kehitys 11
4.2 Tilavuuskehitys ja kokonaistuotos 11
4.3 Kasvuyhtälöiden ja kehityssarjojen luotettavuus 17
4.4 Vähäpuustoisen metsikön vajaatuottoisuus 19
5 TULOSTEN TARKASTELU JA SOVELTAMINEN 21
KIRJALLISUUS – *REFERENCES* 22
SUMMARY 23
LIITTEET – *APPENDICES* 27

Gustavsen, H.G. 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys. Summary: Development of understocked pine and spruce stands. Folia Forestalia 796. 29 p.

Tutkimuksessa kuvataan luontaisesti syntyneiden vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitystä ensiharvennuksesta kiertoajan loppuun. Tutkimus perustuu valtakunnan metsien 3. (1951–53) ja 5. (1964–70) inventoinnin kangasmaiden koealojen mittaustuloksiin.

Tutkimuksessa on laadittu yhtälöitä vähäpuustoisten havumetsiköiden tulevan 5-vuotisjakson tilavuuskasvun arviointia varten. Niiden perusteella on piirretty graafisia kuvaajia vähäpuustoisten metsiköiden pohjapinta-alan kehityksestä eri kasvupaikoilla. Lisäksi on laadittu esimerkkilaskelmia vähäpuustoisen metsikön tilavuuskehityksestä ja pitkän ajan tuotoksesta. Tuloksia voidaan käyttää hakkuiden suunnittelussa metsikön vajaatuottoisuutta koskevissa taloudellisissa analyyseissä. Käytännön metsätaloudessa tulosten luotettavuus riippuu siitä, kuinka hyvin tutkimusaineiston metsiköt vastaavat nykymetsiä. Tulosten soveltaminen vaatii siten harkintaa ja varovaisuutta.

The aim of this study is to present models and information for the estimation of increment and yield in understocked stands. The material used in the study was sample plot data from the 3rd (1951–53) and the 5th (1964–70) National Forest Inventory.

Functions based on forest stand characteristics were developed for the estimation of volume increment (5-year period). Examples are given describing the development of basal area, volume and yield predicted by the functions. The reliability of the results depends mainly on the validity of the research material. Caution must therefore be used in the application of the increment functions.

Keywords: understocked stands, growth, yield.
FDC 174.7 *Pinus sylvestris* + 174.7 *Picea abies* + 562

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, PL 68, SF-80101 Joensuu, Finland.

ISBN 951-40-1243-7
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

Merkinnät – Symbols

Metsikkö – *Stand*

I_{V5} = tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu kuorineen, m^3/ha/5 v
volume increment during the future 5-year period, incl. bark, m^3/ha/5 yr

T = biologinen ikä, v
biological age, yrs

V = tilavuus kuorineen, m^3/ha
volume, incl. bark, m^3/ha

Yv = kokonaistuotos kuorineen kiertoajan kuluessa, m^3/ha
total yield in cubic volume incl. bark during the rotation, m^3/ha

G = pohjapinta-ala kuorineen, m^2/ha
basal area incl. bark, m^2/ha

N = runkoluku, kpl/ha
number of stems per hectare

D = keskiläpimitta (pohjapinta-alalla painotettu), cm
mean diameter (weighted by basal area), cm

H_{dom} = valtapituus (sadan paksuimman puun keskipituus/ha), m
dominant height (mean height of 100 thickest trees/ha), m

H_{100} = pituusboniteetti (valtapituus sadan vuoden biologisella iällä), m
site index: dominant height of the stand at the biological age of 100 years, m

F = muotoluku
breast height form factor

$$\frac{V}{G \cdot H_{dom}}$$

TS = kasvupaikan lämpösumma (vuorokauden keskilämpötilan kynnysarvo on 5 °C), d.d.
the effective temperature sum on the site (the minimum effective temperature is 5 °C), d.d.

Muita – *Others*

s_f = jäännöshajonta
residual standard deviation (standard deviation of the dependent variable about the function)

s_y = selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta
original standard deviation of the dependent variable

R^2 = selitysaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin)
coefficient of determination (R = multiple correlation coefficient)

n = havaintojen lukumäärä
number of observations

ln = luonnollinen logaritmi
natural logarithm

ja = 5-vuotiskauden alku
beginning of the 5-year period

jl = 5-vuotiskauden loppu
end of the 5-year period

1 Johdanto

Vajaatuottoisena pidetään yleisesti metsikköä, jonka puuston tuotto tai laatu on kasvupaikka huomioon ottaen niin heikko, että puustoa edelleen kasvattamalla metsänomistaja saa heikomman taloudellisen tuloksen kuin hän saisi aloittamalla kaiken alusta metsikön uudistamisesta lähtien. Uudistamista harkittaessa on otettava huomioon käytettävissä oleva työvoima ja teknologia sekä tuotot ja kustannukset.

Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisemien ohjeiden (Etelä- ja Pohjois-Suomen... 1981) mukaan metsikkö on vajaatuottoinen, mikäli se tuottaa lähimmän kymmenen vuoden aikana alle 60 % kasvupaikalle parhaiten sopivaa puulajia olevan, hoidetun metsikön rahallisesta tuotosta. Käytännössä raja ilmaistaan 60 %:na harvennusmallien ohjepohjapinta-alasta harvennuksen jälkeen. Tämä määrittely on kuitenkin muutettu Metsäkeskus Tapion (Metsänhoitosuositukset 1989) uusissa ohjeissa, jotka ilmestyivät tämän tutkimuksen ollessa jo pääosiltaan valmiina.

Uusien ohjeiden mukaan metsikkö on vajaatuottoinen, mikäli sen uudistaminen ennen aikaisimman uudistamisajankohdan saavuttamista on puuntuotannollisesti ja taloudellisesti tarkoituksenmukaisempaa kuin metsikön edelleen kasvattaminen, tai mikäli aikaisimman uudistamisajankohdan jo sivuuttaneen metsikön kasvu on pieni (alle 50 % hoidetun metsikön kasvusta). Vähäpuustoisuuden vuoksi vajaatuottoisia ovat metsiköt, joissa kelvollisen puuston pohjapinta-ala on alle 70 % yksityismetsälain valvontaohjeen osoittamasta vähimmäispohjapinta-alasta (Yksityismetsälain... 1989). Aiempaan verrattuna puustoisuusvaatimuksia on alennettu 10–15 %.

Metsähallituksen ohjeissa (Ohjekirjeet... 1984) taimikko katsotaan vajaapuustoiseksi ja alue viljellään uudestaan, mikäli kehityskelpoisten viljely- ja luonnontaimien yhteismäärä on alle 40 % puulajin ja kasvupaikan mukaisesta ohjetiheydestä. Varttuneempien metsiköiden vajaapuustoisuus perustuu Metsäkeskus Tapion harvennusohjeiden tapaan pohjapinta-aloihin ja runkolukuihin. Pohjapinta-alan minimi on kasvupaikasta riippuen ensiharvennusvaiheessa 60–70 % ja viimeisissä harvennuksissa 80–90 % harvennuksen jälkeisistä ohjetiheyksistä.

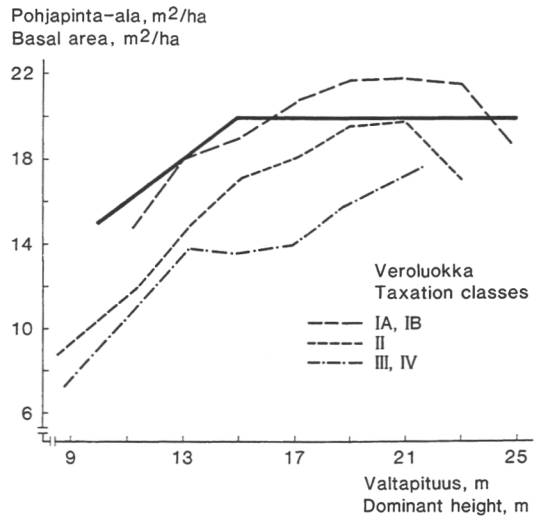
Valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI7) vajaatuottoisuus arvioidaan laadun perusteella. Laatuluokat 5–8 (jätemetsä, väärä puulaji, ylikäinen, muu uusittava) osoittavat metsikön vajaatuottoiseksi. Vertailukohteena käytetään sopivaa puulajia olevaa täystiheää metsikköä, jonka kiertoajan kokonaistuotoksesta n. 40–45 % on tukkipuuta. Jos puuston tukkipuuosuus on riittävä, mahdollinen vajaatuottoisuus arvioidaan pohjapinta-alan perusteella. Keskipituudeltaan 17 m lyhyemmässä metsikössä vajaatuottoisuusraja on 70 % ja tätä pidemmissä puustoissa 60 % harvennusmallien alarajasta (Kuusela & Salminen 1983, s. 9–10).

Vajaatuottoiset metsiköt ovat vähentyneet 1970-luvun lopulta lähtien. Vähennys on osittain todellista ja osittain valtakunnan metsien 7. inventoinnin (1977–83) uusittujen luokitusten aiheuttamaa. Inventoinnin mukaan vajaatuottoisia metsiä oli Etelä-Suomessa 8,5 % metsämaan pinta-alasta. Puustoa oli mäntyvaltaisissa vajaatuottoisissa metsissä 19,8 milj. m^3 (89 m^3/ha, 223 100 ha), kuusivaltaisissa metsissä 29,1 milj. m^3 (104 m^3/ha, 280 300 ha) ja lehtipuuvaltaisissa metsissä 33,2 milj. m^3 (82 m^3/ha, 404 700 ha) (Kuusela & Salminen 1983, s. 9, 57–59, 67).

Valtakunnan metsien inventoinnit antavat käsityksen vajaapuustoisuuden ja sen aiheuttaman vajaatuottoisuuden laajuudesta. Vähäpuustoisten metsien kehityksestä ja puuntuotoskyvystä on olemassa vain vähän tutkimustietoa niin Suomessa kuin muissakin Pohjoismaissa. Ongelmaa on sivuttu muiden tutkimusten yhteydessä (Vuokila 1969, Hänninen 1974), mutta kokonaisuutena aihetta on tutkittu vain vähän (Päivinen 1989, Salminen 1989).

Vuokila (1969) ja Hänninen (1974, kuva 1) ovat tutkineet Suomen metsien puustoisuutta valtakunnan metsien inventoinnin aineistosta, mutta he eivät selvittäneet vähäpuustoisen metsikön kasvua ja kehitystä. Ainoat kotimaiset aiheeseen liittyvät pysyvät kokeet ovat taimikoissa, joiden voimakkaimmissa harvennuksissa puuston tiheys on pudotettu runkolukuun 600 kpl/ha. Koska tällä hetkellä ei ole käytettävissä riittävää kestokoeaineistoa vähäpuustoisten metsiköiden kehityksen selvittämistä varten, oli tämän tutkimuksen ainoa mahdollisuus käyttää valtakunnan metsien inventoinnin aineistoja.

Ruotsissa on käytetty tilapäiskoealoja harvennuksella vähäpuustoiseksi saatettujen taimikoiden kehitystä tutkittaessa (Fryk 1984). Harven-



Kuva 1. Etelä-Suomen mäntyvaltaisten metsiköiden keskimääräinen pohjapinta-ala veroluokittain 1960-luvulla. Vertailuarvona (yhtenäinen viiva) Metsäkeskus Tapion ohjeiden mukainen pohjapinta-ala puolukkatyypin männiköille (veroluokka II) hakkuun jälkeen (Hänninen 1974).

Fig. 1. Average basal area in pine-dominated stands in South Finland by tax classes in the 1960's, and compared with the recommendation of Forest Center Tapio (solid line) for a pine stand on the Vaccinium site type (tax class II) after thinning (Hänninen 1974).

nettujen taimikoiden kehitystä on simuloitu kasvumallein kiertoajan loppuun saakka (Bengtsson 1980). Vasta äskettäin perustettujen kestokokeiden myöhemmät mittaukset voivat paljastaa tulosten luotettavuuden. Norjassa on ilmestynyt kuusikoiden vajaapuustoisuutta koskeva tutkimus (Braastad 1983), jossa metsikön kehitystä ennustettiin hoidetun metsikön keskiläpimitan kasvumallilla. Kasvumallissa käytettiin kasvua alentavaa korjaustekijää simuloitaessa harvan ja epätasaisen kuusikon kehitystä. Simuloinnit, joissa lähtöpuuston runkoluvut vaihtelivat 400–1200 kpl/ha, ulottuivat noin 10 m:n pituusvaiheesta kiertoajan loppuun.

Vajaatuottoisuus on suhteellinen käsite ja se riippuu myös metsänomistajan taloudellisista tavoitteista. Ongelmana on lisäksi se, että metsikön vajaatuottoisuuden arvioiminen on monimutkainen ja arka metsäpoliittinen asia. Esimerkiksi yksityismetsien alueellisessa suunnittelussa vajaatuottoisia metsiä on löytynyt vähemmän kuin valtakunnan metsien inventoinnissa. Pääsyynä tähän ovat Nikusen (1983) näkemyserot, jotka johtuvat vajaatuottoisuuskäsitteen selkeän määrittelyn puuttumisesta (Salminen 1989).

Monilla on käsitys, että nykyiset vajaatuottoisuuden kriteerit ovat liian ankaria tai peräti virheellisiä (Kilkki ym. 1977, Päivinen 1980, 1989). Joka tapauksessa hakkuiden suunnittelussa ja muissa metsikkölaskelmissa tarvitaan tietoa vähäpuustoisten metsiköiden kehityksestä. Laskelmiin liitettävien taloudellisten analyysien perusteella voidaan määrittää metsiköiden suhteellinen vajaatuottoisuus, johon myös koko metsälön tilanne vaikuttaa (Salminen 1989).

Tässä tutkimuksessa käsitellään vain puuston vähäisyydestä johtuvan kasvun aiheuttamaa vajaatuottoisuutta. Vähäpuustoinen metsikkö tarkoittaa tutkimuksessa metsikköä, jossa puuston määrä eli pohjapinta-ala, tilavuus tai runkoluku ovat alle hoidetun metsikön harvennusmallin ohjearvojen. Kasvumalleilla ennustetaan luontaisesti syntyneiden, eri syistä vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitystä ensiharvennusvaiheesta kiertoajan loppuun. Metsikkö voi olla harva jo syntymästään, tai se on voitu saattaa vähäpuustoiseksi erittäin voimakkaalla harvennuksella. Tutkimuksessa tarkastellaan myös miten hyvin olemassa olevilla, keskimääräisille talousmetsille (Gustavsen 1977) ja hoidetuille metsille (Mielikäinen 1975, Nyyssönen & Mielikäinen 1978) laadituilla kasvumalleilla voidaan ennustaa vähäpuustoisen metsikön kehitystä.

2 Tutkimusaineisto

Tutkimuksen aineisto poimittiin valtakunnan metsien 3. inventoinnin (VMI3; 1951–53, Ilvessalo 1951) ja 5. inventoinnin (VMI5; 1964–70, Kuusela & Salminen 1969) koealoista (Gustavsen 1977). Pyrkimyksenä oli saada maan kaikkiin vähäpuustoisiin mänty- ja kuusivaltaisiin metsiköihin soveltuvia tuloksia. VMI3:n 1950-luvun alussa mitatut aineistot voitiin katsoa yhä sovellutuskelpoisiksi, koska kysymys ei ollut inventointitutkimuksesta, vaan vähäpuustoisen metsikön kehityksen selvittämisestä puustotunnusten avulla.

VMI3:n koeala-aineiston teki erityisen arvokkaaksi mitattujen ympyräkoealojen suuri koko (0,1 ha) ja koe-

puiden suuri lukumäärä (10–20 kpl/koeala). VMI5:n relaskooppikoealoilla oli keskimäärin vain 7–8 koepuuta, mutta toisaalta tämän inventoinnin aineisto edusti paremmin nykymetsien käsittelyvaihtoehtoja kuin VMI3:n aineisto.

Tutkimukseen valittiin ainoastaan metsiköitä, joiden valtapituus ylitti 10 m. Mukaan otettiin kaikki koemetsiköt, joiden sekä pohjapinta-ala että runkoluku olivat alle Metsäkeskus Tapion (Metsänhoitosuositukset 1989) ja metsähallituksen (Ohjekirjeet... 1984, 1985) harvennusmalleissa esitettyjen hakkuun jälkeisten ohjearvojen. Valinta tehtiin erikseen kunkin kasvupaikkaryhmän (mänty: tuore, kuivahko, kuiva kangas; kuusi: lehtomainen, tuore, kuivahko kangas) kuudessa valtapituusluokassa (10,1–12,0, 12,1–14,0, 14,1–16,0, 16,1–18,0, 18,1–20,0 ja yli 20 m). Aineiston rajaamisessa käytettiin erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomen metsien harvennusmalleja. Valinnassa käytetyt pohjapinta-alan ja runkoluvun rajat olivat esim. Etelä-Suomen tuoreella (mänty) ja lehtomaisella (kuusi) kankaalla seuraavat:

	Valtapituusluokka, m					
	10,1–12,0	12,1–14,0	14,1–16,0	16,1–18,0	18,1–20,0	20,1+
Mänty:						
Pohjapinta-ala, m^2/ha	14	15	16	17	18	19
Runkoluku, kpl/ha	1300	1100	850	700	600	450
Kuusi:						
Pohjapinta-ala, m^2/ha	13	14,5	16	18	19	20
Runkoluku, kpl/ha	1300	1100	950	800	700	500

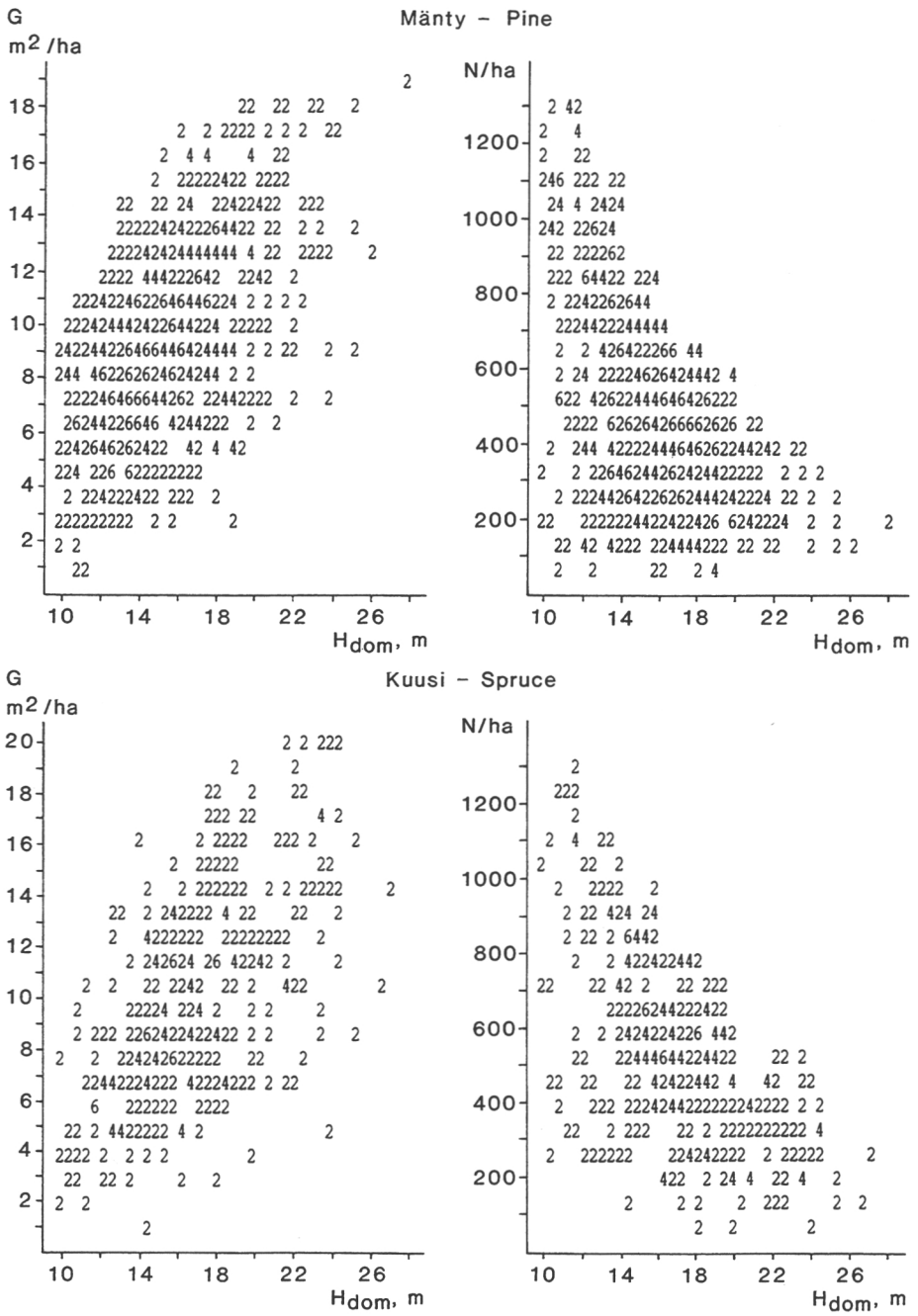
Taulukko 1. Koealojen jakautuminen lämpösummavyöhykkeittäin vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden aineistossa.
Table 1. Distribution of the sample plots according to effective temperature sum regions in understocked pine and spruce stands.

