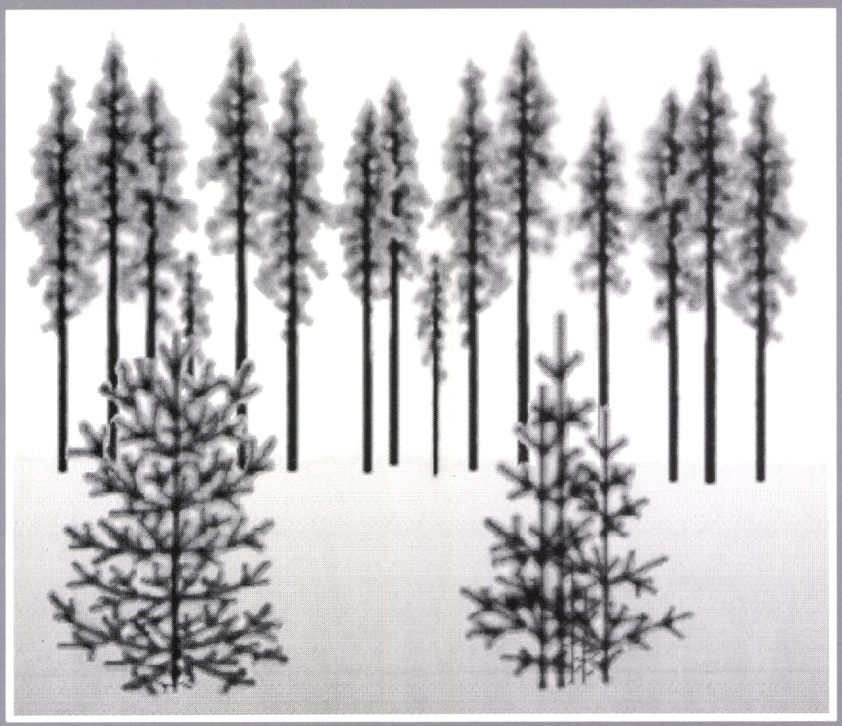


NUORTEN VILJELYMÄNNIKÖIDEN TUOTOS JA LAATU

Martti Varmola

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 585

NUORTEN VILJELYMÄNNIKÖIDEN TUOTOS JA LAATU

Martti Varmola

Akateeminen väitöskirja

Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan luvalla julkisesti tarkastettavaksi Metsätalon luentosalissa MT II, Unioninkatu 40 B, perjantaina 9. helmikuuta 1996, kello 12

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 585
Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi 1996

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

VARMOLA, M. 1996. Nuorten viljelymänniköiden tuotos ja laatu. Abstract: Yield and quality of young Scots pine cultivations. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 585. 70 s. + 6 liitettä.

Tutkimuksessa tarkastellaan nuorten istutus- ja kylvömänniköiden (*Pinus sylvestris* L.) kasvuun ja laadulliseen kehitykseen vaikuttavia tekijöitä. Työ koostuu kuudesta osajulkaisusta ja näiden yhdistelmästä. Tutkimus jakaantuu kolmeen osaan; vertailuun menetelmistä määrittää kasvupaikan viljavuus, empiiriseen osaan ja mallitusosaan.

Kasvupaikan viljavuuden määrittämistä tarkastellaan sekä ikään ja valtapituuteen että valtapuiden pituuskasvuun perustuvien pituusbonitointimenetelmien avulla. Empiirisessä osassa tarkastellaan kasvupaikan viljavuuden, kasvatustiheyden ja istutuskuvioinnin vaikutusta istutusmäntyjen ulkoiseen laatuun sekä kylvömänniköiden kasvua ja laadullista kehitystä taimikonharvennuksen jälkeen. Mallitusosassa laaditaan istutusmännyn nuoruusvaiheen lustonleveysmalli, istutus- ja kylvömänniköiden kasvumalli sekä viljelymännyn tyvitukin paksuimman oksan läpimittaa kuvaava lineaarinen sekamalli.

Viljelymänniköiden nuoruusvaiheen kasvu on nopeaa. Tasaisen tilajärjestyksen ansiosta istutusmänniköiden kasvu on kylvömänniköitä nopeampaa, mutta kylvömänniköissäkin päästään ensiharvennuksessa suureen käyttöpuun määrään ja kohtuulliseen käyttörungon keskikokoon. Tähän vaikuttavat viljelymetsiköiden tasaikäisyys ja -kokoisuus.

Korkealaatuisen sahatavaran kasvattamisen periaatteena on saada oksat kuolemaan tyvitukin alueella mahdollisimman ohuina. Istutusmänniköissä tämä ei onnistu ilman nykyisten viljelytiheyksien kaksinkertaistamista. Kylvötaimikot kasvavat jonkin verran ohutoksaisemmiksi kuin istutustaimikot samalla kasvupaikalla. Kylvötaimikoissa ulkoisen laadun määrää pitkälti kylvötuppaiden harvennuksen jälkeinen runkoluku, jonka tulee olla 3 000–4 000 puuta/ha pyrittäessä hyvälaatuiseen sahapuuhun.

Avainsanat: kasvumalli, kasvupaikka, alkukehitys, tuotos, ulkoinen laatu, istutus, kylvö, *Pinus sylvestris*

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 3.1.1996.

Kirjoittajan yhteystiedot: Martti Varmola, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi, puh. (960) 336 4200, telefax (960) 336 4640, e-mail: martti.varmola@metla.fi.

Julkaisua myy: Metsäntutkimuslaitos, Unioninkatu 40 A, 00170 HELSINKI, puh: (90) 857 057 21, telefax (90) 857 057 17. Hinta 100 mk.

YMPÄRISTÖMERKKI
MILJÖMÄRKT
411 011
Kierrätykseen sopiva tuote
Alhaiset päästöt valmistuksessa

Hakapaino Oy, Helsinki 1996

ABSTRACT

In this report, the factors affecting the growth and quality development of young planted and seeded Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees and stands are discussed. The study reviews six publications on methods for determining site productivity, empirical sudies and modelling.

Site indices estimated using both dominant height and age and the height growth intercept are compared as a basis for site productivity determination in Scots pine cultivations. The empirical part consists of studies on the effect of site productivity, stand density and spacing design on the development of planted pines, as well as on the growth and external quality of seeded pine stands after precommercial thinning. In the modelling part of the study a tree-level model for the annual ring width of planted Scots pines, a stand-level model for both planted and seeded Scots pine stands and a mixed linear quality model for the thickest living branch of Scots pines are derived.

The early development of Scots pine cultivations is rapid. Due to even spacing the growth of planted stands is better than that of seeded ones, but even in seeded stands the volume and size of merchantable timber obtained in the first commercial thinning is greater than previously expected. This is due to the of even-aged and even-sized nature of artificially regenerated stands.

An important principle in growing high quality saw timber is to promote natural pruning when the branches on the butt log of a tree are still thin. In planted Scots pine stands this is only possible if the planting densities currently in use, 2 000–2 500 trees ha^{-1}, are doubled. Seeded Scots pine stands have somewhat thinner branches than planted ones on sites of the same quality. In seeded stands the external quality is mainly determined by the stand density after precommercial thinning, which should be 3 000–4 000 trees ha^{-1} if high quality saw timber is desired.

Key words: growth model, site index, early development, external quality, planting, seeding, *Pinus sylvestris*

Alkusanat

Tämä työ sai alkunsa Metsäntutkimuslaitoksen silloisella puuntuotoksen tutkimussuunnalla jo 1960-luvun lopulla, jolloin professori Yrjö Vuokila loi perustan monien muiden tutkimusten ohella myös metsiköiden alkuvaiheen tutkimukselle. Suuri osa työni aineistoista ja pysyvät kokeet olivat valmiina odottamassa tutkijaa ilman, että minun tarvitsi lähteä alusta liikkelle. Kiitän mitä lämpimimmin professori Yrjö Vuokilaa kaiken muun ohella monista opettavista ja rohkaisevista neuvoista, joita sain toimiessani tutkijana hänen alaisuudessaan. Edesmennyt professori Pekka Kilkki opetti minulle tieteen teossa tarvittavaa tinkimättymyyttä, mistä on ollut suurta apua väitöskirjatyössäni. Kiitän Metsäntutkimuslaitoksen ylijohtaja Eljas Pohtilaa, joka uskomalla väitöskirjan valmistumiseen antoi minulle rauhan tutkimustyöhön vuoden ajaksi.

Professori Matti Leikola Helsingin yliopiston metsäekologian laitokselta antoi sysäyksen väitöskirjani yhdistelmän kirjoittamiseen. Hänen lisäkseen kiitän vt. professori Carl J. Westmania huolellisesta paneutumisesta työtäni kohtaan ja neuvoista työn kuluessa sekä etenkin tutkimuksen esitarkastajia MMT Eero Nikinmaata ja MMT Lauri Valstaa, jotka opastivat minua yhdistelmän saattamisessa lopullisesti opinnäytetyön tasolle.

Väitöskirjani aineistot ovat monien henkilöiden aikaansaannosta. Ainakin seuraavat henkilöt ovat vastanneet aineistojen keruusta, josta heille lämpimät kiitokset: mti Kari Alatalo, apulaisprofessori Jouko Laasasenaho, MH Marja Ojanen, mtt Eero Poutiainen, mti Veikko Puurtinen, edesmennyt mti Jussi Raja, MMT Jussi Saramäki, mtt Eero Siivola ja MH Esa Vuollet. Monet henkilöt ovat tarkastaneet eri julkaisujen käsikirjoituksia. Kiitän MML Hans G. Gustavsenia, professori Kullervo Kuuselaa, VTK Jaakko Heinosta, MMK Antti Isomäkeä, apulaisprofessori Jouko Laasasenahoa, professori Matti Leikolaa, professori Kari Mielikäistä, MMT Risto Ojansuuta, MH Marja Ojasta, professori Simo Posoa, dosentti Hannu Saarenmaata, MMT Liisa Saarenmaata ja dosentti Heikki Smolanderia heidän antamistaan neuvoista. Kiitän erityisesti MMK Hannu Salmista. Hän teki laskelmat kahteen tutkimukseen, joiden käsikirjoitukset valmistimme yhdessä julkaisukuntoon.

Väitöskirjani ei olisi ollut mahdollinen ilman Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusaseman henkilökunnan apua. Kiitän erityisesti dosentti Pentti Sepposta, joka suostui toimimaan asemanjohtajana vuoden ajan suoden minulle ylellisyyden paneutua täysipainoisesti tutkimustyöhön. Ilman suunnittelija Jouni Hyvärisen apua mittaus- ja laskentatietojen järjestämisessä tietokannaksi ja FK Virpi Aleniuksen neuvoja tilastotieteen alalla työni olisi ainakin viivästynyt huomattavasti. Keskustelut dosentti Timo Helteen, MML Hannu Hökän ja MMK Hannu Salmisen kanssa auttoivat minua jäsentämään työtäni oikeaan suuntaan.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni, vaimoani Ullaa ja lapsiani Siljaa ja Milkaa, siitä kannustavasta suhtautumisesta työtäni kohtaan, josta sain nauttia koko vapaavuoteni ajan.

Rovaniemellä 5.1.1996 *Martti Varmola*

Sisällys

1 JOHDANTO 7
1.1 Männyn viljely ja viljelytiheydet 7
1.2 Viljelymänniköiden tuotosta ja laatua koskevia tutkimuksia 10
1.3 Tuotokseen ja laatuun vaikuttavat tekijät 13
1.4 Tutkimuksen tarkoitus 15
2 KASVU- JA LAATUMALLIT VILJELYMÄNNIKÖISSÄ 17
3 AINEISTO JA MENETELMÄT 20
3.1 Osatutkimusten aineistot 20
3.1.1 Yleispiirteet 20
3.1.2 Mittaukset 21
3.2 Yhdistetty aineisto 23
3.3 Mallitus 23
3.3.1 Metsikkötason kasvumalli 23
3.3.2 Puutason lustonleveysmalli 26
3.3.3 Sekamalli 28
3.4 Pituusbonitointi 28
4 TULOKSET 30
4.1 Viljelytaimikoiden pituusboniteetit 30
4.2 Istutusmäntyjen ulkoinen laatu (**I, II**) 31
4.3 Kylvömänniköiden kehitys taimikonharvennuksen jälkeen (**III, IV**) 32
4.4 Malli istutusmäntyjen lustonleveydelle (**V**) 34
4.5 Istutus- ja kylvömänniköiden kasvumalli (**VI**) 35
4.6 Tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimittamalli ja apumallit 37
4.7 Viljelymänniköiden laatukasvatuksen simulointi 41
5 TARKASTELU 46
5.1 Aineiston kattavuus ja laatu 46
5.1.1 Kasvupaikat 46
5.1.2 Runkoluku 47
5.1.3 Kylvötaimikoiden harvennuksen ajankohta 48
5.1.4 Mittausten riittävyys 48
5.2 Pituusbonitointimenetelmien vertailu viljelytaimikoissa 48
5.3 Istutusmänniköistä saatavan sahatavaran laatu lustonleveyden perusteella 50
5.4 Nuorten viljelymänniköiden kasvunopeus 52
5.5 Tyvitukin paksuimman oksan läpimittaan vaikuttavat tekijät 53
5.6 Istutus- ja kylvömänniköiden kasvatustiheys 55
5.7 Mallien ja simulointien luotettavuus sekä tutkimuksen jatko 56
5.8 Nopean kasvun ja korkean laadun yhdistäminen 59
KIRJALLISUUS 60
LIITE – Käytetyt lyhenteet 70

Tämä väitöskirja perustuu seuraaviin julkaisuihin, joihin viitataan roomalaisin numeroin **I–VI** tekstissä.

I Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia Forestalia 451. 21 s.

II Salminen, H. & Varmola. M. 1993. Influence of initial spacing and planting design on the development of young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. Tiivistelmä: Istutustiheyden ja -kuvioinnin vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen. Silva Fennica 27(1): 21–28.

III Varmola, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s.

IV Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. Folia Forestalia 752. 29 s.

V Varmola, M. 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. Abstract: A model for ring width of planted Scots pine. Silva Fennica 23(4): 259–269.

VI Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. Folia Forestalia 813. 43 s.

1 Johdanto

1.1 Männyn viljely ja viljelytiheydet

Metsänviljely metsänuudistamismenetelmänä yleistyi Suomessa kuluvalla vuosisadalla. Keski-Euroopassa, etenkin Saksassa, metsänviljelyä käytettiin yleisesti jo 200 vuotta sitten (Huuri 1969). Jo vanhimmassa Keski-Euroopan metsätaloutta käsittelevässä julkaisussa vuodelta 1713 esiteltiin yksityiskohtaisesti kylvöä, taimitarhan perustamista ja puiden istuttamista (Huuri ym. 1989). Cajander (1933) arvioi, että tämän vuosisadan alkupuolella metsistä uudistettiin Saksassa viljellen 95 % ja luontaisesti vain 5 %.

Vaikka metsää viljeltiin Suomessa ja Lapissakin jo 1900-luvun alussa (Ahola 1949, Kallio 1960, Pohtila ja Timonen 1980), metsänviljely alkoi Suomessa käytännön mitassa vasta 1920-luvulla (Cajander 1932). Valtion mailla metsänviljelyn tarpeessa olivat erityisesti Pohjois-Suomen vanhat metsät, vaaramaiden kuusikot, Pohjois-Suomen kehnot koivikot, mäntymailla esiintyvät kuusikot, aukeat alat, paksusammalkankaat ja metsänrajametsät (Cajander 1932).

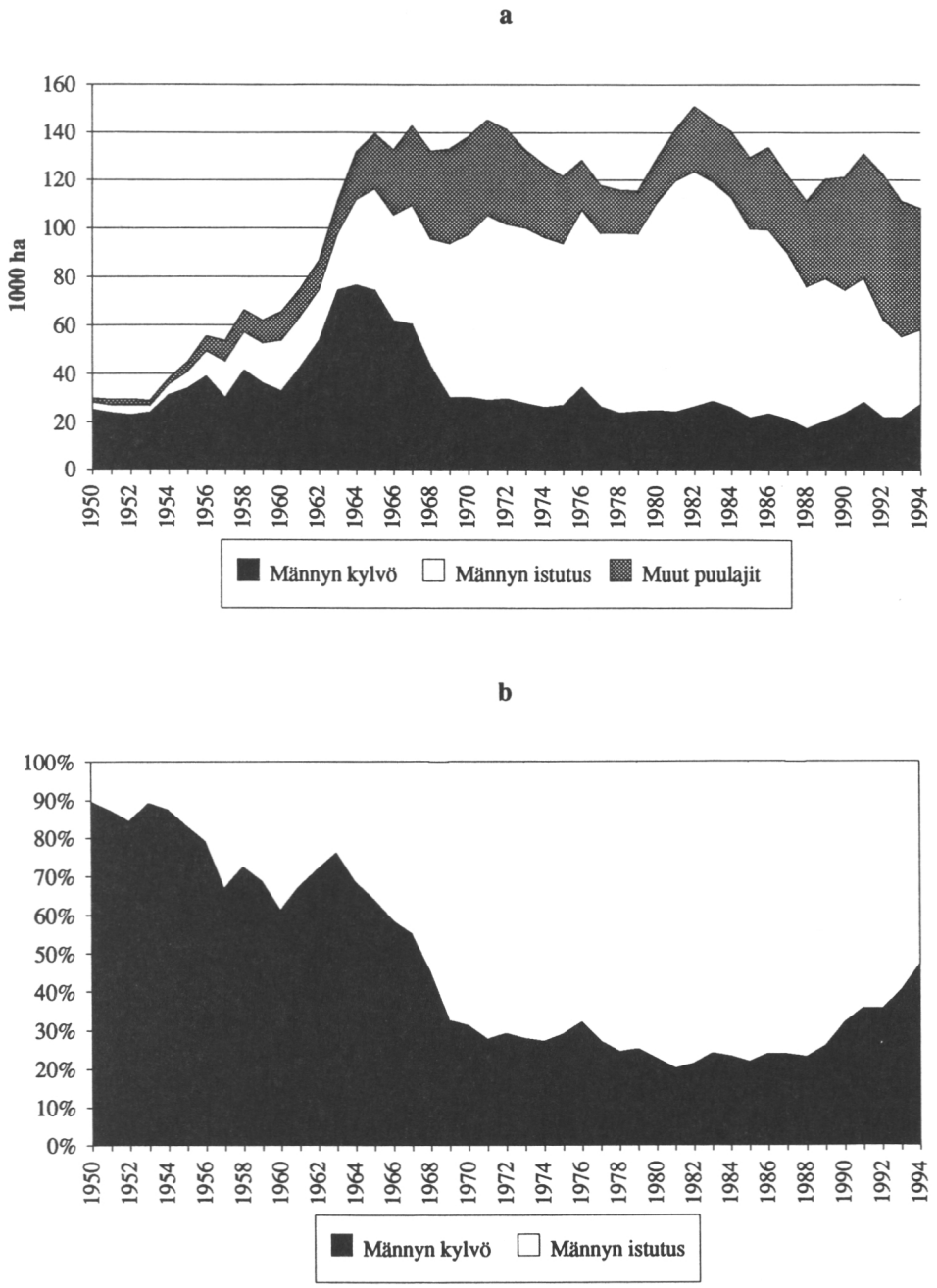
Metsänviljely oli 1920-luvulla etupäässä kylvöä. Istutusala oli vuosittain 400–800 hehtaaria, mutta kylvöala lisääntyi enimmillään lähelle 10 000 hehtaaria vuodessa. Kylvö oli miltei pelkästään (83 %) mäntyä (*Pinus sylvestris* L.). Istutuksista männyn osuus oli 58 % (Cajander 1932). Kuusen (*Picea abies* Karst.) istutus yleistyi 1930-luvulla.

Metsänviljely yleistyi nopeasti 1950-luvulla ja saavutti 1960-luvun alkupuoliskolla pysyvästi 110 000–150 000 hehtaarin vuotuisen tason (kuva 1a). Kaikesta metsänviljelystä männyn osuus oli 60–80 %, ja männyn viljelystä istutuksen osuus oli 1960-luvun lopulta lähtien 60–80 % (kuva 1b).

Yhdistämällä eri tilastolähteet (Cajander 1932, Ahola 1949, Metsätilastoa 1967, Metsätilastollinen vuosikirja 1968, 1969, 1970, 1971, Aarne 1995) saadaan Suomen viljelymetsien kokonaispinta-alaksi vuoden 1994 loppuun mennessä:

Männyn istutus	2,18 milj. ha
Männyn kylvö	1,73 milj. ha
Yhteensä mänty	3,91 milj. ha
Muut puulajit	1,23 milj. ha
Yhteensä viljely	5,14 milj. ha

Männiköiden määrä, 3,91 milj. ha, on 76 % kaikista viljelymetsiköistä. Viljelymänniköistä 56 % on istutettu ja 44 % kylvetty. Jos oletetaan, että viljeltävä alue aina pysyy metsämaana, Suomen metsämaan pinta-alasta (20,01 milj. ha) on nykyisin hieman yli neljännes, 25,6 %, viljelymetsiköitä ja 19,5 % viljelymänniköitä. 90 % viljelymänniköistä on vielä alle 40-vuotiaita. Koska metsänviljely kohdistuu keskimääräistä rehevämmille kasvupaikoille, on viljelymetsiköiden merkitys puuntuotannolle tulevaisuudessa pinta-alaosuutta suurempi.



Kuva 1. a) Metsänviljelyala Suomessa 1950–94. b) Männyn kylvön ja istutuksen suhteellinen osuus Suomessa 1950–94.

Keski-Euroopassa viljelymänniköiden kasvatuksen tavoitteena oli ja on edelleen selkeästi korkealaatuinen sahatavara (esim. Schmidt-Vogt 1977). Kasvatuksessa on pyritty siihen, että paksuimpienkin oksien läpimitta tyvitukin alueella jäisi alle 20 mm:n (esim. Abetz 1970, Kramer 1977, Thren 1985). Tämän takia viljelytiheydet ovat suomalaisittain ajateltuna suuret. Yleisesti on suositeltu vähintään 10 000 tainta/ha (Abetz 1970, Erteld 1975, Kramer 1975, Dittmar 1988, Zajaczkowski ym. 1989), mutta viime aikoina on esitetty käytettäväksi alhaisempiakin viljelytiheyksiä (Schmidt-Vogt 1977, Kramer ja Junemann 1984, Thren 1985, Kramer ja Röös 1989, Spellmann ja Nagel 1992), ei kuitenkaan alle 6 000 tainta/ha. Venäjällä on yleensä käytetty hieman keskieurooppalaisia alempia runkolukuja, Pisarenkon ja Merzlenkon (1979) mukaan 4 500–10 600 tainta/ha. Burzynski ja Zajaczkowski (1983) suosittelivat Puolassa kasvupaikan hyvyyden mukaan 10 000–15 000 ja Mracek (1983, 1989) Tsekkoslovakiassa 10 000–12 000 tainta/ha.

Keskieurooppalaiseen männynviljelyn traditioon kuuluu myös suorakaiteen muotoinen istutuskuviointi. Sen etuina ovat mahdollisuus koneellistaa metsänkasvatuksen toimenpiteitä, kestävyys tuuli- ja lumituhoja vastaan sekä myös parempi laatu verrattuna neliömäiseen istutuskuviointiin (Flöhr 1975, Dippel 1982, Ehrentreich 1983, Kramer ja Junemann 1984). Esimerkiksi Thren (1985) päätyi suosittamaan 2,5 metrin riviväliä ja 0,5 metrin taimiväliä (8 000 tainta/ha).

Suomessa mukailtiin keskieurooppalaista käytäntöä vuosisadan alkupuoliskolla. Suosituksena oli männyllä aina 1940-luvun lopulle asti 5 000 kylvökohtaa tai tainta/ha (Tapion taskukirja 1922, 1926, Borg 1931, 1938, Heikinheimo 1941, 1944, 1947, 1949). 1950-luvulla suosituksena oli 3 000–4 000, 1960-luvulla 2 000–2 500 ja 1970-luvulla yksiselitteisesti 2 000 kylvökohtaa tai tainta/ha (Heikinheimo 1956, 1959, Kauttu 1965, 1971, Takala 1975, 1978). 1980-luvulla viljelytiheydet nousivat hieman, valinnaisesti 2 000–3 000 kylvökohtaa tai tainta/ha (Nieminen 1983, 1986). Uusi huippu viljelytiheyssuosituksissa oli vuonna 1991, 5 000–6 000 kylvökohtaa ja 3 500–4 500 tainta/ha (Parviainen 1991). Uusimmissa metsänhoitosuosituksissa on taas palattu alempiin tiheyksiin. Suosituksena on nyt 4 000 kylvökohtaa ja 2 000–2 500 tainta/ha (Luonnonläheinen metsänhoito 1994). Valtion metsissä tiheyssuositukset ovat hieman korkeammat, 5 000 kylvökohtaa ja 2 200–3 000 tainta/ha (Metsähallitus 1990a, 1990b).

Männyn viljelytiheyden alentaminen 1950-luvulla ei perustunut vankkaan tutkimustietoon. Suositeltuaan vielä 1940-luvun lopulla 5 000 taimen/ha istutustiheyksiä Heikinheimo esitti Metsälehdessä siirryttäväksi aiempaa huomattavasti harvempiin istutustiheyksiin eli männyllä 2 500 taimeen hehtaarilla (Heikinheimo 1951). Ohje perustui lähinnä havaintoihin ja ammattimiesten näkemyksiin. Väljemmän istutustiheyden taustalla oli istutustyön kalleus sekä taimien ja työvoiman puute. Männyn korkeimpaan laatutavoitteeseen Heikinheimo katsoi tarvittavan aina pystykarsintaa. Myös Sirén (1956) esitti männyn viljelytiheydeksi aiempaa harvempaa 2 000–2 500 tainta tai kylvökohtaa hehtaarille ja kylvötuppaiden hajoituksen ajankohdaksi 2–4 metrin pituutta pohjaten suosituksensa muutamiin esimerkkitapauksiin keskeneräisistä tutkimuksista.

Vuokila (1972) päätyi suosittamaan voimakasta taimikonharvennusta kirjallisuuskatsauksen ja pelkästään luontaisesti syntyneistä metsiköistä kerätyn tilapäiskoeala-aineiston (ks.

Vuokila 1971) perusteella. Vuokila (1972) esitti ensiharvennukseen mennessä korkeimmaksi saavutettavissa olevaksi käyttörunkojen lukumääräksi 600–3 000 kpl/ha eri minimirinnankorkeusläpimitoilla (6–14 cm) ja eri kasvupaikoilla (H_{100}=9–30). Esimerkiksi puolukkatyypillä rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 6 cm:n kuiturunkoja saatiin enintään 2 400–2 600 kpl/ha. Rungon teknisistä ominaisuuksista Vuokila (1972) totesi muiden tekemien tutkimusten perusteella, että runkomuotoon ja oksikkuuteen alkutiheydellä oli yllättävän vähäinen vaikutus. Oksikkuustutkimukset olivat kuitenkin pääasiassa kuusikoista ja ainoa viite männiköihin oli Anderssonin (1971) retkeilyesitelmä. Vuokila (1972) perusteli voimakasta taimikonharvennusta taloudellisilla ja metsänkasvatuksen tehokkuuteen liittyvillä näkökohdilla. 1970-luvulla oli maailmanlaajuisestikin tavoitteena alentaa metsikön perustamis- ja varhaishoidon kustannuksia laskemalla viljelytiheyksiä (Low ja Tol 1974) ja koneellistamalla työvaiheita (Hägglund 1974b). 1990-luvun vaihteen suositus viljely- ja kasvatustiheyksien reilusta nostamisesta lienee seurausta mäntyjen ulkoiseen laatuun kohdistuneista tutkimuksista ja niiden antamista tuloksista. Uusimmat viljelytiheyssuositukset ja myös suositus kylvötuppaiden harvennuksesta 2–3 metrin pituusvaiheessa 1 800–2 000 runkoon/ha (Luonnonläheinen metsänhoito 1994) voi katsoa kompromissiksi erilaisten kasvatustavoitteiden välillä.

1.2 Viljelymänniköiden tuotosta ja laatua koskevia tutkimuksia

Viljelymetsiköiden tuotosta on tutkittu Suomessa vain vähän ja erityisen vähän nuoruusvaiheen kasvua. Cajander (1933) osoitti Etelä-Suomen viljelykuusikoiden kasvavan luonnonkuusikoita nopeammin ja esitti istutusväliksi 1,5–2,0 metriä, mikä merkitsi aiempaa väljempiä viljelytiheyksiä. Blomgrén (1952) ja Kolehmainen (1957) pitivät kulotusta ja männyn hajakylvöä parhaimpana menetelmänä esitellessään taksatorisia tunnuksia kahdesta laajahkosta metsänviljelyalueesta. Kallio (1960) esitti tuotostaulukoin ja graafisin piirroksin Etelä-Suomen harventamattomien kylvömänniköiden puustotunnusten kehittymistä puolukka- ja mustikkatyypillä 20–80 vuoden iällä. Tutkimuksen mukaan kylvömänniköiden tuotos ja puutavaralajirakenne oli parempi kuin toistuvasti käsiteltyjen, luontaisesti syntyneiden männiköiden.

Vuokila ja Väliaho (1980) esittivät regressioyhtälöihin perustuvat viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Laajasta mäntyaineistosta (226 metsikköä) valtaosa oli 20–80-vuotiaita kylvömänniköitä. Yhtälöillä kuvattiin metsikkötunnusten kehitys tuotossarjoina kiertoajan loppuun eri kasvupaikoilla, kasvatustiheyksillä ja harvennusohjelmilla 6–7 metrin valtapituudelta lähtien. Runkoluku ennen ensiharvennusta oli kasvatusmalleissa vakio saman kasvupaikan eri harvennusohjelmissa, joten syntytavan tai taimikkovaiheen runkoluvun vaikutusta metsikön myöhempään kehitykseen ei tarkasteltu kuten ei myöskään puuston laadullista kehitystä.

Nuorten viljelymäntyjen tai -männiköiden kasvua ovat tutkineet Parviainen (1978, 1979, 1985), Hari ym. (1982), Lyly ja Saksa (1982), Saksa ja Lyly (1984), Kaunisto ja Tukeva (1986), Kinnunen (1986), Huuri ym. (1987), Pukkala (1988) sekä Kolström (1991). Näistä tutkimuksista kasvumalleja käyttivät Hari ym. (1982) yksittäisen puun fotosynteesin, Pukkala (1988) mäntyjen tilajärjestyksen sekä Kolström (1991) mäntyjen, heinien ja

vesojen välisen kilpailun mallittamiseen. Muut tutkimukset olivat järjestettyjen kokeiden tulosten esittelyä. Aineistot olivat kaikissa tutkimuksissa suppeita, yhteen tai muutamaan metsikköön rajoittuvia, eikä tutkimuksissa tarkasteltu esimerkiksi viljelytavan (kylvö *vs.* istutus) vaikutusta puuston kehitykseen.

Metsänviljelyn onnistumista on selvitetty lukuisissa laajoihinkin otantoihin perustuvissa inventointityyppisissä tutkimuksissa (ks. Karjula ym. 1982, Räsänen ym. 1985, Peltonen 1986, Saksa 1992). Niissä keskityttiin viljelyn jälkeisten runkolukumuutosten selvittelyyn ja puustotunnuksista esitettiin vain taimien keskimääräistä pituuskehitystä. Inventointien tuloksia on käytetty metsänuudistamisen vaihtoehtoja vertailevassa laskentaohjelmassa (Parviainen ym. 1985) keskipituuden kehityksen kuvaamiseen. Metsätehon metsänviljelyn menetelmien vertailumallissa mallitettiin taimikon keskipituus, vesakon tiheys ja pituus sekä taimikon perkaus ja kylvötaimikon harvennus. Viljelyn tulosta tarkasteltiin viiden metrin keskipituudella, mutta ilman viljelytiheyden vaikutuksen ottamista huomioon (Kaila 1993).

Ainoa myös männiköiden nuoruusvaiheen kuvaava, kattavaan aineistoon perustuva kasvumalli Suomessa on metsälaskelma MELA (Ojansuu ym. 1991). MELAssa on mallitettu puutason yhtälöillä alle 1,3 metrin mittaisten puiden pituuskasvu sekä pituuden ja pohjapinta-alan viisivuotiskasvu heti puun saavutettua 1,3 metrin pituuden. Syntytavan vaikutus (viljely *vs.* luontainen) kuvataan pelkästään puiden rinnankorkeuden saavuttamisiän erolla. MELA on kehitetty suuralueiden pitkän ajan kasvuennusteita varten, joten sillä ei ole mahdollista simuloida esimerkiksi nuoruusvaiheen metsänhoidollisten menetelmien vaikutuksia puu- ja metsikkötason tunnuksiin. Metsiköiden laatua tarkastellaan pelkästään tukkivähennysmallilla varttuneissa metsiköissä (Ojansuu ym. 1991).

Suomessa tehdyt viljelymänniköiden taksatorisia tunnuksia koskevat tutkimukset ovat keskittyneet siis joko metsänviljelyn onnistumisen tai ensisijaisesti ensiharvennuksen jälkeisen kehityksen kuvaamiseen. Viljelymännikön kehitykseen olennaisesti liittyvää syntytavan, nuoruusvaiheen kasvatustiheyden ja kylvötaimikossa myös taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutusta tuotokseen ei tähän mennessä ole tutkittu.

Etenkin männiköiden kasvatusvaihtoehtojen pohdintaan liittyy määrällisen tuotoksen lisäksi läheisesti myös puiden laatu. Rungon laadun hyvyyden määrittely riippuu tietysti puun käyttötarkoituksesta, mutta männyllä yleisimmin tavoitteena olevan sahapuun laatu on sitä korkeampi, mitä vähäoksaisempi, tiheäsyisempi ja järeämpi etenkin rungon arvokkain osa eli tyvitukki on.

Tyvitukin paksuimman oksan läpimitta on osoitettu hyväksi sahatavaran laadun tunnukseksi (Heiskanen 1965, Orvér 1970, Uusvaara 1974, Persson 1977). Puiden pystykarsinnassa suositellaan karsittavaksi mieluiten alle 20 mm:n, mutta joka tapauksessa alle 30 mm:n paksuisia oksia (Pystykarsintaohjeet 1982, Vuokila 1982). Uusissa sahatavaran laatuvaatimuksissa sallitaan hyvissä tyvitukeissa korkeintaan 15 mm:n kuivia tai terveitä oksia ja muissa tukeissa 40 mm:n oksia (Airaksinen 1994). Näiden tutkimusten ja ohjeiden perusteella männyille voidaan sahatavaran kasvatuksessa asettaa vaatimus, että tyvi-

tukin alueella paksuin oksa ei saa ylittää 30 mm:ä ja pyrittäessä korkeaan laatuun läpimitan tulisi jäädä alle 20 mm:n.

Männiköiden laatuun kiinnitettiin Suomessa runsaasti huomiota jo 1930-luvulla (Laitakari 1937). Heiskanen (1954, 1965) osoitti vakuuttavasti nuoruusvaiheen lustonpaksuuden ja oksaisuuden sekä sahapuulaadun välisen riippuvuuden luontaisesti syntyneissä männiköissä. Sahatavaran suurin oksa oli sitä suurempi ja laatu sitä heikompi, mitä leveämmät vuosilustot olivat kappaleen tyvipäässä (Heiskanen 1954). Heiskanen (1965) esitti männyn laatukasvatuksen perusteet: riittävä runkoluku taimikkovaiheessa, myöhäinen taimikonharvennus, laatuharvennus ja pystykarsinta. Viljelymänniköistä saatavan sahatavaran laatua tutki Suomessa ensimmäisenä Uusvaara (1974, 1981b) ja totesi viljellen syntyneiden männiköiden sahatavaran laadun joka suhteessa luontaisesti syntyneiden männiköiden laatua heikommaksi. Uusvaara (1981a) korosti myös nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutusta sahatavaran laadun määräytymisessä ja totesi viljelymänniköiden huonon laadun johtuvan ensi sijassa harvasta kasvatusasennosta nuoruusvaiheessa.

Männiköiden ulkoinen laatu, lähinnä oksikkuus, oli tiiviin tutkimuksen kohteena 1980-luvun alusta lähtien. Vuokila (1982) esitti yhteenvedon puiden teknisen laadun kehittämisestä siihenastisen tiedon pohjalta ja suositti luontaisen uudistamisen ja kylvön käyttöä, mutta viljelytiheyden ja taimikonharvennuksen runkoluvun pitämistä ennallaan (2 000–2 200 puuta/ha) lähinnä kustannussyihin vedoten. Muina keinoina Vuokila (1982) esitti laatuharvennusta ja pystykarsintaa, kiertoajan pidentämistä ja lannoitusta lähellä päätehakkuuikää. Kärkkäinen ja Uusvaara (1982) totesivat mäntyjen laadun heikkenevän kasvun parantuessa, johtuipa hyvä kasvu mistä tahansa tekijöistä, mutta syntytavalla ei sinänsä näyttänyt olevan vaikutusta laatuun lukuun ottamatta lenkoutta, joka oli yleisempää viljelytaimilla. Halisen (1985) tutkimus vahvisti käsitystä nuoruusvaiheen kasvunopeuden ratkaisevasta vaikutuksesta sahatavaran laatuun. Kauniston ja Tukevan (1986) mukaan turvemaiden viljelymänniköissä ei ollut syytä käyttää 2 000–2 500 tainta suurempia hehtaaritiheyksiä, koska kasvatustiheys vaikutti vain vähän valtataimien oksanpaksuuksiin. Huuri ym. (1987) päätyivät suosittamaan vähintään 4 000 puun/ha kasvatustiheyttä. Suositus perustui yhteen puolukkatyypin kankaalle perustettuun istutustiheyskokeeseen, jossa puiden pituus oli vasta 5–8 metriä. Pukkala ym. (1992) totesivat, että erittäin hidas kasvunopeus ei tuottanut sen hieno-oksaisempia puita kuin keskinkertainen kasvunopeus ja että ryhmittäisyys paransi yleensä vain pienimpien puiden laatua.

Männyn laatukasvatusta on selvittänyt etenkin Kellomäen tutkimusryhmä nuorten mäntyjen latvuksen kasvun dynamiikkaa käsittelevien tutkimusten pohjalta (Kellomäki 1980, 1984, Oker-Blom ja Kellomäki 1982, Kellomäki ja Oker-Blom 1983, Oker-Blom ym. 1988) mallittamalla metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusta sahatavaran laatuun (Kellomäki ym. 1989, Väisänen ym. 1989) sekä tarkastelemalla puuston tiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutusta nuorten mäntyjen oksikkuuteen (Kellomäki ja Tuimala 1981, Jokinen ja Kellomäki 1982, Kellomäki 1984, Kellomäki ja Väisänen 1986, Turkia ja Kellomäki 1987, Lämsä ym. 1990). Tulokset esitettiin koottuna Suomen Akatemian tutkimushankkeen loppuraportissa (Kellomäki ym. 1992). Ongelmana tutkimuksessa oli se, että aineistoissa oli sekä istutettuja että luontaisesti syntyneitä taimikoita, mutta tuloksia ei tarkasteltu syntytavan suhteen. Päätelmiä tehtiin ottamatta huomioon puun koon vaikutusta ul-

koiseen laatuun. Lisäksi kasvupaikan viljavuus kuvattiin käytännössä vaikeasti mitattavissa olevilla muuttujilla. Kellomäki ym. (1992) suosittivat männyn viljely- ja kasvatustiheydeksi kanervatyypillä vähintään 2 000 puuta/ha ja puolukka- sekä mustikkatyypillä vähintään 4 000 puuta/ha. Etenkin kanervatyypin runkolukusuositukseen on kuitenkin suhtauduttava suurin varauksin, koska aineisto kanervatyypillä poikkesi ratkaisevasti muista: taimikot olivat osaksi luontaisesti syntyneitä. Muilla kasvupaikoilla taimikot olivat kaikki istutettuja ja huomattavasti pitempiä kuin kanervatyypillä.

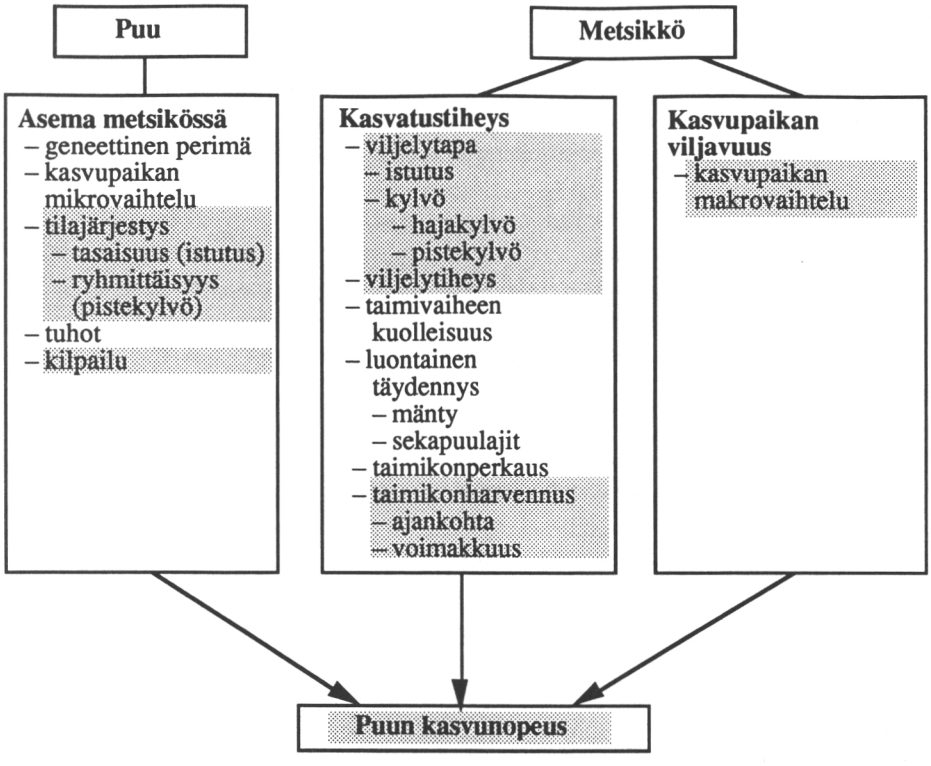
On ilmeistä, että nuoruusvaiheen kasvatustiheys on tärkein mäntyjen oksikkuuteen ja sitä kautta sahatavaran laatuun vaikuttava tekijä. Aiempien tutkimusten perusteella ei kuitenkaan voida esimerkiksi sanoa, mikä on riittävä viljelytiheys pyrittäessä korkeaan u/s-laatuluokan sahatavaran osuuteen. Syntytavan ja kasvupaikan viljavuuden vaikutusta ei ole riittävästi selvitetty eikä myöskään kylvömänniköiden harvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutusta puiden laatuun.

1.3 Tuotokseen ja laatuun vaikuttavat tekijät

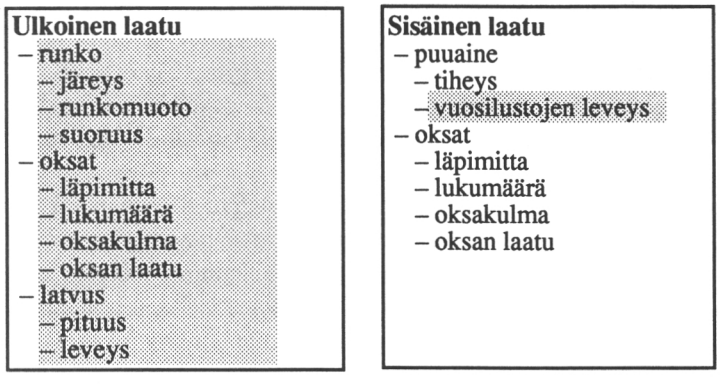
Metsikön tuotos ja laatu on yksittäisten puiden kasvun ja laadun summa. Tuotokseen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä voidaan siten analysoida sekä puu- että metsikkötasolla. Viljelymänniköiden oksikkuutta on yleensä selitetty puutason malleilla (esim. Persson 1976, Lämsä ym. 1990), mutta metsikkötason mallit soveltuvat hyvin tuotoksen kuvaamiseen (esim. Saramäki 1992, Valsta 1993). Ne tekijät, jotka nuorissa viljelymänniköissä vaikuttavat tuotokseen ja laatuun, voidaan jakaa puu- ja metsikkötasolle (kuva 2). Olennaista on, että samat tekijät vaikuttavat sekä puiden kasvuun, erityisesti paksuuskasvuun että sitä kautta myös puiden laatuun. Pyrittäessä selittämään puiden laatuun, esimerkiksi oksikkuuteen, vaikuttavia tekijöitä puiden kasvun tulee siten olla samanaikaisesti tutkimuksen kohteena toisin kuin useimmissa tähänastisissa tutkimuksissa on tehty.

Puiden keskinäisen aseman määräävät männyn viljelytaimikossa puun geneettinen perimä, kasvupaikan mikrovaihtelu, taimikon tilajärjestys ja puiden välinen kilpailu. Istutustaimikossa puiden välinen tilajärjestys on viljelyn jälkeen jokseenkin tasainen ja kylvötaimikossakin taimikonharvennuksen jälkeen. Tilajärjestys on ryhmittäisin pistekylvetyissä männiköissä ennen taimikonharvennusta. Tuhot aiheuttavat muutoksia puiden keskinäiseen asemaan ja edistävät ryhmittäisyyttä. Kilpailu lisää puiden välisiä kokoeroja.

Männyn viljelytaimikon *kasvatustiheys* on tulos viljelytavan, viljelytiheyden, taimivaiheen kuolleisuuden, luontaisen täydennyksen ja taimikon hoitotoimenpiteiden yhteisvaikutuksesta. Kasvatustiheyteen on helpointa vaikuttaa viljelytavalla. Istutustaimikossa kasvatustiheys vakiintuu yleensä ensimmäisen kymmenen vuoden aikana mahdollisen taimikonperkauksen jälkeen (ks. Elfving 1992). Kylvötaimikossa runkoluku pysyy jokseenkin vakiona vasta taimikonharvennuksen jälkeen.



Kuva 2. Nuorten viljelymänniköiden tuotokseen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tässä työssä tutkittavat tekijät on merkitty rasterilla.



Kuva 3. Puun laatua kuvaavia tunnuksia. Tässä työssä tutkittavat tekijät on merkitty rasterilla.

Kasvupaikan viljavuus vaikuttaa puiden kasvunopeuteen ja määrää usein myös viljelytavan. Istutusta käytetään viljavammilla kasvupaikoilla kuin kylvöä, joskin viljelytapa voidaan valita istutuksen ja kylvön kesken suhteellisen laajalla männyn kasvupaikkojen vaihtelualueella.

Puun asema metsikössä, kasvatustiheys ja kasvupaikan viljavuus yhdessä määräävät puun kasvunopeuden. Tässä työssä tutkitaan puiden välisen tilajärjestyksen ja kilpailun sekä taimikon viljelytavan ja -tiheyden, taimikonharvennuksen sekä kasvupaikan viljavuuden vaikutuksia puiden kasvunopeuteen (kuva 2).

Puiden kasvunopeus puolestaan määrää sen, miten nopeasti puu saavuttaa määrätyn koon. Sitä kautta kasvunopeus vaikuttaa puiden ulkoiseen ja sisäiseen laatuun, jota voidaan kuvata monilla eri tunnuksilla (kuva 3). Nuorissa viljelymänniköissä tärkeimpänä yksittäisenä tunnuksena pidetään oksien läpimittaa ja useimmissa aihetta koskevissa tutkimuksissa on kuvattu paksuimman oksan läpimittaan vaikuttavia tekijöitä. Latvuksen kehitys on jäänyt vähemmälle huomiolle. Sisäistä laatua on kuvattu muun muassa tyvitukin vuosilustojen leveydellä, tavallisimmin tyvipään kaatoleikkauksesta ytimen läheisyydestä. Keskimääräisen lustonleveyden, sahatukin oksanpaksuuksien ja sahatavaran laadun välillä on havaittu olevan korkea korrelaatio (esim. Heiskanen 1954, Uusvaara 1974). Tässä työssä keskitytään ulkoista laatua kuvaavien tunnusten kuvaamiseen pääpainon ollessa tyvitukin paksuimman elävän oksan paksuuteen vaikuttavissa tekijöissä. Sisäistä laatua tutkitaan vuosilustojen leveydellä (kuva 3).

Männyn nuoruusvaiheen oksien kasvu määrää suurelta osin rungon arvokkaimmasta osasta eli tyvitukista saatavan sahatavaran laadun. Männyn rungon järeys ja oksien paksuus ovat hyvin tiukasti sidoksissa toisiinsa, ja viljelymänniköiden laatukasvatuksen tavoite voidaankin kiteyttää kysymykseen: kuinka saada oksat kuolemaan tyvitukin alueella mahdollisimman ohuina?

1.4 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän työn tarkoituksena on tutkia nuorten istutus- ja kylvömänniköiden kasvua ja laatua. Aiempien tutkimusten perusteella tiedetään, että männikön alkuvaiheen kasvulla on ratkaiseva vaikutus etenkin laadulliseen kehitykseen. Tämän vuoksi tutkimus keskittyy viljelymänniköiden kehityksen kuvaamiseen uudistamisen ja ensiharvennuksen välisenä aikana, kuitenkin ilman runkolukumuutosten vaikutusten analysointia.

Tutkimus jakaantuu kolmeen osaan; kasvupaikan viljavuuden määrittämiseen männyn viljelytaimikoissa, empiiriseen osaan sekä mallitus- ja simulointiosaan.

1) Kasvupaikan viljavuuden määrittämiseksi tarkastellaan eri pituusbonitointimenetelmien soveltuvuutta viljelytaimikoihin (**VI**) ja verrataan menetelmiä eri osatutkimusten (**I**, **II**, **III**, **IV**) aineistoissa.

Empiirisessä osassa tutkitaan sitä,

2) miten kasvupaikan viljavuus, kasvatustiheys ja istutuskuviointi vaikuttavat istutusmäntyjen ulkoiseen laatuun (**I, II**) ja

3) miten kylvömännikkö kasvaa ja millaiseksi sen ulkoinen laatu muodostuu eri valtapituusvaiheessa ja eri voimakkuudella tehdyn taimikonharvennuksen jälkeen (**III, IV**). Lisäksi tarkastellaan kylvömänniköistä saatavan ensiharvennuskertymän suuruutta (**IV**).

Mallitus- ja simulointiosassa

4) kehitetään puutason malli istutusmäntyjen nuoruusvaiheen lustonleveydelle ja simuloidaan puun aseman, kasvupaikan viljavuuden ja kasvatustiheyden vaikutusta keskimääräiseen lustonleveyteen (**V**), jolla aiempien tutkimusten mukaan voidaan ennustaa päätehakkuussa saavutettava sahatavaran laatujakauma,

5) kehitetään metsikkötason malli nuorten viljelymänniköiden puustotunnusten kuvaamiseksi ja simuloidaan metsikön viljelytavan, kasvatustiheyden, kasvupaikan viljavuuden sekä kylvötaimikoissa myös taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutusta tuotokseen (**VI**) sekä

6) kehitetään laatumalli yksittäisen puun paksuimman elävän oksan läpimitalle tyvitukin alueella yhdistämällä julkaisujen (**I, II, III, IV**) aineistot.

7) Yhdistämällä puutason laatumalli ja metsikkötason kasvumalli (**VI**) simuloidaan nuorten viljelymänniköiden laatukasvatusvaihtoehtoja ja verrataan tuloksia puukohtaisen lustonleveysmallin (**V**) antamiin tuloksiin.

2 Kasvu- ja laatumallit viljelymänniköissä

Suomesta puuttuu nuorten viljelymänniköiden kasvumalli. Yleisemminkin tarkasteltuna metsiköiden nuoruusvaiheen kehitystä on mallitettu vähän. Tämä johtunee siitä, että kasvun mallittaminen on huomattavasti helpompaa sen jälkeen, kun läpimitan ja pituuden vuotuisen kasvun kulminaatio, joka esimerkiksi männyllä (Assmann 1970) tapahtuu hyvin aikaisin, on ohitettu. Ruotsissa ns. HUGIN-projektissa laadittiin suuri määrä kasvumalleja vakiintuneisiin metsiköihin, joiden alarajana oli kahdeksan metrin pituusvaihe (Hägglund 1981b). Sitä aiempi kehitys kuvattiin pelkästään puiden pituuskasvulla ja taimikoiden kehityskelpoisuutta kuvaavalla laatuindeksillä (Elfving 1978). Samoin esimerkiksi Garcia (1984) estimoi radiatamännyn kasvumallien lähtökohdaksi pohjapinta-alan seitsemän metrin valtapituudella yksinkertaisella mallilla pelkän runkoluvun avulla.

Kasvumallin valinta riippuu kohdemetsiköistä, käytettävissä olevista aineistoista ja niistä tarpeista, joita mallin laadinnalla pyritään täyttämään. Clutter ym. (1983) jakoivat kasvumallituksen kohdemetsiköt eri-ikäisiin ja tasaikäisiin luonnonmetsiköihin sekä harventamattomiin ja harvennettuihin istutusmetsiköihin, joihin sopivat erilaiset mallit. Myös aineisto asettaa usein rajoituksia mallin valinnalle. Mallin käyttötarkoitus voi myös määrätä mallityypin valinnan. Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti erilaisia kasvu- ja tuotosmalleja sekä kasvupaikan viljavuuden määrittämistä ja esitetään perustelut tässä tutkimuksessa käytetyille malleille.

Kasvu- ja tuotosmallit voidaan jakaa tilastomatemaattisiin ja prosessimalleihin. *Prosessimalleilla* kuvataan yksittäisen puun elintoimintoja niiden perustoimintojen tasolla. Esimerkkejä suomalaisista prosessimalleihin perustuvista tutkimuksista ovat Harin ym. (1982) männyn fotosynteesiin ja kuiva-ainetuotokseen perustuva malli, Mäkelän (1988) ekofysiologinen malli, Oker-Blomin (1986) latvuston rakennetta ja sen valoilmastoa fotosynteesin avulla kuvaava malli, Nikinmaan (1992) männyn aineenvaihduntaan perustuva hierarkkinen kasvu- ja rakennemalli, Sieväsen (1993) männyn fotosynteesin, hengityksen ja vanhenemisen kuvaava hiilitasemalli sekä oliopohjaiseen ohjelmointiin perustuva männyn rakenteen hierarkkisesti kuvaava malli (Salminen ym. 1994). Prosessimallit soveltuvat hyvin muuttuvien ympäristötekijöiden vaikutusten analysointiin, mutta huonommin metsiköiden tuotoksen ja siihen vaikuttavien tekijöiden kuvaamiseen mallien monimutkaisen rakenteen vuoksi. Oker-Blomin ym. (1988) ekofysiologista mallia on kuitenkin käytetty männyn laatukasvatusprojektin (Kellomäki ym. 1992) mallilaskelmissa kuvaamaan pystykarsinnan ja harvennuksen vaikutusta mäntyjen ulkoiseen ja sisäiseen oksikkuuteen, ja Sieväsen (1993) mallin on todettu antavan samanlaisen taksatorisen kehityksen männyn viljelytaimikoille kuin tilastomatemaattinen metsikkötason kasvumalli (Varmola 1988). Esimerkiksi Goulding (1994) sekä Mohren ja Burkhart (1994) toteavat kuitenkin prosessimallien soveltuvan selittämään lähinnä metsäekosysteemien perustoimintoja, mutta tilastomatemaattisten mallien soveltuvan paremmin metsätalouden tarpeisiin.

Tilastomatemaattiset mallit jaetaan metsikkö- ja puutason malleihin. *Yksittäistä puuta kuvaavat mallit* jaetaan edelleen puiden välisestä etäisyydestä riippumattomiin ja etäisyydestä riippuviin malleihin (Munro 1974). Esimerkkejä *etäisyys-riippumattomista* männyn kasvumalleista Suomessa ovat Nyyssösen ja Mielikäisen (1978), Mielikäisen (1980) ja

Ojansuun ym. (1991) mallit. *Etäisyydestä riippuvia* männyn kasvumalleja ovat kehittäneet mm. Vuokila (1965) ja Pukkala (1989). Kaikki suomalaiset puutason mallit on tehty luontaisesti syntyneiden männiköiden aineistoista. Yleisesti voidaankin sanoa, että puutason mallit soveltuvat hyvin sekametsiköiden ja eri-ikäisten metsiköiden kasvun ja kehityksen ennustamiseen (Clutter ym. 1983, Sievänen 1992).

Metsikkötason kasvumallit jaetaan tiheydestä riippumattomiin ja tiheydestä riippuviin sekä jakaumamalleihin. *Tiheydestä riippumattomia malleja* ovat Suomessa esimerkiksi luonnonnormaalien metsiköiden kasvu- ja tuotostaulukot (Koivisto 1959). Vuokilan ja Väliahon (1980) viljeltyjen havupuumetsiköiden kasvatusmallit edustavat *tiheydestä riippuvia* metsikkötason malleja. Päivinen (1980) on esittänyt *läpimittajakaumamallin* valtakunnan metsien 3. inventoinnin aineistosta eli luontaisesti syntyneille männiköille ja Kilkki ja Päivinen (1986) pohjapinta-alan jakaumamallin valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineistosta. Kattavan luettelon suomalaisista puu- ja metsikkötason tilastomatemaattisista malleista yhtälöitä myöten ovat esittäneet Mäkelä ja Salminen (1991).

Monista ruotsalaisista metsikkötason kasvumalleista (mm. Hägglund ym. 1979, Agestam 1985, Ekö 1985, Persson 1992) männiköiden nuoruusvaiheen kehitystä kuvataan Frykin (1984) ja Petterssonin (1992, 1993) tutkimuksissa. Yksinomaan viljelymänniköitä kuvataan vain Petterssonin (1992) työssä, jossa tutkittiin istutustiheyden vaikutusta metsikkötunnuksiin ja läpimittaluokittaisiin runkoluku- ja tilavuusjakaumiin. Tilavuus ennustettiin valtapituuden ja runkoluvun avulla logistisella mallilla. Runkoluku- ja tilavuusjakaumat kuvattiin muunnetulla normaalijakaumalla.

Istutusmetsiköt ovat tasaikäisiä ja tasarakenteisia. Tämän vuoksi niiden kasvun mallitus voidaan luotettavasti tehdä metsikkötasolla (ks. esim. Garcia 1988, Saramäki 1992, Valsta 1993). Metsikkötason kasvumallien etuja ovat mallien suhteellisen yksinkertainen rakenne ja siitä johtuva helppo sovellettavuus. Puutason malleilla on todettu saatavan usein vain vähän hyötyä verrattuna metsikkötason melleihin, jos tavoitteena on ollut metsikön taksatoristen tunnusten kuvaaminen viljelymetsiköissä (ks. Daniels ja Burkhart 1988). Näiden seikkojen ja myös aineiston rajoitusten perusteella nuorten viljelymänniköiden kasvumalliksi valittiin tiheydestä riippuva metsikkötason malli (**VI**).

Männyn *laatumallit* ovat miltei poikkeuksetta puutason malleja. Niissä voidaan erottaa mallit, jotka kuvaavat ulkoista laatua, tavallisimmin oksien paksuutta (Heiskanen 1965, Abetz 1970, Orvér 1970, Uusvaara 1981b, Persson 1976, 1977, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Fryk 1984, Lämsä ym. 1990, Pukkala ym. 1992) ja sisäistä laatua, tavallisimmin vuosiluston leveyttä (Heiskanen 1954, Persson 1976, 1977, Uusvaara 1981b, Halinen 1985). Mallit ovat yksinkertaisia regressioyhtälöitä lukuun ottamatta Kellomäen ym. (1992) männyn istutustaimien perusteella rakentamaa monipuolista ekofysiologista mallia ja Pukkalan ym. (1992) männyn paksuimman oksan läpimittaa kuvaavaa dynaamista spatiaalista sekamallia. Kummankin mallin puutteita ovat kasvupaikan viljavuuden ja metsikön syntytavan vaikutusten vajavainen kuvaaminen. Koska istutusmänniköiden tilajärjestys on yleensä melko tasainen, lustonleveysmalliksi valittiin etäisyydestä riippumaton puutason kasvumalli (**V**).

Lineaarista *sekamallia* käytettiin kuvattaessa yksittäisen männyn paksuimman elävän oksan läpimittaan tyvitukin alueella vaikuttavia kiinteitä puu- ja koealatason muuttujia. Koealatasoon metsikkötason sijasta päädyttiin, koska kaikki puustotunnukset vaihtelivat koealoittain. Sekamallitekniikalla (Lappi 1993), jossa jäännösvaihtelu jaetaan koealan sisäiseen ja koealojen väliseen, voidaan lisäksi mallin soveltamisvaiheessa yhdistää puutason ja koealatason tiedot siten, että ennusteita voidaan tarkentaa jo vähäistenkin mittaustietojen perusteella.

Clutterin ym. (1983) mukaan *kasvupaikan viljavuuden* arviointi on eräs kasvumallien laadintaan liittyvä perustehtävä, ja he suosittelevat siihen valtapuiden pituuskehitykseen perustuvia menetelmiä. Hägglund (1981a) jakaa kasvupaikan viljavuuden indikaattorit pituusboniteettiin, metsikön keskikasvuun ja muihin metsikkötunnuksiin, joita voidaan kuvata metsikkö- ja kasvupaikkatekijöillä tai niiden yhdistelmillä. Ruotsissa on jo kauan käytetty kasvupaikan viljavuuden kuvaamisen päämenetelmänä pituuden kehitystä ajan suhteen (Jonson 1914) ja siitä johdettuja pituusboniteetti-indeksejä (Hägglund 1974a). Suomessa valtamenetelmänä on perinteisesti ollut metsätyypin tai veroluokan käyttö siinä määrin, että esimerkiksi metsälaskelma MELAssa useimmat yhtälöt kalibroidaan veroluokan tai metsä-suotyypin perusteella (Ojansuu ym. 1991).

Suomessa 1980–90-luvuilla kehitetyt pituusbonitointimenetelmät perustuvat metsikön ikään ja valtapituuteen (Gustavsen 1980, Vuokila 1980) tai kasvupaikan ominaisuuksiin (Tamminen 1993, Lahti 1995). Ruotsissa kehitettiin 1970-luvulla kivennäismaille kattava bonitointijärjestelmä, jossa estimoidaan kasvupaikkaindeksi (=pituusboniteetti) ja sen perusteella arvioidaan kasvupaikan viljavuus (=boniteetti). Kasvupaikkaindeksi määritetään joko ikään ja valtapituuteen (Hägglund 1974c), viiden vuoden pituuskasvuun 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta lukien (=välipituusmenetelmä, Hägglund 1976) tai kasvupaikkatekijöihin (Hägglund ja Lundmark 1977) perustuen. Hägglundin (1977) mukaan epävarmin on kasvupaikkatekijöihin perustuva menetelmä, jolla päästään 2,1–3,0 metrin keskihajontaan pituusboniteettiestimaatissa (H_{100}) yhdellä 10 m^2:n ympyräkoealalla. Varttuneissa metsiköissä tarkin on ikään ja valtapituuteen perustuva menetelmä. Alle 40-vuotiaissa metsiköissä tarkin on välipituusmenetelmä, jossa ei tarvita iän määritystä. Menetelmällä saatavan pituusboniteettiestimaatin keskihajonta on 1,6 metriä. Hägglund (1974a) arvioi ikä-valtapituusmenetelmän soveltuvan 30–40 %:lle ja välipituusmenetelmän 10–15 %:lle Ruotsin metsämaista. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sekä ikään ja valtapituuteen (Vuokila ja Välihaho 1980) että välipituuteen (Hägglund 1976) perustuvien pituusbonitointimenetelmien soveltuvuutta nuoriin viljelymänniköihin.

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Osatutkimusten aineistot

3.1.1 Yleispiirteet

Istutustaimikoiden ulkoisen laadun tutkimista varten kerättiin koko maan kattava aineisto kesällä 1979 (**I**). Perusjoukkona olivat valtapituudeltaan yli viiden metrin mittaiset yksityismetsien istutustaimikot. Otanta tehtiin arpomalla jokaisesta metsälautakunnasta yksi metsänhoitoyhdistys, jonka alueelta valittiin viisi kohdetta. Epäonnistuneet viljelyt hylättiin. Lukuun ottamatta neljää pohjoisinta metsälautakuntaa samoja puita käytettiin yksittäisen puun lustonleveyden mallittamisessa (**V**) (taulukko 1).

Istutustaimikoiden ulkoista laatua tutkittiin myös kolmen järjestetyn istutustiheys- ja istutuskuviointikokeen avulla (**II**), jotka sijaitsivat Kurussa (kuivahko kangas) ja Muhoksella (entinen pelto) (taulukko 1). Kussakin taimikossa oli yksi koeala kutakin istutusvaihtoehtoa; vähintään 0,25 hehtaarin suuruisten istutuskuvioiden määrä oli yhteensä 35. Istutustiheydet olivat 800, 1 100, 1 600, 2 500 ja 5 000 tainta/ha. Neliömäisen istutuskuvioinnin lisäksi käytettiin 3,5 ja 5,0 metrin riviväliä (tiheydellä 800 kuitenkin 5,0 ja 8,0 metriä). Taimiväli vaihteli 0,8:sta metristä 2,6:een metriin ja taimi- ja rivivälin suhde 1:1:stä 1:6,3:een. Kurun kokeella ei kuitenkaan käytetty riviväliä 3,5 metriä. Mittaukset tehtiin 15–17 vuotta istutuksen jälkeen kesällä 1986.

Kylvötaimikoiden kasvua ja ulkoista laatua taimikonharvennuksen jälkeen tutkittiin järjestettyjen kokeiden avulla 16 taimikossa (**III**). Metsätyyppi oli puolukkatyyppi lukuun ottamatta yhtä Pohjanmaan-Kainuun vyöhykkeen tuoreen kankaan puolukka-mustikkatyypin taimikkoa (taulukko 1). Koejärjestelynä oli satunnaistettujen lohkojen koe. Kunkin taimikonharvennusvaihtoehdon sisällä toistojen lukumäärä oli 1–3, ja pinta-alaltaan vähintään 0,1 ha:n koealoja oli yhteensä 178. Taimikot harvennettiin 1971–75. Harvennuksen jälkeiset runkoluvut olivat yleensä 1 000, 1 600, 2 200, 3 100 puuta/ha ja harventamaton. Yhdessätoista taimikossa yksi koeala harvennettiin asentoon 600–700 puuta/ha. Harvennushetkellä taimikoiden valtapituus oli 2,4–7,7 metriä ja ikä 11–19 vuotta. Kasvujakso oli 4–8 vuotta taimikonharvennuksesta.

Neljä osatutkimuksen (**III**) aineistoon kuulunutta kuivahkon kankaan kylvömännikköä ensiharvennettiin 10–12 vuotta myöhäisen taimikonharvennuksen jälkeen ja tämä kasvujakso muodosti osatutkimuksen (**IV**) aineiston (taulukko 1). Metsiköt sijaitsivat Virroilla, Mäntässä ja kaksi sijaitsi Valkealassa. Koejärjestelynä oli satunnaistettujen lohkojen koe. Kussakin taimikonharvennusvaihteohdossa oli 2–3 toistoa lukuun ottamatta voimakkainta käsittelyä (600 puuta/ha). Metsiköiden ikä oli ensiharvennettaessa 29–31 vuotta. Ensiharvennus tehtiin alaharvennusperiaatteella osalla (yhteensä 20:lla) niistä koealoista, joilla runkoluku taimikonharvennuksen jälkeen oli 1 600–4 000 puuta/ha.

Istutus- ja kylvömänniköiden kasvumallit laadittiin 1968–71 mitatun tilapäiskoeala-aineiston avulla (**VI**), joka alkujaan kerättiin varttuneiden viljelymetsiköiden kasvatusmallien

Taulukko 1. Osatutkimusten aineistojen yleiskuvaus.

tutkimus	metsäkasvillisuusvyöhyke	kasvupaikkatyyppi	otanta	koejärjestely	syntytapa	metsiköiden lukumäärä	koealojen lukumäärä
I	E-S, P-K, P-P	LhK,TuoK,KvK	ositettu	inventointi	istutus	86	467
II	E-S, P-K	KvK,pelto	subj.	järj. koe	istutus	3	35
III	E-S, P-K, P-P	TuoK,KvK	subj.	järj. koe	kylvö	16	178
IV	E-S	KvK	subj.	järj. koe	kylvö	4	64
V	E-S, P-K	LhK,TuoK,KvK	ositettu	inventointi	istutus	66	296
VI	E-S, P-K, P-P	LhK,TuoK,KvK, KK	subj.	tilap.koeala	kylvö ja istutus	100	100

(Vuokila ja Väliaho 1980) lähtökohtatilanteen kuvaamista varten 6–8 metrin valtapituusvaiheessa. Aineisto koostui subjektiivisesti valituista taimikoista Etelä-Suomen, Pohjanmaa-Kainuun ja Peräpohjolan metsäkasvillisuusvyöhykkeiltä (taulukko 1). Valinnalla pyrittiin mahdollisimman laajaan kasvupaikan ja runkoluvun vaihteluun. Mitatuista taimikoista 71 oli kylvetty ja 29 istutettu. 37 kylvötaimikkoa oli harvennettu. Taimikoista kaksi oli lehtomaisella, 26 tuoreella, 61 kuivahkolla ja yksi kuivalla kankaalla. Taimikoiden ikä oli mitattaessa 12–35 vuotta. Jokaisessa taimikossa mitattiin yksi koeala, joka sijoitettiin tasaiseen, hyvin onnistuneeseen kohtaan. Koealan koko oli 0,02–0,2 ha.

3.1.2 Mittaukset

Mittaukset on selostettu yksityiskohtaisesti kussakin osatutkimuksessa. Mittauksissa noudatettiin Metsäntutkimuslaitoksessa puuntuotoksen tutkimussuunnalla käytettyjä menetelmiä ja luokituksia, jotka on yksityiskohtaisesti selostettu Metsikkökokeiden maastotyöohjeissa (1987). Koska tutkimuksen aineistot kerättiin monentyyppisiltä koealoilta (tilapäiskoealat (**I, V, VI**) ja kestokoealat (**II–IV**)), eri havaintotasoilta (yksittäinen puu (**I, V**) ja koeala (**II–IV, VI**)) ja pitkän ajanjakson aikana vuosina 1968–1985, mittausmenetelmät ovat vaihdelleet eri osatutkimuksissa. Tärkeimpinä kriteereinä taimikkotutkimuksissa, joissa metsikön runkoluku on usein suuri, olivat mittausten taloudellisuus ja samanaikainen tarkkuus.

Osatutkimuksessa (**I**) tavoitteena oli selvittää nuorten istutusmäntyjen ulkoista laatua. Ulkoinen laatu on tyypillinen puukohtainen ominaisuus. Koealaksi valittiin sen takia pieni-alainen koeala, jonka keskipisteenä oli istutusmänty (keskuspuu). Puusta mitattiin runsaasti ulkoisen laadun tunnuksia (taulukko 2). Enintään viidestä naapuripuusta tehdyt mittaukset olivat samat kuin muiden osatutkimusten koepuumittaukset. Keskuspuiden vuosilustotieto oli osatutkimuksen (**V**) puukohtaisen lustonleveysmallin aineistona. Osatutkimuksen (**I**) koealat soveltuivat vain välttävästi metsikkötason tunnusten laskentaan.

Osatutkimuksessa (**II**) koepuut, joita mitattiin vähintään 50 jokaiselta koealalta, valittiin systemaattisesti istutusriveiltä. Koska istutuskuviointi oli hyvin säännöllinen koealan sisällä, puiden kartoitusta ei käytetty. Mittausten pääpaino oli istutuskuvioinnin vaiku-

tusten selvittämisessä, ja useimmat puutunnukset mitattiin sekä istutusrivin suuntaisesti että kohtisuoraan istutusriviä vastaan (taulukko 2).

Laajimmassa yksittäisessä aineistossa (**III**) kokeiden perustaminen ja taimikonharvennukset tehtiin 1971–75, jolloin koealojen puusto mitattiin vielä perinteisellä "mökkimenetelmällä", ja koepuut valittiin systemaattisesti koko runkolukusarjan alueelta. Periaatteessa samaa menetelmää käytettiin osatutkimuksessa (**VI**). Osatutkimuksen (**III**) uusintamittauksissa 4–8 vuotta taimikonharvennuksen jälkeen käytettiin 12 metsikössä Oikarisen (1978) kehittämää mittausmenetelmää, jonka luotettavuutta on selvittänyt Yrjönen (1980). Mittaus perustui käsittelykoealan sisälle rajoitettujen ympyräkoealojen (1–4) käyttöön. Ympyräkoealojen lukupuista kolmasosa koealan keskeltä oli koepuita. Kaikki puut kartoitettiin suunnan ja etäisyyden avulla. Lukupuita tuli olla vähintään sata luotettavien puustotunnusten laskemiseksi. Osatutkimuksen (**IV**) metsiköiden kolmas mittaus tehtiin ensiharvennuksen yhteydessä, jolloin kokeet muutettiin ns. HARKAS-kokeiksi (Vuokila 1986), ja mittauksissa noudatettiin näiden kokeiden mittausohjeita.