Puulaji *Tree species*	Lämpösumma, d.d. – *Effective temperature sum, d.d.*						
	–900	901–1000	1001–1100	1101–1200	1201–1300	1301–1400	Kaikki *All*
	Koealojen lukumäärä – *Number of sample plots*						
Mänty – *Pine*	48	146	202	174	82	82	734
Kuusi – *Spruce*	37	54	82	114	62	24	373

Taulukko 2. Muuttujien keskiarvot ja vaihtelualueet (vrt. kuva 2.)
Table 2. The means and ranges of the variables in the study material (cf. Fig. 2).

Muuttuja*) *Variable*	Männiköt: 734 *Pine stands:* 734			Kuusikot: 373 *Spruce stands:* 373		
	Keskiarvo *Mean value*	Minimiarvo *Min. value*	Maksimiarvo *Max. value*	Keskiarvo *Mean value*	Minimiarvo *Min. value*	Maksimiarvo *Max. value*
D	17,4	5,6	37,3	18,0	5,8	35,2
G	9,4	1,1	19,0	10,0	1,2	19,8
H_{dom}	15,7	10,1	27,9	16,9	10,1	26,9
V	67,2	3,0	227,1	73,4	6,0	208,9
I_{v5}	13,0	1,8	49,4	17,6	4,1	49,1
TS	1100	650	1375	1098	750	1350
H_{100}	18,1	12,0	31,2	21,5	12,1	32,9
N	506	61	1299	543	71	1228
T	84	24	228	78	30	171

*) ks. merkintöjen selitykset – *cf. list of symbols*



Kuva 2. Pohjapinta-alan (G) ja runkoluvun (N) vaihtelu valtapituuden (H_{dom}) mukaan vähäpuustoisten metsiköiden aineistossa.

Fig. 2. The variation of basal area (G) and of stem number (N) according to dominant height (H_{dom}) in the understocked stands.

Näin valittu tutkimusaineisto käsitti 734 vähäpuustoista männikköä ja 373 kuusikkoa (taulukot 1 ja 2, kuva 2).

Lasketut puustotunnukset inventointiaineistoissa kuvaavat tilavuuskasvua (menneen 5-vuotiskauden kasvu) lukuunottamatta mittaushetken tilannetta. Osa puustotunnuksista, kuten kuoreton pohjapinta-ala sekä keskipituus viisi vuotta aiemmin, saatiin valmiiksi laskettuina VMI5:n tuloksista. Suurin osa puustotunnuksista muutettiin vastaamaan 5-vuotisjakson alkutilannetta (taulukko 2). Muutosten jälkeen inventoinnin tilavuuskasvu vastasi tulevan 5-vuotisjakson kasvua.

Puustotunnukset runkolukua lukuunottamatta laskettiin vähentämällä koepuiden perusteella lasketut (läpimitta-, pituus- ja tilavuus-) kasvut mittaushetken arvoista. Suurin osa mittaushetken puustotunnuksista, kuten tilavuus, runkoluku- ja keskipituusjakauma, ikä ja valtapituus, otettiin suoraan VMI3:n laskentalomakkeilta. Niiden laskenta ja arviointi on esitetty Ilvessalon julkaisuissa (1951, 1956). Puuston pohjapinta-ala on laskettu runkolukusarjan perusteella, keskiläpimitta ja keskipituus läpimittaluokkien pohjapinta-aloilla painottaen. Inventoinnin (VMI3) kuorettomat tilavuuskasvuluvut muunnettiin kuorellisiksi puuston kuorellisen ja kuorettoman tilavuuden suhteella.

Kuorellinen läpimitan kasvu laskettiin VMI3:n aineistosta koepuiden keskimääräisen kuoren paksuuden perusteella ja VMI5:n aineistosta mittaushetken kuorellisen ja kuorettoman pohjapinta-alan suhteella. Kasvujakson alkuajankohdan kuorellinen pohjapinta-ala laskettiin VMI5:n osalta käyttäen kuorellisen ja kuorettoman tunnuksen mittausajankohdan suhdetta. Valtapituudet jakson alussa laskettiin keskipituuden perusteella Hännisen (1974) yhtälöllä. VMI5:n puustotunnusten laskenta on esitetty Kuuselan & Salmisen julkaisussa (1969). Puuston runkoluku kasvujakson alussa (Nja) laskettiin molemmissa aineistoissa käyttämällä kasvujakson alun ja lopun pohjapinta-alojen ja läpimittojen suhdetta ($G_{ja}/D_{ja} = a$, $G_{jl}/D_{jl} = b$) sekä runkolukua kasvujakson lopussa (N_{jl}). Laskenta perustui oletuksiin, että pohjapinta-alan ja keskiläpimitan suhde oli runkoluvun kuvaaja, ja että kasvujakson alun ja lopun runkolukujen suhde oli sama kuin kuvaajien keskinäinen suhde eli $N_{ja}/N_{jl} = a/b$.

3 Perusteet ja menetelmät

3.1 Kasvupaikkaluokittelu ja käsittelyohjelmat

Kasvupaikkojen luokitus perustui luontaisesti syntyneiden talousmänniköiden ja -kuusikoiden pituusboniteettimalleihin (Gustavsen 1980) ja metsätyyppeihin. Pituusboniteettiluokkien ja metsätyyppien rinnastus noudatti likimain aiempien selvitysten tuloksia (Gustavsen 1980). Metsätyypit olivat välttämättömiä harvennusmallien soveltamisessa ja lähtöpuuston sekä tulosten arvioinnissa. Kehityksen simuloinnissa sovellettiin Metsäkeskus Tapion (Metsänhoitosuositukset 1989) ja metsähallituksen (Ohjekirjeet... 1984, 1985) laatimia Etelä- ja Pohjois-Suomen metsien käsittelyohjeita ja käytettiin seuraavia ohjekiertoaikoja:

	Mänty			Kuusi		
	Metsä-tyyppi	H_{100}	Ikä, v	Metsä-tyyppi	H_{100}	Ikä, v
Etelä-Suomi	MT	27	80	MT	25,5	90
	VT	24	90			
Pohjois-Suomi	MT	19,5	115	MT	19,5	110
	VT-	18	130			

3.2 Tilavuuskasvumallit ja apumallit

Tutkimuksessa tarkasteltiin ensin, kuinka hyvin vähäpuustoisten metsiköiden kasvu voidaan ennustaa luontaisesti syntyneille talousmetsille ja hoidetuille metsille laadituilla kasvumalleilla (Gustavsen 1977; yhtälöt 1 ja 2, Mielikäinen 1975; kaksi ennusteyhtälöä, Nyyssönen & Mielikäinen 1978; yhtälöt 17 ja 19). Mielikäisen (1975) ja Nyyssösen & Mielikäisen (1978) yhtälöt perustuvat samaan aineistoon ja myös niissä käytetyt muuttujat ovat pääosin samoja.

Laasasenahon & Päivisen (1986) mukaan kasvumalleille ennustetut kasvut poikkeavat todellisesta kasvusta monista syistä. Eräs syy on mallien laadinta- ja soveltamisaineistojen yhteensopimattomuus. Yhtälöiden antamien ja mitattujen kasvujen erotuksia, residuaaleja, tarkasteltiin yksi-, kaksi- ja kolmiulotteisin taulukoin, joissa eri metsikkötunnukset vaihtelivat aineiston koko peittävyysalueella. Kaikkia testituloksia ei ole kuitenkaan esitetty (liite 2) niiden laajuuden vuoksi.

Lyhyesti voitiin todeta, että Mielikäisen (1975) ja Nyyssösen & Mielikäisen (1978) kehittämät männyn ja kuusen yhtälöt sekä Gustavsenin

(1977) kuusen yhtälö antoivat harhaisia tuloksia. Yhtälöillä lasketut kasvuluvut puustotunnusten tietyillä vaihtelualueilla olivat systemaattisesti joko liian suuria tai pieniä. Yliarviointia tapahtui yleisesti puustotunnusten koko vaihtelualueella. Aliarviointia esiintyi lähinnä vain metsiköissä, joiden ennustettu kasvu oli alle 10–15 m^3/ha/5 v ja puustopääoma alle 20–25 m^3/ha. Sitä vastoin Gustavsenin (1977) laatima männyn kasvuyhtälö antoi melko harhattomia jäännösvaihteluita eri puustotunnusten suhteen yleensä. Ainoastaan valtapituusboniteetin suhteen esiintyi lievää yliarviointia kasvupaikkojen koko vaihtelualueella.

Yhtälöiden harhattomuutta testattiin F-testin avulla. Aineisto luokiteltiin ennustetun kasvun suhteen 16 luokkaan (esimerkki liitteessä 1) ja testattiin, oliko jokaisen luokan residuaalin odotusarvo yhtäaikaisesti nolla (hypoteesi). Testisuureen havaittu (F_{hav}) arvo oli kaikkien yhtälöiden osalta suurempi kuin F-taulukon antama arvo merkitsevyystasolla 0,01. Testi vahvisti käsitystä, että aiemmat yhtälöt antavat harhaisia tuloksia tutkimusaineistossa. Testitulos oli esim. Gustavsenin (1977) mänty-yhtälön osalta: $F_{hav} = 2{,}13 > F_{0{,}01(16{,}718)} = 2{,}04$.

Koska aiemmin laaditut kasvuyhtälöt eivät johtaneet tyydyttävään tulokseen, kehitettiin tutkimusaineiston perusteella kaksi uutta yhtälöä (yhtälöt 32.1 ja 32.2). Toinen syy uusien mallien laatimiseen oli, että vanhoista malleista puuttui muuttujia (esim. runkoluku), jotka ovat tärkeitä pyrittäessä kuvaamaan harvan, vähäpuustoisen metsikön kehitystä. Yhtälöiden selittäviksi muuttujiksi otettiin tilavuuden, valtapituuden ja iän lisäksi puuston runkoluku (N) ja kasvupaikan lämpösumma (TS). Uusien yhtälöiden residuaalien vaihtelu (liite 1 ja 2) oli keskimäärin pienempi ja satunnaisempi kuin em. hoidetuille metsille laadittujen yhtälöiden. Laaditut uudet yhtälöt eivät osoittaneet selviä systemaattisia virheitä, minkä vuoksi niitä päätettiin käyttää vähäpuustoisen metsikön kehityksen ennustamiseen. Vähäpuustoisille havumetsiköille laaditut tilavuuskasvuyhtälöt ovat seuraavat:

	Kerroin *Coefficient*	Muuttuja *Variable*	Kertoimen keskivirhe *Standard error*	t-arvo *t-value*	
Mänty – *Pine*					
$\ln(I_{v5}) =$	0,6773		0,2151	2,91	(32.1)
	+0,3763 ·	$\ln(V)$	0,0206	18,24	
	+0,9441 ·	$\ln(H_{dom}/T)$	0,0416	22,67	
	+0,2415 ·	$\ln(N)$	0,0198	12,19	
	+0,0003 ·	TS	0,0001	3,24	
s_y	= 0,564				
s_f	= 0,322				
R^2	= 0,677				
n	= 734				
Kuusi – *Spruce*					
$\ln(I_{v5}) =$	0,8864		0,3145	2,64	(32.2)
	+0,3922 ·	$\ln(V)$	0,0279	14,06	
	+0,8970 ·	$\ln(H_{dom}/T)$	0,0690	13,00	
	+0,1569 ·	$\ln(N)$	0,0339	4,62	
	+0,0006 ·	TS	0,0002	3,73	
s_y	= 0,560				
s_f	= 0,330				
R^2	= 0,656				
n	= 373				

Kaikkien tässä tutkimuksessa käytettyjen yhtälöiden vakiotermeissä on korjattu virhe, joka syntyy kun selitettävänä muuttujana on kasvun logaritmimuunnos. Alkuperäisiin vakiotermeihin on tämän takia lisätty $s_f^2/2$.

Puuston kehityksen laskennassa tarvittiin myös eräitä apumalleja. Puuston tilavuus muunnettiin pohjapinta-alaksi (tietyissä tapauksissa päinvastoin pohjapinta-ala tilavuudeksi) mallilla:

$$G = \frac{V}{F \cdot H_{dom}} \qquad (32.3)$$

Muotoluku (F) laskettiin Gustavsenin & Fagerströmin (1983; yhtälöt 3 ja 7) ja valtapituuden kehitys (H_{dom}) Gustavsenin (1980) kehittämillä malleilla. Puuston keskiläpimitan (D) arviointia varten metsikön eri kehitysvaiheissa (ei lähtövaiheen) laadittiin aineiston perusteella seuraavat yhtälöt:

Mänty – *Pine*

$$\ln(D) = 2{,}1810 + 0{,}0522 \cdot H_{dom} + 0{,}0010 \cdot T - 0{,}0005 \cdot N \qquad (32.4)$$

t-arvo 49,08 24,12 5,20 –20,95
t-value
$s_y = 0{,}3255$
$s_f = 0{,}1538$
$R^2 = 0{,}777$
$n = 734$

Kuusi – *Spruce*

$$\ln(D) = 2{,}0273 + 0{,}0546 \cdot H_{dom} + 0{,}0015 \cdot T - 0{,}0004 \cdot N \qquad (32.5)$$

t-arvo 32,63 19,89 5,21 –10,68
t-value
$s_y = 0{,}3073$
$s_f = 0{,}1442$
$R^2 = 0{,}782$
$n = 373$

3.3 Metsiköiden kehityksen simulointi

Vähäpuustoisen metsikön simulointilaskelmissa lähtöpuusto kuvattiin tilavuuden, pohjapinta-alan, runkoluvun, valtapituuden, iän, muotoluvun ja keskiläpimitan avulla. Tunnuksille laskettiin alkuarvot tutkimusaineiston perusteella. Alkupuuston läpimittojen oletettiin edustavan sekä harvana kasvaneen että tietyssä vaiheessa (esim. ensiharvennusvaiheessa) voimakkaalla hakkuulla käsitellyn puuston arvoja. Simulointilaskelmat aloitettiin 13 m:n valtapituusvaiheesta (ensiharvennusvaihe), jolloin vastaava metsikön ikä oli kasvupaikasta riippuen 32–78 v.

Vähäpuustoisen metsikön tulevaa tilavuuskehitystä ennustettiin tilavuuskasvuyhtälöillä 32.1 ja 32.2. Pohjapinta-ala laskettiin viiden vuoden välein muotoluvun, valtapituuden ja kasvun verran lisääntyneen tilavuuden (apumalli 32.3), ja keskiläpimitta puolestaan tilavuuden ja runkoluvun avulla (apumallit 32.4 ja 32.5). Simuloinnissa oletettiin, että runkolukuun kuului kehityskelpoisia puita, joiden oletettiin kasvavan päätehakkuuseen saakka ilman myrsky- tai muitakaan tuhoja.

Koko kiertoaikaa koskevissa laskelmissa oletettiin, että puuston kasvu oli hoidetun metsikön kasvumallin mukainen sen jälkeen, kun vähäpuustoisen metsikön pohjapinta-ala ylitti harvennusmallin hakkuun jälkeisen ohjetiheyden. Harvennuksia tehtiin vain, jos puuston pohjapinta-ala saavutti ko. harvennusmallin leimausrajan vähintään 12–15 vuotta ennen kiertoajan loppua. Simuloinnissa ei otettu huomioon luonnonpoistumaa, uusien puiden syntymistä eikä puiden epäsäännöllistä tilajärjestystä metsikössä. Keskimääräisenä lämpösumma-arvona (TS) käytettiin Etelä-Suomessa 1150 d.d. ja Pohjois-Suomessa 930 d.d.

Tutkimuksessa simuloitiin vertailuna esimerkkejä myös hoidettujen metsiköiden kehityksestä Gustavsenin kasvumalleilla (1977; yhtälöt 4, 7, 13, 16 ja 23). Ensiharvennusvaiheessa olevan lähtöpuuston alkutunnukset, kuten esim. pohjapinta-ala ja runkoluku, olivat näissä vertailulaskelmissa ko. harvennusmallin mukaiset.

Sekä vähäpuustoiseksi hakatun että hoidetun metsikön koko kiertoaikaa koskevissa laskelmissa tarvittiin arvio metsikön kokonaistuotoksesta ensiharvennukseen mennessä. Arvio tehtiin hakkuin käsitellyille metsiköille aiemmin laadituista kasvu- ja tuotostaulukoista (Nyyssönen 1954, Vuokila 1956, 1967 ja Koivisto 1972). VT-männikön (H_{100} = 24) kokonaistuotos 13 m:n valtapituuteen mennessä oli 145 m³/ha ja MT-kuusikon (H_{100} = 25,5) 155 m³/ha. Ensiharvennuskertymä saatiin kokonaistuotoksen ja ensiharvennuksessa kasvamaan jääneen puuston tilavuuksien erotuksena.

4 Vähäpuustoisten havumetsiköiden kehitys

4.1 Pohjapinta-alan kehitys

Pohjapinta-alan kehityksen kuvaajat havainnollistavat harvana syntyneen tai voimakkaasti hakatun männikön ja kuusikon pohjapinta-alan kehitystä ensiharvennusvaiheesta lähtien (kuvat 3–6). Näin voidaan olettaa, koska tutkimusaineistot edustavat sekä 1950-luvun (VMI3) että 1960–70 -luvun (VMI5) harvapuustoisia metsiköitä.

Vähäpuustoisten metsiköiden kehityskäyrät on simuloitu kasvuyhtälöillä 32.1 ja 32.2. Tarkasteltavia vaihtoehtoja on tulosten selkeyden takia karsittu, mutta esitettyjen pohjapinta-alan kehityskäyrien perusteella voidaan arvioida myös muita lähtötilanteita. Kuvissa on esitetty runkoluvun ja keskiläpimitan arvot simulointien lähtövaiheessa, sekä keskiläpimitta kiertoajan lopussa tai puuston pohjapinta-alan saavuttaessa harvennusmallien harvennuksen jälkeisen tason.

Seuraavilla kaavoilla (41.1 ja 41.2) voidaan laskea summittaisesti pohjapinta-alan kehitystä (kuvat 3–6) vastaava tilavuuskehitys :

Mänty – *Pine*: $V = 0{,}458 \cdot G \cdot H_{dom}$ (41.1)
Kuusi – *Spruce*: $V = 0{,}425 \cdot G \cdot H_{dom}$ (41.2)

Kaavojen vakiot ovat tämän tutkimuksen simulointimalleissa käytettyjen muotolukujen keskiarvoja. Valtapituus ja pohjapinta-ala arvioidaan esitettyjen pohjapinta-alan kuvaajien perusteella.

4.2 Tilavuuskehitys ja kokonaistuotos

Ensiharvennusvaiheessa olevien vähäpuustoisten VT-männiköiden ja MT-kuusikoiden simuloitu tilavuuskehitys taulukoissa 3 ja 4 vastaa kuvassa 6 esitettyä pohjapinta-alan kehitystä. Simuloidut kehityssarjat havainnollistavat pääomaltaan ja tiheydeltään vaihtelevien vähäpuustoisten metsiköiden tilavuuskehitystä. Kehitys käsittää ajan ensiharvennusvaiheesta siihen saakka, kunnes lähtöpuuston runkotilavuus saavuttaa hoidetun talousmetsikön harvennuksen jälkeisen tason.

Tutkimusaineiston mukaan 13 m:n valtapituusvaiheen saavuttaneiden, pohjapinta-alaltaan yhtä tiheiden MT-kuusikoiden ja VT-männiköiden runkoluvuissa on eroja. Vähäpuustoiset kuu-

Taulukko 3. Ensiharvennusvaiheen, H_{dom} = 13 m, T = 38 v, vähäpuustoisen VT-männikön (H_{100} = 24) tilavuuskehitys Etelä-Suomessa (ks. pohjapinta-alan kehitys, kuva 6 ja teksti).

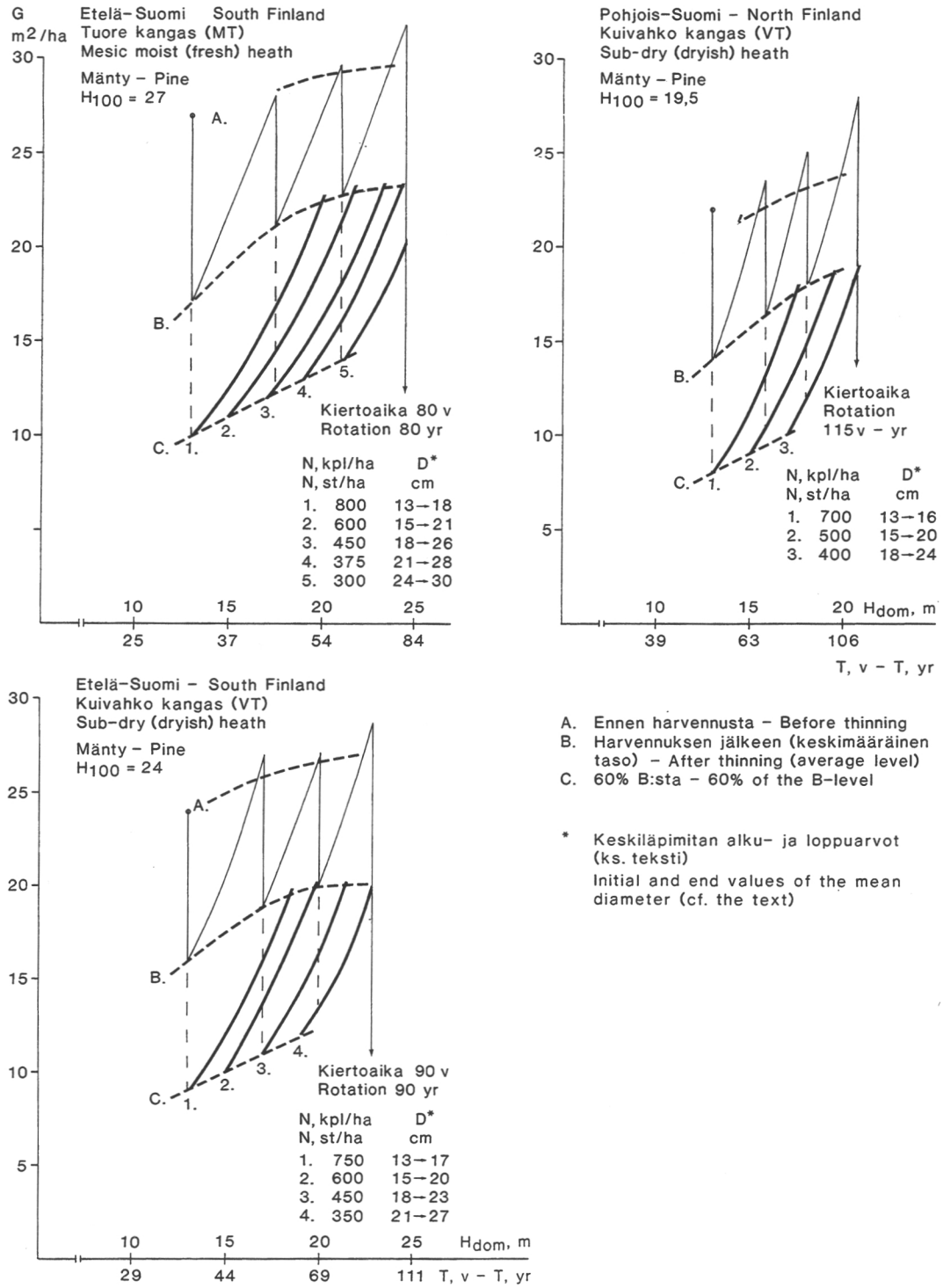
Table 3. The stand volume development in understocked pine stands at the first thinning stage, H_{dom} = 13 m, T = 38 yr, on Vaccinium site type (H_{100} = 24) in South Finland (cf. the basal area development in Fig. 6 and the text).

		G, m^2/ha				
		5	7	9	11	13
		N, kpl/ha - *St/ha*				
		475	625	750	825	900
T, v	H_{dom}, m	V, m^3/ha				
38	13,0	29,5	41,4	53,2	65,0	76,9
43	14,6	45,7	61,0	75,7	89,8	103,8
48	15,9	64,4	83,3	101,0	117,4	133,6
53	17,1	85,3	107,8	128,5	147,3	165,6
58	18,1	107,8	134,0	157,8	178,9	
63	19,1	131,7	161,8	188,6		
68	19,9	156,6	190,6			
73	20,7	182,5	220,4			
78	21,4	209,1				
83	22,1	236,2				
88	22,7	263,7				

Taulukko 4. Ensiharvennusvaiheen, H_{dom} = 13 m, T = 44 v, vähäpuustoisen MT-kuusikon (H_{100} = 25,5) tilavuuskehitys Etelä-Suomessa (ks. pohjapinta-alan kehitys, kuva 6 ja teksti).

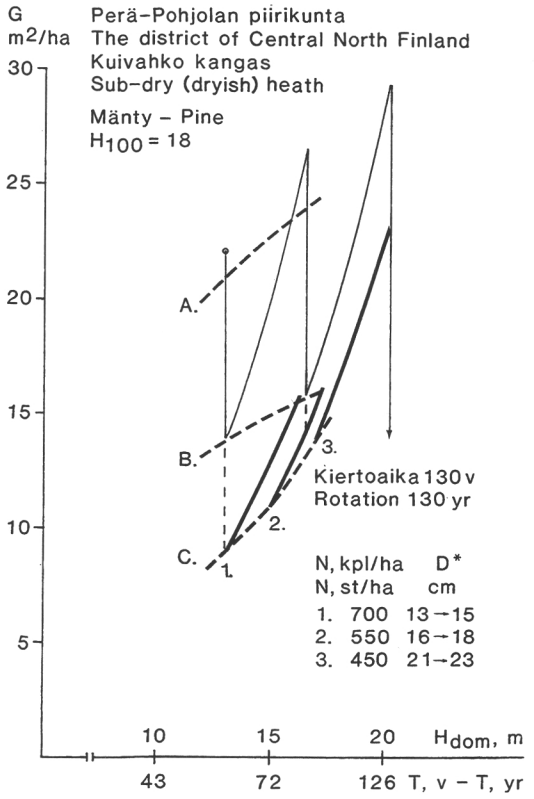
Table 4. The stand volume development in understocked spruce stands at the first thinning stage, H_{dom} = 13 m, T = 44 yr, on Myrtillus site type (H_{100} = 25,5) in South Finland. (cf. the basal area development in Fig. 6 and the text).

		G, m^2/ha				
		5	7	9	11	13
		N, kpl/ha - *St/ha*				
		675	750	850	925	975
T, v	H_{dom}, m	V, m^3/ha				
44	13,0	26,1	36,6	47,0	57,5	67,9
49	14,5	42,3	55,3	68,1	80,6	92,8
54	16,0	61,9	77,5	92,6	107,1	121,1
59	17,3	84,6	102,7	120,2	136,7	152,4
64	18,5	110,1	130,6	150,5	169,0	
69	19,7	138,0	161,0	183,3		
74	20,8	168,2	193,6			
79	21,8	200,3	228,1			
84	22,8	234,1				
89	23,7	269,5				



Kuva 3. Vähäpuustoisten männiköiden pohjapinta-alan kehitys (C) verrattuna Metsäkeskus Tapion harvennusmallin (A, B) mukaisesti hoidetun männikön kehitykseen.

Fig. 3. The development of basal area in understocked pine stands (C) in relation to the development in pine stands (normally stocked) treated with thinnings according to the models of Forest Center Tapio (A, B).



A. Ennen harvennusta – Before thinning
B. Harvennuksen jälkeen – After thinning
C. Hyväksyttävä minimi – Acceptable minimum level

* Keskiläpimitan alku- ja loppuarvot (ks. teksti)
Initial and end values of the mean diameter (cf. the text)

Kuva 4. Perä-Pohjolan kuivahkon kankaan vähäpuustoisen männikön pohjapinta-alan kehitys (C) verrattuna metsähallituksen harvennusmallin (A, B) mukaisesti hoidetun männikön kehitykseen.

Fig. 4. The development of basal area in an understocked pine stand (C) on sub-dry (dryish) heath in relation to the development in a pine stand (normally stocked) treated with thinnings according to the model of the National Board of Forestry for the district of central north Finland (A, B).

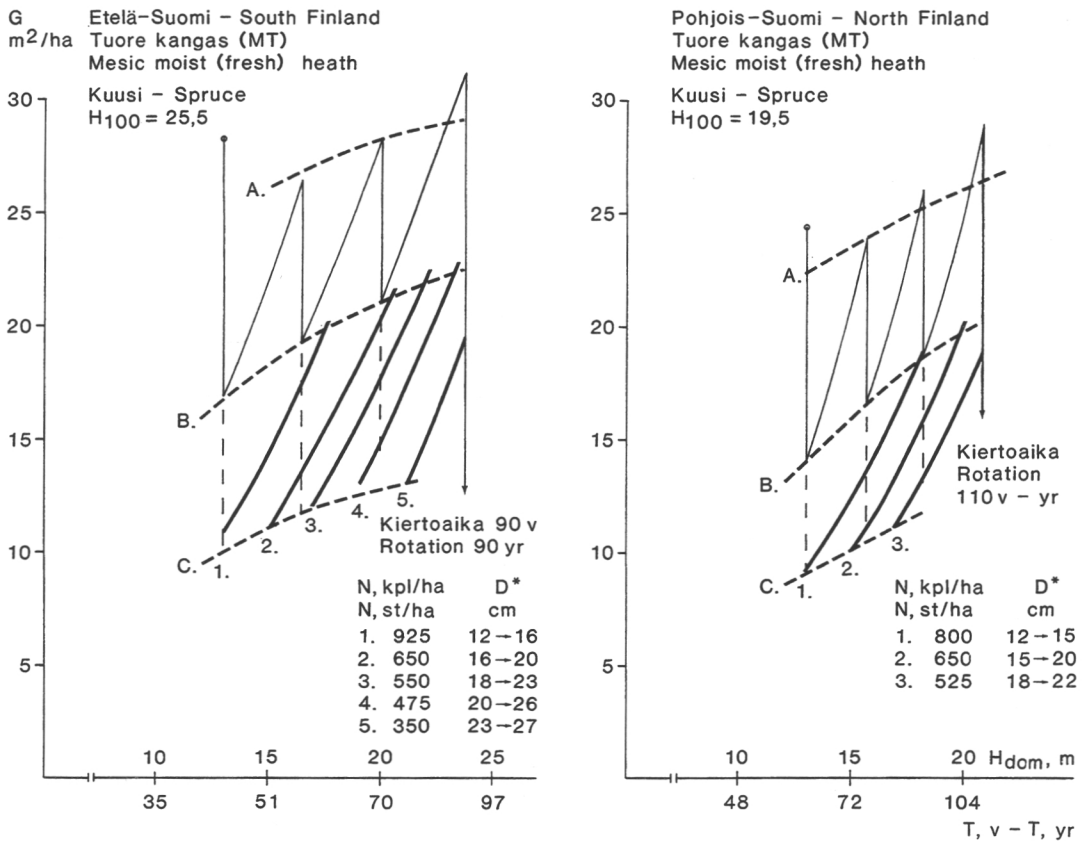
sikot ovat runkoluvulla mitaten keskimäärin tiheämpiä kuin männiköt. Tämä vaikuttaa myös aineistojen keskiläpimittoihin, jotka ovat kuusikoissa n. 1 cm pienempiä. Myös kuusikon tilavuus on jonkin verran pienempi kuin pohjapinta-alaltaan yhtä tiheän männikön (taulukot 3 ja 4, rivi 1). Koska tulokset edustavat myös kasvupaikaltaan ja puustoboniteetiltaan erilaisia vähäpuustoisia metsiköitä, ei tilavuuskehityksen ja kokonaistuotoksen (taulukot 5 ja 6) puulajikohtainen vertailu ole kovin luotettavaa eikä tarkoituksenmukaista.

Nykymetsissä vähäpuustoisuus johtuu useammin huonosta uudistustuloksesta kuin liian voimakkaista ensiharvennuksista. Tällaisen vähäpuustoisena syntyneen metsikön ennustettu kehitys on esitetty taulukossa 5. Lähtöpuuston tunnukset jotka samalla kuvaavat puuston siihenastista kokonaistuotosta, ovat taulukoissa 3 ja 4. Männikön ikä on simuloinnin alussa 13 m:n pituudella 38 v ja kuusikon ikä 44 v.

Toista vaihtoehtoa edustavat tulokset nähdään taulukosta 6, jossa esitetään ensiharvennusvaiheessa vähäpuustoiseksi hakatun VT-männikön ja MT-kuusikon koko kiertoajan kokonaistuotos. Laskennan lähtökohdat ovat muuten samat kuin taulukossa 5, mutta tuotosluvut sisältävät myös voimakkaassa ensiharvennuksessa poistetun puuston. Esimerkkitapausten ensiharvennuspoistuma saadaan arvioiduksi taulukoiden 5 ja 6 tuotoslukujen erotuksena.

Viimeksimainitun laskelman (myös hoidetun metsikön tuotoslaskennan) lähtökohdat ovat olleet täystiheä männikkö ja kuusikko ennen voimakasta ensiharvennusta. Täystiheän männikön kokonaistuotos on ensiharvennusvaiheeseen mennessä 145 m^3/ha ja kuusikon 155 m^3/ha (merkitty pohjapinta-aloina kuvassa 6). Tästä on puuston määrää vähennetty eritasoisin ensiharvennuksin (taulukko 6, tilanne ensiharvennuksen jälkeen). On syytä korostaa tuotostulosten teoreettisuutta ja epävarmuutta, joka aiheutuu saman kasvuyhtälön käytöstä sekä vähäpuustoisena syntyneen että harvaksi hakatun metsikön kehityksen ennustamisessa.

Vähäpuustoisen ja harvennusmallin mukaisesti hoidetun metsikön tuotoksen vertailu (taulukot 5 ja 6) on perusteltua siksi, että metsissämme on edelleen eri syistä vähäpuustoisia metsiköitä. Vertailu osoittaa, että vähäpuustoiseksi hakattu kasvatusmetsikkö, joka jätetään kasvamaan kiertoajan loppuun, aiheuttaa tuotostappiota, mutta paljon vähemmän kuin huonosti uudistettu, alusta asti harvapuustoinen metsikkö. Suhteellinen tuotostappio on puulajeilla likimain sama, vaikka vähäpuustoisen ja hoidetun kuusikon ensiharvennuspoistumien absoluuttinen ero on suurempi kuin männyn. Eräiden harvennuskokeiden tulokset tukevat nyt saatua tulosta.

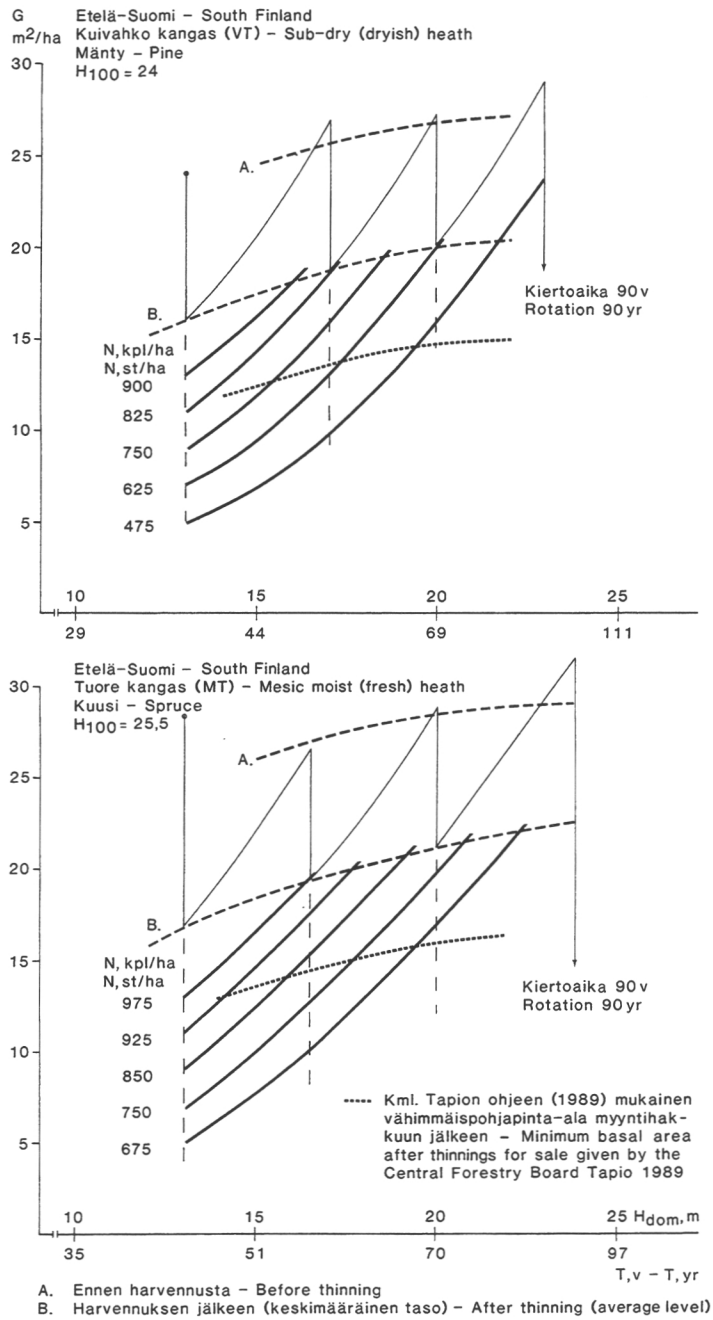


A. Ennen harvennusta - Before thinning
B. Harvennuksen jälkeen (keskimääräinen taso) After thinning (mean level)
C. 60% B:sta - 60% of the B-level

* Keskiläpimitan alku- ja loppuarvot (ks. teksti) Initial and end values of the mean diameter (cf. the text)

Kuva 5. Vähäpuustoisten kuusikoiden pohjapinta-alan kehitys (C) verrattuna Metsäkeskus Tapion harvennusmallin (A, B) mukaisesti hoidetun kuusikon kehitykseen.

Fig. 5. The development of basal area in understocked spruce stands (C) in relation to the development in spruce stands (normally stocked) treated with thinnings according to the models of Forest Center Tapio (A, B).



Kuva 6. Runkoluvun vaikutus ensiharvennusvaiheessa (H_{dom} = 13 m) vähäpuustoiseksi hakatun tai harvana syntyneen, eteläsuomalaisen VT-männikön ja MT-kuusikon pohjapinta-alan kehitykseen. Vertailuna on esitetty Metsäkeskus Tapion harvennusmallien mukaisesti hoidetun talousmetsikön kehitys (A, B).

Fig. 6. The effect of the initial density at the first thinning stage (H_{dom} = 13 m) on the basal area development in understocked pine stands of the Vaccinium and spruce stands of the Myrtillus site type in South Finland. An example is shown of the basal area development in stands (normally stocked) treated with thinnings according to the models of Forest Center Tapio (A, B).

Taulukko 5. Etelä-Suomen vähäpuustoisena syntyneen metsikön ja Metsäkeskus Tapion harvennusmallin mukaisesti hoidetun metsikön koko kiertoajan (90 v) kokonaistuotos (Yv) (ks. kuva 6 ja teksti).

Table 5. The yield (Yv) during the rotation of 90 years in stands which are understocked, as a result of failed regeneration, and in normally stocked stands treated with thinnings according to the thinning guides of Forest Center Tapio (cf. Fig. 6 and the text).

VT-männikkö, H_{100} = 24 *Pine stand, Vaccinium site type*				MT-kuusikko, H_{100} = 25,5 *Spruce stand, Myrtillus site type*			
G m^2/ha	N kpl/ha *st/ha*	Yv m^3/ha/ 90 v – *yr*	%	G m^2/ha	N kpl/ha *st/ha*	Yv m^3/ha/ 90 v – *yr*	%
Hoidettu metsikkö – *Normally growing stand*							
16	1200	501	100	17	1300	504	100
Vähäpuustoinen metsikkö – *Understocked stand*							
13	900	414	83	13	975	388	77
11	825	390	78	11	925	371	74
9	750	361	72	9	850	348	69
7	625	326	65	7	750	312	62
5	475	272	54	5	675	277	55

Taulukko 6. Etelä-Suomen vähäpuustoiseksi hakatun metsikön ja Metsäkeskus Tapion harvennusmallin mukaisesti hoidetun metsikön koko kiertoajan (90 v) kokonaistuotos (Yv) (ks. kuva 6 ja teksti).

Table 6. The yield (Yv) during the rotation of 90 years in stands which are understocked, as a result of heavy first thinnings, and in normally stocked stand treated with thinnings according to the thinning guides of Forest Center Tapio (cf. Fig. 6 and the text).