Taulukko 2. Kooste eri osatutkimusten koepuista mitatuista tunnuksista. Osatutkimuksen (V) kohdalle on merkitty vain lisämittaukset verrattuna osatutkimukseen (I).

tunnus	I	II	III	IV	V	VI
läpimitta (1 %:n korkeudella), mm	x					
läpimitta (10 %:n korkeudella), mm	x					
läpimitta (50 %:n korkeudella), mm	x					
rinnankorkeusläpimitta, mm	x	x	x	x		x
–"– ristikkäin, mm	x	x		x		x
vuotuinen sädekasvu, 0,1 mm						x
–"– , 0,01 mm					x	
yläläpimitta (3,5 m), mm		x	x			
–"– (6,0 m), mm				x		
kuoren paksuus, mm	x					x
pituus, cm	x					
–"– , dm		x	x	x		x
ikä, v	x	x	x	x		x
puun sijainti (suunta ja etäisyys)			x			
vuotuinen pituuskasvu, cm	x					x
5 vuoden pituuskasvu, cm	x					
–"– , dm		x	x			
vihreän latvuksen alaraja, dm	x	x	x	x		x
karsiutuneen rungonosan pituus, dm			x			
vihreän latvuksen leveys, dm	x					
paksuin elävä oksa, mm	x	x	x	x(osa)		
elävän oksan korkeus, cm		x	x			
–"– , dm	x					
oksakulma, 1/90°	x					
oksien lukumäärä/kiehkura	x					
paksuin kuollut oksa, mm	x	x	x	x(osa)		
kuolleen oksan korkeus, dm	x					
poikaoksa, mm	x					
tekninen laatu	x	x	x	x		
latvuskerros	x	x	x	x		
latvuksen muoto	x	x	x	x		
terveydentila	x	x	x	x		

Koepuiden mittaukset olivat monipuolisimmat osatutkimuksessa (**I**) (taulukko 2). Muita tarkempien oksatunnusten lisäksi siinä mitattiin keskuspuista kolme osakorkeusläpimittaa istutusmäntyjen runkomuodon analysoimiseksi. Paksuinta elävää ja kuollutta oksaa koskevat tunnukset mitattiin osatutkimuksissa (**I, II, III, IV**) tyvitukin alueelta eli neljän metrin matkalta maanpinnan tasolta lähtien.

3.2 Yhdistetty aineisto

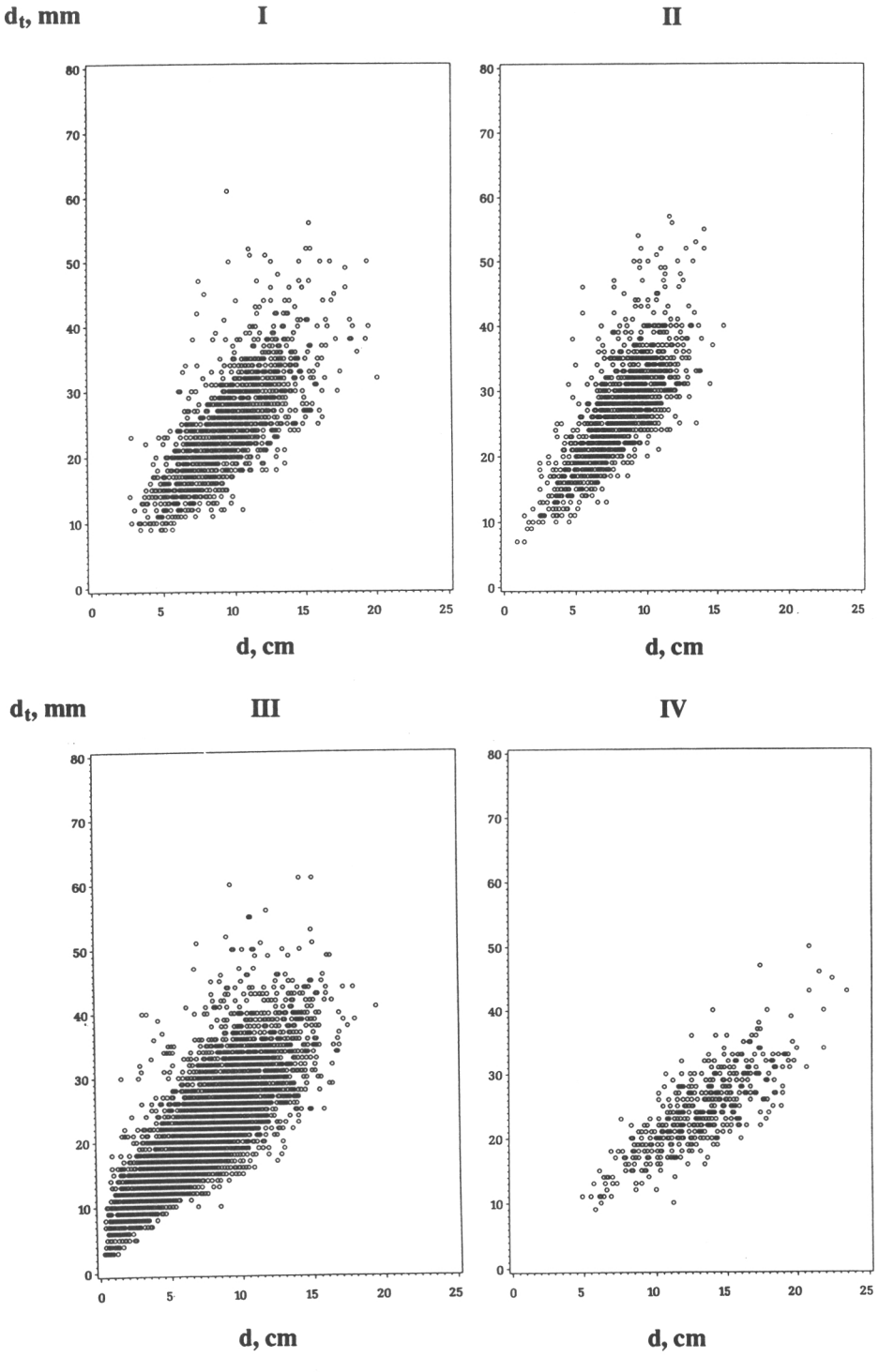
Yksittäisen puun tyvitukin (neljä metriä) paksuimman elävän oksan läpimitan mallittamista varten yhdistettiin osatutkimusten (**I, II, III, IV**) aineistot. Osatutkimuksen (**III**) aineistoon otettiin uutena mukaan koemetsiköiden 3 ja 23 kolmannen mittauksen tulokset vuodelta 1986, jotta aineistoon saatiin lisää havaintoja pidemmästä kehityksestä taimikonharvennuksen jälkeen. Taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituus ($H_{dom(h)}$) merkittiin istutustaimikoissa nollaksi. Kylvötaimikoissa se oli valtapituus taimikonharvennuksen jälkeen ja harventamattomilla koealoilla mittaushetken valtapituus.

Aineistossa oli 11 098 puuta, joiden paksuimman elävän oksan läpimitta oli 3–61 mm ja rinnankorkeusläpimitta 0,3–23,5 cm (taulukko 3). Keskiarvot olivat vastaavasti 22 mm ja 7,8 cm. Paksuimman elävän oksan läpimitan ja rinnankorkeusläpimitan välinen korrelaatiokerroin oli 0,78 ja hajonta kasvoi rinnankorkeusläpimitan suuretessa (kuva 4). Aineisto oli sekä oksaläpimitan että rinnankorkeusläpimitan suhteen normaalisti jakautunut, koska sekä vinouden että huipukkuuden tunnusluvut olivat alle yhden. Runkoluvun suhteen aineisto oli oikealle vino, mikä johtui osatutkimusten (**III, IV**) harventamattomien koealojen vaikutuksesta jakaumiin. Samansuuntainen oli myös taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituuden jakauma näissä aineistoissa. Kaksi kolmasosaa aineistosta (66,3 %) kuului osatutkimukseen (**III**). Tutkimusten (**I, II, IV**) osuudet olivat 14,9, 14,6 ja 4,2 %. Kylvettyjen puiden osuus (71,6 %) oli istutettuja (28,4 %) selvästi suurempi.

3.3 Mallitus

3.3.1 Metsikkötason kasvumalli

Metsikkötason kasvumallin (**VI**) ytimenä oli kuorettoman pohjapinta-alan vuotuista kasvua kuvaava malli. Mallin perustana oli teoria, jonka mukaan eri kasvutekijät vaikuttavat kokonaisuuteen tulomuotoisesti (Mitscherlich 1909, Baule 1917). Samaa perusoletusta on käytetty monissa pohjoismaisissa metsikön pohjapinta-alan kasvun (Eriksson 1976, Hägglund ym. 1979, Fryk 1984, Agestam 1985, Ekö 1985, Mielikäinen 1985, Persson 1992), metsikön tilavuuskasvun (Mielikäinen 1980, 1985), puun pohjapinta-alan kasvun (Mielikäinen 1980, 1985, Söderberg 1986) sekä puun läpimitan ja sädekasvun (Jonsson 1962, 1969) mallitusta käsittelevissä tutkimuksissa.



Kuva 4. Tyvitukin paksuimman elävän oksan (d_t) ja rinnankorkeusläpimitan (d) välinen riippuvuus eri osatutkimusten aineistoissa.

Taulukko 3. Yhdistetyn aineiston ja osatutkimusten aineistojen puu- ja metsikkötason muuttujien jakaumatunnukset.

	keskiarvo	keskihajonta	minimi	maksimi	vinous	huipukkuus
Yhdistetty aineisto, n=11 098						
d_t, mm	22,4	8,0	3	61	0,51	0,54
d, cm	7,8	3,2	0,3	23,5	0,34	0,34
d/D_{gM}	0,90	0,29	0,05	2,6	–0,20	0,42
N, kpl/ha	2 014	1 405	333	12 900	4,30	27,0
$H_{dom(h)}$, m	3,0	2,5	0,0	12,2	0,56	–0,04
H_{100}	23,2	2,5	16,2	31,1	–0,21	–0,84
I, n=1 657						
d_t, mm	24,4	7,7	9	61	0,64	0,85
d, cm	9,5	2,8	2,8	20,1	0,02	–0,55
d/D_{gM}	0,93	0,23	0,29	2,6	0,46	3,47
N, kpl/ha	1 824	6 84	333	4 667	0,67	0,90
$H_{dom(h)}$, m	0,0	0,14	0,0	4,1	4,77	22,5
H_{100}	24,4	2,6	16,2	31,1	–0,24	–0,58
II, n=1 618						
d_t, mm	26,4	7,4	7	57	0,49	0,96
d, cm	8,0	2,3	0,9	15,5	–0,12	–0,09
d/D_{gM}	0,89	0,23	0,11	1,7	–0,28	–0,01
N, kpl/ha	1 533	927	729	4 578	1,77	2,84
$H_{dom(h)}$, m	0,0	–	–	–	–	–
H_{100}	25,8	0,8	24,2	27,4	0,30	–0,59
III, n=7 355						
d_t, mm	21,0	7,8	3	61	0,59	0,62
d, cm	7,1	3,0	0,3	19,5	0,24	–0,12
d/D_{gM}	0,89	0,32	0,05	2,0	–0,21	–0,00
N, kpl/ha	2 149	1 566	556	12 900	4,29	24,3
$H_{dom(h)}$, m	4,0	2,5	2,2	9,5	1,40	1,32
H_{100}	22,3	2,3	17,8	27,3	–0,04	–0,95
IV, n=468						
d_t, mm	24,0	6,4	9	50	0,52	0,86
d, cm	13,0	3,3	4,9	23,5	0,20	–0,10
d/D_{gM}	1,0	0,24	0,44	1,8	0,20	–0,03
N, kpl/ha	2 242	1 541	1 000	6 910	1,90	2,74
$H_{dom(h)}$, m	7,1	1,4	6,2	12,2	2,71	6,43
H_{100}	24,8	1,1	23,2	27,2	0,13	–0,79

Metsikön kasvutapahtuma voidaan mallin perustana olevan teorian mukaan kuvata seuraavasti (ks. Hägglund ym. 1979):

kasvu = f(kasvupaikan viljavuus, biomassan määrä, biomassan kyky tuottaa yhteyttämistuotteita)

Kasvupaikan viljavuus kuvattiin kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallissa pituusboniteetilla, joka korreloi puuntuotoskyvyn eli boniteetin kanssa (esim. Vuokila ja Väliaho 1980). Kasvupaikka on kuvattu suomalaisissa kasvututkimuksissa metsätyypin lisäksi esimerkiksi iän ja tilavuuden (Mielikäinen 1980), iän ja valtapituuden (Vuokila 1965,

Vuokila ja Väliaho 1980) tai pituusboniteetin (Mielikäinen 1985) avulla. Kasvupaikan viljavuuden määrittämisen perusteita käsitellään lähemmin alaluvussa 3.4.

Biomassan määrää kuvattiin kasvujakson alkuun mennessä keräytyneellä pohjapinta-alalla ja taimikon runkoluvulla. Runkoluvun lisäys merkitsee taimikoissa aina myös pohjapinta-alan kasvun lisäystä. Pohjapinta-alan vuotuisen kasvun kulminaatio saavutetaan männiköissä varhaisella iällä (Assmann 1970). Kasvumallin tuli kuvata joustavasti tämä suhteellisen nopeasti ajan suhteen muuttuva tilanne.

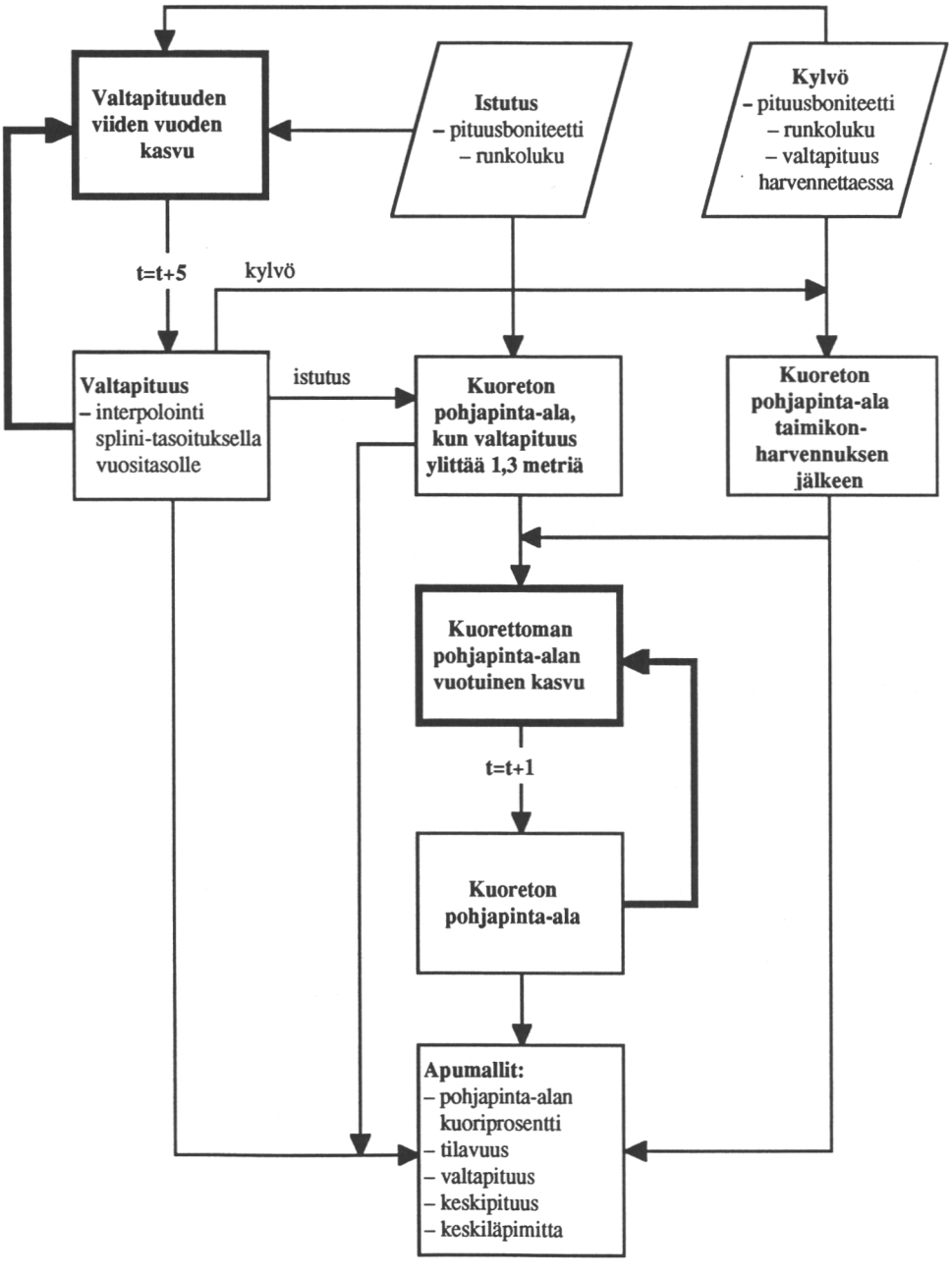
Biomassan kykyä tuottaa yhteyttämistuotteita kuvattiin puiden keskinäiseen sijaintiin liittyvillä tunnuksilla eli syntytavalla ja taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituudella. Voitiin olettaa, että istutustaimikossa kasvupaikan kasvuolosuhteet ovat paremmin käytössä kuin kylvötaimikossa tasaisemman tilajärjestyksen vuoksi. Kylvötaimikossa oletettiin lisäksi, että mitä aikaisemmin kylvötaimikko harvennettiin, sen parempi oli pohjapinta-alan kasvu harvennuksen jälkeen.

Mallin syöttötietoina olivat syntytapa, pituusboniteetti, runkoluku ja kylvötaimikoissa taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituus (kuva 5). Kuorettoman pohjapinta-alan lähtöarvo ennustettiin istutustaimikoissa ja harventamattomissa kylvötaimikoissa sen jälkeen, kun valtapituus ylitti 1,3 metriä ja harvennetuissa kylvötaimikoissa taimikonharvennuksen jälkeen.

Valtapituuden kehitys kuvattiin valtapituuden viiden vuoden kasvua ennustavalla yhtälöllä. Tämän ja kuorettoman pohjapinta-alan vuotuista kasvua kuvaavan dynaamisen kasvumallin lisäksi viljelymänniköiden kasvumallia varten laadittiin seuraavat staattiset apumallit (kuva 5):
– kuoreton pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnankorkeuden
– kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen
– kuoreton pohjapinta-ala kuorelliseksi ja päinvastoin
– kuorellinen tilavuus
– pohjapinta-alamediaanipuun pituus
– pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta.

3.3.2 Puutason lustonleveysmalli

Puutason lustonleveysmallin (**V**) teoreettinen perusta oli sama kuin metsikkötason mallissa. Sädekasvua rinnankorkeudella ennustettiin pituusboniteetilla, rungon säteellä rinnankorkeudella, taimikon tiheydellä sekä puun asemalla metsikössä eli rinnankorkeusläpimitan ja pohjapinta-alamediaaniläpimitan suhteella. Sädekasvu rinnankorkeudella muutettiin lustonleveydeksi kaatoleikkauksessa osatutkimuksen (**I**) aineistosta lasketulla rinnankorkeus- ja kantoläpimittojen suhteella. Istutusmännyistä saatavan sahatavaran laatua ennustettiin kaatoleikkauksesta 75 mm:n matkalla ytimestä estimoidulla keskimääräisellä lustonleveydellä, joka Uusvaaran (1981b) tutkimuksessa oli paras lustonleveyteen perustuva sahatavaran laatua selittävä muuttuja. Simuloinneissa käytettiin raja-arvoina Uusvaaran



Kuva 5. Metsikkötason kasvumallin yleisrakenne. Vinoneliö: syöttötiedot, vahvennettu laatikko: dynaaminen malli, muut laatikot: staattinen malli.

(1981b) ja Halisen (1985) tutkimusten mukaisesti huonolle sahatavaran laadulle 3 mm:n ja hyvälle laadulle 2 mm:n keskimääräistä lustonleveyttä.

3.3.3 Sekamalli

Tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimitta mallitettiin yhdistetystä aineistosta (alaluku 3.2) sekamallilla (Lappi 1993), jossa otetaan huomioon yksittäisten havaintojen välinen riippuvuus samalla koealalla. Lineaarisen mallin kiinteinä muuttujina olivat puukohtaiset ja koealakohtaiset tunnukset:

$$d_{tij} = f(x1_{ij}, x2_{ij}, \ldots X1_j, X2_j, \ldots) + p_j + e_{ij} \qquad (333.1)$$

missä on d_{tij} puun i paksuimman elävän oksan läpimitta koealalla j, $x1_{ij}$, ja $x2_{ij}$ puuta i kuvaavia muuttujia koealalla j, $X1_j$ ja $X2_j$ koealaa j kuvaavia muuttujia, p_j koealan satunnaistekijä ja e_{ij} mallin virhetermi. Metsikkötason sijasta päädyttiin koealakohtaisiin muuttujiin, koska kaikki taimikkoa kuvaavat puustotunnukset oli laskettu koealakohtaisesti pituusboniteettia myöten. Etenkin runkoluvut metsiköiden sisällä poikkesivat toisistaan eri käsittelyvoimakkuuksien takia.

3.4 Pituusbonitointi

Kasvupaikan viljavuutta kuvaavan metsätyypin tai veroluokan ja niiden tarkenteiden käyttöön kasvumallien selittävänä muuttujana liittyy useita ongelmia. Ensinnäkin, metsätyypin määritys taimikossa voi olla epävarmaa (esim. Kujala 1979, Vuokila 1980), koska metsätyyppien tyyppikasvillisuus on aikoinaan määritelty varttuneissa metsiköissä. Toiseksi, kasvupaikan karkeasti kuvaavan luokkamuuttujan käyttö on regressiomalleissa jatkuvia muuttujia huomattavasti rajoitetumpaa. Kolmanneksi, saman metsätyypin sisällä kasvupaikkavaihtelu saattaa olla hyvinkin suurta ja esimerkiksi valtapituuden kehityksen suhteen yksittäiset metsiköt eri metsätyypeillä menevät ristikkäin, vaikka keskiarvoina esitettyinä metsätyypit muodostavatkin loogisen sarjan (esim. Tamminen 1993). Kaikissa osatutkimuksissa määritettiin kuitenkin taimikoiden kasvupaikan viljavuus maastossa alustavasti metsätyyppiin perustuen. Useimmissa taimikoissa ja koealoilla määritys voitiin varmistaa metsätaloussuunnitelmien ja metsänuudistamissuunnitelmien avulla.

Edellä esitettyjen metsätyyppiluokitukseen liittyvien rajoitusten vuoksi tässä tutkimuksessa päädyttiin pituusboniteetin (H_{100}) käyttöön kasvupaikan viljavuuden kuvaamisessa. Vuokilan ja Väliahon (1980) esittämää viljelymänniköiden valtapituuden kasvuprosenttimallia testattiin osatutkimuksen (**VI**) taimikoissa. Koska yhtälö antoi sovellusalueensa alarajalla systemaattisesti liian korkeita pituusboniteettiarvoja metsätyyppien vastinpituusboniteetteihin verrattuna, päädyttiin kokeilujen jälkeen käyttämään Ruotsissa kehitettyä välipituusmenetelmää (Hägglund 1976). Menetelmässä mitataan valtapuiden viiden vuoden pituuskasvu ($I_{Hdom(2,5)}$, dm) alkaen 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta ja pituusboniteetti (H_{100}, dm) saadaan yhtälöllä:

$$\ln(H_{100}) = 3{,}76455 + 0{,}54467 \ln(I_{Hdom(2,5)}) \quad (34.1)$$

Menetelmä perustuu kahteen perusoletukseen. Ensinnäkin, kun taimikon valtapituus saavuttaa 2,5 metriä, eivät alkuvaiheen pituuskasvua häiritsevät tekijät, kuten heinät ja vesat, enää vaikuta pituuskasvuun, vaan puut kasvavat kasvupaikan viljavuuden edellyttämällä vauhdilla. Toiseksi, valtapituuden vuotuisen kasvun kulminaatio on 4–6 metrin valtapituudella, joten erot valtapituuden kasvussa ovat tuolloin suurimmillaan eri kasvupaikkojen välillä, ja pituusboniteetin estimointi on siten tarkinta.

Sekä luontaisesti että viljellen syntyneiden metsiköiden aineistoon perustuvan yhtälön soveltuvuutta Suomeen tarkasteltiin erityisesti osatutkimuksessa (**VI**) ja pituusboniteettiarvoja verrattiin Vuokilan ja Väliahon (1980) mallilla esimoituihin pituusboniteettiarvoihin myös osatutkimusten (**I, II, III, IV**) aineistoilla.

4 Tulokset

4.1 Viljelytaimikoiden pituusboniteetit

Osatutkimuksessa (**VI**) todettiin, että Vuokilan ja Väliahon (1980) valtapituuden kasvuprosenttimallilla saatiin metsätyyppiä jokseenkin hyvin vastaava pituusboniteettiestimaatti (H_{100}) vain hyvin rehevillä kasvupaikoilla, mutta sekä keskinkertaisilla että etenkin karuilla kasvupaikoilla malli antoi selvän yliarvion. Hägglundin (1976) välipituusmenetelmällä sen sijaan todettiin saatavan metsätyyppiä melko hyvin vastaava pituusboniteettiestimaatti suurimmalla osalla aineistoa.

Tämän tuloksen varmentamiseksi näitä kahta pituusbonitointimenetelmää verrattiin toisiinsa myös osatutkimusten (**I, II, III, IV**) niillä koealoilla, joilla oli mitattu Hägglundin (1976) menetelmän mukainen välipituus valtapuista (taulukko 4). Tarkasteluun otettiin suurin yksittäinen kasvupaikkatyyppi, Etelä-Suomen kasvillisuusvyöhykkeen kuivahkot kankaat, jotka Vuokilan ja Väliahon (1980) mukaan viljelymännikköinä kuuluvat pituusboniteettiluokkaan H_{100}=21–24.

Myös näissä neljässä erillisessä aineistoissa Vuokilan ja Väliahon (1980) mallilla estimoidut pituusboniteetit olivat systemaattisesti vähintään yhden luokan (kolme metriä) korkeammat kuin niiden olisi kuulunut olla pituusboniteetin ja metsätyypin vastaavuuden mukaan (taulukko 4). Hägglundin (1976) mallilla pituusboniteettiestimaatit asettuivat keskimäärin puolukkatyypin paremmalle puolelle. Menetelmien välinen ero oli pienin, 0,9 metriä, osatutkimuksen (**I**) aineistossa, jossa Vuokilan ja Väliahon (1980) menetelmässä tarvittavan valtapituuden laskenta oli kuitenkin pienen koealakoon vuoksi epävarminta, mitä kuvastaa myös pituusboniteettiestimaattien suuri keskihajonta. Muissa osatutkimuksissa keskimääräinen ero menetelmien välillä oli 2,4–3,7 metriä.

Tulos osoitti Hägglundin (1976) välipituusmenetelmän käyttökelpoiseksi suomalaisissa männyn viljelytaimikoissa, ja tällä tavoin laskettuja pituusboniteetteja voitiin käyttää kasvupaikan viljavuuden kuvaajana kasvumalleissa. Niille metsiköille, joissa ei ollut mitattu (**II**, taimikko 3, **III**, taimikot 11, 12, 13, 20 ja 21) tai joissa ei voitu laskea (**VI**, 38 taimikkoa) Hägglundin (1976) menetelmän mukaisia pituuskasvuja, pituusboniteetti estimoitiin osatutkimuksen (**VI**) valtapituuden kasvumallin avulla.

Taulukko 4. Iän ja valtapituuden (Vuokila ja Väliaho 1980) sekä välipituuden (Hägglund 1976) avulla estimoidut pituusboniteetit (H_{100}) Etelä-Suomen metsäkasvillisuusvyöhykkeen puolukkatyypin taimikoissa.

	Vuokila ja Väliaho (1980)		Hägglund (1976)	
	keskiarvo	keskihajonta	keskiarvo	keskihajonta
I, n=75	25,7	2,4	24,8	1,4
II, n=25	28,5	0,7	25,9	0,9
III, n=29	26,4	1,4	24,0	1,2
IV, n=57	28,1	1,0	24,4	1,5

4.2 Istutusmäntyjen ulkoinen laatu (I, II)

Istutusmäntyjen ulkoista laatua kuvattiin runkomuodolla, oksikkuudella, latvuksen ominaisuuksilla ja vikaisuudella (I). Erikseen selvitettiin istutuskuvioinnin vaikutusta rungon pyöreyteen ja oksien paksuuteen (II).

Isututusmäntyjen ulkoinen laatu osoittautui huonoksi. Puiden solakkuusluku (pituus/rinnankorkeusläpimitta) oli luontaisesti syntyneitä mäntyjä selvästi pienempi. Solakkuuteen istutusmänniköissä vaikutti etenkin taimikon runkoluku, mutta myös metsätyyppi (I). Samaläpimittainen puu oli sitä pitempi, mitä tiheämpi taimikko ja mitä parempi kasvupaikka oli. Eri tekijöiden vertailua vaikeutti kuitenkin aineiston vinous; runkoluku kasvoi kasvupaikan viljavuuden lisääntyessä ja näiden välinen korrelaatiokerroin oli 0,38.

Runkomuotoa selitti parhaiten latvussuhde. Runkomuoto oli sitä parempi, mitä pienempi latvussuhde oli. Runkomuoto oli sitä parempi, mitä suurempi taimikon runkoluku oli ja myös mitä rehevämpi metsätyyppi oli. Nämä olivat kuitenkin sidoksissa toisiinsa; paremmilla kasvupaikoilla taimikot olivat tiheämpiä ja latvussuhde taas oli sitä pienempi, mitä suurempi runkoluku oli. Latvuksen pituudesta riippumatta istutusmäntyjen tyvilaajentuma oli luontaisesti syntyneiden mäntyjen tyvilaajentumaa selvästi pienempi. Mallilla laskien ero oli 1,0 cm, kun rinnankorkeusläpimitta oli 9 cm, ja 1,5 cm, kun rinnankorkeusläpimitta oli 15 cm (I, V).

Paksuin oksa neljän metrin matkalla maan pinnan tasolta lukien oli poikkeuksetta vielä elävä ja sijaitsi 1–3 metrin korkeudella puun koon mukaan (I). Rinnankorkeusläpimitan lisäksi oksanpaksuuteen vaikutti taimikon runkoluku. Mitä harvempi taimikko oli, sitä paksumpi oli paksuin oksa. Oksaläpimitan ero runkoluvultaan hyvin harvojen ja tiheiden taimikoiden samaläpimittaisten puiden välillä (600–3 000 puuta/ha) oli keskimäärin noin 5 mm (I). Koska taimikoiden runkoluku oli suurempi rehevämmillä kasvupaikoilla, samaläpimittaisilla puilla paksuimmat elävät oksat olivat karuimmilla kasvupaikoilla. Regressioanalyysissä pituusboniteetti ei ollut merkitsevä oksan paksuuden selittäjä.

Paksuimmat kuivat oksat löytyivät reheviltä kasvupaikoilta. Tämä aiheutui, ei niinkään kasvupaikasta, vaan vihreän latvuksen alarajan eroista eri metsätyypeillä, mikä taas oli seurausta runkolukueroista. Käenkaali-mustikkatyypillä latvusraja oli 2–3 metrin korkeudella, kun se puolukkatyypillä oli noin yhden metrin korkeudella. Latvussuhde oli keskimäärin 80 %, suurin puolukkatyypillä, 84 %, ja pienin käenkaali-mustikkatyypillä, 65 %. Erot eri kasvupaikkojen välillä johtuivat kuitenkin runkoluku- ja pituuseroista, eivät kasvupaikan rehevyydestä tai karuudesta (I).

Istutusmännyissä oli runsaasti poikaoksia, sitä enemmän, mitä karumpi kasvupaikka oli. Keskimäärin poikaoksia oli 30 %:ssa puita. Vaikka lähes 2/3 puista luokiteltiin tekniseltä laadulta normaaleiksi, puissa oli runsaasti teknistä laatua heikentäviä vikoja. OMT:llä vain 35 %:ssa puita ei ollut vikoja. Yleisin vika, ranganvaihto ja/tai poikaoksa, oli joka kolmannessa puussa. Vinotyvisyyttä sen sijaan esiintyi vain 3 %:ssa puita (I).

Neliömäisestä poikkeava istutuskuviointi vaikutti istutusmäntyjen ulkoiseen laatuun (II). Taimikoissa, joiden valtapituus oli 5–6 metriä ja keskiläpimitta 8 cm, havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero taimirivin suuntaisen ja sitä kohtisuoraan mitatun rinnankorkeusläpimitan suhteessa, eli rungot olivat poikkileikkaukseltaan epäpyöreitä. Koealoittaisten rinnankorkeusläpimitan keskiarvojen suhde erosi merkitsevästi sekä taimikoiden ($P<0,01$) että istutuskuvioinnin ($P<0,01$) välillä. Absoluuttiset erot olivat kuitenkin pieniä. Suurin koealoittainen keskiläpimitan ero, 1,1 mm, oli istutuskuvioinnilla 5,0•0,8 m (2 500 puuta/ha).

Neliömäisestä poikkeava istutuskuviointi näkyi myös puiden paksuimpien oksien läpimitoissa (II). Oksat kasvoivat paksummiksi riviväleihin päin. Suurin ero koealoittaisissa paksuimman elävän oksan keskiarvoissa, 2,5 mm, oli harvimmissa asennoissa, joissa myös rinnankorkeusläpimitta oli suurin. Kun runkoluku saavutti 2 500 puun/ha, istutuskuvioinnilla ei enää ollut vaikutusta rivi- ja taimivälin suuntaisiin oksanpaksuuden eroihin. Suorakaiteen muotoinen istutuskuviointi tuotti keskimäärin ohuempia oksia kuin neliömäinen. Ero oli kuitenkin vähäinen, keskimäärin yhden mm:n verran.

Istutuskuviointi ei vaikuttanut kuolleisuuteen, mutta suhteellinen kuolleisuus oli sitä suurempi, mitä suurempi runkoluku oli. Kuolleisuus vaihteli harvaan istutettujen koealojen 6 %:sta 15–20 %:iin istutustiheyksillä 2 500–5 000 tainta/ha (II).

4.3 Kylvömänniköiden kehitys taimikonharvennuksen jälkeen (III, IV)

Kylvettyjen männyntaimikoiden kehitykseen vaikuttavat kylvötavan (hajakylvö *vs.* pistekylvö) lisäksi sekä kylvötuppaiden hajoituksen (=taimikonharvennuksen) ajankohta että harvennuksen jälkeinen runkoluku. Taimikonharvennuksen ajankohdan suhteen osatutkimuksessa (III) oli sekä normaalivaiheessa (valtapituus alle neljä metriä) että myöhästyneitä, ns. riukuvaiheessa harvennettuja (valtapituus 4–8 metriä). Runkoluku taimikonharvennuksen jälkeen vaihteli laajasti taimikonharvennuksen ohjerunkoluvun (2 000 puuta/ha) molemmin puolin. Osatutkimuksen (IV) kaikissa metsiköissä taimikonharvennus tehtiin hyvin myöhäisessä vaiheessa, jolloin valtapituus oli noin seitsemän metriä.

Taimikonharvennuksen jälkeinen runkoluku ei vaikuttanut valtapituuden vuotuiseen kasvuun (III, IV). Myöskään sillä, millä valtapituudella taimikko oli harvennettu, ei ollut vaikutusta pituuskasvuun. Keskiläpimitan kasvu oli selkeästi sitä suurempi, mitä voimakkaammin taimikko oli harvennettu ja mitä aikaisemmin taimikko oli harvennettu. Osa kasvunlisäyksestä johtui alaharvennustyyppisen taimikonharvennuksen aiheuttamasta keskiläpimitan lisäyksestä. Valtaläpimitta oli 4–8 vuotta harvennuksen jälkeen 0,5–1,0 cm suurempi verrattaessa tiheyttä 600 puuta/ha lievimpään harvennusvaihtoehtoon 4 000 puuta/ha (III). Järeysluokittain tarkasteltuna kasvutilan avartuminen lisäsi läpimitan kasvua 0,5–1,0 mm vuodessa 10–12 vuoden kasvujaksolla siirryttäessä taimikonharvennuksessa voimakkuudeltaan seuraavaan käsittelyyn, mikä kuvasi taimikonharvennuksen todellista vaikutusta puiden läpimitan kasvuun (IV).

Runkotilavuuden kasvu lisääntyi runkoluvun lisääntyessä aina kasvatustiheydelle 4 000 puuta/ha saakka ja sitä enemmän, mitä parempi kasvupaikka oli (**III, IV**). Läpimitan kasvun lisääntyminen runkoluvun vähentyessä ei siten kyennyt korvaamaan puustopääoman vähentymistä. Vuotuinen tilavuuskasvu oli suurin myöhäisessä vaiheessa harvennetuissa taimikoissa (**III**).

Käyttöpuun kokonaismäärä lisääntyi kasvupaikan parantuessa ja metsikön ikääntyessä. Puolukkatyypin rehevämmällä osalla oli 2 500 kuiturunkoa/ha jo selvästi ennen ensiharvennusta (valtapituus 10 metriä), kun kokonaisrunkoluku oli 3 000 puuta/ha ja miltei 3 000 kuiturunkoa/ha kokonaisrunkoluvulla 4 000 puuta/ha (**III**). Ensiharvennuksessa valtapituudella 12 metriä vastaavat runkoluvut olivat noin 2 800 ja 3 200 kuiturunkoa/ha (**IV**). Kuitupuurungon keskikoko suureni sitä jyrkemmin, mitä voimakkaammin taimikko oli harvennettu. Käyttöpuun määrä (latvaläpimitta yli 5,5 tai 7,5 cm) oli ensiharvennuksessa suurin lievimmin käsitellyillä koealoilla. Jos latvaläpimittavaatimus oli 9,5 cm, eniten käyttöpuuta oli runkoluvulla 2 200 puuta/ha, ja latvaläpimittavaatimuksen ollessa 14,5 cm käyttöpuuta oli eniten voimakkaimmin harvennetuilla koealoilla (**IV**).

Alaharvennusperiaatteella tehdyssä ensiharvennuksessa puuta poistettiin keskimäärin 58 m^3/ha (**IV**). Suurin osa poistumasta oli latvaläpimitaltaan 9,5–14,5 cm:n mittaista kuitupuuta, jonka osuus oli suurin runkoluvun ollessa taimikonharvennuksen jälkeen 2 200 puuta/ha. Järeysluokan 5,5–7,5 cm puuta saatiin eniten lähtöpuuston runkoluvuilla 3 000–4 000 puuta/ha, jolloin myös hukkapuun määrä oli suurin. Harvennuspuun kuiturunkojen käyttöosan (latvaläpimitta yli 5,5 cm) keskikoko oli 30–60 dm^3 ja sitä suurempi, mitä alempi runkoluku oli ollut ennen ensiharvennusta.

Kuten istutusmännyillä myös kylvömännyillä oksanpaksuuden ja rinnankorkeusläpimitan välillä oli lineaarinen positiivinen korrelaatio (**III**). Peruspuiden (500 paksuinta puuta/ha) paksuimpien elävien oksien läpimitta oli keskimäärin 22–32 mm. Oksanpaksuudet poikkesivat keskimääräisistä samaläpimittaisilla puilla vain hyvin harvoilla tai hyvin tiheillä runkoluvuilla (alle 1 200 ja yli 3 600 puuta/ha). Harvennusajankohta vaikutti oksanpaksuuksiin. Jos taimikko harvennettiin vasta valtapituuden ollessa 5–6 metriä, paksuimpien elävien oksien läpimitta jäi yleensä alle 30 mm:n. Aikaisemmin harvennettaessa paksuimpien oksien läpimitta oli yli 30 mm jo keskimäärin viisi vuotta harvennuksen jälkeen. Kuivat oksat olivat paksuimpia runkoluvun ollessa suuri. Tämä oli seurausta nopeasta elävän latvuksen pienenemisestä.

Taimikonharvennuksen voimakkuudella oli suurin vaikutus latvussuhteeseen aikaisin harvennettaessa, jolloin latvussuhteen pieneneminen alhaisella runkoluvulla oli hidasta. Jos taimikko harvennettiin valtapituuden ollessa 5–6 metriä, puiden latvuksen luontainen karsiutuminen oli jo päässyt vauhtiin latvuston sulkeutumisen myötä eikä harvennusvoimakkuudella enää ollut niin suurta vaikutusta kuin aikaisemmin harvennettaessa (**III**). Myöhäänkin tehdyn taimikonharvennuksen jälkeen mäntyjen latvussuhde oli ensiharvennusvaiheessa vielä yli 50 % lukuun ottamatta pienimpiä puita tiheimmillä koealoilla (**IV**).

4.4 Malli istutusmäntyjen lustonleveydelle (V)

Nuorten istutusmäntyjen lustonleveydelle laadittiin ennustemalli. Lustonleveysmallilla kuvattiin säteen kasvu rinnankorkeusiältä yksi eteenpäin. Alkuarvon saamiseksi ytimen säteelle laadittiin malli, jossa selittävinä muuttujina olivat puun asema ja metsikön tiheys. Lisäksi laadittiin malli rinnankorkeus- ja kantoläpimitan väliselle suhteelle.

Lustonleveys oli puun aseman ja pituusboniteetin suhteen nouseva ja taimikon tiheyden suhteen laskeva. Puun säteen suhteen tarkasteltuna luston leveys oli ensin nouseva, saavutti maksimin, 4 mm, 1,5 cm:n kohdalla ja laski siten, että leveys oli alle 2 mm säteen ollessa 8 cm, kun muille tekijöille annettiin arvoiksi aineiston keskiarvot. Kasvupaikan hyvyys (H_{100}=21–30) vaikutti lustonleveyden maksimiin 2 mm eli lustonleveys kasvoi 3:sta 5 mm:iin.

Lustonleveysmallin selitysaste jäi alhaiseksi (29,7 %) ja suhteellinen keskivirhe suureksi (43,1 %), eikä mallilla siten kyetty kuvaamaan läheskään kaikkia lustonleveyteen vaikuttavia tekijöitä. Mitattujen muuttujien lisäksi puiden vuosittaiseen kasvuun vaikuttanevat monet muut tekijät, esimerkiksi taimikon tilajärjestys, kasvupaikan mikrovaihtelu, juuriston kunto ja taimikkovaiheen tuhot. Mallin systemaattinen virhe oli –1,41 % eli –0,041 mm. Mallilla saatiin yliarvio lustonleveydelle, kun säde oli yli 5 cm, kasvuindeksi alle 85 tai pituusboniteettiluokka oli 21. Selvimmin malli aliarvioi lustonleveyttä, kun kasvuindeksi oli yli 105 ja hyvin harvoissa taimikoissa (alle 1 000 puuta/ha).

Ytimen leveys oli keskimäärin noin 4 mm ja vaihtelu suurta. Mallin selitysaste oli hyvin alhainen, 3,9 %. Taimen suhteellisen koon kasvaminen ja metsikön tiheyden väheneminen kasvattivat ytimen sädettä vähäisessä määrin. Kantoläpimitan ja rinnakorkeusläpimitan suhdetta kuvaava yhtälö osoitti, että istutusmäntyjen tyvilaajentuma on luontaisesti syntyneiden mäntyjen (Laasasenaho 1982) tyvilaajentumaa pienempi.

Malleja sovellettiin ennustamalla keskimääräistä lustonleveyttä puun kaatoleikkauksesta 75 mm:n matkalla ytimestä. Tarkastelun kohteeksi otettiin keskimääräiset lustonleveydet 2 mm, jolloin sahatavaran u/s-laadun saanto on suuri ja 3 mm, jolloin sahatavarasta ei enää juurikaan saada u/s-laatua (Halinen 1985, Uusvaara 1981b, Kellomäki ym. 1992). Lustonleveydellä arvioituna istutusmänniköistä ei saada korkealaatuista sahatavaraa. Vain puolukkatyypin karummalla osalla (H_{100}=21) kaikkien puiden keskimääräinen lustonleveys jäi alle 3 mm:n silloin, kun kasvatustiheys oli vähintään 4 000 puuta/ha. Kasvatustiheydellä 2 000 puuta/ha alle puolella runkolukusarjan pienimmistä puista keskimääräinen lustonleveys jäi 2 mm:iin tai sen alle. Puolukkatyypin rehevämmällä osalla (H_{100}=24) vain kaikkein pienimmillä puilla keskimääräinen lustonleveys jäi 2 mm:iin ja mustikkatyypillä (H_{100}=27) tai käenkaali-mustikkatyypillä (H_{100}=30) tällaisia puita ei ollut lainkaan. Mustikkatyypillä kolmasosalla ja käenkaali-mustikkatyypillä noin puolella runkolukusarjan paksuimmista puista keskimääräinen lustonleveys oli yli 3 mm myös runkoluvulla 4 000 puuta/ha.

4.5 Istutus- ja kylvömänniköiden kasvumalli (VI)

Viljelymänniköille laadittiin metsikkötason kasvumalli valtapituudelle 0–10 metriä ja/tai iälle 1–40 vuotta. Mallin avulla kuvattiin vuosittain iästä yksi alkaen valtapituus ja valtapituuden saavutettua 1,3 metriä myös kuorettoman ja kuorellisen pohjapinta-alan kasvu, keskipituus ja keskiläpimitta (pohjapinta-alamediaanipuu) sekä kuorellinen tilavuus. Mallin vaatimat syöttötiedot olivat kasvupaikka (pituusboniteetti H_{100}=15–30), runkoluku (1 000–20 000 puuta/ha kylvömänniköissä, 1 000–6 000 puuta/ha istutustaimikoissa) ja taimikonharvennuksen ajankohta kylvötaimikoissa (valtapituus 1,5–8 metriä).

Kasvumallin ydin oli kuorettoman pohjapinta-alan vuotuista kasvua kuvaava malli. Mallin mukaan vuotuisen kasvun maksimi saavutettiin pohjapinta-alalla 8 m^2/ha. Kasvu lisääntyi kasvupaikan viljavuuden ja runkoluvun lisääntyessä. Mitä myöhemmin kylvötaimikko harvennettiin, sitä pienemmäksi kasvu jäi. Kylvötaimikossa vuotuinen kasvu oli keskimäärin 0,2 m^2/ha pienempi kuin istutustaimikossa. Kuorettoman pohjapinta-alan vuotuisen kasvun kulminaatio saavutettiin sitä aiemmin, mitä parempi kasvupaikka oli, 14 vuoden iällä pituusboniteetilla H_{100}=30 ja 30–35 vuoden iällä pituusboniteetilla H_{100}=15. Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallin suhteellinen keskivirhe oli 26,2 %, joten osa pohjapinta-alan kasvun vaihtelusta jäi selittämättä. Keskivirhe oli samansuuruinen kuin muissa pohjapinta-alan kasvua kuvaavissa malleissa (Fryk 1984, Ekö 1985, Persson 1992).

Viljelymänniköiden alkukehitys osoittautui kasvumallin mukaan nopeaksi. Valtapuilta kului rinnankorkeuden saavuttamiseen 5–11 vuotta pituusboniteetin mukaan (H_{100}=30–15). Kylvötaimikoiden valtapituuden kehitys rinnantasalle oli noin vuoden istutustaimikoita nopeampaa. Eron katsottiin johtuvan pääasiassa otannasta, jossa kylvötaimikot lienevät painottuneet istutustaimikoita selvemmin parhaiten onnistuneisiin kohteisiin. Valtapituuden kasvumallissa syntytapaa ei käytetty muuttujana, vaan pituuskehityksen oletettiin olevan samanlainen sekä kylvö- että istutustaimikoissa (ks. esim. Räsänen ym. 1985). Valtapituuden vuotuinen kasvu oli suurimmillaan 73 cm pituusboniteetilla H_{100}=30 iällä 15 vuotta. Pituusboniteetilla H_{100}=15 vuotuisen kasvun maksimi oli 22 cm iällä 20 vuotta.

Vuotuinen tilavuuskasvu lisääntyi iän myötä yleensä ainakin valtapituudelle 10 metriä saakka toisin kuin pohjapinta-alan vuotuinen kasvu, joka saavutti kulminaatiopisteen aiemmin. Etenkin tiheissä kylvötaimikoissa malli osoitti tilavuuskasvun laantuvan sen jälkeen, kun valtapituuden kasvu ohitti vuotuisen maksimin. Karun kasvupaikan harventamattomissa kylvötaimikoissa tilavuuden vuotuinen kasvu saavutti kulminaatiopisteen jo hieman ennen 10 metrin valtapituutta.

Kasvumallia (**VI**) testattiin osatutkimusten (**III, IV**) kylvömänniköihin. Staattisia apumalleja (tilavuus, keskipituus ja -läpimitta) verrattiin osatutkimusten (**III, IV**) kaikkien mittauskertojen tuloksiin, pituusboniteettia ja taimikonharvennuksen jälkeistä pohjapinta-alaa osatutkimuksen (**III**) niihin taimikoihin, joista oli tehty tarkat puustomittaukset myös taimikonharvennuksen yhteydessä ja pohjapinta-alan kehitystä samassa aineistossa (**III**) sekä myös pitemmällä ajanjaksolla (**IV**). Pohjapinta-alaestimaattien vertailu tehtiin kuorellisina arvoina, joten osatutkimuksen (**VI**) malleilla estimoituihin kuorettomiin arvoihin tehtiin kuoriprosenttimallin mukaiset lisäykset.

Valtapituuden kehitys oli testiaineistossa valtapituuden kasvumallin mukainen, koska pituusboniteettiestimaatit pysyivät samansuuruisina perättäisissä mittauksissa (taulukko 5). Osatutkimuksen (IV) koealoilla valtapituuden kehitys noudatti tarkasti valtapituuden kasvumallia ainakin 13 metriin asti. Pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen jäi mallilla laskien mitattua pienemmäksi. Eron katsottiin johtuvan mallin laadinta-aineiston ja testiaineiston taimikoiden erilaisesta tiheydestä ennen taimikonharvennusta.

Pohjapinta-alan kasvumalli lisättynä kuorimallilla aliarvoi kasvua testiaineistossa (taulukko 5). Ero oli suurin valtapituudella 2,5–3,5 metriä harvennetuissa taimikoissa, joten aikaisen taimikonharvennuksen vaikutusta ei pystytty kuvaamaan mallissa tyydyttävästi. Suurin syy eroihin oli testiaineiston normaalia parempi kasvujakso (1972–80), jolloin kasvuindeksi oli Tiihosen (1983) mukaan keskimäärin 115.

Tilavuusmallin antama harha oli keskiarvona suhteellisen pieni. Valtapituuden ylitettyä kahdeksan metriä malli kuitenkin antoi selvän aliarvion (keskimäärin 9 %) tilavuudelle. Keskipituusmallilla samoin kuin keskiläpimittamallilla saatiin yliarvio. Estimoidun ja mitatun keskiläpimitan ero oli sitä suurempi sekä suhteellisesti että absoluuttisesti, mitä kookkaampaa puusto oli. Vertailuissa on muistettava, että osa testiaineistosta (osatutkimus IV) edusti mallien laadinta-aineistoa jo selvästi kookkaampia männiköitä.

Taulukko 5. Viljelytaimikon kasvumallilla (VI) estimoitujen ja mitattujen puustotunnusten erot testiaineistossa.

tunnus	keskiarvo	keskihajonta	minimi	maksimi	koealojen lukumäärä
Pituusboniteetti H_{100}, m					
III (taim. harv.)	23,7	2,3	18,7	27,6	88
III (4–7 v. myöh.)	24,1	1,6	20,6	27,2	88
Pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen, m^2/ha					
$b_{e\%}$	–17,4	27,9	–130,1	27,6	70
b_e, m^2/ha	–0,62	0,95	–3,5	1,4	70
Pohjapinta-ala 4–7 vuotta taimikonharvennuksen jälkeen, m^2/ha					
$b_{e\%}$	–7,9	15,2	44,8	36,1	88
b_e, m^2/ha	–0,63	1,4	–3,4	2,8	88
Pohjapinta-ala 10–12 vuotta taimikonharvennuksen jälkeen, m^2/ha					
$b_{e\%}$	–2,1	11,3	–41,5	18,8	49
b_e, m^2/ha	–0,49	2,3	–6,3	3,2	49
Tilavuus, m^3/ha					
$b_{e\%}$	–0,43	11,7	18,6	43,9	299
b_e, m^3/ha	–2,78	5,6	–20,6	22,9	299
Pohjapinta-alamediaanipuun pituus, m					
$b_{e\%}$	5,0	4,5	–8,4	23,2	299
b_e, m	0,32	0,31	–0,48	1,5	299
Pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta, cm					
$b_{e\%}$	8,3	7,9	–19,3	26,9	299
b_e, cm	0,90	0,94	–1,5	3,7	299

4.6 Tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimittamalli ja apumallit

Tyvitukin paksuimman elävän oksan ja rinnankorkeusläpimitan välinen korrelaatio oli jokseenkin suoraviivainen (kuva 4). Koska hajonta kuitenkin suureni oksaläpimitan kasvaessa, selitettävään muuttujaan tehtiin logaritmimuunnos ja oksaläpimitan logaritmia tarkasteltiin puukohtaisten ja koealakohtaisten tunnusten suhteen. Aineisto oli osatutkimuksittain tarkasteltuna normaalisti jakautunut sekä oksaläpimitan, sen logaritmin että rinnankorkeusläpimitan suhteen. Koealoja aineistossa oli 671. Puiden määrä koealalla oli 1–112. Osatutkimuksessa (I) puiden määrä koealalla oli pieni, alle 10. Muissa osatutkimuksissa puiden määrä koealalla oli yleensä vähintään 30.

Puutasolla oksaläpimittaa (d_t) selitti rinnankorkeusläpimitan (d) lisäksi puun asema metsikössä (d/D_{gM}). Koealatasolla runkoluku (N) ja taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituus ($H_{dom(h)}$) osoittautuivat parhaiksi selittäjiksi. Sen sijaan kasvupaikka (H_{100}) tai syntytapa eivät parantaneet mallia. Korkein korrelaatiokerroin oli rinnankorkeusläpimitalla:

Muuttujien välinen korrelaatiomatriisi

	d_t	d	d/D_{gM}	N
d	0,744			
d/D_{gM}	0,677	0,785		
N	–0,307	–0,222	–0,266	
$H_{dom(h)}$	–0,223	–0,094	–0,011	0,387

Selittävien muuttujien välillä ei ollut korkeita korrelaatioita rinnankorkeusläpimittaa ja puun asemaa metsikössä kuvaavaa muuttujaa lukuun ottamatta. Runkoluvun ja taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituuden välinen korrelaatio johtui siitä, että kylvötaimikoita keskimäärin harvemmissa istutustaimikoissa viimeksi mainitulle tunnukselle annettiin arvoksi 0.

Sekamallin (333.1) kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

selitettävä muuttuja $\ln(dt_{ij})$ (46.1)

muuttuja	kerroin	keskivirhe	t-arvo
$\sqrt{d_{ij}}$	0,373619	0,0113	33,1
$\ln(d_{ij}/D_{gMj})$	0,242158	0,0131	18,5
$\ln(N_j)$	– 0,138446	0,0115	–12,0
$\ln(15–H_{dom(h)j})$	0,080206	0,0249	3,2
vakio	2,88474[1)]	0,1256	22,8

[1)] vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $(s_{pj}^2 + s_{eij}^2)/2$

$R^2 = 0{,}649$, $s_m = 0{,}388$, $s_f = 0{,}176$, $s_{e\%} = 17{,}8$, $b_{e\%} = 0{,}7$, i = 11 098, j=671

Selitysaste oli 0,65, joka osoitti, että noin kolmasosa oksanpaksuuden vaihtelusta jäi selittämättä. Suurin osa selittämättä jääneestä vaihtelusta oli puiden välistä; koelan sisäinen

jäännösvarianssi oli 0,0311 ja koealojen välinen 0,0137. Mallilla laskettu harha oli yhdistetyssä aineistossa +0,17 mm, 0,7 %. Harha johtui selitettävän muuttujan jakaumasta, joka oli yhdistetyssä aineistossa hieman vasemmalle vino (vinous=–0,78). Harhan suuruus oli osatutkimuksittain:

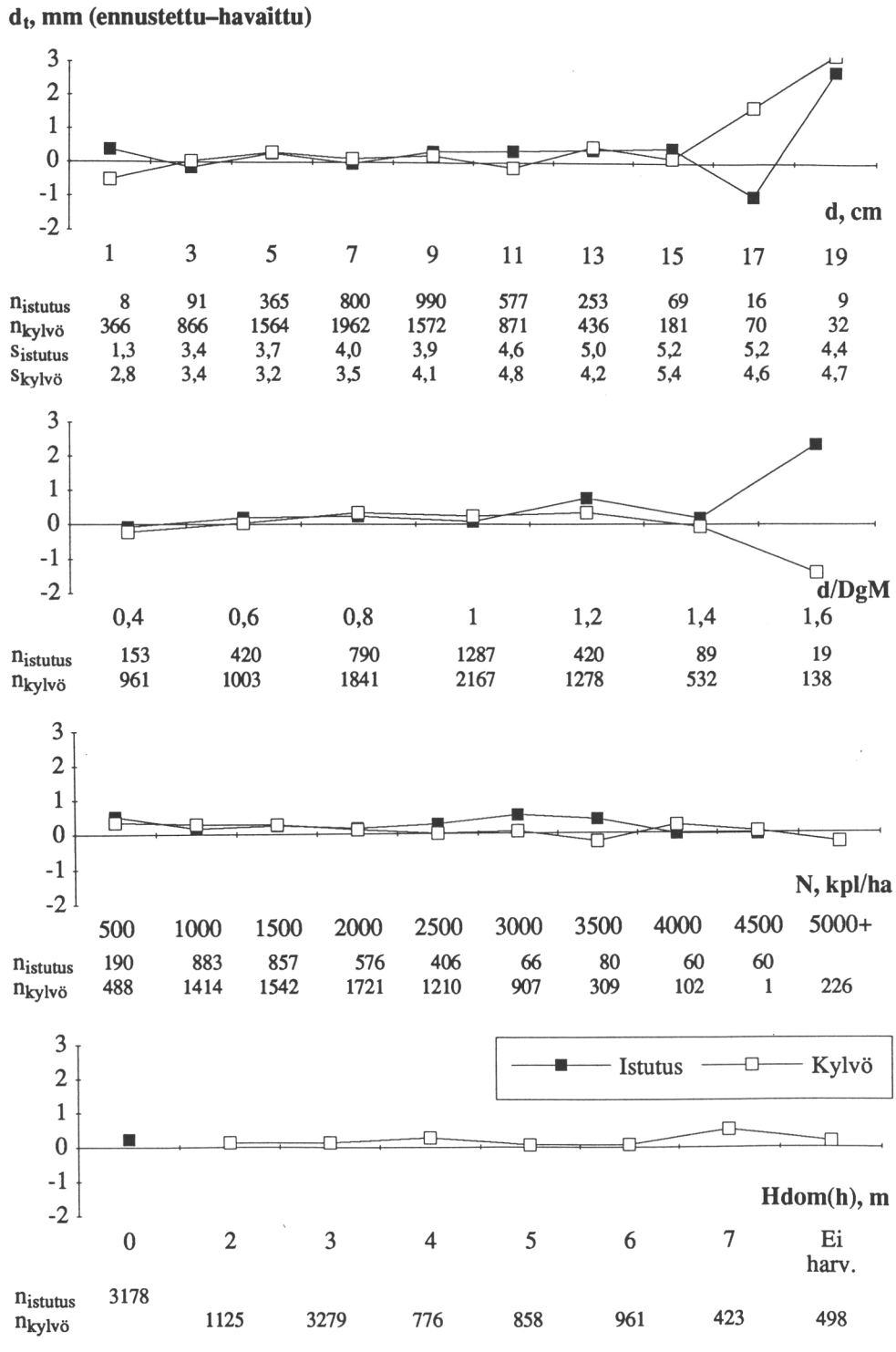
	b_e, mm	$b_{e\%}$
I	+0,27	2,0
II	+0,19	0,3
III	+0,11	0,4
IV	+0,71	2,3

Satunnaistekijällä (koeala) kyettiin pienentämään harhaa nimenomaan osatutkimuksen (**IV**) puilla, jotka poikkesivat muiden osatutkimusten puista monessa suhteessa: taimikot oli harvennettu hyvin myöhään, kasvujakso taimikonharvennuksen jälkeen oli pitempi ja elävän latvuksen alaraja korkeammalla kuin laajassa osatutkimuksen (**III**) aineistossa. Puut olivat muiden osatutkimusten puita kookkaampia ja myös ohutoksaisempia.

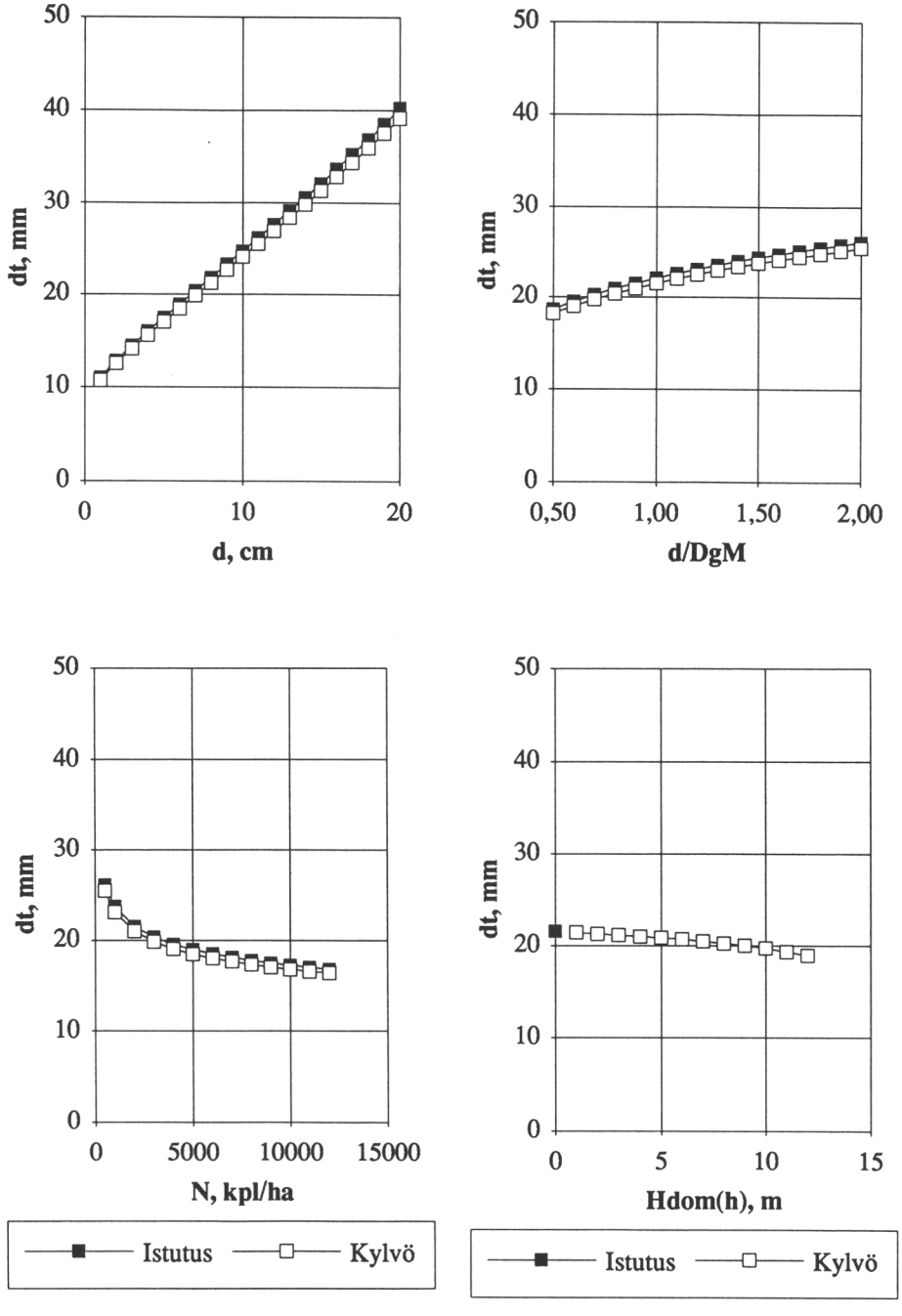
Systemaattinen virhe oli pieni selittävien muuttujien suhteen (kuva 6). Harha oli jokseenkin samansuuruinen runkoluvun ja taimikonharvennuksen ajankohdan koko vaihtelualueella. Kun rinnankorkeusläpimitta oli yli 16 cm, malli antoi muutamilla puilla selvästi liian suuria oksanpaksuuksia. Myös silloin, kun puu oli erityisen suuri verrattuna metsikön keskiläpimittaan, mallilla saatiin harhainen oksanpaksuus. Harhan keskihajonta oli samansuuruinen sekä istutetuilla että kylvetyillä puilla ja suureni vain lievästi puun koon kasvaessa.

Rinnankorkeusläpimitta oli selvästi tärkein oksaläpimittaa selittävä muuttuja (kuva 7). Puun asema metsikössä vaikutti samaan suuntaan kuin lustonleveysmallissa (**V**). Runkoluvun vaikutus oksaläpimittaan oli suurin harvoissa taimikoissa. Vaikutus oli samanmuotoinen, mutta luonnollisesti vastakkainen pohjapinta-alan kasvumalliin (**VI**) verrattuna. Taimikonharvennuksen ajankohdan vaikutus oli odotettua vähäisempi.

Oksaläpimitan ja rinnankorkeusläpimitan välinen riippuvuus oli lähes lineaarinen (kuva 7). Malli ei antanut mitään käännekohtaa oksaläpimitalle rinnankorkeusläpimitan kasvaessa. Tämä johtui luultavasti sekä aineiston rakenteesta että oksaläpimitan määrittelystä. Aineisto painottui jokseenkin normaaliin aikaan harvennettuihin kylvömänniköihin ($H_{dom(h)}$ keskimäärin 4,2 metriä), joissa oksaläpimitan kasvu tyvitukin alueella taimikonharvennuksen jälkeen jatkuu vielä pitkään. Sellaisia puita, joissa oksat olivat myöhästyneen taimikonharvennuksen ansiosta ohuita rinnankorkeusläpimittaan verrattuna, oli hyvin vähän (osatutkimuksen **IV** osuus 4,2 % yhdistetystä aineistosta). Osatutkimuksen (**III**) taimikoissa kahta taimikkoa lukuun ottamatta kylvötuppaat oli harvennettu yksittäisasentoon jo ennen varsinaisten harvennuskokeiden perustamista ja harventamattomien koealojen runkoluku oli vain noin 4 000 puuta/ha. Aineistossa oli siten hyvin vähän pitkään harventamattomissa tuppaissa kasvaneita puita. Tämä seikka lienee vaikuttanut myös siihen, että taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituudella oli vain vähän vaikutusta oksaläpimittaan. Vaikutus suureni vasta valtapituuden ylitettyä kuusi metriä (kuva 7).



Kuva 6. Mallilla (46.1) ennustettujen ja havaittujen oksanpaksuuksien erot selittävien muuttujien suhteen ja havainnot (n) luokittain. Rinnankorkeusläpimitan suhteen on esitetty myös virheen keskihajonta (s).



Kuva 7. Mallilla (46.1) estimoitu tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimitta (d_t) mallin selittävien muuttujien suhteen. Muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle annettu vakiona aineiston keskiarvot (d = 7,8 cm, d/D_{gM} = 0,9, N= 2 014 kpl/ha, $H_{dom(h)}$ = 0 m (istutus), 4,2 m (kylvö).

Tyvitukin paksuin elävä oksa vaihtuu puun kasvaessa ja latvusrajan siirtyessä ylöspäin (ks. Kellomäki ym. 1992). Koska keskimääräinen ja maksimioksaläpimitta ovat suurempia täysikasvuisessa puussa siirryttäessä rungolla ylöspäin (Uusvaara 1981b), tuli poikkileikkausaineistossa mitattavaksi yleensä vielä hyvin paksuutta kasvava oksa. Mallin muotoon lienee vaikuttanut myös se, että aineiston hajonta oli suurin paksuläpimittaisissa puissa (kuva 4). Tämä viittasi siihen, että osa paksuimmista oksista saattoi olla poikaoksia tai rungon haaraumia.

Osatutkimuksen (**VI**) aineistosta mallitettiin metsikön valtaläpimitta (D_{dom}) valtapituuden (H_{dom}) ja pohjapinta-alan (G) avulla. Mallin perusmuoto oli sama kuin keskiläpimittamallissa (**VI**: 64.1). Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(D_{dom}) = 0{,}954878^{1)} + 0{,}750385 \cdot \ln(H_{dom} - 1{,}3) + 0{,}077019 \cdot \ln(G) \qquad (46.2)$$

$R^2 = 0{,}926$, $s_m = 1{,}723$, $s_f = 0{,}179$, $s_{e\%} = 18{,}1$, $b_{e\%} = 0{,}03$, $n = 818$

1) vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Valtaläpimitta oli istutustaimikoissa ja harvennetuissa kylvötaimikoissa yleensä 25–28 % suurempi kuin pohjapinta-alamediaaniläpimitta. Valtaläpimitan avulla voitiin ennustaa männiköiden paksuimpien puiden paksuimman elävän oksan läpimitta.

Laatukasvatusmalleilla (**VI** ja 46.1) tarkasteltiin metsikkötunnuksia siihen asti, jolloin vihreän latvuksen alaraja ylitti neljä metriä. Tarkastelu ulottui viljavilla kasvupaikoilla normaaliin ensiharvennusvaiheeseen (valtapituus 12–13 metriä) eli osatutkimuksen (**VI**) mallien laadinta-aineiston ulkopuolelle. Keskipituusmallin (**VI**, 63.1) havaittiin antavan epäloogisia tuloksia silloin, kun valtapituus oli yli 10 m. Malli korjattiin yksinkertaisempaan ja loogisempaan muotoon:

$$\ln(H_{gM} - 1{,}3) = 0{,}629769^{1)} + 1{,}00636 \cdot \ln(H_{dom} - 1{,}4) - 0{,}085191 \cdot \ln(N) - 0{,}038271 \cdot \ln(H_{100}) \qquad (46.3)$$

$R^2 = 0{,}941$, $s_m = 0{,}724$, $s_f = 0{,}184$, $s_{e\%} = 18{,}6$, $b_{e\%} = -0{,}8$, $n = 787$

1) vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Mallilla saatu valtapituuden ja keskipituuden välinen ero suureni lähes suoraviivaisesti valtapituuden kasvaessa. Malliin (**VI**, 63.1) verrattuna tulokset olivat samoja kuuden metrin valtapituudelle asti. Tämän jälkeen mallilla (46.3) estimoitu pituusero oli suurempi kuin mallilla (**VI**, 63.1) estimoitu.

4.7 Viljelymänniköiden laatukasvatuksen simulointi

Viljelymänniköiden laatukasvatuksen simulointimalli (kuva 8) koostui osatutkimuksen (**VI**) metsikkötason kasvumallista lisättynä valtaläpimittamallilla (46.2) ja keskipituusmallilla (46.3), tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimittaa kuvaavasta sekamallista

(46.1) sekä alimman eläviä oksia sisältävän oksakiehkuran järjestysnumeron riippuvuutta puuston rakenteesta kuvaavasta mallista (Kellomäki ym. 1992), joka oli muotoa:

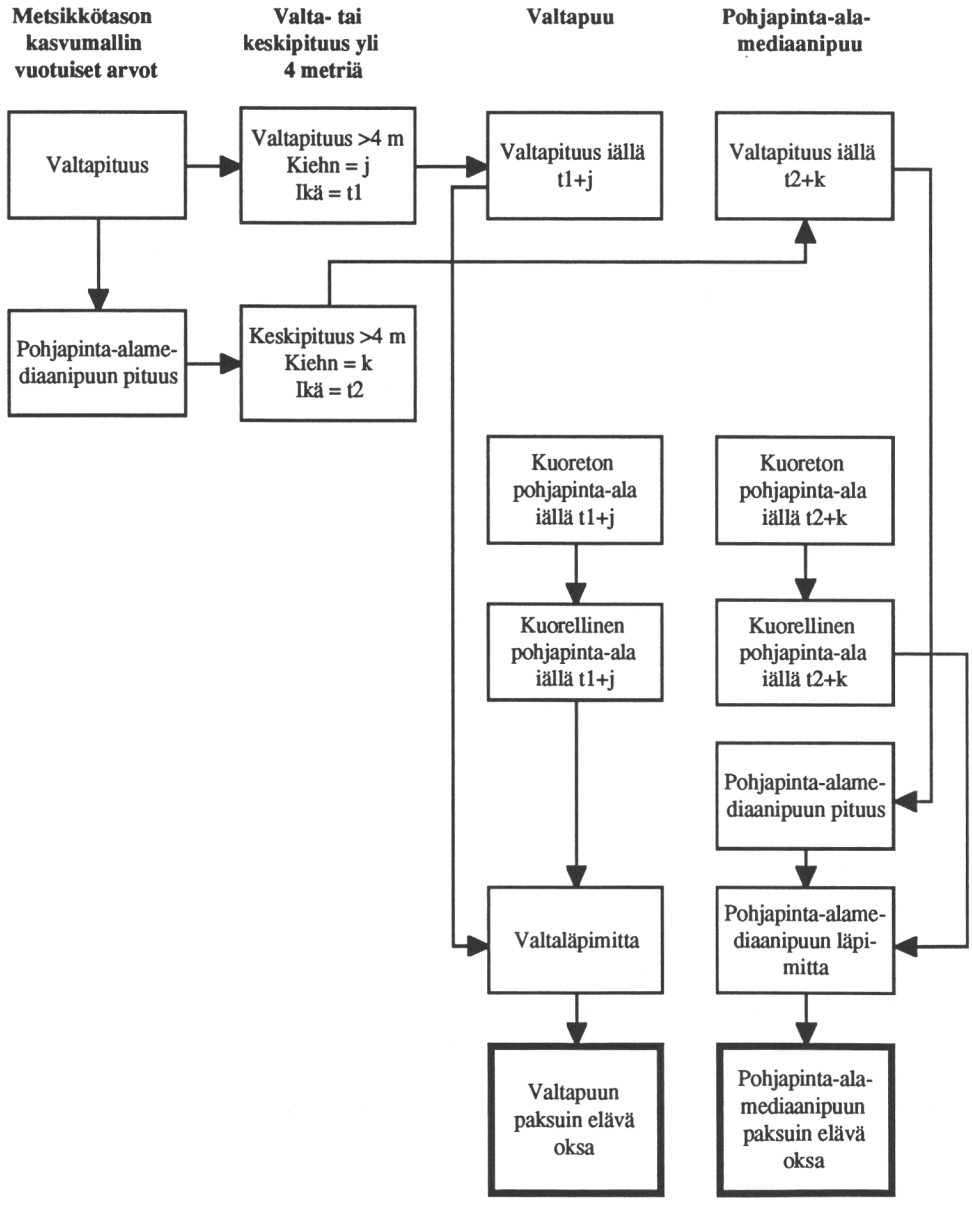
$$Kieh_n = 23{,}561 + 3{,}924 \cdot Asen_{1a} - 5{,}195 \cdot 10^{-4} \cdot N - 12{,}075 \cdot Typpi - 0{,}115 \cdot Maa \quad (47.1)$$

Mallilla (47.1) estimoitiin elävien oksakiehkuroiden lukumäärä ($Kieh_n$) puun aseman (Asema) mukaan valtapuulle (D_{dom}/D_{gM}) ja pohjapinta-alamediaanipuulle ($d/D_{gM}=1$) siinä vaiheessa, kun valtapituus (**VI**, malli 33.1) tai pohjapinta-alamediaanipuun pituus (H_{DgM}, malli 46.3) ylitti neljä metriä. Mallissa käytetyt metsätyypeittäiset maan hienojen lajitteiden osuudet (Maa) olivat Tammisen (1991, liite 33) ja neulasten typpipitoisuudet (Typpi) Kellomäen ym. (1992) mukaiset. Metsätyyppien ja pituusboniteettien vastaavuus oli OMT=30, MT=27, VT=21–24, CT=15–18.

Metsikkötason kasvumallilla (**VI**) kasvatettiin taimikkoa oksakiehkuroiden lukumäärän ($Kieh_n$) osoittamalla vuosimäärällä (j tai k) siitä vuodesta eteenpäin, jolloin valtapituus (t_1) tai pohjapinta-alamediaaniläpimittaa vastaava pituus (t_2) ylitti tyvitukin korkeuden (kuva 8). Näillä ajankohdilla estimoitiin valtapituus (**VI**, malli 33.1) ja valtaläpimitta (malli 46.2) sekä pohjapinta-alamediaanipuun pituus (malli 46.3) ja läpimitta (**VI**, malli 63.1). Näitä käyttäen estimoitiin mallilla (46.1) vastaavat paksuimman elävän oksan läpimitat, jotka edustivat valtapuun ja mediaanipuun tyvitukin paksuinta oksaa (d_{tDdom} ja d_{tDgM}).

Simulointien mukaan tyvitukin paksuimman oksan läpimitta oli sitä suurempi, mitä pienempi metsikön runkoluku tai mitä rehevämpi kasvupaikka oli (taulukko 6). Etenkin vähäinen runkoluku suurensi oksaläpimittoja. Oksaläpimitat olivat pienimmät niissä kylvömänniköissä, joissa ei tehty taimikonharvennusta lainkaan. Harvennetuissa kylvömänniköissä oksaläpimitat olivat sitä pienempiä, mitä myöhemmin taimikko harvennettiin. Taimikonharvennuksen ajankohdan vaikutus oli kuitenkin vähäinen, keskimäärin vain yksi mm harvennusajankohdan muuttuessa valtapituudella ilmaistuna kolmesta kuuteen metriin. Ero valtapuiden ja pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimpien oksien läpimittojen välillä oli sitä suurempi, mitä suurempi runkoluku tai rehevämpi kasvupaikka oli.

Simulointien mukaan oksaläpimittoihin vaikutti istutusmänniköissä eniten taimikon runkoluku (taulukko 6). Istutusmänniköissä nykysuositusten mukaisilla kasvatustiheyksillä (2 000 puuta/ha) tyvitukin paksuin oksa oli karuimpia kasvupaikkoja (CT) lukuun ottamatta pohjapinta-alamediaanipuulla ja sitä paksuimmilla puilla vähintään 30 mm. Valtapuiden paksuimmat oksat olivat 35–45 mm. Kasvatustiheydellä 5000 puuta/ha pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimmat oksat olivat 23–26 mm ja valtapuiden 33–42 mm. Istutusmänniköiden aineistojen ulkopuolella (runkoluku 6 000–10 000 puuta/ha) tehtyjen ekstrapolointien mukaan vasta tiheyksillä 8 000–10 000 puuta/ha pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimmat oksat jäivät 20 mm:n tuntumaan. Silloinkin valtapuiden paksuimmat oksat olivat 30–40 mm.



Kuva 8. Valtapuun ja pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimitan (d_{tDdom} ja d_{tDgM}) simuloinnin periaate.

Taulukko 6. Istutus- ja kylvömänniköiden simuloituja tyvitukin paksuimpia eläviä oksia eri kasvupaikoilla, runkoluvuilla ja taimikonharvennuksen ajankohdilla.

H_{100}	15		18		21		24		27		30	
N	d_{tDgM}	d_{tDdom}	d_{tDgM}	d_{tDdom}	d_{tDgM}	d_{tDdom}	d_{tDgM}	d_{tDdom}	d_{tDgM}	d_{tDdom}	d_{tDgM}	d_{tDdom}
					Istutus							
1 000	–	–	35	36	36	39	39	42	41	47	42	49
2 000	–	–	29	35	30	37	32	40	34	45	34	45
3 000	–	–	26	34	27	36	29	39	30	43	30	44
4 000	–	–	24	33	25	35	27	39	28	43	28	43
5 000	–	–	23	33	23	35	25	38	26	42	26	42
6 000	–	–	22	32	22	33	24	36	25	41	25	42
7 000	–	–	21	32	21	33	23	36	24	41	24	41
8 000	–	–	20	31	21	33	22	36	23	41	23	41
9 000	–	–	20	31	20	32	21	35	22	40	23	40
10 000	–	–	19	30	20	32	21	35	21	39	22	40
					Kylvö, harventamaton							
6 000	19	27	20	30	20	30	21	33	21	36	–	–
8 000	18	26	19	29	19	30	19	32	20	35	–	–
10 000	17	25	18	28	18	29	18	32	19	34	–	–
12 000	16	25	17	28	17	29	17	31	18	33	–	–
					Kylvö[1)]							
1 000	29	30	32	34	32	35	34	38	35	40	–	–
2 000	25	29	26	32	27	34	28	36	29	39	–	–
3 000	22	28	24	31	24	33	26	35	26	38	–	–
4 000	21	27	22	31	23	32	24	34	24	37	–	–
					Kylvö[2)]							
1 000	28	30	31	33	32	35	34	38	35	40	–	–
2 000	24	29	26	32	27	33	28	36	29	38	–	–
3 000	22	28	24	31	24	33	25	35	26	37	–	–
4 000	21	27	22	30	22	32	23	34	24	37	–	–

[1)] $H_{dom(h)}$ = 3 m, N_{eh}= 10 000 kpl/ha

[2)] $H_{dom(h)}$ = 6 m, N_{eh}= 10 000 kpl/ha

Kylvömänniköissä tyvitukin paksuimmat oksat olivat läpimitaltaan keskimäärin 2–7 mm ohuempia kuin istutusmänniköissä samalla runkoluvulla. Ero oli suurempi valta- kuin keskipuilla. Kylvömänniköissäkin oksat paksuuntuivat nopeasti, jos metsikkö jäi harvaksi taimikonharvennuksen jälkeen. Keskimäärin 25 mm:n oksanpaksuuksiin päästiin, jos taimikko harvennettiin kuuden metrin valtapituudella ja kasvatettavaksi jätettiin 3 000 puuta/ha.

Puiden pystykarsintaa käytetään mäntyjen laadun parantamiseen. Yleensä pyritään yksivaiheiseen karsintaan, jossa noin 10 metrin pituisia puita karsitaan 4–5 metrin korkeuteen. Harventamattomissa kylvötaimikoissa pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimmat oksat jäivät noin 20 mm:n ja valtapuiden noin 30 mm:n paksuisiksi (taulukko 6), joten ne ovat hyviä karsintakohteita. Istutustaimikoissa on käytettävä kaksivaiheista karsintaa (Pystykarsintaohjeet 1982, Vuokila 1982), koska oksat muutoin kasvavat liian paksuiksi (taulukko 6, I). Kaksivaiheisessa karsinnassa ensimmäinen karsinta tehdään noin 6 metrin

pituusvaiheessa. Simuloinneilla laskettiin oksanpaksuuksia siinä vaiheessa, jolloin pohjapinta-alamediaaniläpimittaa vastaava metsikön keskipituus ylitti 6 metriä (taulukko 7).

Istutusmänniköt ovat yleensä kaksivaiheiseen karsintaan kelpaavia. Kuuden metrin keskipituudella paksuimpienkin puiden oksanpaksuudet ovat vielä alle 30 mm:n. Jos kuitenkin halutaan karsia vain enintään 20 mm:n paksuisia oksia, kasvatustiheyden tulisi olla yli 6 000 puuta/ha, ja silloinkin valtapuut ovat karsintaan kelpaamattomia.

Taulukko 7. Istutus- ja kylvömänniköiden simuloituja keskimääräisiä paksuimman elävän oksan läpimittoja eri runkoluvuilla, kun pohjapinta-alamediaanipuun pituus ylittää kuusi metriä.

	Istutus		Kylvö	
N	d_{tDgM}	d_{tDdom}	d_{tDgM}	d_{tDdom}
1 000	29	29	–	–
2 000	25	28	–	–
3 000	23	28	–	–
4 000	22	28	–	–
5 000	21	28	–	–
6 000	20	28	18	26
8 000	19	28	17	26
10 000	18	27	17	26
12 000	–	–	16	26

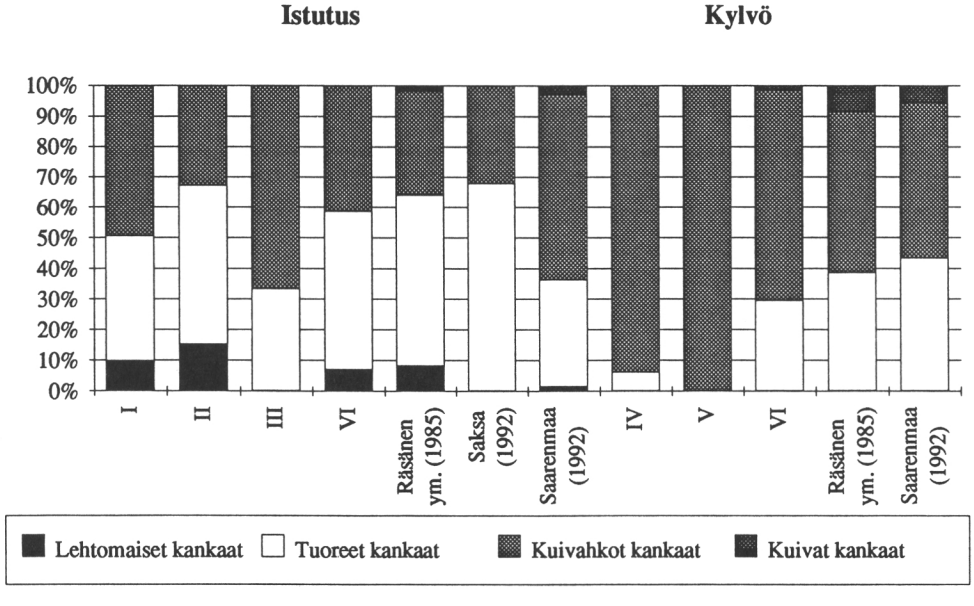
5 Tarkastelu

5.1 Aineiston kattavuus ja laatu

5.1.1 Kasvupaikat

Osatutkimusten (**I, VI**) aineistot olivat laajimmat ja edustivat koko maata lukuun ottamatta suojametsäaluetta. Osatutkimuksen (**I**) istutustaimikot valittiin metsälautakunnittain arpomalla, joten aineisto noudatti jakaumiltaan peruspopulaatiota. Aineisto (**V**) käsitti saman aineiston lukuun ottamatta neljää pohjoisinta metsälautakuntaa. Osatutkimuksen (**VI**) taimikot valittiin yleisohjeen mukaisesti "männyn metsätaloudellisesti tärkeiltä kasvupaikoilta". Muiden osatutkimusten aineistot koostuivat järjestetyistä kestokokeista, jotka oli perustettu avohakkuun jälkeen ja pellolle (**II**) tai hyvin onnistuneisiin tiheisiin kylvötaimikoihin (**III, IV**).

Valtakunnan metsien inventoinnissa tuloksia ei esitetä syntytavan mukaan eriteltynä. Sen vuoksi osatutkimusten aineistojen jakaantumista eri kasvupaikoille voitiin verrata vain metsänuudistamisen onnistumista selvittäneisiin tutkimuksiin. Kylvö- ja istutustaimikoita sisältänyt aineisto (**VI**) noudatteli kasvupaikkajakaumiltaan Räsäsen ym. (1985) laajan inventointitutkimuksen jakaumia (kuva 9), samoin istutustaimikkoaineisto (**I, V**). Saksan (1992) tutkimuksessa Järvi-Suomen istutustaimikot painottuivat jonkin verran rehevämmille kasvupaikoille. Lähinnä Pohjois-Suomea koskeneessa metsähallituksen viljelyalat kattavasti käsittäneessä aineistossa (Saarenmaa 1992) istutustaimikoiden kasvupaikat



Kuva 9. Osatutkimusten aineistojen jakautuminen eri kasvupaikkatyypeille verrattuna muihin tutkimuksiin.

olivat keskimäärin karumpia, mutta kylvötaimikoiden rehevämpiä kuin osatutkimusten (**I**, **VI**) aineistoissa. Osatutkimusten (**III**, **IV**) metsiköt olivat yhtä lukuun ottamatta kuivahkoilta kankailta, mutta pituusboniteetilla arvioituna vaihteluväli käsitti suurimman osan männyn kasvupaikoista (H_{100}= 18–27, taulukko 4).

5.1.2 Runkoluku

Osatutkimusten (**I**, **V**) 1950–60-luvuilla istutetut taimikot olivat mittaushetkellä 1979 jokseenkin harvoja. Taimikoiden keskimääräinen runkoluku oli 1 800 puuta/ha. Vain muutamilla koealoilla runkoluku ylitti 3 000 puuta/ha. Subjektiivisesti metsikön tasaisimpaan osaan rajatuilla osatutkimuksen (**VI**) koealoilla tiheydet olivat suurempia, istutetuissa keskimäärin 3 300 ja kylvetyissä, joissa oli mukana harventamattomia taimikoita, 5 800 puuta/ha. Valtaosa näistä taimikoista oli viljelty 1940–50-luvuilla. Räsäsen ym. (1985) mukaan kuuden eteläisimmän metsälautakunnan istutusmänniköissä oli kasvatuskelpoisia taimia keskimäärin 1 200–1 300 puuta/ha ja Saksan (1992) mukaan Järvi-Suomen istutustaimikoissa 1 300–1 400 puuta/ha. Suoraa vertailua osatutkimusten (**I**, **VI**) runkolukuihin ei näiden tutkimusten perusteella voida tehdä subjektiivisen kasvatuskelpoisuusluokituksen takia. Voidaan kuitenkin sanoa, että osatutkimusten (**I**, **V**) taimikot edustivat runkoluvultaan nykyisiä käytännön istutustaimikoita. Sen sijaan aineisto (**VI**), jota käytettiin metsikkötason kasvumallin laadintaan, painottui nykykäytäntöä tiheämpiin taimikoihin.

Istutusvälikokeissa (**II**) runkoluku vaihteli erittäin harvasta (800 puuta/ha) nykykäytännön mukaiseen (2 500 puuta/ha). Ylitiheä oli vain neliömäinen asento 5 000 puuta/ha. Kylvötaimikoiden harvennuskokeissa (**III**, **IV**) runkoluku taimikonharvennuksen jälkeen kattoi laajan vaihtelun erittäin harvasta (500–600 puuta/ha) nykyohjeita tiheämpiin (3 100 puuta/ha) puustoihin. Lisäksi koemetsiköihin kuului harventamattomia koealoja. Vain kahdessa metsikössä käsittelemättömillä koealoilla kylvötuppaat olivat yhä perkaamatta ja runkoluku yli 10 000 puuta/ha (**III**). Muissa metsiköissä tuppaat oli harvennettu yksittäisasentoon (yleensä noin 4 000 puuta/ha) muutama vuosi ennen taimikonharvennuskokeen perustamista, mitä voidaan pitää huonona asiana tutkittaessa kylvötuppaiden harvennusajankohdan vaikutusta puuston laadulliseen kehitykseen.

Etenkin puiden laadun kehittymisen kannalta tarkasteltuna sekä istutusvälikokeesta (**II**) että osittain kylvötaimikoista (**III**, **IV**) puuttuivat keskieuroopppalaista käytäntöä vastaavat runkoluvut. Suomessa suurin runkoluvun vaihtelu järjestetyssä kokeessa on ollut Huurin ym. (1987) tutkimuksessa, jossa koealojen runkoluku oli mittaushetkellä 1 700–42 300 puuta/ha ja keskiarvo oli 9 500 puuta/ha. Kellomäen ym. (1992) laatukasvatustutkimuksessa vastaavat luvut olivat 1 000–5 000 ja 2 400 puuta/ha. Tämän tutkimuksen järjestettyjen kokeiden (**III**, **IV**) aineistot olivat runkoluvultaan hyvin lähellä Kellomäen ym. (1992) aineistoa, joten näiden tutkimusten tuloksia voidaan runkoluvun suhteen verrata luotettavasti toisiinsa.

5.1.3 Kylvötaimikoiden harvennuksen ajankohta

Kylvötaimikoissa puiden ulkoiseen laatuun voidaan vaikuttaa taimituppaiden harvennuksen ajankohdalla (Sirén 1956, Vuokila 1982), jota myös käytettiin muuttujana sekä metsikkötason kasvumallissa että laatumallissa. Osatutkimuksessa (**III**) valtapituus taimikonharvennuksessa vaihteli 2,2:stä 7,3 metriin ja keskiarvo oli 3,7 metriä. Osatutkimuksen (**III**) taimikoista 1, 2, 9 ja 10 ei mitattu oksanpaksuuksia, joten oksanpaksuutta mallitettaessa valtapituuden keskiarvo oli 3,6 metriä taimikonharvennuksen ajankohtana. Osatutkimus (**III**) kattoi hyvin nykyohjeiden mukaisen, mutta huonosti sitä myöhäisemmän taimikonharvennuksen ajankohdan. Ensiharvennuskertymää voitiin tutkia vain myöhäisen taimikonharvennuksen (valtapituus keskimäärin 6,9 metriä) metsiköiden avulla (**IV**).

5.1.4 Mittausten riittävyys

Osatutkimusten (**III** ja **IV**) aineistot koostuivat kestokokeista, joissa puusto mitattiin systemaattisesti koealoille sijoitetuilta 1–4 ympyräkoealalta siten, että lukupuiden määrä oli vähintään 100 ja koepuiden lukumäärä 1/3 lukupuista. Osatutkimuksessa (**II**) koealan kaikki puut olivat lukupuita ja vähintään 50 systemaattisesti valittua puuta koepuita. Osatutkimuksessa (**VI**) aineisto mitattiin vähintään 200 puuta sisältävältä kertakoealalta, josta valittiin 20 puuta runkolukusarjan eri osista koepuiksi. Näissä osatutkimuksissa koealojen puustotunnusten laskenta perustui riittävään luku- ja koepuiden määrään (esim. Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987, Gustavsen ym. 1988). Tutkimuksessa (**I**) kiinnostuksen kohteena olivat yksittäiset istutusmännyt ja niiden laatutunnukset. Taimikoiden metsikkökohtaiset tunnukset jäivät vähälle huomiolle. Myöhemmin laskettujen metsikkötunnusten luotettavuus on siten heikko, koska tunnukset perustuivat pienen koealan ($\approx$30 m^2) runkolukujakaumaan, joka vähimmillään oli vain yksi puu. On luultavaa, että koealan puustotunnukset aliarvioitiin silloin, kun runkoluku oli pieni. Puun asemaa kuvaavan suhteen (d/D_{gM}) hajonta oli kuitenkin samansuuruinen kuin muissa osatutkimuksissa, joskin maksimiarvo oli muita suurempi (taulukko 3).

5.2 Pituusbonitointimenetelmien vertailu viljelytaimikoissa

Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat yhtäpitävästi, että Vuokilan ja Väliahon (1980) ikään ja valtapituuteen perustuvalla mallilla saatiin huomattavasti, keskimäärin 3 metriä eli yhden pituusboniteettiluokan verran, korkeampia pituusboniteettiestimaatteja, kuin mitä niiden olisi pitänyt olla metsätyypin perusteella (alaluku 4.1). Myös muiden tutkimusten aineistoissa Vuokilan ja Väliahon (1980) malli antoi yliarvioita. Kallion (1960) aineistossa keskimääräiseksi pituusboniteetiksi tuli mustikkatyypillä 29 ja puolukkatyypillä 26, Huurin ym. (1987) aineistossa puolukkatyypin istutustaimikossa 27–30 sekä Saksan ja Lylyn (1984) tutkimuksessa kanervatyypin istutustaimikossa 25–26. Yhden pituusboniteettiluokan "virhe" kasvupaikan esimoinnissa aiheuttaa viljelymännikössä kiertoajan keskikasvussa 1,0–1,7 m^3/ha/v eron (Vuokila ja Väliaho 1980), jota voidaan pitää huomattavana.

Tämän tutkimuksen mukaan Hägglundin (1976) välipituusmenetelmä antoi Vuokilan ja Väliahon (1980) mallia tarkempia pituusboniteettiestimaatteja koealoille. Tulos perustui edellä esitettyjen tulosten lisäksi seuraaviin päätelmiin. Voitiin olettaa, että samalla metsätyypillä viljellen ja luontaisesti syntyneiden männiköiden valtapituuden kehitys on likipitäen samanlainen, kuten vertailu Gustavsenin (1980) sekä Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimusten välillä osoittaa. Hägglundin (1974c) mukaan ainoa ero syntytapojen välillä valtapituuden kehityksessä oli se, että viljelytaimikot saavuttivat rinnantasan 1–2 vuotta luonnontaimikoita nopeammin. Suomessa Räsäsen ym. (1985) mukaan sekä mustikkatyypillä että puolukkatyypillä kasvatuskelpoisten taimien yhden metrin keskipituuden saavuttamiseen kulunut aika oli istutustaimikoissa viisi, kylvötaimikoissa seitsemän ja luontaisesti syntyneissä taimikossa yhdeksän vuotta. Hägglundin (1976) välipituuskasvuun perustuvaa mallia voitiin siten käyttää myös viljelytaimikoissa, vaikka malli perustuikin lähinnä luontaisesti syntyneistä metsiköistä kerättyyn aineistoon. Hägglundin (1974c) kasvumallilla kuvattu valtapituuden kehitys vastasi hyvin tarkasti osatutkimuksen (**VI**) valtapituuden kasvumallilla laskettua.

Voitiin myös olettaa, että metsätyypin määritys sekä Gustavsenin (1980) että Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksissa oli luotettavaa, koska aineistot koostuivat sulkeutuneista, keski-iältään 50–70-vuotiaista metsiköistä. Pituusboniteettien ja metsätyyppien vastaavuutta ei siten voinut kyseenalaistaa.

Metsätyyppien välillä vallitsee valtapituuden kehityksessä selvä ero, joka esimerkiksi Etelä-Suomen metsäkasvillisuusvyöhykkeessä oli 100 vuoden iällä puolukkatyypin ja mustikkatyypin välillä luonnonnormaaleissa männiköissä noin neljä (Ilvessalo 1920), luontaisesti syntyneissä männiköissä kolme (Gustavsen 1980), viljelymänniköissä kolmesta kuuteen (Vuokila ja Väliaho 1980) sekä kasvupaikkatekijöihin perustuvissa aineistoissa 2,7 metriä (Tamminen 1993) tai 2,3 metriä (Lahti 1995). Jos esimerkiksi Etelä-Suomen metsäkasvillisuusvyöhykkeen puolukkatyypin viljelytaimikoiden pituusboniteetit todella olisivat keskimäärin 26–28 metriä, kuten Vuokilan ja Väliahon (1980) mallilla saatiin eri osatutkimusten aineistoissa (alaluku 4.1), tulisi pituusboniteettien olla mustikkatyypillä keskimäärin 29–31 ja käenkaali-mustikkatyypillä 32–35. Näin nopeasti kasvaneita männiköitä ei ole ollut suomalaisissa tutkimuksissa (Gustavsen 1980, Vuokila ja Väliaho 1980). Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksen aineiston 226 viljelymänniköstä vain yksi männikkö kuului luokkaan H_{100}=33. Hägglundin (1974c) aineistossa ei ollut yhtään pituusboniteettiarvoltaan yli 30 metrin männikköä ja Perssonin (1992) laajassa tutkimuksessa korkein männikön pituusboniteetti oli 31,9 metriä. Kramerin (1988) mukaan mänty saavuttaa Keski-Euroopassa parhaalla kasvupaikalla (kasvullisuusluokka I) keskimäärin seuraavat valtapituudet 100 vuoden iällä: Etelä-Saksa 30, Pohjois-Saksa 28, entinen Itä-Saksa 34 ja Englanti 31 metriä.

Hägglundin (1976) välipituusmenetelmällä saadut pituusboniteettiestimaatit vastasivat suhteellisen hyvin eri metsätyyppien vastinpituusboniteetteja (**VI** ja alaluku 4.1). Osatutkimuksen (**VI**) aineistossa malli näytti antavan pituusboniteetille aliarvion kaikkein rehevimmillä (ks. myös Elfving 1983) ja yliarvion kaikkein karuimmilla kasvupaikoilla, tosin lehtomaiseksi oli määritelty vain kaksi ja kuivaksi kankaaksi yksi metsikkö.

Vuokilan ja Väliahon (1980) valtapituuden kasvuyhtälöllä saatu pituusboniteetin systemaattinen yliarvio johtui siitä, että tämän tutkimuksen taimikoiden alkukehitys todellisuudessa oli siinä tutkimuksessa arvioitua nopeampaa. Osatutkimuksen (**VI**) mukaan taimikoiden valtapuut saavuttivat rinnankorkeuden keskimäärin kaksi, karuimmilla kasvupaikoilla jopa viisi vuotta aiemmin, kuin mitä Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksessa arvioitiin. Nopea pituuskehitys voitiin todeta myös lukuisissa metsänuudistamisen inventointitutkimuksissa (ks. Karjula ym. 1982, Räsänen ym. 1985, Saksa 1992). Vertailuissa muihin tutkimuksiin, joissa on esitetty keskipituuden kehitys, on muistettava ottaa huomioon se, että valtapuut saavuttavat rinnankorkeuden noin kaksi vuotta aiemmin kuin puut keskimäärin (**VI**).

Välipituusmenetelmässä ei käytetä metsikön ikää selittävänä muuttujana. Pienikin iän määrityksessä tapahtunut virhe aiheuttaa ikä-valtapituusmenetelmässä etenkin nuoruusvaiheessa, jolloin valtapituuden kehitys eri kasvupaikoilla on lähellä toisiaan, suuren virheen pituusboniteettiestimaattiin. Välipituusmenetelmän riippumattomuus iästä on etu etenkin luontaisesti syntyneissä taimikoissa mutta myös viljelytaimikoissa.

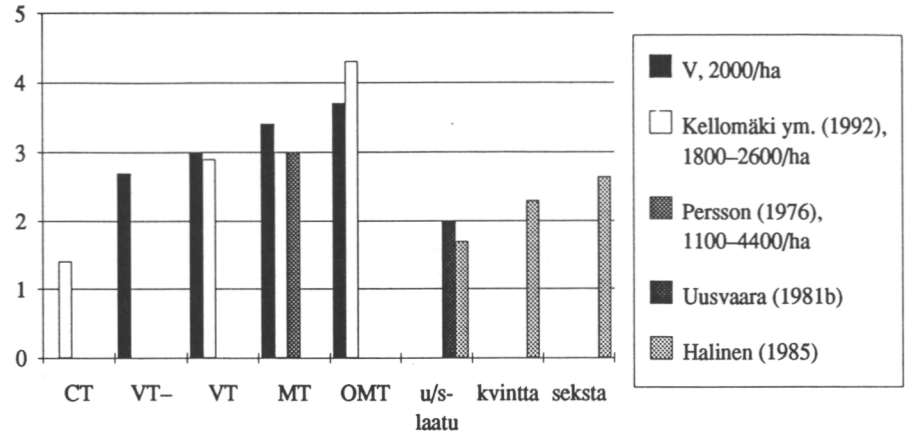
5.3 Istutusmänniköistä saatavan sahatavaran laatu lustonleveyden perusteella

Monissa tutkimuksissa on todettu, että mitä nopeampi männyn nuoruusvaiheen kasvunopeus on, sitä huonommaksi sahatavaran laatu muodostuu (Persson 1976, 1977, Uusvaara 1981b, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Halinen 1985, Kellomäki ym. 1992). Lustonleveysmallilla tehtyjen simulointien mukaan (**V**) tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys oli samaa luokkaa kuin Perssonin (1976) ja Kellomäen ym. (1992) tutkimuksissa lukuun ottamatta Kellomäen ym. (1992) kanervatyypin männiköiden lustonleveyttä, joka oli huomattavasti muiden tutkimusten keskimääräisiä lustonleveyksiä pienempi (kuva 10). Ero johtui lähinnä siitä, että Kellomäen ym. (1992) kanervatyypin männiköt olivat luontaisesti syntyneitä.

Uusvaaran (1981b) mukaan tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys sai olla korkeintaan kaksi mm, jotta sydäntavarasta saatiin viljelymänniköissä paras mahdollinen tulos eli 40 % u/s-laatua. Luontaisesti syntyneistä männiköistä samalla lustonleveydellä saatiin 60 % u/s-laatua. Halisen (1985) mukaan keskimääräisen lustonleveyden tuli olla tätäkin pienempi. Näiden vertailujen mukaan istutusmänniköistä saatava sahatavara sijoittuu yleensä seksta-luokkaan (kuva 10). Keskieurooppalaisten tutkimusten tuloksia on vaikea verrata pohjoismaisiin. Saksalaisen Erteldin (1975) mukaan keskimääräinen lustonpaksuus rinnankorkeudella oli 2,9 mm ensimmäisen 16 vuoden jälkeen, jolloin puiden läpimitta oli 9,4 cm ja tiheys 10 000 puuta/ha. Kramerin (1988) mukaan laatupuun keskimääräinen lustonpaksuus tyvileikkauksessa sai olla 2,5–3,0 mm, mutta sen saavuttamiseksi runkoluvun tuli olla yli 10 000/ha. Keski-Euroopassa mänty kasvattaa siis huomattavasti paksumpia lustoja kuin esimerkiksi Suomessa samalla tiheydellä.

Osatutkimuksen (**V**) tulosten perusteella on selvää, että istutusmänniköistä ei saada korkealaatuista sahatavaraa nykyisin käytettävillä viljelytiheyksillä. Kasvatustiheyden tulisi jo puolukkatyypin rehevämmällä osalla olla 4 000 puuta/ha, jotta isoimmista puista saatai-

Tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys, mm



Kuva 10. Tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys eri tutkimusten mukaan. Lustonleveyden mittaus: V; 0–75 mm ytimestä, Kellomäki ym. (1992); ei ilmoitettu, Persson (1976); 20–70 mm ytimestä, Uusvaara (1981b); ytimen ympäristö, Halinen (1985); 0–80 mm ytimestä. Kellomäen ym. (1992) CT-männiköt ja Halisen (1985) aineisto enimmäkseen luontaisesti syntyneistä männiköistä.

siin edes jonkin verran u/s-laatua. Mustikkatyypillä ja käenkaali-mustikkatyypillä huippulaadun tuottaminen ei onnistu 4 000 puun hehtaaritiheydelläkään. Kellomäki ym. (1992) päätyivät suosittamaan kanervatyypillä vähintään 2 000 sekä puolukka- ja mustikkatyypillä vähintään 4 000 puun/ha viljely- ja kasvatustiheyttä, jos tavoitteena oli paksuimman oksan jääminen alle 20 mm:n. Halisen (1985) tutkimuksessa 20 mm:n oksaläpimitan vaatimus merkitsi korkeintaan kahden mm:n keskimääräistä lustonleveyttä, jota osatutkimuksen (V) mukaan ei saavuteta Kellomäen ym. (1992) esittämillä kasvatustiheyksillä. Tätä tulosta tukevat Huurin ym. (1987) tulokset VT:n istutustiheyskokeesta, jossa 20 mm:n oksanpaksuuteen vaadittiin paksuimmilla puilla 8 000 puun/ha tiheys.

Vuosittaisen lustonleveyden vaihtelusta pystyttiin mallilla selittämään vain 30 %, ja mallin suhteelliseksi keskivirheeksi jäi 43 % (V), vaikka mallissa oli mukana kasvuindeksimuuttuja tasoittamassa vuosien välistä vaihtelua. Mallien suhteellinen keskivirhe on jäänyt suureksi myös muissa männylle tehdyissä puutason kasvumalleissa (Mielikäinen 1978, 1980, Pukkala 1989). Etenkin nuoruusvaiheessa puiden vuosittainen sädekasvun vaihtelu on suurta. Vaihtelun tarkempi mallittaminen vaatisi yksityiskohtaisia tietoja sääoloista (Jonsson 1969), metsikköhistoriasta ja kasvupaikan ominaisuuksista (Söderberg 1986) sekä puiden välisestä kilpailusta (Pukkala 1989). Mallin alhaisesta selitysasteesta huolimatta simuloinnit antoivat muita tutkimuksia vastaavia tuloksia. Mallin (V) etuna muihin tutkimuksiin verrattuna voidaan pitää etenkin kasvupaikan viljavuuden joustavaa kuvaamista.

5.4 Nuorten viljelymänniköiden kasvunopeus

Viljelymänniköiden kasvu oli ennen esitettyä nopeampaa (**VI**). Valtapituuden kehitys osoittautui nopeammaksi, kuin mihin varttuneiden viljelymänniköiden mallilla oli päädytty (Vuokila ja Väliaho 1980). Nopeampi alkukehitys merkitsee sitä, että viljelymänniköt saavuttavat ensiharvennusvaiheen ennakoitua aiemmin. Valtapituuden kehityksen lisäksi myös keskiläpimitan, pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitys oli aiemmin arvioitua nopeampaa, mitä osoitti seuraava vertailu suomalaisissa kylvömänniköissä 20 vuoden iällä:

	MT (H_{100}=27)			VT (H_{100}=24)		
	D, cm	G, m^2/ha	V, m^3/ha	D, cm	G, m^2/ha	V, m^3/ha
Kallio (1960)	7,5	11,0	50	6,2	9,2	40
Vuokila ja Väliaho (1980)	8,4	11,1	40	6,7	6,3	19
VI (kylvö)	11,7	14,4	55	9,8	9,4	32

Kallion (1960) tutkimuksessa runkoluvut olivat 4 700 (MT) ja 5 700 (VT) puuta/ha ja muissa vastaavasti 2 000 ja 1 800 puuta/ha. Tämä selitti osan keskiläpimitan erosta. Osatutkimuksen (**VI**) malleilla estimoiduissa pohjapinta-aloissa ja tilavuuksissa oli Vuokilan ja Väliahon (1980) malleilla estimoituihin verrattuna hyvin tarkasti kahden vuoden kasvun suuruinen ero, joka vastasi aiemmin todettuja valtapituuden kasvueroja.

Osatutkimuksen (**VI**) malleja verrattiin myös Perssonin (1992) esittämiin istutusmänniköiden tuotostaulukoiden alkuarvoihin pituusboniteetilla H_{100}=24 sekä valtapituuksilla 9,9 (Persson 1992) ja 10,1 metriä (**VI**), jolloin metsiköiden iät olivat vastaavasti 29 (Persson 1992) ja 27 vuotta (**VI**):

N	Persson	**VI**	Persson	**VI**	Persson	**VI**
	D_g, cm	D_{gM}, cm	G, m^2/ha		V, m^3/ha	
2 100	11,8	13,4	23,2	22,0	112	98
2 500	11,1	12,9	24,7	22,9	118	102
4 500	9,0	11,4	28,5	26,0	133	122

Osatutkimuksen (**VI**) mallien mukaan keskiläpimitta oli keskimäärin 1,5 cm suurempi kuin Perssonin (1992) tutkimuksen malleilla saatu, mikä selittyi suurimmaksi osaksi erilaisilla keskiläpimittatunnuksilla. Pohjapinta-ala ja tilavuus olivat jonkin verran pienempiä ja valtapituuden kehitys noin kaksi vuotta nopeampi osatutkimuksen (**VI**) malleilla. Tilavuusmallin todettiin testiaineistossa antavan aliarvioita, kun valtapituus läheni kymmentä metriä. Vertailu Perssonin (1992) tutkimukseen vahvisti tätä käsitystä.

Kylvötaimikoiden pohjapinta-alan kasvu ja siten myös tilavuuden kehitys oli samalla kasvupaikalla istutustaimikoita hitaampaa (**VI**). Tämän katsottiin johtuvan kylvömäntyjen ryhmittäisestä tilajärjestyksestä. Myös Pukkalan (1988) mukaan ryhmittäisyys pienensi tilavuuskasvua, hänen aineistossaan 10–20 %:lla viidessä vuodessa ensiharvennuksen jälkeen verrattuna tasaiseen tilajärjestykseen.

Osatutkimuksessa (**III**) arvioitiin, että puolukkatyypin kylvömänniköissä kyetään kasvattamaan miltei 3 000 runkoa hehtaarilla käyttöpuun mittoihin kasvatustiheyden ollessa 4 000 puuta/ha jo valtapituudella 10 metriä. Keskimäärin seitsemän metrin valtapituudella harvennettujen taimikoiden ensiharvennuksessa oli käyttörunkoja yli 3 000 runkoa hehtaarilla kasvatustiheydellä 4 000 puuta/ha, joka todettiin edullisimmaksi pelkästään käyttöpuun määrän kannalta tarkasteltuna (**IV**). Vuokilan (1972) tutkimuksessa pituusboniteetilla H_{100}= 24 käyttöpuun maksimimäärä jäi ensiharvennuksessa 2 600 runkoon/ha. Poistettujen runkojen keskitilavuus oli yli 50 dm^3 kasvatustiheydellä 2 200 puuta/ha (**IV**), kun vastaava tilavuus Vuokilan (1976) luontaisesti ja kylväen perustettuihin männiköihin perustuvassa tutkimuksessa jäi alle 30 dm^3:n. Viljelymetsiköissä päästiin siis selvästi suurempiin ensiharvennuskertymiin kuin luontaisesti syntyneissä metsiköissä, joita Vuokilan (1972, 1976) tutkimusten aineistot enimmäkseen olivat. Syinä tähän lienevät viljelytaimikoiden tasaikäisyys ja luonnontaimikoita tasaisempi tilajärjestys.

Aikaisella taimikonharvennuksella nopeutetaan järeytymistä. Kolmen metrin valtapituudella harvennetuissa taimikoissa oli 5–7 vuotta taimikonharvennuksen jälkeen esimerkiksi runkoluvulla 1 000 puuta/ha yhtä paljon runkotilavuutta kuin niissä taimikoissa, joissa harvennus tehtiin myöhemmin runkolukuun 2 000 puuta/ha (**III**). Thernström (1982) osoitti harvennusajankohdan vaikuttavan samalla tavalla järeytymiseen luontaisesti syntyneissä taimikoissa. Jos kylvötaimikoiden kasvatuksen tavoitteena on pelkästään kasvattaa nopeasti järeätä puuta, kylvötuppaiden harvennus kannattaa tehdä aikaisin.

5.5 Tyvitukin paksuimman oksan läpimittaan vaikuttavat tekijät

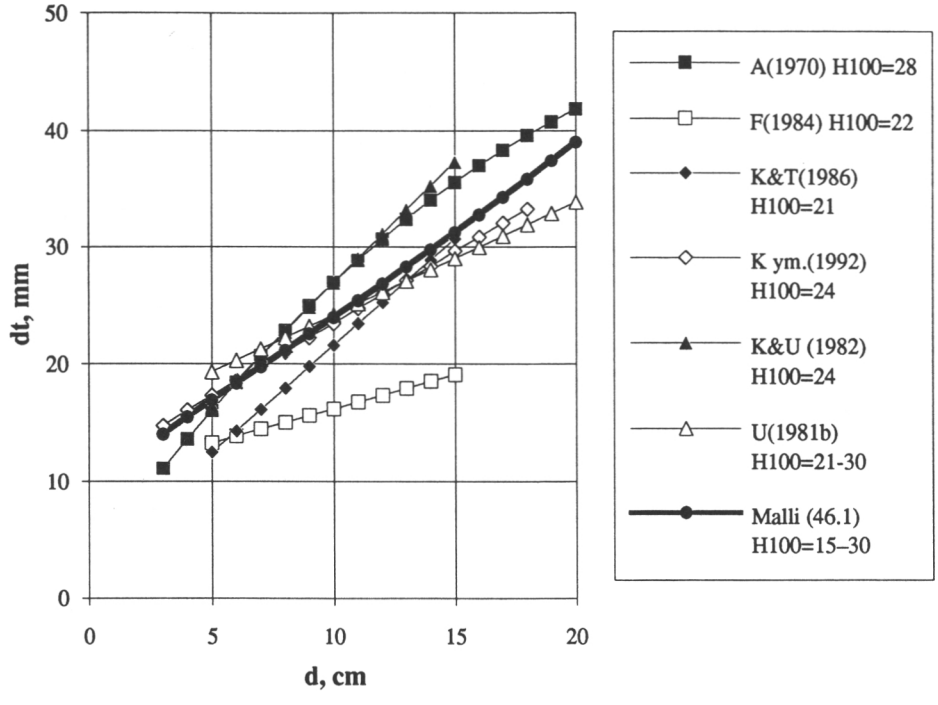
Puun koko, ilmaistuna yleisimmin rinnankorkeusläpimitalla, on ehdottomasti tärkein männyn oksien ja erityisesti paksuimman oksan läpimittaan vaikuttava tekijä. Useimmissa paksuimman elävän oksan läpimittaa kuvaavissa malleissa tämä riippuvuus kuvataan yksinkertaisella suoran yhtälöllä, mutta myös toisen asteen ja logaritmimallia on käytetty (taulukko 8). Seuraavaksi yleisin selittäjä on metsikön runkolukua kuvaava tunnus. Runkoluvun lisääntyminen vaikuttaa vähentäen oksanpaksuutta joko suoraviivaisesti (Abetz 1970, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Kellomäki ym. 1992), suhteessa istutusväliin (Persson 1977, Fryk 1984) tai eksponentiaalisesti (Maguire ym. 1991, Pukkala ym. 1992), kuten mallissa (46.1).

Yksittäisen puun asema metsikössä, oksan sijainti latvuksessa ja metsikön kehitysvaihetta kuvaavat tunnukset ovat muita malleissa käytettyjä selittäviä muuttujia. Kasvupaikan viljavuus on ilmaistu joko pituusboniteetin (Maguire ym. 1991) tai neulasten typpipitoisuuden ja maan raekoostumuksen (Kellomäki ym. 1992) avulla. Kellomäen ym. (1992) tutkimuksen mukaan kasvupaikan vaikutus oksaläpimittoihin oli kuitenkin vähäinen samaläpimittaisilla puilla, puolukka- ja mustikkatyypin välillä alle yksi mm. Kanervatyyppi erosi selvimmin muista kasvupaikoista.

Eri tutkimusten malleilla ja mallilla (46.1) estimoidut riippuvuudet männyn tyvitukin paksuimman oksan läpimitan ja rinnankorkeusläpimitan väliselle suhteelle olivat hyvin

samansuuntaisia (kuva 11). Frykin (1984) mallissa ennustettiin paksuinta oksaa 1–2 metrin korkeudella maanpinnasta, joten mallin antamat oksaläpimitat erosivat selvästi muista.

Mallissa (46.1) käytettyä taimikonharvennuksen ajankohtaa $H_{dom(h)}$ kuvaavaa muuttujaa ei ole käytetty muissa malleissa. Muuttuja sisältää myös syntytapamuuttujan, koska istutetuissa taimikoissa $H_{dom(h)}$ =0. Muuttujan taustana on ajatus, että mitä aikaisemmin kylvötaimikko harvennetaan, sitä enemmän se muistuttaa vastaavalla tiheydellä yksittäisasennossa viljelystä lähtien kasvanutta istutustaimikkoa. Myöskään syntytapaa ei ole muissa malleissa selittävänä muuttujana. Mallilla (46.1) lasketut oksanpaksuudet olivat hyvin samansuuruisia laajaan (n=2 400 puuta), joskin alueellisesti suppeaan aineistoon perustuvan Pukkalan ym. (1992) tutkimuksen ja noin 300 puuhun perustuvan Kellomäen ym. (1992) tutkimuksen aineistojen kanssa.



Kuva 11. Männyn tyvitukin paksuimman (Uusvaara 1981b; pisimmän) oksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona eri tutkimusten mukaan. Runkoluku oli 2 500 puuta/ha (Pukkala ym. 1992 2 000 puuta/ha), jos tiheys oli mallissa mukana. Kasvupaikka (H_{100}) arvioitiin metsätyypin tai iän ja valtapituuden avulla aineiston keskiarvona. Puun asema (d/D_{gM}) oli 1, jos se oli mallissa mukana (Abetz 1970, Fryk 1984, Kaunisto ja Tukeva 1986, Kellomäki ym. 1992, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Uusvaara 1981b).

Taulukko 8. Männyn ja eräiden muiden puulajien paksuimman oksan läpimittaa kuvaavien regressiomallien muuttujat.

	selitettävä	selittäjät											
	d_t	$\ln(d_t)$	$d_t^{0,5}$	d	d^2	$d^{0,5}$	d/D	$C^{1)}$	sij.$^{2)}$	$N^{3)}$	T	H_{100}	G	$H_{dom(h)}$
Heiskanen (1965)	x			x										
Abetz (1970)	x			x	x				x	x				
Persson (1977)	x			x						x				
Kärkkäinen ja Uusvaara (1982)	x			x						x	x			
Fryk (1984)	x			x						x				
Uusvaara (1981b)	x			x										
Kaunisto ja Tukeva (1986)	x			x						x				
Maguire ym. (1991) *Pzeudotsuga menziesii*		x							x	x		x		
Kellomäki ym. (1992)	x			x			x			x		x		
Pukkala ym. (1992)			x	x				x		x	x		x	
Doruska ja Burkhart (1994) *Pinus taeda*	x			x					x					
46.1		x				x	x			x				x

1) puiden välinen kilpailuindeksi, 2) oksan sijainti latvuksessa, 3) runkuluku/ha tai istutusväli

5.6 Istutus- ja kylvömänniköiden kasvatustiheys

Keski-Euroopassa istutustaimikot kasvatetaan huomattavasti tiheämpinä kuin Suomessa. Kuitenkin, jos Suomessa pyrittäisiin samoihin tyvitukin oksanpaksuuksiin eli kaikkien oksien tulisi olla enintään 20 mm:n paksuisia, tulisi istutustiheydet nostaa samalle tasolle. Pituusboniteetilla arvioituna (**VI**, malli 33.1) keskieurooppalaisten istutustiheyttä selvittäneiden tutkimusten aineistot olivat peräisin Etelä-Suomen tuoreita ja lehtomaisia kankaita, osin lehtoja vastaavilta kasvupaikoilta (Kramer 1975, Thren 1985: H_{100}= 33, Dippel 1982, Spellmann ja Nagel 1992: H_{100}=29, Kramer ja Junemann 1984: H_{100}= 25–27). Näissä tutkimuksissa päädyttiin suosittamaan noin 10 000 puun/ha istutustiheyttä pyrittäessä kasvattamaan korkealaatuisia männiköitä. Tässä tutkimuksessa tehdyt simuloinnit antoivat samansuuntaisia tuloksia näiden tutkimusten kanssa.

Kellomäen ym. (1992) mukaan taimikonkäsittely tuli tehdä puolukkatyypillä noin viiden metrin keskipituusvaiheessa (valtapituus noin kuusi metriä), jos alkutiheys oli 4 000–5 000 puuta/ha. Laatukriteerinä oli elävän latvuksen paksuimman oksan maksimiläpimitta 20 mm. Koska aineisto ei sisältänyt kylvötaimikoita, suositus lienee tarkoittanut istutustaimikoita. Tässä tutkimuksessa tehtyjen simulointien mukaan Etelä-Suomen puolukkatyypin kankaalla pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimmat oksat kasvoivat 23–27 mm:n paksuisiksi tiheydellä 4 000–5 000 puuta/ha, vaikka taimikkoa ei harvennettu lainkaan. Ero tulosten välillä johtui siitä, että Kellomäen ym. (1992) aineisto oli poikkileikkaus taimikoista (puolukkatyypillä keskipituus 5–9 metriä). Simulointien mukaan vihreän latvuksen alaraja ylitti neljä metriä puolukkatyypillä puiden pituuden ollessa 8–11 metriä eli selvästi myöhemmin kuin Kellomäen ym. (1992) aineistossa. Kellomäen ym. (1992) päätelmät oli siis tehty liian nuorista metsiköistä saatujen tulosten perusteella.

Simulointien (alaluku 4.7) ja osatutkimuksen (V) lustonpaksuusmallin tulokset osoittautuivat samanlaisiksi istutusmänniköissä. Jos u/s-laadun sahatavaran saannon alarajana pidettiin keskimäärin 3 mm:n lustonpaksuutta tai 30 mm:n oksanpaksuutta, rehevällä puolukkatyypillä (H_{100}=24) u/s-sahatavaraa saatiin tiheydellä 2 000 puuta/ha vain pohjapinta-alamediaanipuuta pienemmistä puista. Jos korkealaatuisen sahatavaran rajana pidettiin keskimäärin 2 mm:n lustonpaksuutta tai 20 mm:n oksanpaksuutta, rehevällä puolukkatyypillä tällaista sahatavaraa ei käytännössä saatu lainkaan edes tiheydellä 4 000 puuta/ha. Puolukkatyyppiä viljavammilla kasvupaikoilla sahatavaran saanto oli luonnollisesti vielä huonompi.

Yleensä männyn oksikkuuden kannalta on pidetty tärkeämpänä taimikonharvennuksen ajankohtaa kuin runkolukua taimikonharvennuksen jälkeen (Vuokila 1982, Kellomäki ym. 1992). Simulointien tulos ei tukenut tätä väitettä. Kylvötaimikoiden harvennusajankohdalla oli hyvin vähän vaikutusta oksien paksuuntumiseen. Syynä saattoi olla se, että yhdistetyssä aineistossa oli vain vähän todella myöhäisessä vaiheessa harvennettujen koealojen puita tai sellaisia puita, jotka olivat kasvaneet harventamattomissa kylvötuppaissa. Taimikonharvennuksen ajankohtamuuttuja sai siten oksanpaksuusmallissa liian vähäisen painon. Toisena syynä saattoi olla Kellomäen ym. (1992) latvusrajamalli, jossa puuston tiheys vaikutti latvusrajaan vähän, esimerkiksi välillä 1 000–12 000 puuta/ha vain yhden oksakiehkuran verran.

Kylvötaimikoiden kasvatustiheyttä selvittäviä tutkimuksia on tehty vähän, joten tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia on vaikea verrata muihin. Näslundin (1983) mukaan valtataimien oksat jäivät noin 3 mm ohuemmiksi harventamattomissa kylvötuppaissa verrattuna harvennettujen tuppaiden puihin, ja tämä johtui pääasiassa hitaammasta läpimitan kehityksestä. Puiden ryhmittäisyys pienensi Pukkalan ym. (1992) mukaan oksan paksuutta, mutta tämä johtui lähes yksinomaan rinnankorkeusläpimitan paksuuden vähenemisestä ryhmittäisyyden seurauksena. Paksuimmilla puilla ei ollut eroa tasaisen ja ryhmittäisen tilajärjestyksen välillä (Pukkala ym. 1992). Simuloinneilla saatu tulos valtapuiden paksuoksaisuudesta tuki tätä havaintoa.

5.7 Mallien ja simulointien luotettavuus sekä tutkimuksen jatko

Tutkimus jakaantui kolmeen osaan: kasvupaikkojen viljavuuden määrittämiseen, empiirisen osan tutkimusten esittelyyn ja malliosaan. Seuraavassa käydään läpi pääkohtia niistä epävarmuustekijöistä, joita liittyy tutkimuksen eri osiin.

Välipituusmenetelmällä estimoitujen pituusboniteettien ja metsätyyppien vastaavuus todettiin keskimäärin hyväksi. Ruotsissa on todettu nuorten kuusikoiden kasvavan selvästi nopeammin kuin mitä vanhat kuusikot kasvoivat aiemmin samalla kasvupaikalla (Tegnhammar 1992). On oletettavaa, että suomalaisissa männiköissä tapahtuu samanlaista kehitystä, joskaan muutokset eivät liene yhtä suuria kuin kuusikoissa karumpien kasvupaikkojen vuoksi. Pituusboniteettien vertailua nuorissa ja vanhoissa metsiköissä tulee jatkaa. Kasvupaikan viljavuuden määrittämistä voidaan tarkentaa pysyvien kokeiden mittaamisella ja pituusboniteettikäyrästöjen tarkentamisella näiden tietojen perusteella. Tässä tut-

kimuksessa esitetyn valtapituuden kasvumalli sekä Vuokilan ja Väliahon (1980) malli tulisi yhdistää, jotta Suomeen saataisiin yhtenäinen pituusboniteettikäyrästö viljelymänniköille.

Empiirisen osan tutkimukset muodostuivat heterogeenisista aineistoista. Ainoastaan osatutkimuksen (**I**) aineiston voi katsoa edustavan kattavasti peruspopulaatiotaan, nuoria istutustaimikoita. Tämän aineiston heikkoutena oli kuitenkin viljelytiheyksien ja istutusten onnistumisen erilaisuudesta johtunut aineiston korreloituneisuus kasvupaikan viljavuuden ja taimikon tiheyden kesken. Puukohtaisen otannan pohjalta tehty puustotunnusten laskenta perustui myös liian pieneen koealakokoon.

Järjestettyjen kokeiden (osatutkimukset **II, III, IV**) heikkoutena oli kasvupaikkojen samankaltaisuus ja vahvuutena suhteellisen suuri kasvatustiheyksien vaihtelu. Kylvömänniköistä puuttuivat suurimmaksi osaksi pitkään harventamattomina olleet käsittelyt ja aineisto oli vino sekä runkoluvun että taimikonharvennuksen ajankohdan suhteen. Luotettavampia tuloksia kylvötaimikoiden käsittelystä saadaan vasta, kun osatutkimuksen (**III**) kaikki metsiköt saavuttavat ensiharvennusvaiheen.

Huolimatta muuttujien jakaumien vinoudesta ja puustotunnusten laskennan varauksista lustonleveysmallilla (**V**) tehtyjen simulointien tulokset olivat hyvin samansuuntaisia muiden suomalaisten tutkimusten kanssa. Mallin suhteellinen keskivirhe oli jonkin verran suurempi kuin muissa yksittäisen männyn kasvua kuvaavissa malleissa (Mielikäinen 1978, 1980, Pukkala 1988). Tämä johtui puiden nuoruusvaiheen läpimitan kasvun suuresta vuosittaisesta vaihtelusta.

Eri osamallien ketjuttuneisuuden vuoksi koko kasvumallin (**VI**) luotettavuutta ei kyetty testaamaan tilastollisesti, koska rekursiivisen malliketjun luotettavuustunnusten laskenta vaatisi hyvin monimutkaisia sarjakehitelmiä (Kilkki 1979). Tärkeimmät yksittäiset mallit, vuotuisen kuorettoman pohjapinta-alan ja valtapituuden viiden vuoden kasvun kuvaavat mallit, ovat luotettavuustarkastelussa keskeisessä asemassa, koska kaikki muut metsikkötunnukset lasketaan staattisilla malleilla syöttötietojen ja dynaamisten kasvumallien antamien estimaattien perusteella. Osamalleja testattiin riippumattomassa kylvötaimikkoaineistossa (**III, IV**). Erot puustotunnusten arvoissa ennustettujen ja mitattujen välillä johtuivat lähinnä mallin laadinta-aineiston ja testiaineiston taimikoiden erilaisesta rakenteesta ja kasvujaksojen olosuhteiden eroista. Malleja verrattiin myös varttuneiden männiköiden kasvumallien alkuarvoihin (Vuokila ja Väliaho 1980, Persson 1992), ja vastaavuus osoittautui kohtuullisen hyväksi.

Mowrer (1989) piti virheitä mallien alkuarvoissa haitallisempina kuin virheitä mallien estimaateissa pyrittäessä luotettaviin kasvu- ja tuotosennusteisiin, mikä korostaa etenkin kasvupaikan viljavuuden estimoinnin tärkeyttä kasvumallissa (**VI**). Mowrerin (1989) mukaan metsikkötason kasvumalli (kuten **VI**) antoi luotettavammat estimaatit puustotunnuksille kuin läpimittajakauman mallittamiseen perustuva kasvumalli arvioitaessa monimutkaisia simulointimalleja.

Kasvumallin kokonaisuuteen kuuluu myös puiden kuolleisuuden kuvaaminen. Kuolleisuutta ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan mallitettu, koska siihen ei ollut saatavilla riittävän hyvää aineistoa ja kuolleisuuden katsottiin olevan vähäistä valtapituuden rinnankorkeuden saavuttamisen tai taimikonharvennuksen jälkeen (ks. Pettersson 1992, 1993).

Sekä lustonleveysmallin että metsikkötason kasvumallin laadintaan liittyi myös ongelma perättäisten mittausten keskinäisestä korreloituneisuudesta. Tätä ongelmaa pyrittiin poistamaan muodostamalla kasvumallit loogisesti oikein. Mallien pohjana olevan, kasvutekijöiden tulomuotoisuutta kuvaavan teorian mukaisesti mallit rakennettiin siten, että kutakin kasvutekijää kuvattiin muuttujalla, joka korrelaatiotarkastelun perusteella parhaiten kuvasi kyseistä osaa mallista. Selittävien muuttujien välistä multikollineaarisuutta vältettiin. Perättäisten mittausten korreloituneisuus aiheutti harhaa mallien luotettavuustunnuksiin ja t-testeihin, mutta ei parametrien estimaatteihin. Mallien muuttujien ja niiden muunnosten valinta perustui lähinnä jäännösvaihtelutarkasteluun.

Kasvumallien lisäksi simuloinneissa käytettiin sekamallia, jolla estimoitiin tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimitta. Laatukasvatuksen simuloinnissa tällä mallilla estimoitiin pohjapinta-alamediaanipuun ja valtapuun oksaläpimittoja. Laatukasvatuksen kannalta on tärkeää tietää keskiläpimittojen lisäksi, kuinka suuri vaihtelu oksaläpimitoissa on metsikön sisällä. Vaihtelun tarkka kuvaaminen edellyttäisi sekä rinnankorkeusläpimittajakauman että oksanpaksuuksien rinnankorkeusläpimittaluokittaisten jakaumien mallittamista. Sekamallin oksaläpimitan jäännösvaihtelun keskihajonta, 4–5 mm, ilmaisi sen, että metsikön sisällä oksaläpimittojen hajonta on suhteellisen suurta. Toisaalta Niemistö (1994) totesi ensiharvennuksessa päästävän laatuharvennuksella keskimäärin vain noin 3 mm ohuempiin oksanpaksuuksiin, joten suurenkin oksanpaksuuksien vaihtelun hyödyntäminen on käytännössä vaikeaa.

Laatukasvatuksen simuloinnissa käytettiin Kellomäen ym. (1992) suhteellisen yksinkertaista latvusrajamallia. Se on kehitetty istutus- ja luonnonmänniköiden aineistosta, ja sen käyttö kylvömänniköissä on epävarmaa. Latvusrajamalli, jossa selittävinä muuttujina ovat esimerkiksi viljelytapa ja taimikonharvennuksen ajankohta, parantaisi laatusimuloinnin luotettavuutta.

Metsikkötason kasvumallin samoin kuin Kellomäen ym. (1992) latvusrajamallin perustana olleiden aineistojen kookkaimmat puut olivat noin kymmenmetrisiä. Laatusimuloinneissa rehevillä kasvupaikoilla malleja käytettiin laadinta-aineiston ulkopuolella eli 12–13 metrin valtapituudelle asti. Tämä aiheutti epävarmuutta tuloksiin, joskin kasvumallit kuvasivat tuossa vaiheessa vuotuisen kasvun kulminaation jälkeistä suhteellisen vakaata ajanjaksoa.

5.8 Nopean kasvun ja korkean laadun yhdistäminen

Nopeasti kasvavien viljelymänniköiden nuoruusvaiheen kasvatusohjelmat voidaan jakaa kahteen osaan.

Istutusmänniköt soveltuvat massapuun tuotantoon. Niiden järeytyminen ja tilavuuskasvu on tämän tutkimuksen mukaan aiemmin esitettyä nopeampaa ja käyttöpuun määrä ensiharvennuksessa aiemmin esitettyä suurempi. Istutusmänniköt antavat hyvät mahdollisuudet kannattavien ensiharvennusten tekemiseen. Korkealaatuisen sahatavaran tuottaminen ei istutusmänniköissä onnistu ilman nykyisten viljelytiheyksien kaksinkertaistamista, mikä ei liene taloudellisesti mahdollista. Istutusmänniköt soveltuvat vain kaksivaiheiseen pystykarsintaan oksien nopean paksuuskasvun vuoksi.

Kylvömänniköt antavat mahdollisuuden laatupuun kasvatukseen. Kylvökohtien määrän tulisi olla vähintään 5 000 kpl/ha, eikä kylvötuppaiden harventamista pidä tehdä, ennen kuin valtapituus on noin kuusi metriä. Harvennuksessa kannattaa jättää 3 000–4 000 puuta/ha kasvamaan, koska kylvömännikötkin pystyvät tuottamaan yli 3 000 kuiturunkoa normaaliin ensiharvennukseen mennessä. Korkealaatuisen sahatavaran kasvattamisen periaatteena on saada oksat kuolemaan tyvitukin alueella mahdollisimman ohuina. Tämä vaatii suurta kasvatustiheyttä aina ensiharvennukseen asti.

Kirjallisuus

Aarne, M. (toim.). 1995. Metsätilastollinen vuosikirja 1995. Statistical Yearbook of Forestry. Suomen virallinen tilasto. Maa- ja metsätalous 5. 354 s.

Abetz, P. 1970. Bestandesdichte und Astdurchmesser bei der Rheintalkiefer. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 141(12): 233–238.

Agestam, E. 1985. En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Summary: A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter 15. 150 s.

Ahola, V. 1949. Metsänviljely. Julkaisussa: Kalela, E.K., Keltikangas, V. & Aro, P. (toim.). Suuri metsäkirja. I osa. s. 190–234.

Airaksinen, P. 1994. Puutavaralajien laatuvaatimukset. Tapion taskukirja. Metsäkeskus Tapion julkaisuja. 21. uudistettu painos. s. 451–453.

Andersson, S.-O. 1971. Sörlandsexkursionen 15–16 sept. 1970. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift. Häfte 2: 118–121.

Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford. 506 s.

Baule, B. 1917. Zu Mitsherliches Gesetz der physiologischen Beziehungen. Landwirtschaftliche Jahrbuch 51: 363–385.

Blomgrén, Y. 1952. Tuomarniemen metsänviljelytöistä ja niiden tuloksista. Referat: Über Waldkulturarbeiten und ihre Erfolge im Revier Tuomarniemi. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(28): 1–15.

Borg, A. 1931. Metsänviljelys. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 7. painos. s. 77–84.

— 1938. Metsänviljelys. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 8. painos. s. 54–59.

Burzynski, G. & Zajaczkowski, J. 1983. Effect of initial spacing on the growth of Scots pine stands up to 10 years old. Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa, Poland 621: 101–122.

Cajander, E.K. 1932. Tietoja metsänviljelystoiminnasta Suomessa 1923–1930. Referat: Über die Forstkulturtätigkeit in Suomi (Finnland) 1923–1930. Silva Fennica 22. 35 s.

— 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(3). 101 s.

Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. & Bailey, R.L. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 333 s.

Daniels, R.F. & Burkhart, H.E. 1988. An integrated system of forest stand models. Forest Ecology and Management 23: 159–177.

Dippel, M. 1982. Auswertung einer NELDER-Pflanzverbadsversuchs mit Kiefer im Forstamt Walsrode. Summary: Evaluation of a Nelder spacing experiment with Scots pine in the Walsrode Forest District. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 153(8): 137–152.

Dittmar, O. 1988. Können wir uns eine Verbandserweiterung bei der Kiefer leisten? Ein Vergleich von drei Kiefernversuchsreihen mit extrem unterschliedlichen Ausgangspflanzenzahlen bis zum Abschluß der Jungbestandspflege. Beitrage für die Forstwirtschaft 22(1): 16–21.

Doruska, P.F. & Burkhart, H.E. 1994. Modeling the diameter and locational distribution of branches within the crowns of loblolly pine trees in unthinned plantations. Canadian Journal of Forest Research 24: 2362–2376.

Ehrentreich, H.P. 1983. System und Ergebnis der Kiefernpflanzung im Verband 3,0x0,5 m. Allgemeine Forstzeitschrift 37: 944–945.

Ekö, P.M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. Summary: A growth simulator for Swedish forests,

based on data from the national forest survey. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel. Rapporter 16. 224 s.
Elfving, B. 1978. Projekt HUGIN — en översiktlig beskrivning. II. HUGIN-metoder för prognoser över föryngringsresultat och plant- och ungskogsutveckling. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 6 (Årg. 117): 309–313.
— 1983. Ståndortsindex på HUGIN's ungskogsytor. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel. Moniste. 11 s.
— 1992. Återväxtens etablering och utveckling till röjningstidpunkten. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel. Arbetsrapporter 67. 33 s. + 10 liitettä.
Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 41. 291 s.
Erteld, W. 1975. Verbandsweite, Jahrringsbreite und Aststärke def Kiefer auf einem mittleren terrestrischen Standort im Altpleistozän. Sozialistische Forstwirtschaft 25(8): 242–245.
Flöhr, W. 1975. Zur Verbandswahl in Kiefernkulturen aus waldbaulicher und technologischer Sicht. Die sozialistische Forstwirtschaft 25(8): 236–238.
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. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen for Skogsproduktion. Rapport 13. 248 + 153 s.
Garcia, O. 1984. New class of growth models for even-aged stands: Pinus radiata in Golden Downs Forest. New Zealand Journal of Forestry Science 14(1): 65–88.
— 1988. Growth modelling — a (re)view. New Zealand Forestry 33(3): 14–16.
Goulding, C.J. 1994. Development of growth models for Pinus radiata in New Zealand — experience with management and process models. Julkaisussa: Mohren, G.M.J, Bartelink, H.H. & Jansen, J.J. (toim.). Contrasts between biologically-based prosess models and management-oriented growth and yield models. Forest Ecology and Management, Special Issue 69: 331–343.
Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. Folia Forestalia 454. 31 s.
— , Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittausmenetelmät ja aineistojen rakenteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 292. 212 s.
Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. Silva Fennica 19(4): 377–385.
Hari, P., Kellomäki, S., Mäkelä, A., Ilonen, P., Kanninen, M., Korpilahti, E. & Nygrén, M. 1982. Metsikön varhaiskehityksen dynamiikka. Summary: Dynamics of early development of tree stand. Acta Forestalia Fennica 177. 42 s.
Heikinheimo, O. 1941. Metsänhoito. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 9. painos. s. 44–62.
— 1944. Metsänhoito. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 10. painos. s. 54–72.
— 1947. Metsänhoito. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 11. painos. s. 50–69.
— 1949. Metsän viljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 12. painos. s. 84–99.
— 1951. Metsänistutukset huokeammiksi ja yleisemmiksi. Metsälehti 45: 1–2.
— 1956. Metsän viljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 13. painos. s. 96–110.

— 1959. Metsän viljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsäseura Tapio. 14. painos. s. 103–117.
Heiskanen, V. 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukkien laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 44(5). 28 s.
— 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta Forestalia Fennica 80(2). 62 s.
Huuri, O. 1969. Metsänviljelyn asemasta maailman metsätaloudessa. Julkaisussa: Lehto, J. (toim.). Metsänviljely. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja, Helsinki. s. 9–18.
— , Huuri, L. & Oja, S. 1989. Selostus vuonna 1713 julkaistusta Hannss Carl von Carlowitzin teoksesta Sylvicultura Oeconomica. English section: An Account of Sylvicultura oeconomica by Hannss Carl von Carlowitz, published in 1713. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 323. 140 s.
— , Lähde, E. & Huuri, L. 1987. Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen. Summary: Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations. Folia Forestalia 685. 48 s.
Hägglund, B. 1974a. Bonitering. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 33: 204–213.
— 1974b. Treatment of young stands. Symposium stand establishment. Proceedings. IUFRO joint meeting, Divisions 1 and 3. Wagenigen — The Netherlands, October 15 – 19, 1974. s. 347–372.
— 1974c. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Summary: Site index curves for Scots pine in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 31. 54 s.
— 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 39. 66 s.
— 1977. Boniteringssystemets praktiska tilllämpning. Summary: Practical assessment of site quality. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 5: 463–471.
— 1981a. Evaluation of forest site productivity. Forestry Abstracts 42(11): 515–527.
— 1981b. Forecasting growth and yield in established forests. An outline and analysis of the outcome of a subprogram within the HUGIN project. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering. Rapport 31. 145 s.
— , Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. Sveriges Lantbruksuniversitet, Projekt HUGIN. Rapport 13. 133 s.
— & Lundmark, J.-E. 1977. Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer. Tall och gran i Sverige. Skogshögskolan, Institutionen för Växtekologi och Marklära. Rapporter och Uppsatser 28. 240 s.
Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta Forestalia Fennica 15(4). 94 s. + 9 liites.
Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvutiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyn taimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. Folia Forestalia 508. 12 s.
Jonson, T. 1914. Om bonitering av skogsmark. Skogsvårdsföreningens Tidskrift. Årgång 12: 369–392.
Jonsson, B. 1962. Om barrblandskogens volymproduktion. Summary: Yield of mixed coniferous forests. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 50(8): 1–143.

— 1969. Studier över den av väderleken orsakade variationen i årsringsbredderna hos tall och gran i Sverige. Summary: Studies of variations in the widths of annual rings in Scots pine and Norway spruce due to weather conditions in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 16. 297 s.
Kaila, S. 1993. Metsänviljelyn tulos- ja kustannusvertailu aggregointiin perustuvalla menetelmällä. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Lisensiaatintutkimus. 106 s.
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 Forestalia Fennica 71(3). 78 s.
Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. 116 s.
Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemailla. Summary: Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat. Folia Forestalia 646. 36 s.
Kauttu, K. 1965. Metsänviljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 15. painos. s. 92–105.
— 1971. Metsänviljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 16. uudistettu painos. s. 122–135.
Kellomäki, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(4). 50 s.
— 1984. Havaintoja puuston kasvatustiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines. Silva Fennica 18(2): 101–114.
— , Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatukasvatus. Silva Carelica 23. 133 s.
— & Oker-Blom, P. 1983. Canopy structure and light climate in a young Scots pine stand. Seloste: Männikön latvuston rakenne ja latvuston sisäiset valaistusolot. Silva Fennica 17(1): 1–21.
— , Oker-Blom, P., Valtonen, E. & Väisänen, H. 1989. Structural development of Scots pine stands with varying initial density: effect of pruning on branchiness of wood. Forest Ecology and Management 27(3–4): 219–233.
— & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. Folia Forestalia 478. 27 s.
— & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 139. 38 s.
Kilkki, P. 1979. Outline for a data processing system in forest mensuration. Seloste: Ehdotus metsänmittaustulosten laskentamenetelmäksi. Silva Fennica 13(4): 368–384.
— & Päivinen, R. 1986. Weibull function in the estimation of the basal area dbh-distribution. Seloste: Weibull-funktio pohjapinta-alan läpimittajakauman estimoinnissa. Silva Fennica 20(2): 149–156.
Kinnunen, K. 1986. Männyn kylvötuppaiden harventamisesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 215. 19 s.
Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(8). 49 s.
Kolehmainen, V.A. 1957. Vehkatallinmaa. Summary: Vehkatallinmaa a successful reforestation area. Silva Fennica 90(4). 18 s.

Kolström, T. 1991. Modelling early development of a planted pine stand: An application of object-oriented programming. Forest Ecology and Management 42: 63–77.
Kramer, H. 1975. Bestandesbegründung unter dem Aspekt der künftigen Durchforstung. Der Forst- und Holzwirt 30(17): 324–330.
— 1977. Zur Qualitätsentwicklung junger Kiefernbestände in Abhängigkeit vom Ausgangsverband. Der Forst- und Holzwirt 32(23): 469–476.
— 1988. Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 374 s.
— & Junemann, D. 1984. Bestandesentwicklung und Erstdurchforstung bei einem weitständig begründeten Kiefernbestand. Summary: Development of stand structure and first thinning of a widely spaced pine stand. Forstarchiv 55(1): 10–17.
— & Röös, M. 1989. Durchforstungsversuch in einem weitständig begründeten Kiefernbestand. Forst und Holz 44(6): 139–144.
Kujala, V. 1979. Suomen metsätyypit. Abstract: Forest types of Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(8). 45 s.
Kärkkäinen, M. & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. Folia Forestalia 515. 28 s.
Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108. 74 s.
Lahti, T. 1995. Understorey vegetation as an indicator of forest site potential in southern Finland. Acta Forestalia Fennica 246. 68 s.
Laitakari, E. 1937. Laatupuun kasvattamisesta. Silva Fennica 39: 259–270.
Lappi, J. 1993. Metsäbiometrian menetelmiä. Silva Carelica 24. 182 s.
Low, A.J. & Tol, G.v. 1974. Initial spacing in relation to stand establishment. Symposium stand establishment. Proceedings. IUFRO joint meeting, Divisions 1 and 3. Wagenigen — The Netherlands, October 15 – 19, 1974. s. 296–315.
Luonnonläheinen metsänhoito. 1994. Metsänhoitosuositukset. Metsäkeskus Tapion julkaisuja 6. 72 s.
Lyly, O. & Saksa, T. 1982. Pituuskasvun vaihtelu ja puuluokkien eriytyminen nuoressa istutusmännikössä. Abstract: Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation. Folia Forestalia 532. 11 s.
Lämsä, P., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1990. Nuorten mäntyjen oksikkuuden riippuvuus puuston rakenteesta ja kasvupaikan viljavuudesta. Abstract: Branchiness of young Scots pines as related to stand structure and site fertility. Folia Forestalia 746. 22 s.
Maguire, D.A., Kershaw, J.A. & Hann, D.W. 1991. Predicting the effects of silvicultural regime on branch size and crown wood core in Douglas-fir. Forest Science 37(5): 1409–1428.
Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
Metsähallitus. 1990a. Metsien hoito. Suositus, Etelä-Suomen piirikuntakonttori. 60 s. + 16 liitettä.
— 1990b. Metsien hoito. Suositus, Perä-Pohjolan piirikuntakonttori. 68 s. + 15 liitettä.
Metsätilastoa. 1967. I Metsävaranto. Forest statistics of Finland. I Forest resources. Folia Forestalia 32. 67 s.
Metsätilastollinen vuosikirja. 1968. Folia Forestalia 47. 93 s.
— 1969. Folia Forestalia 70. 126 s.
— 1970. Folia Forestalia 96. 142 s.
— 1971. Folia Forestalia 130. 176 s.
Mielikäinen, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. Folia Forestalia 363. 15 s.
— 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(3). 82 s.