VT-männikkö, H_{100} = 24 *Pine stand, Vaccinium site type*				MT-kuusikko, H_{100} = 25,5 (27/24) *Spruce stand, Myrtillus site type*			
G m^2/ha	N kpl/ha *st/ha*	Yv m^3/ha/ 90 v – *yr*	%	G m^2/ha	N kpl/ha *st/ha*	Yv m^3/ha/ 90 v – *yr*	%
Hoidettu metsikkö – *Normally growing stand*							
16	1200	501	100	17	1300	504	100
Vähäpuustoinen metsikkö – *Understocked stand*							
13	900	483	96	13	975	475	94
11	825	470	94	11	925	469	93
9	750	453	90	9	850	456	90
7	625	430	86	7	750	431	86
5	475	387	77	5	675	406	81

4.3 Kasvuyhtälöiden ja kehityssarjojen luotettavuus

Yhtälöillä 32.1 ja 32.2 ennustetun ja mitatun kasvun erojen tarkastelu laskenta-aineistossa ei paljastanut systemaattisia virheitä. Tämä ei kuitenkaan takaa kasvuyhtälöiden harhattomuutta käytännön sovelluksissa tai toisissa testiaineistoissa. Jos oletetaan yhtälöiden olevan harhattomia, voidaan jäännöshajonnan perusteella arvioida yhtälöiden suhteellisen keskivirheen (satunnaisvirhe $100 \cdot s_f$) olevan 30 % ennustettaessa metsikön 5-vuotisjakson kasvua.

Esitettyjen pohjapinta-alan kehityssarjojen tilastollista luotettavuutta ei pystytä arvioimaan. Pohjapinta-ala on laskettu tilavuuden ja apumalleista arvioidun valtapituuden sekä muotoluvun perusteella, joihin kaikkiin voi sisältyä virheitä. Kasvuyhtälöiden aiheuttama satunnaisvirhe ei myöskään välttämättä tasaannu peräkkäisissä, viiden vuoden jaksoina tehtävissä simulointilaskelmissa. Kun tulevan 5-vuotisjakson kasvu ennustetaan mm. edellisen jakson lopussa mitatun puuston tilavuuden avulla, huomataan tietty korrelaatio kasvun ja tilavuuden välillä. Vaikkei kasvuyhtälöön liittyisikään systemaattista virhettä, voi tämä korrelaatio aiheuttaa harhaisia tilavuuden ja pohjapinta-alan kehityssarjoja. Simuloidun pohjapinta-alan ja tilavuuden virheen suuruus riippuu ratkaisevasti simulointiajasta. Vaikka kasvuennusteessa on suuri suhteellinen virhe, on lyhyen simulointiajan jälkeen ennustetun tilavuuden ja pohjapinta-alan suhteellinen virhe pieni jollei lähtöpuustona ole aivan nuori taimikko.

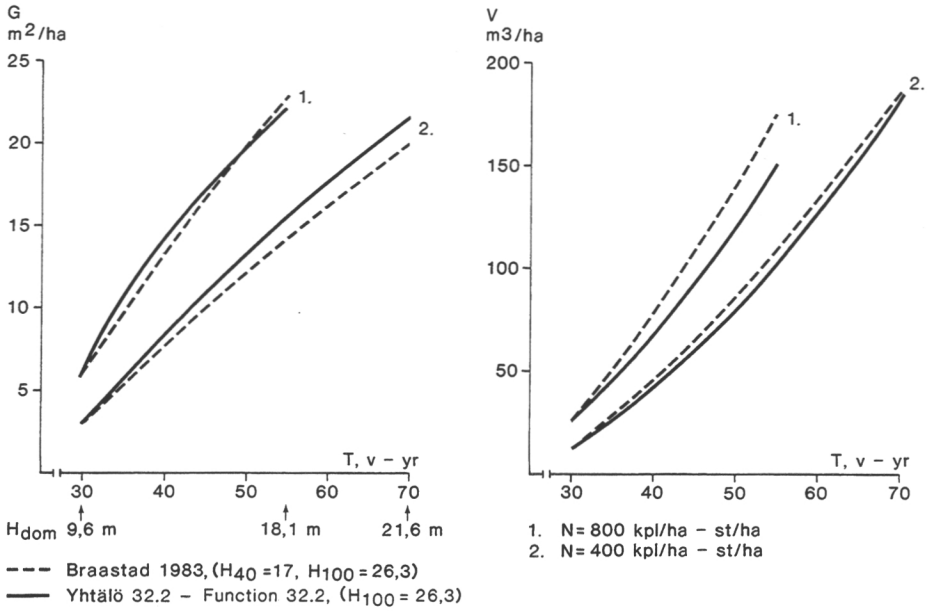
Kasvuyhtälöissä ei ole mukana muuttujaa, joka kuvaisi hakkuun suoranaista vaikutusta kasvuun. Yhtälöissä harvennushakkuun vaikutus kasvuun tulee kuitenkin otetuksi huomioon alentuneen tilavuuden ja runkoluvun avulla. Regressioanalyysillä kehitellyn kasvuyhtälön luotettavuus on riippuvainen laadinta-aineistosta, mikä tässä tutkimuksessa sisältää sekä vähäpuustoiseksi syntyneitä että hakattuja metsiköitä. Osa hakatuista metsiköistä (VMI3) edustaa 1950-luvun käsittelyä harsintoineen. Se vähentää ensiharvennusvaiheessa vähäpuustoiseksi hakatun metsikön tuotosarvion luotettavuutta.

Taulukon 6 tuotoslukujen perusteella ei ole syytä tehdä pitkälle meneviä päätelmiä puulajien reagoinnista hakkuisiin. Tarkkaa analyysiä koealapuustojen aiemmasta käsittelystä ei voitu tehdä, koska tietoja ei ole inventointien yhteydessä kerätty. Luotettavia tuloksia voimakkaan hakkuun aiheuttamasta tuotostappiosta saadaan vasta pysyviltä harvennuskokeilta, joissa metsikön runkoluku on pudotettu ensiharvennusvaiheessa kerralla 300–400 kpl:n tiheyteen hehtaaria kohden.

Koska Suomessa ei ole laajoja vähäpuustoisten metsien kehitystä kuvaavia kestokoeala-aineistoja, voidaan tulosten luotettavuudesta saada käsitys vain vertaamalla niitä aiempiin tutkimustuloksiin. Tutkimusten vähäisyys ja simulointilaskelmien erilaiset lähtökohdat vaikeuttavat kuitenkin vertailua. Jonkinlaisen käsityksen tulosten luotettavuudesta tarjoavat Braastadin (1983), Frykin (1984) ja Erikssonin (1990) tutkimukset (kuvat 7, 8 ja 9). Myös näissä tutkimuksissa puuston kehitys on simuloitu kasvuyhtälöillä.

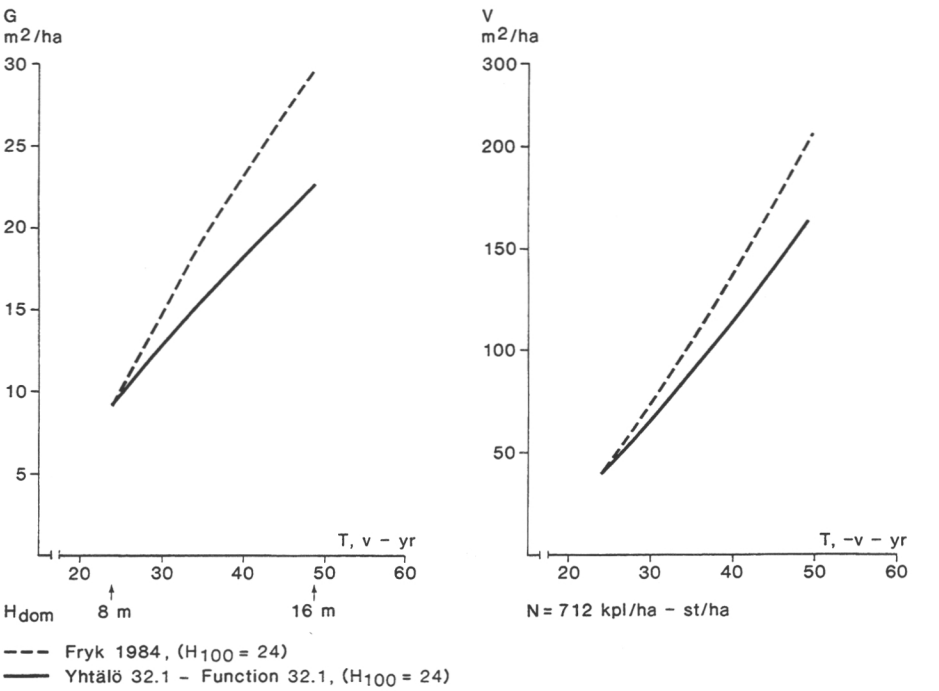
Braastadin saamat tutkimustulokset sekä pohjapinta-alan ja tilavuuden kehityksestä että vähäpuustoiseksi syntyneen metsikön kokonaistuotoksesta tukevat tämän tutkimuksen päätelmiä. Tulos on sama, jos lähtökohtana käytetään tietyn kehitysvaiheen (esim. 13 m:n valtapituus) pohjapinta-alaa ja vertaillaan molempien tutkimusten kehityssarjoja. Braastadin mukaan vähäpuustoiset kuusikot (tiheys 400 ja 800 kpl/ha), joiden pohjapinta-alat ovat n. 7 ja 12 m2/ha 13 m:n pituusvaiheessa, tuottavat kiertoajan kuluessa harventamatta 58 % ja 80 % hoidetun metsikön (2000 kpl/ha) tuotoksesta. Taulukossa 5 vastaavat tuotosluvut ovat 62 % ja 76 % (7 m^2, 750 kpl/ha ja 12 m^2, 950 kpl/ha). Vertailu on mielenkiintoinen, sillä Braastadin tutkimuksessa on hoidetun metsikön kasvuyhtälöä korjattu lisämuuttujalla (keskiläpimitta). Tulosten testaamiseen Braastadilla oli käytettävissään kestokoeala-aineistoa.

Frykin (1984) männiköiden tuotossarjat poikkeavat selvästi nyt esitettävistä (kuva 8). Vertailussa jää epäselväksi, onko Frykin tutkimuksessa kuvattu varsinaisesti vähäpuustoisia metsiä. Esimerkiksi 4 m:n valtapituusvaiheessa harvennuksen jälkeen runkolukuun on luettu kaikki 1,3 m pitemmät puut (600 kpl/ha). 10 v myöhemmin, simuloinnin lähtövaiheessa (n. 8 m), mukaan on otettu kaikki yli 5 cm paksummat puut (712 kpl/ha). Alkupohjapinta-ala on 8 m:n pituusvaiheessa n. 9 m^2/ha eli suurempi kuin tässä tutkimuksessa 13 m:n pituusvaiheessa (kuva 6), jolloin taas Frykin kehityssarjan mukaan se on jo n. 22 m^2/ha. Kiertoajan (90 v) kokonaistuotos on Frykin harventamattomassa, harvassa männikössä selvästi suurempi, kuin tämän tutkimuksen harvana syntyneen männikön tuotos. Vertailututkimuksessa on käytetty normaalimetsille tarkoitettua ns. Huginin kasvatus-



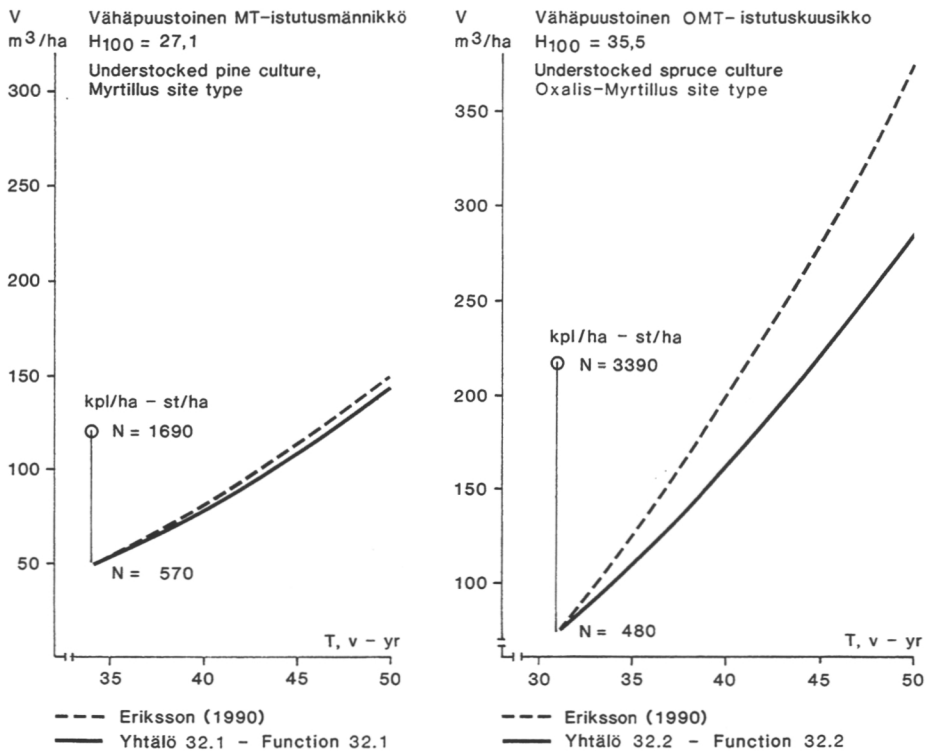
Kuva 7. Vähäpuustoisen MT-kuusikon pohjapinta-alan ja tilavuuden simuloitu kehitys verrattuna Braastadin (1983) tutkimustuloksiin.

Fig. 7. Simulated basal area and volume development in an understocked spruce stand on the Myrtillus site type by Braastad (1983) and from the present study.



Kuva 8. Vähäpuustoisen VT-männikön pohjapinta-alan ja tilavuuden simuloitu kehitys verrattuna Frykin (1984) tutkimuksen tuloksiin.

Fig. 8. Simulated basal area and volume development in an understocked pine stand on Vaccinium site type by Fryk (1984) and from the present study.



Kuva 9. Vähäpuustoiseksi hakattujen viljelymetsiköiden simuloitu kehitys verrattuna eteläruotsalaisten (Götaland) kestokoealametsiköiden kehitykseen (Eriksson 1990).

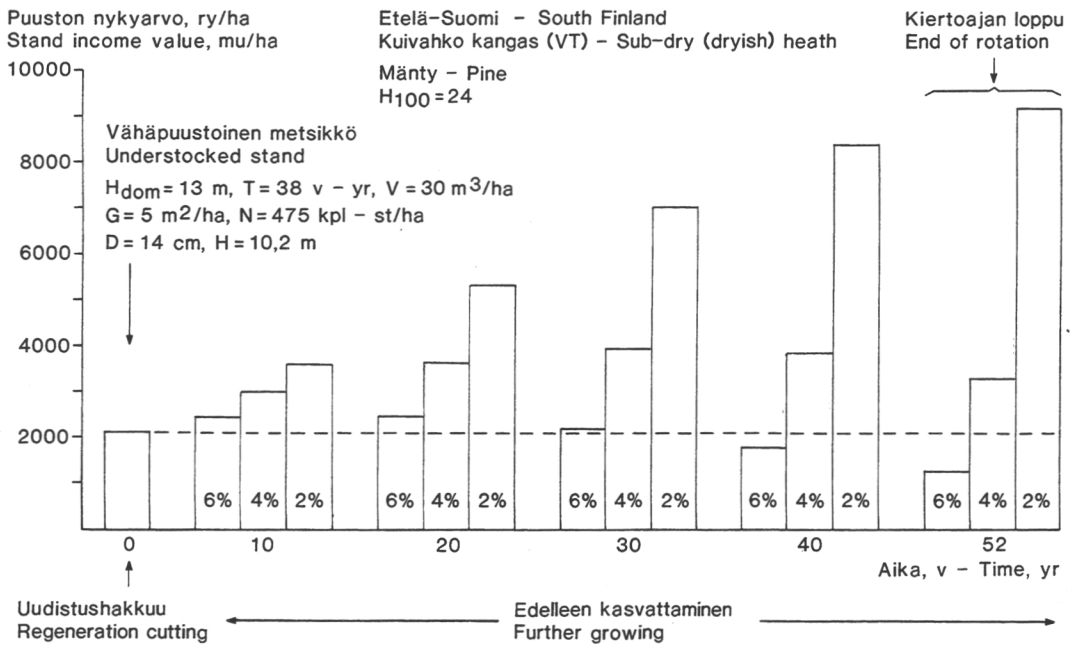
Fig. 9. Simulated and measured volume development on permanent sample plots in understocked stands from heavy first thinning in South Sweden (Götaland, Eriksson 1990).

ohjelmaa ja kasvumalleja, joiden tutkimuksen tekijäkin epäilee johtaneen kasvun ja tuotoksen yliarviointiin.

Ruotsissa on aloitettu v. 1966 laaja, koko maan kattava kestokoealoihin perustuva tutkimus (Eriksson 1990). Siinä tutkitaan eri harvennustapojen ja -voimakkuuksien lisäksi lannoituksen vaikutusta puuston kasvuun ja tuotokseen. Koesarjan selvittää mm. yhden voimakkaan ensiharvennuksen vaikutusta kiertoajan kokonaistuotokseen. Kahden Etelä-Ruotsissa (Götaland) sijaitsevan kestokoealan (1 mänty- ja 1 kuusikoeala) mittaustulosten perusteella saadaan kuva istutusmännikön kehityksestä harvennuksen jälkeisellä 16-vuotisjaksolla ja istutuskuusikon kehityksestä 19-vuotisjaksolla (kuva 9). Puuston kehitys harvennuksen jälkeen simuloitiin vertailun vuoksi myös tämän tutkimuksen kasvuyhtälöillä. Männyllä kasvuyhtälöön perustuva tilavuuskehitys on likimain sama kuin kestokoealalta mitattu. Sen sijaan istutuskuusikon kehitys tulee selvästi aliarvioiduksi luontaisesti syntyneen kuusikon kasvuyhtälöllä. Tulokset ovat loogisia ja aiempien tuotostutkimusten mukaisia. Luontaisesti syntyneen männikön ja viljelymännikön kasvussa tai tuotoksessa ei ole yleensä havaittu suuria eroja. Istutuskuusikon ja luontaisesti syntyneen kuusikon tuotosero on yleisesti tunnettu. Tämän tutkimuksen kasvuyhtälön laadinta-aineistoon ei sisälly niin viljavia kasvupaikkoja, kuin mitä ruotsalainen koemetsikkö kuvassa 9 edustaa ($H_{100} > 33$).

4.4 Vähäpuustoisen metsikön vajaatuottoisuus

Metsäkeskus Tapion uudessa metsänkäsittelyohjeessa (Metsänhoitosuositukset 1989) metsikön vajaatuottoisuuden määrittäminen on kytketty kasvavan puuston edelleen kasvattamisen tai uudistamisen edullisuuteen. Vaihtoehtojen (kasvattaa tai hakata) puitteissa tutkitaan, onko vähäpuustoinen metsikkö vajaatuottoinen vai ei.



Kuva 10. Erään eteläsuomalaisen, puolukkatyypin ensiharvennusvaiheen (13 m) männikön uudistamisen ja edelleen kasvattamisen edullisuusvertailu (vrt. kuva 6).

Fig. 10. The profitability calculation for the determination of low yielding in an understocked pine stand at the first thinning stage (13 m) on the Vaccinium site type in South Finland (cf. Fig. 6).

Tapauskohtaisesti ratkaistaan, miten metsikköä pitäisi tästä eteenpäin käsitellä. Aiemmissa ohjeissa käytetty hoidetun metsikön tuotto tai tuotos ei ole realistinen vaihtoehto, kun tutkitaan vähäpuustoisessa tilassa olevaa metsikköä. Heti uudistushakkuun jälkeen jää metsikön tilalle vain paljas maa uuden metsikön perustamista varten. Hyvin hoidettu ja kasvava metsikkö saadaan aikaan vasta pitkän ajan kuluttua tulevaisuudessa.

Kuvassa 10 on esimerkki kasvavan, vähäpuustoisen metsikön kasvatuksen kannattavuudesta nykyarvomenetelmällä laskettuna. Siinä tarkastellaan ko. metsikön edelleen kasvattamista kiertoajan loppuun (10, 20, 30, 40 ja 52 v) verrattuna metsikön välittömään avohakkuuseen. Nykyarvo (rahayksikkö (ry)/ha) on puuston hakkuuarvon ja maan arvon summa. Metsikköä edelleen kasvatettaessa hakkuuarvon ja maan arvon summa on 10, 20, 30, 40 ja 52 vuoden diskontattu arvo (nykyarvo). Summa-arvon laskennassa on käytetty samaa maan arvoa kaikissa vaihtoehdoissa. Puuston arvo on määritetty lasketun vähäpuustoisen metsikön tilavuuksien ja Nyyssösen & Ojansuun (1982, s. 35) esittämän puustokuutiometrin arvotaulukon perusteella. Laskelmassa käytettiin tukkipuun hintana 100 ja kuitupuun hintana 50 rahayksikköä kuutiometriä kohden.