— 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. 79 s.
Mitscherlich, E. 1909. Das Gesetz des Minimums and das Gesetz des abnehmenden Bodenertages. Landwirtschaftliche Jahrbuch 38: 537–552.
Mohren, G.M.J. & Burkhart, H.E. 1994. Preface. Julkaisussa: Mohren, G.M.J, Bartelink, H.H. & Jansen, J.J. (toim.). Contrasts between biologically-based prosess models and management-oriented growth and yield models. Forest Ecology and Management, Special Issue 69: 1–5.
Mowrer, H.T. 1989. The effect of forest simulation model complexity on estimate precision. Julkaisussa: Burkhart, H.E., Rauscher, H.M. & Johann, K. (toim.). Artificial intelligence and growth models for forest management decisions. Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources. Publication FWS 1: 100–109.
Mracek, Z. 1983. Growth plasticity and branchiness of trees in young stands of Scots pine (Pinus sylvestris L.). Communicationes Instituti Forestalis Cechosloveniae 13: 131–145.
— 1989. Volume and value production in a young Scots pine stand established at wide spacing. Beitrage für die Forstwirtschaft 23(2): 74–75.
Munro, D.D. 1974. Forest growth models — a prognosis. Julkaisussa: Fries, J. (toim.). Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Department of Forest Yield Research. Research Notes 30: 7–21.
Mäkelä, A. 1988. Models of pine stand development: An ecophysiological systems analysis. Helsingin yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos. Julkaisuja 62. 267 s.
Mäkelä, H. & Salminen, H. 1991. Metsän tilaa ja muutoksia kuvaavia puu- ja puustotunnusmalleja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 398. 265 s.
Nieminen, K. 1983. Metsänuudistaminen ja metsitys. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 19. uudistettu painos. s. 169–181.
— 1986. Metsänuudistaminen ja metsitys. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskumetsälautakunta Tapion julkaisuja. 20. uudistettu painos. s. 179–199.
Niemistö, P. 1994. Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käyttäen. Folia Forestalia 1: 19–32.
Nikinmaa, E. 1992. Analyses of the growth of Scots pine; matching structure with function. Seloste: Analyysi männyn kasvusta; rakenteen sopeutumista aineenvaihduntaan. Acta Forestalia Fennica 235. 68 s.
Nyyssönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta Forestalia Fennica 163. 40 s.
Näslund, B.-Å. 1983. Tallsådders utveckling fram till första gallring. Resultat från tre försöksytor med och utan enkelställning. Summary: Development of Scots pine seeded plantations to first thinning. Results from three experimental plots with and without release-cutting. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogssötsel. Rapporter 8. 37 s.
Oikarinen, M. 1978. Taimistokokeiden mittausohjeet. Konekirjoite. Metsäntutkimuslaitos. 4 s.
Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) — METSÄ 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.
Oker-Blom, P. 1986. Photosynthetic radiation regime and canopy structure in modeled forest stands. Tiivistelmä: Metsikön valoilmasto ja latvuston rakenne. Acta Forestalia Fennica 197. 44 s.
— & Kellomäki, S. 1982. Metsikön tiheyden vaikutus puun latvuksen sisäiseen valoilmastoon ja oksien kuolemiseen. Teoreettinen tutkimus. Abstract: Effect of

stand density on the within-crown light regime and dying-off of branches. Theoretical study. Folia Forestalia 509. 14 s.
— , Kellomäki, S., Valtonen, E. & Väisänen, H. 1988. Structural development of Pinus sylvestris stands with varying initial density: a simulation model. Scandinavian Journal of Forest Research 3(2): 185–200.
Orvér, M. 1970. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Skogshögskolan, Institutionen för Virkeslära. Rapporter och Uppsatser 65. 138 s.
Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia Forestalia 346. 40 s.
— 1979. Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys. Summary: Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations. Folia Forestalia 386. 20 s.
— 1985. Istuttamalla perustetun nuoren männikön, kuusikon, siperianlehtikuusikon ja rauduskoivikon kasvu. Summary: Growth of young Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and siver birch plantations. Silva Fennica 19(4): 355–364.
— 1991. Metsänuudistaminen. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Metsäkeskus Tapion julkaisuja. 21. uudistettu painos. s. 151–165.
— , Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Metsänuudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma "VILJO". Summary: A calculation system for the comparison of forest regeneration chains. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 179. 93 s.
Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemailla kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978–1979. Folia Forestalia 679. 26 s.
Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on quality of sawn timber from Scots pine. Skoghögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 42. 122 s.
— 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 45. 152 s.
Persson, O. 1992. En produktionsmodell för tallskog i Sverige. Abstract: A growth simulator for stands of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion. Rapport 31. 206 s.
Pettersson, N. 1992. Inverkan av planteringsförbandet på volym och struktur i tall- och granbestånd. Summary: The effect of spacing on volume and structure in planted Scots pine and Norway spruce stands. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion. Rapport 30. 58 s.
— 1993. The effect of density after precommercial thinning on volume and structure in Pinus sylvestris and Picea abies stands. Scandinavian Journal of Forest Research 8(4): 528–539.
Pisarenko, A.I. & Merzlenko, M.D. 1979. The main approaches to solving the problems of the planting density in plantations. Lesovedenie 2: 49–55.
Pohtila, E. & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. Folia Forestalia 453. 18 s.
Pukkala, T. 1988. Effect of spatial distribution of trees on the volume increment of a young Scots pine stand. Tiivistelmä: Puiden tilajärjestyksen vaikutus nuoren männikön tilavuuskasvuun. Silva Fennica 22(1): 1–17.
— 1989. Predicting diameter growth in even-aged Scots pine stands with a spatial and non-spatial model. Tiivistelmä: Läpimitan kasvun ennustaminen tasaikäisessä männikössä spatiaalisella ja ei-spatiaalisella mallilla. Silva Fennica 23(2): 101–116.

— , Karsikko, J. & Kolström, T. 1992. A spatial model for the diameter of thickest branch of Scots pine. Tiivistelmä: Spatiaalinen malli männyn paksuimman oksan läpimitalle. Silva Fennica 26(4): 219–230.
Pystykarsintaohjeet. 1982. Suomen sahanomistajayhdistys. Mikkeli. 32 s.
Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. Folia Forestalia 442. 28 s.
Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories in 1978–1979. Folia Forestalia 637. 30 s.
Saarenmaa, L. 1992. Induktiivinen oppiminen metsänviljelyn tietokannan tulkinnassa. Metsähallituksen metsänhoitotöiden kirjanpitoaineistoon perustuva tutkimus. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitoksen julkaisuja 3. 144 s. + liites.
Saksa, T. 1992. Männyn istutustaimikoiden kehitys muokatuilla uudistusaloilla. Abstract: Development of Scots pine plantations in prepared reforestation areas. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Väitöskirja. 48 s. + 4 osajulk.
— & Lyly, O. 1984. Istutustiheyden vaikutus nuoren männikön kehitykseen kuivalla kankaalla. Abstract: The effect of stocking density on the development of young Scots pine stands on a dry heath. Folia Forestalia 583. 12 s.
Salminen, H., Saarenmaa, H., Perttunen, J., Sievänen, R., Väkevä, J. & Nikinmaa, E. 1994. Modelling trees using an object-oriented scheme. Mathemathical Computing and Modelling 20(8): 49–64.
Saramäki, J. 1992. A growth and yield prediction model of Pinus kesiya (Royle ex Gordon) in Zambia. Tiivistelmä: Pinus kesiyan kasvun ja tuotoksen ennustemalli Sambiassa. Acta Forestalia Fennica 230. 68 s.
Schmidt-Vogt, H. 1977. Keski-Euroopan metsänhoidon kehityssuuntia. Silva Fennica 11(1): 42–48.
Sievänen, R. 1992. Construction and identification of models for tree and stand growth. Helsinki University of Technology. Automation technology laboratory. Series A: Research Reports No. 9. 52 s.
— 1993. A process-based model for the dimensional growth of even-aged stands. Scandinavian Journal of Forest Research 8(1): 28–48.
Sirén, G. 1956. Männyn taimistojen käsittelystä. Summary: The treatment of pine seedling stands. Metsätaloudellinen aikakauslehti 1: 5–12.
Spellmann, H. & Nagel, J. 1992. 2. Auswertung des NELDER-Pflanzverbandsversuches mit Kiefer im Fostamt Walsrode. Summary: Evaluating the NELDER-spacing experiment with scots pine in Walsrode. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 163(11–12): 221–229.
Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser — Tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag i Sverige. Summary: Functions for forecasting of timber yields — Increment and form height for individual trees of native species in Sweden. Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelning för Skogsuppskattning och Skogsindelning. Rapporter – Skog 14. 251 s.
Takala, P. 1975. Metsänviljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 17. uudistettu painos. s. 109–120.
— 1978. Metsänviljely. Julkaisussa: Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 18. uudistettu painos. s. 124–136.
Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. Folia Forestalia 777. 40 s.

— 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. Folia Forestalia 819. 26 s.
Tapion taskukirja 1922. Käsikirja metsänomistajille ja metsänhoitomiehille. Metsänviljelys. Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapio. 5. painos. s. 94–95.
— 1926. Metsänviljelys. Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapio. 6. painos. s. 58–62.
Tegnhammar, L. 1992. Om skattning av ståndortsindex för gran. Summary: On the estimation of site index for Norway spruce. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogstaxering. Rapporter – Skog 53. 259 s.
Thernström, P.-O. 1982. Några resultat från sex röjningsförsök med röjning i tallungskog vid olika beståndsålder. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion. Examenarbete 3. 69 s.
Thren, M. 1985. Erste Erbegnisse eines Kiefernverbandsversuchs im Fbz. Karlsruhe-Hardt. Summary: First results of the Scots pine spacing trials in the Forest District Karlsruhe-Hardt. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 156(1–2): 24–37.
Tiihonen, P. 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. Folia Forestalia 545. 8 s.
Turkia, K. & Kellomäki, S. 1987. Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimittaan. Abstract: Influence of the site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands. Folia Forestalia 705. 16 s.
Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 80(2). 105 s.
— 1981a. Viljelymänniköiden puun tekninen laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 28. 47 s.
— 1981b. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-grown Scots pine. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 27. 108 s.
Valsta, L. 1993. Stand management optimization based on growth simulators. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 453. 51 + 81 s.
Varmola, M. 1988. A stand model for simulating the early development of Scots pine cultures in Finland. Julkaisussa: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (toim.). Forest Growth Modelling and Prediction. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report NC-120(2): 1006–1013.
Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Suomenkielinen lyhennelmä: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 60(4): 1–86.
— 1971. Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. Folia Forestalia 99. 18 s.
— 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia Forestalia 141. 36 s.
— 1976. Ensiharvennuskertymä. Summary: Yield from the first thinning. Folia Forestalia 264. 14 s.
— 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 256 s.
— 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. Folia Forestalia 523. 55 s.
— 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 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.

Väisänen, H., Kellomäki, S., Oker-Blom, P. & Valtonen, E. 1989. Structural development of Pinus sylvestris stands with varying initial density: a preliminary model for quality of sawn timber as affected by silvicultural measures. Scandinavian Journal of Forest Research 4(2):223-238.

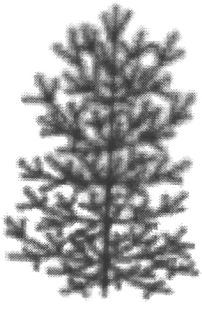
Yrjönen, K. 1980. Otantamenetelmän ja otoksen koon vaikutus taimistokokeiden mittauksen luotettavuuteen. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. 30 s.

Zajaczkowski, J., Lech, A. & Kopryk, W. 1989. Ein NELDER-Pflanzenverbandsversuch mit Kiefer (Pinus sylvestris L.) in Südostpolen. Summary: A NELDER-desing Scots Pine (Pinus sylvestris L.) spacing experiment in South-East Poland. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 160(9–10):205–209.

Liite – Käytetyt lyhenteet

Asema	puun rinnankorkeusläpimitan ja metsikön keskiläpimitan suhde
b_e	systemaattinen virhe absoluuttisena $\frac{\sum (\hat{y}-y)}{n}$
$b_{e\%}$	systemaattinen virhe suhteellisena $100 \cdot \frac{\sum \frac{(\hat{y}-y)}{\hat{y}}}{n}$
d	puun rinnankorkeusläpimitta, cm
D	metsikön keskiläpimitta, cm
D_g	metsikön pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm
D_{gM}	metsikön pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta, cm
D_{dom}	metsikön valtaläpimitta, hehtaaria kohden sadan paksuimman puun keskiläpimitta, cm
d_t	puun paksuin elävä oksa tyvitukin (neljä metriä) alueella, mm
d_{tDgM}	pohjapinta-alamediaanipuun paksuin elävä oksa tyvitukin (neljä metriä) alueella, mm
d_{tDdom}	valtaläpimittaa vastaavan puun paksuin elävä oksa tyvitukin (neljä metriä) alueella, mm
G	metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, m^2/ha
h	puun pituus, m
H_{dom}	metsikön valtapituus, hehtaaria kohden sadan paksuimman puun keskipituus, m
$H_{dom(h)}$	metsikön valtapituus, kun taimikko harvennettiin, m = 0 harventamattomissa istutustaimikoissa
H_{gM}	läpimittaa D_{gM} vastaava pituus, m
H_{100}	pituusboniteetti, valtapituus sadan vuoden iällä
$I_{Hdom(2,5)}$	valtapituuden viiden vuoden kasvu alkaen 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta, dm
$Kieh_n$	puun elävien oksakiehkuroiden lukumäärä Kellomäen ym. (1992) mallilla
ln(x)	luonnollinen logaritmi x:stä
Maa	maan hienolajitteiden osuus, %
n	havaintojen lukumäärä
N	metsikön runkoluku mukaan lukien alle 1,3 metriä pitkät taimet, kpl/ha
N_{eh}	kylvötaimikon runkoluku ennen harvennusta mukaan lukien alle 1,3 metriä pitkät taimet, kpl/ha
R^2	mallin selitysaste
s	havaintojen keskihajonta
$s_{e\%}$	mallin suhteellinen keskivirhe, %, logaritmimalleissa $100 \cdot \sqrt{e^{s_f^2}-1}$ muissa $100 \cdot \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{\hat{y}-y}{\hat{y}}\right)^2}{n-1}}$
s_f	mallin jäännöshajonta
s_m	selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta
Typpi	neulasten typpipitoisuus, %
y	muuttujan mitattu arvo
$\hat{y}$	muuttujan mallilla estimoitu arvo

I



FOLIA FORESTALIA 451

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Martti Varmola

MÄNNYN ISTUTUSTAIMISTOJEN ULKOINEN LAATU

The external quality of pine plantations

ODC 232.43:53:174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0475-2
ISSN 0015-5543

VARMOLA, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: **The external quality of pine plantations. Folia For. 451:1—21.**

Tutkimuksessa selvitettiin 467 eri puolilla Suomea sijainneen tilapäiskoealan avulla nuorten istutusmänniköiden ulkoista laatua. Kasvatustiheys havaittiin tärkeimmäksi laatuun vaikuttavaksi tekijäksi. Tiheyden lisääntyminen paransi puiden runkomuotoa ja ohensi oksia. Tiheys vähentyi kasvupaikan karuuntuessa. Siten kaikkein heikoin laatu oli VT:n männiköissä. Tulevien viljelymänniköiden laatua esitetään parannettavaksi viljelytiheyttä kasvattamalla, käyttämällä luontaisesti syntyneitä taimia täydentäjinä ja suosimalla kylvöä. Nykyisten istutustaimistojen laatua voidaan kohottaa karsimalla. Tällöinkin on käytettävä pääasiassa kaksivaiheista karsintaa.

The external quality of young pine plantations is examined with the aid of 467 temporary sample plots from different parts of Finland. The density of the stand is noted to be the most important factor affecting quality. Increasing the density improves the stem form and makes branches thinner. The density decreases when the forest site becomes poorer. Thus the quality is lowest on the Vaccinium site type. It is suggested that the quality of future pine cultivations could be improved by increasing the density, using naturally regenerated plants and by sowing. The quality of today's pine plantations can be improved by pruning, in most cases in two stages.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 4
2. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN ESIKÄSITTELY 5
   21. Otantamenetelmä 5
   22. Maastomittaukset 5
   23. Aineiston määrä 6
   24. Aineiston esikäsittely 7
3. PUIDEN LAATU 8
   31. Runkomuoto 8
   32. Oksikkuus 10
      321. Yleistä 10
      322. Paksuin tuore oksa 10
      323. Paksuin kuiva oksa 11
      324. Poikaoksat 12
      325. Oksakulma 12
      326. Oksien lukumäärä oksakiehkurassa 13
   33. Latvuksen ominaisuudet 13
      331. Latvuksen leveys 13
      332. Latvussuhde 13
      333. Paksuimpien oksien sijainti 14
   34. Kuori 15
   35. Tekninen laatu ja latvuksen muoto 15
   36. Tuhoalttius 16
4. ISTUTUSMÄNNIKÖIDEN LAADUN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET 16
5. TIIVISTELMÄ 19
   KIRJALLISUUS 20
   SUMMARY 21

1. JOHDANTO

Intensiiviseen metsätalouteen kuuluu olennaisena osana metsän uudistaminen viljellen. Metsänviljelyllä katsotaan olevan monia etuja verrattuna luontaiseen uudistamiseen. Viljelymetsät tuottavat järeää puuta luontaisesti syntyneitä enemmän. Syitä tähän ovat rodullisesti parantunut taimimateriaali ja kasvatustiheyden säätely taimivaiheesta alkaen siten, että puuston järeytyminen on nopeaa ja tehokasta. Avohakkuu sallii vanhan puuston täyskoneellisen korjuun, ja uuden metsikön perustaminen on nopeampaa kuin luontaisessa uudistamisessa. Metsänviljelyn etuihin kuuluu myös puulajin valinnan vapaus. Uudistettavalle alueelle voidaan valita sopivin puulaji välittämättä siellä aikaisemmin kasvaneesta puulajista.

Keski-Euroopassa metsänviljely on jo kauan ollut vakiintunut ja pääasiallinen uudistamismenetelmä. Suomessa metsänviljelyalat olivat vuosisadan alkupuolella varsin vaatimattomia. Cajanderin (1932) mukaan vuosina 1923—30 kylvettiin 3000—13700 ha vuosittain, enimmäkseen mäntyä.

Valtakunnan metsien II inventoinnin mukaan vuosina 1927—36 uudistettiin silloisen Suomen alueella vuosittain keinollisesti keskimäärin 16000 ha (Ilvessalo 1943, s. 186). Vielä 1950-luvulla vuotuinen viljelyala oli pitkään alle 50000 ha. Männyn kylvö oli pääasiallinen viljelymenetelmä.

Viljelyalat nousivat jyrkästi 1960-luvulla ja olivat suurimmillaan yli 140000 ha vuodessa. Nykyisin vuotuinen viljelyala on 110000—130000 ha. Vielä 1960-luvun alkupuolella männyn kylvö oli yleisin viljelymenetelmä. Nykyisin suurin osa keinollisesta uudistamisesta tehdään mäntyä istuttaen (Uusitalo 1979).

Vuosina 1950—77 on maassamme uudistettu metsää viljellen 2,6 milj. ha, josta männyn istutuksen osuus on n. 1,0 milj. ha eli n. 5 % metsämaan pinta-alasta.

Vaikka keinollinen uudistaminen onkin lisääntynyt runsaasti viime vuosikymmeninä, luontainen uudistaminen on kuitenkin hallitseva. Kuuselan (1972, s. 84) mukaan 1960-luvulla syntyi vuosittain uusia metsiköitä 300000—350000 ha, josta määrästä viljelyn osuus oli enintään 40 %.

Metsänviljelyllä on monien etujen lisäksi myös haittoja. Metsikön alkutiheys on harva. Nykyisin suositellaan istutettavaksi mäntyä, kuusta ja lehtikuusta 2000 kpl/ha ja rauduskoivua 1600 kpl/ha (Takala 1978). Pohjois-Suomessa viljelytiheys on usein tätäkin harvempi. Kun heinittyminen, vesottuminen, erilaiset eläimet ja sienitaudit tappavat tai vaurioittavat taimia, saattaa kehityskelpoisten taimien määrä vähentyä jyrkästikin. Leikolan ym. (1977) mukaan Lounais-Suomen vuosina 1959—61 viljellyissä männiköissä oli vuonna 1975 keskimäärin vain 800—900 viljelytainta hehtaarilla viljelytiheyden oltua n. 2700 kpl/ha. Samansuuntaisia tuloksia ovat esittäneet Rautiainen ja Räsänen (1980) Itä-Savon alueelta. Alkuperäisistä viljelytaimista arvioitiin kasvatuskelpoisiksi männyn viljelyaloilla 48—54 %. Luontainen taimiaines todettiin merkittäväksi taimistojen tiheyden lisääjäksi. Jos viljelytaimistoa joudutaan täydentämään, lisääntyvät kustannukset melkoisesti. Virkkusen (1969, s. 288) mukaan täydennysviljelyn hehtaarikustannukset ovat 20—30 % ensimmäisen viljelyn kustannuksia suuremmat.

Metsänviljely tuottaa taimistonhoidon myötä yksi-ilmeisen metsän. Tällaisessa monokulttuurissa tuhoriski on suurempi kuin luontaisesti syntyneessä, usein epätasaisessa ja lehtipuusekoitteisessa metsässä.

Istutusmänniköiden yleistyessä on alettu kiinnittää huomiota niiden ulkoiseen laatuun. Männiköt näyttävät oksaisilta, latvukset pensasmaisilta ja rungot tyvekkäiltä. On esitetty huolestuminen siitä, saadaanko tulevaisuuden metsistä enää korkealuokkaista sahapuuta. Nyt päätehakkuuiässä olevat metsiköt ovat syntyneet luontaisesti ja kasvaneet tai kasvatettu ”kiduttaen”, ylitiheinä ja lievin harvennuksin käsiteltyinä. Tuloksena on sahapuuta, josta Suomi on maailmalla tunnettu.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää nykyisten nuorten istutusmänniköiden kunto ulkoisten laatutekijöiden osalta. Tavoitteet voidaan kiteyttää seuraaviin kysymyksiin:

1. Millaiset ovat istutettujen mäntyjen ulkoiset laadulliset ominaisuudet nuorella iällä?
2. Mitkä tekijät vaikuttavat laadullisiin ominaisuuksiin?
3. Mitkä ovat ulkoisen laadun parantamiskeinot?

Tutkimusaiheen sain esimieheltäni professori Yrjö Vuokilalta. Kenttätöiden suunnitteluun osallistui metsänhoitaja Marja Ojanen, joka myös huolehti maastomittauksista yhdessä metsäteknikko Kari Alatalon kanssa. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professori Vuokilan lisäksi professori Kullervo Kuusela, dosentti Pekka Kilkki, maat.-metsät. lisensiaatti Kari Mielikäinen ja metsänhoitaja Ojanen. Englannin kielen on tarkistanut B. Sc. Asley Selby. Kuvat on piirtänyt laskuapulainen Hannele Alhola. Heille kaikille esitän parhaat kiitokseni.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN ESIKÄSITTELY

21. Otantamenetelmä

Tutkimusaineisto kerättiin piirimetsälautakunnittain. Jokaisesta piirimetsälautakunnasta arvottiin yksi metsänhoitoyhdistys, jonka alueelta valittiin viisi koemetsikköä. Koemetsiköt valittiin alustavasti piirimetsälautakuntien ilmoittamista metsänviljelykohteista. Ne olivat yksityismetsälain 2 §:n mukaisia ns. loppuunsaatettuja metsänviljelyaloja. Uudistamisen takaraja vaihteli Etelä-Suomesta Pohjois-Suomeen vuodesta 1965 vuoteen 1960. Metsikön valtapituuden tuli olla yli 5 m. Lopullisesti kohteet hyväksyttiin maastotarkastuksen perusteella.

Maastotarkastuksissa jouduttiin osa alustavasti valituista kohteista hylkäämään. Syinä olivat kuusen istutus männyn sijaan, metsikön uudistaminen luontaisesti, männyntaimiston tukehtuminen lehtipuun alle ja taimistoissa tapahtuneet hirvi- ja myyrätuhot. Kohteita täydennettiin tarvittaessa metsänhoidon- tai metsätalousneuvojilta saatujen tietojen perusteella. Milloin yhden metsänhoitoyhdistyksen alueelta ei löytynyt riittävää määrää hyväksyttäviä taimistoja, valittiin koemetsiköiksi joko naapuriyhdistyksen tai metsäteollisuusyhtiöiden taimistoja. Jonkin verran jouduttiin hyväksymään myös kylvötaimistoja koemetsiköiksi vanhojen istutusalojen puuttuessa.

Edustavuuden kannalta systemaattinen otanta olisi ollut paras tapa. Kustannukset ja ajankäytön optimointi pakottivat kuitenkin otannan ryhmittelyyn. Jakamalla aineisto tasaisesti piirimetsälautakunnittain saatiin aineisto koko maan kattavaksi. Koska epäonnistuneet, kehityskelvottomat taimistot hylättiin maastotarkastuksessa, aineisto ei sovi metsänistutusten onnistumisen arviointiin. Sen sijaan aineisto antaa objektiivisen kuvan kehityskelpoisten, jo vakiintuneiden, ensiharvennusta lähestyvien istutusmänniköiden tilasta.

Metsikössä otosyksikkönä oli vaihteleva-alainen koeala, jonka keskipisteenä oli keskuspuu. Koealat sijoitettiin metsikkökuvion pisimmälle halkaisijalle siten, että ensimmäinen koeala tuli 5 m:n päähän kuvion reunasta. Muut koealat sijoitettiin tasavälein halkaisijalle.

Puut luokiteltiin silmävaraisesti seuraavasti:

1. puu, joka tulee todennäköisesti säilymään päätehakkuuseen asti (≈ 500 kpl/ha)
2. muu kehityskelpoinen puu (1 + 2 ≈ 1500 kpl/ha)
3. kehityskelvoton puu eli ensimmäisessä harvennuksessa poistettava.

Keskuspuuksi hyväksyttiin mittauslinjalla olevaa pistettä lähinnä oleva, puuluokkaan 1 tai 2 kuuluva puu. Koealoja mitattiin kustakin metsiköstä 5—10.

22. Maastomittaukset

Koemetsiköistä selvitettiin normaalit metsikkötiedot. Erityistä huomiota kiinnitettiin aiempien taimistonhoitotöiden selvittämiseen.

Metsikössä mittauksen kohteena oli keskuspuun (A-puu) ja naapuripuiden (B-puut) muodostama vaihteleva-alainen koeala. Naapuripuiksi luettiin ne enintään viisi puuta, joilla katsottiin olevan vaikutusta keskuspuun kehitykseen. Puista mitattiin seuraavat tunnukset:

keskuspuu (A-puu), *(A-tree)*

- läpimitat ristikkäin mitattuina: d, $d_{.01h}$, $d_{.1h}$, $d_{.5h}$, mm
- 2 x kuori rinnantasalta, mm
- vihreä latvus: alaraja, dm
  suurin leveys, dm
- pituus, dm
- pituuskasvut: 5 viimeistä vuotta vuosittain, sitä ennen 5-vuotiskausittain rinnantasalle asti, cm
- oksat erikseen väleiltä 0—1 m, 1—2 m, 2—3 m, 3—4 m (3—4 m, jos puun pituus >5,5 m)
  paksuin tuore oksa: läpimitta, mm
  korkeus maasta, cm
  oksakulma, 1/360°
  oksien lukumäärä kiehkurassa
  paksuin kuiva oksa: läpimitta, mm
  korkeus maasta, cm
- poikaoksa: läpimitta, mm
  korkeus maasta, cm
  tuore/kuiva
- rinnankorkeusikä, v
- puun asema
- tekninen laatu
- latvuksen muoto
- tuhojen ilmeneminen ja aiheuttaja
- maanpinnan kaltevuus ja suunta
- kairaus ytimeen yhdeltä puolelta rinnantasalla

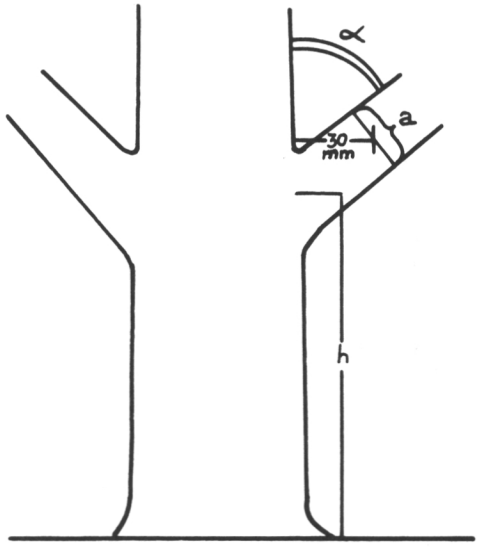
naapuripuu (B-puu), *(B-tree)*
— etäisyys keskuspuusta, dm
— suunta keskuspuusta, 1/360°
— d ristikkäin mitattuna, mm
— pituus, cm
— oksamittaukset
paksuin tuore oksa: läpimitta, mm
korkeus maasta, cm
oksien lukumäärä kiehkurassa
paksuin kuiva oksa: läpimitta, mm
korkeus
— puun asema
— tekninen laatu
— latvuksen muoto
— tuhojen ilmeneminen ja aiheuttaja

Jotta keskuspuun kasvuympäristö saataisiin mahdollisimman tarkasti kuvatuksi, mitattiin 3 m:n säteellä keskuspuu keskipisteenä kaikkien 4,5 cm:ä paksumpien puiden läpimitat 1 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen. Lisäksi selvitettiin puulajisuhteet.

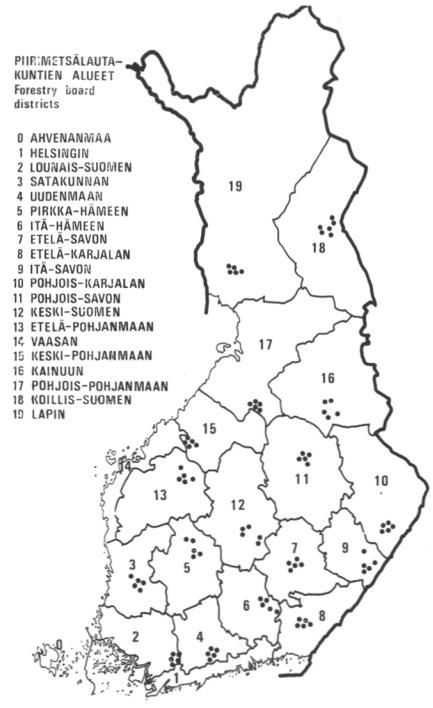
Kuvassa 1 on esitetty ne mittaustavat, joita käyttäen on määritelty oksan läpimitta, oksakulma ja oksan korkeus maasta.

Kullakin koealalla arvioitiin puuston pituusboniteetti H ä g g l u n d i n (1976, s. 25) esittelemän menetelmän mukaan. Menetelmä soveltunee myös Suomeen ainakin boniteettieroja kuvaamaan.

Pituusboniteetin määrittämistä varten mitattiin kahden rinnankorkeudeltaan paksuimman, keskuspuusta enintään 9 m:n päässä olevan, ilman tuhoja kasvaneen puun viiden vuoden pituuskasvu. Pituuskasvu mitattiin alkaen 2,5 m:n yläpuolella olevasta ensimmäisestä oksakiehkurasta.



Kuva 1. Oksatunnusten mittausten periaatteet (a = oksan läpimitta, α = oksakulma, h = oksan korkeus maasta).
Figure 1. The principles of branch measurements (a = branch diameter, α = branch angle, h = height of the branch above the ground level).



Kuva 2. Aineiston maantieteellinen jakaantuminen.
Figure 2. The geographical distribution of the material.

23. Aineiston määrä

Tutkimusaineiston maantieteellinen jakaantuminen on esitetty kuvassa 2. Metsiköt, koealat ja koepuut jakaantuivat metsätyypeittäin seuraavasti:

Metsätyyppi *Forest site type* (cf. C a j a n d e r 1909)	Metsiköitä *Number of stands*	Koealoja *Sample plots* (A-puut) (*A-trees*)	Naapuripuita *Neighbour trees* (B-puut) (*B-trees*)
OMT	9	45	144
MT	36	191	525
VT	41	231	602
Yht. *In all*	86	467	1271

Metsiköistä oli istutettuja 80 ja kylvettyjä 6. Metsiköistä oli yksityismailla 64, yhtiöiden mailla 12 sekä kuntien, seurakuntien ja yhteisöjen mailla 10. Metsiköiden ikä vaihteli 10—27 vuoteen keskiarvon ollessa 20 vuotta.

Puiden rinnankorkeusläpimittojen vaihteluväli oli 2,7—20,5 cm keskiarvon ollessa 9,6 cm ja pituuksien 1,9—13,0 m, keskiarvona 6,2 m.

Taulukko 1. Koealojen jakaantuminen tiheysluokkiin mäntyjen osalta.
Table 1. The distribution of sample plots with pine in different density classes.

Metsätyyppi *Forest site type*	Tiheysluokka, mäntyjä/koeala *Density class, number of pines per plot* Koealojen lukumäärä — *Number of sample plots*													Yht. koealoja *In all*	Keskim. mäntyjä/koeala *Average, pines per plot*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
OMT			3	4	9	11	9	2	5	1			1	45	6,3
MT	5	21	24	40	36	31	16	9	6	3				191	4,8
VT	14	43	49	49	36	25	14			1				231	3,8
Yht. *In all*	19	64	76	93	81	67	39	11	11	5			1	467	4,4

24. Aineiston esikäsittely

Keskuspuiden tilavuudet estimoitiin runkokäyrillä. Runkokäyrät laskettiin simultaaniseen moniyhtälömalliin perustuvalla laskentasysteemillä, joka on ensi kerran esitetty K i l k i n ym. (1978) julkaisussa. Menetelmää on kehitetty edelleen (K i l k k i ja V a r m o l a 1979). Nyt käytetty menetelmä perustuu vielä julkaisemattomaan, edelleen kehitettyyn systeemiin. Mitattuina tunnuksina olivat osakorkeusläpimitat $d_{.01h}$, $d_{.1h}$ ja $d_{.5h}$ sekä d, h ja latvussuhde.

Yksinkertaisin tunnus puuston tiheyden ilmaisemiseen on runkoluku (kpl/ha). Harhattoman estimaatin saaminen runkoluvulle ei ole kuitenkaan mahdollista, kun käytetään tämän tutkimuksen kaltaisia koealoja (ks. C o x 1971). Valitsemalla puu koelan keskipisteeksi on jo valittu keskimääräistä tiheämpi metsikön kohta koealan paikaksi.

Koealakohtainen tiheys voitiin tässä tutkimuksessa ilmaista luotettavimmin puiden lukumääränä kiinteän 3 m:n säteen omaavalla koealalla. Kun yksi puu vastaa 354 puuta hehtaarilla, puiden lukumäärä hehtaaria kohden saadaan seuraavan asetelman avulla:

Puiden lukumäärä *Number of trees* koealalla *on the sample plot*	hehtaarilla *per hectare*
1	< 350
2	350— 710
3	710—1060
4	1060—1410
5	1410—1770
6	1770—2120
7	2120—2480
8	2480—2830
9	2830—3180
10	3180—3540
11	3540—3890
12	3890—4240
13	4240—4600

Taulukossa 1 on esitetty aineiston jakaantuminen eri tiheysluokkiin mäntyjen osalta. Koivua esiintyi 104 koealalla ja kuusta 98 koealalla. Kun mäntyjen keskimääräinen tiheys koealoilla oli 4,4, oli se kaikilla puilla 5,2. Tuonnempana tiheydellä tarkoitetaan mäntyjen lukumäärää koealalla.

A-puut mitattiin tarkemmin kuin B-puut (ks. s. 5). Määrättyjä analyysejä voitiin näin ollen tehdä vain näistä tarkimmin mitatuista keskuspuista. A-puiden ja B-puiden yhteensopivuus selvitettiin t-testillä, jossa vertailtiin läpimittaluokittain pituuksien ja oksan paksuuksien keskiarvojen eroja.

Vain läpimittaluokassa 9 cm erot osoittautuivat merkitseviksi. Tämä johtuu osittain havaintojen runsaudesta (A-puut 166, B-puut 310), jolloin pienetkin erot keskiarvoissa aiheuttavat helposti merkitseviä eroja. Kaiken kaikkiaan A- ja B-puut eivät eroa merkitsevästi toisistaan tärkeimpien laatua kuvaavien tunnusten suhteen.

Koealoille laskettiin kasvupaikkaindeksi Hägglundin bonitointimenetelmän avulla (ks. s. 6). Metsätyypeittäiset indeksin keskiarvot ja hajonnat olivat seuraavat:

Metsätyyppi	Kasvupaikkaindeksi H_{100} $\bar{x}$	s
OMT	26,8	1,4
MT	25,5	2,3
VT	21,2	2,1
keskim.	24,4	2,5

OMT:n ja MT:n metsiköiden boniteetti-indeksien ero on pieni. Tämä voi olla osoitus siitä, että OMT:llä mäntyä on istutettu pääasiassa metsätyypin karummalle osalle. Toisena syynä on OMT:n metsiköiden pieni määrä. Havaintoja on vain 9 metsiköstä.

3. PUIDEN LAATU

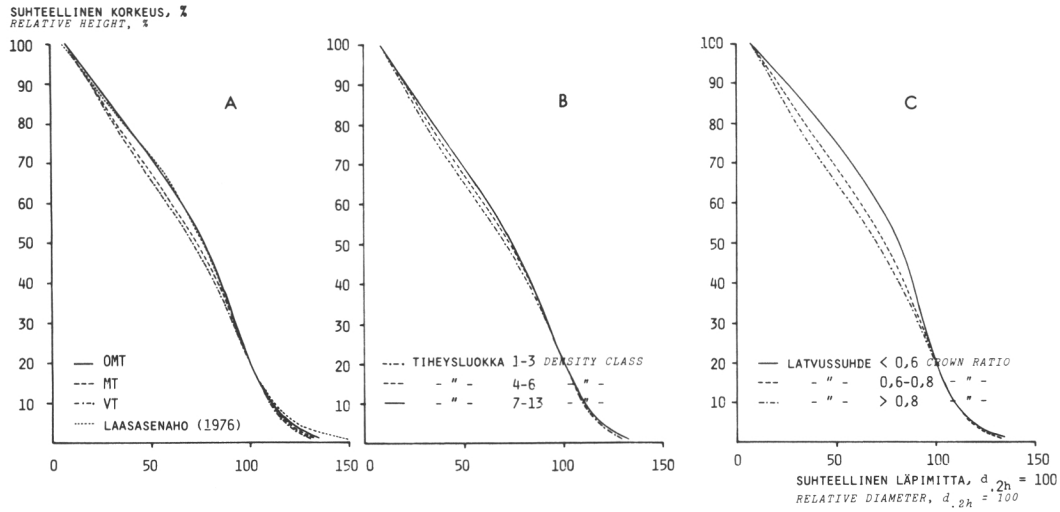
31. Runkomuoto

Runkomuotoa kuvataan joko graafisesti, kapenemistaulukoilla tai matemaattisesti. Yksinkertaisia matemaattisia tapoja ovat muotoluvut, läpimittojen erot ja suhteet. Yleisimmin käytetyt muotoluvut ovat rinnankorkeusmuotoluku f ja normaalimuotoluku $f_{.1h}$. Läpimittojen eroista käytetyin on kapeneminen d-d_6. Läpimittojen suhteista voidaan mainita esim. $d_{.5h}/d_{.1h}$ ja $d_{.5h}/d$. Lisäksi puhutaan puun tyvekkyydestä ja solakkuudesta. Tyvekkyys on kansanomainen nimitys paksutyvisille puille. Mitään matemaattista määritelmää sille ei ole. Solakkuuden kuvaamiseen käytetään solakkuusastetta, puun pituuden ja rinnankorkeusläpimitan suhdetta (I l v e s s a l o 1965, s. 78).

Puiden runkomuotoerot voivat olla absoluuttisia tai suhteellisia. Absoluuttisista eroista kertoo esim. solakkuusaste. Puiden suhteellisia runkomuotoeroja tarkasteltaessa puut normeerataan. Tällöin jokaisen puun pituudeksi tulee 100. Jollekin suhteellisella korkeudella olevalle läpimitalle (tavallisesti $d_{.1h}$ tai $d_{.2h}$) asetetaan arvo 100 ja muut osakorkeusläpimitat jaetaan tällä läpimitalla. Näin normeerattujen puiden keskimääräinen muoto vaihtelee melko vähän, eikä se ole puun koosta riippuvainen (vrt. L a a s a s e n a h o 1976, s. 71).

Suhteellisia runkomuotoeroja selvitettiin A-puiden avulla. Kuvassa 3 on esitetty metsätyypin, tiheyden ja latvussuhteen vaikutus puun runkomuotoon. Metsätyyppikuvaan on piirretty myös L a a s a s e n a h o n (1976) aineistosta läpimittaluokan 11 cm mäntyjen keskimääräinen runkokäyrä.

Vertailtaessa istutusmäntyjä Laasasenahon aineistoon (kuva 3A), jossa otosyksikköinä olivat valtakunnan metsien inventoinnin koealat ja otanta tehtiin relaskoopin avulla, kiinnittyy huomio istutusmäntyjen tyvilaajentuman vähäisyyteen. Laasasenahon aineistossa myös aivan pienimmillä puilla oli selvä tyvilaajentuma. Selityksenä lienee se, että istutusmännyt ovat läpimittaluokassaan huomattavan nuoria verrattuina saman läpimitan keskimääräisiin puihin. Tyvilaajentumaa ei ole vielä ennättänyt syntyä. Ylempänä rungossa erot ovat pienempiä kuin tyvellä.



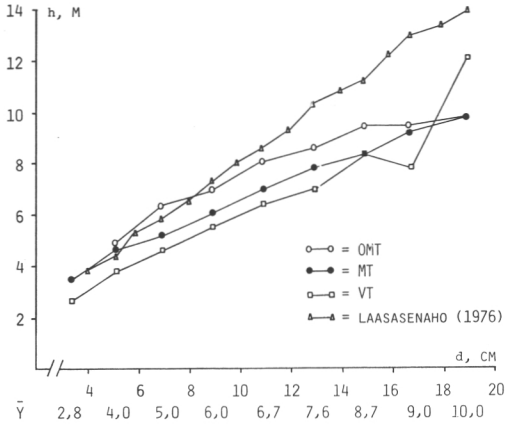
Kuva 3. Metsätyypeittäiset (3A), tiheysluokittaiset (3B) ja latvussuhdeluokittaiset (3C) runkokäyrät.
Figure 3. The taper curves for different forest site types (3A), density classes (3B) and crown ratios (3C).

Tyvilaajentuman puuttuminen vaikuttaa ennen muuta tilavuusestimaatteihin. Runkokäyrällä saatiin keskimäärin 3,75 % pienempi tilavuusestimaatti kuin Laasasenahon kuutioimisfunktiolla. Osan erosta selittää se, että runkokäyrällä kuutiointi aloitetaan 1 %:n korkeudelta, kun kuutioimisfunktiolla aloituskorkeus määräytyy erityisellä kantofunktiolla.

Kuvasta 3 huomataan, että rungon suhteellinen muoto paranee metsätyypin parantuessa, tiheyden lisääntyessä ja etenkin latvussuhteen pienentyessä. Nämä tekijät ovat kuitenkin toisiinsa sidoksissa. Vaikutustapa lienee se, että tiheyden lisääntyessä latvussuhde pienenee, jolloin runkomuoto paranee. Koska tiheys lisääntyy metsätyypin parantuessa (vrt. taulukko 1), on metsätyypin vaikutus kuvassa 3A esitetyn kaltainen. Kuvasta 3C näkyy selvästi myös mekaanisen runkomuototeorian (Larson 1963) paikkansapitävyys. Puut, joilla latvussuhde on pienempi kuin 60 %, ovat hyvin voimakkaasti vahvistaneet välittömästi vihreän latvuksen alapuolista rungon osaa.

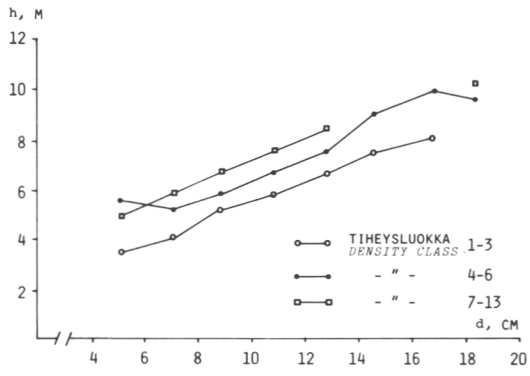
Rungon absoluuttisista muotoeroista kertoo yksinkertaisimmillaan solakkuusaste. Solakkuutta voidaan kuvata h:n ja d:n välisellä keskinäisellä riippuvuussuhteella.

Puiden solakkuutta tarkasteltiin kaikkien mitattujen puiden avulla (A- ja B-puut). Kuvassa 4 on esitetty metsätyypin vaikutus solakkuuteen. Samassa kuvassa on myös



Kuva 4. Puun pituus rinnankorkeusläpimitan funktiona metsätyypeittäin (A- ja B-puut) sekä Laasasenahon (1976) aineistossa ($\bar{Y}$ = istutusmäntyjen pituuskeskiarvot läpimittaluokittain).

Figure 4. The height of trees as a function of the breast-height diameter on different forest site types (A- and B-trees) and in Laasasenaho's (1976) material ($\bar{Y}$ = means of heights of planted pines in different dbh-classes).



Kuva 5. Puun pituus rinnankorkeusläpimitan funktiona tiheysluokittain (A-puut).

Figure 5. The height of trees as a function of the breast-height diameter in different density classes (A-trees).

Laasasenahon aineiston mäntyjen pituuskeskiarvot läpimittaluokissa 4—18 cm.

Solakkuus paranee metsätyypin parantuessa. Selitys löytyy jälleen ainakin osittain metsätyyppien välisistä tiheyseroista. Harvassa kasvaneet VT:n puut ovat vahvistaneet tyveään voimakkaasti verrattuna esim. OMT:n mäntyihin. Myös kasvunopeudella lienee vaikutusta. Rehevällä kasvupaikalla puu kasvattaa pituutta niin paljon enemmän kuin karulla kasvupaikalla, että solakkuus muodostuu paremmaksi.

Kuva 5 esittää mäntyjen tiheyden vaikutuksen solakkuuteen A-puiden osalta. Vaikutus on sekä sännönmukainen että selvä. Esim. läpimittaluokassa 11 cm harvassa kasvanut puu (alle 1000 kpl/ha) on n. 1,6 m lyhyempi kuin tiheässä (yli 2100 kpl/ha) asennossa kasvanut puu.

Pituudelle (yksikkö = m) laskettiin regressioanalyysillä malli, jossa selittävinä muuttujina olivat d (cm), boniteetti-indeksi (BON) ja tiheys (TIH) eli mäntyjen lukumäärä koealalla. Muuttujien välinen korrelaatiomatriisi oli seuraava:

	h	d	d^2	TIH
d	,638			
d^2	,629	,987		
TIH	,343	—,048	—,057	
BON	,449	,191	,182	,384

Malli sai muodon:
selitettävä muuttuja = h

selittävä muuttuja	kerroin	t-arvo
vakio	—1,5354	—2,05
d	0,29666	2,49
d^2	0,0043233	0,80
TIH	0,22383	8,85
BON	1,3372	6,68

R^2 = 0,5874
va = 462

Mallista nähdään, että mäntyjen tiheys on erittäin vahva puun pituuteen vaikuttava tekijä. Toinen huomioonotettava seikka on, että boniteetin regressiokerroin on positiivinen eli boniteetin parantuminen lisää pituutta vielä senkin jälkeen, kun läpimitan ja tiheyden vaikutus pituuteen on eliminoitu.

Istutusmäntyjen ja Laasasenahon (1976) aineiston puiden pituusero läpimittaluokassa 11 cm on jo n. 2 m ja ero suurenee voimakkaasti läpimitan kasvaessa. Ensisijaisena syynä on todennäköisesti nuoruusvaiheen kasvatustiheyksien suuret erot. On myös muistettava aineistojen erilaisuus. Istutusmännyt muodostavat kapean populaation esim. iän ja kasvupaikan suhteen. Laasasenahon aineistossa ovat edustettuina kaikki männyn kasvupaikat, hyvin erilaiset tiheydet, erilaiset syntytavat, ja ikävaihtelu on suuri. Aineisto on kerätty relaskooppikoealoilta, ja taimistoja on siinä ollut suhteellisen vähän.

Istutus- ja kylvömäntyjen solakkuutta voitiin verrata käyttämällä Kilkin ja Varmolan (1979) tutkimuksen aineistoa. Kylvömänniköt olivat enimmäkseen aikaisessa vaiheessa harvennettuja, mutta sisälsivät myös joitakin harventamattomia taimistoja. Koepuut oli valittu kasvatuskelpoisista männyistä. Nämä kylvömännyt ovat aineiston pääosalla (d = 2—12 cm) n. 0,5 m pitempiä kuin tämän tutkimuksen istutusmännyt läpimittaluokittain tarkasteltuina. Solakkuuserot ovat siis pieniä. Tämä johtunee ensi sijassa kylvömänniköiden painottumisesta aikaisessa vaiheessa harvennettuihin. Tällaisten puiden kehittyminen ei suurestikaan poikkea harvassa kasvaneiden istutusmäntyjen kehityksestä.

Kaiken kaikkiaan istutusmäntyjen muoto on huomattavasti heikompi kuin keskimääräisten mäntyjen, mutta ero aikaisessa vaiheessa harvennettujen kylvömänniköiden puihin on pieni.

32. Oksikkuus

321. Yleistä

Oksikkuudella tarkoitetaan rungon ulkoisia ja oksaisuudella rungon sisäisiä oksien ominaisuuksia. Tässä tutkimuksessa keskitytään oksikkuuden tarkasteluun.

Oksien vaikutus puun laatuun riippuu oksatyypistä, oksan sijainnista ja suuruudesta, oksien määrästä ja oksakulmasta. Oksikkuuden kuvaajina käytetään esim.:

- paksuimman tuoreen tai kuivan oksan tyviläpimittaa
- oksien keskiläpimittaa
- oksien lukumäärää oksakiehkurassa
- oksien lukumäärää tietyn pituisella osalla runkoa.

Lisätietoa oksikkuuden vaikutuksesta puun laatuun antavat paksuimman oksan sijainti rungossa ja oksakulma.

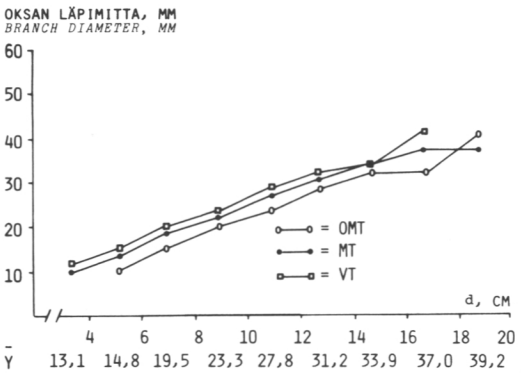
322. Paksuin tuore oksa

Paksuimman oksan läpimitta on ruotsalaisissa tutkimuksissa (Orvér 1970, Persson 1976) havaittu luotettavaksi sahatavaran laadun tunnukseksi. Tällöin on kuitenkin ollut kyse päätehakkuuiässä olevista puista. Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty nuorista riukuvaiheen metsiköistä, jolloin tulevan tyvitukin alueella olevat oksat ovat vielä enimmäkseen eläviä ja edelleen kasvavia. Näin ollen oksikkuudesta saadaan tietää vain nykytilanne, mutta tietojen perusteella voidaan kyllä vetää johtopäätöksiä tulevaisuudesta. Samasta syystä on erotettu toisistaan tuoreet ja kuivat oksat.

Kuvissa 6 ja 7 on esitetty paksuimman tuoreen oksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona metsätyypeittäin (A- ja B-puut) ja tiheysluokittain (A-puut). Kuvista nähdään ensinnäkin, että oksan läpimitan ja d:n välillä vallitsee suoraviivainen riippuvuus (R = 0,713). Saman asian on todennut mm. Uusvaara (1974, s. 39).

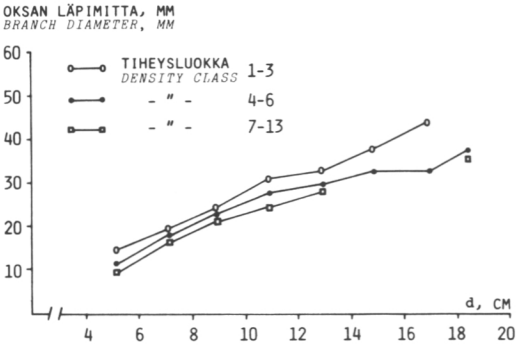
Tiheys vaikuttaa oksan paksuuteen selvästi. Mitä harvempi on kasvatustiheys, sitä paksummat oksat puu kasvattaa. Persson (1977) mukaan kasvava istutusväli aiheuttaa säännöllisesti oksien paksunemisen. Tämä trendi on suoraviivaisesti nouseva.

Metsätyypin vaikutus oksan paksuuteen on sidoksissa tiheyden vaikutukseen. Suori-



Kuva 6. Paksuimman tuoreen oksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona metsätyypeittäin (A- ja B-puut) ($\bar{Y}$ = oksaläpimittojen keskiarvot rinnankorkeusläpimittaluokittain).

Figure 6. The diameter of the thickest living branch as a function of the breast-height diameter on different forest site types (A- ja B-trees) ($\bar{Y}$ = means of branch diameters in different dbh-classes).



Kuva 7. Paksuimman tuoreen oksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona tiheysluokittain (A-puut).

Figure 7. The diameter of the thickest living branch as a function of the breast-height diameter in different density classes (A-trees).

tettujen regressioanalyysien tuloksena todettiinkin, että boniteetilla ei ole merkittävää vaikutusta oksien paksuuteen.

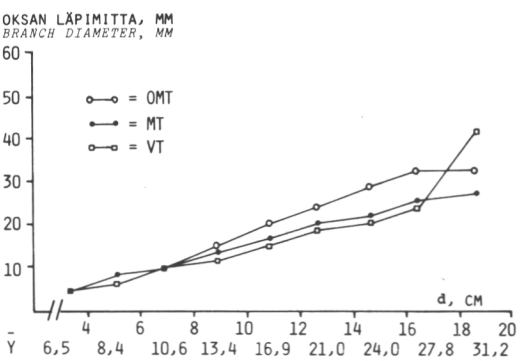
Puiden pystykarsinnassa paksuimman tuoreen oksan läpimitan rajana pidetään 30 mm:ä. Seuraavat luvut osoittavat sitä rinnankorkeusläpimitan rajaa, jolloin istutusmännyssä paksuin tuore oksa on kasvanut 20 ja 30 mm:n paksuiseksi.

Paksuin tuore oksa, mm	Metsätyyppi OMT	MT d, cm	VT
20	9	8	7
30	14	13	12

A-puista mitattiin paksuimmat tuoreet oksat rungon eri osista (ks. s. 5). Ero paksuimman ja toiseksi paksuimman oksan välillä todettiin n. 4 mm:ksi, OMT:llä hieman vähemmäksi. Kultakin metriltä mitattiin kuitenkin vain yksi oksa, joten todellisuudessa em. ero saattaa olla pienempikin.

323. Paksuin kuiva oksa

Kaikista puista mitattiin paksuin kuiva oksa ja sen korkeus maasta. Tutkimusmetsiköt olivat kehitysvaiheessa, jossa taimiston sulkeutuminen oli joko tapahtunut tai parhaillaan tapahtumassa. Tässä kehitysvaiheessa vihreän latvuksen alaraja muuttuu melko nopeasti, ja uusia kuivia oksia ilmaantuu runsaasti.



Kuva 8. Paksuimman kuivan oksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona metsätyypeittäin (A- ja B-puut) ($\bar{Y}$ = oksaläpimittojen keskiarvot rinnankorkeusläpimittaluokittain).

Figure 8. The diameter of the thickest dry branch as a function of the breast-height diameter on different forest site types (A- and B-trees) ($\bar{Y}$ = means of branch diameters in different dbh-classes).

Kuvassa 8 on esitetty paksuimman kuivan oksan läpimitta d:n funktiona metsätyypeittäin. Etenkin suurilla puilla paksuimmat kuivat oksat löytyvät OMT:ltä. OMT:n metsiköiden ollessa muita tiheämpiä niissä on jo tapahtunut vihreän latvuksen alarajan siirtymistä ylöspäin latvuksen sulkeutumisen myötä. Tämä on tuottanut uusia kuivia oksia. MT:n ja VT:n metsiköt ovat nykyvaiheessa melko sulkeutumattomia. Puut saavat kasvaa suhteellisen vapaina, josta syystä vihreä latvus on pitkä.

324. Poikaoksat

Poikaoksalla tarkoitetaan voimakkaasti ylöspäin suuntautuvaa, yleensä ranganvaihdon johdosta syntynyttä, muista oksista selvästi poikkeavaa tuoretta tai kuivaa oksaa. Poikaoksat huonontavat sahatavaran laatua voimakkaasti. Esim. laho poikaoksa aiheuttaa tukin putoamisen automaattisesti III laatuluokkaan. H e i s k a n e n (1968) toteaa poikaoksan merkityksen sahatavarassa riippuvan ensisijaisesti sen koosta.

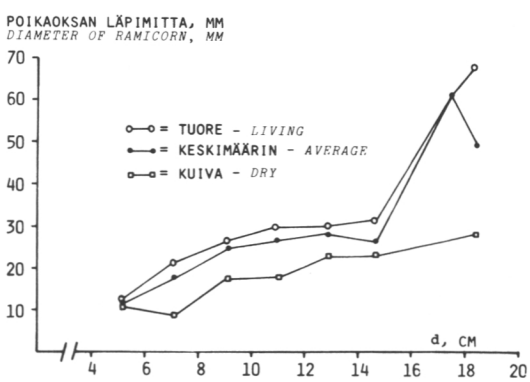
Poikaoksan läpimitta, sen korkeus maasta sekä oksan laatu (tuore/kuiva) mitattiin A-puista. Jos poikaoksia oli puussa useampia, mitattiin suurin.

Seuraava asetelma kuvaa poikaoksien esiintymistä mitatuissa puissa. Tuoreet ja kuivat poikaoksat on eritelty.

Poikaoksan laatu	OMT	Metsätyyppi MT	VT	keskim.
		prosenttia puista		
tuore	2,2	16,2	29,4	21,4
kuiva	17,8	7,9	8,7	9,2
yht.	20,0	24,1	38,1	30,6

Eniten poikaoksia on VT:llä; kahdessa puussa viidestä. MT:llä joka neljännessä ja OMT:llä joka viidennessä puussa on poikaoksa. Määriä voidaan pitää suurina. Poikaoksat tulevat säilymään rungossa pitkään ja ne osuvat juuri rungon arvokkaimpaan tyvitukkiosaan.

Kuvassa 9 on esitetty poikaoksan läpimitta d:n funktiona. Erikseen on esitetty tuoreiden ja kuivien poikaoksien läpimittojen keskiarvot. Tuoreet poikaoksat ovat huomattavasti kuivia kookkaampia.



Kuva 9. Tuoreen ja kuivan poikaoksan läpimitta rinnankorkeusläpimitan funktiona (A-puut).
Figure 9. The diameter of the living and dry ramicorn as a function of the breast-height diameter (A-trees).

325. Oksakulma

Oksakulmaa pidetään tärkeänä puuaineen laatuun vaikuttavana tekijänä. Esim. metsänjalostuksen tutkimustyössä käytetään oksakulmaa hyväksi etsittäessä laadukkaita jälkeläistöjä. Mitä suurempi oksakulma on, sitä parempana puuta pidetään laadullisesti. Optimitapauksena pidetään 90°:n oksakulmaa, jolloin oksan leikkauspinta sahatavarassa on mahdollisimman pieni, ideaalitapauksessa ympyrä. Mitä pienempi oksakulma ts. mitä pystymmässä oksat kasvavat, sitä elliptisempi leikkauspinta on ja sitä huonompi on sahatavaran kestävyys.

Tutkimuksessa mitattiin A-puiden paksuimmista tuoreista oksista oksakulma erikseen väleiltä 0—1 m, 1—2 m, 2—3 m, 3—4 m. Näistä oksakulmista laskettiin puittaiset keskiarvot.

Oksakulman riippuvuus puutunnuksista ja ympäristöstä on heikko. P e r s s o n (1977) toteaa heikon riippuvuussuhteen kasvatustiheyden ja oksakulman välillä, ja päättelee oksakulman olevan sitä pienempi, mitä väljempi on kasvatustiheys. Tässä aineistossa ei ole havaittu tämän kaltaista trendiä. Metsätyypeittäin oksakulma vaihteli seuraavasti:

Metsätyyppi	Paksuin tuore oksa oksakulma, astetta		Puittainen keskiarvo	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
OMT	65,1	11,5	66,0	10,1
MT	55,7	11,4	60,1	9,7
VT	54,9	12,3	61,4	8,6
keskim.	56,1	12,2	61,2	9,8

OMT:llä oksakulma on n. 5° suurempi kuin MT:llä ja VT:llä. Paksuimman tuoreen oksan oksakulma on säännönmukaisesti pienempi kuin puun keskimääräinen oksakulma. Tämä osoittaa osaltaan paksuimman oksan merkitystä laadun kuvaajana.

Keskimääräisistä oksakulmista on niukalti tietoa tarjolla. P e r s s o n i n (1977) tutkimuksessa oksakulmien keskiarvot vaihtelivat kokeittain 49°:sta 78°:een suurimman osan kokeista sijoittuessa 60°:n ja 64°:n välille. L i n d q v i s t i n (1980) tutkimuksessa, joka käsitti erään suomalaisen siemenviljelyksen kloonit, oksakulmien keskiarvot 4. oksakiehkurassa vaihtelivat välillä 62°—70°. Näiden tietojen perusteella näyttäisi keskimääräinen oksakulma

olevan tässä tutkimuksessa samansuuruinen muihin tutkimuksiin verrattuna.

326. Oksien lukumäärä oksakiehkurassa

Oksien paksuuden ja oksakulman lisäksi puuaineen laatuun vaikuttaa myös oksien lukumäärä, ilmaistuna joko oksakiehkuraa kohden tai määrätyn pituisella osalla runkoa. Tutkimuksessa laskettiin oksien lukumäärä paksuimman tuoreen oksan oksakiehkurassa kaikista puista.

Oksien lukumäärä korreloi heikosti ympäristötekijöiden kanssa. Boniteetin parantuessa ja tiheyden kasvaessa oksien lukumäärä kiehkurassa lisääntyy jonkin verran. Perssonin (1977) tutkimuksessa havaittiin selvä ero alkuperien välillä siten, että pohjoisimmissa alkuperissä oksia oli kiehkurassa eniten. Tässä tutkimuksessa oksien lukumäärä taas hieman väheni pohjoiseen päin siirryttäessä.

Oksien lukumäärä vaihteli yhdestä yhdeksään. Metsätyypeittäiset keskiarvot ja hajonnat olivat:

Metsätyyppi	Oksien lukumäärä, kpl	
	$\bar{x}$	s
OMT	5,6	1,0
MT	5,3	1,2
VT	4,5	1,5
keskim.	4,9	1,4

33. Latvuksen ominaisuudet

331. Latvuksen leveys

Huonolaatuinen puu kasvattaa leveän ja pitkän latvuksen. Leveä latvus merkitsee paksuja oksia. Pitkä latvus taas huonontaa runkomuotoa, kuten sivulla 9 on esitetty.

A-puista mitattiin latvuksen suurin leveys. Se vaihteli 10 dm:stä 52 dm:iin. Metsätyypeittäiset keskiarvot ja hajonnat ovat:

Metsätyyppi	Latvuksen suurin leveys, dm	
	$\bar{x}$	s
OMT	34,8	5,7
MT	32,2	6,5
VT	30,7	6,9
keskim.	31,7	6,9

Latvuksen leveys korreloi voimakkaasti puun koon kanssa. Samaläpimittaisilla puilla ei havaittu systemaattisia eroja latvuksen leveydessä tiheyden kasvaessa. Metsätyypin parantuminen aiheuttaa lievää latvuksen leviämistä. Rehevällä kasvupaikalla puu siis pyrkii levittäytymään laajentamalla latvustaan.

Luultavimmin latvuksen leveys ei istutetun puuston tässä kehitysvaiheessa kovinkaan paljoa riipu ympäristötekijöistä, vaan latvus kehittyy vapaasti leveten puun kasvaessa.

332. Latvussuhde

Latvussuhteella tarkoitetaan vihreän latvuksen suhdetta puun pituuteen. Tutkimuksessa vihreän latvuksen alaraja mitattiin A-puista. Se mitattiin määrittelemällä alimman vihreän oksan korkeus maasta. Milloin yksinäinen vihreä oksa oli vähintään kahden kuivan oksakiehkuran erottama, ei tätä oksaa otettu huomioon.

Latvussuhde vaikuttaa voimakkaasti runkomuotoon. Mitä lyhyempi latvus on, sitä paremmaksi runkomuoto muodostuu (ks. s. 9). Tämä tutkimuksen tulos saa tukea mekaanisesta runkomuototeoriasta, jonka mukaan puun runko vahvistuu erityisesti tuulen vaikutuksia vastaan (Larson 1963).

Latvussuhde pienenee luontaisesti puun kasvaessa ja vanhetessa. Tämän tutkimuksen puissa korrelaatio pituuden suhteen oli suoraviivainen. Tiheys vaikuttaa latvussuhteeseen selvästi. Taimiston sulkeutumisvaiheen jälkeen oksien kuoleminen ja vihreän latvuksen alarajan kohoaminen tapahtuvat nopeasti. Liian tiheässä asennossa on vaarana latvusten kehittyminen tupsumaisiksi. Tällöin ei edes harventamisella voida välttyä kasvutappioilta. Istutusmännyillä ei ole tätä vaaraa. Latvussuhde on suuri. Metsätyypeittäin se vaihtelee seuraavasti:

Metsätyyppi	Latvussuhde	
	$\bar{x}$	s
OMT	0,65	0,098
MT	0,78	0,105
VT	0,84	0,075
keskim.	0,80	0,107

Erot metsätyyppien välillä johtuvat kuitenkin lähinnä tiheys- ja pituuseroista.



Kuva 10. Mänty kasvattaa oksiaan voimakkaasti vapaan kasvutilan suuntaan. Lapinjärvi.
Figure 10. Pine grows its branches strongly toward the free growing space. Lapinjärvi.



Kuva 11. Huonosta istutuksesta aiheutunut kallistuminen ja rungon mutkaisuus heikentävät tulevan tyvitukin laatua. Lapinjärvi.
Figure 11. Tilting and crooked stem as a result of bad planting weaken the quality of butt log. Lapinjärvi.

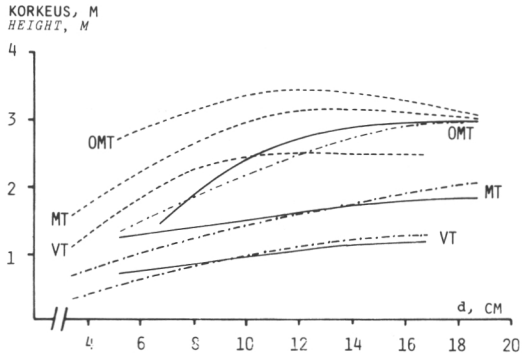
333. Paksuimpien oksien sijainti

Paksuimman tuoreen ja kuivan oksan läpimittojen lisäksi mitattiin myös niiden korkeudet maasta. Nämä oksia koskevat tunnukset ovat tyypillisesti dynaamisia, muuttuvia. Paksuin tuore oksa muuttuu kuoltuaan usein paksuimmaksi kuivaksi oksaksi. Nämä oksien sijaintia kuvaavat tunnukset antavatkin käsityksen vain mittauksen aikaisesta tilanteesta. Kuvassa 12 on esitetty em. oksien korkeudet maasta d:n funktiona metsätyypeittäin A- ja B-puista. Samaan kuvaan on piirretty metsätyypeittäin vihreän latvuksen alaraja niistä A-puista, joissa on tuoreita oksia alle 4 m:n korkeudella.

Paksuin kuiva oksa sijaitsee välittömästi vihreän latvuksen alapuolella tai jopa latvuksen sisällä. Tämä kertoo juuri paksuimman kuivan oksan muuttumisesta ajan mukana. Se, että kuivia oksia löytyy vihreän latvuksen sisältäkin, johtuu vihreän latvuksen alarajan määritystavasta. Kun sen katsotaan alkavan alimmasta elävästä oksasta (määritystapa s. 13) saattavat tässä kiehkurassa kaikki muut oksat olla jo kuolleita.

Metsätyypeittäin tarkasteltuna paksuimman kuivan oksan korkeus maasta nousee kasvupaikan parantuessa. Tämä on luonnollinen seuraus eroista vihreän latvuksen alarajassa.

Paksuin tuore oksa sijaitsee vihreän latvuksen alaosassa. Oksatunnusten mittausten rajoittaminen 4 m:iin maanpinnan yläpuolelle ja 3 m:iin alle 5,5 m:n puilla on aiheuttanut sen että oksan korkeus ei suurilla puilla nousekaan puun koon kasvaessa, vaan jopa laskee hieman. Tällä mittauskorkeuden rajoittamisella haluttiin rajoittaa mittaukset tulevan tyvitukin osalle. Oksien kor-



Kuva 12. Paksuimman tuoreen (-----) ja kuivan (-·-·-·-) oksan korkeus maasta (A- ja B-puut) sekä vihreän latvuksen alaraja (——, A-puut) rinnankorkeusläpimitan funktiona.

Figure 12. The height above the ground of the thickest living (-----) and dry (-·-·-·-) branch (A- and B-trees) and the crown limit (——, A-trees) as a function of the breast-height diameter.

keuden ja vihreän latvuksen alarajan keskinäistä vertailua heikentää sekä em. mittauskorkeuden rajoittaminen että eri otosjoukot (oksan korkeus; A- ja B-puut, latvus; osa A-puista).

34. Kuori

Vaikkakaan kuoren paksuus ei vaikuta suoranaisesti puuaineen laatuun, on sillä merkityksensä puuaineen saannon kannalta. Tutkimuksessa mitattiin kaksinkertainen kuoren paksuus rinnankorkeudelta rungon vastakkaisilta puolilta.

Kuoren paksuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta on melko lineaarista (R = 0,637). Tiheys ei vaikuta kuoren paksuuteen. Metsätyypeittäin on havaittavissa hienoista kuoren paksuuntumista siirryttäessä karummille kasvupaikoille. Erot eivät kuitenkaan ole suuria. Verrattaessa tätä aineistoa P ä i v i s e n (1978) käyttämään valtakunnan metsien inventoinnin aineistoon keskimääräisissä kuoren paksuuksissa ei havaittu merkittäviä eroja läpimittaluokittain tarkasteltuna. Voidaan siis sanoa, että istutusmännyt eivät eroa muista männyistä kuoren paksuuden osalta.

35. Tekninen laatu ja latvuksen muoto

Kaikista puista mitattiin laatueroasteikkoa käyttäen puun yleinen ulkoinen laatu ja latvuksen muoto. Tällaiset luokittelut ovat subjektiivisia, eivätkä voi siten antaa tarkkaa kuvaa puiden ominaisuuksista. Esim. puun luokittelu mutkaiseksi on rajatapauksissa vaikeaa ja riippuu suuresti luokittelijasta.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty metsätyypeittäin oksikkaiksi, mutkaisiksi ja haaraisiksi luokiteltujen puiden osuudet mitatuista puista:

	Metsätyyppi			
	OMT	MT	VT	keskim.
	puiden osuus, %			
normaali	69	64	60	63
oksikas	25	26	29	27
mutkainen	6	7	3	5
haarainen		1	3	2
oksikas ja mutkainen		2	4	3
oksikas ja haarainen			1	
yht.	100	100	100	100

Normaaleiksi luokiteltuja puita on n. 2/3 puista. Oksaisiksi on luokiteltu noin joka neljäs puu. Mutkaisia on 6—9 % puista. Karummilla kasvupaikoilla näyttäisi olevan teknisiä vikoja hieman runsaammin kuin paremmilla.

Erilaisten latvusmuotojen osuudet mitatuista puista nähdään seuraavasta asetelmasta:

Latvuksen muoto	Metsätyyppi			
	OMT	MT	VT	keskim.
	puiden osuus, %			
normaali	18	37	66	49
yhdeltä puolelta puristunut	68	49	29	41
useammalta puolelta puristunut	14	14	4	9
monilatva			1	1
yht.	100	100	100	100

OMT:llä huomattavan suuren osan latvuksista on katsottu olevan yhdeltä puolen puristuneita. Tämä tukee havaintoja tiheyseroista. VT:n männiköissä, joissa tiheys on pienin, on myös vähiten puristuneita latvuksia. Pensastuneiksi ei latvuksia ole luokiteltu lainkaan.