Vastaavia maan arvoja laskettaessa käytettiin Tapion taskukirjan (Oksanen-Peltola 1991) maanarvotaulukoita (Etelä-Suomen VT-tyypin keskimääräinen arvo 1700 mk/ha) ja pitkän ajan puutavaralajeittaisia keskihintataulukoita (Etelä-Suomen tukkipuun ja kuitupuun keskimääräiset hinnat 224 mk ja 98 mk/m^3). Laskennassa käytettiin Vuokila & Väliahon (1980) viljelymänniköiden tuotostaulukoita. Arvioidut tukki- ja kuitupuun osuudet kiertoajan kokonaistuotoksesta olivat: 0,73 ja 0,27. Maan arvo 750 ry/ha saatiin kertomalla luku 1700 luvulla 0,44 ((100/224) · 0,73 + (50/98) · 0,27 = 0,44).

Tulokseksi saatiin, että puustopääomatason ollessa niinkin alhainen kuin 30 m^3/ha, pohjapinta-alana 5 m^2/ha, metsikköä ei ole taloudellisesti mielekästä uudistaa korkovaatimuksen ollessa 2 tai 4 %. Toisin sanoen vähäpuustoinen männikkö ei ole vajaatuottoinen, ja se kannattaa jättää kasvamaan kiertoajan loppuun saakka, jos korkovaatimus on 4 % tai sitä pienempi. Käytettäessä 6 %:n korkoa ovat edelleen kasvattaminen ja pikainen uudistamishakkuu melko tasavertaisia vaihtoehtoja. Tällä korkokannalla metsikön voidaan katsoa olevan lähellä vajaa-

tuottoisuusrajaa. Tuloksia tulkittaessa tulisi ottaa huomioon, että maan arvo ja optimaalinen kiertoaika ovat korosta riippuvia.

Tulokset ovat yhteneväisiä aiempien, kuusikon uudistamisrajan selvittämistä koskevien tutkimusten kanssa (Häyrinen 1976, Päivinen 1980, 1989). Näissä tutkimuksissa ensiharvennusmetsiköt olivat vieläkin vähäpuustoisempia kuin tässä tutkimuksessa.

5 Tulosten tarkastelu ja soveltaminen

Tulosten soveltaminen riippuu kasvuyhtälöiden luotettavuudesta, joka on sidoksissa laadinta-aineistoon. Tässä yhteydessä on syytä korostaa, että kehitettyjä kasvuyhtälöitä (32.1 ja 32.2) ei ole testattu erilliseen riippumattomaan aineistoon. Tulevaisuudessa vertailutuloksia saadaan pysyviltä harvennuskokeilta, joilla puustoa on jo ensiharvennusvaiheessa harvennettu voimakkaasti. Vasta tällöin voidaan luotettavammin päätellä, heikentääkö voimakas harvennus nuoren männikön kiertoajan kasvua enemmän kuin kuusikon, sekä sitä kuvaavatko kasvuyhtälöt yhtä hyvin sekä vähäpuustoiseksi syntyneen että harvaksi hakatun metsikön kehitystä.

Tulosten tilastomatemaattista luotettavuutta voidaan tarkastella ainoastaan kasvuyhtälöiden osalta laadinta-aineistossaan. Tarkastelu osoitti yhtälöiden antavan harhattomia kasvuennusteita laadinta-aineistossaan. Jäännöshajonnan perusteella voidaan arvioida yhtälöiden suhteellisen keskivirheen (satunnaisvirhe) olevan 30 % metsikön 5-vuotisjakson kasvua ennustettaessa.

Puuston pohjapinta-alan ja tilavuuden kehityssarjojen tilastollisesta luotettavuudesta ei voida tehdä tarkkaa arviota. Syynä tähän on se, että simulointilaskelmissa käytetään kasvuyhtälöiden lisäksi myös apuyhtälöitä, joihin liittyvät omat virheensä. Lisäksi vähän tutkittu ongelma on ennustettuun tilavuuskasvuun perustuvan puuston kehityksen harha pitkällä aikavälillä.

Aiemmat tutkimukset, kuten Braastadin (1983) simuloinnit ja Erikssonin (1990) kestokoealamittaukset (kuvat 7 ja 9, mäntykoeala), antavat tukea tämän tutkimuksen tuloksille. Näin kasvuyhtälöitä voidaan käyttää sekä vähäpuustoiseksi hakatun että harvana syntyneen metsikön kasvun ennustamiseen.

Frykin (1984) runkoluvultaan harvojen mäntytaimikoiden (kuva 8) ja Erikssonin (1990) voimakkaasti harvennettujen viljelykuusikoiden tulokset (kuva 9, kuusikoeala) poikkeavat sen sijaan selvästi nyt esitetyistä. Mainituissa vertailuissa simulointilaskelmien lähtökohdat ovat tämän aineiston sovellusalueen ulkopuolelta. Frykin tutkimuksessa lähtöpuuston valtapituus on ollut selvästi alle 10 m, ja lisäksi hänen tutkimuksessaan on käytetty hoidetuille metsille laadittua kasvumallia. Mallia ei ole testattu kestokoealamittauksiin perustuvaan aineistoon kuten Braastadin tutkimuksessa. Erikssonin aineistoa edustava koemetsikkö on puolestaan selvästi viljavampi, kuin tämän tutkimuksen metsiköt. Kasvuyhtälöllä simuloidun kuusikon hitaampaa kehitystä voidaan pitää johdonmukaisena tuloksena.

Edellä esitetyn perusteella voidaan päätellä, että kasvuyhtälöitä (32.1 ja 32.2) ja niillä laskettuja kehityssarjoja pitäisi soveltaa laadinta-aineistonsa tunnusten vaihtelualueilla. Saatujen tulosten käytännön luotettavuus riippuu paljon myös siitä, kuinka hyvin inventoinnissa mitatut vähäpuustoiset metsiköt vastaavat nykymetsiä. Tutkimusaineisto käsittää eri syistä vähäpuustoisia metsiköitä. VMI3:ssa osa hakatuista metsiköistä edustaa 1950-luvun käsittelyä harsintoineen. Tältä osin VMI5:n koealapuustot edustavat paremmin nykymetsien käsittelyä.

Tutkimustuloksia voidaan käyttää hyväksi tehtäessä puuntuotannollisia ja taloudellisia analyysejä metsikön vajaatuottoisuudesta. Käyttäjällä on mahdollisuus tehdä omia simulointilaskelmia, joissa määritetään tämän tutkimuksen tapaan lähtöpuuston tietyt tunnukset ja käytetyt tilavuuskasvuyhtälöt. Toinen vaihtoehto on lähteä arvioimaan tilavuuden ja valtapituuden kehitystä simuloiduilta kehityskäyriltä (kuvat 3–6). Tilavuuteen päästään valtapituuden ja pohjapinta-alan perusteella kaavoilla 41.1 ja 41.2. Kolmas vaihtoehto on käyttää suoraan taulukkoja 3–4 (myös 5 ja 6), mikäli kyseessä on eteläsuomalainen, luontaisesti syntynyt VT-männikkö tai MT-kuusikko.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että ensiharvennusvaiheessa olevan vähäpuustoisen havumetsikön pohjapinta-alan kehitys on nopeaa. Kiertoajan kuluessa se saavuttaa yleensä ko. harvennusmallien hakkuun jälkeisen ohjepohjapinta-alan, jos lähtöpuuston pohjapinta-ala on n.

60 % harvennusmallien ohjetasosta. Ensiharvennusvaiheessa olevan metsikön pohjapinta-ala voi tällöin olla 5–7 m^2/ha ja runkoluku 500–700 kpl/ha. Näin suotuisa metsikön kehitys edellyttää kuitenkin sitä, että puusto säästyy tuhoilta.

Tutkimuksessa on esimerkki (kuva 10) siitä, miten tuloksia voidaan käyttää vähäpuustoisen kasvatusmetsikön vajaatuottoisuuden määrittämiseen. Tämän yksinkertaisen kannattavuuslaskelman periaate on Metsäkeskus Tapion uusien ohjeiden (Metsänhoitosuositukset 1989) mukainen. Laskelman tulokset ovat hyvin samankaltaisia kuin Häyrisen (1976) ja Päivisen (1980) saamat tulokset. Kasvattaminen on kannattavampaa kuin välitön avohakkuu myös erittäin vähäpuustoisissa metsiköissä.

Metsikön vähäpuustoisuudella ja siitä johtuvalla mahdollisella vajaatuottoisuudella on tärkeä käytännön merkitys. Jatkossa tarvitaan vaihtoehtoisia rahalaskelmia vähäpuustoisen metsän taloudellisen vajaatuottoisuuden määrittämiseksi. Ongelman selvittäminen on jo aloitettu Metsäntutkimuslaitoksessa (Salminen 1989). Tuottolaskelmissa joudutaan ottamaan huomioon perushintojen ja kustannusten lisäksi puuston laatu, puutavaralajirakenne, puiden ryhmittäisyys metsikössä sekä luonnonpoistuma ja tuhot.

Kirjallisuus – References

Bengtsson, G. 1980. Projekt Hugin. Sammanfattande slutrapport. Summary: The Hugin project. Final summary report. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten, Umeå. Hugin 21. 95 s.

Braastad, H. 1983. Produksjonsnivået i glissen og ujamn granskog. Summary: Yield level in Picea abies stands with low initial density and irregular spacing. Norsk institutt for skogforskning. Rapport 7. 42 s. ISSN 0333-001X.

Eriksson, H. 1990. Hur har det gått med höggallringen? Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 2. 15 s.

Etelä- ja Pohjois-Suomen metsien käsittelyohjeet 1981. Keskusmetsälautakunta Tapion julk. 3. 20 s.

Fryk, J. 1984. Tillstånd och produktion i röjda ungskogar med låga stamantal. En studie utförd på AB Iggesunds Bruks marker i Hälsingland. Summary: Wide spacing after cleaning of young forest stands – stand properties and yield. A study carried out at AB Iggesunds Bruk in central Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Rapport 13. 248 s. ISBN 91-576-1958-1, ISSN 0348-7636.

Gustavsen, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Abstract: 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.

— & Fagerström, H. 1983. Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran- och björkbestånd. Summary: The variation of breast height form factor for pine, spruce and birch stands in Finland. Tiivistelmä: Männyn, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu. Folia Forestalia 576. 32 s. ISBN 951-40-0644-5, ISSN 0015-5543.

Hänninen, T. 1974. Harvennusmetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the Southern half on Finland. Folia Forestalia 208. 32 s. ISBN 951-40-0120-6.

Häyrinen, I. 1976. Metsiköiden käsittelyohjeet. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 39 s.

Ilvessalo, Y. 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national survey of the forests of Finland. Plan and instructions for field work. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(3). 67 s.

— 1956. Suomen metsät vuosista 1921–24 vuosiin 1951–53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921–24 to 1951–53. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 47(1). 227 s.

Kilkki, P., Kuusela, K. & Siitonen, M. 1977. Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla. Summary: Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland. Folia Forestalia 307. 61 s. ISBN 951-40-0272-5, ISSN 0015-5543.

Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Abstract: On the development of Scots pine stands in Central Finland. Folia Forestalia 142. 19 s. ISBN 951-40-0017-X.

Kuusela K. & Salminen, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 69(4). 72 s.

— & Salminen, S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979–1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977–1982. Summary: Forest resources in the six northernmost forestry board districts of South Finland 1979–1982 and the whole of South Finland 1977–1982. Folia Forestalia 568. 79 s. ISBN 951-40-0636-4, ISSN 0015-5543.

Metsänhoitosuositukset. 1989. Yksityismetsälain noudattamisen valvontaohjeet. Keskusmetsälautakunta Tapion julk. 55 s.

Mielikäinen, K. 1975. Männiköiden ja kuusikoiden kuu-

tiokasvuyhtälöt ja niiden laatiminen. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 103 s.
Nikunen, U. 1983. Alueellinen suunnittelu etenee. Alueellisen suunnittelun ja valtakunnan metsien inventoinnin tulosten vertailu. Metsä ja Puu 1: 14–15, 18.
Nyyssönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta Forestalia Fennica 60(4). 194 s.
— & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta Forestalia Fennica 163. 40 s. ISBN 951-651-038-8.
— & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta Forestalia Fennica 179. 52 s. ISBN 951-651-054-X.
Ohjekirjeet vajaapuustoisten metsien käsittelystä. 1984. Metsähallituksen julk. Monisteet 106–108. 12 s. + liitt.
Ohjekirjeet metsien käsittelystä Perä-Pohjolan, Etelä-Suomen ja Pohjanmaan piirikunnassa. 1985. Metsähallituksen julk. Monisteet 110–112. 98 s. + liitt.
Oksanen-Peltola, L. 1991. Metsän arvon määrittäminen. Julkaisussa: Tapion taskukirja. 21. painos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki. s. 338–358. ISBN 952-90-2711-7.
Päivinen, R. 1980. Mustikkatyypin kuusikon kasvattamisen ja uudistamisen edullisuudesta. Metsätalouden liiketieteen laudatur-työ. Helsingin yliopisto. 32 s.
— 1989. Vajaatutkittu vajaatuotto. Metsä ja Puu 3: 32–33.
Salminen, O. 1989. Vajaatuottoisuus liiketaloudellisena ongelmana. Julkaisussa: Tervo, M. & Valsta, L. (toim.). Metsästä markkinoille. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 330: 39–45. ISBN 951-40-1053-1, ISSN 0358-4283.
Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in southern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 48. 138 s.
— 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands reated with intermediate cuttings of varying degree for Southern Central-Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63(2). 123 s.
— 1969. Harvennusmenetelmät ja harvennusmetsiköt etenkin koneellisen puunkorjuun kannalta. Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunta (HAKO). Helsinki. 147 s.
— & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(2). 271 s. ISBN 951-40-0452-3, ISSN 0026-1610.
Yksityismetsälain valvontaohje määrittää vähimmäismetsänhoidon tason. 1989. Metsälehti 19. s. 3.

Total of 33 references

Summary

Development of understocked pine and spruce stands

Introduction

Understocking (low density) is one of many reasons for a stand to be low-yielding. This study deals only with the problem of growth and development in understocked natural conifer stands in Finland.

According to the 7th National Forest Inventory (1977–1983), the area of low-yielding conifer stands in South Finland was 8.5 % of the total forest land. The growing stock volume in low-yielding stands is comprised of 33.2 million m^3 (404 700 ha – 82 m^3/ha) for deciduous-dominated stands, 19.8 million m^3 (223 100 ha – 89 m^3/ha) for pine-dominated stands and 29.1 million m^3 (280 300 ha – 104 m^3/ha) for spruce-dominated stands.

In Finnish private forestry, economic criteria form the basis for determining low-yielding stands. According to the present rules for private forestry given by the Central Forestry Board Tapio (Metsänhoitosuositukset 1989), a stand is low-yielding when it is more profitable to regenerate it immediately than to let it continue to grow.

In practice, determination of a low-yielding stand is linked to the absolute basal area of the stand. In the new instructions from Tapio, the limit has been changed to 70 % of the allowable minimum basal area after sale thinnings (cf. Fig. 6).

The rules for deciding, in practice, what is or is not a low-yielding stand suffer from the lack of research results based on the use of permanent sample plots located in understocked stands. Data from the temporary plots in the National Forest Inventories are, at this moment, the best material for making growth studies about understocked stands in different parts of the country.

The main purpose of this investigation is to test and to develop volume increment functions describing the

development of understocked natural conifer stands, and to give some simulation results (examples) based on these functions.

Research material

The material covers the whole country and is comprised of sample plot data from the 3rd National Forestry Inventory (1951–53, Ilvessalo 1951) and the 5th Inventory (1964–70, Kuusela & Salminen 1969).

Because the aim of the study is to examine the increment in understocked stands, the material consists only of sample plots which have a lower density (both stem number of trees and basal area) than the recommended minimum values in the thinning guides used for practice. The systematic selection of the research material was done separately for the different site types and for the six dominant height classes (10.1–12.0, 12.1–14.0, 14.1–16.0, 16.1–18.0, 18.1–20.0 and over 20 metres).

The basic material in this study consists of 734 sample plots representing understocked pine and 373 representing understocked spruce stands (cf. Table 1). The variables used, along with their, minimum and maximum values are shown in Table 2 ; Fig. 2 illustrates the variation in basal area and stem number by dominant height.

A weakness of the material is that the stand structure in the early 1950's in Finland was not exactly the same as today. However, the majority of the sample plots are from the 5th Inventory (from the end of 1960's to the beginning of the 1970's) and thus help to correct for this discrepancy.

Methods and assumptions

Site classification

The site classification systems used in the study are the height-age system for natural conifer stands in Finland (Gustavsen 1980) and the Finnish forest site type system. The relation between these two classification systems and the rotation ages are represented in section 3.1.

The rotation ages are those recommended for private forestry in South and North Finland by the Central Forestry Board Tapio and the state forestry by the National Board of Forestry.

Models used in the study

The increment examination was started testing the volume increment percent functions for predicting the future 5-year period in normally stocked pine and spruce stands published by Mielikäinen (1975), Nyyssönen & Mielikäinen (1978) and by Gustavsen (1977). It must be pointed out, that the functions by Mielikäinen (1975) and Nyyssönen & Mielikäinen (1978) have been developed from the same research material. The differences (residual errors) between the increment measured from the research material and the increment predicted by these functions showed systematic trends. For this reason, and due to the fact that there was no long-term permanent plot data available for correcting the above functions, two new volume increment functions (32.1 and 32.2) were developed from the research material. The intercept values in the functions are corrected for the logarithmic transformation error of the dependent variable.

Some other models have been used in the simulation for estimation of the basal area (model 32.3) and the mean diameter (models 32.4 and 32.5). The dominant height (H_{dom}) was estimated from the functions developed by Gustavsen 1980 (p. 12 and 14) and the form factor (F) from the functions by Gustavsen & Fagerström (1983, functions 3 and 7).

Simulation of the stand development

The development of the understocked stand was simulated using the models (32.1–32.5) and initial stand characteristics as volume, basal area, number of stems per hectare, dominant height, form factor, biological age and mean diameter, all estimated from the research material, The lowest initial dominant height was 13 metres (called the first thinning stage); the corresponding biological age ranged from 32 to 78 years depending on the fertility of the site. In the increment functions for understocked stands the mean values, 1150 d.d. for South Finland and 930 d.d. for North Finland, are used.

The volume development was simulated by adding the 5-year period increment, estimated on the basis of the volume increment functions, to the initial stand volume. The stand volumes calculated for every 5-year period were transformed to stand basal area according to the model 32.3.

In the simulation procedures for the understocked stand, no thinnings are assumed except in the cases where the basal area of the stand reaches the upper limits (A) in the thinning guides 15–20 years before the end of the rotation. The development of an understocked stand is assumed to be similar to that of normally stocked stand when the basal area is higher than the minimum level (B) after thinning (cf. Fig. 3).

No allowance has been made for natural self thinning (mortality), irregular spacing or ingrowth of new trees in the simulation of stand development. The development of the dominant height in an understocked stand is

assumed to be similar to the development in a normally stocked stand.

The development in normally stocked stands treated with the thinnings set forth in the thinning guides were simulated (cf. Figs. 3–6) using the increment functions by Gustavsen (1977, functions 4, 7, 13, 16 and 23).

The yield, prior to the first thinning stage, was estimated from the earlier published growth and yield tables for stands treated with thinnings by Nyyssönen 1954, Vuokila 1956, 1967 and Koivisto 1972. The yield values used were 145 m^3/ha in pine on *Vaccinium site type* (H_{100} = 24) and 155 m^3/ha in spruce stand on *Myrtillus site type* (H_{100} = 25,5) in South Finland.

Results

The development of understocked natural stands

Basal area development in understocked pine and spruce stands

The results in Figs. 3–6 are limited to the most important sites and to fixed initial heights and basal area levels (C). This is because of the numerous alternatives available for the starting values in the simulation process.

The basal area development for other initial levels, however, can be estimated from the curves by interpolation. Transformation of the volume to stand basal area can be calculated using the formulas 41.1 and 41.2.

A more precise estimation is obtained by using the growth functions 32.1 and 32.2 and simulation.

Volume development and yield in the rotation

The results, in terms of volume, concerning an understocked stand growing from the first thinning phase (13 m in Fig. 6) are presented in Tables 3 and 4. It is assumed that these volumes represent stands which are understocked as a result of either heavy thinnings or poor regenerations.

Tables 5 and 6 present the corresponding yield values over the entire rotation (according to Fig. 6) for the understocked stands and a normally stocked stand.