36. Tuhoalttius

Istutusmänniköt ovat tyypillisiä monokulttuureja, yhden puulajin tasaikäisiä ja -kokoisia metsiköitä. Etenkin taimivaiheessa männiköitä uhkaavat monet tuhot. Monokulttuureissa tuhojen uskotaan olevan yleensä pahempia kuin sekametsiköissä, joissa sekapuulajit ja monipuolisempi pieneliöstö estävät taudinaiheuttajien leviämistä.

Tutkimusmetsiköiksi kelpuutettiin vain hoidettuja, kehityskelpoisia metsiköitä. Esim. pahoja hirvituhoja ei sallittu. Metsiköissä esiintyy suhteellisen vähän sekapuuta.

Vioittuneista puista pyrittiin määrittämään sekä tuhon ilmenemismuoto että tuhon aiheuttaja. Tuhojen ilmenemistä kuvaa seuraava asetelma:

Tuhojen ilmeneminen	Metsätyyppi OMT	MT	VT	keskim.
	puiden osuus, %			
ei tuhoja	35	43	52	47
ranganvaihto ja/ tai poikaoksa	40	37	35	36
neulastuho <50 %	15	6	2	5
kaksi latvaa	2	4	5	4
vinotyvisyys		6	2	3
muut	8	4	4	5
yht.	100	100	100	100

Ilman tuhoja on selvinnyt OMT:llä vain joka kolmas puu, MT:llä ja VT:llä joka toinen. Yleisin puuta kohdannut tuho on ranganvaihto, johon luokkaan on yhdistetty myös poikaoksat. Vinotyvisyys ei sen sijaan ole ollut kovinkaan yleistä. Tulos noudattelee H u u r i n (1976) kyselytutkimusta, jonka mukaan kallistumisilmiötä ja siitä johtuvaa vinotyvisyyttä todettiin n. 30 kunnassa sadasta. 25 kunnassa sadasta kallistumisilmiöitä oli vain joka kymmenennessä taimistossa ja viidessä sadasta ilmiö oli yleisempi. OMT:llä kiinnittyy huomio lievien neulastuhojen runsauteen. Neulastuhot ovat todennäköisesti poikkeuksellisten sääolosuhteiden aiheuttama ohimenevä ilmiö kesällä 1979.

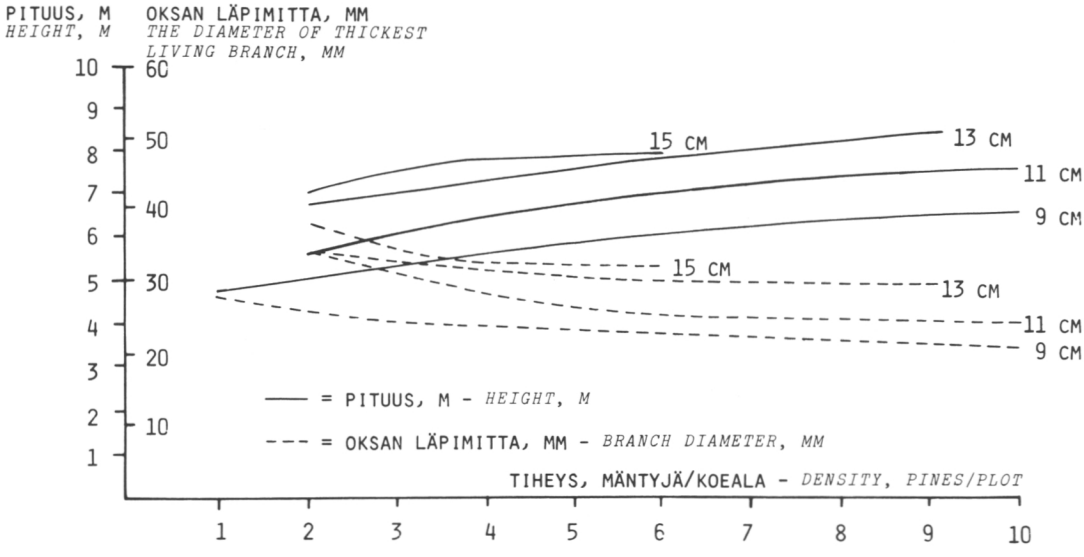
Seuraavassa asetelmassa on esitetty tuhojen aiheuttajat:

Tuhon aiheuttaja	Metsätyyppi OMT	MT	VT	keskim.
	puiden osuus, %			
ei tuhoja	35	43	52	47
männyn karisteet	14	2	1	3
männynversoruoste		3		1
hirvi	2	5	3	3
lumi		2	11	7
huono istutus	1	6	2	4
selvittämätön	38	35	31	35
yht.	100	100	100	100

Tuhojen aiheuttaja on jäänyt monessa tapauksessa selvittämättä. Tuhot saattavat olla monta vuotta vanhoja, joten niiden analysointi on vaikeaa. Selvitetyt tuhonaiheuttajat noudattelevat tuhojen ilmenemismuotoja. Männynkaristeet aiheuttavat neulastuhoja, hirvi ja lumi ranganvaihtoja jne. Tuhojen määrää tarkasteltaessa on muistettava aineiston valintamenetelmä. Pahasti tuhoutuneita metsiköitä ei hyväksytty lainkaan. Näin esim. hirvituhojen määrä on varmasti aliarvioitu.

4. ISTUTUSMÄNNIKÖIDEN LAADUN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET

Edellä on tarkasteltu istutusmäntyjen tämänhetkistä laadullista tasoa. Puut ovat huonomuotoisia, oksat paksuja, poikaoksia on runsaasti ja tuhot ovat yleisiä. Tärkeimpinä syinä heikkoon laatuun voidaan pitää yhden puulajin harvana perustamiseen liittyviä riskejä ja siitä aiheutuvia tuhoja, alhaista kasvatustiheyttä ja suurta kasvunopeutta. H e i s k a n e n (1965) toteaa nuoruusajan kehityksellä olevan ratkaiseva merkitys puun oksaisuuden kehitykselle. Nopeasti kasvaneet puut ovat tulevaisuudessa tyvitukin laadun osalta hyvin heikkoja. Kasvunopeuden indikaattorina pidetään tällöin rinnankorkeudella tai tyvellä ytimen lähellä olevien lustojen leveyttä. Tähän kasvunopeuteen vaikuttavat sekä kasvupaikka että etenkin kasvatustiheys.



Kuva 13. Puun pituus ja paksuimman tuoreen oksan läpimitta eri tiheysluokissa rinnankorkeusläpimittaluokittain (A-puut).
Figure 13. The height of trees and the diameter of the thickest living branches in different density classes by breast-height diameter classes (A-trees).

Alhainen kasvatustiheys vaikuttaa runkomuotoon sekä tyveä levittäen että suuren latvussuhteen myötä myös latvaosan runkomuotoa heikentäen. Oksien kasvaminen paksuiksi on myös suora seuraus harvasta asennosta. Latvuksen säilyessä pitkään vihreänä pysyvät oksat elävinä jatkaen kasvuaan.

Kasvatustiheyden nostaminen vaikuttaa sekä oksien paksuuteen että puiden solakkuuteen. Kuvassa 13 on esitetty puun pituuden ja paksuimman tuoreen oksan läpimitta mäntyjen eri tiheysluokissa rinnankorkeusläpimittaluokittain. Lisääntyneen tiheyden vaikutus em. tunnuksiin on suurin alhaisilla tiheyksillä. On kuitenkin huomattava, että tiheyden lisääntyessä rinnankorkeusläpimitta pienenee. Tällöin oksat kasvavat ohuempina, joten oksan paksuuden riippuvuus tiheydestä lienee suoraviivainen (vrt. Persson 1977), kun on kyse lähtötilanteessa samanlaisista puista.

Kasvatustiheyttä voidaan nostaa istutusmääriä kohottamalla, käyttämällä hyväksi luontaisesti syntyneet taimet ja sallimalla tietty lehtipuusekoitus.

Istutusmänniköt ovat hyvän huolenpidon kohteena, jopa niin hyvän, että täydentävä lehtipuuaineskin perataan yleensä pois. Lehtipuu pitääkin perata, milloin se jätettynä tukahduttaisi männyntaimiston alleen tai tyrehdyttäisi sen kehitystä. Mielikäinen (1980) on todennut, että männyn taimiston ollessa n. 1 m:n pituista ei kannoista eikä etenkään siemenestä syntyvä lehtipuuaines enää pysty pituuskehityksessä ohittamaan haitallisesti männyntaimistoa. Lisäksi sopiva lehtipuusekoitus kohottaa metsikön tuotosta nuorella iällä jopa 25 % puhtaaseen männikköön verrattuna (Mielikäinen 1980). Jakkilan ja Pohtilan (1978) mukaan lehtipuun perkaus vaikuttaa voimakkaasti runkomuotoon tyveä levittäen. Tällä runkomuodon muutoksella on tuskin kuitenkaan ratkaisevaa vaikutusta muodon lopulliselle kehittymiselle.

Kasvatustiheyden nostaminen nykyisestä vaatii istutusmäärien huomattavaa kohottamista. Jos oletetaan Rautiaisen ja Räsäsen (1980) tutkimustulosten mukaan, että joka toisesta istutustaimesta tulee kasvatuskelpoinen ja joka viides taimi on luontaisesti syntynyt, pitäisi hehtaaria kohti istuttaa 3200 tainta, jotta päästäisiin tiheyteen 2000 kpl/ha.

Istutustiheyden nostaminen on lähinnä kustannuskysymys. Nykyiset uudistamiskustannukset männyn istutusta käytettäessä

ovat 2000—2500 mk/hehtaari. Jos istutusmääriä nostetaan esim. puolitoistakertaisiksi nykyisiin verrattuina, merkitsisi se huomattavaa kustannuslisää.

Nyt tutkitut metsiköt on istutettu 1950- ja 1960-luvuilla. Tällöin taimet enimmäkseen saatiin ns. ”osuuskauppasiemenestä”, joka ei laadullisesti ollut parasta mahdollista. Metsänjalostuksella on omat mahdollisuutensa viljelymateriaalin parantamiseen. Jalostustyön päätavoitteet ovat kasvun, laadun ja tuhonkestävyyden parantaminen. Tulokset ovat tähän mennessä näkyneet lähinnä taimimateriaalin kasvun parantumisena. Laadun parantaminen on ehkä osoittautunut oletettua vaikeammaksi tehtäväksi.

Nykyisten istutustaimistojen laadun parantamiseen ei ole oikeastaan muita mahdollisuuksia kuin pystykarsinta ja metsikön kasvattaminen myöhemmässä vaiheessa täystiheänä. Taimistojen ensiharvennusten jättäminen mahdollisimman myöhäiseen vaiheeseen, jolloin latvussuhde pienenisi ja oksien paksuuntuminen vähenisi, jättäisi jäljelle paksut kuivat oksat juuri rungon arvokkaimmalle tyvitukin osalle. Vaarana olisi myös latvuksen liiallinen pienentyminen. Ensiharvennuskin muodostuisi ongelmalliseksi. Metsikön kasvattamisella mahdollisimman tiheänä myöhemmässä vaiheessa ei päästäne istutusmänniköissä kovinkaan hyvään laatuun johtuen juuri alhaisesta lähtötiheydestä.

Karsituista puista tulevaisuudessa saatavan sahatavaran laatuun vaikuttavat ennen kaikkea karsittujen oksien paksuus ja puun koko karsintahetkellä. Mitä paksumpia oksat ovat, sitä pitemmän aikaa kestää kyljestyminen. Oksan kyljestyminen vaihtelee suuresti kasvunopeuden mukaan. Anderssonin (1967) mukaan aika suorasyisen puun muodostumiseen karsinnan jälkeen on n. 18 vuotta, kun vuosiluston leveys on 4 mm, ja 40 vuotta, kun luston leveys on 1 mm, olettaen, että karsitut oksat ovat 25 mm:n vahvuisia kuoren alta ja puun rinnankorkeusläpimitta 8 cm.

On suuri ero siinä, karsitaanko puut 10 vai 15 cm:n paksuisina. Rinnankorkeusläpimittaa 15 cm pidetään yleisesti ehdottomana ylärajana. Heiskasen ja Taipaleen (1963) mukaan 5 tuuman paksuisena karsituista puista ei vielä 8 tuuman vahvuisena saada parempaa sahatavaraa kuin karsimattomasta. Erinomaiseen sahaustulokseen päästään kuitenkin, jos 3 tuuman vahvuisena karsittu puu sahataan, kun rinnankorkeusläpimitta on 11 tuumaa. Tällöin lähes kaikki sahatavara on I-laatua.

Karsimiseen soveltuvana ideaalipuuna voidaan pitää rinnankorkeudeltaan 10 cm paksua, 9 m:ä pitkää puuta, jonka oksat ovat mahdollisimman ohuet ja latvussuhde enintään 60 %. Karsiminen 5 m:iin pienentää elävää latvusta vain neljänneksen, mikä ei Vuokilan (1968) mukaan vielä vaikuta puun kasvuun. Tällaisia puita ei istutusmänniköistä löydy kuin aniharvoja. Nämä rajat on siis hylättävä etsittäessä karsintaan soveltuvia puita.

Rinnankorkeudelta 11 cm paksu istutusmänty on tutkimuksen mukaan keskimäärin 6,7 m pitkä. Sen paksuin tuore oksa on 28 mm, paksuin kuiva oksa 17 mm ja latvussuhde 76 %. Tällainen puu soveltuu karsintaan, joskin oksat ovat melko paksuja. Näin lyhyillä puilla joudutaan kuitenkin kaksivaiheiseen karsintaan. Ensimmäisessä vaiheessa karsinta tehdään 3 m:iin ja toisessa vaiheessa 5 m:iin. Esimerkkipuussa karsinta 3 m:iin poistaisi vihreästä latvuksesta 27 %, mitä määrää voidaan pitää turvallisena. Elävän latvuksen voimakkaan karsimisen vaikutuksista istutusmännikön kasvuun ei ole tutkimuksia. Latvuksen alimmat oksat saattavat kuluttaa enemmän kuin mitä ne tuottavat (Møller 1958). Täten rajukaan karsinta ei ehkä heikennä kasvua. Vähäisellä kasvutappiolla ei ole merkitystäkään, sillä laadun paraneminen on arvon kehityksen kannalta ratkaisevaa.

Karsiminen on kallista. Karsimisaika puuta kohden nousee eksponentiaalisesti mitä ylemmäs puuta karsitaan. Yksivaiheisessa karsinnassa aika puuta kohden on 3—5 min. karsimisvälineistä riippuen kun karsitaan 5 m:iin. Hehtaarikohtaiset kustannukset nousevat näin ollen yli 1000 mk:n. Kaksivaiheinen karsinta tulee vieläkin kalliimmaksi.

Karsinta muodostuu kannattavaksi vain, jos saadaan takeet siitä, että karsituista puista maksetaan huomattavasti keskimääräistä hintatasoa korkeampi hinta. Muussa tapauksessa karsinta ei voi kalleutensa vuoksi yleistyä oksikkaisiin männiköihin kohdistuvaksi käytännön hoitotoimenpiteeksi.

Tulevaisuudessa saatavan sahatavaran laadun ylläpitämisen korkeana pitää pääosin perustua muihin toimenpiteisiin kuin istutusmänniköiden karsintaan. Keinoina voidaan pitää kylvön ja luontaisen uudistamisen suosimista ja lehtipuusekoituksen järkevää käyttöä. Istutustiheyden huomattava nostaminen lähelle keskieurooppalaista tasoa (5000—8000 kpl/ha) ei Suomen oloissa liene mahdollista.

Istuttamisen vaihtoehtona voidaan käyttää kylvöä. Männyn kylvössä voitaneen tyytyä n. 2500 laikkuun/ha. Tällä turvataan 2000 perustaimen säilyminen ensiharvennukseen. Jos kylvötuppaat hajoitetaan vasta, kun taimiston keskipituus on 4 m, päästäneen parempaan laadulliseen tasoon kuin istuttamalla. Kylvötuppaiden hieman nykyistä myöhäisemmällä hajoittamisella saavutetaan runkomuodossa ja oksien paksuuksissa laadullisia parannuksia. Myös latvussuhteen pieneneminen on jo päässyt vauhtiin johtuen ylitiheästä asennosta tuppaassa. Noin 2000 tainta hehtaarilla käsittävä taimisto sulkeutuu melko nopeasti, eikä vapaan kasvutilan aiheuttamaa laadun heikkenemistä ehdi sanottavammin tapahtua. Tiheänä kasvattaminen tuottaa tietysti vaikeuksia ensiharvennusvaiheessa. Ensiharvennus on kuitenkin nähtävä pelkästään metsänhoidollisena toimenpiteenä, jossa hakkuutulot eivät saa olla ensisijaisena tavoitteena.

Vaikka kylvöllä ja huolellisella taimistonhoidolla voidaankin istutustaimistojen keskimääräistä laatua parantaa, on huippulaadun saavuttaminen ilman karsintaa mahdotonta. Karsinta on lisäksi ainoa toimenpide, jolla pystytään ratkaisevasti parantamaan jo olemassa olevien oksaisten männyntaimistojen laatua. Karsinta saattaa lopulta osoittautua halvemmaksi ja tehokkaammaksi kuin muut aikaa vievät toimenpiteet tavoiteltaessa korkeata laatua viljelytaimistoissa.

Lehtipuusekoituksen tehokas hyväksikäyttö taimivaiheessa laadun parantamiseen tähtäävänä toimenpiteenä vaikuttaa hankalalta ja vaikealta puulajien erilaisten kasvurytmien vuoksi. Lehtipuulla on kuitenkin tärkeä merkityksensä metsän monipuolistajana ja jopa tuotoksen kohottajana.

Laadun kehittämisongelmat ovat monet. Jos tulevaisuudessakin Suomen metsistä yli puolet uudistetaan luontaisesti ja niitä käsitellään taiten, riittää metsissämme hyvälaatuisia puita edelleenkin. Istutusmänniköistä niitä ei kuitenkaan saada kuin karsimalla.

5. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää nuorten istutusmänniköiden ulkoiset laadulliset ominaisuudet, niihin vaikuttavat tekijät sekä esittää keinoja laadun parantamiseen.

Tutkimusaineisto perustuu 467 tilapäiskoealaan, jotka on mitattu eri puolilla Suomea (kuva 2) sijaitsevista viljelymänniköistä (80 istutettua ja 6 kylvettyä) ja joista on OMT:llä 9, MT:llä 36 ja VT:llä 41.

Tutkimuksen päätulokset ovat:

1. Puiden runkomuotoon vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat puun latvussuhde, metsikön tiheys ja metsätyyppi (kuva 3). Tiheyden lisääntyessä latvussuhde pienenee ja muoto paranee. Metsätyypin parantuessa tiheys lisääntyy (taulukko 1). Tämä aiheuttaa myös muodon parantumisen siirryttäessä karummalta metsätyypiltä rehevämmälle.
2. Istutusmäntyjen solakkuusaste (h/d) on huomattavasti pienempi kuin männyillä keskimäärin (kuva 4). Sen sijaan solakkuus ei eroa merkittävästi aikaisessa vaiheessa harvennettujen kylvötaimistojen puiden solakkuudesta.
3. Paksuimman tuoreen oksan läpimitta suurenee suoraviivaisesti puun rinnankorkeusläpimitan kasvaessa (kuva 6). Oksan paksuus riippuu ensisijaisesti puuston tiheydestä ja on 30 mm, kun puu on keskimäärin 13 cm rinnantasalta.
4. Paksuimmat kuivat oksat löytyvät OMT:ltä. Syynä on tiheyden aiheuttama latvussuhteen pieneneminen ja oksien kuoleminen.
5. Poikaoksa on miltei joka kolmannessa puussa. Tuoreet poikaoksat ovat huomattavasti kuivia kookkaampia (kuva 9).
6. Istutusmäntyjen latvussuhde on suuri, keskimäärin 80 %.

7. Paksuin tuore oksa sijaitsee vihreän latvuksen alaosassa, paksuin kuiva oksa taas välittömästi vihreän latvuksen alapuolella (kuva 12).
8. Yleisimmät viat ja tuhot ovat poikaoksa tai ranganvaihto, lievät neulastuhot, kaksilatvaisuus ja vinotyvisyys.

Tärkein istutusmäntyjen ulkoista laatua heikentävä tekijä on alhainen kasvatustiheys. Kun metsiköiden tiheys on pienin VT:llä, ovat nämä myös laadullisilta ominaisuuksiltaan heikoimpia. Kasvatustiheyttä ja samalla ulkoista laatua voidaan nostaa istutustiheyttä kohottamalla, käyttämällä hyväksi luontaisesti syntyneet taimet, sallimalla tietty lehtipuusekoitus ja käyttämällä kylvöä siellä, missä se on mahdollista. Näillä keinoilla voidaan vaikuttaa kuitenkin vain tulevien viljelymänniköiden laatuun.

Nykytaimistojen laatua voidaan parantaa vain pystykarsinnalla ja kasvattamalla metsikkö jatkovaiheessa täystiheänä. Karsinta täytyy tehdä pääsääntöisesti kaksivaiheisena, koska puiden tyvi ja oksat paksunevat voimakkaasti niin aikaisessa vaiheessa, että yksivaiheisen karsinnan ajankohtana (puun pituus n. 9 m) puut ovat jo karsintaan kelpaamattomia.

KIRJALLISUUS

ANDERSSON, S. 1967. Kvistningsundersökningar II. Grönkvistning av tall. Summary: Pruning investigations II. Pruning in Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 15:1—57.

CAJANDER, A. K. 1909. Über Waldtypen. Acta For. Fenn. 1.1:1—175.

CAJANDER, E. K. 1932. Tietoja metsänviljelystoiminnasta Suomessa 1923—1930. Referat: Über die Forstkulturtätigkeit in Suomi (Finnland) 1923—1930. Silva Fenn. 22:1—35.

COX, F. 1971. Dichtebestimmungen und Strukturanalyse von Planzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Ein Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 87:1—183.

HEISKANEN, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relation between the development of the early age and the thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80.2:1—62.

— 1968. Havaintoja eräiden vikaisuuksien vaikutuksesta mäntytukkien sahauksessa. Summary: Observations of the influence of some log defects in sawing of pine logs. Silva Fenn. 2(3):137—145.

— & TAIPALE, A. 1963. Tutkimuksia männyn karsimisesta. Karsimisen vaikutus puun laatuun sahapuita kasvatettaessa. Summary: Studies on the pruning of pine. The influence of pruning on the quality of saw timber trees. Commun. Inst. For. Fenn. 57.1:1—66.

HUURI, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265:1—22.

HÄGGLUND, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 39:1—66.

ILVESSALO, Y. 1943. Suomen metsävarat ja metsien tila. II valtakunnan metsien arviointi. Summary: The forest resources and the condition of the forests of Finland. The Second National Forest Survey. Commun. Inst. For. Fenn. 30:1—466.

— 1965. Metsänarvioiminen. 1—400.

JAKKILA, J. & POHTILA, E. 1978. Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa. Summary: Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland. Folia For. 360:1—27.

KILKKI, P., SARAMÄKI, M. & VARMOLA, M. 1978. A simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Silva Fenn. 12(2):120—125.

— & VARMOLA, M. 1979. A nonlinear simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Silva Fenn. 13(4):293—302.

KUUSELA, K. 1972. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1964—70 sekä niiden kehittyminen 1920—70. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1964—70 and their development 1920—70. Commun. Inst. For. Fenn. 76.1:1—133.

LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 1—89.

LARSON, P. R. 1963. Stem form development of forest trees. For. Sci. Monogr. 5:1—41.

LEIKOLA, M., METSÄMUURONEN, M., RÄSÄNEN, P. & TAIMISTO, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975. Folia For. 312:1—27.

LINDQVIST, M. 1980. Mäntykloonien laadun arvostelu siemenviljelyksessä n:o 96. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 1—51.

MIELIKÄINEN, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 1—101.
MØLLER, C. 1958. Negative grene? Dansk Skovforen. Tidsskr. 372—378.
ORVÉR, M. 1970. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. R 65:1—76.
PERSSON, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 42:1—122.
— 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 45:1—152.
PÄIVINEN, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. Folia For. 353:1—32.
RAUTIAINEN, O. & RÄSÄNEN, P. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976. Folia For. 426:1—24.
TAKALA, P. 1978. Metsänviljely. Teoksessa: Tapion taskukirja. 1978. 18. p. 124—136.
UUSITALO, M. (toim.) 1979. Metsätilastollinen vuosikirja 1977—1978. Yearbook of Forest Statistics 1977—1978. Official Statistics of Finland XVII S:10. Folia For. 375:1—197.
UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80.2:1—105.
VIRKKUNEN, T. 1969. Taimiston hoito. Teoksessa: Lehto, J. (toim.). Metsänviljely. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 265—312.
VUOKILA, Y. 1968. Karsiminen ja kasvu. Summary: Pruning and increment. Commun. Inst. For. Fenn. 66.5:1—61.

SUMMARY

The aim of the study is to examine the external quality characteristics of young pine plantations, to find the factors affecting them and to suggest means for improving their quality.

The research material is based on 467 temporary sample plots measured in 86 cultivated stands (80 planted, 6 sown) in different parts of Finland (Figure 2).

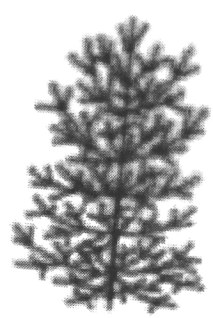
The main results are as follows:

1. The most important factors affecting the stem form are the crown ratio, the density of the stand and the site quality (Figure 3). The increased density reduces the crown ratio and thus improves the stem form. The density increases when the site becomes more vigorous (Table 1). This brings about an improvement of the stem form.
2. The degree of slenderness (h/d) of planted pines is remarkably smaller than that of pines on average (Figure 4). However, the degree of slenderness is not noticeably smaller than that of pines in early stage cleaned sowed stands.
3. There is a linear relationship between the diameter of the thickest living branch and the dbh. (Figure 6). However, the thickness of the branch depends primarily on the density of the stand. The mean thickness is 30 mm, when a tree has a dbh. of 13 cm.
4. The thickest dry branches are found on the fertile Oxalis-Myrtillus site type. The reason is the decrease of the crown ratio affected by the density and the dying of branches.
5. Every third tree has at least one ramicorn. Living ramicorns are bigger than dry ones (Figure 9).
6. The crown ratio of planted pines is, on average, 80 %.
7. The thickest living branch is located in the lower part of the crown, while the thickest dry branch is found just under the crown limit (Figure 12).
8. The most common damages are ramicorn or stem change, little needle damages, two tops and tilting.

The most important factor concerning the poor external quality of planted pines is the low density of the stand. Having the lowest density, the stands of medium (Vaccinium) site type have also the poorest quality characteristics. The quality of cultivated pine stands can be improved by increasing the planting density, allowing a certain mixture of broad-leaved species, using sowing instead of planting whenever possible and by promoting natural regeneration. This way the quality of the future cultivated pine stands can be improved.

The quality of today's plantations can be improved only by pruning and by growing the stand fully stocked in the future. Trees must be pruned in two stages, because the butt section and the branches have a tendency to become too thick for one-stage pruning.

II



Silva Fennica 1993, Vol. 27 N:o 1: 21–28

Influence of initial spacing and planting design on the development of young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands

Hannu Salminen & Martti Varmola

TIIVISTELMÄ: ISTUTUSTIHEYDEN JA -KUVIOINNIN VAIKUTUS MÄNTYTAIMIKOIDEN KEHITYKSEEN

Salminen, H. & Varmola M. 1993. Influence of initial spacing and planting design on the development of young Scot pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. Tiivistelmä: Istutustiheyden ja -kuvioinnin vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen. Silva Fennica 27(1): 21–28.

Three Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations carrying 35 plots with initial spacings from 800 to 5000 plants/ha were studied. Planting designs varied from a square to a rectangle with 5-metre row distance, the plant-to-plant distance being 0.8 metres. At current dominant height of 6 m, rectangularity had no effect on height, diameter, or volume growth of the trees. Slight ovality of stems was observed in rectangular plots but the differences in the cross-wise mean diameters were very small, not over 1.1 mm in terms of plotwise means. The diameter of the thickest living branch of a tree was linearly dependent on the dbh. The branches were clearly thicker between the planting rows at under 1600 stems/ha stand density. A non-square planting pattern is a conceivable alternative when the line corridors suitable for mechanized silvicultural operations are preferred.

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia istuttamalla perustettujen männiköiden kehitystä sekä vaihtelevan istutuskuvioinnin ja tiheyden vaikutusta puiden epäpyöreyteen ja kasvuun. Istutuskuvio, jossa taimet olivat lähellä toisiaan ja taimirivit etäällä toisistaan, ei johtanut riukuvaiheen metsikössä havaittaviin tuotoseroihin. Keskeisimmät runkotilavuutta ja järeyttä kuvaavat puustotunnukset vaihtelivat pääosin runkoluvun mukaan, mutta puiden pituuskehitys ei riippunut istutustiheydestä. Rivi-istutuksessa taimirivin suuntaan mitatut puiden rinnankorkeusläpimitat olivat pienempiä kuin taimirivin vastaiset. Runkojen havaitut epäpyöreydet olivat käytetyn mittaustarkkuuden rajoilla, mutta kuitenkin tilastollisesti merkitseviä. Rivi-istutuksessa oksat kasvoivat paksummiksi vapaan kasvutilan suuntaan, mutta niiden maksimiläpimitat olivat samaa luokkaa tai hieman pienempiä kuin vastaavassa tasavälisessä istutusmuodossa.

Keywords: Scots pine, spacing, yield, quality.
FDC 232.4 + 56

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, P.O. Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland.

Accepted June 4, 1993

1 Introduction

Artificial regeneration makes it possible to regulate the growing space of forest trees. A more or less even spacing is generally preferred. However, even in normal planting, the plant-to-plant distances within the rows are frequently shorter than the row-to-row distances. On ploughed areas it is common for the two plant rows in the shoulders of the furrows to be close to each other, while a distance between adjacent furrows may be up to 5 metres.

In rectangular planting (i.e. the distance between the planting rows exceeds the distance between the plants in one row), the number of technical advantages thus achieved is at its best when using one or two-row planting (Lindman et al. 1985). The distance between two adjacent rows must be wide enough for machines to move therein.

The possibilities of using rectangular planting design vary according to soil characteristics, site, and silvicultural regime. Topographically even and fairly fertile sites are most appropriate as the fertile sites require repeated silvicultural treatments such as cleanings. The terrain needs to be fairly even to allow the use of machines.

It has been pointed out that the rectangular planting design would result in a lower total production because the competition between the trees in a row begins earlier and because the entire growth space is not used effeciently (see Lindman et al. 1985). The stems and crowns become asymmetric and the branches thicken in the direction of the free space. According to Dippel (1982), eccentricity of stem cross-sections in unsquare planted Norway spruce (*Picea abies*) stands was more frequent in using wider spacing, though this feature was not found to be prominent. Handler and Jakobsen (1986) did not, however, find asymmetric stems in unsquare planted Norway spruce stands when the dominant tree height was approximately 10 metres. Daniels and Schultz (1975) using *Pinus patula*, and Kramer et al. (1971) using Norway spruce concluded that the prevailing winds have a greater effect on the ovality of stems than the rectangular planting patterns. Isomäki (1986) found that the trees along the edge of line corridors grew slightly elliptical in cross-section at breast height, but the effect was less pronounced in Scots pine stands than in Norway spruce stands. Handler and Jakobsen (1986) (with Norway spruce) and Elfving (1975) (with Scots pine) reported that branches grew thicker in the direction of the plant rows. Dippel (1982) concluded that the rectangular spacing of Scots pine caused a slight decrease in the mean maximum branch diameter in the third whorl from the top.

Risk of damage may be higher in rectangular spacing. Asymmetric crowns, a short plant-to-plant distance, and the winds along the rows tend to cause snow damage. Short plant-to-plant distances increase the likelihood of severe local damage, such as needle cast.

The object of this study was to find out whether the rectangular planting design exerts any effect on the roundness of stems and on the branch thickness, and what impact the planting design (square versus rectangular) and the initial spacing have on the stand characteristics.

2 Material and methods

2.1 Experimental stands

The material consists of plantations on three experimental areas. Areas 1 and 2 are situated in Kuru in southern Finland (latitude 62°02', longitude 23°44') and area 3 in Muhos in central Finland (latitude 64°53', longitude 26°05'). The elevation is 160 m (above sea level) for areas 1 and 2, and 60 m for area 3. The respective mean annual temperature sums are 1200 and 960 d.d. The areas 1 and 2 were estimated to be stony *Vaccinium* site type (Cajander 1949). Area 3 was former agricultural land.

On areas 1 and 2, clearcutting was carried out in 1970–71, and the sites were ploughed in 1971 and planted in 1972 with 3 year-old (1G+2F, G = greenhouse, F = field) bare-rooted plants, origin unknown. The former agricultural land (area 3) had been ploughed using agricultural implements and planted in 1974 with 2 year-old

(1G+1F) bare-rooted plants, origin 50 km south of area 3. Mechanical weed control was carried out in the autumn of 1974.

2.2 Planting designs

Five different initial spacings were used: 800, 1100, 1600, 2500, and 5000 plants/ha. Each spacing included a square planting design (rectangularity 1:1), an alternative with a row distance of 3.5 metres (rectangularity from 1:1.3 to 1:3.3) (except for area 3), and an alternative with a 5.0 metre row distance (rectangularity from 1:2 to 1:6.3) (Table 1). In the case of 800 plants/ha, a planting design with a row distance of 8 metres was also applied (rectangularity 1:5.2). In the spacing of 5000 plants/ha, only the square alternative was used.

Each area comprised only one block without replications. When planting area 3, the alternative of 3.5 meter row distance was omitted. The total number of plots was 35, each plot at least about 0.25 ha in area.

Table 1. Initial spacings and planting designs of experimental areas.

	Square spacing	Rectangular spacing	
Initial spacing, trees/ha	Planting design, m (row-to-row distance and plant-to-plant distance)		
800	3.5 × 3.5	5.0 × 2.45	8.0 × 1.53
1100	3.0 × 3.0	3.5 × 2.6	5.0 × 1.8
1600	2.5 × 2.5	3.5 × 1.8	5.0 × 1.25
2500	2.0 × 2.0	3.5 × 1.15	5.0 × 0.8
5000	1.4 × 1.4		

2.3 Measurements

Mortality was inventoried six years after the planting (in 1978) in areas 1 and 2. The inventory covered the entire area. In 1986, a smaller sample plot was marked out inside the area. If high mortality was observed in a certain part of the whole area, said part was omitted. In all cases the outermost plant rows were excluded from the sample plot in order to avoid the edge effect of the neighbouring plots.

The measurements were carried out in 1986 when areas 1 and 2 were of the age of 17 years and area 3 of the age of 14 years (Table 2). Dbh's across and within the row were measured on all trees (Fig. 1). The technical quality of the stems and the state of health of the trees were estimated using ocular classification. The quality was described using classes normal, branchy, crooked, forked, branchy & crooked, branchy & forked, crooked & forked, branchy & crooked & forked, or broken stem. State of health was classified into healthy, dead, diseased or damaged, top dry, top dry & dying, or dying trees. Mortality was counted. Sample trees were selected systematically. At least 50 sample trees per sample plot were measured. The following variables were measured on the sample trees: dbh and diameter at the height of 3.5 meter across and within the

Table 2. Minimum, maximum and mean values of stand parameters in 1986.

Number of area Location	1 Kuru	2 Kuru	3 Muhos
Age, a	17	17	14
Mean height, m	4.8–5.3 (5.0)	4.2–5.4 (5.0)	4.0–4.7 (4.4)
Dominant height, m	5.6–6.6 (6.1)	5.6–7.0 (6.1)	4.7–5.6 (5.1)
Mean diameter, cm	6.8–9.5 (8.4)	5.4–9.4 (7.8)	6.7–9.1 (7.9)
Basal area, m^2/ha	5.3–20.2 (9.8)	3.0–11.5 (7.3)	4.3–15.1 (7.9)
Stem volume, m^3/ha	17.7–68.0 (33.4)	9.8–39.4 (25.0)	13.0–45.4 (24.3)
Number of trees/ha	804–5000 (1814)	732–3320 (1516)	789–4019 (1654)

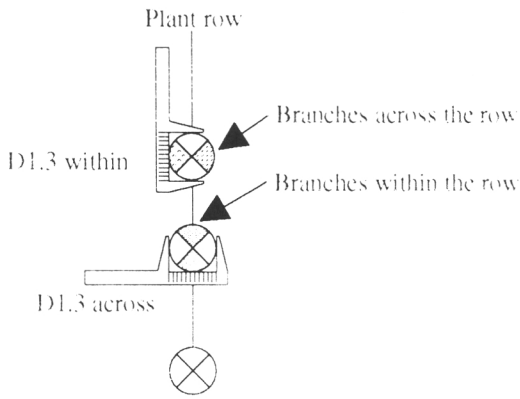


Fig. 1. Diameter measurements across and between rows.

row, the diameter and location of the thickest living branch across and within the row, the diameter of the thickest dry branch across and within the row (Fig. 1) tree height, 5-year height increment, crown height, and crookedness. The 5-year height increment above 2.5 metres from five dominant trees was measured according to Hägglund's (1976) intercept-method in order to estimate the site indexes.

The site index variation between the three experimental stands was small. Using Hägglund's (1976) model, the standwise means for H100 were 23.4–23.8. The site indexes corresponded to a better *Vaccinium* site type (see Vuokila and Väliaho 1980). Compared to young Scots pine stand models (Varmola 1987), the development in the experimental stands was estimated to be slightly faster than that indicated by site index H100 = 24.

2.4. Methods

The mean values of a stand characteristic from individual sample plots were used as an input for a statistical analysis. Technical quality and state of health were described fitting a log-linear model to the tables of contingent (see Habermann 1973). Mortality was analysed using a stepwise logistic regression model (see Häkkinen and Linnilä 1987). Variables measured using the ratio scale were analysed with ANOVA. The ANOVA-model had the form:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j + D_k + DR_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

where

- Y = dependent variable
- μ = overall mean
- A = area effect (i = 1,2,3 corresponding to stands 1,2 and 3)
- R = rectangularity effect (j = 1,2,3 corresponding to classified rectangularities 1:1, 1:2 and 1:3–6)
- D = spacing effect (k = 1,2,3,4,5 corresponding to densities 800, 1100, 1600, 2500 and 5000 plants/ha)
- ε = error

Branchiness was analysed by means of regression analysis using data on individual sample trees. The diameter of the thickest branch was modelled using dbh as an independent variable, and the planting density, rectangularity classes and experimental stand as dummy-variables (see Draper and Smith 1966).

3 Results

3.1 Stand characteristics

The average mortality, inventoried 6 years after the planting in 1978 over the entire areas, was 10–12 % in areas 1 and 2. The mortality was not dependent on spacing. In 1986, the mortality per cent varied from 4 % to 34 % when measured on sample plots (n = 35). According to stepwise logistic regression analysis, rectangularity or spacing did not have a statistically significant effect on tree plant mortality.

Neither planting design nor density did have any effect on height development of the trees. In the most sparse spacings (800 plants/ha), the tree height was slightly less than in the other spacings. According to ANOVA, differences could be found only between the areas ($P < 0.01$) regarding both the mean and the dominant height. In area 2 the mean height growth reduction had been caused by damage. The planting design did not have any effect on the mean diameter of the trees. On the other hand, as can be expected, the effect of spacing was significant ($P < 0.01$). In the basal area, the differences between the spacings were even greater. The planting design did not have any effect on volume development.

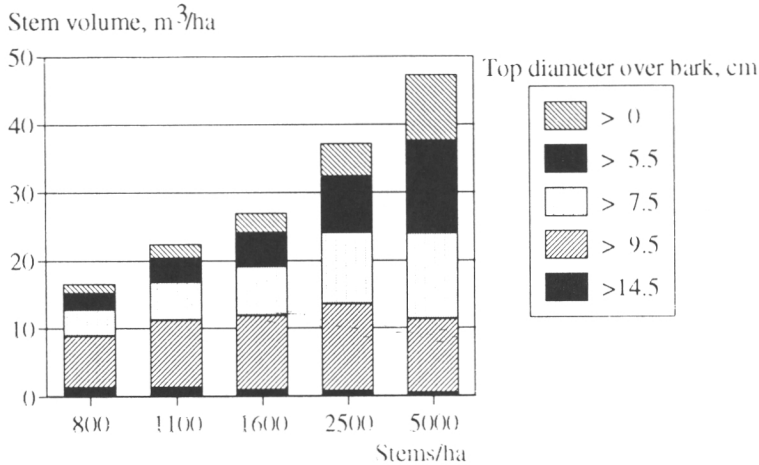


Fig. 2. Stem volume in over bark top diameter classes with respect to planting density.

According to ANOVA, spacing had a statistically significant effect on stand volume ($P < 0.01$). Increased stem volume was mainly a result of the increased number of small-dimension trees (Fig. 2). The amount of timber with overbark diameter of over 9.5 cm was approximately the same in all spacings.

3.2 Tree parameters

The asymmetry of stems was described as the ratio of sample plot averages between tree diameters across and within the rows of trees ($n = 35$) (Fig. 1). The ratios differed between both the experimental stands ($P < 0.01$) and the rectangularity classes ($P < 0.01$) with statistical difference. An interaction could be seen in rectangularity * spacing ($P < 0.1$). However, the differences between tree diameters were small. The difference in plotwise counted average of tree diameters was at its highest 1.1 mm with a spacing of 5.0×0.8 metres. Rectangularity had led to some asymmetry of stems, though at pole stage the asymmetry was still rather inconspicuous.

Branchiness was analysed on single tree observations ($n = 1621$). The diameter of the thickest living branch of trees was linearly dependent on the dbh. In the regression model, the planting density and rectangularity classes were significant dummy-variables (Table 3). The effect of the initial spacing on branch diameters was observed both across and within the plant rows. The mean branch thickness was a little higher in square planting designs (Table 4). When the dbh increased up to 10 cm at the dominant height of 6 metres, the diameter of the thickest living branch was approximately 30 mm, and the trees are no longer suitable for green pruning.

The branches were thicker across than within the planting rows when an unsquare planting pattern was applied (Fig. 3). The differences were usually small and they did not have any statistical significance. The greatest differences observed were in the lowest spacing treatment where also the greatest dbh's were observed. The maximum difference in the diameter means of the thickest branches was 2.5 mm. When the density in unsquare planting designs was over 1600 stems/ha, no differences could be found between the branch diameters within and across the planting rows.

The thickest branch was usually located approximately at 1.8 metre height, this height being independent of spacing and rectangularity. The thickest dry branches were normally under 15 mm in diameter and they were found in the densest spacings; this was an indicator of more rapid self-pruning.

On the basis of the ocular assessment, the trees regarded as healthy amounted to 89 % of all trees. Most of the dead trees were found in the densest spacings (average 2 %). Most of the dying trees (average 6 %) were found in spacings of 1100, 1600, and 2500 trees/ha. In the regression analysis including the contingent table, no significant correlation between the health of trees and the initial spacing, planting design, or loca-

Table 3. The dependence of the diameter of the thickest living branch of trees on breast height diameter, experimental site, density and rectangularity of planting design.

Dependent variable: Diameter of thickest branch of tree, mm (mean = 26.46, sd = 0.186)
Number of measured sample trees (N): 1618
Coefficient of determination $R^2 = 0.603$
F-value (9.1608) = 270.84

Variable	Coefficient	Std error	T-value	Probability
Constant	7.252	0.627	11.58	100.0
D1.3, cm	0.224	0.006	40.78	100.0
Dummy variables				
Stand/Area1	–1.982	0.298	–6.66	100.0
Stand/Area2	–3.720	0.325	–11.43	100.0
N/800	4.293	0.510	8.42	100.0
N/1100	2.685	0.517	5.20	100.0
N/1600	1.853	0.521	3.56	99.96
N/2500	1.453	0.511	2.84	99.55
SPACING/EQUAL 1:1	1.064	0.276	3.85	99.99
SPACING/RECTAN 1:2	1.234	0.358	3.45	99.94

tion of the experimental area was found. Less than half of all trees were classified as being of normal technical quality. Crookedness was the most common factor decreasing the quality (1/3 of the trees). Over 10 % of the trees were classified as branchy. The regression analysis with the contingent table showed that crookedness was more common in the densest spacings, the worst tree stem quality being in area 2 irrespective of the fact that the technical quality of the stems had not been affected by the planting design.

Table 4. Diameter of the thickest living branch (rectangular planting designs 1:1.3–1:2 were not applied on area 3).

Planting design	Square (1:1)	Rectangle (1:1.3–1:2)	Rectangle (1:2.7–1:6.3)
Trees/ha	Mean diameter of branch, mm		
5000	19.3	-	-
2500	23.2	(22.9)	22.4
1600	24.2	(24.0)	24.7
1100	27.3	(26.3)	24.9
800	28.6	(27.4)	28.0

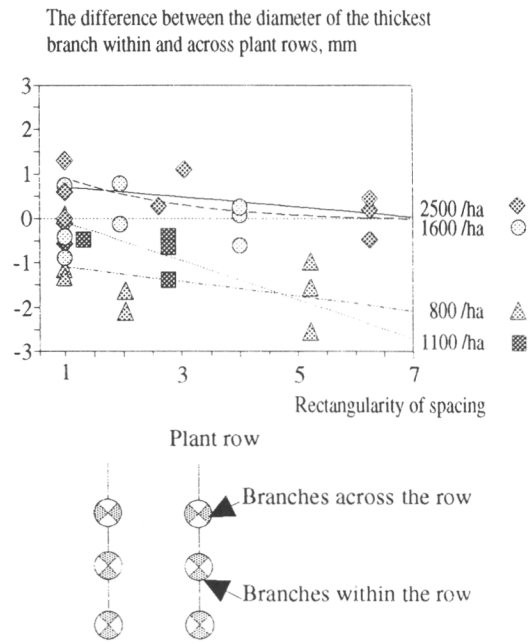


Fig. 3. The difference between diameter of the thickest branch in the crown-sections across and between rows.

4 Discussion

Rectangularity had a noticeable effect on stem asymmetry. There was also a statistically significant difference between the three experimental stands. This was apparently due to area 3 where ploughing had been carried out prior to planting. The potential asymmetry in the root systems may have had an effect on the asymmetry of the stems. As a whole, the asymmetry was minor, at most 1.1 mm, in terms of the difference of plot-wise mean diameters.

It is conceivable that when the relative growing space decreases, diametric asymmetry increases, at least in absolute terms. Handler and Jakobsen (1986) found no significant differences of cross-wise diameters in unsquare planted Norway spruce stands after the dominant height exceeded 10 metres. They considered the maximum difference of 3–4 mm to be insignificant. According to Kärkkäinen (1977), asymmetry as a whole is technically considerably less harmful than crookedness.

Besides asymmetry, branchiness also affects the quality of stems. At the time of measurement, the experimental stands were in a rapid branch growth phase. The crown limit was no higher than 1 metre, except in the most dense spacing (5000 stems/ha), and the crown ratio was thus 80–90 %. Because the thickest branches usually remain alive in the lower part of the green crown, the branches will continue growing for a relatively long period on a height of butt log.

Planted Scots pine stands will usually grow branchy compared with artificially seeded or naturally regenerated stands. In the experimental stands, the branch diameters were somewhat larger than those reported in a previous study concerning the whole of Finland (Varmola 1980) where the thickest branch had the mean diameter of 30 mm while the dbh was approximately 12 cm.

So far, the rectangular planting design has had no effect on the stand characteristics, and there is no need to thin stands earlier than usually. Mean height, mean diameter, basal area, and volume were independent of rectangularity. Since rectangularity had not had any effect on the stand characteristics, and only a very small effect on the technical quality of the tree stems, there is no reason not to apply a rectangular planting design.

Acknowledgements: We thank Professor Matti Leikola and docent Heikki Smolander for their constructive reviews and suggestions for improvement.

References

Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. Acta Forestalia Fennica 56. 69 p.

Daniels, F.W. & Schultz, C.J. 1975. Rectangular planting patterns in Pinus Patula stands in the Eastern Transvaal. Forestry in South Africa 16: 61–62.

Dippel, M. 1982. Auswertung einer NELDER-Pflanzverbadsversuchs mit Kiefer im Forstamt Walsrode. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 153. Jahrgang, Heft 8: 137–152.

Draper, N.R. & Smith, H. 1966. Applied regression analysis. John Wiley & Sons, New York. 407 p.

Elfving, B. 1975. Volym och struktur i ogallrade tallbestånd. Skoghögskolan, Institution för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 33. 128 p.

Haberman, S.J. 1973. Log-linear for contingency tables, algorithm AS 51. Applied Statistics 21: 218–224.

Hägglund, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institution för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 39. 66 p.

Häkkinen, R. & Linnilä, K. 1987. Logistiset ja log-lineaariset mallit ja niiden ratkaiseminen BMDP-ohjelmistolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 279. 47 p.

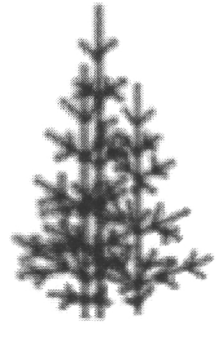
Handler, M.M. & Jakobsen, B. 1986. Nyere danske planteafstandsforsok med rodgran (Recent Danish spacing experiments with Norway spruce). Det Forstlige Forsogsvaesen I Danmark (The Danish Forest Experiment Station). Beretninger udgivne ved den forstlige forsogskommission. Reports, Bind XXXX, Haefte 4: 359–442.

Isomäki, A. 1986. Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. Summary: Effects of line corridors on the development of edge trees. Folia Forestalia

678. 30 p.
Kärkkäinen, M. 1977. Puu, sen rakenne ja ominaisuudet. Helsingin yliopiston monistuspalvelu. 442 p.
Kramer, H., Dong, P.H. & Rusack, H.J. 1971. Untersuchung der Baumqualität in weitständig begründeten Fichtenbeständen. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 142. Jahrgang, Heft 2: 33–46.
Lindman, J., Näslund, B-Å., Olsson, P. & Samuelsson, H. 1985. Radförband. Summary: Rectangular line planting. Ett NSR-projekt redogörelse nr 8. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. 31 p.
Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia Forestalia 451. 21 p.
— 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Manuscript.
Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 99(2). 271 p.

Total of 16 references

III



FOLIA FORESTALIA 524

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1982

Martti Varmola

TAIMIKKO- JA RIUKUVAIHEEN MÄNNIKÖN KEHITYS HARVENNUKSEN JÄLKEEN

Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning

VARMOLA, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia For. 524:1—31.

Tutkimuksessa esitetään tulokset taimikko- ja riukuvaiheen männikön harvennusreaktiosta keskimäärin viiden vuoden jaksolta. Aineistona on 26 kestokoetta ja 296 koealaa. Puuston pituuskasvu on tutkimuksen mukaan riippumaton harvennuksen voimakkuudesta. Runkotilavuuden kasvu on sitä suurempi, mitä korkeampi puustopääomataso on, mutta tiheyden lisääntyessä kasvu keskittyy pieniläpimittaisiin puihin. Järeyskehitys on sitä edullisempi, mitä aikaisemmin taimikko harvennetaan. Kasvatustiheyden optimi riippuu paitsi kasvupaikasta myös harvennuspuun läpimittavaatimuksesta. Laatunäkökohtien ottaminen huomioon vaatii myöhäistä harvennusta. Tutkimuksen mukaan valtapituusvaiheessa 5—6 m tapahtuvan harvennuksen jälkeen paksuimpien oksien läpimitta jää n. 30 mm:ksi.

The effect of thinning carried out in Scots pine stands at the sapling and pole stages during an average period of five years are presented in the study. The material was obtained from 26 permanent thinning experiments containing a total of 296 sample plots. According to the results, the dominant height growth of the tree stands is not dependent on the thinning intensity. The increase in stem volume is the greater, the higher is the growing stock level. However, as stand density is increased, stand growth becomes more and more concentrated in small-diameter trees. The earlier the stands are thinned, the greater the amount of large dimension wood produced. As well as being dependent on the growing site, the optimum stocking density is also dependent on the minimum diameter requirements of the thinned trees. Late thinning is better if high quality timber is required. If thinning is carried out when the dominant height has reached the 5—6 m stage, then the diameter of the thickest branches will remain at about the 30 mm level.

ODC 242 + 562.2 + 232.43 + 174.7 *Pinus sylvestris*
ISBN 951-40-0578-3
ISSN 0015-5543

SISÄLLYS

MERKINNÄT — SYMBOLS ... 4
1. JOHDANTO ... 5
2. AINEISTO JA LASKENTAMENETELMÄT ... 6
21. Aineiston yleiskuvaus ... 6
22. Mittaus- ja laskentamenetelmät ... 8
3. KASVUPAIKKOJEN BONITOINTI ... 9
31. Pituusbonitointi ... 9
32. Kulotuksen vaikutus ... 10
33. Pituusboniteetti-indeksi ja kasvupaikan puuntuotoskyky ... 11
34. Koemetsiköiden ryhmittely ... 12
4. HARVENNUKSEN VOIMAKKUUDEN JA AJANKOHDAN VAIKUTUS PUUSTON KEHITYKSEEN ... 13
41. Yleistä ... 13
42. Pituuskasvu ... 13
43. Läpimitan kasvu ... 14
44. Runkotilavuuden kasvu ... 15
45. Järeytyminen ... 16
46. Ulkoinen laatu ... 18
461. Latvussuhde ... 18
462. Oksikkuus ... 18
4621. Paksuimmat tuoreet oksat ... 18
4622. Paksuimmat kuivat oksat ... 20
4623. Oksien sijainti ... 21
463. Rungon tekninen laatu ja terveydentila ... 21
5. TAIMIKKO- JA RIUKUVAIHEEN MÄNNIKÖIDEN IÄN MUKAINEN KEHITYS ... 23
51. Yleistä ... 23
52. Valtapituuden kehitys ... 23
53. Runkotilavuuden kehitys ... 24
54. Pohjapinta-alan kehitys ... 25
6. TARKASTELU ... 26
KIRJALLISUUS ... 27
SUMMARY ... 29
LIITTEET ... 30

MERKINNÄT

Tunnukset ovat välimittaushetken arvoja, ellei toisin ole mainittu.

Metsikkö

N = runkoluku, kpl/ha
N_k = kuitupuurunkojen lukumäärä, kpl/ha
T = ikä, a
D_w = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta kuorineen, cm
D_{500} = hehtaaria kohden 500 paksuimman puun läpimittojen keskiarvo, cm
G = pohjapinta-ala kuorineen, m^2/ha
H = aritmeettinen keskipituus, m
H_{dom_a} = valtapituus, hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituus harvennushetkellä, m
H_{dom} = valtapituus, m
V = runkotilavuus kuorineen, m^3/ha
CR_{500} = hehtaaria kohden 500 paksuimman puun latvussuhteitten aritmeettinen keskiarvo
D_{t500} = hehtaaria kohden 500 paksuimman puun paksuimpien tuoreiden oksien läpimittojen aritmeettinen keskiarvo, mm
D_{k500} = hehtaaria kohden 500 paksuimman puun paksuimpien kuivien oksien läpimittojen aritmeettinen keskiarvo, mm

I_{D_w} = pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan keskimääräinen vuotuinen kasvu mittausjakson aikana, cm
I_H = keskipituuden keskimääräinen vuotuinen kasvu mittausjakson aikana, m
$I_{H_{dom}}$ = valtapituuden keskimääräinen vuotuinen kasvu mittausjakson aikana, m
I_V = runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu mittausjakson aikana, m^3/ha
p_V = runkotilavuuden vuotuinen kasvuprosentti mittausjakson aikana laskettuna kaavalla

$$p_V = \frac{200}{n} \times \frac{V - V_a}{V + V_a}$$

missä V_a = runkotilavuus harvennuksen jälkeen
n = mittausjakson pituus

Puu

v = koepuun tilavuus, l
$\overline{v}_k$ = kuitupuurunkojen keskikoko, l
i_d = koepuun rinnankorkeusläpimitan vajaan kasvukauden kasvu, mm
a_0, a_1 ja a_2 = regressioyhtälöiden kertoimet

SYMBOLS

The parameters are values from intermediate measurements unless otherwise stated.

Stand

N = *number of stems/ha*
N_k = *number of pulpwood stems/ha*
T = *age, yrs*
D_w = *mean diameter over bark weighted with basal area, cm*
D_{500} = *mean diameter of 500 thickest trees/ha, cm*
G = *basal area over bark, m^2/ha*
H = *arithmetical mean height, m*
H_{dom_a} = *dominant height, mean height of 100 thickest trees/ha at thinning, m*
H_{dom} = *dominant height, m*
V = *stem volume over bark, m^3/ha*
CR_{500} = *arithmetical mean of crown ratios of 500 thickest trees/ha*
D_{t500} = *arithmetical mean diameter of the thickest living branches of the 500 thickest trees/ha, mm*
D_{k500} = *arithmetical mean diameter of the thickest dry branches of the 500 thickest trees/ha, mm*

I_{D_w} = *mean annual increment in mean diameter (dbh) weighted by the basal area during measuring period, cm*
I_H = *mean annual increment in mean height during measuring period, m*
$I_{H_{dom}}$ = *mean annual increment in dominant height during measuring period, m*
I_V = *mean annual increment in stem volume during measuring period, m*
p_V = *annual growth percentage of stem volume during measuring period calculated using the formula*

$$p_v = \frac{200}{n} \times \frac{V - V_a}{V + V_a}$$

where V_a = stem volume after thinning
n = length of measuring period

Tree

v = sample tree volume, l
$\overline{v}_k$ = mean size of pulpwood stem, l
i_d = breast height diameter increment of sample trees during one growing season, mm
a_0, a_1 and a_2 = coefficients of the regression equations

1. JOHDANTO

Taimikoiden hoito jaetaan varhaishoitoon ja käsittelyyn (Vuokila 1972). Varhaishoito sisältää uudistamisen onnistumisen varmistavat toimenpiteet, kuten taimikon vapauttamisen, täydennyksen sekä heinän ja ruohon torjunnan. Käsittely sisältää vakiintuneen taimikon hoitoon liittyvät toimenpiteet.

Taimikon käsittely voi olla perkausta, harvennusta ja tasausta. Perkaus on pääpuulajin kehitystä haittaavan toisen puulajin poistamista. Harvennus on pääpuulajin kasvatustiheyden säätelyä. Tasauksella tarkoitetaan pituusvaihtelun tietoista vähentämistä poistamalla kookkaimpia puuyksilöitä (Vuokila 1980).

Taimikonhoitoalat ovat Suomessa viime vuosina olleet n. 500 000 ha/v (Uusitalo 1981). Taimikon hoitotoimenpiteisiin on tällöin laskettu perkaukset ja harvennukset sekä nuorissa, jo riukuasteella olevissa metsissä suoritetut harvennukset aina siihen asti, kun harvennuspuusta aletaan saada myyntituloja. Vuoden 1950 tasosta (50 000 ha) hoitoalojen pinta-alat nousivat tasaisesti vuoteen 1971 (250 000 ha), jonka jälkeen tapahtui nopea nousu nykyiselle tasolle. Vuosina 1950—79 taimikonhoitoa on ollut yhteensä 6,7 milj. ha:lla. Pinta-ala on kokonaismäärä, joka sisältää kaikki em. taimikonhoitoon liittyvät toimenpiteet. Siten esim. peräkkäiset lehtipuiden perkaukset on kirjattu kukin erikseen pinta-alatietoihin.

Taimikon harvennusohjeet ovat Suomessa muotoutuneet kokemuksen kautta tutkimuksen antamin suuntaviivoin. Metsähallituksen ohjeet männyntaimikon harvennuksen jälkeen jäävälle runkoluvulle ovat: karukko- ja kuivat kankaat 1500, kuivahkot kankaat 1500—2000 maalajista riippuen ja tuoreet kankaat 2000 kpl/ha (Ohjekirje metsien ..., 1981). Keskusmetsälautakunta Tapion ohje on kaikilla kasvupaikoilla 2000 kpl/ha. Täydennysviljely tehdään, jos runkoluku on alle 1200—1600 kpl/ha kasvupaikasta riippuen (Etelä-Suomen metsien ..., 1981). Taimikon harvennuksen ajankohdaksi suositetaan pituusvaihetta 1—3 m (Tapio) ja 2—4 m (metsähallitus). Kylvötuppaiden harventaminen tulisi tehdä, kun pituus on 1—2 m.

Suomessa taimikon harvennuksen vaikutusta puuston kehitykseen on tutkittu suhteellisen vähän. Sirén (1956) on tarkastellut männyn taimikoiden käsittelyä ja erityisesti kylvötuppaiden harventamista. Vuokila (1972) on esittänyt laajahkon kirjallisuuskatsauksen taimikon käsittelystä puuntuotannolliselta kannalta. Katsaus sisältää myös omia tutkimustuloksia käyttörunkojen lukumäärästä ensiharvennusvaiheessa (mt., s. 27—29). Parviainen (1978) on käsitellyt taimikko- ja riukuvaiheen männikön harvennuksen vaikutusta puustoon viiden kokeen perusteella. Metsikön varhaiskehityksen dynamiikkaa ovat tutkineet Hari ym. (1982) kasviekologian menetelmin.

Luontaisesti syntyneen männikön varhaiskehitystä ovat esitelleet Etelä-Suomessa Lehto (1956) ja Hänninen ym. (1972) ja Pohjois-Suomessa Lehto (1969b). Metsänviljelyn onnistumista ja osin taimikoiden alkukehitystä ovat selvittäneet alueellisesti Yli-Vakkuri ym. (1969), Leikola ym. (1977) ja Rautiainen ja Räsänen (1980). Parviainen (1979) on vertaillut eri puulajien istutustaimikoiden alkukehitystä. Pohjois-Suomessa Jakkila ja Pohtila (1978) ovat selvittäneet perkauksen vaikutusta taimikon kehitykseen ja Pohtila ja Timonen (1980) suojametsäalueen viljelytaimikoiden kehitystä.

Muissa pohjoismaissa taimikon harvennuksen vaikutuksia on tutkittu enemmän kuin Suomessa. Ruotsista voidaan mainita ennen muita Andersson (1952, 1968, 1971, 1975) ja Carbonnier (1964). Norjassa asiaa on syvällisimmin tutkinut Vestjordet (1959, 1971, 1977).

Taimikon hoitoa on selvitetty lähes yksinomaan runkopuun tuotoksen määrän kannalta. Taimikon harvennuksen vaikutusta puuston laatuun ei suoranaisesti ole tutkittu, vaikkakin eräät tutkimukset ovat sivunneet em. kysymystä. Heiskanen (1965) on osoittanut nuoruusvaiheen nopean kasvun ja heikon teknisen laadun välisen yhteyden. Varmola (1980) on tutkinut männyn istutustai-

mikoiden ulkoista laatua ja Kellomäki ja Tuimala (1981) puuston tiheyden vaikutusta puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä.

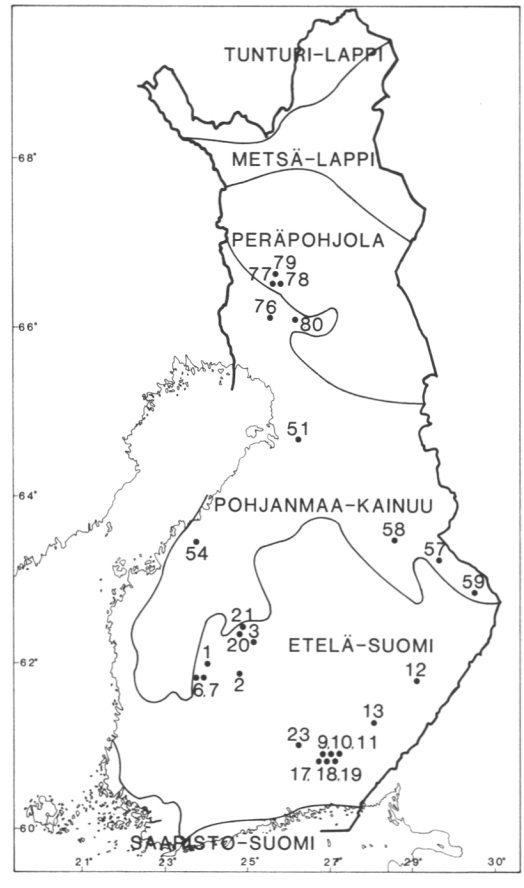
Suomalaiset tutkimukset eivät ole toistaiseksi antaneet riittävästi vastausta taimikon harvennuksen pääkysymyksiin, jotka ovat:

1. Mihin tiheyteen taimikko tulee harventaa?
2. Missä vaiheessa taimikko tulee harventaa?

Tutkimustulosten vähyys aiheutuu siitä, että ei ole ollut käytettävissä tutkimusaineistoa. Kestokokeita on perustettu tosin koko Metsäntutkimuslaitoksen olemassaolon ajan, mutta ne on miltei poikkeuksetta perustettu vasta riukuvaiheessa oleviin ja sitä vanhempiin metsiköihin. Parviaisen (1978) työ on toistaiseksi ainoa, joka perustuu kestokokeisiin.

Kun metsänarvioimisen tutkimusosasto 1969 jaettiin kahteen tutkimussuuntaan, puuntuotoksen tutkimussuunnan ensimmäisiä tehtäviä oli taimikonharvennuskokeiden perustaminen. Metsikkökokeita perustettiin lähinnä vuosina 1971—74. Ne on mitattu uudelleen keskimäärin viiden vuoden kuluttua perustamisesta. Tässä tutkimuksessa esitetään tulokset tältä noin viiden vuoden kasvujaksolta taimikon harvennuksen jälkeen.

Lukuisat henkilöt ovat välillisesti tai välittömästi auttaneet työn valmistumisessa. Professori Yrjö Vuokila on antanut kimmokkeen tutkimustyölle ja suunnitellut koejärjestelyt. Metsikkökokeita ovat perustaneet mt. Veikko Puurtinen, mt. Jussi Raja ja MML Jussi Saramäki. Välimittauksia ovat tehneet mt. Kari Alatalo, mt. Jussi Raja, mt. Eero Siivola, MH Martti Varmola ja MH Esa Vuollet, joka myös valmisti viidestä kokeesta opinnäytetyön. Laskentavaiheessa opasti VTK Jaakko Heinonen. Kuvat piirsi tutkimusapulainen Marja-Liisa Herno. Englanninkieliset osat on kääntänyt B.Sc. John Derome. Perustamisvaiheen puustotunnukset laskivat mt. Veikko Puurtinen ja mt. Jussi Raja. Käsikirjoituksen ovat lukeneet dos. Pekka Kilkki, prof. Kullervo Kuusela, prof. Matti Leikola ja prof. Yrjö Vuokila. Kiitän kaikkia edellä mainittuja avusta. Haluan osoittaa kiitokset myös maanomistajille ja heidän edustajilleen, jotka vaivojaan säästelemättä ovat etsineet taimikkokohteita, luovuttaneet alueet tutkimustoiminnalle ja huolehtineet toimenpiteistä metsiköissä.



Kuva 1. Aineiston maantieteellinen jakaantuminen.
Fig. 1. Location of the experimental stands.

2. AINEISTO JA LASKENTAMENETELMÄT

21. Aineiston yleiskuvaus

Tutkimuksen aineistona ovat Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnan 1970-luvun alussa perustamat taimikon harvennuskokeet. Metsiköitä on 26, joissa on 296 koealaa. Metsiköiden yleistiedot on esitetty liitteessä 1 ja maantieteellinen jakaantuminen kuvassa 1.

Tutkimukseen kuuluvista metsiköistä valtaosa (16) sijaitsee Etelä-Suomen metsäkasvillisuusvyöhykkeellä (Kalela 1961). Loput kymmenen metsikköä sijaitsevat Pohjanmaan-Kainuun metsäkasvillisuusvyöhykkeellä. Näistä kolme metsikköä Itä-Suomessa on aivan vyöhykkeen etelärajalla ja pohjoisimmat Pohjanmaan-Kainuun ja Peräpohjolan vyöhykkeiden rajalla.

Etelä-Suomen metsiköistä 14 on arvioitu kasvupaikkatyypiltään puolukkatyypiksi ja kaksi kanervatyypiksi. Pohjanmaan-Kainuun vyöhykkeen metsiköiden metsätyyppimäärittelyssä kuvastuu kokeiden sijoittuminen alueen äärilaidoille. Alueen eteläosan kokeista yksi on tuoreella kankaalla (VMT) ja neljä kuivahkolla kankaalla (VT). Rovaniemen ympäristön kokeet ovat kuivahkolla kankaalla (EVT ja EMT) (Cajander 1949).

Taulukko 1. Metsiköiden puustotunnusten minimit, maksimit ja keskiarvot kokeen perustamishetkellä.

Table 1. Minimum, maximum and mean values of stand parameters measured at the time the experiment was established.

Metsikkö *Stand*	N, kpl/ha *st/ha*	D_w, cm	G, m^2/ha	H_d, m	V, m^3/ha
		Harvennuksen jälkeen - *After thinning*			
1	980-10030 (3078)	6,2- 9,9 (7,9)	3,9-16,1 (9,5)	6,2-7,7 (7,0)	13,2-54,8 (32,1)
2	700- 3200 (2054)	6,0- 9,7 (7,6)	4,0-10,8 (7,2)	5,6-7,5 (6,7)	11,9-37,7 (24,9)
3	620- 2990 (2212)	2,4- 3,8 (3,1)	0,5- 1,6 (1,1)	3,0-3,8 (3,4)	1,5- 4,6 (3,3)
6	912- 9640 (2651)	5,3- 7,2 (6,2)	2,7-13,2 (5,4)	5,2-6,4 (5,8)	8,4-42,5 (17,6)
7	981- 3262 (2071)	4,8- 7,1 (5,8)	2,2- 6,2 (4,2)	5,0-5,8 (5,3)	7,0-19,3 (13,2)
9	1000- 3739 (2135)	7,1- 8,2 (7,6)	3,3-11,8 (8,1)	6,1-7,2 (6,8)	10,9-40,1 (27,7)
10	600- 3096 (1927)	6,9- 8,0 (7,4)	2,8-11,0 (7,1)	6,1-7,0 (6,5)	9,4-37,7 (23,6)
11	575-19248 (3903)	3,2- 4,7 (3,9)	0,9- 7,2 (2,2)	3,2-4,1 (3,4)	1,4-21,3 (6,0)
12	1000- 3080 (2178)	2,3- 3,2 (2,6)	0,3- 1,3 (0,7)	2,4-3,0 (2,7)	1,0- 3,4 (2,1)
13	1000- 2535 (1946)	2,8- 4,4 (3,5)	0,6- 2,4 (1,3)	2,6-3,5 (3,0)	1,6- 6,1 (3,5)
17	600- 3800 (1982)	4,6- 6,4 (5,3)	1,4- 4,8 (2,9)	4,7-5,3 (4,9)	4,0-13,9 (8,6)
18	600- 2536 (1638)	5,2- 6,7 (5,7)	1,7- 3,8 (2,7)	4,6-5,3 (4,8)	4,8-10,8 (7,6)
19	1000- 3560 (2142)	7,0- 8,5 (7,5)	4,5- 9,7 (7,0)	6,5-7,7 (7,1)	15,9-32,5 (23,4)
76	813- 3420 (1883)	6,8-10,6 (8,4)	2,0- 9,4 (6,0)	5,7-8,5 (6,8)	6,3-31,3 (19,0)
77	1000- 7134 (2695)	3,4- 6,1 (5,1)	1,6- 3,3 (2,5)	4,0-4,9 (4,5)	4,3- 9,0 (6,9)
78	984- 5480 (2383)	4,2- 7,3 (5,7)	2,0- 4,9 (3,2)	4,1-5,0 (4,6)	5,3-13,5 (8,7)
79	600- 2816 (1619)	4,3- 7,4 (5,5)	1,3- 3,1 (2,2)	3,8-4,9 (4,3)	3,4- 8,3 (5,9)

Koetaimikoista 16 on perustettu kylväen ja 10 luontaisesti. Maanpinnan valmistusmenetelmistä on maanomistajilta saatujen tietojen mukaan karhintaa käytetty kahdessa, laikutusta samoin kahdessa ja kulotusta 13 metsikössä. Kulotukseen on useimmiten liittynyt kylvö, mutta kahdessa metsikössä (6 ja 7) alue on ensin kulotettu ja karhittu ja siemenpuut poistettu 7 vuoden kuluttua em. toimenpiteistä. Taimikoiden ikä on perustamisvaiheessa vaihdellut 11 vuodesta 30 vuoteen. Pohjois-Suomen luontaisesti syntyneiden taimikoiden ikää ei pystytty luotettavasti määrittämään.

Liitteessä 1 perkauksella on useimmiten tarkoitettu paitsi mahdollista lehtipuiden poistoa myös taimituppaiden harventamista. Taimikot ovat siten kokeen perustamisvaiheessa olleet useimmiten jo kertaalleen harvennettuja, tosin niin tiheään asentoon, 3000—4000 kpl/ha, että on voitu luoda hyvinkin laaja tiheysvaihtelu.

Koetta perustettaessa taimikkokuvio on jaettu lohkoihin, joilla puusto on harvennettu eri tiheyksiin. Kunkin lohkon sisällä on rajattu 1—3 tavallisesti suorakaiteen muotoista koealaa vähintään viiden metrin levyisen vaippa-alueen toisistaan erottamina. Koealojen koko on vaihdellut 10 aarista 50 aariin. Normaalisti koealat on harvennettu seuraaviin tiheyksiin: 1000, 1600, 2200 ja 3100 kpl/ha. Usein on yksi koeala harvennettu ekstreemiin asentoon 600 kpl/ha. Ainakin yksi koeala on jätetty harventamatta; perkaus on kuitenkin tällöinkin tehty.

17 metsikköä on mitattu tarkasti perustamisvaiheessa. Näiden osalta puustotietojen minimit, maksimit ja keskiarvot ilmenevät taulukosta 1. Kasvatustiheysvaihtelu on ollut 600—19200 kpl/ha. Yli 4000 runkoa/ha on tosin vain muutamalla koealalla. Perustettaessa valtapituus on vaihdellut 2,4 m:stä 8,5 m:iin keskiarvon ollessa 5 m.