No decision, for example, regarding the reaction of the tree species to heavy first thinnings, can be made from Table 6, because of the differences in site, initial number of stems per hectare and initial volume before and after thinnings. The volume removal in the assumed first thinnings in Table 6 can be calculated as the difference between the yield values of the understocked stands in Tables 5 and 6.

Reliability of the increment functions and the simulation results

The functions 32.1 and 32.2 may lead to considerable errors (> 30 %) in the estimation of individual stands. Tested against the research material, no clear systematic errors could be stated for these functions (cf. Appendices 1 and 2).

No statistical estimation of the reliability of the simulation results could be calculated due to the possibility of different errors in the other models used. The simulated development could also be connected with systematic errors caused by the correlation between the predicted 5-year increment in one period and the input volume for calculating the following 5-year period increment. This can occur even if the functions give no systematic errors.

The results by Braastad (1983), concerning Norwegian spruce stands with low density and irregular spacing, agree very well with simulated development and yield values in this study (Fig. 7). The slope of the basal area development curves are very similar, over the rather long period examined, in spite of the fact that Braastad has used a quite different model (stand diameter increment model) in the simulation calculations.

The volume development simulated in Fig. 9 from function 32.1 for a single permanent sample plot in heavily thinned pine culture in South Sweden (Götaland, cf. Eriksson 1990) fits very well to the measured volume data. The development for a similar spruce culture plot, however, is clearly underestimated by the spruce function 32.2. However, it must be pointed out that the site type (H_{100} = 35.5) was not represented in the research material (cf. Table 2) and spruce cultures were only slightly represented.

The simulated development of young Swedish pine stands with wide spacing after cleaning according to Fryk (1984) differ clearly from the results obtained by function 32.1 (Fig. 8). The very long simulation period and the information about the initial stem numbers, basal areas and the functions used, give the impression that the results by Fryk are not valid for understocked stands according to the meaning used in the present investigation.

Decision of low yielding stands

An example of the profitability calculation for a pine stand (cf. Fig. 6) is presented in Fig. 10. The values of the stand in different phases (after 10, 20, 30, 40, 52 years) together with the base value (constant for all alternatives = 750 $^{mu}/m^3$ (where ^{mu} = monetary unit), are discounted to time 0. The relative value of a cubic metre of wood was estimated on basis of mean diameter and height using a sawtimber stumpage price of 100 $^{mu}/m^3$, a

pulpwood stumpage of 50 $^{mu}/m^3$ and the tables given by Nyyssönen & Ojansuu 1982 (p. 35).

The results of this calculation are very similar to earlier investigations done in Finland. In general, it is more profitable to let an understocked stand continue to grow than to clear-cut it immediately.

Practical application of the results

The main results of the investigation are the volume increment functions 32.1 and 32.2 and the simulated examples of the development of understocked stands presented in Figs. 3–6 and in Tables 3–6. The results can be applied in management planning by making growth and alternative profitability calculations for stands which have low density as a result of poor regenerations or heavy thinnings.

The results indicate that an understocked natural conifer stand which attains the minimum level after thinning (B-level in the thinning quide), has a basal area of 5–7 m^2/ha and a stem number of 500–700 stems/ha at 13 metres stage.

The reliability of the results depends mainly on the validity of the research material. Caution must be used in the application of the increment functions. The value range of each variable limits the use of the functions. The functions do not appear to be suitable for simulation of growth development in stands with average dominant heights below 9–10 m or in spruce culture stands.

The simplified profitability calculation (example in Fig. 10) carried out in this study must be enlarged, with more attention paid to stand assortment, quality, mortality, spacing, and realistic price and cost factors.

Liite 1. Kasvuyhtälöiden 32.1 ja 32.2 virheet (residuaalit) tutkimusaineistossa ennustetun kasvun $\hat{y}$ (I_{v5}, m^3/ha/5 v) mukaan. y = mitattu kasvu.

Appendix 1. *Errors (residuals) in the increment functions 32.1 and 32.2 according to predicted increment $\hat{y}$ (I_{v5}, m^3/ha/5 yr). y = measured increment.*

Yhtälöllä ennustetun kasvun ($\hat{y}$) luokka *Predicted increment ($\hat{y}$) class*	Mänty – *Pine* Yhtälö 32.1 *Function 32.1* $\hat{y} - y$	n	Yhtälöllä ennustetun kasvun ($\hat{y}$) luokka *Predicted increment ($\hat{y}$) class*	Kuusi – *Spruce* Yhtälö 32.2 *Function 32.2* $\hat{y} - y$	n
–4,0	–0,22	6			
4,1–6,0	–0,10	47			
6,1–8,0	–0,36	105	–8,0	–0,03	21
8,1–10,0	+0,57	116	8,1–10,0	+0,75	48
10,1–12,0	–0,06	107	10,1–12,0	–0,46	43
12,1–14,0	–0,25	95	12,1–14,0	+0,03	32
14,1–16,0	+0,15	71	14,1–16,0	–0,88	36
16,1–18,0	+0,26	48	16,1–18,0	–0,83	37
18,1–20,0	+1,98	40	18,1–20,0	–0,55	28
20,1–22,0	–1,68	27	20,1–22,0	+1,33	25
22,1–24,0	–0,58	24	22,1–24,0	–0,88	24
24,1–26,0	–2,96	13	24,1–26,0	–0,74	17
26,1–28,0	+1,29	14	26,1–28,0	–1,77	18
28,1–30,0	+1,27	11	28,1–30,0	–2,20	9
30,1–32,0	–6,26	5	30,1–32,0	+0,22	13
32,1–	+4,29	5	32,1–34,0	+9,40	10
			34,1–36,0	+8,25	6
			36,1–	+0,54	6

Liite 2. Eri kasvuyhtälöiden virheet (residuaalit) tutkimusaineistossa (I_{v5}, m^3/ha/5 v) ikä- ja tilavuusluokittain.

Appendix 2. *Errors (residuals) of three different increment functions in the research material (I_{v5}, m^3/ha/5 yr) by stand age and volume classes.*

Mänty – *Pine*

Metsikön tilavuus (V) *Stand volume (V)* m^3/ha		Metsikön ikä (T), v *Stand age (T), yr* 1–30	31–50	51–70	71–90	91–110	111+
1–20	1	–1,04	+1,82	+0,33	–0,65	–1,67	+1,13
	2	–2,78	+0,07	–0,77	–1,40	–1,96	+1,13
	3	–5,79	–2,20	–1,97	–2,32	–2,38	+0,57
		(1)	(9)	(10)	(6)	(2)	(1)
21–40	1	+1,85	–1,11	+0,31	+0,30	–0,15	–1,25
	2	+4,61	–1,29	–0,08	+0,22	–0,71	–1,38
	3	+2,57	–1,61	+0,20	+0,67	–0,33	–1,01
		(6)	(18)	(41)	(52)	(21)	(8)
41–60	1	–3,80	–0,65	+0,58	–0,02	–0,16	+0,84
	2	+0,67	+0,97	+0,57	–0,05	+0,01	+0,89
	3	–1,61	+2,25	+2,11	+1,32	+1,08	+1,42
		(1)	(22)	(50)	(54)	(44)	(24)
61–80	1		+1,20	+0,57	–0,33	+0,32	–0,32
	2		+2,67	–0,24	+0,06	+0,19	+0,08
	3		+4,70	+2,39	+1,90	+1,63	+0,93
			(9)	(26)	(42)	(32)	(26)
81–100	1	+17,22	–2,41	–1,79	+0,86	–0,38	+0,24
	2	+27,91	+0,66	–2,42	+0,76	–0,08	+0,69
	3	+25,15	+2,85	+0,64	+3,08	+1,58	+1,42
		(1)	(8)	(27)	(24)	(21)	(22)
101–120	1		–3,14	+3,38	+0,92	+0,19	–0,25
	2		+0,58	+2,38	+1,09	+0,81	+0,65
	3		+3,09	+5,19	+3,48	+2,47	+1,43
			(4)	(7)	(19)	(13)	(11)
121+	1		+3,98	–1,94	–1,12	–0,04	+1,63
	2		+5,10	–1,99	–1,45	–0,20	+1,68
	3		+7,35	+0,70	+1,20	+1,70	+2,43
			(2)	(17)	(20)	(18)	(15)
Kaikki *All*	1	+2,61	–0,48	+0,01	+0,04	–0,06	+0,28
	2	+5,94	+0,56	–0,40	+0,05	–0,05	+0,57
	3	+3,69	+1,29	+1,25	+1,52	+1,22	+1,25
		(9)	(72)	(178)	(217)	(151)	(107)

Koko aineisto	1	+0,02
Whole material	2	+0,12
(734)	3	+1,36

1 = Yhtälö 32.1 – Function *32.1*
2 = Gustavsenin (1977) yhtälö (1) – *Function (1) according to Gustavsen (1977)*
3 = Nyyssönen & Mielikäisen (1978) yhtälö (17) – *Function (17) according to Nyyssönen & Mielikäinen (1978)*

( ) Havaintojen lukumäärä – *Number of observations*

Kuusi – *Spruce*

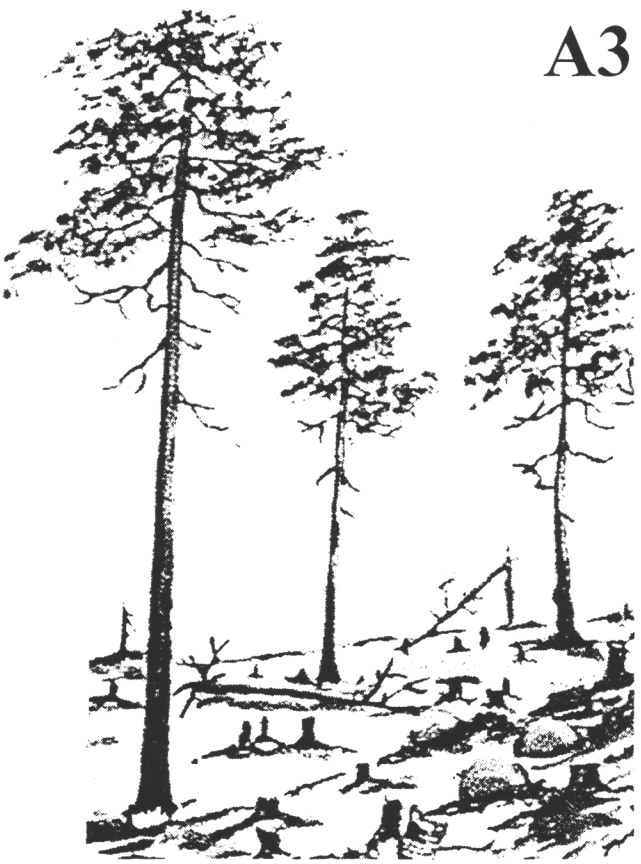
Metsikön tilavuus (V) *Stand volume (V)* m^3/ha		Metsikön ikä (T), v *Stand age (T), yr* 1–30	31–50	51–70	71–90	91–110	111+
1–20	1		–0,73	+0,02	–0,44		
	2		–2,26	–0,65	–1,52		
	3		–1,43	–1,32	–1,85		
			(9)	(5)	(3)		
21–40	1	+2,21	+0,11	+0,61	+0,95	+0,18	
	2	+2,98	+1,22	+0,77	+0,73	–0,24	
	3	+3,29	+0,02	–0,64	–0,80	–1,58	
		(1)	(14)	(23)	(13)	(11)	
41–60	1		+3,48	+0,37	–1,10	+0,27	+1,52
	2		+4,64	+0,70	–1,20	+0,74	+1,87
	3		+3,33	–0,70	–2,42	–0,42	+0,72
			(10)	(35)	(27)	(6)	(9)
61–80	1		+0,50	–0,25	–0,43	–0,65	+0,74
	2		+3,66	+0,99	–0,25	+1,33	+1,92
	3		+2,33	0,00	–1,02	+0,24	+1,31
			(5)	(22)	(12)	(11)	(15)
81–100	1		+15,84	–2,51	–1,69	+0,47	–1,63
	2		+20,53	–1,44	–1,51	+0,82	–0,75
	3		+20,26	–1,43	–0,97	+1,51	–0,15
			(1)	(18)	(17)	(11)	(11)
101–120	1			–1,16	–2,97	–3,93	+0,40
	2			+1,02	–3,95	–4,02	+1,89
	3			+1,88	–1,86	–1,75	+3,86
				(15)	(7)	(7)	(2)
121–140	1			+1,59	+1,66	+0,99	–1,96
	2			+2,75	+1,00	+1,12	–0,81
	3			+5,29	+4,18	+4,10	+2,69
				(9)	(6)	(6)	(3)
141+	1		–1,90	+4,52	+4,26	–3,49	–0,45
	2		+6,13	+2,84	+1,91	–5,06	+0,29
	3		+8,04	+8,31	+8,10	+2,32	+5,30
			(1)	(8)	(16)	(2)	(2)
Kaikki	1	+2,21	+1,16	+0,07	+0,05	–0,50	+0,02
All	2	+2,98	+2,20	+0,77	–0,47	–0,11	+0,94
	3	+3,29	+1,51	+0,52	+0,31	+0,30	+1,21
		(1)	(40)	(135)	(101)	(54)	(42)

Koko aineisto	1	+0,09
Whole material	2	+0,47
(373)	3	+0,63

1 = Yhtälö 32.2 – *Function 32.2*
2 = Gustavsenin (1977) yhtälö (2) – *Function (2) according to Gustavsen (1977)*
3 = Nyyssönen & Mielikäisen (1978) yhtälö (19) – *Function (19) according to Nyyssönen & Mielikäinen (1978)*

( ) Havaintojen lukumäärä – *Number of observations*

A3



FOLIA FORESTALIA 454

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Hans Gustav Gustavsen

TALOUSMETSIEN KASVUPAIKKALUOKITTELU VALTAPITUUDEN AVULLA

Site index curves for conifer stands in Finland

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Helsinki 1981. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

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

Käsillä oleva julkaisu kuuluu tutkimuksen kolmanteen osatehtävään (ks. H ä n n i n e n 1974 ja G u s t a v s e n 1977), jonka jälkeen voidaan laatia suoritettujen osatutkimusten tulosten perusteella nykymetsien alueellisia kasvu- ja tuotostaulukoita.

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

Merkittävää apua olen saanut esimieheltäni, professori Yrjö V u o k i l a l t a, joka on osallistunut kannustavasti työn kaikkiin vaiheisiin. Matemaattisissa kysymyksissä olen saanut varteenotettavia neuvoja vt. professori Pertti H a r i l t a, työn alkuvaiheessa myös tri Pentti R o i k o - J o k e l a l t a. Käsikirjoitusvaiheessa on yksityiskohtien selvittämisessä auttanut MML Kari M i e l i k ä i n e n. Tutkimusapulainen Marja-Liisa H e r n o on yhdessä toimistosihteeri Anja K o r p e l a i s e n kanssa huolehtinut käsikirjoituksen puhtaaksikirjoituksesta ja kuvien piirtämisestä.

B.Sc. Ashley S e l b y on tarkistanut tutkimuksen englanninkielisen osan. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Aarne N y y s s ö n e n, Pertti H a r i ja Yrjö V u o k i l a sekä MML Kari M i e l i k ä i n e n.

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

Helsinki joulukuussa 1980

Hans Gustav Gustavsen

KÄYTETYT MERKINNÄT

Yhtälöissä ja muissa tuloksissa esiintyvillä merkinnöillä tarkoitetaan seuraavaa:

Metsikkömerkinnät — *Stand symbols:*

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

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

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

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

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

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

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

Matemaattiset merkinnät — *Mathematical symbols:*

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

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

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

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

SISÄLLYS

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

1. JOHDANTO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tutkimuksen perusaineisto on valtakunnan metsien kolmannesta inventoinnista vuosilta 1951—53. Koska metsänviljelyä on harjoitettu merkittävässä määrin vasta 1960-luvulta alkaen, tämän aineiston voidaan väittää sisältävän lähes yksinomaan luontaisesti syntyneitä metsiköitä. Tältä pohjalta lähtevä kasvupaikkojen luokittelu ei ole tuotoskyvyn arvioimisen kannalta optimaalinen, vaan perusaineiston ilmaisema keskimäärin mahdollinen. Boniteettiluokat on myös tässä tutkimuksessa sidottu biologiseen kokonaisikään 100 vuoden iällä. Bonitointi tapahtuu kuitenkin *rinnankorkeusiän* ja valtapituuden avulla. Valtapituus tarkoittaa tässäkin hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituutta. Käytännössä on helpompaa ja täsmällisempää määrittää talousmetsien valtapuiden vuosilustojen lukumäärä rinnankorkeudelta kuin biologinen ikä. Valtapuiden mahdollinen kitumiskausi varhaisessa kehitysvaiheessa ei näin pääse vaikuttamaan liikaa bonitointiin.

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

2. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN KÄSITTELY

Tämän tutkimuksen aineisto on alaotos (ks. G u s t a v s e n 1977, s. 6) valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin (1951—53) aineistosta (ks. I l v e s s a l o 1951). Aineisto käsittää ko. inventoinnin yksijaksoiset kuusi- ja mäntykoealat, joissa pääpuulajia on ollut yli 50 % puuston tilavuudesta. Kehitysluokista ovat mukana taimistot (valtapituus 4+m), harvennus-, väljennys- ja uudistusmetsiköt. Biologiselta iältään 140 vuotta vanhemmat metsiköt on jätetty pois. Metsikkötunnukset perustuvat 0,1 ha:n suuruisiin ympyräkoealoihin.

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

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

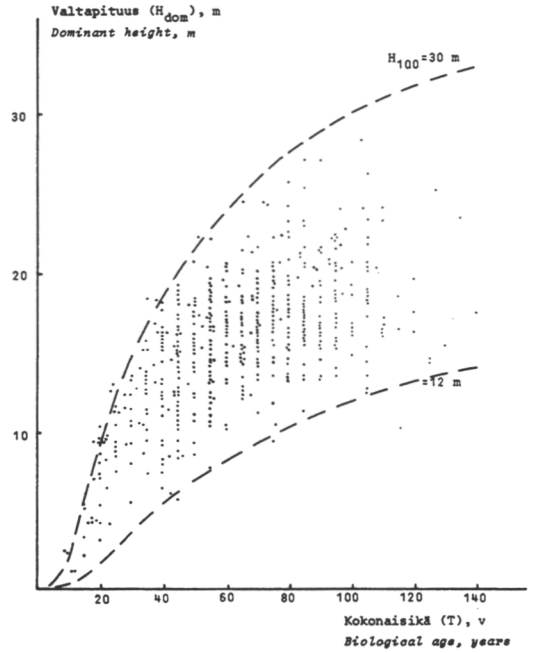
Seuraavasta asetelmasta käy ilmi aineiston koealojen lukumäärä ja niiden maantieteellinen jakautuminen:

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

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

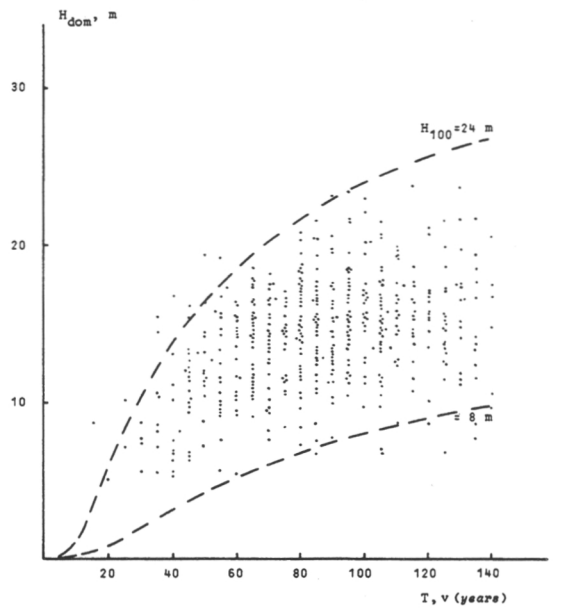
Koealametsiköistä oli määritetty metsätyyppi, mikä antoi mahdollisuuden arvioida rinnankorkeusikä niiden ohjeiden mukaan, jotka on annettu valtakunnan metsien seitsemännen inventoinnin kenttätyön ohjeessa (Valtakunnan... 1977, s. 23). Valtapituuden kasvu laskettiin kymmenen kookkaimman koepuun pituuskasvun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

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



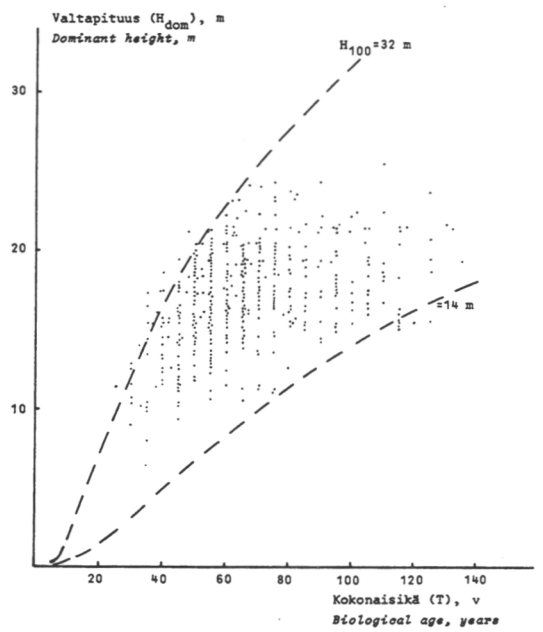
Kuva 1a. Mäntymetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Etelä-Suomessa.