Metsiköistä 12 on harvennettu valtapituuden ollessa alle 4 m eli varsinaisessa taimikkovaiheessa. 10 metsikköä edustaa riukumetsävaihetta, ts. selvästi myöhästynyttä taimikon harvennusta. Näissäkin metsiköissä puusto on ollut ennen perustamista lievästi käsitelty. Pohjoisimmat metsiköt on harvennettu valtapituuden vaihdellessa 4 ja 5 m:n välillä lukuunottamatta metsikköä 76.

Metsiköt jakaantuvat siten kahteen toisistaan selvästi erottuvaan ryhmään, taimikkovaiheessa harvennettuihin ja riukumetsävaiheessa harvennettuihin. Pohjois-Suomen kokeet, koetta 76 lukuunottamatta, asettuvat näiden kahden ryhmän välille.

Taulukko 2. Metsiköiden puustotunnusten minimit, maksimit ja keskiarvot välimittausvaiheessa.

Table 2. Minimum, maximum and mean values of stand parameters at intermediate measuring stage.

Metsikkö *Stand*	N, kpl/ha *st/ha*	D_w, cm	G, m^2/ha	H_d, m	V, m^3/ha
	Välimittausvaiheessa - *At intermediate measuring stage*				
1	990- 6720 (2762)	8,8-14,2 (11,0)	9,1-26,4 (18,2)	8,6-11,1 (10,0)	38,8-136,4 (86,7)
2	700- 3208 (2047)	10,0-13,9 (11,1)	9,6-20,4 (15,6)	9,0-11,0 (10,0)	45,8- 97,6 (73,4)
3	620- 3020 (2259)	5,5- 7,9 (6,5)	2,6- 8,0 (5,6)	4,6- 5,7 (5,3)	8,2- 25,4 (17,4)
6	890- 8050 (2518)	9,2-13,4 (10,7)	10,8-23,9 (15,5)	9,0-11,1 (9,8)	49,0-116,0 (73,6)
7	950- 3520 (2140)	8,4-12,5 (10,1)	8,4-18,3 (13,6)	8,4- 9,8 (9,0)	37,2- 85,7 (61,5)
9	400- 8200 (3330)	5,6- 9,9 (7,3)	2,6-13,4 (7,5)	4,4- 7,0 (5,2)	8,0- 40,6 (22,7)
10	600- 3120 (1938)	9,1-11,6 (9,9)	5,9-17,4 (12,6)	8,2- 9,3 (8,6)	23,2- 73,4 (51,9)
11	585-19333 (3638)	5,1-12,0 (8,9)	5,6-22,3 (11,1)	6,4- 7,1 (6,8)	21,4- 78,9 (40,1)
12	1014- 3160 (2217)	6,5- 8,4 (7,3)	4,7-11,7 (7,9)	5,4- 6,3 (5,8)	14,9- 41,6 (26,5)
13	590- 3600 (1654)	8,0-11,4 (9,7)	5,3-15,6 (9,3)	6,2- 7,5 (6,7)	19,5- 61,4 (34,9)
17	588- 4300 (2070)	6,7-10,1 (8,1)	4,1-11,5 (7,9)	6,1- 7,3 (6,4)	14,3- 40,3 (27,4)
18	592- 2217 (1545)	8,0-10,7 (8,9)	4,8- 8,9 (7,3)	5,8- 7,1 (6,3)	16,8- 30,8 (25,3)
19	990- 3620 (2139)	8,7-11,5 (9,9)	8,5-17,1 (12,5)	8,0-10,2 (8,9)	37,7- 73,6 (53,8)
20	950- 3450 (1829)	7,4- 8,9 (8,1)	4,0- 9,5 (6,2)	5,5- 6,7 (6,1)	12,7- 32,3 (21,1)
21	1160- 3900 (2305)	5,3- 7,4 (6,4)	2,2- 9,0 (5,0)	4,3- 5,4 (4,7)	6,2- 28,5 (14,8)
23	608-12800 (3161)	4,9- 9,3 (7,2)	2,8-12,0 (7,9)	4,2- 6,7 (5,5)	8,7- 42,6 (25,9)
51	700- 3167 (1974)	4,4- 8,1 (6,7)	2,0- 8,1 (4,7)	4,5- 5,7 (5,0)	5,8- 24,9 (14,0)
54	1161- 2433 (1636)	7,3-10,2 (8,8)	5,8- 8,4 (7,0)	5,7- 6,4 (6,0)	19,6- 27,8 (23,5)
57	556- 3425 (1645)	6,0- 9,2 (7,3)	2,9- 9,8 (5,1)	5,3- 6,4 (5,7)	9,4- 32,2 (16,5)
58	575- 2500 (1462)	7,0- 9,3 (7,8)	2,7- 7,0 (4,7)	5,2- 5,9 (5,5)	8,5- 22,2 (15,0)
59	581- 2138 (1494)	6,7- 9,2 (7,6)	3,2- 6,8 (5,3)	5,2- 5,9 (5,4)	10,4- 21,8 (16,8)
76	983- 3060 (1796)	9,1-13,0 (10,9)	7,5-16,5 (11,8)	7,8-10,5 (8,6)	29,5- 76,0 (50,2)
77	1063- 7175 (2554)	5,6- 8,9 (7,6)	4,7- 9,4 (7,2)	5,5- 7,3 (6,4)	14,4- 33,6 (24,7)
78	1008- 5600 (2466)	6,0-10,3 (8,1)	6,7- 9,7 (7,9)	5,7- 7,4 (6,7)	21,4- 37,2 (28,2)
79	592- 2400 (1599)	6,5-11,3 (8,3)	4,1- 8,5 (6,1)	5,6- 6,8 (6,4)	13,6- 30,8 (21,1)
80	738- 4267 (2193)	9,3-13,2 (10,8)	9,0-20,3 (12,9)	7,7- 9,3 (8,2)	38,8- 90,9 (54,1)

22. Mittaus- ja laskentamenetelmät

Perustamisvaihe

17 metsikössä selvitettiin harvennusvaiheessa puustotunnukset. Muissa metsiköissä kuvion ja puuston homogeenisuus todettiin kevyin mittauksin. Puustotunnukset selvitettiin erikseen kokonaispuustolle, harvennuksessa poistettavalle ja jäävälle puustolle. Tutkimuksen lähtöaineistona on pidetty jäävän puuston tunnuksia.

Runkolukusarjan selvittämiseksi kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta 1 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen. Rinnankorkeuden määritys oli Ilvessalon (1948) mukainen, mikä kuitenkin pienissä puissa on käytännössä 1,3 m maanpinnan tason yläpuolella. Koepuita mitattiin koko runkolukusarjan alueelta, enimmin kuitenkin kookkaimmista puista. Pituuskäyrät tasoitettiin graafisesti. Yksikkötilavuudet saatiin Ilvessalon (1948) kuutiointitaulukoista.

Toinen mittaus

Metsiköt mitattiin 4—8, yleisimmin 5 vuoden kuluttua perustamismittauksesta ja taimikon harvennuksesta. Metsiköt 1, 2, 9 ja 10 mitattiin ja laskettiin periaatteessa samoin kuin perustamisvaiheessa. Koepuista mitattiin kuitenkin myös yläläpimitta. Muissa metsiköissä käytettiin Oikarisen (1978a) kuvaamaa otantamenetelmää. Sen mukaisesti kokeen perustamisvaiheessa rajattujen koealojen sisäpuolelle sijoitettiin 1—4 ympyräkoealaa symmetrisesti. Ympyräkoealojen säde ja lukumäärä vaihtelivat koealan suuruuden ja puuston tiheyden mukaan siten, että luettavia puita tuli vähintään 100, kun tiheys oli 1000 kpl/ha tai vähemmän, 120, kun tiheys oli 1000—2000 kpl/ha ja 150, kun tiheys oli yli 2000 kpl/ha. Kolmannes lukupuista oli koepuita. Koepuut mitattiin koealan keskelle sijoitetulta pikkuympyrältä. Lisäksi koealan kaksi paksuinta puuta oli aina koepuita. Otantamenetelmää on yksityiskohdin selostanut Yrjönen (1980).

Lukupuista mitattiin
- puulaji
- suunta koealan keskipisteestä (1/360°)
- etäisyys koealan keskipisteestä (cm)
- d säteen suunnassa (mm)

Koepuista mitattiin lisäksi
- $d_{3,5}$ tai d_6 säteen suunnassa (mm, vain kookaspuustoisimmilla kokeilla)
- pituus (dm)
- viiden viimeisen vuoden pituuskasvu (dm)
- ikä rinnantasalta (a)
- latvuskerros
- tekninen laatu
- terveydentila
- latvuksen muoto
- paksuimman elävän ja kuivan oksan läpimitta (mm)
- paksuimman elävän oksan korkeus maasta (dm)
- vihreän latvuksen alaraja (dm)

Osa metsiköistä mitattiin keskellä kasvukautta. Mittausvuoden läpimitan kasvun selvittämiseksi kairattiin eri harvennusasteiden vaippa-alueilta 40 puuta koko runkolukusarjan alueelta. Vajaan kasvukauden kasvun selitysmalliksi valittiin parabeli:

$$i_d = a_0 + a_1 d + a_2 d^2$$

Parametrit laskettiin kullekin metsikölle erikseen. Mittaustulokset muunnettiin mallia käyttäen keskeneräisen kasvukauden alkuun.

Koealojen puustotunnusten laskenta tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen peruslaskentaohjelmistolla (Heinonen 1981). Pituuskäyränä käytettiin Näslundin (1937) mallia. Parametrit ratkaistiin kullekin koealalle erikseen. Koepuiden tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) yhtälöillä. Yksikkötilavuusmallina käytettiin logaritmista yhtälöä (vrt. Laasasenaho 1976):

$$v = a_0 + a_1 d + a_2 \ln(2 + 1{,}25\, d)$$

Parametrit laskettiin kullekin koealalle erikseen.

Koealojen peruslaskentaohjelmisto mahdollistaa puustotunnusten monipuolisen käsittelyn. Tavanomaisten tunnusten lisäksi ohjelmistolla saadaan estimaatit mm. puuston järeys- ja puutavaralajijakaumalle. Taulukossa 2 on esitetty normaalien puustotunnusten minimit, maksimit ja keskiarvot metsiköittäin välimittausvaiheessa.

3. KASVUPAIKKOJEN BONITOINTI

31. Pituusbonitointi

Kasvupaikan boniteetilla tarkoitetaan sen puuntuotoskykyä. Suomessa kasvupaikat on perinteisesti luokiteltu pintakasvillisuuden mukaan eri metsätyyppeihin (Cajander 1909, 1949), joiden on katsottu kuvaavan riittävän hyvin kasvupaikan puuntuotoskykyä. Metsätyyppien ja puuntuotoskyvyn välisen yhteyden esitti Ilvessalo (1920). Ruotsissa on ollut käytössä Jonsonin (1914) esittelemä menetelmä, jossa kasvupaikat ryhmitellään iän ja keskipituuden, nyttemmin (Hägglund 1977) valtapituuden mukaan boniteettiluokkiin. Hägglund (1976) on kehittänyt myös taimikoille pituusbonitointimenetelmän, joka perustuu valtapuiden viiden vuoden pituuskasvuun alkaen 2,5 m:n yläpuolella olevasta oksakiehkurasta, metsikön maantieteelliseen sijaintiin ja maaperän ominaisuuksiin. On huomattava, että menetelmässä ei tarvita tietoa puuston iästä.

Suomessa on kehitetty kylvettyjen männiköiden (Vuokila ja Väliaho 1980) ja valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin (1951—53) aineistoon perustuva talousmetsien (Gustavsen 1980) pituusbonitointimenetelmä. Näistä ensiksi mainitussa on käytetty valtapituutta ja kokonaisikää ja jälkimmäisessä valtapituutta ja rinnankorkeusikää. Molemmat tutkimukset perustuvat aineistoihin, joissa nuoria metsiköitä on ollut vähän. Esitettyjä menetelmiä voidaan käyttää myös nuorissa metsiköissä, mutta tällöin on varauduttava huomattaviin virhemahdollisuuksiin. Näitä aiheuttavat etenkin iän määrittämisen epävarmuus luontaisesti syntyneissä metsiköissä ja virheet valtapituuden estimoinnissa.

Kun pääosa aineistosta on kylvömänniköitä, valittiin pituusbonitointiin Vuokilan ja Väliahon (1980) menetelmä. Näin saatiin myös mahdollisuus verrata kasvulukuja ja taimikoiden kehitystä em. tutkimuksen kehityssarjoihin.

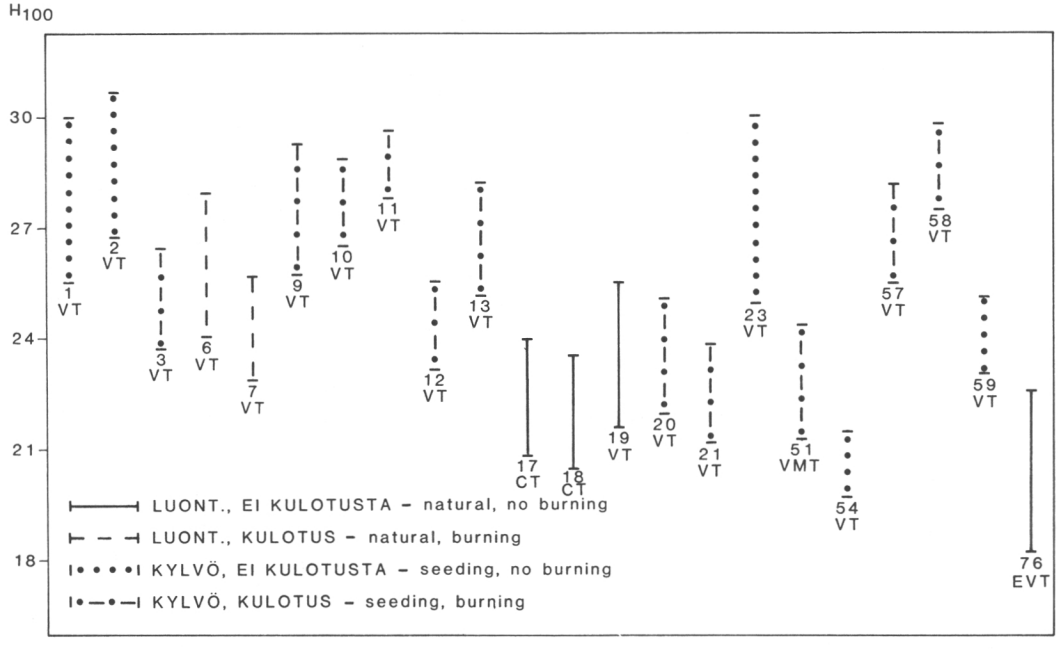
32. Kulotuksen vaikutus

Syntytavan lisäksi kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn luokittelua vaikeuttavat uudistusalan valmistamiseen liittyvät toimenpiteet ja niiden vaikutukset puuston kehitykseen (Sepponen 1978). Tämän tutkimuksen taimikoissa tärkein toimenpide on ollut kulotus, jota on käytetty 13 metsikössä. Kulotuksen vaikutuksia maaperän ja humuksen ominaisuuksiin ja kasvillisuuteen on Suomessa tutkinut erityisesti Viro (1969). Kulotus parantaa maaperän lämpöoloja ja antaa siemenelle hyvän kasvualustan. Maaperän happamuus vähenee ja typen saatavuus lisääntyy, vaikka typen kokonaismäärä vähentyykin. Samoin on laita monien muiden kasveille ja puille tärkeiden ravinteiden. Mineraalien määrä palautuu em. tutkimuksen mukaan ennalleen viimeistään 50 vuoden kuluttua kulotuksesta.

Kulotus vaikuttaa voimakkaasti myös pintakasvillisuuteen. Etenkin puolukkatyypillä kasvillisuuden muutokset ovat huomattavia. Kasvillisuus saa ”kuivemman” luonteen kuin mitä se olisi ilman kulotusta (Lehto 1969a, Kujala 1979). Arvioitaessa kulotetun alan metsätyyppiä ja etenkin kasvukykyä voidaan siten saada huomattavan virheellinen arvio, ellei tunneta metsätyypin kasvillisuuden sukkessiota. Pintakasvillisuus viittaa karumpaan suuntaan, vaikka kasvuolosuhteet ovat puille edullisemmat kuin vastaavalla kulottamattomalla alalla.

Siitä, kuinka pitkään kulotuksen edullinen vaikutus kestää, ei ole tutkimustuloksia. On kuitenkin odotettavissa, että vaikutus on pitkäaikainen, koska ravinteiden parempi saatavuus säilyy useita vuosikymmeniä (Viro 1969).

Ruotsissa Huss ja Sinko (1969) ovat vertailleet taimien kehitystä kulotetuilla ja kulottamattomilla aloilla. Kulotuksen edullinen vaikutus pituuskasvuun vähenee, kun viive kulotuksen ja uudistamisen välillä kasvaa. Väheneminen on sitä nopeampaa, mitä karumpi kasvupaikka on. Hyvällä mustikkatyypillä kulotuksella on edullinen vaikutus pituuskasvuun, vaikka kylvö tehtäisiin vasta viisi vuotta kulotuksen jälkeen. Kuivalla puolukkatyypillä kulotuksen vaikutus on aina kielteinen ohuen humuskerroksen liiallisen palamisen vuoksi (Huss ja Sinko 1969). Tämän tutkimuksen taimikoissa kylvö on tehty miltei poikkeuksetta heti kulotuksen jälkeen.



Kuva 2. Metsiköiden puuston pituusboniteetti-indeksit (minimi ja maksimi).
Fig. 2. Height index classes of the experimental stands (minimum and maximum).

33. Pituusboniteetti-indeksi ja kasvupaikan puuntuotoskyky

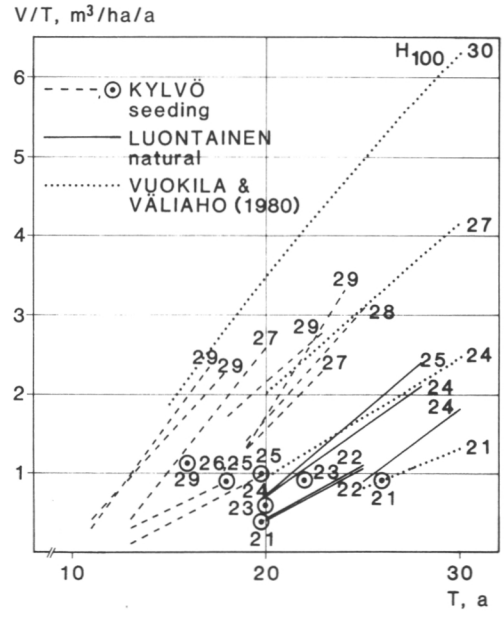
Huolimatta pituusbonitoinnissa ilmenevästä epävarmuudesta etenkin taimikkovaiheessa metsiköille laskettiin H_{100}-arvot Vuokilan ja Väliahon (1980) esittämällä funktiolla. Tällä haluttiin toisaalta ryhmitellä metsiköt keskenään homogeenisiin ryhmiin ja toisaalta tarkastella syntytavan ja kulotuksen vaikutusta pituusboniteetti-indeksiin ja samalla kasvupaikan puuntuotoskykyyn.

Kuvassa 2 on esitetty pituusboniteetti-indeksin vaihtelu metsiköittäin. Ne on myös eroteltu syntytavan ja maanpinnan valmistelun mukaan neljään ryhmään. Pituusboniteetti-indeksit ovat hyvin korkeita ottaen huomioon sen, että kasvupaikat on enimmäkseen luokiteltu puolukkatyypiksi. Sekä Vuokila ja Väliaho (1980) että Gustavsen (1980) määrittävät puolukkatyypin pituusboniteetti-indeksiluokkaan H_{100} = 24, heikomman osan luokkaan 21 ja kanervatyypin keskimäärin luokkaan 21. Suuri osa tämän tutkimuksen metsiköistä kuuluu luokkaan 27 tai 30, joiden pitäisi vastata mustikkatyyppiä tai jopa käenkaali-mustikkatyyppiä.

Korkeille pituusboniteetti-indekseille voidaan hakea erilaisia selityksiä. Pituusboniteettimallit ovat alkuvaiheessa kenties liian matalalla ja antavat jo keskinkertaisillakin lähtöarvoilla hyvän pituusboniteetti-indeksin. Koemetsiköt poikkeavat ehkä keskimääräisistä metsiköistä siten, että hyvän hoidon ansiosta alkukehitys on ollut tavallista nopeampaa. Kulotus on voinut parantaa kasvua, mikä näkyy suurena pituusboniteetti-indeksinä.

Kuvasta 2 voidaan analysoida syntytavan ja kulotuksen vaikutuksia pituusboniteetti-indeksiin. Luontaisesti syntyneiden puolukkatyypin koemetsiköiden indeksit ovat keskimäärin alhaisemmat kuin kylvettyjen. Ero selittynee kuitenkin osittain uudistustavan valintaperiaatteella: usein ”hyvä VT” uudistetaan kylväen ja ”huono VT” luontaisesti. Kulotetut metsiköt sijoittuvat pituusboniteetti-indeksillä mitaten kokeiden keskitasolle. Puolukkatyypin korkeimmat pituusboniteetti-indeksit ovat kulottamattomilla metsiköillä (metsiköt 1, 2 ja 23).

Syntytavan ja kulotuksen vaikutusten luotettava analysointi vaatisi rinnakkaisia laajamittaisia kokeita. Vertailemalla eri tavalla perustettuja yksittäisiä metsiköitä saadaan



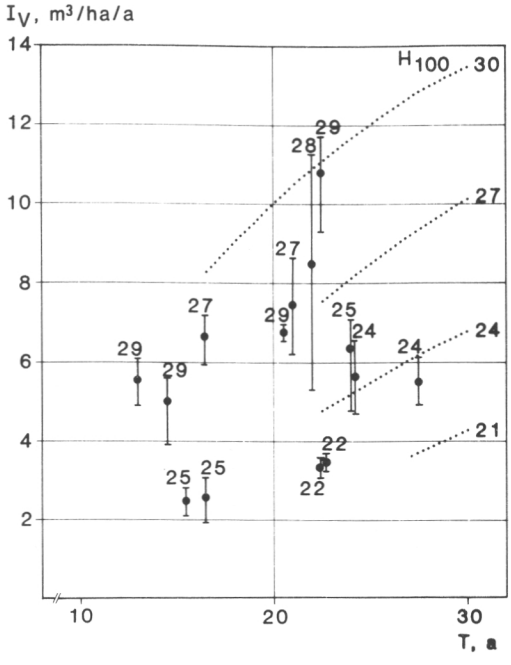
Kuva 3. Metsiköiden puuston keskimääräinen tilavuuskasvu iän suhteen.
Fig. 3. Mean growth of the experimental stands with respect to age.

vain suuntaa-antavia viitteitä näiden tekijöiden vaikutuksista pituusboniteetti-indeksiin.

Pituusboniteetti-indeksin ja tilavuuskasvun välistä yhteyttä on vertailtu kuvissa 3 ja 4. Kuviin on piirretty myös Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksen vastaavat kasvuluvut. Taimikkokokeista on käytetty niiden koealojen kasvulukuja, joissa runkoluku on ollut keskimääräinen eli:

H_{100}	N, kpl/ha
27—30	1600—2400
21—24	1400—2200

Kuvassa 3 on esitetty puuston keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu eri metsiköissä. Niistä metsiköistä, joista on sekä harvennusvaiheen että välimittausvaiheen puustotiedot, on piirretty janat harvennuksesta lähtien. Muista metsiköistä on piirretty ympyrä välimittausvaiheeseen. Pohjois-Suomen metsiköitä ei ole merkitty kuvaan. Kasvujanat ovat enimmäkseen yhdensuuntaisia Vuokilan ja Väliahon julkaisemien kasvulukujen kanssa. Ne yhtyvät myös varsin hyvin Vuokilan ja Väliahon vastaaviin kasvulukuihin. Korkeimpien pituusboniteetti-indeksien metsiköissä indeksi näyttäisi olevan keskimäärin hieman liian suuri tilavuuskasvuun verrattuna.



Kuva 4. Harvennuksen jälkeisen jakson keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu iän funktiona (minimi, maksimi ja keskiarvo, ·····, Vuokila & Väliaho 1980).

Fig. 4. Mean annual growth of the experimental stands after thinning with respect to age (minimum, maximum and average, ·····, Vuokila & Väliaho 1980).

Kuvassa 4 on esitetty harvennuksen jälkeisen jakson vuotuisen tilavuuskasvun minimi, maksimi ja keskiarvo niiden koealojen osalta, joissa runkoluku on ”normaali”. Kasvuluvut on asetettu mittausjakson puoliväliin. Myös näin mitaten kasvuluvut osuvat melko hyvin yksiin Vuokilan ja Väliahon (1980) kasvulukujen kanssa.

Edellä esitetyt vertailut osoittavat pituusboniteetti-indeksin ja tuotoskyvyn välisen yhteyden toimivan myös taimikoissa ja osuvan yksiin Vuokilan ja Väliahon julkaisun kasvulukujen kanssa. Sen sijaan metsätyypillä mitaten ja kasvulukujen perusteella puolukkatyypin kylvömänniköiden alkukehitys näyttää nopeammalta nykyiseen tietämykseen verrattuna.

Kestokokeita perustettaessa on vaarana, että koealat antavat liian hyvän kuvan metsikön koko kehityksestä (Oikarinen 1978). Koealojen määrä, yleensä yli kymmenen metsikköä kohden, takaa kuitenkin sen, että koealat edustavat koko metsikköä eivätkä vain sen parasta osaa. Oikarisen (mt.) tutkimuksessa metsikön hehtaarikohtainen kokonaistilavuus oli keskimäärin 12 % pienempi kuin edustavaan osaan metsikköä sijoitetun yhden kasvukoealan. Ero taimikkokokeiden yli kymmenen koealan ja metsikön keskimääräisten puustotunnusten välillä lienee siten huomattavasti pienempi kuin em. tutkimuksessa todettu 12 %.

34. Koemetsiköiden ryhmittely

Edellä esitetyn tarkastelun perusteella metsiköt ryhmiteltiin keskenään mahdollisimman homogeenisiin ryhmiin. Ryhmät muodostettiin siten, että metsiköt jaettiin keskimääräisen pituusboniteetti-indeksin mukaan luokkiin. Lisäksi metsiköt jaettiin taimikon harvennuksen ajankohdan mukaan kahteen luokkaan: alle 4 m:n ja yli 4 m:n valtapituusvaiheessa harvennetut. Näistä ensiksi mainitut edustavat metsänhoidollisesti hyväksyttävää taimikon harvennusta ja jälkimmäiset selvästi myöhästynyttä, riukumetsän harvennusta. Metsiköiden jakaantuminen ryhmiin on seuraavan asetelman mukainen:

Ryhmä *Group*	H_{100}	H_{dom_a}	Metsiköt *Stands*
1	27—30	<4 m	11, 13, 23, 57, 58
2		>4 m	1, 2, 9, 10
3	24	<4 m	3, 12, 20, 51, 59
4		>4 m	6, 7, 19
5	18—21	<4 m	21, 54
6		>4 m	17, 18, 76
7	12—15	≈4 m	77, 78, 79, 80

Ryhmät 1 ja 2 edustavat kylvettyjä, hyvän puolukkatyypin taimikoita, joiden alkukehitys kuitenkin vastaa mustikkatyypin, jopa käenkaali-mustikkatyypin taimikoiden kehitystä. Ryhmiin 3 ja 4 kuuluu sekä kylväen että luontaisesti syntyneitä puolukkatyypin taimikoita. Ryhmät 5 ja 6 sisältävät Etelä-Suomen kanervatyypin metsiköt, kaksi karun puolukkatyypin metsikköä ja yhden Pohjois-Suomen variksenmarja-puolukkatyypin metsikön. Ryhmä 7 sisältää Pohjois-Suomen kuivahkon kankaan (EMT) metsiköt, jotka on harvennettu 4—5 m:n valtapituusvaiheessa. Custavsenin (1980) mukaan EMT kuuluu pituusboniteetti-indeksiluokkaan 12—15.

4. HARVENNUKSEN VOIMAKKUUDEN JA AJANKOHDAN VAIKUTUS PUUSTON KEHITYKSEEN

41. Yleistä

Puustotunnusten kehityksen tarkastelussa ovat mukana ne 17 metsikköä, joiden puustot on mitattu sekä taimikon harvennusajankohtana että välimittausvaiheessa (taulukko 1). Ryhmään 5 eli taimikkovaiheessa harvennettuihin pituusboniteetti-indeksiltään luokkiin 18—21 kuuluvia metsiköitä ei tähän tarkasteluun osunut yhtään.

Koealojen kasvulukuina on yleensä käytetty mittausjakson keskimääräistä vuotuista kasvua. Mittausväli vaihteli neljästä kahdeksaan vuoteen ja oli yleisimmin viisi vuotta. Erilaiset mittausvälit ovat tarkastelun kannalta heikkous, sillä taimikkovaiheessa puusto kehittyy nopeasti ja reagoi voimakkaasti harvennukseen. Tällöin neljän vuoden keskimääräinen kasvu voi tasoltaan olla melko tavalla voimakkaampi kuin kahdeksan vuoden. Välimittausajankohdan ovat suureksi osaksi määränneet tutkimussuunnan taloudelliset ja työvoimaresurssit ja tarve keskittää mittaukset muutamiin vuosiin.

Kasvun ilmastolliset vaihtelut aiheuttavat kasvulukuihin lisävaihtelua. Läpimitan, pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvuluvut on korjattu mittausvälin vuosien kasvuindekseillä. Kasvuindekseinä on käytetty Timosen (1981) laskemia, toistaiseksi julkaisemattomia lukuja, jotka ovat 1970-luvulle seuraavat:

vuosi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
1970	93	83
1971	104	89
1972	110	103
1973	116	114
1974	111	106
1975	104	117
1976	86	116
1977	85	99
1978	90	95
1979	83	104
1980	108	109

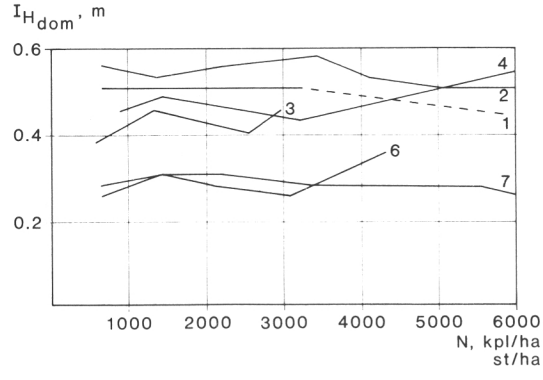
Kasvujakso sijoittuu suurimmaksi osaksi 1970-luvun loppupuolelle, joka etenkin Etelä-Suomessa on ollut huonon kasvun aikaa. Mittausvälin kasvuluvut ovat siten korjauksen tuloksena hieman suurentuneet.

Harvennuksen voimakkuuden ja ajankohdan vaikutusta puuston kehitykseen on analysoitu graafisesti vertaamalla ryhmien runkoluvun mukaan luokiteltujen keskiarvojen eroja.

42. Pituuskasvu

Kuvassa 5 on esitetty valtapituuden vuotuinen kasvu mittausjakson aikana runkoluvun funktiona. Pituuden kasvu on tämän aineiston mukaan laajalla tiheysalueella riippumaton harvennuksen voimakkuudesta. Runkoluvun ollessa alle 1000 kpl/ha valtapituuden kasvu näyttää taantuvan karuimmilla kasvupaikoilla. Parhailla kasvupaikoilla (ryhmät 1 ja 2) puiden pituuskasvu ei erittäin harvassakaan asennossa heikkene, vaan pikemminkin paranee.

Taimikon harvennuksen ajankohdalla ei näytä olevan vaikutusta pituuskasvuun. Pituuskasvun erilaisuus samoilla kasvupaikoilla ryhmien välillä (ryhmät 1 ja 2 sekä 3 ja 4) johtuu metsiköiden erilaisista kehitysvaiheista.



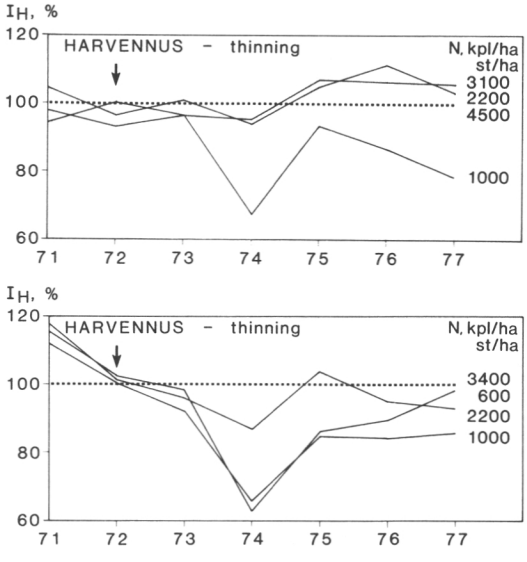
Kuva 5. Valtapituuden keskimääräinen vuotuinen kasvu harvennuksen jälkeen runkoluvun funktiona (numerot kuvassa tarkoittavat ryhmiä, s. 12).

Fig. 5. Mean annual increase in dominant height after thinning as a function of stem number (numbers in Figure mean groups, p. 12).

Pituuskasvu on siis laajassa mitassa riippumaton kasvatustiheydestä. Lönnrothin (1925, ks. Vuokila 1980, s. 74) käsitys, että puiden välinen kilpailu kiihdyttää pituuskasvua, ei tämän tutkimuksen mukaan ainakaan taimikoissa pidä paikkaansa. Tiheimmilläkin koealoilla valtapuiden pituuskasvu noudattaa normaalia kehitystä. Myös Parviaisen (1978) mukaan taimikko- ja riukumetsävaiheessa pituuskasvu on riippumaton kasvatustiheydestä ainakin, kun tiheys on yli 1000 kpl/ha. Vuokila (1972) on esittänyt kuitenkin useita tutkimuksia, joissa taimikon pituuskasvun on todettu kiihtyvän voimakkaan harvennuksen seurauksena etenkin karuilla kasvupaikoilla.

Vestjordet (1977) on todennut, että ylitiheiden taimikoiden harvennuksen jälkeinen pituuskasvu taantuu 2—3 seuraavana vuotena. Sen jälkeen seuraa voimakkaan pituuskasvun ajanjakso. Voimakas pituuskasvu johtuu Vestjordetin mukaan uusista neulasista, jotka pystyvät käyttämään täysin hyväkseen parantuneet valaistusolosuhteet, vähentyneen juuristokilpailun, paremman mikroilmaston ja tietyn asteisen, etenkin kuolleiden juurien aiheuttaman lannoitusvaikutuksen. Reaktio on kuusella voimakkaampi kuin männyllä.

Tämän tutkimuksen metsiköissä 9 ja 10 mitattiin vuotuiset pituuskasvut n. 15 koepuusta koealaa kohti. Pituuskasvut on esitetty kuvassa 6. Harventamattoman koealan koepuiden pituuskasvua on merkitty luvulla 100, ja harvennettujen koealojen pituuskasvuja on verrattu tähän arvoon. Vertailu tukee Vestjordetin esittämää tulosta. Toisena vuotena harvennuksen jälkeen on havaittavissa pituuskasvun taantuminen, joka on sitä suurempi, mitä voimakkaammin taimikkoa on harvennettu. Selvää pituuskasvun kiihtymistä alkuheikentymisen jälkeen ei voida havaita ja parhaimmillaankin lisäys on vain n. 10 %. Vestjordetin mukaan suurin pituuskasvun lisäys on odotettavissa vasta noin kahdeksan vuoden kuluttua harvennuksesta. Metsiköissä 9 ja 10 tarkastelujakso päättyy viidenteen vuoteen harvennuksen jälkeen, joten jonkinasteista pituuskasvun kiihtymistä voi olla vielä odotettavissa.



Kuva 6. Koepuiden vuotuinen pituuskasvu metsiköissä 9 ja 10.
Fig. 6. Annual height growth of sample trees in experimental stands 9 and 10.

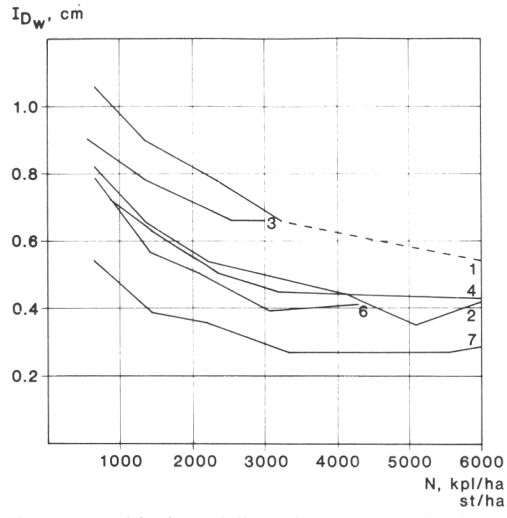
Edellä havaittu ilmiö vaikeuttaa Hägglundin (1976) taimikoille kehittämän pituusbonitointimenetelmän käyttöä harvennetuissa taimikoissa. Pituusboniteetti-indeksit voivat muodostua liian korkeiksi tilapäisestä pituuskasvun kiihtymisestä johtuen.

43. Läpimitan kasvu

Kuvassa 7 on esitetty pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan vuotuinen kasvu harvennuksen jälkeen runkoluvun funktiona. Läpimitan kasvu on sitä suurempi, mitä voimakkaammin taimikkoa on harvennettu. Ero on selvä kaikilla kasvupaikoilla, parhailla hieman suurempi kuin karuimmilla. Lievälläkin harvennuksella on myönteinen vaikutus läpimitan kasvuun.

Läpimitan kasvu on suurempi taimikkovaiheessa harvennetuissa (ryhmät 1 ja 3) kuin riukumetsävaiheessa harvennetuissa metsiköissä. Läpimitan kasvun kulminaatiopiste saavutetaan siis hyvin nuorella iällä. Tästä johtuen järeytymiskehitys on sitä nopeampaa, mitä aikaisemmin taimikko harvennetaan. Osan läpimitan kulminaation aikaisuudesta aiheuttaa mittauskorkeuden muutos latvalta tyvelle puun pituuden kasvaessa. Läpimitan kasvun maksimi on rungon yläosassa (Kilkki ja Varmola 1981).

Edellä esitetty läpimitan kasvun tarkastelu koskee pohjapinta-alalla painotettua keskiläpimittaa. Kun harvennuksessa poistetaan pieniläpimittaista puuta, nousee keskiläpimitta pelkän harvennuksen ansiosta sitä suu-



Kuva 7. Pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan keskimääräinen vuotuinen kasvu harvennuksen jälkeen runkoluvun funktiona (numerot kuvassa kuten kuvassa 5).

Fig. 7. Mean annual increase in mean diameter after thinning weighted by basal area expressed as a function of stem number (numbers in Figure as in Fig. 5).

remmaksi, mitä voimakkaammin taimikkoa on harvennettu ja mitä kookkaampia puita on jäänyt jäljelle. Suuri osa harvennuksen aiheuttamasta läpimitan kasvun voimistumisesta voidaankin selittää tällä siirtymällä.

Toisen tarkastelulähtökohdan antaa valtaläpimitta eli hehtaaria kohden sadan paksuimman puun läpimittojen keskiarvo. Voidaan olettaa, että harvennusasteesta riippumatta valtaläpimitta on ollut harvennuksen jälkeen kunkin metsikön kaikilla koealoilla keskimäärin sama. Harvennuksessa on tuskin kajottu valtapuihin, ja aiempi kehitys metsiköissä on ollut yhtenäinen. Erot valtaläpimitan kasvussa kertovat kookkaimpien puiden reagoinnista kasvutilan avartumiseen.

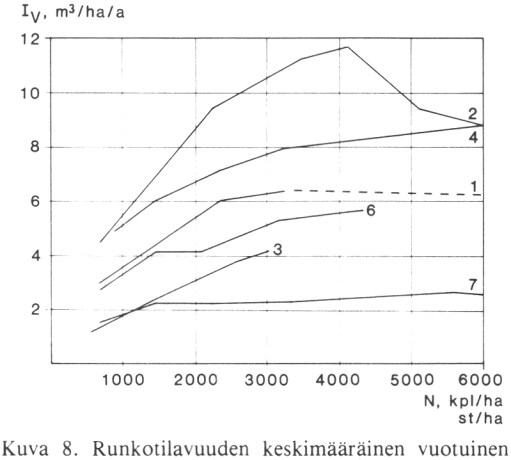
Metsiköistä ei perustamishetkellä laskettu valtaläpimittaa. Näin ollen voitiin tarkastella vain välimittaushetken valtaläpimittojen eroja. Harvennuksen voimakkuus vaikuttaa lievästi valtapuiden läpimittojen kasvuun. Ero tiheyksien 600 ja 4000 kpl/ha välillä on välimittausvaiheessa 0,5—1,0 cm eli n. 1 % vuodessa. Normaalitiheyksillä ero on huomattavasti pienempi. Tulos on yhdensuuntainen Parviaisen (1978) tutkimuksen kanssa, jonka mukaan valtapuiden paksuuskasvu lisääntyi vasta voimakkaimman puuston käsittelyn johdosta tilastollisesti merkitsevästi luonnontilaiseen puustoon verrattuna.

44. Runkotilavuuden kasvu

Kuvassa 8 on esitetty runkotilavuuden vuotuinen kasvu harvennuksen jälkeen runkoluvun funktiona. Tilavuuskasvu suurenee tiheyden lisääntyessä runkolukuun 4000 kpl/ha saakka. Jyrkimmin tiheyden lisääntyminen vaikuttaa parhaimpien kasvupaikkojen metsiköiden tilavuuskasvuun. Metsiköt ovat kiihtyvän tilavuuskasvun vaiheessa (vrt. kuva 4) ja näin ollen tilavuuskasvu on suurin riukuvaiheessa käsitellyissä metsiköissä. Pohjois-Suomen kokeissa (ryhmä 7) tilavuuskasvun lisääntyminen tiheyden lisääntyessä on erittäin vähäistä.

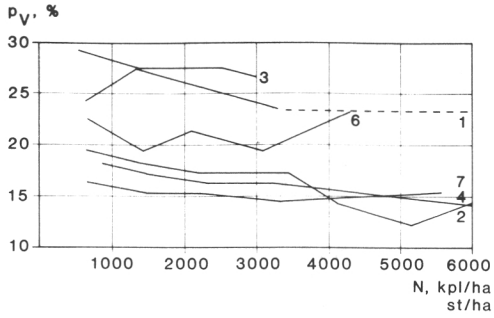
Taimikon harvennuksen jälkeisen pohjapinta-alan tai runkoluvun suhteen ei voida havaita kulminaatiopistettä, vaan tilavuuskasvu kasvaa jätettävän puuston lisääntyessä. Vuokila (1981) havaitsi ylitiheiden mäntynuoreikoiden ensiharvennuksen jälkeen kasvun maksimitason, kun runkotilavuus oli n. 110 m^3/ha. Tämän tutkimuksen kokeissa suurin runkotilavuus oli n. 60 m^3/ha, jolloin myös vuotuinen tilavuuskasvu oli suurin (15 m^3/ha/a). Tulos on samansuuntainen monien aikaisempien tutkimusten kanssa (Vuokila 1972).

Tilavuuskasvua voidaan tarkastella myös kasvuprosenttien avulla (kuva 9). Runkotilavuuden kasvuprosentti on metsikön iän mukaan aleneva tunnus. Niinpä taimikko- ja riukuvaiheessa kasvuprosentit ovat huomattavan suuria vaihdellen 10 ja 30 %:n välillä.



Kuva 8. Runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu harvennuksen jälkeen runkoluvun funktiona (numerot kuvassa kuten kuvassa 5).

Fig. 8. Mean annual increase in stem volume after thinning as a function of stem number (numbers in Figure as in Fig. 5).



Kuva 9. Runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvuprosentti harvennuksen jälkeen runkoluvun funktiona (numerot kuvassa kuten kuvassa 5).

Fig. 9. Mean annual growth percentage of stem volume after thinning as a function of stem number (numbers in Figure as in Fig. 5).

Runkoluvun kasvaessa tilavuuskasvuprosentti pienenee hieman, mutta ero on merkityksetön. Täten mitään tilavuuskasvun kulminaatiota lähtöpuuston lisääntyessä ei esiinny.

45. Järeytyminen

Tämän tutkimuksen metsiköt ovat vielä niin varhaisessa kehitysvaiheessa, ettei laskentatuloksista voida tehdä kovinkaan pitkälle meneviä johtopäätöksiä puuston järeytymisestä. Vasta ensiharvennusvaiheessa saadaan luotettavaa tietoa järeytymiskehityksestä. Kuitenkin jo tämänhetkiset tulokset antavat viitteitä tulevasta kehityksestä.

Kuvassa 10 on esitetty käyttöpuun suhteelliset osuudet runkotilavuudesta eri läpimittavaatimuksin pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan suhteen. Käyttöpuuksi on laskettu se osa rungosta, joka latvasta täyttää minimiläpimitan (5,5, 7,5 tai 9,5 cm kuoren päältä) ja josta saadaan vähintään 2 m:n pituinen pölkky. Kuvaan on piirretty myös kuitupuurunkojen lukumäärän suhteellinen osuus kokonaisrunkoluvusta. Kuitupuurungoksi on laskettu ne puut, joista on saatu vähintään yksi latvaläpimitaltaan 5,5 cm oleva 2 m:n mittainen pölkky.

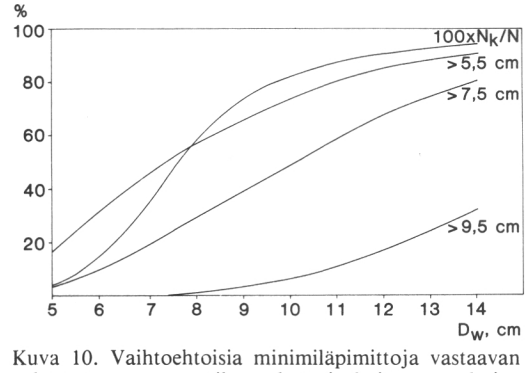
Käyttöpuun osuus runkotilavuudesta riippuu kiinteästi puuston keskiläpimitasta: hajonta läpimittaluokassa on vain n. 4 prosenttiyksikköä. Näin ollen pohjapinta-alalla painotetulla keskiläpimitalla voidaan luotettavasti selittää käyttöpuun osuutta.

Latvaläpimitaltaan yli 5,5 cm kuitupuun osuus kasvaa keskiläpimitan lisääntyessä aluksi jyrkästi, mutta osuuden kasvu loivenee metsikön saavutettua keskiläpimitan 12 cm. Latvaläpimitaltaan yli 7,5 cm olevan puun osuus kasvaa suoraviivaisesti ja nousee 80 %:iin, kun keskiläpimitta on 14 cm. Latvaläpimitaltaan yli 9,5 cm olevan puun osuus on tutkimusaineiston alueella koko ajan nouseva ja on 30 %, kun keskiläpimitta on 14 cm.

Kuitupuurunkojen osuus kokonaisrunkoluvusta ei riipu yhtä selvästi keskiläpimitasta kuin em. käyttöpuuosuudet, vaan hajonta on suurempi. Kuitupuurunkojen osuus kohoaa jyrkästi keskiläpimitta-alueella 6—9 cm, jolloin myös hajonta on suurin. Myös kuitupuurunkojen osuudella mitattuna keskiläpimittaa 12 cm voidaan pitää jonkinlaisena rajana. Sen jälkeen suurin osa (yli 90 %) puustosta täyttää kuitupuun mitat.

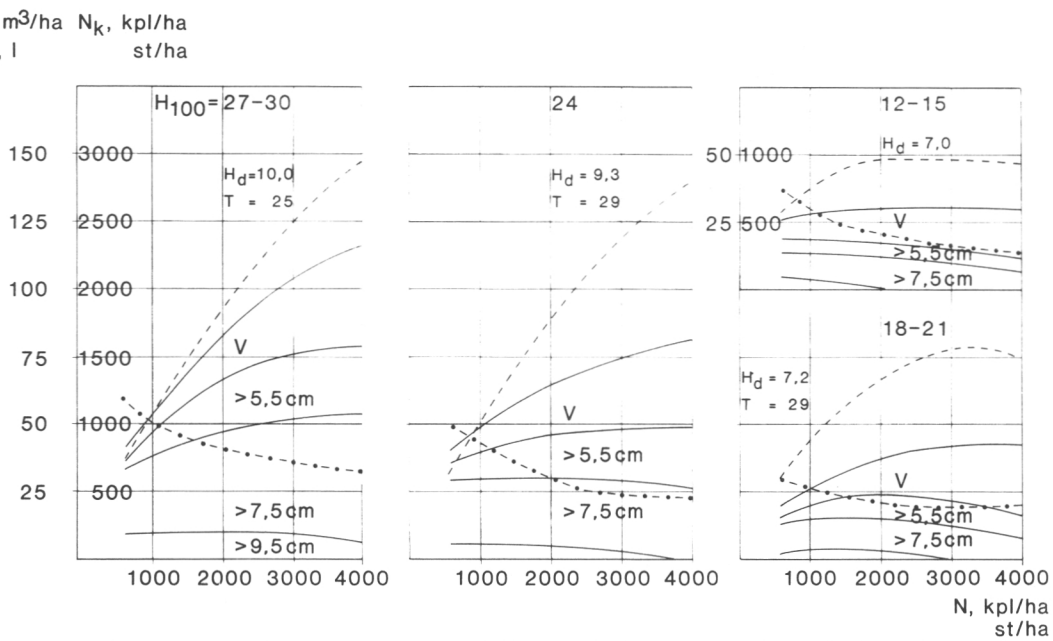
Enemmän kuin se, miten paljon suhteellisesti saadaan kasvatetuksi määrätyn suuruista puuta, metsänkasvattajaa kiinnostaa käyttöpuun absoluuttinen määrä. Kuvassa 11 on esitetty runkotilavuus ja käyttöpuun absoluuttinen määrä eri latvaläpimittavaatimuksin sekä kuitupuurunkojen lukumäärä ja kuitupuurungon keskikoko runkoluvun funktiona eri pituusboniteeteilla. Kuva esittää tilannetta keskimäärin viiden vuoden kuluttua taimikon harvennuksesta ja koskee vain riukumetsävaiheessa harvennettuja metsiköitä. Taimikkovaiheessa harvennettujen metsiköiden informaatioarvo käyttöpuun osalta on kuvan 11 metsiköitä huomattavasti pienempi.

Mitä parempi kasvupaikka on, sitä selvemmin metsikkö reagoi kasvutilan avartu-



Kuva 10. Vaihtoehtoisia minimiläpimittoja vastaavan käyttöpuun osuus tilavuudesta ja kuitupuurunkojen osuus kokonaisrunkoluvusta pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan funktiona.

Fig. 10. Relative proportion of marketable wood of total stem volume with different minimum top diameters and pulpwood stems of total stem number with respect to mean diameter weighted by the basal area.



Kuva 11. Runkotilavuuden ja käyttöpuun määrä sekä kuitupuurunkojen lukumäärä ja keskikoko runkoluvun funktiona eri pituusboniteetti-indeksiluokissa (N_k = - - - - - - -, $\bar{v}_k$ = •-•-•-•-•-).

Fig. 11. Amounts of stem volume and marketable wood and number and mean size of pulp wood stems with respect to stem number in different height index classes (N_k = - - - - - - -, $\bar{v}_k$ =-•-•-•-•-•).

miseen ja sitä enemmän käyttöpuuta tiheässäkin asennossa voidaan kasvattaa. Pituusboniteettiluokassa 18—21 käyttöpuun määrä (yli 5,5 cm) kääntyy laskuun jo runkoluvun ylittäessä 2000 kpl/ha. Jos minimiläpimittana pidetään 7,5 cm:ä, vain parhailla kasvupaikoilla on tiheämpi asento tähän mennessä tuottanut enemmän käyttöpuuta. Latvaläpimitaltaan yli 9,5 cm olevan käyttöpuun määrä on kasvupaikasta riippumatta sitä pienempi, mitä tiheämmässä metsikkö kasvaa.

Anderssonin (1971) tutkimuksessa aikaisessa vaiheessa harvennetun taimikon käyttöpuun tuotos 10 m:n valtapituusvaiheessa on suurin kokeen harvimmassa asennossa (1800 kpl/ha), jos rinnankorkeusläpimittarajana on 12,5 cm, ja tiheydellä 2500 kpl/ha, jos rajana on 10,5 cm. Parviaisen (1978) tutkimuksessa käyttöpuun määrä (d > 6,5 cm) on yleensä suurin luonnontilaisessa metsikössä, mutta järeän puun määrä (d > 14,5 cm) aina suurin harvimmassa asennossa (400—1000 kpl/ha). Vestjordetin (1977) tutkimuksessaan laatiman mallin mukaan valtapituusvaiheessa 10 m käyttöpuun (d > 7,5 cm) kokonaistilavuus on laajalla tiheysalueella (1500—4500 kpl/ha) sama.

Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat samaan suuntaan em. tutkimusten kanssa. Käyttöpuun määrä riippuu läpimittavaatimuksesta. Pieniläpimittaista puuta saadaan eniten tiheässä kasvatettaessa, mutta eniten järeää puuta saadaan harvassa asennossa. Yksityiskohtaista tietoa käyttöpuun määrästä saadaan vasta, kun metsiköt ovat varttuneet ensiharvennusvaiheeseen. On myös huomattava, että taimikkovaiheessa harvennettujen metsiköiden järeyskehitys tulee voimakkaasta läpimitan kasvusta johtuen olemaan erilainen kuin riukumetsävaiheessa harvennettujen metsiköiden.

Kuvaan 11 on piirretty myös kuitupuurunkojen lukumäärä ja keskikoko tiheyden funktiona. Riukuvaiheenkin harvennuksen jälkeen hyvillä ja keskinkertaisilla kasvupaikoilla lähes kaikki puut saadaan kasvatetuksi kuitupuurungoiksi vielä tiheydellä 2000 kpl/ha. Parhailla kasvupaikoilla vielä tiheydellä 4000 kpl/ha ainakin 3000 runkoa täyttää kuitupuurungon mitat.

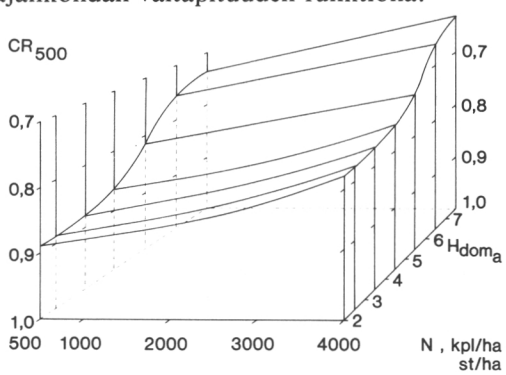
Ensiharvennuksessa tärkeä, harvennuksen kannattavuuteen vaikuttava kuitupuurungon keskikoko suurenee sitä jyrkemmin, mitä voimakkaammin taimikkoa on harvennettu. Reaktio on voimakas, kun otetaan huomioon, että harvennuksesta on kulunut vain n. viisi vuotta. Harvennushetkellä kuitupuurunkojen keskikoon voidaan olettaa olleen sama eri harvennusvoimakkuuksilla yhtenäisestä aiemmasta käsittelystä johtuen.

Toisaalta tiheissä metsiköissä kuitupuurungon keskikokoa pienentävät ne puut, jotka vasta äskettäin ovat saavuttaneet kuitupuun mitat. Harvimmissa asennoissa kaikki puut ovat jo kuiturunkoja, joten mitään siirtymää hukkapuurungoista ei enää ole. Samansuuntaisen tuloksen on saanut Parviainen (1978), joka toteaa myöhäisenkin harvennuksen merkitsevän järeyskehityksen nopeutumisen kautta huomattavaa puuntuotannollista etua.

46. Ulkoinen laatu

461. Latvussuhde

Osasta metsiköitä mitattiin koepuista vihreän latvuksen alaraja välimittausvaiheessa. Alarajana pidettiin alinta vihreää oksaa, jollei se ollut vähintään kahden kuolleen kiehkuran erottama yhtenäisestä latvuksesta. Latvussuhteen (latvuksen pituuden suhde puun koko pituuteen) tarkastelussa rajoituttiin 500 paksuimpaan puuhun hehtaarilla. Näiden puiden latvussuhteiden keskiarvoa kullakin koealalla pidettiin havaintoyksikkönä. Tarkastelu haluttiin siten keskittää puuston arvokkaimpaan osaan. Lisäksi voidaan olettaa, että 500 paksuimman puun latvussuhde on ollut metsikön kaikilla koealoilla harvennushetkellä sama ja että mahdolliset erot ovat syntyneet harvennuksen jälkeen. Kuvassa 12 on esitetty latvussuhde keskimäärin viiden vuoden kuluttua harvennuksesta metsikön runkoluvun ja harvennuksen ajankohdan valtapituuden funktiona.



Kuva 12. Latvussuhde runkoluvun ja harvennusajankohdan valtapituuden funktiona (500 paksuinta puuta/ha).

Fig. 12. Crown ratio with respect to stem number and dominant height at thinning stage (500 thickest trees/ha).

Harvennuksen voimakkuus vaikuttaa latvussuhteeseen taimikon kaikissa kehitysvaiheissa. Ero äärimmäisten tiheyksien välillä on n. 10 prosenttiyksikköä. Ero on syntynyt siis noin viidessä vuodessa ja todennäköisesti siten, että harvimmissa asennoissa vihreän latvuksen lyhentymistä ei ole tapahtunut lainkaan.

Vihreän latvuksen pienenemisessä näyttää olevan puun laadun kannalta myönteinen taitekohta valtapituusvaiheessa 5—6 m. Harvennettaessa vasta tässä vaiheessa latvusten pieneneminen on jo päässyt latvuston sulkeutumisen myötä sellaiseen vauhtiin, että sillä on teknisen laadun kannalta myönteistä merkitystä.

462. Oksikkuus

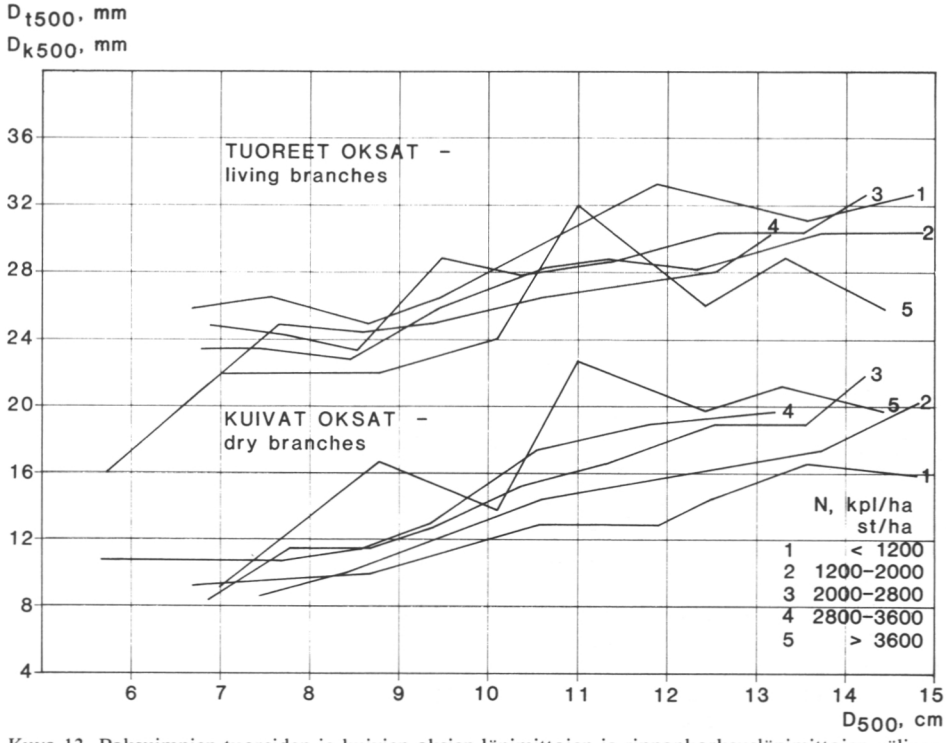
4621. Paksuimmat tuoreet oksat

Paksuimman elävän oksan tarkastelu rajoitettiin kuten latvussuhteenkin 500 paksuimpaan puuhun hehtaarilla. Oksatunnukset laskettiin näiden puiden keskiarvoina, ja havaintoyksikkönä oli siten koeala. Oksien paksuus mitattiin 3 cm:n päästä rungosta.

Kuvan 13 yläosassa on esitetty oksa- ja rinnankorkeusläpimittojen keskiarvojen välinen riippuvuus eri harvennusvoimakkuuksilla. Keskiarvot edustavat tilannetta keskimäärin viisi vuotta harvennuksen jälkeen.

Yksittäisillä puilla paksuimman oksan läpimitta riippuu suoraviivaisesti puun rinnankorkeusläpimitasta (Uusvaara 1974, Varmola 1980). Metsiköittäin riippuvuus on loivasti käyräviivainen. Tämä johtuu siitä, että vanhimmissa metsiköissä harvennus on tehty niin myöhään, että oksat ovat olleet suhteellisen ohuita jo ennen harvennusta.

Harvennuksen voimakkuuden vaikutus on selvä: mitä voimakkaammin harvennetaan, sitä paksummiksi oksat kasvavat. Ääritapaukset (alle 1200 ja yli 3600 kpl/ha) erottuvat selvästi keskimääräisistä tiheyksistä, joiden välillä oksien paksuuksien ero ei ole kovinkaan suuri (n. 2 mm). Oksien paksuuksien tarkastelussa tulee ottaa huomioon kasvutilan avartumisen vaikutus myös puiden paksuuskasvuun. Viiden vuoden kuluttua harvennuksesta valtapuut ovat harvimmassa asennossa jo n. 2 cm paksumpia kuin tiheimmissä. Tämä aiheuttaa lisäeroja oksan paksuuksiin harvennusasteiden välillä.



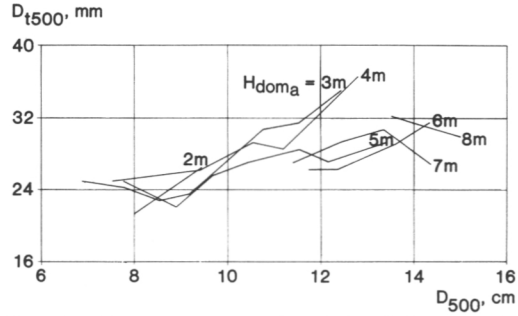
Kuva 13. Paksuimpien tuoreiden ja kuivien oksien läpimittojen ja rinnankorkeusläpimittojen välinen riippuvuus harvennusasteittain (500 paksuinta puuta/ha).

Fig. 13. Dependence between breast height diameter and diameter of thickest living and dry branch with different thinning intensities (500 thickest trees/ha).

Metsiköittäin oksan paksuuksien hajonta vaihteli 4 mm:stä 8 mm:iin. Hajonta lisääntyi puiden koon kasvaessa. Miltei poikkeuksetta metsikössä oli puita, joiden paksuimman tuoreen oksan läpimitta oli yli 40 mm. Toisaalta 500 paksuimman puun joukossa oli aina myös ohutoksaisia, joissa paksuimman tuoreen oksan läpimitta oli alle 20 mm. Nämä puut olivat tavallisesti myös kooltaan pienimpiä.

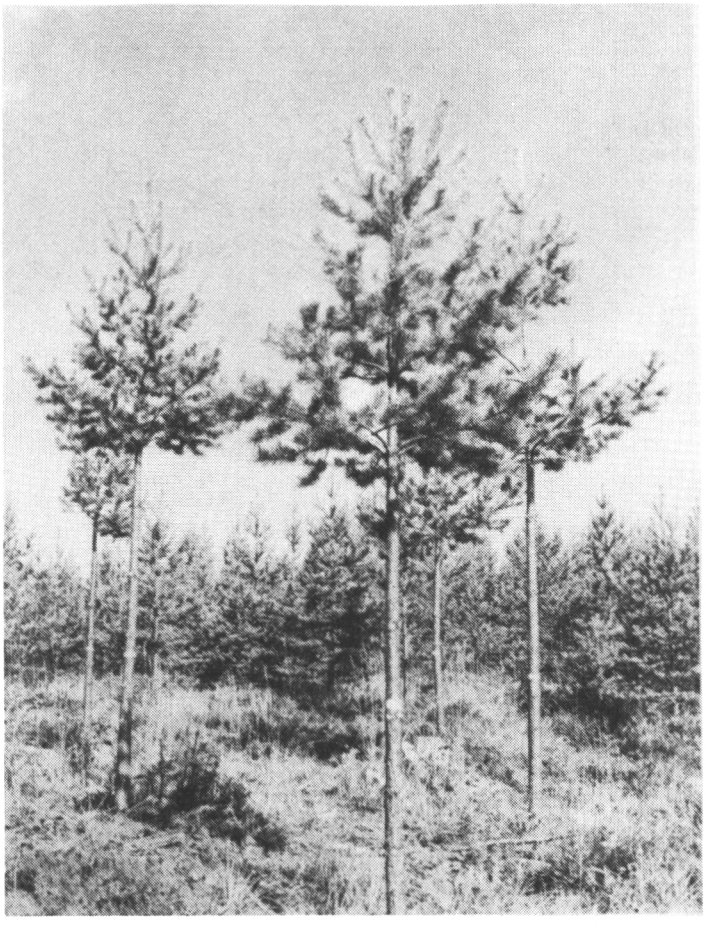
Aineistosta pyrittiin analysoimaan myös harvennusajankohdan, syntytavan ja kasvupaikan vaikutusta oksien paksuuden kehittymiseen. Selvin vaikutus oli harvennuksen ajankohdalla (kuva 14). Mitä aikaisemmin taimikko harvennetaan, sitä paksummiksi oksat kehittyvät. Laadun kannalta optimina voidaan pitää valtapituusvaihetta 5—6 m, jota myöhemmin tapahtuva harventaminen ei enää vaikuta merkitsevästi paksuimman oksan läpimittaan, joka on n. 30 mm. Kun myös latvussuhteen pieneneminen nopeutuu selvästi 5—6 m:n valtapituusvaiheessa, voidaan olettaa, ettei oksien paksuuntuminen näin myöhän harventamisen jälkeen ole enää kovinkaan suurta.

Syntytavalla ei näytä olevan selvää vaikutusta oksikkuuteen. Tarkastelua tosin vaikeuttaa se, että niistä metsiköistä, joista oksatunnukset on mitattu, kylvetyt kuuluvat taimikkovaiheessa ja luontaisesti syntyneet enimmäkseen riukuvaiheessa harvennettuihin. Yhteisellä läpimitta-alueella oksien paksuudet eivät eroa merkittävästi toisistaan



Kuva 14. Paksuimpien tuoreiden oksien läpimittojen ja rinnankorkeusläpimittojen välinen riippuvuus harvennuksen ajankohdan valtapituusluokissa (500 paksuinta puuta/ha).

Fig. 14. Dependence between breast height diameter and diameter of thickest living branch with different dominant height classes at thinning (500 thickest trees/ha).



Kuva 15. Erittäin harvassa asennossa puiden pystykarsinta on välttämätön, jotta tekninen laatu muodostuisi hyväksi. Metsikkö 23, 600 kpl/ha. Valok. S. Hannelius.
Fig. 15. In very low density pruning is necessary, if good quality is wanted. Experimental stand 23, 600 stems/ha. Photo S. Hannelius.

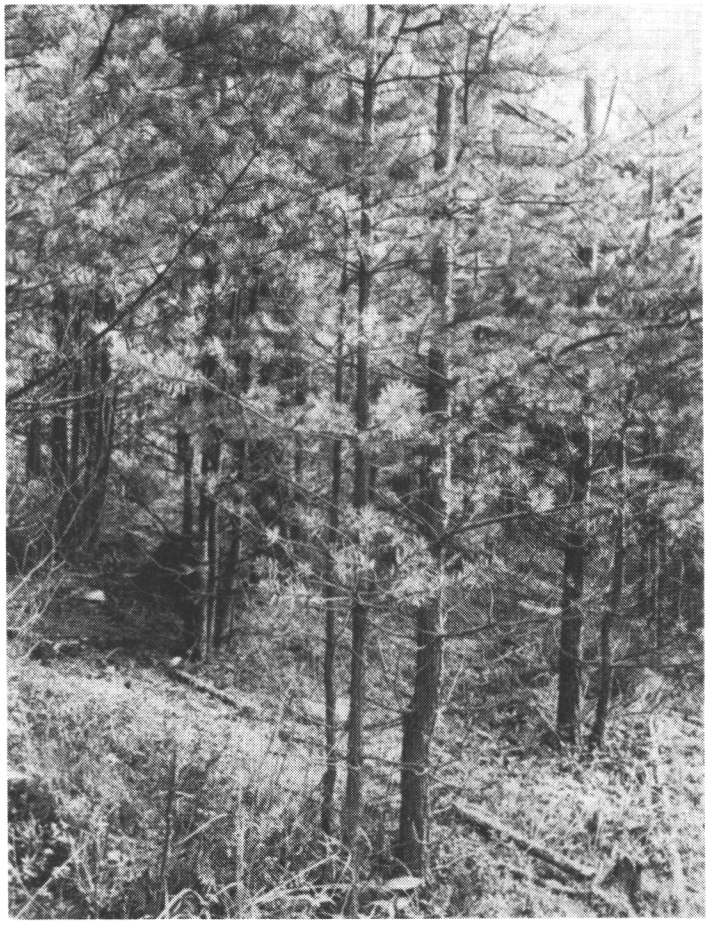
syntytavaltaan erilaisissa metsiköissä. Kun riukuvaiheessa harvennetut metsiköt ovat luontaisesti syntyneitä, voidaan sanoa, että laadun kannalta edullisimmissakin olosuhteissa peruspuiden paksuimman oksan läpimitta on n. 30 mm.

4622. Paksuimmat kuivat oksat

Taimikon harvennusvaiheessa puiden vihreä latvus on pitkä, 80—90 % puun pituudesta. Harvennuksen ajankohdasta ja voimakkuudesta riippuen vihreä latvus pienenee ajan mittaan eri nopeuksilla (kuva 12). Metsiköiden uudismittaushetkellä vihreä latvus ulottui vielä pitkälle tulevan tyvitukin alueelle, joten oksien kuoleminen tällä vyöhykkeellä oli vielä kesken. Kuivat oksat eivät siten kuvaa sitä tilannetta, joka tulevaisuudessa vallitsee puun tyviosalla, vaan mittaushetken tilannetta, joka on suuresti riippuvainen puuston ja etenkin latvuston kehitysvaiheesta.

Kuvan 13 alaosassa on esitetty paksuimman kuivan oksan ja rinnankorkeusläpimitan välinen riippuvuus harvennusasteittain viiden vuoden kuluttua taimikon harvennuksesta. Havaintoyksikkönä on ollut kunkin koealan 500 paksuimman puun keskiarvo. Paksuimmat kuivat oksat ovat tiheimmissä asennoissa. Tämä on seurausta vihreän latvuksen pienenemisestä. Latvuksessa paksuin tuore oksa sijaitsee latvuksen alaosassa (Varmola 1980, Kellomäki ja Tuimala 1981). Näin ollen latvuksen pieneneminen tuottaa uusia, entistä paksumpia kuivia oksia, mikä näkyy tässä vaiheessa juuri tiheimmissä asennoissa.

Syntytavalla ja kasvupaikalla ei tässä vaiheessa näytä olevan vaikutusta kuivien oksien paksuuteen. Johtopäätösten teko on kuitenkin syytä jättää myöhempään ajankohtaan, jolloin oksisto kokonaisuudessaan



Kuva 16. Kylvötuppaiden oksisto heikkenee ja oksat jäävät ohuiksi. Järeytyminen on hidasta. Koe 23, 12 800 kpl/ha. Valok. S. Hannelius (500 paksuinta puuta/ha).
Fig. 16. Branches and stems in sowing clumps are thin. Experimental stand 23, 12 800 stems/ha. Photo S. Hannelius.

on kuollut tyvitukin alueella. Tällöin saadaan varmuus myös harvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutuksista oksien paksuuteen. Kuivat oksat ovat vielä huomattavasti tuoreita oksia ohuempia. Ero on noin 14 mm.

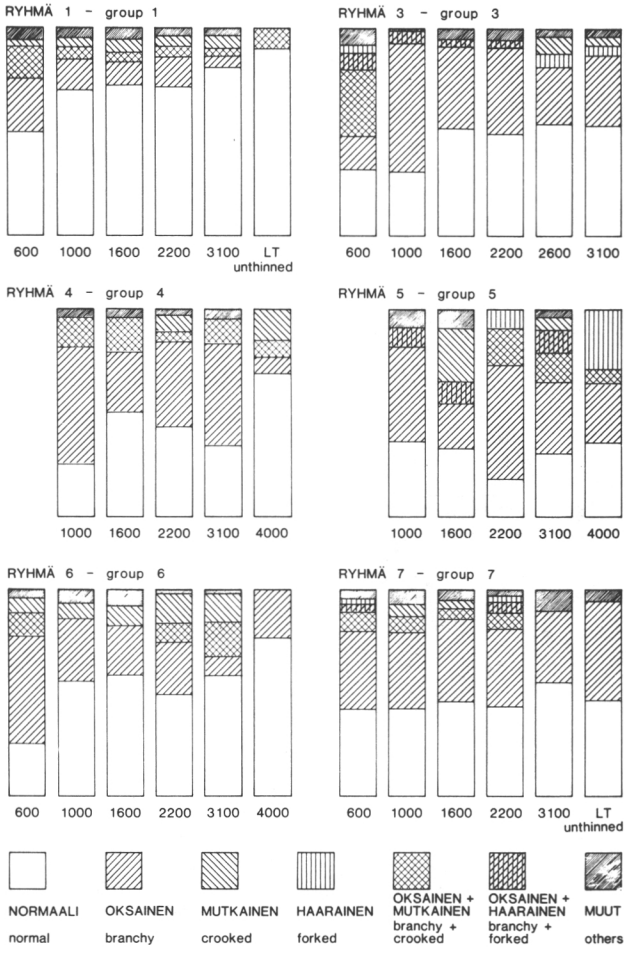
4623. Oksien sijainti

Paksuimman tuoreen oksan sijainti laskettiin kuten oksien läpimitatkin 500 paksuimman puun keskiarvona. Paksuin tuore oksa sijaitsee 30—60 %:n korkeudella tyveltä lähtien. Sijainti on suhteellisesti sitä korkeampi, mitä myöhemmin taimikko on harvennettu. Harvennuksen voimakkuus vaikuttaa vain vähän oksan suhteelliseen sijaintiin. Kun latvussuhde tiheyden kasvaessa pienenee, sijaitsevat paksuimmat oksat tiheissä metsiköissä lähempänä vihreän latvuksen alarajaa kuin harvoissa metsiköissä. Kellomäen ja Tuimalan (1981) mukaan paksuin oksa latvuksessa sijaitsee tiheässä metsikössä ylempänä kuin harvassa metsikössä. Syynä tulosten ristiriitaisuuteen saattaa olla tarkastelujoukkojen erilaisuus. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu vain 500 paksuinta puuta eri tiheyksillä. Kellomäen ja Tuimalan tutkimuksessa tarkastelujoukkona ovat olleet metsikön kaikki puut.

463. Rungon tekninen laatu ja terveydentila

Tekninen laatu määritettiin silmävaraisesti luokittelemalla. Luokat olivat:

— normaali
— oksainen
— mutkainen
— haarainen
— oksainen ja mutkainen
— oksainen ja haarainen
— mutkainen ja haarainen
— oksainen, mutkainen ja haarainen
— runko katkennut (elävä)



Kuva 17. Tekninen laatu eri harvennusvoimakkuuksilla (500 paksuinta puuta/ha).

Fig. 17. Technical quality obtained with different thinning intensities (500 thickest trees/ha).

Harvennuksen voimakkuudessa erotettiin 9 luokkaa, joista 6 yleisintä kussakin ryhmässä (s. 12) otettiin analyysiin. Myös rungon teknisen laadun tarkastelu koskee vain 500 paksuinta puuta hehtaarilla. Luokitteluasteikkoa käytettäessä on vaarana tulosten subjektiivisuus. Koska eri metsiköissä on ollut eri luokittelijoita, tulokset ovat vertailukelpoisia lähinnä ryhmien sisällä, eivät niiden välillä.

Kuvassa 17 on esitetty tekninen laatu harvennusasteittain ja eri ryhmissä. Normaaleiksi luokiteltujen puiden osuus lisääntyy yleensä metsikön tiheyden kasvaessa. Piirre on selvin ryhmissä 1 ja 6 ja heikoin ryhmissä 5 ja 7. Normaalien puiden osuus vaihtelee 20—90 %:n välillä. Normaalien puiden osuus on voimakkaasti luokittelija- ja näin ollen ryhmäkohtainen.

Yleisin vikaisuus on oksaisuus ja se lisääntyy harvennuksen voimistuessa. Oksaisuus yhdistyy useimmiten mutkaisuuteen. Mutkaisuutta esiintyy melko tasaisesti kaikissa harvennusasteissa. Haaraisuutta esiintyy epäsäännöllisesti tai se on niin vähäistä, että se on luettu luokkaan ”muut”. Haaraisuuskin liittyy useimmiten oksaisuuteen.

Vaikka ryhmien välisessä vertailussa onkin heikkouksia, huomiota voidaan kiinnittää ryhmän 1 suureen normaalien puiden osuuteen. Ryhmä 1 edustaa hyvän kasvupaikan taimikkovaiheessa harvennettuja metsiköitä. Kun tämän ryhmän metsiköiden luokittelijoita on ollut kolme, ei tulos voine olla seurausta luokittelun subjektiivisuudesta. Tulos tukee käsitystä, että hyvän kasvupaikan männyntaimikot eivät välttämättä ole huonolaatuisia (Varmola 1980). On tosin todettava, että luokitus kuvaa tilannetta vasta noin viisi vuotta harvennuksen jälkeen.

Terveydentila arvioitiin kaikista puista. Kuolleisuus oli vähäistä ja käsitti yleensä vain yksittäisiä puita. Huomattavaa lumenmurtojen aiheuttamaa kuolleisuutta esiintyi luonnontilaan jätetyillä koealoilla niissä metsiköissä, joissa valtapituus oli jo n. 10 m. Harvennuksen voimakkuus ei käsitellyillä koealoilla näyttänyt vaikuttavan kuolleisuuteen. Kuivalatvaisuutta esiintyi kokeilla 17 ja 18 harvimmissa asennoissa. Kuivalatvaisuuden aiheuttajaksi todettiin punalatikka (*Aradus cinnamomeus*).

Taimikkoa harvennettaessa on otettava huomioon hyönteistuhojen vaara. Ytimennävertäjistä suurempi, pystynävertäjä (*Tomicus piniperda*) iskeytyy myös taimikoihin. Jos männyntaimikossa harvennetaan tyviläpimitaltaan yli 7 cm paksuja puita, ytimennävertäjä löytää tyvikaarnasta lisääntymisalustan (Andersson 1961, Vuokila 1980). Turvallinen harvennuksen ajankohta on toukokuun lopulta heinäkuun puoliväliin, jolloin harvennettaessa kaadetut puut ehtivät kuivua riittävästi ennen talven tuloa ja seuraavaa kesää, eivätkä siten muodosta parveiluaikana lisääntymisalustaa ytimennävertäjälle. Tämän tutkimuksen metsiköissä ei havaittu ytimennävertäjän tuhoja.

5. TAIMIKKO- JA RIUKUVAIHEEN MÄNNIKÖIDEN IÄN MUKAINEN KEHITYS

51. Yleistä

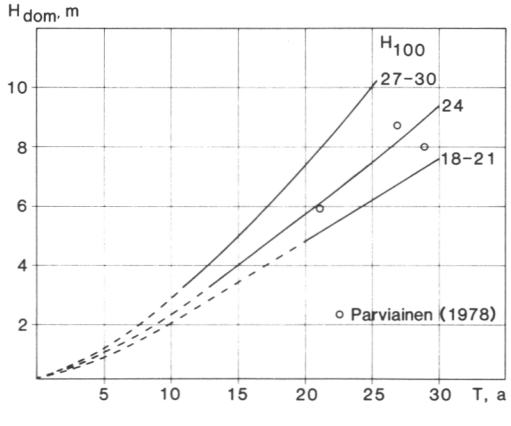
Suomessa on tutkittu runsaasti sekä luontaisesti syntyneiden (Lehto 1956, Lehto 1969b, Hänninen ym. 1972) että viljeltyjen (Yli-Vakkuri ym. 1969, Leikola ym. 1977, Rautiainen ja Räsänen 1980) taimikoiden varhaiskehitystä. Tarkastelu on keskittynyt uudistamisen onnistumisen seurantaan. Puustotunnuksista on lähinnä käsitelty pituuden kehitystä eri metsätyypeillä.

Tuotostaulukoiden kehityssarjat alkavat vasta 5—7 m:n valtapituusvaiheesta (Koivisto 1959, Vuokila ja Väliaho 1980). Tuotossarjoissa on lisäksi jouduttu metsiköiden alkukehitys perustamaan osaksi puutteellisiinkin aineistoihin. Seuraavassa esitetään tämän tutkimuksen aineistosta graafisesti tasoittamalla laadittu puustotunnusten kehittyminen taimikko- ja riukumetsävaiheessa harvennuksen jälkeisenä viisivuotiskautena.

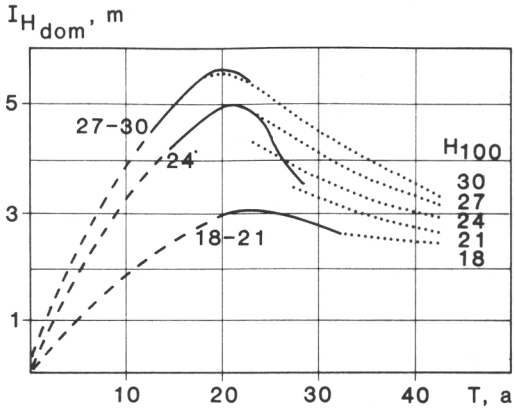
52. Valtapituuden kehitys

Valtapituuden kehityksen on todettu olevan likimain riippumaton metsikön tiheydestä. Näin ollen pituuskehitystä ennustettaessa voidaan käyttää hyväksi kaikkien koealojen antama informaatio puustopääomatasosta riippumatta. Kuvassa 18 on esitetty metsiköiden valtapituuden kehitys iän funktiona eri pituusboniteettiluokissa. Kuva tuo selvennystä taimikoiden alkukehitykseen. Yhteisellä alueella valtapituuskäyrät yhtyvät Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksen valtapituusarvoihin. Vaikka metsiköiden valtapituuden kehitys on tässä vaiheessa nopeaa, ja pituusboniteettiarvot korkeita, tulevaisuuden kehitys on varmasti hitaampaa kuin Vuokilan ja Väliahon sarjoissa. Kun kulotuksen edulliset vaikutukset häviävät, kasvu laantuu.

VT:n luontaisesti syntyneiden metsiköiden valtapituuskehitys seuraa suunnilleen pituusboniteettia H_{100} = 24 ja kylvettyjen pituusboniteettia H_{100} = 27—30. CT:n metsiköt noudattelevat pituusboniteettia 18—21.



Kuva 18. Valtapituuden kehitys pituusboniteetti-indeksiluokittain iän funktiona.
Fig. 18. Development of dominant height in different height index classes as a function of age.



Kuva 19. Vuotuinen valtapituuden kasvu iän funktiona (·····, Vuokila & Väliaho 1980).

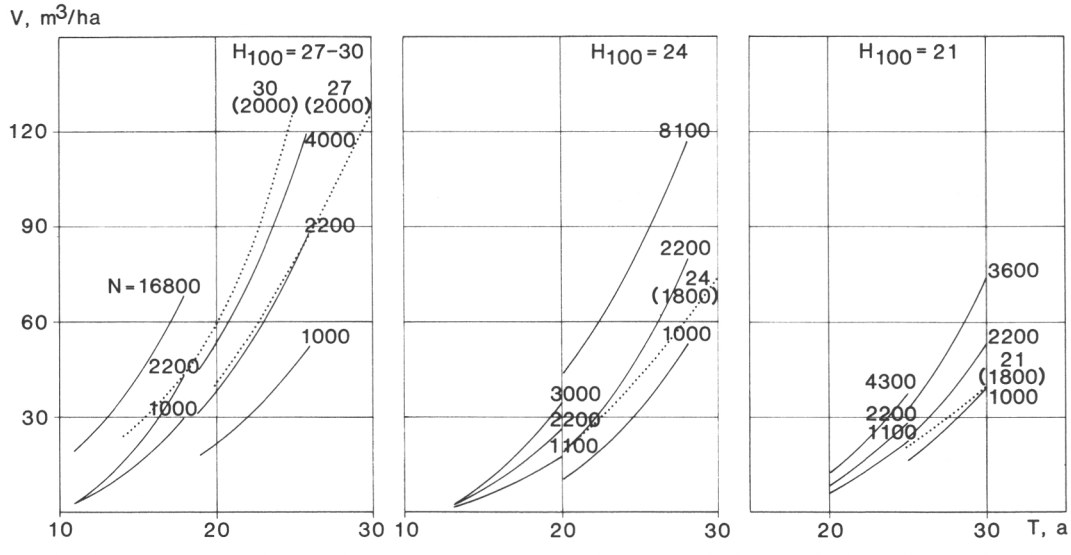
Fig. 19. Increase in annual dominant height as a function of age (·····, Vuokila & Väliaho 1980).

Metsätyypeittäin valtapituuden kehitystä voitiin verrata muutamiin aiempiin tutkimuksiin. Kuvaan piirretyt Parviaisen (1978) tutkimuksen luontaisesti syntyneiden VT-metsiköiden valtapituusarvot käyvät hyvin yksiin tämän tutkimuksen metsiköiden kanssa. Kallion (1961) tilapäiskoealoihin perustuvassa tutkimuksessa Etelä-Suomen kylvömänniköiden valtapituus oli MT:llä keskimäärin 8,0 m 20 vuoden iällä ja 13,0 m 30 vuoden iällä. VT:llä vastaavat luvut olivat 6,4 ja 10,9 m. Metsäpalon jälkeen puolukkatyypille kylvettyjen taimikoiden valtapituudet 20 vuoden iällä vaihtelivat Kolehmaisen (1957) esittelemällä alueella 5,5 m:stä 8,0 m:iin. Tämän tutkimuksen puolukkatyypin kylvömänniköiden valtapituusarvot ovat Kallion (mt.) tutkimuksen mustikkatyypin ja puolukkatyypin arvojen välissä.

Taimikkovaiheessa harvennetut puustot ovat kiihtyvän pituuskasvun vaiheessa, kun taas riukuvaiheessa harvennetut ovat enimmäkseen kasvun kulminaation alueella. Kuvassa 19 on esitetty vuotuisen valtapituuden kasvun kehitys iän funktiona. Kuvaan on lisätty Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksen valtapituuden kasvuluvut. Yhtenäinen viiva kuvaa aineiston antamia tuloksia ja katkoviiva ekstrapolointia syntyhetkeen. Pituuskasvu näyttää kulminaatiopisteen alueella olevan jonkin verran suurempi kuin Vuokilan ja Väliahon tutkimuksen aineistossa, samoin kasvun kulminaatio on jyrkempi. Huippukasvu osuu siis hyvin kapealle ikäalueelle. Kulminaatio on sitä jyrkempi ja aikaisempi, mitä parempi kasvupaikka on.

53. Runkotilavuuden kehitys

Kuvassa 20 on esitetty runkotilavuuden kehitys eri pituusboniteettiluokissa iän suhteen keskimäärin viiden vuoden aikana har-



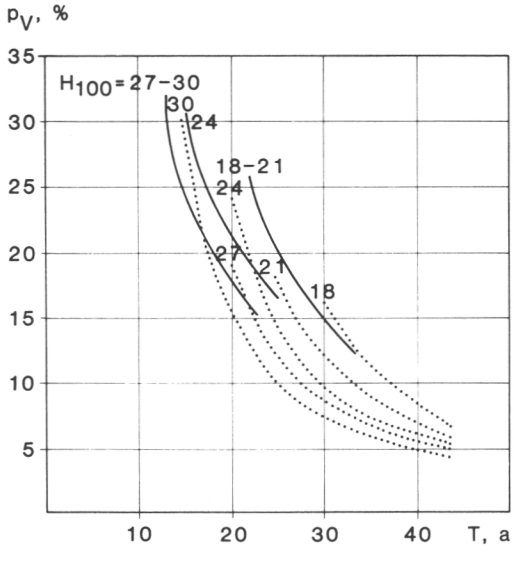
Kuva 20. Runkotilavuuden kehitys iän funktiona harvennuksen jälkeen eri lähtöpuustoilla (·····, Vuokila & Väliaho 1980).

Fig. 20. Development of stem volume as a function of age after thinning on different stockings (·····, Vuokila & Väliaho 1980).

vennuksen jälkeen. Kuhunkin pituusboniteettiluokkaan on otettu kaksi esimerkkimetsikköä, joista toinen edustaa taimikko- ja toinen riukumetsävaiheen harvennusta.

Taimikon voimakas harventaminen aiheuttaa kasvutappion. Harvennuksen johdosta erot kokonaistilavuuksien välillä lisääntyvät. Aikainen harvennus saa toisaalta aikaan huomattavan tilavuuden lisäyksen. Kun taimikko harvennetaan ennen valtapituusvaihetta 4 m, puuston tilavuus on riukumetsävaiheessa esim. tiheydellä 1000 kpl/ha jo yhtä suuri, kuin jos taimikko harvennettaisiin vasta 6—7 m:n valtapituusvaiheessa asentoon 2000 kpl/ha. Lisäksi puusto on keskimäärin huomattavasti järeämpää.

Kuvaan 20 on piirretty myös Vuokilan ja Väliahon tutkimuksesta runkotilavuuden kehitys. Etenkin huonommilla boniteeteilla taimikoiden kehitys on ripeämpää kuin em. tutkimuksessa. Taimikkovaiheessa harvennettujen metsiköiden kehitys asettuu jonkin verran em. tutkimuksen tilavuuslukujen yläpuolelle. On huomattava, että Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa runkotilavuuden kehitys vastaa keskimääräistä ja tässä tutkimuksessa runkotilavuuden kehitys vain noin viiden mittaista ajanjaksoa erikseen taimikko- ja riukumetsävaiheessa harvennetuissa metsiköissä.



Kuva 21. Runkotilavuuden kasvuprosentti pituusboniteeteittain iän funktiona (·····, Vuokila & Väliaho 1980).

Fig. 21. Growth percentage of stem volume as a function of age (·····, Vuokila & Väliaho 1980).

Runkotilavuuden kehitystä voidaan tarkastella myös kasvuprosenttien avulla. Kuvassa 21 on esitetty taimikoiden kasvuprosentit iän funktiona eri pituusboniteettiluokissa. Kuvaan on piirretty kasvuprosentit myös Vuokilan ja Väliahon tutkimuksesta. Kasvuprosentti on jokseenkin riippumaton kasvatustiheydestä (kuva 9). Sen sijaan iän mukaan se on ensin voimakkaasti ja myöhemmin loivasti aleneva. Kuvassa on havaittavissa jonkinasteinen kasvuprosenttien ristikkäisyys Vuokilan ja Väliahon tutkimuksen lukujen kanssa siten, että vanhimmissa taimikoissa kasvuprosentit ovat säännönmukaisesti suuremmat kuin em. tutkimuksessa. Kasvuprosenttien ristikkäisyys johtunee ainakin osaksi taimikoiden harvennuksen jälkeisestä positiivisesta kasvureaktiosta.

54. Pohjapinta-alan kehitys

Harvennustarve määritetään useimmiten metsikön pohjapinta-alan ja valtapituuden avulla. Ensiharvennuksessa jäävä puusto voidaan määrittää pohjapinta-alan asemesta runkoluvun avulla. Vaikka tämän tutkimuksen metsiköt eivät vielä olekaan ensiharvennusvaiheessa, on syytä tarkastella lyhyesti pohjapinta-alan kehitystä.

Koska pohjapinta-ala riippuu metsikön tiheydestä, tarkastelu rajoitettiin normaaleihin kasvatustiheyksiin eli 2200 ja 1600 runkoon/ha. Metsiköiden pohjapinta-alan kehitys valtapituuden suhteen noudattelee Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksen kehityslinjoja taimikkovaiheessa harvennettujen osalta. Sen sijaan riukumetsävaiheessa harvennettujen metsiköiden pohjapinta-alan kehitys on jäänyt jälkeen em. tutkimuksen kehityssarjoista. Tämä johtuu taimikoiden kasvamisesta pitkään tiheässä asennossa, jolloin järeytyminen on ollut hidasta ja pohjapinta-ala on jäänyt pieneksi. Harvennuksen jälkeen riukumetsät ovat saavuttaneet em. tutkimuksen pohjapinta-alalukemia.

6. TARKASTELU

Tämän tutkimuksen puolukkatyypin männyntaimikoiden alkukehitys on ollut nopeaa. Pituuskehityksensä puolesta suuri osa puolukkatyypiksi luokitelluista metsiköistä sijoittuu pituusboniteetti-indeksiluokkiin (H_{100}) 27 ja 30, joiden katsotaan vastaavan mustikka- ja käenkaali-mustikkatyyppiä. Kun myös tilavuuden kasvuluvut vastaavat mainittujen boniteettien metsiköiden kasvulukuja (Vuokila ja Väliaho 1980), tutkittujen puolukkatyypin männiköiden alkukehitys on ollut nykyistä tietämystä nopeampaa. Pohjois-Suomen kokeet edustavat kuivahkoa kangasta (variksenmarja-mustikkatyyppi), joka Gustavsenin (1980) mukaan vastaa pituusboniteetteja 12—15.

Puolet kokeista on perustettu kulotetulle maalle. Kulotus, jonka on todettu parantavan maan ominaisuuksia (Viro 1969), lienee pääsyy puiden nopeaan alkukehitykseen (ks. myös Huss ja Sinko 1969). Kulotuksen vaikutuksen kestoajasta tutkimus ei anna tietoa. Kun maan ominaisuudet palautuvat ennalleen viimeistään 50 vuoden kuluttua kulotuksesta (Viro 1969), on oletettavaa, että myös puuston kehitys vastaavasti taantuu.

Kylvötaimikoiden pituusboniteetti-indeksit ovat keskimäärin korkeampia kuin luontaisesti syntyneiden taimikoiden. Tämä ei välttämättä todista kylvömännikön kasvun paremmuutta, vaan ero voi johtua uudistamisen valintaperiaatteesta: »hyvä VT» uudistetaan kylväen ja »huono VT» luontaisesti.

Valtapuiden pituuskasvu on tämän tutkimuksen mukaan riippumaton harvennuksen voimakkuudesta. Pituuskasvun suuruuden määräävät kasvupaikan hyvyys ja metsikön ikä. Vuotuisen pituuskasvun kulminaatiopiste on n. 20 vuoden iällä.

Harvennuksen vaikutuksesta puusto järeytyy ja keskiläpimitta lisääntyy. Keskiläpimitan kasvu johtuu suurimmaksi osaksi alaharvennuksen aiheuttamasta »hyppäyksestä» toiselle tasolle. Kuitenkin kasvutilan avartumisella on myös todellista vaikutusta puiden läpimitan kasvuun. Tämä näkyy valtapuiden läpimitan kasvun lievänä kiihtymisenä harvennusasteen voimistuessa.

Taimikoissa runkotilavuuden kasvu on sitä suurempi, mitä korkeampi puustopääomataso on. Tiheydellä 1000 kpl/ha vuotuinen kasvu on keskimäärin 4 m^3/ha, tiheydellä 3000 kpl/ha 6,5 m^3/ha. Tiheässä asennossa kasvu keskittyy kuitenkin pieniläpimittaisiin puihin. Harventamalla taimikko kasvu keskitetään niihin puihin, joista tulevaisuudessa saadaan hakkuutuloja. Järeyskehitys on sitä edullisempi, mitä aikaisemmin taimikko harvennetaan.

Kasvatustiheyden optimi riippuu paitsi kasvupaikasta myös siitä, mikä on läpimittavaatimus harvennuspuulle. Käyttöpuun latvaläpimittavaatimuksen ollessa 5,5 cm parhailla kasvupaikoilla käyttöpuun absoluuttinen määrä lisääntyy runkoluvun lisääntyessä aina tiheydelle 4000 kpl/ha. Pituusboniteettiluokissa 18—21 käyttöpuun määrä kääntyy laskuun runkoluvun ylittäessä 2000 kpl/ha. Jos latvaläpimittavaatimus on 9,5 cm, tuottaa harvin asento (noin 1000 kpl/ha) eniten käyttöpuuta.

Käyttöpuun osalta tulokset koskevat vain riukuvaiheessa harvennettuja metsiköitä. Lisäksi tulokset muuttuvat kenties jonkin verran metsiköiden saavuttaessa ensiharvennusvaiheen ja pienien puiden saavuttaessa käyttöpuun mitat. Taimikkovaiheessa harvennettujen metsiköiden kehitys on samansuuntaista, mutta nopeammasta järeytymisestä johtuen käyttöpuun osuus on suurempi riukuvaiheessa harvennettuihin metsiköihin verrattuna.

Laatunäkökohtien huomioon ottaminen korostaa myöhäistä harvennusta. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan 5—6 m:n valtapituusvaiheen jälkeen ylitiheydestä ei ole enää sanottavaa hyötyä. Peruspuuston paksuimmat tuoreet oksat tulevat kuitenkin noin 30 mm:n paksuisiksi edullisimmassakin tapauksessa, ts. käytettäessä luontaista uudistamista, lievää harvennusta noin 4000 runkoon hehtaarilla taimikkovaiheessa ja normaalia harvennusta riukumetsävaiheessa.

Nykyisten taimikon harvennusohjeiden mukaan jäävä runkoluku on kasvupaikasta

riippuen 1500—2000 kpl/ha ja harvennuksen ajankohta 1—4 m:n pituusvaiheessa. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan ohjeet ovat jokseenkin oikeat. Näyttäisi kuitenkin siltä, että hyvällä VT:llä taimikko voidaan kasvattaa nykyohjeita tiheämpänä järeyskehityksen kärsimättä.

Jos kylvö- tai luonnontaimikkoa hoidetaan pyrkien laadullisesti korkeatasoiseen metsikköön, harvennus on tehtävä vasta riukumetsävaiheessa. Eräs mahdollisuus on tällöin käsitellä metsikkö lievästi taimikkovaiheessa ja suorittaa toinen harvennus riukumetsävaiheessa, jolloin harvennus voi olla melko voimakaskin puiden laadun huonontumatta.

KIRJALLISUUS

ANDERSSON, S-O. 1952. Några synpunkter på röjning i naturliga föryngringar. Medd. från Statens skogsforskningsinst. Serien uppsats. 25:1—10.

— 1961. Om märgborrefaran vid röjningar. Statens skogsforskningsinst. Uppsats. 84:1—6.

— 1968. Röj för mer virke. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsföryngr. Skogshögsk. 13:1—4.

— 1971. Yield of merchantable wood in Swedish experiments with cleaning in young stands of Scots pine. IUFROn XV kongressin esitelmämoniste.

— 1975. Röjning i tall- och granskog. Skogsfakta från Skogshögsk. 4:1—4.

CAJANDER, A.K. 1909. Über Waldtypen. Acta For. Fenn. 1.1:1—175.

— 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56:1—69.

CARBONNIER, C. 1964. Aktuella synpunkter på föryngringsfrågorna speciellt med tanke på förbandets inflytande på kvantitets- och kvalitetsproduktionen. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 6:1—15.

Etelä-Suomen metsien käsittelyohjeet. 1981. Tapio, Tiedote 3/1981:1—20.

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

HARI, P., KELLOMÄKI, S., MÄKELÄ, A., ILONEN, P., KANNINEN, M., KORPILAHTI, E. & NYGRÉN, M. 1982. Metsikön varhaiskehityksen dynamiikka. Summary: Dynamics of early development of tree stand. Acta For. Fenn. 177:1—42.

HEINONEN, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Konekirjoite. Metsäntutkimuslaitos. 1—38.

HEISKANEN, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relation between the development of the early stage and the thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80.2:1—62.

HUSS, E. & SINKO, M. 1969. Effekt av hyggebränning. Summary: The effect of controlled burning. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsföryngr. Skogshögsk. 17:386—424.

HÄGGLUND, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 39:1—66.

— 1977. Ett system för bonitering av skogsmark — introduktion. Summary: A system of methods for assessing site quality in forestry — introduction. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5:409—416.

HÄNNINEN, T., RÄSÄNEN, P.K. & YLI-VAKKURI, P. 1972. Männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen antamista tuloksista Etelä-Suomen kangasmailla. Helsingin yliop. metsänhoitotiet. lait. tiedonant. 7:1—96.

ILVESSALO, Y. 1920. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. Acta For. Fenn. 15:1—157.

— 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Tapio. 1—148.

JAKKILA, J. & POHTILA, E. 1978. Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa. Summary: Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland. Folia For. 360:1—27.

JONSON, T. 1914. Om bonitering av skogsmark. Svenska Skogsv.föreningens. Tidskr. 12:369—392.

KALELA, A. 1961. Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatischen paralleltypen. Arch. Soc. Vanamo 16: suppl.: 65—83.

KALLIO, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the stucture and development of pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta For. Fenn. 71.3:1—78.

KELLOMÄKI, S. & TUIMALA, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. Folia For. 478:1—27.

KILKKI, P. & VARMOLA, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovelluksia. Acta For. Fenn. 174:1—60.

KOIVISTO, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51.8:1—49.

KOLEHMAINEN, V.A. 1957. Vehkatallinmaa. Summary: Vehkatallinmaa a successful reforestation area. Silva Fenn. 90.4:1—18.

KUJALA, V. 1979. Suomen metsätyypit. Abstract: Forest types of Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 92.8:1—45.

LAASASENAHO, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. Konekirjoite. Helsingin yliop. metsänarvioimistiet. lait. 1—89.

— 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Commun. Inst. For. Fenn. 108 (painossa).

LEHTO, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction of

Scots pine on the upland soils of southern Finland. Acta. For. Fenn. 66.2:1—106.
— 1969a. Käytännön metsätyypit. Kirjayhtymä, Helsinki. 1—98.
— 1969b. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of seed tree and shelterwood methods. Commun. Inst. For. Fenn. 67.4:1—140.
LEIKOLA, M., METSÄMUURONEN, M., RÄSÄNEN, P.K. & TAIMISTO, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975. Folia For. 312:1—27.
LÖNNROTH, E. 1925. Über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände basiert auf Material aus der südhälfte Finnlands. Acta For. Fenn. 30.1:1—269.
NÄSLUND, M. 1937. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Zusammenfassung: Die Durchforstungsversuche der Forstlichen Versuchsanstalt Swedens in Kiefernwald. Medd. Statens Skogsförsöksanst. 22(1):1—169.
Ohjekirje metsien käsittelystä Etelä-Suomen piirikunnassa. 1981. Metsähallitus. 1—18.
OIKARINEN, M. 1978a. Taimistokokeiden mittausohjeet. Konekirjoite. Metsäntutkimuslaitos. 1—4.
— 1978b. Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoealojen edustavuus. Summary: Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots. Folia For. 350:1—15.
PARVIAINEN, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia For. 346:1—40.
— 1979. Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys. Summary: Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations. Folia For. 386:1—20.
PERSSON, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 45:1—152.
POHTILA, E. & TIMONEN, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. Folia For. 453:1—18.
RAUTIAINEN, O. & RÄSÄNEN, P.K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo 1968—1976. Folia For. 426:1—24.
SEPPONEN, P. 1978. Eräitä Cajanderin metsätyyppiteorian sovellutusongelmia Pohjois-Suomessa. Metsä ja Puu 6—7:12—15.
SIRÉN, G. 1956. Männyn taimiston käsittelystä. Summary: The treatment of pine seedling stands. Metsätal. Aikakausl. 1:5—12.
TIMONEN, M. 1981. Ilmasto jarruttaa tai vauhdittaa metsän kasvua. Metsä ja Puu 9:4—6.
UUSITALO, M. (toim.) 1981. Metsätilastollinen vuosikirja 1980. Yearbook of forest statistics 1980. Official Statistics of Finland XVII A:12. Folia For. 460:1—205.
UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80.2: 1—105.
VARMOLA, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia For. 451:1—21.
VESTJORDET, E. 1959. Avstandsregulering. Litteraturoversikt og noen forelöbige resultater av norske forsök. Referat: Läuterungen in naturlichen Kiefern- und Fichtendickungen. Norsk Skogbr. 67:59—82.
— 1971. Avstandsregulering på foryngelsesfelter. Norsk Skogbr. 17:152—153.
— 1977. Avstandsregulering av unge furu- og granbestand: I: Materiale, stabilitet, dimensjonfordeling, m.v. Summary: Precommercial thinning of young stands of Scots pine and Norway spruce: I: Data, stability, dimension distribution, etc. Norsk Inst. Skogsforskn. 33.9:314—436.
VIRO, P. 1969. Prescribed burning in forestry. Commun. Inst. For. Fenn. 67.7:1—49.
VUOKILA, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia For. 141:1—36.
— 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 1—256.
— & VÄLIAHO, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 99.2:1—271.
YLI-VAKKURI, P., RÄSÄNEN, P.K. & SOLIN, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliop. metsänhoitot. lait. tiedonant. 2:1—92.
YRJÖNEN, K. 1980. Otantamenetelmän ja otoksen koon vaikutus taimistokokeiden mittauksen luotettavuuteen. Konekirjoite. Helsingin yliop. metsänarv. tiet. lait. 1—30.

SUMMARY

The results of thinnings carried out in Scots pine stands at the sapling and pole stages during an average period of five years are presented in the study. The material was obtained from 26 thinning experiments containing 296 sample plots (Fig. 1 and Appendix 1). 16 of the experimental stands have been established through seeding and 10 have regenerated naturally. Most of the stands (18) are growing on sites of the *Vaccinium* site type (VT), (Cajander 1949). The stands have been divided into 7 groups on the basis of site index (H_{100}) and thinning stage (dominant height over 4 m or below 4 m).

The early development of the pine sapling stands growing on the VT sites has been fast. According to their height development, a large proportion of the experimental stands growing on sites classified as VT (H_{100} = 24 m) belong to height index classes (H_{100}) 27 and 30, which are usually considered to be index values for *Myrtillus* (MT) and *Oxalis-Myrtillus* (OMT) site types. As the volume growth figures also correspond to the levels for stands of the above-mentioned site indices (Figs. 3 and 4), the early development of the VT pine stands has been faster than earlier believed. The experimental stands in North Finland represent dryish upland forest sites (*Empetrum-Myrtillus* site type) which, according to Gustavsen (1980), are equivalent to height index classes 12—15.

Half of the experimental stands (13) have been established on burnt-over land. Prescribed burning, which has been found to improve the properties of the soil, may be the main reason for the fast early development of the saplings. The results of the study do not, however, give any information about the duration of the effect of burning. Since the soil properties return in time to their original state, it can be assumed that the development of the stands will also level off.

Young seeded stands are placed higher up in the height index scale than naturally-regenerated ones (Fig. 2). This does not necessarily mean that the growth of seeded pine stands is superior, but rather that the differences may be caused by the selection principle of regeneration: a ''good VT'' is regenerated by seeding and a ''poor VT'' naturally.

According to the results of this study, the height growth of the dominant trees is independent of the thinning intensity (Fig. 5). The productivity of the site and the stand age determine the magnitude of height growth. Annual height growth culminates at the age of about 20 years (Fig. 19).

Thinning has the effect of increasing the mean diameter (Fig. 7). Most of the increase in mean diameter is brought about by thinning from below. However, the increase in the growing space available to the trees also has a real effect on the diameter growth of the trees. This can be seen as a slight increase in the growth of the dominant trees as the thinning intensity increases.

The stem volume growth in the sapling stands is the greater, the higher is the growing stock level (Fig. 8). The annual growth at a density of 1000 stems/ha is on the average 4 m^3/ha/yr, and at a density of 3000 stems/ha, 6,5 m^3/ha/yr. With dense stocking, however, growth is concentrated in the small-diameter trees. Thinning concentrates the growth of the sapling stand in those trees which will provide an income from cutting in the future. The earlier the sapling stands are thinned, the greater the amount of marketable wood produced.

As well as depending on the growing site, the optimum growing density is also dependent on the minimum diameter requirements of the thinned trees. With a minimum top diameter of 5,5 cm on the best sites, the absolute amount of marketable wood increases as the stem number is increased up to the density of 4000 stems/ha. The amount of marketable wood in height index classes 18—21 starts to decrease as the stem number exceeds 2000 stems/ha. If the minimum top diameter is 9,5 cm, the lowest stocking level (about 1000 stems/ha) produces the greatest amount of marketable wood (Fig. 11)

The results for marketable wood are only applicable to stands thinned at the pole stage. In addition, the results will perhaps also change to some extent as the stands reach the first thinning stage and the smallest trees reach marketable size. The development of stands thinned at the sapling stage follows the same trend, but owing to the faster rate at which they reach marketable size, the proportion of marketable wood will become greater in comparison to stands thinned at the pole stage.

Late thinning is better if the quality is concerned. According to the results of the study, high density after the 5—6 m dominant height stage has passed is no longer worthwhile. The thickest living branches of the dominant trees reach, however, a thickness of about 30 mm even in the best cases, i.e. in the case of naturally regenerated stands lightly thinned to about 4000 stems/ha at the sapling stage and normally thinned at the pole stage.

According to present-day thinning recommendations for sapling stands, the number of stems to be left is, depending on the site type, 1500—2000 stems/ha and thinning should be carried out when the saplings are 1—4 m high. The results show that the existing recommendations are to some extent correct. It would appear, however, that a sapling stand growing on the good VT could be grown at a higher stocking density without any danger of the size development deteriorating.

If seeded or naturally-regenerated sapling stands are managed with the aim of developing them into high quality stands, then they should not be thinned until the pole stage is reached. One possibility is to thin the stand lightly at the sapling stage and to carry out the second thinning in the pole stage when rather heavy thinning can be done without lowering the quality.

Liite 1. Tutkimusaineiston yleistiedot.
Appendix 1. General information of material.

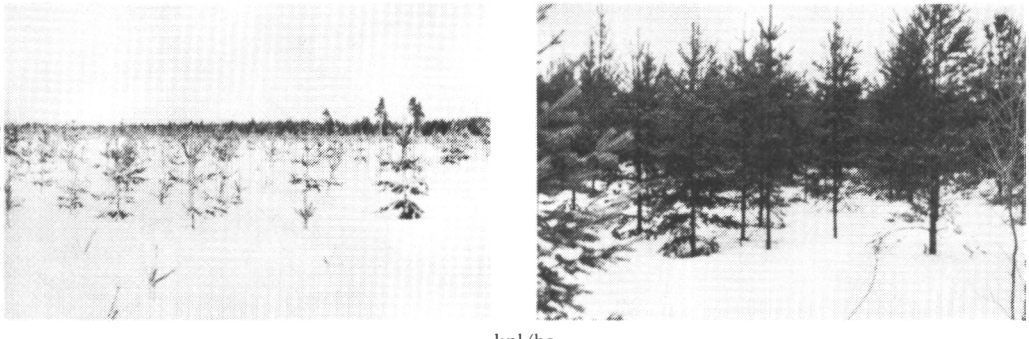
Metsikön nro *Number of stand*	Sijaintikunta *Location*	Pohj. lev. *Latitude*	It. pit. *Longitude*	Korkeus meren pinnasta *Height above sea level*	Lämpösumma *Number of degree days*	Metsätyyppi *Forest site type*	Syntytapa *Way of regeneration*	Perustamisajankohta *Time of establishment*	Perustamisikä *Age of establishment*	Mittausväli *Measuring interval*	Harvennusasteet *Degrees of thinning*	Koealojen lukumäärä *Number of plots*	Aiemmat toimenpiteet *Former preparations*	Omistaja *Owner*
1	Virrat	62°14'	23°47'	140	1080	VT	kylvö- *seeding*	10.1971	19	6	1000-4000	22	perkaus 1962 - *cleaning of sapling stand 1962*	Oy W. Rosenlew Ab
2	Mänttä	62°04'	24°33'	130	1110	VT	kylvö- *seeding*	10.1971	18	5	700-3300	11		G. A. Serlachius Oy
3	Multia	62°29'	24°56'	200	1080	VT	kylvö- *seeding*	8.1973	13	5	1000-3100	11	kulotus, laikutus 1960 - *prescribed burning, scresting 1960*	Oy W. Rosenlew Ab
6	Kuru	62°02'	23°44'	170	1090	VT	luont.- *natural*	5.1973	20	8	1000-3100	12	kulotus, karhinta 1953, ylispuuhakkuu 1960 - *prescribed burning, harrowing 1953, felling of standards 1960*	metsähallitus - *National Board of Forestry*
7	Kuru	62°02'	23°44'	170	1090	VT	luont.- *natural*	5.1973	20	8	1000-3100	11	kulotus, karhinta 1953, ylispuuhakkuu 1960 - *prescribed burning, harrowing 1953, felling of standards 1960*	metsähallitus - *National Board of Forestry*
9	Valkeala	61°10'	26°48'	110	1310	VT	kylvö- *seeding*	8.1973	18	5	1000-3100	4	kulotus 1954, perkaus 1968 - *prescribed burning 1954, cleaning of sapling stand 1968*	Kymi Kymmene Oy
10	Valkeala	61°10'	26°48'	110	1310	VT	kylvö- *seeding*	8.1973	19	4	600-3100	10	kulotus 1954, perkaus 1968 - *prescribed burning 1954, cleaning of sapling stand 1968*	Kymi Kymmene Oy
11	Valkeala	61°09'	27°09'	115	1300	VT	kylvö- *seeding*	8.1973	11	7	600-3100	16	kulotus - *prescribed burning*	Kymi Kymmene Oy
12	Kerimäki	62°04'	29°15'	80	1110	VT	kylvö- *seeding*	8.1972	13	7	1000-3000	13	kulotus 1960, perkaus 1970 - *prescribed burning 1960, cleaning of sapling stand 1970*	Enso-Gutzeit Oy
13	Puumala	61°32'	28°52'	100	1250	VT	kylvö- *seeding*	5.1974	13	7	600-2200	11	kulotus 1960 - *prescribed burning 1960*	Enso-Gutzeit Oy
17	Valkeala	60°55'	27°04'	100	1300	CT	luont.- *natural*	9.1974	20	5	600-3100	11	perkaus 1965, 1971 - *cleaning of sapling stand 1965, 1971*	Enso-Gutzeit Oy
18	Valkeala	60°55'	27°04'	100	1300	CT	luont.- *natural*	9.1974	20	5	600-2500	12	perkaus 1965, 1971 - *cleaning of sapling stand 1965, 1971*	Enso-Gutzeit Oy
19	Valkeala	60°57'	27°07'	80	1300	VT	luont.- *natural*	10.1974	30	5	1000-3100	9	ylispuuhakkuu 1957, perkaus 1965 *felling of standards 1957, cleaning of sapling stand 1965*	Lasse Vääntäjä
20	Multia	62°37'	24°03'	215	1080	VT	kylvö- *seeding*	9.1971	14		1000-4000	9	kulotus 1957, perkaus 1966 - *prescribed burning 1957, cleaning of sapling stand 1966*	Rauma-Repola Oy
21	Pylkönmäki	62°37'	24°03'	215	1080	VT	kylvö- *seeding*	9.1971	12		1000-4000	10	kulotus 1959, perkaus 1967 - *prescribed burning 1959, cleaning of sapling stand 1967*	Rauma-Repola Oy
23	Heinolan mlk.	61°10'	26°02'	120	1260	VT	kylvö- *seeding*	9.1973	11	6	600-2200	8		Kymi Kymmene Oy
51	Muhos	64°53'	26°05'	75	1020	VMT	kylvö- *seeding*	9.1973	13	7	700-3100	20	kulotus 1960 - *prescribed burning 1960*	Metsäntutkimuslaitos - *The Finnish Forest Research Institute*
54	Kruunupyy	63°40'	23°07'	30	1070	VT	kylvö- *seeding*	5.1974	18	8	1200-2400	6		Metsäntutkimuslaitos - *The Finnish Forest Research Institute*
57	Lieksa	63°09'	30°17'	140	1040	VT	kylvö- *seeding*	9.1975	13	5	600-3400	10	kulotus 1959, laikutus - *prescribed burning 1959, scresting*	Enso-Gutzeit Oy
58	Valtimo	63°46'	28°58'	160	1010	VT	kylvö- *seeding*	9.1975	11	5	600-2500	11	kulotus 1959 - *prescribed burning 1959*	Enso-Gutzeit Oy
59	Ilomantsi	62°30'	31°03'	170	1030	VT	kylvö- *seeding*	9.1975	15	5	600-2100	6		Enso-Gutzeit Oy
76	Rovaniemen mlk.	66°27'	25°22'	115	910	EVT	luont.- *natural*	7.1972	30	7	1000-3000	11	perkaus 1955 - *cleaning of sapling stand 1955*	metsähallitus - *National Board of Forestry*
77	Rovaniemen mlk.	66°58'	24°47'	160	840	EMT	luont.- *natural*	9.1972	47	5	1000-3000	12	ylispuuhakkuu 1965 - *felling of standards 1965*	metsähallitus - *National Board of Forestry*
78	Rovaniemen mlk.	66°58'	24°47'	160	840	EMT	luont.- *natural*	9.1972	47	5	1000-3100	13	ylispuuhakkuu 1965 - *felling of standards 1965*	metsähallitus - *National Board of Forestry*
79	Rovaniemen mlk.	66°58'	24°47'	160	840	EMT	luont.- *natural*	9.1972	47	5	600-2800	14	ylispuuhakkuu 1965 - *felling of standards 1965*	metsähallitus - *National Board of Forestry*
80	Rovaniemen mlk.	66°26'	25°49'	160	880	EMT	luont.- *natural*	5.1976	41		700-4300	13		Kemi Oy

Liite 2. Koealoja kokeen perustamisvaiheessa (talvi 1973—74, T = 13a) ja välimittauksen jälkeen (talvi 1981—82). Metsikkö 51, Muhos. Valok. J. Saramäki.

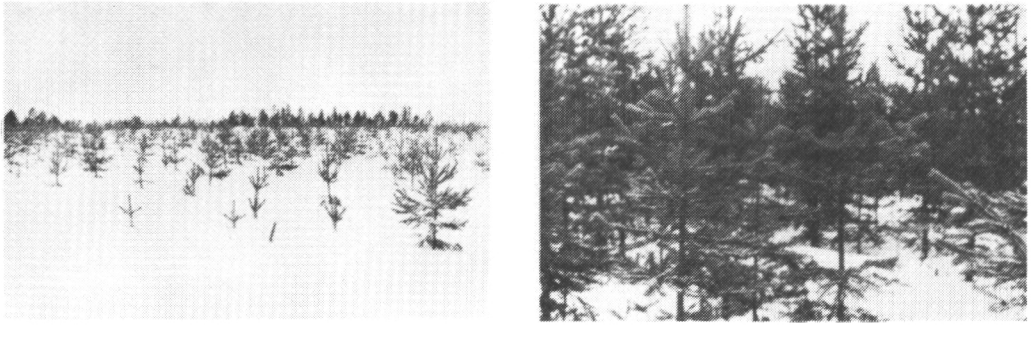
Appendix 2. Sample plots at the time the experiment was established (winter 1973—74, T = 13a) and after intermediate measuring stage (winter 1981—82). Stand 51, Muhos. Photos J. Saramäki.



600 kpl/ha
plants/ha

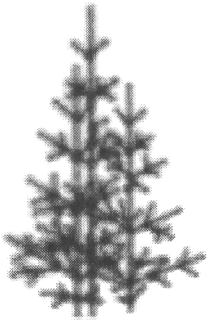


2000 kpl/ha
plants/ha



3200 kpl/ha (1 taimi/tupas)
plants/ha (1 plant/seed patch)

IV



FOLIA FORESTALIA 752

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Hannu Salminen & Martti Varmola

PUOLUKKATYYPIN KYLVÖMÄNNIKÖIDEN KEHITYS TAIMIKON MYÖHÄISESTÄ HARVENNUKSESTA NUOREN METSÄN ENSIHARVENNUKSEEN

Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning

Approved on 18.5.1990

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 3
2. AINEISTO JA SEN KÄSITTELY 4
21. Koealat ja koejärjestely 4
22. Mittaukset 4
23. Laskenta 5
3. KOEMETSIKÖIDEN KEHITYS 5
31. Koemetsiköiden pituusbonitointi 5
32. Koemetsiköiden puustojen tilavuuskehitys 6
4. HARVENNUSVOIMAKKUUDEN VAIKUTUS PUIDEN KEHITYKSEEN 7
41. Keskipituuden kasvu 7
42. Keskiläpimitan kasvu 9
43. Pohjapinta-alan kasvu 9
44. Tilavuuskasvu 10
45. Järeysluokat 11
5. TEKNINEN LAATU 12
51. Suhdeasteikolla mitatut ominaisuudet 12
511. Paksuimman oksan läpimitta 12
512. Kapeneminen 13
513. Latvussuhde 14
52. Luokka-asteikolla mitatut ominaisuudet 14
521. Tekninen laatu ja terveys 14
6. ENSIHARVENNUS 17
61. Ensiharvennuksen kuvaus 17
62. Poistuman määrä ja rakenne 17
7. PÄÄTELMÄT 20
KIRJALLISUUS 21
SUMMARY 23
LIITTEET 24

Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. Folia Forestalia 752. 29 p.

Tutkimuksessa tarkastellaan myöhäisen, noin 7 metrin valtapituusvaiheessa tehdyn taimikon harvennuksen vaikutusta kylvömännikön kehitykseen sekä noin 12 metrin valtapituusvaiheessa tehtyyn nuoren metsän ensiharvennukseen. Aineistona on kolmen kestokokeen yhteensä 64 koealaa, jotka on mitattu 19, 25 ja 30 vuoden ikäisinä. Taimikkovaiheessa koemetsiköt harvennettiin tiheyksiin 700, 1000, 1600, 2200 ja 3000—4000 kpl/ha. Osa koealoista jätettiin harventamatta. Puuston pituuskasvu osoittautui riippumattomaksi taimikon harvennusvoimakkuudesta. Puiden järeytymistä harvennus sen sijaan nopeutti selvästi varsinkin alle 2200 kpl/ha:n kasvatustiheyksillä. Pelkästään tilavuuskasvun kannalta edullisinta on harventaa taimikkoa hyvin lievästi (jäävä puusto noin 3000—4000 kpl/ha). Myös laatukehitys on parhaimmillaan tiheähköissä taimikoissa, mutta ero tiheyteen 2200 kpl/ha ei ole suuri. Kaikilla tutkimuksen koealoilla paksuimman oksan keskimääräinen läpimitta jäi alle 30 mm:n. Myöhäisessä valtapituusvaiheessa taimikko voidaan siis harventaa voimakkaasti laatukehityksen siitä ratkaisevasti kärsimättä. Ensiharvennuskertymää ajatellen sopivin kasvatustiheys riippuu käyttöpuulle asetettavasta läpimittavaatimuksesta. Jos ensiharvennuksessa halutaan mahdollisimman paljon käyttöpuuta (latvaläpimitta vähintään 5,5 cm, pituus vähintään 2 m), taimikonharvennus on tehtävä erittäin lievänä. Tällöin on mahdollista päästä aina 80—90 m^3/ha:n käyttöpuukertymiin, jos ensiharvennuksessa jätetään 800—1200 runkoa hehtaarille. Poistettavien kuiturunkojen keskikoko on tällöin 30—40 dm^3. Jos ensiharvennuksessa halutaan sekä kohtuullinen käyttöpuukertymä että järeys, on taimikko syytä harventaa noin 2000—2200 kpl/ha:n tiheyteen. Jos taimikko harvennetaan vieläkin voimakkaammin, puuston kasvu pienenee selvästi eikä ensiharvennusta ole syytä tehdä vielä 12 m:n valtapituudella. Tämän tutkimuksen koealoilla ei havaittu voimakkaasta taimikon harvennuksesta aiheutuneita haittoja esim. puiden terveydentilassa.

The aim of the study was to examine the effects of precommercial thinnings carried out in seeded Scots pine stands at the dominant height of 7 meters. The material was obtained from 64 sample plots in three thinning experiments. The sample plots were measured at the dominant heights of 7, 9.5 and 12 meters (age 19, 25 and 30 years). The last measurements were made at the dominant height of 12 meters at a time when the first commercial thinning was carried out on 20 sample plots. The height growth of the trees was independent of the thinning intensity, but precommercial thinning increased the mean diameter especially when the density was under 2200 stems/ha. The increase in total volume was the greater, the higher the growing stock level. If mortality is excluded, the total volume increment is highest when the density is 3000—4000 stems/ha. If large-sized merchantable wood is preferred in the first commercial thinning, then the density after precommercial thinning should be 2000—2200 stems/ha. The quality of the timber depends on the stocking density. The best results were achieved when the density was 3000—4000 stems/ha, although the diameter of the thickest branches remained under 30 mm also on the plots with a density of under 1000 stems/ha. Even at very low densities after precommercial thinning good quality is obviously attainable if the precommercial thinning is carried out not earlier than when the dominant height is 6—7 meters.

Keywords: Scots pine, seedlings, sapling stands, precommercial thinnings, first commercial thinnings.

ODC 242+562.22+ 174.7 *Pinus sylvestris*.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station. PL 16, SF-96301 Rovaniemi, Finland.

ISBN 951-40-1109-0
ISSN 0015-5543

1. Johdanto

Puuntuotostutkimukset ovat perinteisesti kohdistuneet varttuneisiin metsiköihin. Harvennus- ja tuotosmallien laadinnan kannalta nuoret metsiköt ovat ongelmallisempia kuin varttuneet. Puiden kasvu on nuoruusvaiheessa usein epävakaata, ja monet häiriötekijät voivat johtaa virheellisiin ennusteisiin. Toisaalta kasvun mallittamisen näkökulmasta taimikot ovat mielenkiintoisia tutkimuskohteita. Niissä voidaan kokeellisesti tutkia puiden kasvutilan ja tilajärjestyksen vaikutuksia lyhyitä koejaksoja käyttäen. Erilaisia harvennus- ja istutuskokeita onkin perustettu runsaasti.

Metsikön perustamistiheyden merkitystä taimikoiden kehitykselle on tarkasteltu laajasti 1950 -luvulta lähtien. Mäntytaimikoiden kehitystä ovat tarkastelleet mm. Andersson (1952), Eklund (1956) ja Elfving (1975). Mäntytaimikoiden käsittelyn ja laatupuun tuottamisen ongelmiin ovat puuttuneet Sirén (1956), Heiskanen (1965), Andersson (1961, 1968, 1975), Vuokila (1972, 1976), Persson (1976, 1977), Vestjordet (1977), Jakkila & Pohtila (1978), Parviainen (1978), Kellomäki & Tuimala (1981), Jokinen & Kellomäki (1982), Kärkkäinen & Uusvaara (1982), Thernström (1982), Varmola (1982), Näslund (1983), Fryk (1984), Halinen (1985) sekä Kellomäki & Väisänen (1986).

Taimikoiden käsittelyiden ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat tulevien hakkuiden kannattavuuteen ja ajoitukseen. Käytännössä esitettävät kysymykset ovat Varmolan (1982) mukaan, mihin tiheyteen ja missä vaiheessa taimikko tulee harventaa.

Voimakas harvennus edistää puiden järeytymistä, mutta pienentää kokonaiskasvua ja heikentää laatukehitystä. Lieviä harvennuksia puolestaan on toistettava usein, jos halutaan taimien latvuksille vapaata kasvutilaa. Harvennusten ajoitus vaikuttaa oleellisesti laatukehitykseen ja edelleen ensiharvennusten ajoittumiseen. Mitä pitempään ja mitä tiheämpänä metsikkö kasvaa, sitä parempi on puuston tekninen laatu. Toisaalta Andersson (1968) esittää varhaista harvennusta puoltavan seikkana sen, että susipuut voidaan tällöin poistaa ilman huomattavia kasvutappioita ja laatupuuta saadaan enemmän. Varmolan (1982) mukaan laatunäkökohtien huomioon ottaminen myöhäistää harvennusta, mutta 5—6 m:n valtapituusvaiheen jälkeen tiheydestä ei ole enää sanottavaa hyötyä. Heiskanen (1965) sekä Jokinen & Kellomäki (1982) toteavat, että tiheässä metsikössä kuolleet oksat karsiutuvat hitaasti, mikä heikentää puiden teknistä laatua.

Metsikön nuoruusvaiheessa ei ole odotettavissa taloudellisesti kannattavia hakkuita, vaan suurin osa toimenpiteistä on pikemminkin investointeja tulevaisuuteen. Vasta ensiharvennuksen yhteydessä on tavallisesti edes mahdollista saada hakkuutuloja. Taimikon käsittelyn päätöksiä tehtäessä on tiedettävä, mitkä ovat ainespuun kokovaatimukset ja missä vaiheessa harvennuksista halutaan myyntikelpoista puutavaraa. Mitä aikaisemmin ja mitä järeämpää puutavaraa halutaan, sitä aikaisemmassa vaiheessa ja sitä voimakkaammin taimikot on harvennettava. Pelkästään suuren nettokasvun tavoitteleminen taas johtaa lieviin, puhdistusluonteisiin taimikon käsittelyihin.

Harvassa asennossa kasvatettujen taimien rungot ovat vahvoja ja latvus yleensä hyväkuntoinen ja tukevaoksainen, joten ne kestävät lumen painon ja tuulen aiheuttamat rasitukset varsin hyvin. Toisaalta aikaisessa kehitysvaiheessa harvaan asentoon saatetut mäntytaimikot ovat alttiita hirvituhoille. Jos harvennus lykätään niin pitkälle, että poistettaville puille on muodostunut parkkikuorta, luodaan edellytykset männyn pystynävertäjän (*Tomicus piniperda*) lisääntymiselle.

Taimikon käsittelyn päätöksiä tehtäessä tavoitellaan valitun puutavaralajin mahdollisimman suurta tuotosta, jota rajoittavat tekniseen laatuun kohdistuvat vaatimukset ja tuhoriskit. Taloudellisessa tarkastelussa on merkittävää, kuinka monta käsittelykertaa kunkin metsikön hoito- ja hakkuuohjelma sisältää. Mitä vähemmän toimenpidekertoja, sitä pienemmät ovat kokonaiskustannukset.

Ei ole tarkoituksenmukaista laatia kaikkiin tilanteisiin sopivaa taimikonkäsittelyohjetta. Pikemminkin voidaan pyrkiä päätöksentekoa tukeviin malleihin, joiden avulla määritetään kussakin yksittäisessä tilanteessa sovelias ratkaisu. Kattava ongelman käsittely

edellyttää taimikoiden kehityksen tuntemisen lisäksi taloudellisia laskelmia.

Taloudellisiin näkökohtiin ja taimikon käsittelyn ongelmiin palataan, kun laajempaa tarkastelua tukevat maastotiedot saadaan kerättyä (Vuokila 1986 s. 76—84). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan puuston kehitystä eri kasvatustiheyksillä myöhäisestä, 7 metrin valtapituusvaiheessa tehdystä taimikon harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen saakka. Keskeisin kysymys on, miten taimikon harvennus vaikuttaa puuston rakenteeseen ja laatuun sekä ensiharvennuskertymään.

2. Aineisto ja sen käsittely

21. Koealat ja koejärjestely

Tutkimuksen aineisto koostuu Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnan 1970-luvun alussa perustamista taimikonharvennuskokeista. Koemetsiköitä on kolme ja ne sijaitsevat Virroilla, Mäntässä ja Valkealassa. Kasvupaikaltaan ne määritettiin puolukkatyypiksi (VT). Virtain metsikkö perustettiin kylvämällä vuosina 1952 ja 1953. Osa siitä perattiin vuonna 1962. Mäntän metsikkö kylvettiin vuonna 1953, ja se harvennettiin kertaalleen tiheyteen 3000—4000 kpl/ha keväällä 1971 juuri ennen kokeen perustamista. Valkealan metsikkö perustettiin vuonna 1955 kylvämällä vuotta aiemmin kulotettu uudistusala. Se perattiin kokonaan vuonna 1962. Metsiköiden yleistiedot sekä puustotiedot kokeen perustamishetkellä ja ensiharvennusvaiheessa on esitetty liitteessä 1.

Virtain ja Valkealan koemetsiköt jaettiin kumpikin kahteen lohkoon (lohkot 1 ja 2 sekä 4 ja 5). Mäntän koemetsikkö muodostaa yhden lohkon (lohko 3). Aiemmissa julkaisuissa (Varmola 1982, Vuokila 1986) Valkealan lohkot on esitelty erillisinä koemetsikköinä. Tilastollisissa analyyseissä kuudentena lohkona (lohko 6) käsiteltiin Valkealan koemetsikön lannoitettuja koealoja. Kussakin lohkossa on viidestä kuuteen osalohkoa, joiden sisällä rajattiin 1—3 pääasiassa suorakaiteen muotoista, vähintään viiden metrin vaippa-alueen toisistaan erottamaa koealaa. Koealojen koko on 10,0—20,0 aaria, ja niitä on yhteensä 64 kpl (liite 2). Kussakin harvennusvaihtoehdossa olevat koealat kasvoivat samassa tiheydessä ensiharvennukseen saakka. Ensiharvennuksessa samaa tiheyttä edustavat koealat harvennettiin eri voimakkuuksilla, joten koejärjestelyn kannalta jatkossa siirrytään satunnaistettujen lohkojen kokeesta osaruutukokeeseen (*split-plot*).

Eri käsittelyvoimakkuudet liitettiin osalohkoihin satunnaisesti. Taimikonharvennuksia on kuutta eri voimakkuutta: 700, 1000, 1600, 2200, 3000 ja 4000 kpl/ha. Ohjeellisesta tiheydestä poikettiin koealoittain jonkin verran (liite 2). Seitsemäs käsittelyaste tarkoittaa harventamattomia, luonnontilassa kasvavia koealoja, joiden tiheys vaihtelee 2800—12540 kpl/ha. On huomattava, että osa luonnontilaisina käsiteltävistä koealoista on perattu tai kylvötuppaat harvennettu ennen kokeiden perustamista. Metsiköt on harvennettu noin 7 metrin valtapituusvaiheessa, ja ne edustavat siten metsänhoidollisesti myöhään harvennettuja taimikoita.

22. Mittaukset

Tutkimuksen aineiston muodostavat kolmen mittauskerran tulokset. Kokeita perustettaessa puuston ikä oli 18—19 vuotta. Perustamisvaiheessa selvitettiin puustotunnukset erikseen harvennuksessa poistettavalle ja jäävälle puustolle. Tutkimuksen lähtöaineistona on pidetty jäävää puustoa. Runkolukusarjan selvittämiseksi kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta 1 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen. Rinnankorkeuden määritys oli Ilvessalon (1948) mukainen, mikä kuitenkin pienissä puissa oli käytännössä 1,3 metriä maanpinnan tasosta. Koepuut valittiin systemaattisesti siten, että koko läpimittajakauma tuli tasaisesti edustetuksi. Koepuista määritettiin rinnankorkeusläpimitan lisäksi pituus. Valkealan koemetsikkö harvennettiin syksyllä 1972, mutta se mitattiin vasta seuraavana syksynä. Mittaustulokset muunnettiin siirtymälaskennalla vastaamaan välittömästi harvennuksen jälkeistä ajankohtaa. Poistettavaa puustoa ei mitattu.

Kokeiden toinen mittaus tehtiin 5—6 vuoden kuluttua kokeen perustamisesta. Koepuiden valinnassa käytettiin kupo-summainta (Laasasenaho 1973), jonka avulla saatua otosta tarvittaessa täydennettiin mittaamalla lisää koealan järeimpiä puita. Koepuiden rinnankorkeus- ja yläläpimitat mitattiin kahtena ristikkäisenä mittauksena 1 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen. Koepuista mitattiin lisäksi pituus ja elävän latvuksen alaraja. Valkealan koemetsikön toisessa lohkossa mitattiin vain yksi koeala jokaisesta käsittelyruudusta, joten tältä osin aineisto ei ole tasapainoinen. Suurin osa tarkasteluista ja kaikki tilastolliset testit tehdäänkin perustamismittauksen ja viimeisimmän mittauksen perusteella.

Kolmas mittaus tehtiin 10—12 vuoden kuluttua kokeiden perustamisesta. Kaikki puut numeroitiin ja rinnankorkeusläpimitta mitattiin lukupuistakin kahtena ristikkäisenä mittauksena millimetrin tarkkuudella. Virtojen ja Valkealan koemetsiköiden kaikista puista määritettiin silmävaraisesti latvuskerros, tekninen laatu ja terveydentila (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1982). Virtain koemetsikön koepuista mitattiin normaalien koepuumittausten lisäksi paksuimman oksan läpimitta ja laatu (tuore/kuiva).

Pituusbonitoinnissa käytettävät pituuskasvut (Hägglund 1976) mitattiin Virroilla ja Mäntässä vuonna 1983 ja Valkealassa vuonna 1985. Mitattaviksi valittiin satunnaisesti viisi valtapuuta kultakin koealalta.

23. Laskenta

Koealojen puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen peruslaskentaohjelmistolla KPL (Heinonen 1981). Puustotunnukset esitettiin erikseen yhdeksälle runkolukusarjan osalle. Tulosten perusteella voitiin tarkastella 100, 200, 400, 600, 900, 1200, 1500 tai 2000 paksuimman puun/ha kehitystä kullakin koealalla. Lisäksi laskettiin puustotunnukset koko puustolle. Kasvut laskettiin jakson loppu- ja alkuarvojen erotuksena. Koemetsiköiden puut on numeroitu pysyvästi vasta viimeisen mittauksen yhteydessä, joten menetelmällä ei ole voitu laskea puukohtaisia kasvuja. Niinpä esim. 100 paksuimman puun/ha tilavuuskasvu laskettiin siten, että alkupuustoksi otettiin 100 paksuinta puuta jakson alkutilantessa ja loppupuustoksi 100 paksuinta puuta jakson lopussa. Kyse on siis kahdesta ainakin osittain erilaisesta puujoukosta. Runkolukusarjan eri osien väliset vertailut eivät siten ole täysin luotettavia.

Koejärjestelyä käsiteltiin satunnaistettujen lohkojen kokeena. Kunkin lohkon sisällä käsittelyt on kohdistettu osalohkoihin satunnaisesti. Osalohkojen sisällä olevien samalla tavoin käsiteltyjen koealojen keskiarvoa käsiteltiin testeissä yhtenä havaintona. Varianssianalyysillä vertailtiin erotusmenetelmällä laskettuja kasvuja.

Mäntän koemetsikössä koejärjestelyn mukaan käsittelemättömät, mutta todellisuudessa ennen kokeen perustamista kertaalleen harvennetut ruudut rinnastettiin varianssianalyysissä luonnontilaisiin koealoihin. Lisäksi tiheyteen 3750—4100 kpl/ha harvennetut koealat rinnastettiin tiheyteen 2776—3208 kpl/ha harvennettuihin koealoihin. Näillä järjestelyillä aineisto jäi epätasapainoiseksi ainoastaan voimakkaimmin harvennettujen koealojen osalta. Harvennuksia tiheyksiin 600—700 kpl/ha ei ole käytetty Virtain koemetsikössä, jossa on kaksi kaikkiaan kuudesta tarkasteltavasta lohkosta.

Eri lohkojen ja eri harvennusvoimakkuuksien pareittaisia vertailuja varten laskettiin Scheffen (1959) esittämällä menetelmällä todennäköisyydet sille, että keskiarvoparien odotusarvot eroavat toisistaan. Menetelmää voidaan soveltaa, vaikka vertailtavissa luokissa olisi eri määrä havaintoja. Liitteessä 3 esitetään odotusarvojen erotukset niiden vertailuparien osalta, joissa erotuksen todennäköisyys on yli 50 %.

3. Koemetsiköiden kehitys

31. Koemetsiköiden pituusbonitointi

Kultakin koealalta mitattiin Hägglundin (1976) esittämällä tavalla viidestä valtapuusta 2,5 m:n yläpuolelta seuraavan viiden vuoden pituuskasvu. Tämän ns. intercept-menetelmän suomenkieliseksi nimeksi on ehdotettu "välipituusmenetelmää" (Huhta & Meriluoto 1980), jolloin viiden oksakiehkuravälin yhteenlaskettua pituutta nimitetään välipituudeksi. Varmolan (1987) mukaan välipituusmenetelmään perustuva pituusboniteettimalli näyttää sopivan hyvin Suomen oloihin, joskin se on harhainen kaikkein parhaimmilla kasvupaikoilla.

Ennustettua valtapituutta 100 vuoden iällä kuvaavat pituusboniteetti-indeksit laskettiin mitatuista pituuskasvuista Hägglundin (1976) esittämällä yhtälöllä:

$$H100 = 3{,}76455 + 0{,}54467 * \ln(ih5)$$

H100 = pituusbonitetti-indeksi, dm

ih5 = 2,5 metrin korkeudelta alkavan viiden seuraavan vuoden pituuskasvu, dm

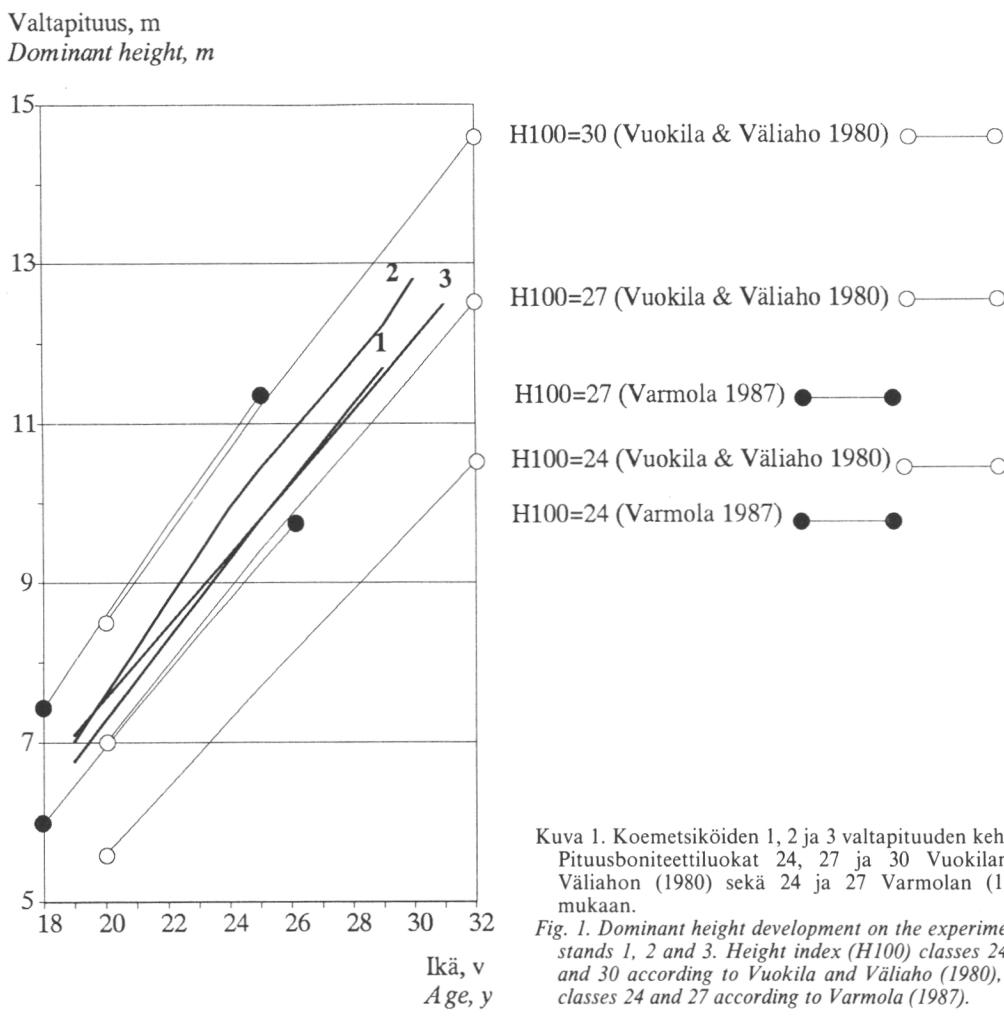
Koealakohtainen pituusboniteetti-indeksi saatiin viidelle valtapuulle laskettujen indeksien aritmeettisena keskiarvona. Koemetsiköiden pituusboniteetti-indeksien keskiarvot olivat:

Koemetsikkö *Stand*	H100, m *H100, m*	hajonta, m *deviation, m*
Virrat	25,3	1,1
Mänttä	25,1	0,8
Valkeala	22,2	2,5

Vuokilan (1983) mukaan pituusboniteettiluokan 24 vastinmetsätyyppi on VT ja luokan 27 MT, joten koemetsiköt edustavat pituusboniteetti-indeksin perusteella hyvää puolukkatyyppiä. Välipituusmenetelmällä lasketut pituusboniteetti-indeksit vastasivat koemetsikköjen pituus- ja tilavuuskehitystä. Ikään ja valtapituuteen perustuvalla menetelmällä (kuva 1) päädyttäisiin pituusboniteettiluokkiin 27—30 (Vuokila & Väliaho 1980).

Kallio (1960) on tarkastellut toistuvasti harvennettuja eteläsuomalaisia kylvömänniköitä, joita kaikkia oli joko edellisenä 10-vuotiskautena tai aikaisemmin harvennettu tai perattu. Kallion (mt.) tutkimuksessa puolukkatyypin koemetsiköiden keskitiheys iällä 23—25 vuotta oli noin 2600 kpl/ha ja iällä 30—35 vuotta noin 2300 kpl/ha. Nyt tutkittavien koemetsiköiden valtapituuskehitys osuu Kallion (1960) aineiston puolukka- ja mustikkatyypin välille.

Metsänkäsittelyn vaikutuksia arvioitaessa



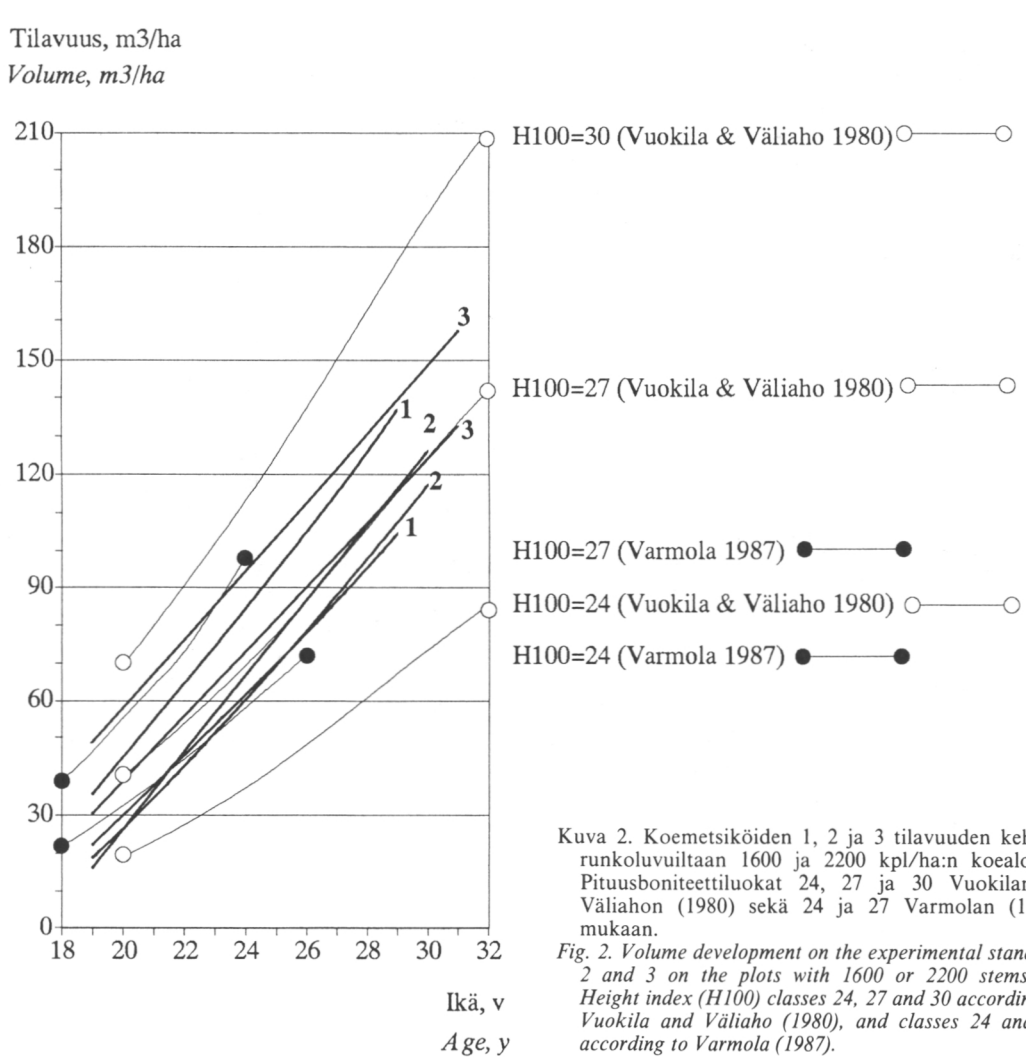
Kuva 1. Koemetsiköiden 1, 2 ja 3 valtapituuden kehitys. Pituusboniteettiluokat 24, 27 ja 30 Vuokilan ja Väliahon (1980) sekä 24 ja 27 Varmolan (1987) mukaan.