Figure 1a. The variation of age and dominant height in the pine stands in Southern Finland.



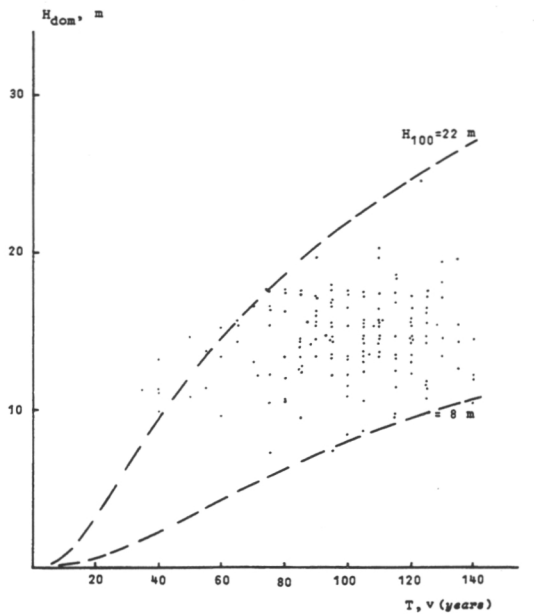
Kuva 1b. Mäntymetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Pohjois-Suomessa.

Figure 1b. The variation of age and dominant height in the pine stands in Northern Finland.



Kuva 2a. Kuusimetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Etelä-Suomessa.

Figure 2a. The variation of age and dominant height in the spruce stands in Southern Finland.

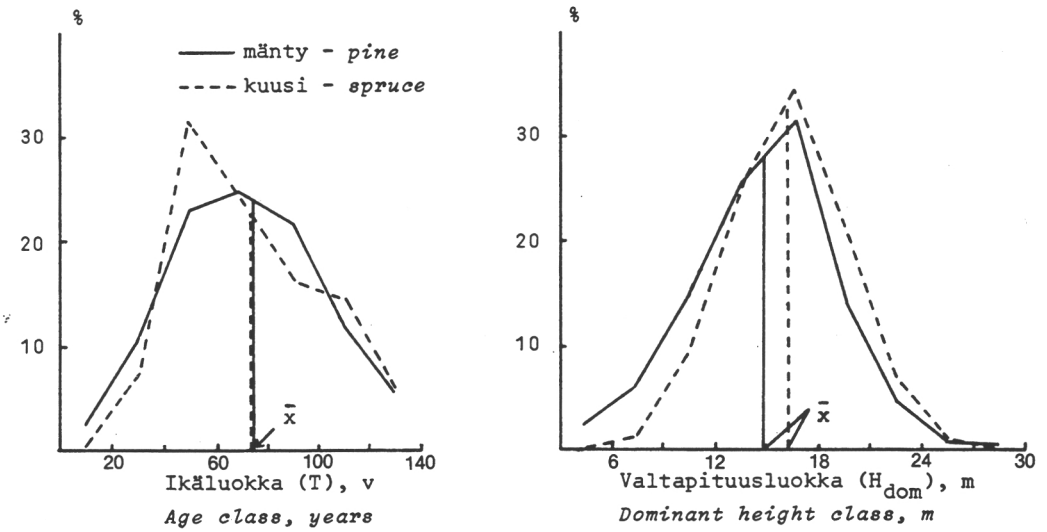


Kuva 2b. Kuusimetsiköiden iän ja valtapituuden vaihtelu Pohjois-Suomessa.

Figure 2b. The variation of age and dominant height in the spruce stands in Northern Finland.

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

Valtapituusbonitoinnin osalta voidaan todeta, että tutkimusaineisto täyttää tyydyttävästi vaatimukset. Ei ole tosin täyttä varmuutta, edustavatko iän, valtapituuden ja valtapituuskasvun havainnot täysin hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskiarvoa. Iän määrityksessä piilee myös systemaattisen virheen vaara määritettäessä aikaa, joka valtapuilta kuluu rinnankorkeuden saavuttamiseen. Vaikeinta on arvioida valtapuiden rinnankorkeusikä eri boniteettiluokissa. Toisaalta on kuitenkin vaikeaa osoittaa selviä systemaattisia virheitä, joita näiden tai muiden likiarvojen käyttö aiheuttaa kasvumalleissa. Aineiston etu on sen laajuus ja suuri havaintomäärä.



Kuva 3. Koealojen jakautuminen ikä- ja valtapituusluokkiin.
Figure 3. The relative distribution of sample plots into age and dominant height classes.

Taulukko 1. Eräiden metsikkötunnusten vaihtelualueet ja keskiarvot tutkimusaineistossa.
Table 1. The variation ranges and the means of some stand variables in the research material.

Puulaji *Tree species*	Ikä, v T, v *Age, years*	Valtapituus, m H_{dom}, m *Dominant height, m*	Valtapituuden 5 v:n kasvu, m $I_{H_{dom5}}$, m *Increment of dominant height, m*
		Vaihtelualue — *Range* (Keskiarvo) — *(Mean)*	
Mänty — *Pine*	9—140 (74)	1,2—29,0 (14,9)	0,10—2,90 (0,82)
Kuusi — *Spruce*	25—140 (75)	6,6—25,6 (16,4)	0,16—2,46 (0,96)

3. PITUUSBONITEETTIEN LAADINNAN TEORIAA

31. Teoreettisia periaatteita

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

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

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

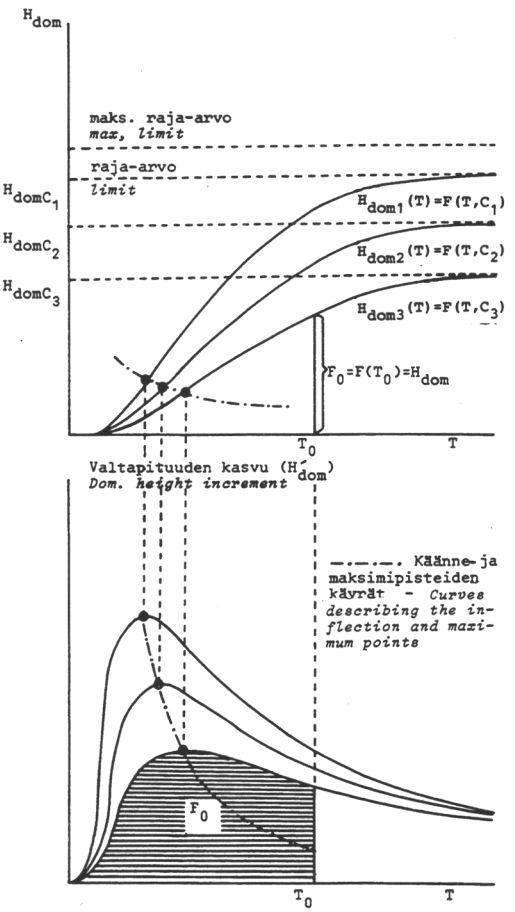
1a. Käyrien alkupiste on yhteinen (origo):
$T = 0 : F(T,C_1) = F(T,C_2)$ kun $C_1 = C_2$
$T = 0 : \lim F(T,C) = 0,\ T \to 0$
C on vapaa parametri, joka on vakio (= C_1, C_2, ...) määrätylle integraalikäyrälle.

1b. Käyrän suunta eli pituuskasvu origossa on nolla:
$\lim f(H_{dom},T) = 0,\ T \to 0$
Käyrät eivät saa leikata toisiaan muualla kuin origossa. Tämä varmistaa sen, että kasvupaikkaluokitus on yksiselitteinen.

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

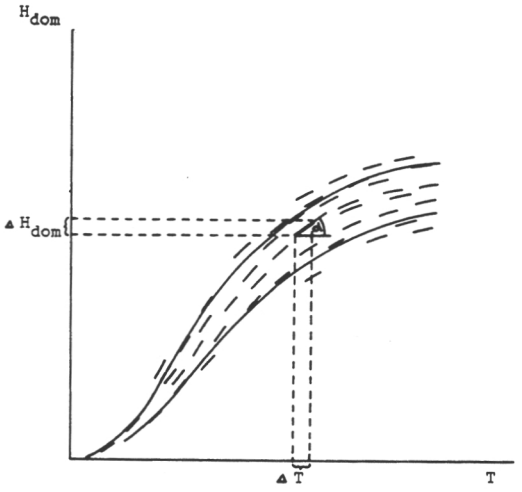
3. Jokainen käyrä lähenee raja-arvoa (asymptoottia) metsikön iän kasvaessa. Tämä merkitsee, että kussakin boniteettiluokassa on valtapituuden raja-arvo (ks. kuva 4):
$\lim F(T,C) = H_{domC}$, kun $T \to \infty$

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



Kuva 4. Metsikön valtapituuden iänmukaisen kehityksen ja vuotuisen pituuskasvun matemaattis-teoreettinen riippuvuus. Pituuskasvu on määritetty derivoimalla pituuskehitysfunktio (ks. Sloboda 1971).

Figure 4. Theoretical illustration of connection between height-age curves and yearly height growth. The growth is the first derivative of the height-age function (cf. Sloboda 1971).



Kuva 5. Iän (T), valtapituuden (H_{dom}) ja valtapituuden kasvun (ΔH_{dom}) perusteella laadittu empiirinen suuntakenttä (ks. H r a d e t z k y 1972).
Figure 5. Empirical three-dimensional model constructed on the basis of age, dominant height and the dominant height increment (cf. H r a d e t z k y 1972).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Jokaista boniteettikäyrää vastaa tietty parametrin C arvo.

32. Menetelmät ja mallit

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

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

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

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

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

Malli 1.
Model 1.

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

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

Lineaarisessa muodossa ratkaistaan tavallisella regressioanalyysillä:

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

Malli 2.
Model 2.

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

Yleinen integrointiratkaisu mallista 2 on:

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

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

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

Malli 3.
Model 3.

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

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

33. Pituuskehitysyhtälöiden laadinta ja rakenne

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

oli käytettävissä liian vähän havaintoja.

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

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

Lopulliset valtapituuden kehitysyhtälöt tehtiin mallin 3 perusteella suoraan kokonaisiän funktiona boniteettiluokittain ($H_{dom}(T) = F(H_{100},T)$). Tämä päätös tehtiin sen vuoksi, että inventoinnin pystypuiden pituuskasvumittaukset ovat mitä todennäköisimmin epävarmempia kuin pituutta koskevat havainnot (ks. myös Jonsson 1980, s. 19). Sen lisäksi pituuskasvumallit 1 ja 2 eivät anna täysin loogisia tuloksia iän koko vaihtelualueella.

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

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

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

4. HAVUMETSIKÖIDEN VALTAPITUUDEN KEHITYKSEN ENNUSTAMINEN

41. Valtapituuden kehitysyhtälöt ja niiden luotettavuus

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

Malli 3: $H_{dom}(T) = F(H_{100},T)$ ks. 32. sivulla 12.
Model 3: *see 32. page 12.*
Koko maa — Parametrit valtapituuden kehitysyhtälössä
Whole country

	Parameters in the function d	a − 1	b_1
	Mänty — *Pine*		
Yhtälö 1. *Function 1.*	128,229	0,47692	4,70248
	Kuusi — *Spruce*		
Yhtälö 2. *Function 2.*	147,481	0,29981	4,64631

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

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

Mänty — *Pine*

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

Kuusi — *Spruce*

$$H_{100} = 147{,}481 \cdot \exp\left[\frac{\ln(H_{dom}) - \ln 147{,}481}{\exp\left(\frac{4{,}64631}{T^{0{,}29981}} - \frac{4{,}64641}{100^{0{,}29981}}\right)}\right]$$

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

Koko maa
Whole country

Mänty — *Pine*
Yhtälö 3. — *Function 3.*

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

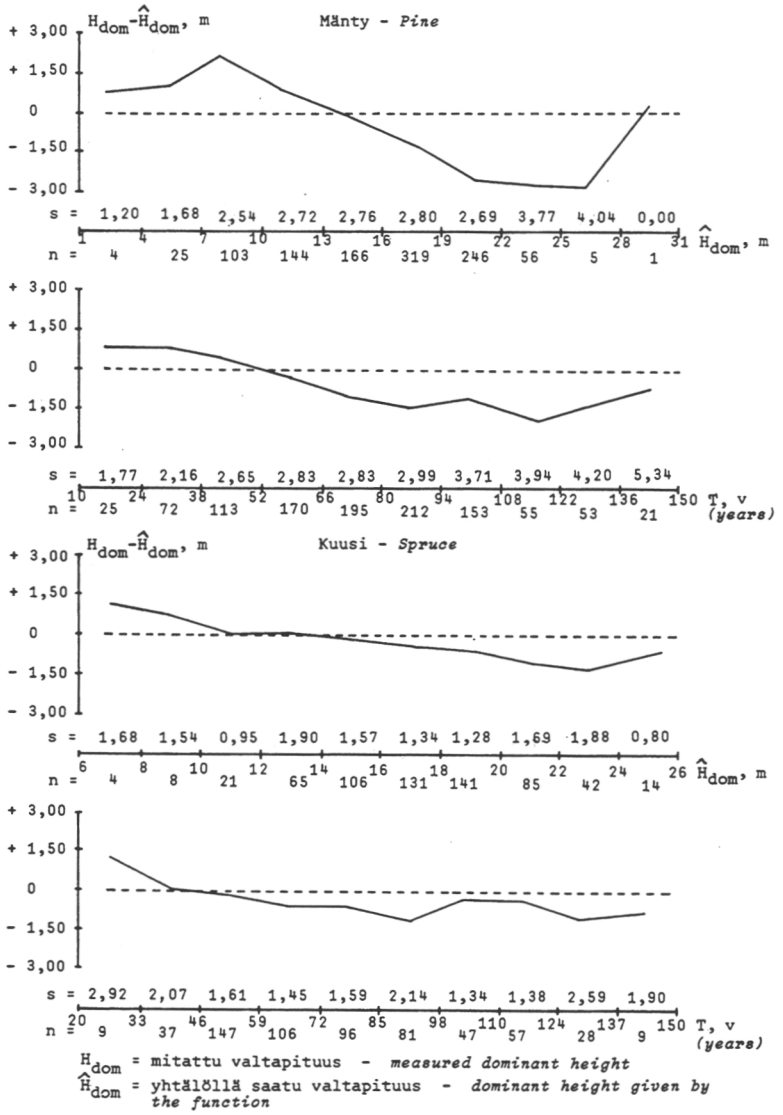
Kuusi — *Spruce*
Yhtälö 4. — *Function 4.*

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

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

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

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



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

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

Suuri hajonta ja yli- ja aliarviointi johtuvat todennäköisesti pääasiallisesti siitä, että aineistoa ei pystytty täysin lajittelemaan oikeisiin H_{100}-luokkiin ennen iterointiajoa. Sitä, kuinka paljon tämä merkitsee lopullisissa valtapituuden kehityskäyrissä, tutkittiin testaamalla yhtälöiden parametrien pysyvyyttä. Tällöin pyrittiin saamaan selville, mitkä parametrien arvot olisivat olleet, jos kaikki havainnot olisi onnistuttu sijoittamaan oikeisiin boniteettiluokkiin ennen analyysin suorittamista. Siksi tehtiin H_{100}-arvojen uusia määrityksiä nojautuen osittain en-

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

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

Yhtälö 1 *Function 1* *)	Yhtälö 2 *Function 2*
$a-1$ = 0,43131 (0,47692)	$a-1$ = 0,19824 (0,29981)
b_1 = 4,65492 (4,70248)	b_1 = 4,57298 (4,64631)
c = 1,13192 (1,16276)	c = 1,19655 (1,19627)
$d=65^c$ = 112,740 (128,229)	$d=65^c$ = 147,656 (147,481)

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

Testiajojen yhtälöiden antamat poikkeamat ja hajonnat käyvät ilmi kuvasta 7.

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

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

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

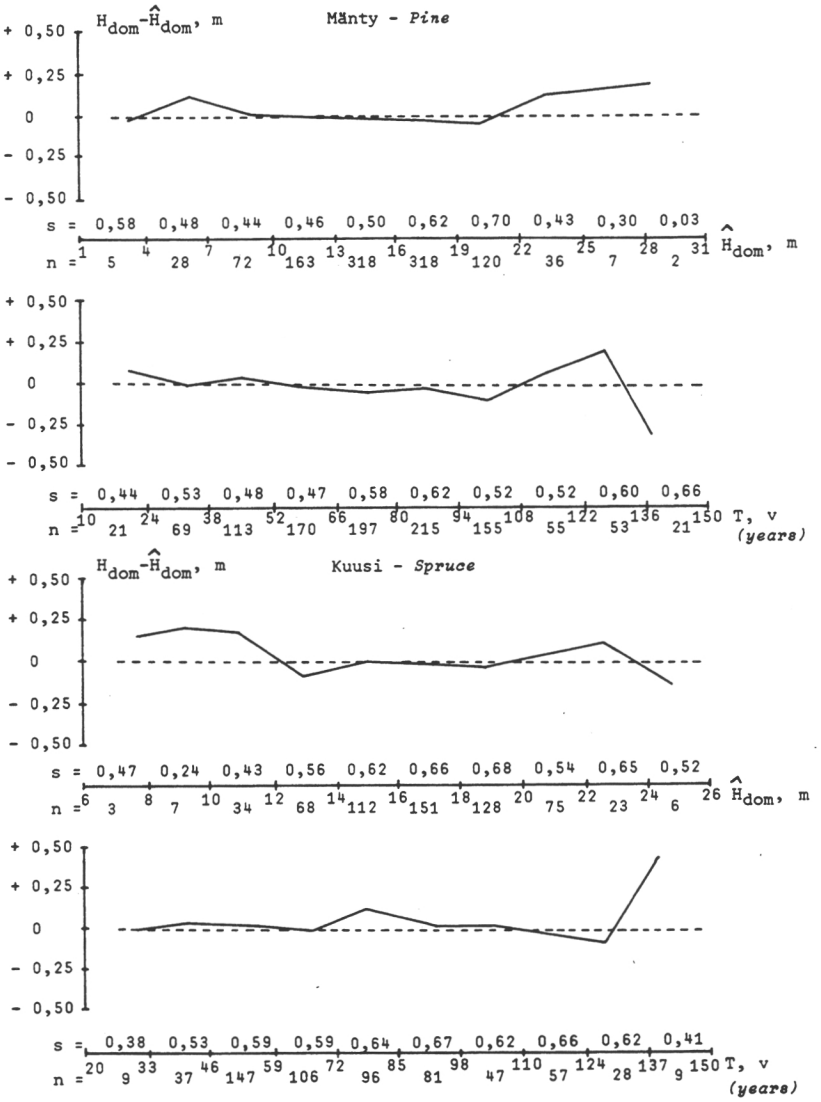
Virhemahdollisuudet löytyvät perusaineistosta, funktiomallista ja laskentamenetelmästä. Valtapituuden kehitysyhtälöt ovat voimakkaasti riippuvaisia ikätunnuksista ja niiden määrittämisestä aineistossa. On kuitenkin hyvin vaikea osoittaa systemaattisia virheitä. Ne vaikuttavat kuitenkin tässä laskentamenetelmässä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

42. Valtapuiden kehitys rinnankorkeuteen

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

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

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

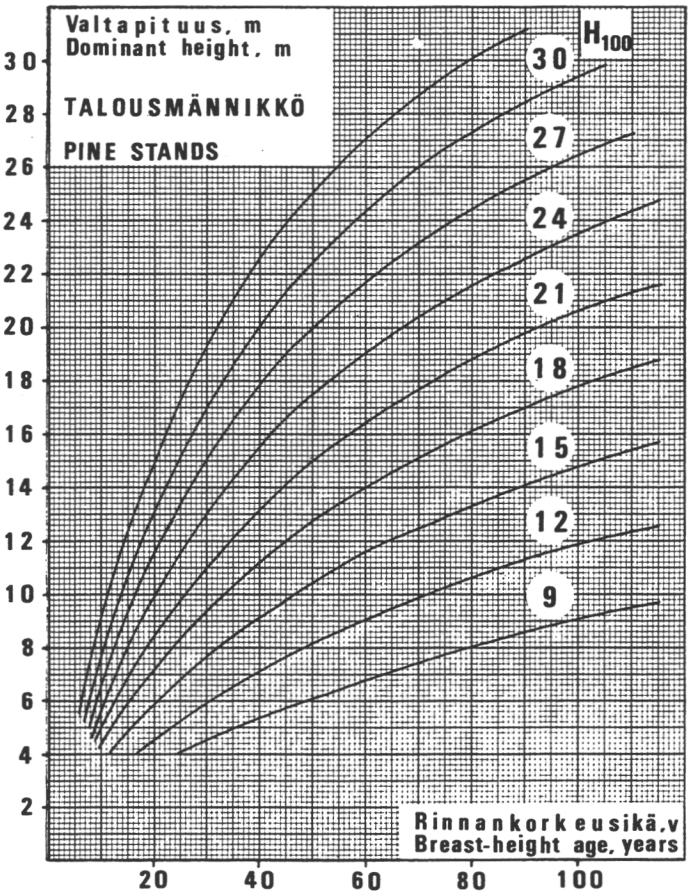


Kuva 7. Mitattujen ja neljän peräkkäisen testi-iterointiajon yhtälöillä laskettujen valtapituuksien keskimääräiset erot iän ja lasketun valtapituuden mukaan. (ks. teksti).

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

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

Tähän menetelmään päädyttiin siksi, että varmoja tutkimustuloksia ei ole käytettävissä. Kuitenkin on katsottu olevan mahdollista nojautua muutamiin varhempiin tuloksiin, joita esim. Hägglund (1972, 1973 ja 1974), Räsänen ym. (1979), Vuokila (1967) ja Vuokila ja Väliaho (1980) ovat julkaisseet. Hägglund (mt.) päätteli, että luontaisesti syntyneiden metsiköiden ja viljelymetsiköiden välillä on t (1,3 m):n arvoissa eroa vain pari vuotta. Tämä on Vuokilan ja Väliahon (1980, s. 25) antamien arvojen kanssa viljelymetsiköiden osalta



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

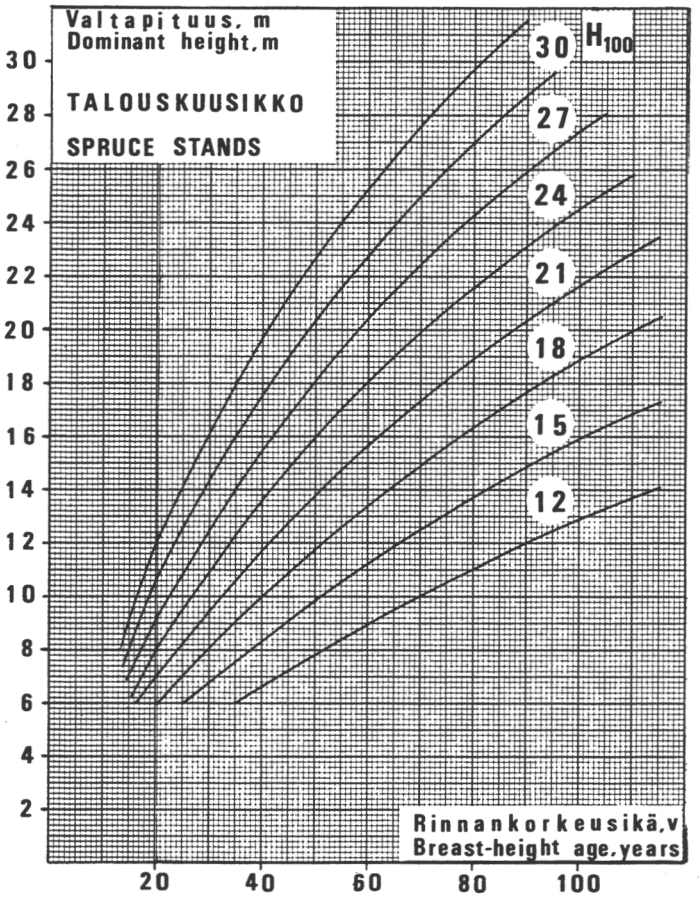
t(1,3 m)=rinnankorkeuden saavuttamiseen kulunut aika, v – time required to reach the breast heigh, years

Kuva 8. Luontaisesti syntyneiden männiköiden pituusboniteettiluokat.
Figure 8. Site index classes for natural pine stands based on dominant height over breast-height age.

yhtäpitävä.

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

On syytä kuitenkin korostaa, että varhaiskehityksen tarkentaminen vaatii lisätutkimuksia. Hägglund (mt.) toteaa näiden arvojen vaikuttavan olennaisesti lopputulokseen. Nuorissa metsiköissä jo muutaman vuoden ikäero vaikuttaa voimakkaasti bonitointitulokseen. Tämä on eräs tärkeimmistä syistä, joiden vuoksi alle 15—30 vuoden rinnankorkeusiällä pituuden avulla tapahtuva luokittelu voi olla epäluotettavaa (ks. Hägglund 1977, s. 425, Tveite 1977, s. 70—71 ja Vuokila 1980, s. 25). Metsikön varhaisiällä Hägglundin (1979) pituuskasvuun perustuva menetelmä on paras käytettävissä oleva kaavio pituusboniteetin arvioimiseen.



H_{100}	30	27	24	21	18	15	12
$t_{(1,3m)}$	11	12	13	15	17	20	23

$t_{(1,3m)}$ = rinnankorkeuden saavuttamiseen kulunut aika, v – time required to reach the breast heigh, years

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

5. TALOUSMETSIEN VALTAPITUUSBONITEETIT

51. Valtakunnalliset valtapituusboniteetit

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

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

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

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

Kuvissa 8 ja 9 esitetyt käyrät eivät sovellu suoraan bonitointiin kokonaisiän perusteella siksi, että yleensä ei tiedetä etukäteen boniteetista itsestään riippuvaa vähennettävää vuosimäärää (t(1,3 m)).

52. Tulosten testaus ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

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

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

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

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

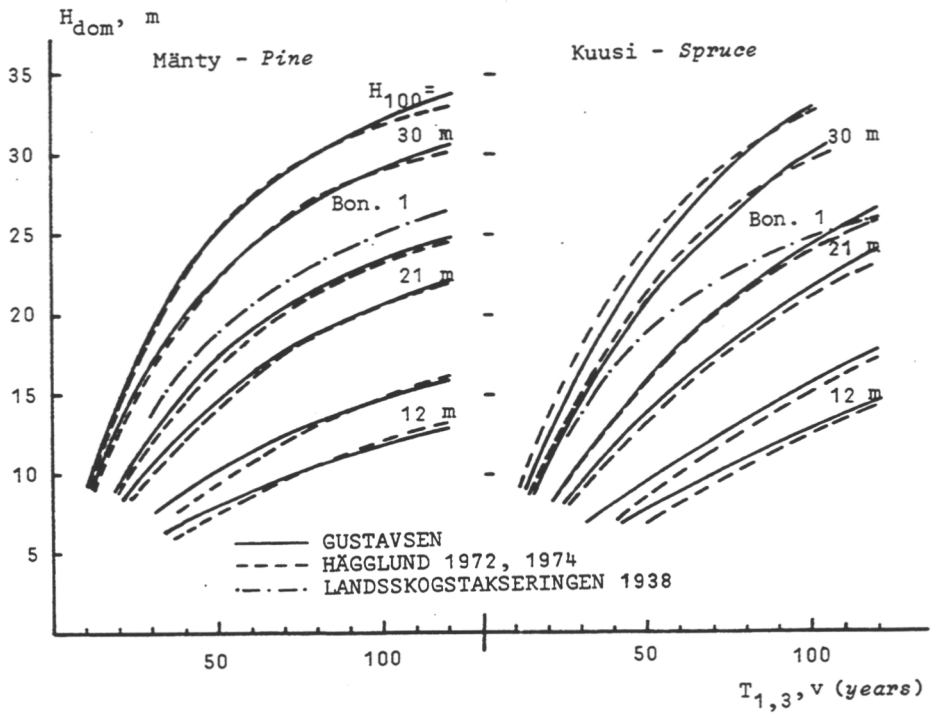
Nyt laaditut ja Hägglundin esittämät männiköiden bonitointikäyrästöt vastaavat erityisesti 21 m:n ja sitä korkeammilla boniteeteilla toisiaan. Talousmetsien käyrät ovat hiukan ylempänä tätä huonommilla boniteeteilla nuorissa metsiköissä. Kuusen käyrästöissä ovat erot yleensä suurempia erityisesti kaikkein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

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

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

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

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



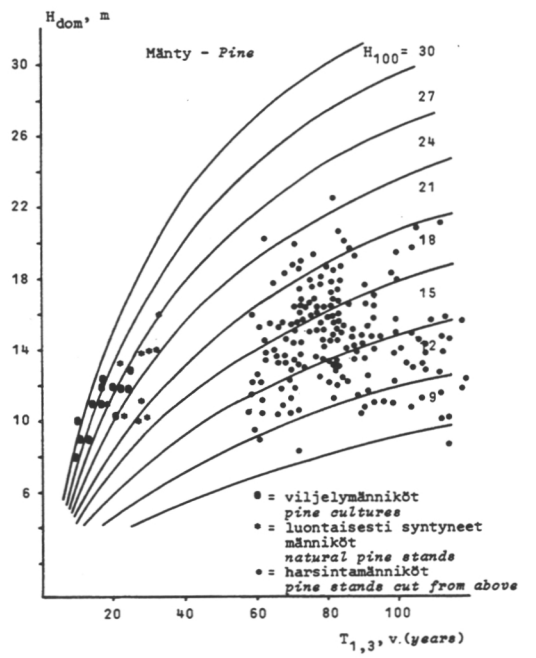
Kuva 10. Talousmetsien pituusboniteetit verrattuna ruotsalaisiin ja norjalaisiin boniteettikäyrästöihin.
Figure 10. Site index classes compared with some Swedish and Norwegian curves.

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

Harsintailmiötä tarkastellaan myös kuvissa 11 ja 12. Valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin aineistosta poimittiin harsituksi luokiteltuja ja luokiteltiin ne talousmetsien pituusboniteettikäyrästöjen avulla. Metsätyypit ovat samat kuin laskenta-aineistossa. Harsittujen metsiköiden sijoittuminen pituusboniteettiasteikon alimpaan osaan osoittaa, että perusaineistossa tulee ennen muuta näkyviin alaharvennustyyppien metsänkäsittely.

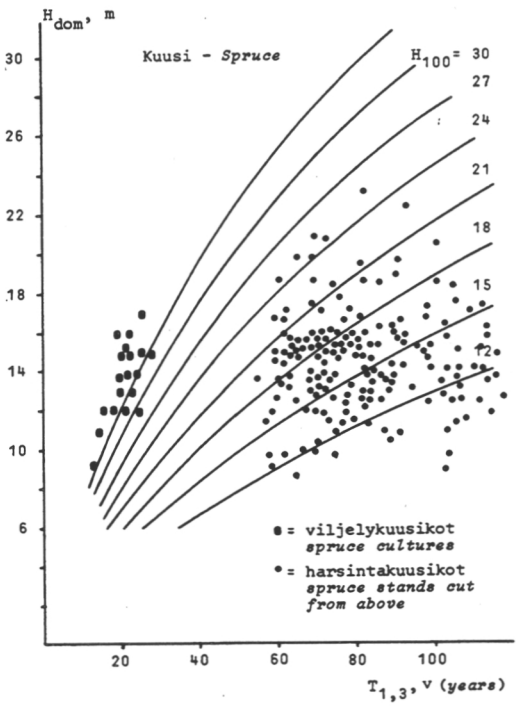
Kuvissa on myös bonitoitu muutamia V u o k i l a n (1972) taimistoaineistosta satunnaisesti valittuja viljely- ja luontaisesti syntyneitä metsiköitä. Männiköt kasaantuvat kolmeen korkeimpaan bonitointiluokkaan, mutta erot eivät ole suuria viljely- ja luontaisesti syntyneiden metsiköiden välillä. Kuvasta 12 nähdään, että nuoret viljelykuusikot kasaantuvat yli 30 m:n luokan yläpuolelle. V u o k i l a n ja V ä l i a h o n (1980) uudet viljelykuusikoiden bonitointikäyrät asettuvat parhailla boniteeteilla hieman talousmetsien käyrien yläpuolelle. Viljelykuusikot ja luontaisesti syntyneet kuusikot on tämän vuoksi parasta bonitoida eri käyrästöjä käyttäen.

V u o k i l a n ja V ä l i a h o n (1980) viljelymänniköiden käyrät kulkevat parhaimmilla boniteeteilla likimain samoin kuin tässä esitetyt. Boniteetilla 30 m viljelymän-



Kuva 11. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin harsintamänniköiden ja eräiden V u o k i l a n (1972) aineiston nuorten männiköiden boniteettiluokat talousmetsien käyrästön mukaan.

Figure 11. Site indicers for pine stands cut from above and some young stands (V u o k i l a 1972).



Kuva 12. Valtakunnan metsien 3. inventoinnin harsintakuusikoiden ja eräiden V u o k i l a n (1972) aineiston nuorten kuusikoiden boniteettiluokat talousmetsien käyrästön mukaan.

Figure 12. Site indicers for spruce stands cut from above and some young stands (V u o k i l a 1972).

Taulukko 2. Talousmetsien aineiston antamat pituusboniteettiluokkien vastinmetsätyypit (C a j a n d e r 1909).
Table 2. The approximate place of various forest site types (C a j a n d e r 1909) in the material in the height-overage site classification system.

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

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

Esitetyt käyrästöt ovat siinä mielessä alustavia, että niitä on tarkoitus testata jatkuvasti lähivuosina. Talousmetsiköiden uusien kestokoealojen aineistot tulevat antamaan mahdollisuuden käyrästöjen jatkotestaukseen.

53. Pituusboniteetit ja metsätyypit

Vertailtaessa valtapituuden kehityskäyriä eri metsätyyppien keskimääräisiin valtapituuksiin on muistettava, että ne ovat kahden erilaisen tasoitusmenetelmän tuloksia. Pituusboniteettiluokat on teknisesti sidottu pituuksiin määrätyllä iällä. Metsätyyppien keskimääräiskäyrät eivät ole vastaavasti sidottuja, minkä vuoksi ne eivät sovellu sellaisinaan valtapituuden mukaiseen boniteettiluokitteluun. Eri metsätyyppien valtapituuden kehityskäyrät voivat myös leikata toisensa, minkä vuoksi tällainen luokittelusysteemi ei tule yksiselitteiseksi (ks. M. ja Y. I l v e s s a l o 1975, M a r t i n m a a 1979).

I l v e s s a l o n (m.) luonnonnormaaleille metsiköille esittämät valtapituuskäyrät eivät nouse yhtä jyrkästi kuin tämän tutkimuksen käyrät metsikön iän ollessa yli 100 vuotta. N y y s s ö s e n (1954) ja V u o k i l a n (1967) harvennushakkuin käsiteltyjen männiköiden valtapituuksiin verrattuna yhdenmukaisuus on parempi. Tämä on luonnollista, koska viimeksi mainittujen tutkimusten metsiköt vastaavat käsittelyltään lähinnä tämän tutkimuksen aineistoa.

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

Nämä tulokset poikkeavat vain vähän vastaavasta V u o k i l a n ja V ä l i a h o n (1980) viljelymetsiköiden pituusboniteetteja koskevasta vertailusta. Yleensä metsätyypit sijoittuvat tässä tutkimuksessa hiukan alemmaksi boniteettiasteikolla kuin em. tutkimuksessa. Esim. metsätyyppi HMT sijoittuu Pohjois-Suomen osalta alempaan luokkaan talousmetsien aineiston mukaan. Samaan tulokseen päätyivät myös S e p p o n e n, L ä h d e ja R o i k o - J o k e l a (1979) Perä-Pohjolan osalta. Heidän tulok-

sensa osoittavat, että metsätyypeittäinen hajonta on keskimäärin suuri (s = n. 2 m). Tämän tutkimuksen aineistossa on hajonta vielä suurempi (s = n. 3—4 m), ja se on kuusikossa suurempi kuin männikössä.

6. PITUUSBONITEETTIEN SOVELTAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

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

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

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

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

Pituuskehitysyhtälöt antavat mahdollisuuden laskea joko kokonais- tai rinnankorkeusikään perustuvia valtapituuden arvoja niin pienissä luokissa kuin halutaan. Yhtälöissä täytyy käyttää rinnankorkeusikää ja t(1,3 m) kokonaisiän sijasta.

Pituusbonitoinnissa ilmenevät virheet voidaan jakaa systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin valtapituusboniteettikäyrästön, valtapituuden ja iän määrittelyssä (ks. H ä g g l u n d 1972, s. 195—201, 215—221).

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

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

Pituusbonitoinnissa tulee täyttää seuraavat perusaineistoon ja teoreettisiin vaatimuksiin

perustuvat rajoitukset:

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

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

Jos boniteetti määritetään useilla koealoilla (esim. 1 puu/koeala) on olemassa kolme tapaa: 1) satunnaisesti valittu 1 puu 10:stä paksuimmasta puusta kullakin 10 aarin koealalla 2) paksuimmat puut 1 aarin koealoilla 3) paksuin puu joka tulee mukaan relaskooppiin (relask. kerroin 1).

Valtapuut valitaan metsikön pääpuulajista. Tasaikäisissä metsiköissä tarvitaan vähintään 4 koealaa (1 puu/100 m²) jotta bonitoinnissa päästäisiin yhden luokan tarkkuuteen (± 1,5 m). Koepuut eivät saa olla muusta puustosta poikkeavia.

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

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

KIRJALLISUUS

ASSMAN, E. 1961. Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft. München — Bonn — Wien. 490 s.

— & FRANZ, F. 1965. Vorläufige Fichten-Ertragstafeln für Bayern. Autoren-Referat. Forstwiss. Cbl. 84: 13—43.

BAUGER, E. 1970. Sammenligning mellom sitkagranens og granens höydeutvikling på Vestlandet og i Nord-Norge. Comparison between height development of Sitka spruce and Norway spruce in West Norway. Medd. Vestland. Forstl. Forsøkssta. 50 (14): 145—221.

BRAASTAD, H. 1967. Produksjonstabeller for björk. Yield tables for birch. Medd. Norske Skogforsøksv. 22: 265—366.

BRANTSEG, A. 1951. Kubikk- og produksjonsundersökelser i vestnorske granplantninger. Medd. Vestland. Forstl. Forsøkssta. 28(9): 35—91.

CAJANDER, A.K. 1909. Über Waldtypen. Acta For. Fenn. 1: 1—175.

EIDE, E. & LANGSÄTER, A. 1941. Produksjonsundersökelser i granskog. Produktionsuntersuchungen von Fichtenwald. Medd. Norske Skogforsøksv. 7: 355—500.

FRIES, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. Summary: Yield of Betula verrucosa Ehrh. in Middle Sweden and Southern North Sweden. Stud. For. Suec. 14: 1—303.

— 1967. Boniteringskurvornas konstruktion och tillämpning. Symposium ang. bonitering 30.11.1967 vid Skogshögskolan. Stencil.

— 1969. Boniteringskurvor för tall och gran. Site index curves for Pine and Spruce. Skogen 1: 20—30.

GUSTAVSEN, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. Folia For. 331: 1—37.

HRADETZKY, J. 1972. Modell eines integrierten Ertragstafel-Systems in modularer Form. Mitt. d. Bad.-Württ. Forstl. Versuchs- u. Forschungsanstalt 45: 1—172.

HUANG, D.S. 1970. Regression and econometric methods. Wiley. pp. 103—110.

HÄGGLUND, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Site index curves for Norway spruce in northern Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 21: 1—298.

— 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra Sverige. Site index curves for Norway spruce in

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

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

SUMMARY

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

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

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

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

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

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

The main results of the investigation are the site

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

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

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

Liite 1. Luontaisesti syntyneiden talousmetsiköiden pituusboniteettiluokkien raja-arvot eri ikävaiheissa rinnankorkeusikään ($T_{1,3}$=T−t(1,3 m)) ja pituusboniteettiin (H_{100}) perustuvilla yhtälöillä laskettuna.

App. 1. The limit values for site classes of natural pine and spruce stands based on functions with breast-height age ($T_{1,3}$) and site index class (H_{100}) as variables.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Liite 3. Luontaisesti syntyneiden talousmetsiköiden keskimääräisen vuotuisen valtapituuden kasvun keskiarvot eri ikävaiheissa kokonaisikään (T), valtapituuteen (H_{dom}) ja pituusboniteettiin (H_{100}) perustuvilla yhtälöillä laskettuna.

App. 3. The middel values for mean annual dominant height increment in site classes of natural pine and spruce stands based on functions with biological age (T), dominant height (H_{dom}) and site classes (H_{100}) as variables.

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

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

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

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

ISBN 951-40-1649-1,
ISSN 0358-4283