Fig. 1. Dominant height development on the experimental stands 1, 2 and 3. Height index (H100) classes 24, 27 and 30 according to Vuokila and Väliaho (1980), and classes 24 and 27 according to Varmola (1987).

on tiedettävä, onko eri käsittelyryhmien välillä kasvupaikkavaihtelua. Esim. Parviainen (1978) pyrki eliminoimaan kasvupaikkaerojen vaikutuksen tuloksiin käyttämällä kovarianssianalyysiä, jossa mallin regressiomuuttujaksi valittiin puuston valtapituus. Kaikkien nyt tarkasteltavana olevien metsiköiden metsätyyppi on määritetty puolukkatyypiksi. Myös puuston valtapituus vaihtelee koealoittain varsin vähän. Varianssianalyysi osoittaa, että lohkojen väliset pituusboniteettierot ovat tilastollisesti merkitseviä (liite 3). Käsittelyt puolestaan ovat pituusboniteetiltaan yhtenäisiä. Koejärjestely pienentää siten onnistuneesti jäännösvaihtelua.

32. Koemetsiköiden puustojen tilavuuskehitys

Koemetsiköiden tilavuuskehitys noudattelee Vuokilan ja Väliahon (1980) pituusboniteeteille 27 ja 30 laatimia malleja kuitenkin siten, että alkutilanteessa eli taimikon harvennuksen jälkeen koemetsiköiden tilavuudet ovat olleet alhaisempia (kuva 2). Vuokilan ja Väliahon tutkimuksesta vertailtaviksi valittiin runkoluvultaan 2000 kpl/ha metsiköille esitetyt mallit. Varmolan (1987) tutkimuksessa pituusboniteettiluokkien 24 ja 27 kehitys kuvataan puustoille, joiden tiheydet ovat vastaavasti 1800 ja 2000 kpl/ha. Mainittuja malleja verrataan nyt havaittuun tilavuuskehitykseen koealoilla, joiden runkoluku on 2200 ja 1600 kpl/ha (kuva 2).



Kuva 2. Koemetsiköiden 1, 2 ja 3 tilavuuden kehitys runkoluvuiltaan 1600 ja 2200 kpl/ha:n koealoilla. Pituusboniteettiluokat 24, 27 ja 30 Vuokilan ja Väliahon (1980) sekä 24 ja 27 Varmolan (1987) mukaan.

Fig. 2. Volume development on the experimental stands 1, 2 and 3 on the plots with 1600 or 2200 stems/ha. Height index (H100) classes 24, 27 and 30 according to Vuokila and Väliaho (1980), and classes 24 and 27 according to Varmola (1987).

Tarkasteltavassa aineistossa koealojen tilavuudet ovat kehittyneet sekä Kallion (1960) että Vuokilan ja Väliahon (mt.) lähinnä mustikkatyypin metsiköille esittämien arvioiden mukaisesti. Verrattaessa tilavuuskehitystä Varmolan (mt.) esittämiin tuloksiin koemetsiköiden kehitys osuu pituusboniteettien 24 ja 27 välille, mikä vastaa hyvän puolukkatyypin ja mustikkatyyppin taimikoiden kehitystä.

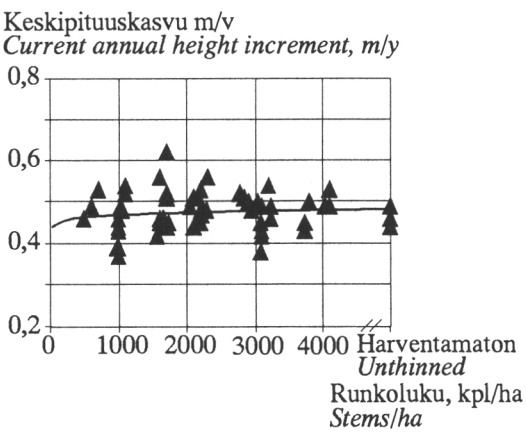
4. Harvennusvoimakkuuden vaikutus puiden kehitykseen

41. Keskipituuden kasvu

Puiden pituuskasvu on ollut jokseenkin riippumaton kasvatustiheydestä (kuvat 3 ja 4). Varianssianalyysin (liite 3) mukaan lohkot eroavat toisistaan merkitsevästi, mutta käsittelyjen välillä ei ole tilastollisesti merkitseviä eroja. Pareittaisissa vertailuissa (liite 3) erottuu Valkealan koemetsikön keskimäärin muita pienempi pituuskasvu.

Parviaisen (1978) riukuvaiheen männiköitä käsittelevässä tutkimuksessa puuston keski-

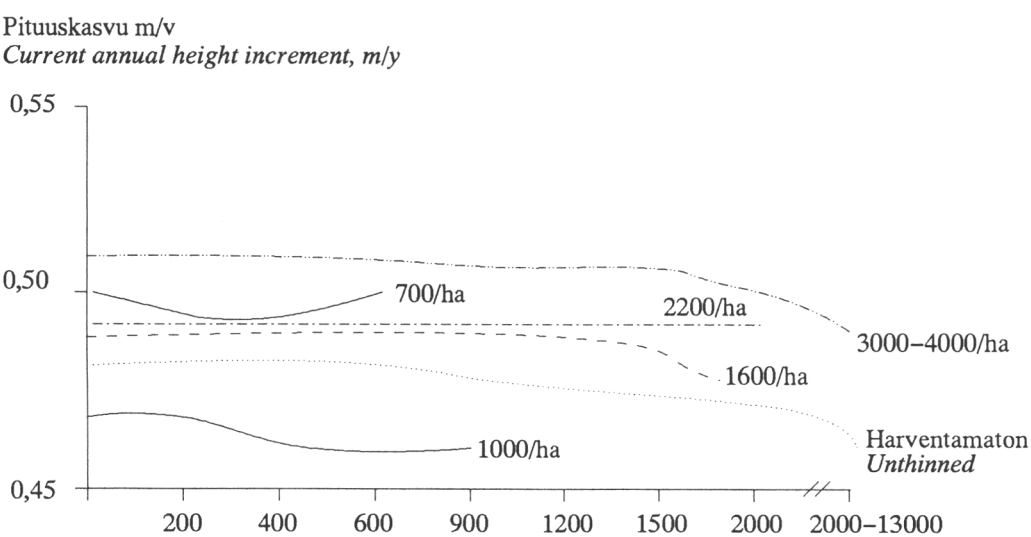
pituus yleensä lisääntyi alaharvennetussa puustossa hieman enemmän kuin käsittelemättömässä. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä kuitenkin vain yhdessä kokeessa, lievimmän (5800 kpl/ha) ja muiden käsittelyasteiden välillä. Parviaisen (mt.) mukaan puiden pituuskasvu alkaa selvästi hidastua vasta tässä tiheydessä.



Kuva 3. Puuston keskipituuskasvun riippuvuus kasvatustiheydestä (korrelaatiokerroin = 0,1 ja sovitettu käyrä $Y = 0{,}42 \cdot X^{0{,}02}$).
Fig. 3. Mean annual height increment as a function of stem number (correlation coefficient = 0,1 and fitted curve $Y = 0.42 \cdot X^{0{,}02}$).

Vuokilan (1980) mukaan sekä liian harva että ylitiheä kasvatusasento heikentävät keskipituuskasvua. Tiheyksissä 1000—4000 kpl/ha, jota suurin osa nyt tarkasteltavista koealoista edustaa, ei hänen mukaansa kasvun heikkenemistä vielä esiinny. Edelleen Vuokila (1972) toteaa, että Suomessa oletetaan pituuskasvun olevan voimakkainta yleisesti käytettäviä kasvatustiheyksiä tiheämmässä asennossa. Käsiteltävässä aineistossa ei tällaista voitu havaita.

Näslundin (1971) mukaan pituuskasvu on suurinta tiheimmissä metsiköissä. Toisaalta käsittelyn vaikutus ei ole merkittävä verrattuna esimerkiksi kasvupaikan ja geneettisten erojen vaikutukseen. Eriksson (1965) toteaa, että männikön erittäin voimakas ja harvoin toistuva harvennus parantaa vallitsevien puiden pituuskasvua. Vanhemmissa ruotsalaisissa tutkimuksissa (Petterson 1955) ollaan yleisesti sitä mieltä, ettei kasvatusohjelma vaikuta valtapituuden kehitykseen normaaleilla kasvatustiheyksillä. Tämän tutkimuksen perusteella taimikon harvennuksen voimakkuus ei vaikuta puolukkatyypin kylvömännikön pituuskehitykseen.



Kuva 4. Puuston keskipituuskasvu runkolukusarjan eri osissa.
Fig. 4. Current annual height increment in the different classes of the stem distribution.

42. Keskiläpimitan kasvu

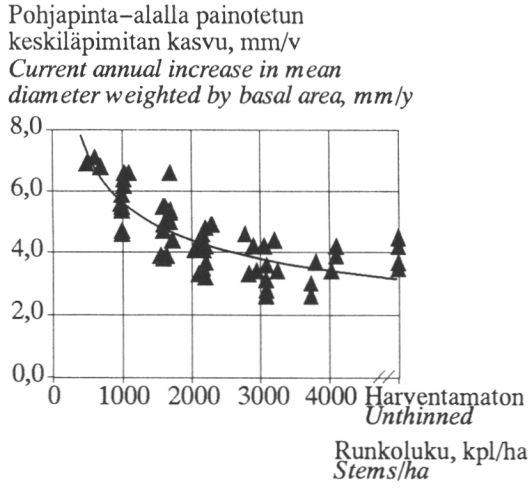
Puiden paksuuskasvu on selvästi riippuvainen puuston kasvatustiheydestä (kuvat 5 ja 6). Nopeinta kasvu on ollut harvimmissa taimikoissa. Alle 2200 kpl/ha tiheys nopeuttaa selvästi järeytymistä. Varianssianalyysin (liite 3) mukaan käsittelyjen välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta lohkojen välillä ei ollut.

Luonnontilaisten koealojen erotusmenetelmällä laskettua keskiläpimitan kasvua lisää näennäisesti se, että osa pienimmistä puista kuoli koejakson aikana. Harvennettujen koealojen runkoluvut pysyivät likimäärin samoina koko koejakson ajan. Luonnontilaisten koealojen runkoluvut vaihtelivat kokeen perustamisvaiheessa 7300—12500 kpl/ha ja kokeen lopussa 3300—6300 kpl/ha.

Vestjordetin (1977) mukaan metsikön tiheyden pieneneminen 2500 rungosta/ha nopeuttaa järeytymistä suhteellisesti enemmän kuin siirtyminen tiheämpiin kasvatusasentoihin sitä hidastaa. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat mainittua päätelmää.

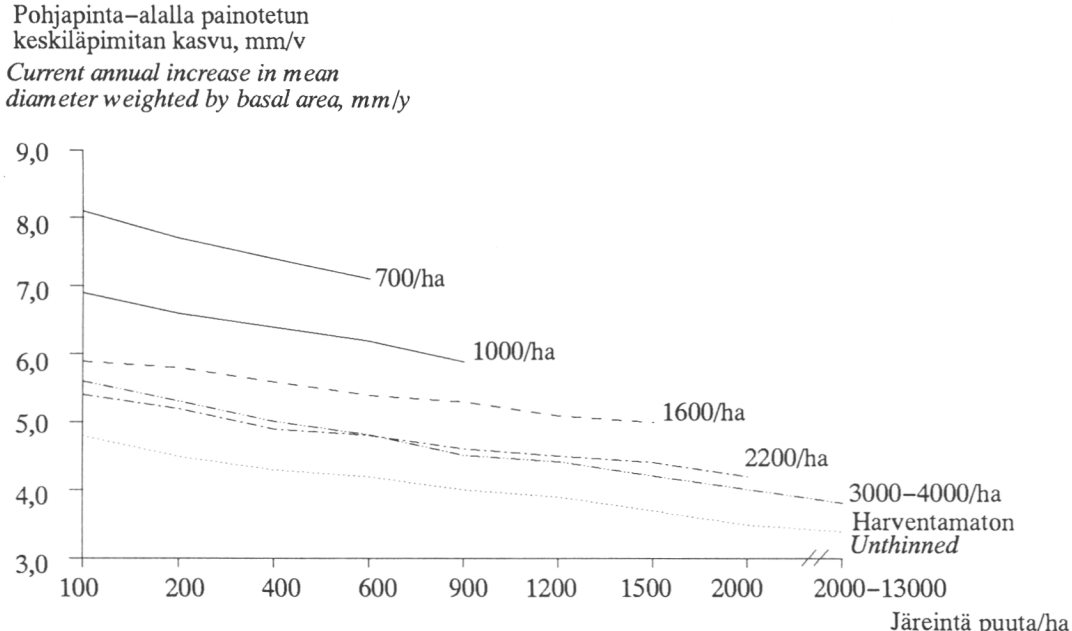
43. Pohjapinta-alan kasvu

Puuston pohjapinta-alan kasvu riippuu selvästi puustopääomasta. Harventaen aikaansaadut puustoerot ovat yleensä voimistuneet mittausjakson aikana.



Kuva 5. Rinnankorkeusläpimitan kasvun riippuvuus kasvatustiheydestä (korrelaatiokerroin = −0,76 ja sovitettu käyrä $Y = 69{,}27 \cdot X^{-0{,}36}$).

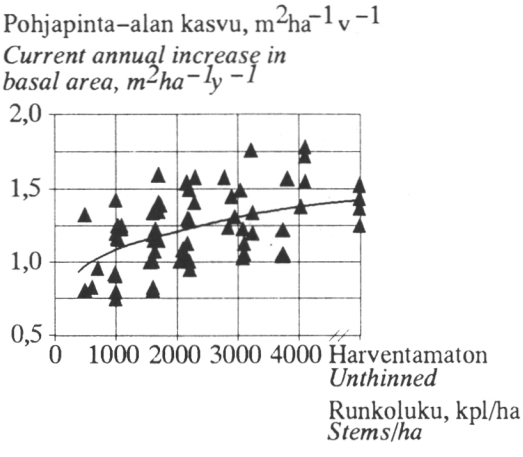
Fig. 5. Current annual increase in mean diameter as a function of stem number (correlation coefficient = −0.76 and fitted curve $Y = 69.27 \cdot X^{-0.36}$).



Kuva 6. Puuston rinnankorkeusläpimitan kasvu runkolukusarjan eri osissa.

Fig. 6. Current annual increase of mean diameter in the different classes of the stem distribution.

Pohjapinta-ala kasvoi mittausten mukaan eniten erittäin lievästi harvennetuilla koealoilla (kuvat 7 ja 8). Puiden kuoleminen luonnontilaisilla koealoilla näkyy myös pohjapinta-alan kehityksessä. Tiheyteen 2200 ja 3000 kpl/ha harvennettujen koealojen kasvuissa ei ole juurikaan eroa.



Kuva 7. Puuston pohjapinta-alan kasvun riippuvuus kasvatustiheydestä (korrelaatiokerroin = 0,51 ja sovitettu käyrä $Y = 0{,}27 \cdot X^{0{,}2}$).
Fig. 7. Current annual increase in basal area as a function of stem number (correlation coefficient = 0.51 and fitted curve $Y = 0.27 \cdot X^{0.2}$).

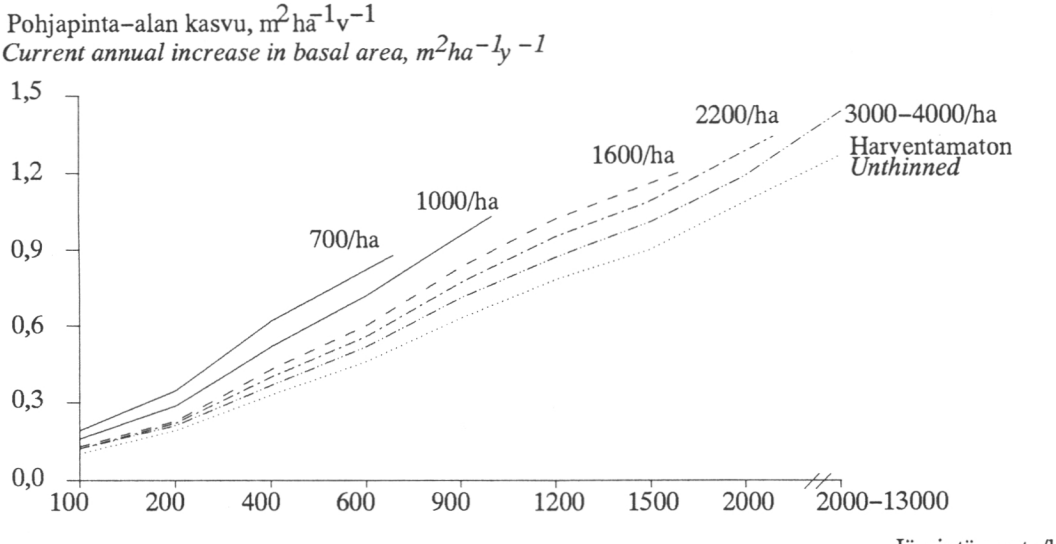
Valtapuuston osalta suotuisimmat kasvuolot ovat olleet kaikkein voimakkaimmin harvennetuilla koealoilla. Luonnontilaisilla koealoilla vallitsevan puuston pohjapinta-alan kasvu on ollut samaa luokkaa kuin käytettäessä kasvatustiheyksiä 1600—2200 kpl/ha.

Varianssianalyysin mukaan käsittelyt eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (liite 3). Scheffen testin (liite 3) perusteella pohjapinta-alan kasvu on herkempi tiheyden muutoksille alle 2200 kpl/ha tiheyksillä kuin sitä tiheämmissä kasvuasennoissa.

44. Tilavuuskasvu

Tarkastelun lähtökohtana on ollut taimikon harvennuksessa jätetty puusto. Tiheyden lisääntyminen 3000—4000 kpl/ha saakka lisäsi tilavuuskasvua (kuvat 9 ja 10). Luonnontilaisilla koealoilla erotusmenetelmällä laskettu kasvu oli kuolleisuuden vuoksi pienempi kuin lievästi käsitellyillä koealoilla. Luonnonpoistuman osuutta kokonaistilavuudesta ei arvioitu.

Varianssianalyysi (liite 3) osoitti, että tilavuuskasvut eroavat merkitsevästi eri käsittelyissä. Myös lohkojen välillä on eroa, mutta ei tilastollisesti merkitsevää (alle 95 %:n luotettavuus). Scheffen testin (liite 3) perusteella



Kuva 8. Puuston pohjapinta-alan kasvu runkolukusarjan eri osissa.
Fig. 8. Current annual increase in basal area in the different classes of the stem distribution.

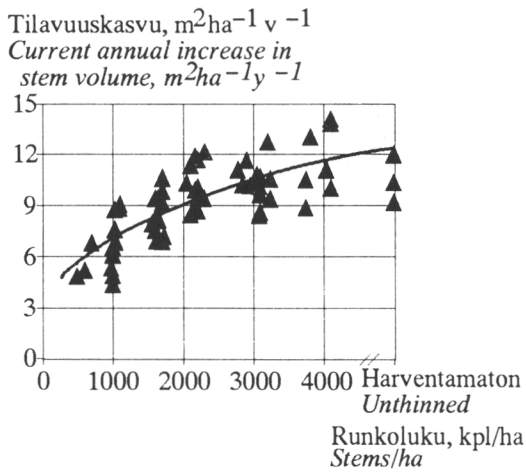
suurimmat erot ovat verrattaessa tiheyttä 1000 kpl/ha muihin käsittelyihin.

Koska eri käsittelyjen välillä ei ollut pituuskasvueroja, voidaan tilavuuskasvun sanoa pääpiirteissään noudattelevan puuston pohjapinta-alan kasvua. Erot tilavuuskasvussa olivat hieman suurempia kuin pohjapinta-alan kasvussa, koska voimakas harvennus heikensi runkomuotoa.

45. Järeysluokat

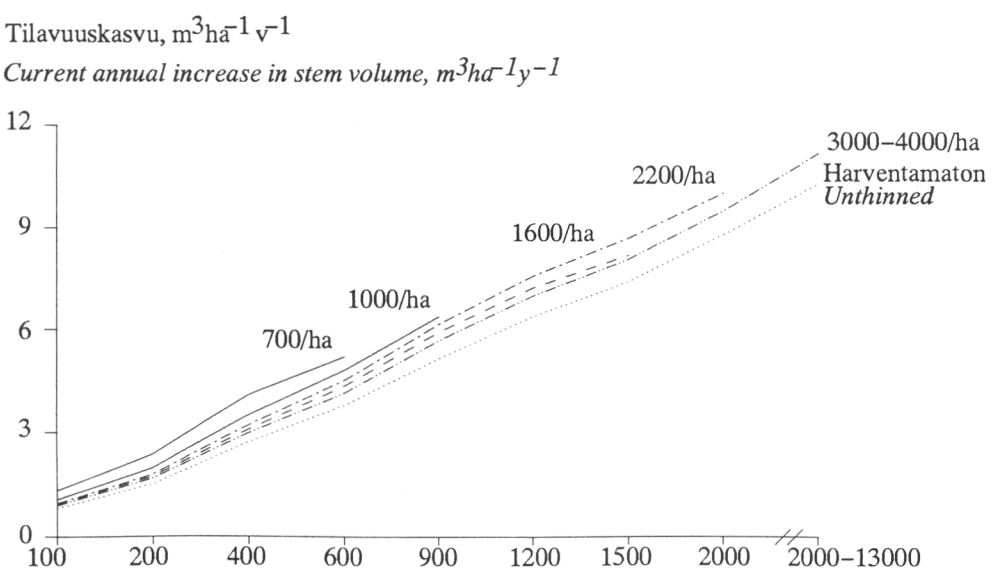
Kokeen perustamisen yhteydessä (valtapituus noin 7 metriä) tiheyteen 1000—2200 kpl/ha harvennetuilta koealoilta poistettiin puuta 12—18 m^3/ha ja tiheyteen 3000—4000 kpl/ha harvennetuilta noin 4 m^3/ha. Käyttöpuun osuus poistumasta oli käytännössä merkityksetön.

Runkoluvun vaikutus puuston kokonaistilavuuteen pieneni tiheyden ylitettyä 2200 kpl/ha. Ensiharvennusvaiheen käyttöpuumääriä laskettaessa otettiin huomioon vähintään kaksi metriä pitkät pölkyt, joiden järeys määritettiin kuorenpäällisen latvaläpimitan perusteella. Yli 5,5 cm:n läpimittaisen käyttöpuun määrä oli kuitenkin suurin lievästi harvennetuilla koealoilla (kuva 11). Yli 9,5 cm läpimittaisen puun määrä lisääntyi kasvatustiheyden myötä aina 2200 kpl/ha. Sen sijaan järeydeltään yli 14,5 cm olevan puun määrä oli sitä suurempi, mitä harvempana metsikkö oli kasvanut. Ensiharvennusvaiheessa järeydeltään yli 20,5 cm olevaa puuta oli vain kaikkein harvimmassa asennossa.



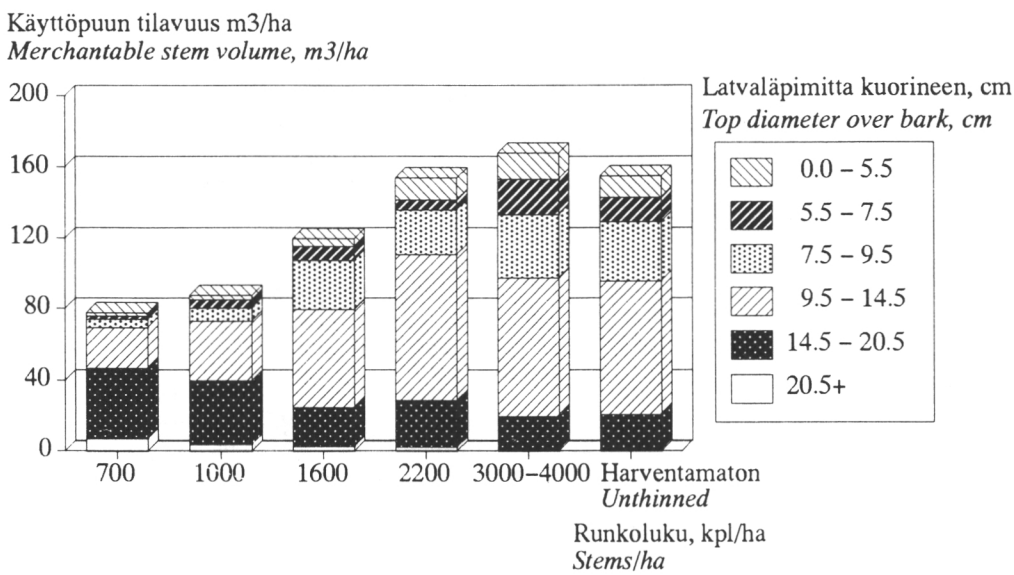
Kuva 9. Puuston tilavuuskasvun riippuvuus kasvatustiheydestä (korrelaatiokerroin = 0,56 ja sovitettu käyrä $Y = 0{,}56 \cdot X^{0{,}36}$).

Fig. 9. Current annual increase in volume as a function of stem number (correlation coefficient = 0.56 and fitted curve $Y = 0.56 \cdot X^{0.56}$).



Kuva 10. Puuston tilavuuskasvu runkolukusarjan eri osissa.

Fig. 10. Current annual increase in volume in the different classes of the stem distribution.



Kuva 11. Käyttöpuun tilavuuden jakautuminen kuorenpäällisen latvaläpimitan mukaisiin järeysluokkiin eri kasvatustiheyksillä ennen kaupallista ensiharvennusta 12 metrin valtapituusvaiheessa (kuitupuun minimipituus 2 metriä).

Fig. 11. The merchantable wood (minimum lenght 2 meters) in overbark topdiameter classes with respect to stem number before the first commercial thinning at the dominant height of 12 meters.

5. Tekninen laatu

51. Suhdeasteikolla mitatut ominaisuudet

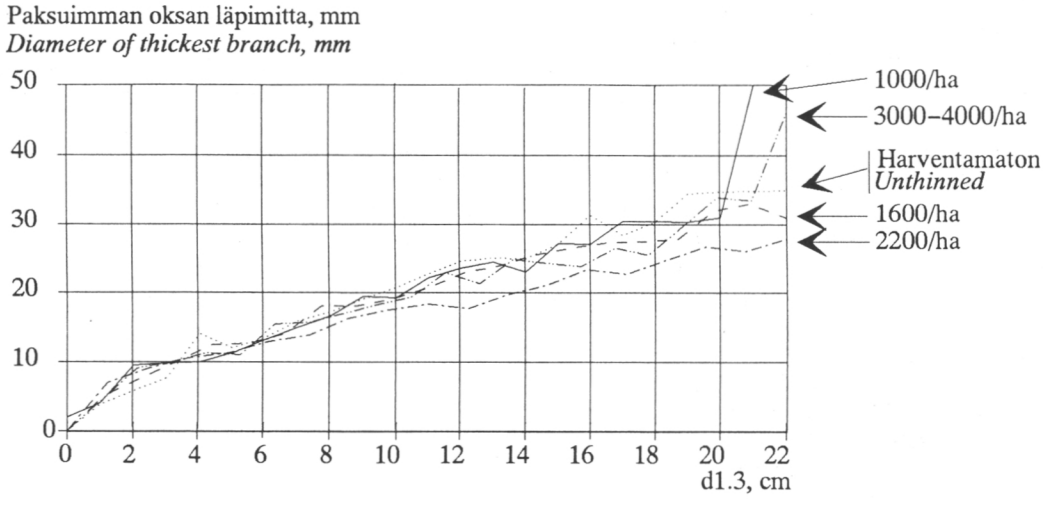
511. Paksuimman oksan läpimitta

Oksamittauksia tehtiin vain Virtain koemetsikössä vuonna 1981. Ensiharvennusvaiheessa paksuimman oksan keskiläpimitta vaihteli koealoittain välillä 18 mm—28 mm.

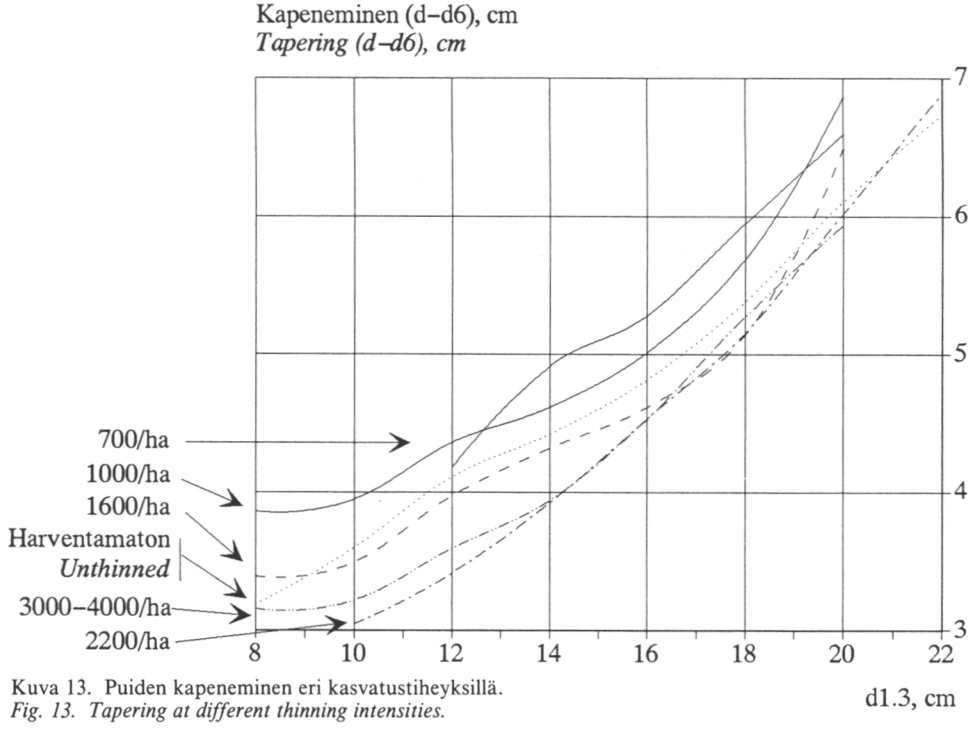
Puiden oksikkuus eri kasvatustiheyksissä noudatti puuston yleistä järeytymistä; mitä järeämpiä puut olivat, sitä paksumpia olivat oksat (kuva 12). Paksuimman oksan läpimitan ja rinnankorkeusläpimitan suhde oli likimain sama kaikilla koealoilla. Kasvatustiheyksistä ainoastaan 2200 kpl/ha erottui hieman muista. Thernströmin (1982) mukaan harvennusajankohta vaikuttaa rinnankorkeusläpimitan ja paksuimman oksan läpimitan suhteeseen huomattavasti selvemmin kuin kasvatustiheys. Luonnontilaisilla koealoilla paksuimpien oksien läpimitat olivat verrattain suuria. Tämä johtui ns. susipuista, jotka olisi taimikon harvennuksessa poistettu. Ainakin istutusmännikköihin verrattuna (Varmola 1980, 1982) tarkasteltavana olevaa metsikköä voidaan pitää ohutoksaisena.

Heiskasen (1965) mukaan nimenomaan puolukkatyypin metsikössä kasvatustiheydellä on merkitystä laatukehitykseen, sillä rehevillä kasvupaikoilla huomattavankaan suuri tiheys ei johda hyvään laatuun, ja karuilla kasvupaikoilla hyvä tekninen laatu saavutetaan harvoissakin kasvatusasennoissa.

Paksuimman oksan läpimitan eroja eri kasvatustiheyksiä käytettäessä verrattiin varianssianalyysillä (liite 3). Sen perusteella oksan paksuuksien erot eri käsittelyasteiden välillä olivat koko puustolla tilastollisesti merkitseviä. Tiheyksien 1600 kpl/ha ja 2200 kpl/ha välillä ero oli rinnnankorkeusläpimitan eroihin nähden pieni (liite 3). Samoin luonnontilaisten ja tiheydelle 4000 kpl/ha harvennettujen koealojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Tulkintojen merkitystä heikentää se, että oksahavaintoja tehtiin vain yhdestä koemetsiköstä.



Kuva 12. Paksuimman oksan läpimitan riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta eri kasvatustiheyksillä Virtain koemetsikössä.
Fig. 12. Dependence of the thickest living branch on breast height diameter at different thinning intensities at the experimental stand in Virrat.



Kuva 13. Puiden kapeneminen eri kasvatustiheyksillä.
Fig. 13. Tapering at different thinning intensities.

512. Kapeneminen

Puiden keskimääräinen kapeneminen ($d_{1,3}$—$d_{6,0}$) oli tutkimusjakson lopussa 4,2 cm ja sen vaihteluväli noin 6 cm. Järeiden puiden kapeneminen oli voimakkainta (kuva 13). Tarkasteltaessa samanläpimittaisia puita heikoin runkomuoto oli niillä, jotka olivat kasvaneet tiheyksiin 700 ja 1000 kpl/ha harvennetuilla koealoilla. Selvimmin käsittelyn

vaikutus näkyy keskikokoisissa puissa. Valtapuihin harvennus ei vaikuta yhtä voimakkaasti kuin vallittuihin.

Kallio (1960) esitti Etelä-Suomen kylvömännikköjä koskevassa tutkimuksessaan vastaavanikäisen ja -kokoisen puolukkatyypin männikön kapenemiseksi 4,5 cm ja mustikkatyypin männikön 4,0 cm. Kasvutilan laajentumisen johdosta kasvun lisääntyminen on varttuneessa harvennusmetsikössä voimakasta erityisesti rungon tyviosassa (Nyyssönen 1952, Vuokila 1960). Taimikoissa kehitys on samankaltaista (Parviainen 1978, Jakkila & Pohtila 1978). Parviaisen (1978) mukaan puuston harvennus heikentää eniten keskikokoisten ja pienten puiden runkomuotoa. Nyt saadut tulokset vastaavat molempia mainittuja havaintoja.

513. Latvussuhde

Keskimääräinen latvussuhde eli elävän latvuksen osuus puun koko pituudesta oli sitä suurempi, mitä voimakkaammin koealoja oli käsitelty (kuva 14). Suurimmat latvukset olivat kasvatustiheyksien 1600, 1000 ja 700 kpl/ha metsiköissä. Valtapuilla latvusten pituuserot olivat pienempiä kuin vallituissa latvuskerroksissa, joissa ne suurimmillaan olivat yli 20 %-yksikköä. Valtapuilla yleensä oli pitempi latvus kuin vallituilla. Mitä tiheämpi puusto oli, sitä suurempi ero latvuksen pituudessa oli. Koepuiden keskimääräiset latvuksen osuudet pienenivät noin 5—10 %-yksikköä 10 vuoden tarkastelujakson aikana.

Kellomäki & Tuimala (1981) havaitsivat, ettei rungon karsiutumisnopeus riippunut metsikön tiheydestä suoraviivaisesti, vaan karsiutuminen hidastui tiheyden kasvaessa. Vuokilan (1968) mukaan männyllä latvussuhteen tulisi olla vähintään 40 % pyrittäessä maksimaaliseen kasvuun. Kaikkien nyt tarkasteltavien koealojen keskimääräiset latvussuhteet olivat tätä suurempia.

52. Luokka-asteikolla mitatut ominaisuudet

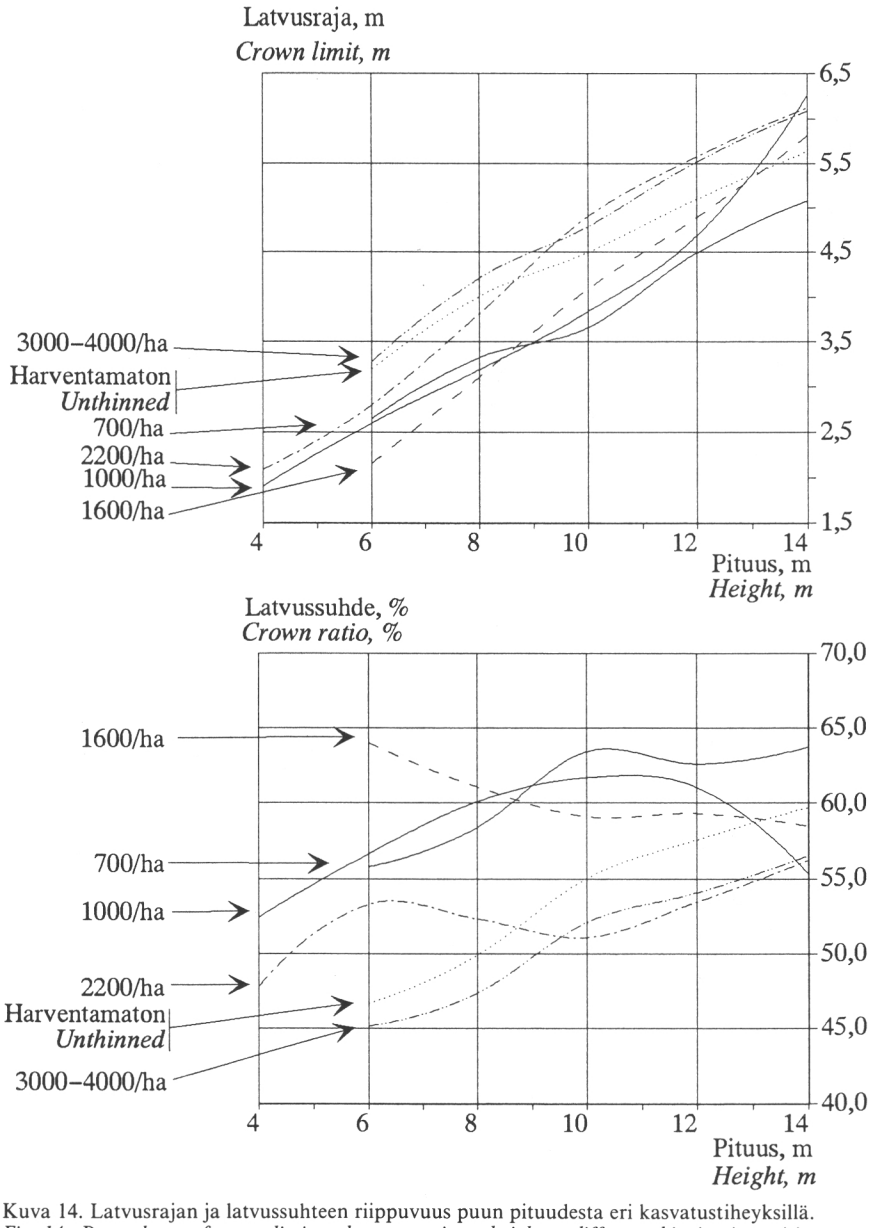
521. Tekninen laatu ja terveys

Noin joka kahdeksas koemetsiköiden päävaltapuu luokitettiin oksaiseksi (taulukko 1). Oksaisuus heikensi eniten voimakkaasti harvennettujen koealojen päävaltapuiden teknistä laatua (taulukko 2). Myös luonnontilaisilla koealoilla valtapuut olivat suhteellisen oksaisia. Lisävaltapuut olivat ulkoiselta laadultaan päävaltapuita parempia. Heiskasen (1965) mukaan tyvitukin laadun kannalta keskikokoiset puut ovat yleensä parhaita. Lisävaltapuiden ja etenkin välipuiden teknistä laatua heikensi eniten mutkaisuus. Silmänvaraisen luokittelun perusteella puiden tekninen laatu oli paras tiheyksissä 3000—4000 kpl/ha.

Pää- ja lisävaltapuut luokitettiin lähes poikkeuksetta luokkaan terve (taulukot 3 ja

Taulukko 1. Puuston tekninen laatu latvuskerroksittain.
Table 1. Technical quality of the stems in different crown classes.

tekninen laatu *Technical quality*	puuluokka *Tree class* päävaltapuut *Dominant*	lisävaltapuut *Codominant*	välipuut *Intermediate*
	osuus (%) — *Percentage*		
normaali *Normal*	80,7	86,2	78,0
oksainen *Branchy*	10,3	2,3	0,4
mutkainen *Crooked*	6,0	9,0	16,4
haarainen *Forked*	0,7	1,5	2,4
oks., mutk. ja haar. *Branchy, crooked and forked*	2,3	1,0	1,0
runko katkennut *Stem broken*	0,0	0,1	1,0
Koepuita/ha *Sample trees/ha*	7460	3602	1648



Kuva 14. Latvusrajan ja latvussuhteen riippuvuus puun pituudesta eri kasvatustiheyksillä.
Fig. 14. Dependence of crown limit and crown ratio on height at different thinning intensities.

4). Taulukossa 4 määrittelemättömät ja sairaat puut kuuluvat vallittuihin latvuskerroksiin. Hieman yllättävää on kuolleiden puiden suuri määrä kasvatustiheyksillä 3000—4000 kpl/ha. Tähän luokkaan kuului koealoja aina tiheyteen 4100 kpl/ha, joka tiheys yli 10 metrin valtapituusvaiheessa olevissa koealoissa johti vallittujen puiden heikkenemiseen. Luonnontilaisilla koealoilla kuolleiden puiden suuri määrä oli odotettavissa.

Taulukko 2. Valtapuiden tekninen laatu eri kasvatustiheyksillä.
Table 2. The quality of the dominant trees at different thinning intensities.

tekninen laatu *Techical quality*	runkoluku/ha — *Stems/ha* 700		1000		1600	
	puuluokka — *Tree class* 1	2	1	2	1	2
	osuus (%) — *Percentage*					
normaali *Normal*	78,4	79,3	72,1	84,0	75,5	84,7
oksainen *Branchy*	14,2	10,3	17,0	5,0	12,4	2,7
mutkainen *Crooked*	7,4	6,9	7,1	9,2	7,4	8,7
haarainen *Forked*	0,0	3,4	0,8	1,4	1,4	2,0
oks., mutk. ja haar. *Branchy, crooked and forked*	0,0	0,0	3,1	0,0	3,3	1,8
runko katkennut *Stem broken*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2

tekninen laatu *Techical quality*	runkoluku/ha — *Stems/ha* 2200		3000—4000		harventamaton *Unthinned*	
	puuluokka — *Tree class* 1	2	1	2	1	2
	osuus (%) — *Percentage*					
normaali *Normal*	83,3	93,8	83,3	87,9	81,6	82,5
oksainen *Branchy*	10,4	2,4	8,8	1,3	8,1	1,9
mutkainen *Crooked*	3,9	2,4	6,4	8,7	6,2	12,7
haarainen *Forked*	0,6	1,2	0,7	1,9	0,5	1,1
oks., mutk. ja haar. *Branchy, crooked and forked*	1,8	0,0	1,0	0,2	3,6	1,7
runko katkennut *Stem broken*	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1

1 = päävaltapuut, 2 = lisävaltapuut
1 = dominant trees, 2 = codominant trees

Taulukko 3. Puuston terveydentila latvuskerroksittain.
Table 3. Tree condition in different crown classes.

terveydentila *Condition*	puuluokka — *Tree class* päävaltapuut *Dominant*	lisävaltapuut *Codominant*	välipuut *Intermediate*
	osuus (%) — *Percentage*		
terve *Healthy*	99,8	99,3	94,2
kuollut *Dead*	0,1	0,2	1,4
sairas *Diseased or damaged*	0,1	0,3	2,7
kuiva latva *Top dry*	0,0	0,2	0,1
kuoleva *Dying*	0,0	0,1	1,6

Taulukko 4. Puuston terveydentila eri kasvatustiheyksillä.
Table 4. Condition of the dominant trees at different thinning intensities.

terveydentila *Condition*	runkoluku/ha — *Stems/ha* 700	1000	1600	2200	3000—4000	harventamaton *Unthinned*
	osuus (%) — *Percentage*					
terve *Healthy*	100,0	99,3	99,3	82,9	88,2	82,8
kuollut *Dead*	0,0	0,1	0,1	1,2	3,2	9,5
sairas *Diseased or damaged*	0,0	0,4	0,5	0,5	0,8	5,8
kuiva latva *Top dry*	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
kuoleva *Dying*	0,0	0,3	0,0	0,1	0,5	1,8
ei määritelty *Undefined*	0,0	0,0	0,0	15,3	7,2	0,0

6. Ensiharvennus

61. Ensiharvennuksen kuvaus

Kaupallisen ensiharvennuksen edellyttämä leimaus tehtiin viimeisen mittauksen yhteydessä valtapituuden ollessa noin 12 metriä. Puustotunnukset on laskettu erikseen poistettavalle ja jäävälle puustolle. Poistettavat puut valittiin alaharvennusperiaatteella.

Varsinaisia ensiharvennuksia tehtiin 20 koealalla. Lisäksi 10 koealalla on poistettiin lähinnä vikaisia, vaurioituneita tai kuolleita puita. Harvin kasvatusasento, jossa tehtiin varsinainen ensiharvennus, oli 1600 kpl/ha. Tällöinkin vain yksi koeala harvennettiin tiheyteen 800 kpl/ha. Luonnontilaisilla koealoilla ei tehty ensiharvennuksia.

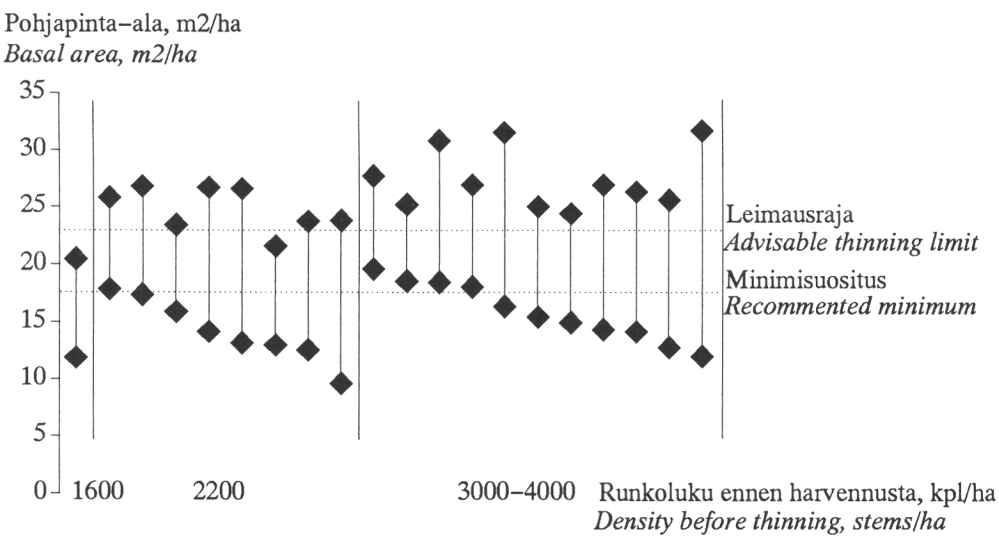
Taimikkovaiheessa samaan tiheyteen saatetut koealat ensiharvennettiin riukuvaiheessa eri voimakkuuksiin. Tavoitteena oli käyttää vaihtelevia harvennusohjelmia, joiden vertailuun koemetsiköitä voitaisiin jatkossa käyttää. Ensiharvennuksessakin pyrittiin laajaan tiheysvaihteluun.

Kahta koealaa lukuunottamatta puuston pohjapinta-ala ylitti 12 metrin pituusvaiheessa Kml-Tapion harvennusmallien (1989) leimausrajan. Tiheimmissä asennoissa puustot olivat jo kärsineet ylitiheydestä. Harvennukset olivat tarkoituksellisesti osin nykysuosituksista poikkeavia, joten useimmilla koealoilla leimauksen jälkeinen pohjapinta-ala jäi hieman mallien minimisuosituksen alapuolelle. Suositeltujen kasvatusohjelmien (Tapion ...1986, Vuokila 1983) mukaan valtapituuden ollessa 12 m pohjapinta-alan leimausraja on 23 m^2/ha, minimi leimauksen jälkeen 17 m^2/ha ja minimi korjuun jälkeen 15 m^2/ha (kuva 15).

62. Poistuman määrä ja rakenne

Harvennetuista 20 koealasta 19 täytti ensiharvennukselle yleisesti asetetun 30 m^3:n hehtaarikohtaisen käyttöpuupoistumatavoitteen. Koealoittain poistumat vaihtelivat 14—104 m^3/ha keskiarvon ollessa 58 m^3/ha (taulukko 5).

Poistuman tarkempi rakenne selviää kuvasta 16, jossa on esitetty harvennuskertymän jakautuminen eri järeysluokkiin, kun poistettavien runkojen määrä vaihtelee. Kuvassa 16 ensimmäinen pylväs kuvaa puuston jakautumista järeysluokkiin ennen harven-



Kuva 15. Pohjapinta-ala ennen ja jälkeen ensiharvennuksen.
Fig. 15. Basal area before and after the first commercial thinning.

Taulukko 5. Ensiharvennuspoistumat.
Fig. 5. The drain in the first commercial thinning.

N = runkoluku kpl/ha, G = pohjapinta-ala m^2/ha, V = runkotilavuus m^3/ha, Hg = pohjapinta-alalla painotettu keskipituus m, Dg = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta cm, N % = osuus runkoluvusta, Vstm = kuiturunkojen keskitilavuus dm^3.
N = Stems/ha, G = Basal area m^2/ha, V = Stem volume m^3/ha, Hg = Mean height weighted by basal area, Dg = Mean breast height diameter weighted by basal area, N % = Percentage of stems, Vstm = Mean size of pulpwood stems dm^3.

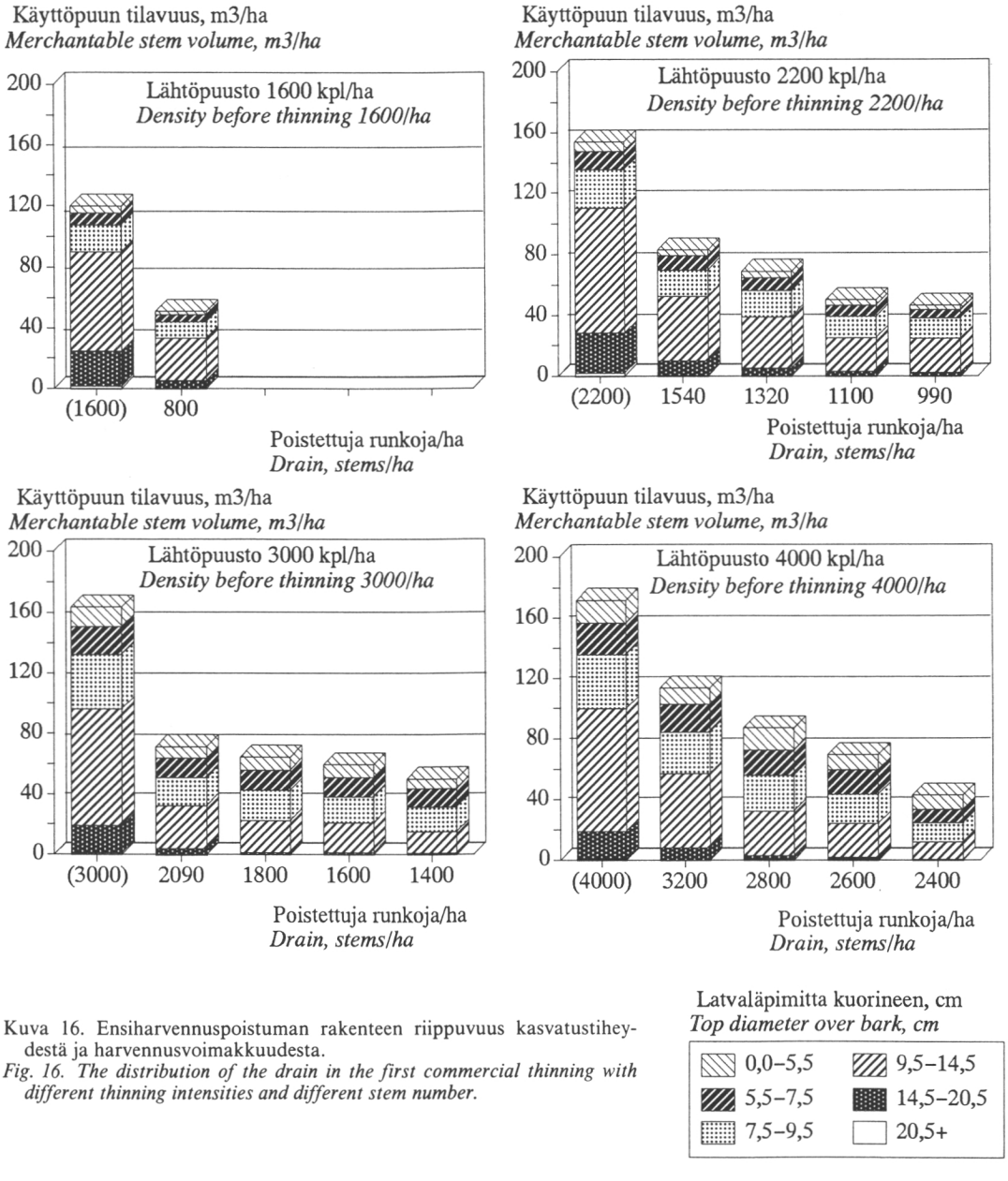
Puusto ennen harvennusta *Before thinning*						Puusto harvennuksen jälkeen *After thinning*					Poistettu puusto *Drain*						
N	G	V	Hg	Dg	Vstm	N	G	V	Hg	Dg	N	G	V	Hg	Dg	N %	Vstm
1600	20,5	123,6	11,6	13,2	71	800	11,9	72,7	11,8	14,1	800	8,6	50,8	11,2	12,1	50	61
2200	25,0	153,0	11,5	13,1	69	660	9,6	58,7	11,8	14,7	1540	14,2	83,1	10,6	11,8	70	55
						880	13,3	83,9	12,1	14,6	1320	11,4	69,1	11,1	11,2	60	50
						1100	17,4	108,2	11,9	14,8	1100	9,2	53,6	10,7	11,4	50	51
						1210	17,0	108,7	12,2	13,9	990	7,6	46,9	11,2	10,6	45	51
3000	27,2	163,9	11,3	11,9	53	900	12,8	78,3	11,7	14,6	2100	12,8	72,0	10,3	10,3	70	38
						1200	14,7	92,1	11,9	12,9	1800	11,3	66,7	10,6	9,5	60	36
						1350	18,6	114,4	11,7	13,6	1650	10,6	59,5	10,4	9,5	55	34
						1650	18,9	120,4	12,0	12,7	1350	8,4	50,0	10,8	9,3	45	34
4000	39,6	174,0	10,9	11,4	52	800	12,1	76,7	12,0	14,2	3200	19,7	113,7	10,6	10,5	80	41
						1200	16,4	102,3	11,9	13,6	2800	15,2	86,9	10,5	9,6	70	38
						1400	18,5	118,0	12,0	13,4	2600	12,3	69,9	10,4	9,3	65	32
						1600	15,0	86,1	10,6	11,6	2400	9,4	42,9	8,7	8,1	60	28

nusta. Muilta osin kuvassa esitetään todellisista, koejakson lopussa tehdyistä harvennuksista laskettuja keskimääräisiä kertymiä.

Suurin osa poistumasta oli järeydeltään luokkaa 9,5—14,5 cm. Sen määrä on suurin lähtöpuuston ollessa 2200 kpl/ha. Hukkapuun osuus suureni selvästi lähtöpuuston tiheyden ollessa 3000 kpl/ha tai enemmän. Myös järeysluokan 5,5—7,5 cm eli juuri käyttöpuun mitat täyttävää puuta saatiin eniten tiheinä kasvaneilta koealoilta. Pelkästään ensiharvennuksessa saatavan käyttöpuun määrän kannalta edullisimmalta vaikuttaa kasvatustiheys 4000 kpl/ha.

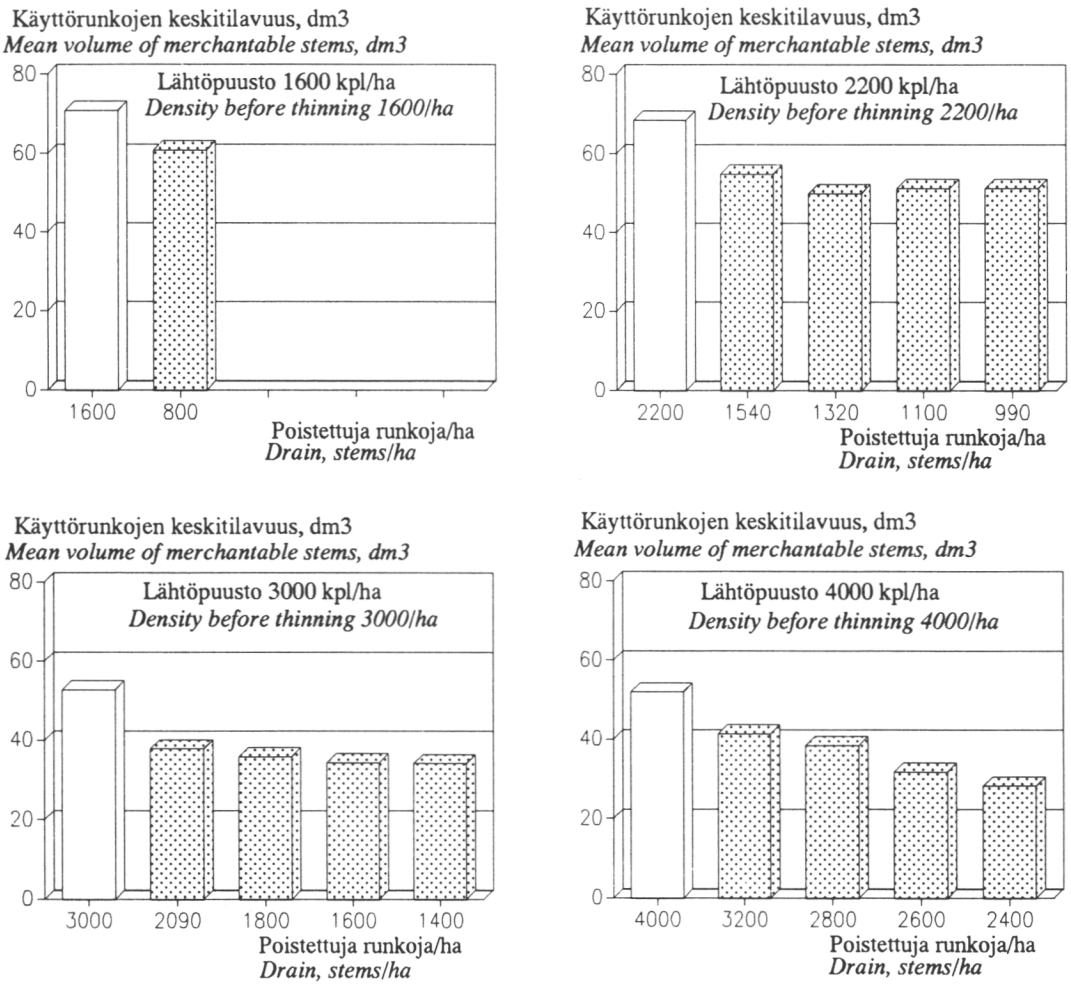
Ensiharvennusten kannattavuuteen vaikuttaa kertymän määrän ohella myös poistettavien puiden koko. Ensiharvennuksessa poistettavien puiden keskikoko oli Vuokilan (1976) tutkimuksessa 24—27 dm^3. Se voi olla jopa 50—60 dm^3, jos taimikkoa on jo aikaisessa vaiheessa harvennettu tiheyteen 2000 kpl/ha tai alle (Vuokila 1981).

Tässä tutkimuksessa poistettujen puiden käyttöosan (minimiläpimitta 5,5 cm kuori-



Kuva 16. Ensiharvennuspoistuman rakenteen riippuvuus kasvatustiheydestä ja harvennusvoimakkuudesta.
Fig. 16. The distribution of the drain in the first commercial thinning with different thinning intensities and different stem number.

neen, minipituus 2 m) keskitilavuus oli yli 50 dm^3 kolmella koealalla, joiden kasvatustiheys oli noin 2200 kpl/ha (kuva 17). Poistettujen runkojen keskikoko riippui lähtöpuuston järeyden lisäksi harvennusvoimakkuudesta. Mitä voimakkaammin harvennetaan, sitä useammin poistetaan myös järeitä, ylimpiin latvuskerroksiin kuuluvia puita.



Kuva 17. Kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuus ensiharvennuksessa.
Fig. 17. The mean size of pulp wood stems with respect to stem number in different thinning intensities.

7. Päätelmät

Metsiköiden pituuskehitys ei riippunut kasvatustiheydestä. Taimikon harventaminen nopeutti järeytymistä. Erityisen selviä järeytymiserot olivat tiheyksillä 700, 1000 ja 1600 kpl/ha. Puuston tilavuuskasvu oli sitä suurempi, mitä korkeampi oli puustopääoma. Harventamattomilla koealoilla vallitut puut alkoivat kuolla valtapituuden ollessa hieman alle 10 metriä. Koealoilla ei esiintynyt luonnonpoistumaa, jos niitä oli harvennettu edes lievästi. Ensiharvennusvaiheessa selvästi eniten puuta oli tiheyksiin 2200—4000 kpl/ha harvennetuilla koealoilla, joiden väliset erot olivat kuitenkin pieniä.

Ensiharvennuksen kannalta suositeltavin taimikon kasvatustiheys vaihtelee käyttöpuulle asetettavan läpimittavaatimuksen mukaan. Jos ensiharvennuksessa halutaan mahdollisimman paljon käyttöpuuta (latvaläpimitta vähintään 5,5 cm, pituus vähintään 2 m), taimikonharvennus on tehtävä erittäin lievänä. Tällöin on mahdollista päästä aina 80—90 m^3/ha:n käyttöpuukertymiin, jos ensiharvennuksessa jätetään 800—1200 runkoa

hehtaarille. Haittapuolena on se, että poistettavien kuiturunkojen keskitilavuus on 10—15 dm^3 pienempi kuin harvempana kasvaneissa metsiköissä. Jos ensiharvennuksessa halutaan määrältään ja järeydeltään kohtuullinen käyttöpuukertymä, valtapituudeltaan 7 metrin taimikko on syytä harventaa noin 2000—2200 kpl/ha:n tiheyteen. Jos taimikon harvennetaan vieläkin voimakkaammin, kokonaiskasvu pienenee selvästi eikä ensiharvennusta ole syytä tehdä ainakaan vielä 12 m:n valtapituusvaiheessa. Jos halutaan kasvattaa nopeasti järeää puuta kokonaiskasvusta ja kertymästä tinkien, voidaan myöhäiseen vaiheeseen jäänyt taimikonharvennus tehdä erittäin voimakkaana. Jos taimikkoon jätetään noin 600—700 kpl/ha, ei harvennuksia enää tarvitse eikä voikaan tehdä. Tämän tutkimuksen koealoilla ei havaittu voimakkaasta taimikon harvennuksesta aiheutuneita haittoja esim. puiden terveydentilassa.

Tämän tutkimuksen koemetsiköt eivät olleet kovin oksikkaita. Pääsyynä tähän on myöhäinen taimikonharvennus, joka tehtiin vasta 7 m:n pituusvaiheessa. Tähän saakka kaikkien koemetsiköiden tiheydet olivat olleet yli 3000 kpl/ha. Voimakas taimikon käsittely heikensi puuston teknistä laatua ensiharvennukseen mennessä hieman. Valtapuiden suurin ongelma oli oksikkuus, vallittuja puita vaivasi sen sijaan mutkaisuus. Tiheä kasvatusasento johti parempaan puiden tekniseen laatuuun aina tiheydelle 3000 kpl/ha saakka, mitä suuremmilla tiheyksillä ei enää ollut vastaavaa merkitystä. Yli 2200 kpl/ha tiheydellä ei ollut merkitystä valtapuiden tekniselle laadulle. Puun rinnankorkeusläpimitta ja paksuimman oksan läpimitta olivat selvästi yhteydessä toisiinsa. Paksuimmat oksat löytyivät voimakkaimmin käsitellyiltä koealoilta, joilla myös puut olivat järeimpiä. Metsänhoidollisessa mielessä myöhäiset taimikon käsittelyt voidaan tehdä voimakkaana puiden teknisen laadun siitä kärsimättä.

Kirjallisuus

Andersson, S.O. 1952. Några synpunkter på röjning i naturliga föryngringar. Meddelande från Statens skogsforskningsinstitut. Serien uppsatser 25. 10 s.

— 1961. Om märgborrfaran vid röjningar. Statens skogsforskningsinstitut. Uppsatser 84. 6 s.

— 1968. Röj för mer virke. Skogshögskolan. Institution för skogsföryngring. Rapport och Uppsatser 13. 4 s.

— 1975. Röjning i tall- och granskog. Skogsfakta från Skogshögskolan 4. 4 s.

Eklund, B. 1956. Ett förbandsförsök i tallskog. Summary: An experiment on sowing and planting pine with different spacing. Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut 46(10). 98 s.

Elfving, B. 1975. Volym och struktur i ogallrade tallbestånd. Summary: Volume and structure in unthinned stands of Scots pine. Rapporter och Uppsatser 35. Institution för skogsproduktion. Skogshögskolan. 128 s.

Eriksson, H. 1965. Studier över höjdtillväxten hos tall och gran i södra Sverige. Licenciatavhandling. Skogshögskolan. 134 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 Iggesund Bruk in central Sweden. Rapporter och uppsatser. Institution för skogsproduktion. Sveriges lantbruksuniversitet 13. 248 s.

Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. Silva Fennica 19(4): 377—385.

Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Konekirjoite. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. 38 s.

Heiskanen, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relation between the development of early stage and the thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta Forestalia Fennica. 80(2). 62 s.

Huhta, S. & Meriluoto, M. 1980. Metsän kasvupaikkojen luokitus. Metsänarvioimistieteen seminaariesitelmä. Konekirjoite. Helsingin Yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 20 s.

Hägglund, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Rapporter och Uppsatser 39. Institution för skogsproduktion. Skogshögskolan. 66 s.

Ilvessalo, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Keskusmetsäseura Tapio. 148 s.

Jakkila, J. & Pohtila, E. 1978. Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa. Summary: Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland. Folia Forestalia 360. 27 s.

Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvatustiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyn taimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. Folia Forestalia 508. 12 s.

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 Forestalia Fennica 71(3). 78 s.

Kellomäki, S. & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. Folia Forestalia 478. 27 s.

— & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 139. 38 s.

Kärkkäinen, M. & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Summary: Factors affecting the quality of young pines. Folia Forestalia 515. 28 s.

Laasasenaho, J. 1973. Unequal probability sampling by DBH cumulator. Seloste: Koepuiden valinta kuutiomäärän summaajalla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 79(6). 20 s.

Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1982. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 96. 175 s.

Nyyssönen, A. 1952. Puiden kasvusta ja sen määrittämisestä harsintamänniköissä. Summary: On tree growth and its ascertainment in selectively cut Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(4). 20 s.

Näslund, B-Å. 1983. Tallsådders utveckling fram till första gallring. Resultat från tre försöksytor med och utan enkelställning. Summary: Development of Scots pine seeded plantations to first thinning. Results from three experimental plots with and without release-cutting. Rapporter och uppsatser 8. Institution för skogsskötsel. Sveriges lantbruksuniversitet. 147 s.

Näslund, M. 1971. Nytt material för skoglig produktionsforskning. Studia Forestalia Suecica 89. 124 s.

Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia Forestalia 346. 40 s.

Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Rapporter och uppsatser 42. Instution för Skogsproduktion. Skogshögskolan. 122 s.

— 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapporter och uppsatser 45. Instution för skogsproduktion. Skogshögskolan. 152 s.

Petterson, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut. 45. 1A. 391 s.

Scheffe, H. 1959. The Analysis of Variance. John Wiley & Sons. Inc. New York. 477 s.

Sirén, G. 1956. Männyn taimistojen käsittelystä. Summary: The treatment of pine seedling stands. Metsätaloudellinen aikakauslehti 1:5—12.

Tapion Taskukirja. 1986. 20. painos. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 594 s.

Thernström, P-O. 1982. Några resultat från sex röjningsförsök med röjning i tallungskog vid olika beståndsålder. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institution för Skogsproduktion. 70 s.

Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimikkojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia Forestalia 451. 21 s.

— 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s.

— 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatin tutkintoa varten. Helsingin Yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 74 s.

Vestjordet, E. 1977. Avstandsregulering av unge furu-og granbestand: I: Materiale. stabilitet, dimensjonfordeling, m.v. Summary: Precommercial thinning of young stands of Scots pine and Norway spruce: I: Data, stability, dimension distribution, etc. Norsk Institutt for Skogsforskning. 33(9). s.314—436.

Vuokila, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia Forestalia 141. 36 s.

— 1976. Ensiharvennuskertymä. Summary: Yield from the first thinning. Folia Forestalia 264. 12 s.

— 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 256 s.

— 1981. Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen. Summary: The growth reaction of young pine stands to the first commercial thinning. Folia Forestalia 468. 13 s.

— 1983. Viljelymetsiköiden harvennusmallit. Sammanfattning: Gallringsmallar för odlad bestånd i Finland. Summary: Thinning models for forest cultures in Finland. Folia Forestalia 556. 15 s.

— 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 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.

Total of 44 references

Summary

Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning

The aim of the study was to explain the results of thinnings carried out in Scots pine stands at a dominant height of 7 m. The material was obtained from 64 sample plots in three thinning experiments. The densities of the sample plots varied from 600 to 13000 stems/ha. The sample plots have been measured at dominant heights of 7, 9.5 and 12 meters (age 19, 25 and 30 years). The last measurements were made at the dominant height of 12 meters at the time when the first commercial thinning was carried out on 20 of the sample plots. Attention was also paid to the growth intercept as an indicator of site index. The stands have been established through seeding on sites of the Vaccinium site type.

The height growth of the trees was independent of the thinning intensity, but thinning increased the mean diameter especially when the density was under 2200 stems/ha. The increase in total volume was the greater, the higher the growing stock level. On the unthinned plots dominated trees began to die when the dominant height was slightly below 10 meters. If mortality is excluded the total volume increment was highest when the density was 2200—4000 stems/ha, but the differences were rather small.

The most preferable density from precommercial thinning to the first commercial thinning depends on the allowable minimum size of merchantable wood. If the aim is to obtain maximum yield of merchantable wood in the first commercial thinning (minimum top diameter 5.5 cm and minimum length of pulpwood 2 m) the precommercial thinning should be very light. In this case a drain of around 80—90 m^3/ha is possible in the first commercial thinning, but the mean size of pulp wood stems would be 30 to 40 dm^3. If large-sized merchantable wood is preferred (the mean size of pulp wood stems 45 to 55 dm^3), the density after precommercial thinning should be 2000—2200 stems/ha. If precommercial thinning is even more intensive then the total volume increment decreases clearly and the first commercial thinning should not be carried out at 12 meters dominant height but later.

Intensive thinning decreases slightly the technical quality of stems. The dominant trees are branchy and the codominant and dominated trees crooked when compared to the other crown layers. The best results were achieved when the density between precommercial thinning and the first commercial thinning was 3000—4000 stems/ha, although the diameter of the thickest branches also remained under 30 mm on those plots with a density of under 1000 stems/ha. Densities of over 2200 stems/ha after precommercial thinning had only a slight effect on the quality of the dominant trees. It seems that even densities 600—1600 stems/ha after the precommercial thinning will not reduce the quality of timber noticeably if the precommercial thinning is carried out in the dominant height stage of 6—7 meters.

Liite 1. Tutkimusaineiston yleistiedot.
Appendix 1. General information about the material.

Metsikön numero *Number of stand*	1	2	3
Sijaintikunta *Location*	Virrat	Mänttä	Valkeala
Pohjoista leveyttä *Latitude*	6900	6886	6782
Itäistä pituutta *Longitude*	336	370	491
Korkeus merenpinnasta *Height above sea level*	140 m	130 m	90 m
Lämpösumma *Temperature sum, dd*	1080	1110	1200
Metsätyyppi *Forest site type*	VT	VT	VT
Syntytapa *Mode of regeneration*	kylvö 1952 ja –53 *seeding 1952 and –53*	kylvö 1953 *seeding 1953*	kylvö 1955 *seeding 1955*
Runkoluku, kpl/ha *Number of trees/ha*	3630–12540	2170–4210	675–3739
Kokeen perustamisajankohta *Experiment established*	10.1971	10.1971	08.1973
Perustamisikä *Age at establishment, y*	19	18	19
Koealojen lukumäärä *Number of plots*	22	11	31
Aiemmat toimenpiteet *Earlier measures*	perkaus 1962 *cleaning of sapling stand 1962*	harvennus 1971 *precommercial thinning 1971*	kulotus 1954, perkaus 1963 *prescribed burning 1954, cleaning of sapling stand 1963*
Omistaja *Owner*	Oy W.Rosenlew Ab	G.A. Serlachius Oy	Kymi–Strömberg Oy

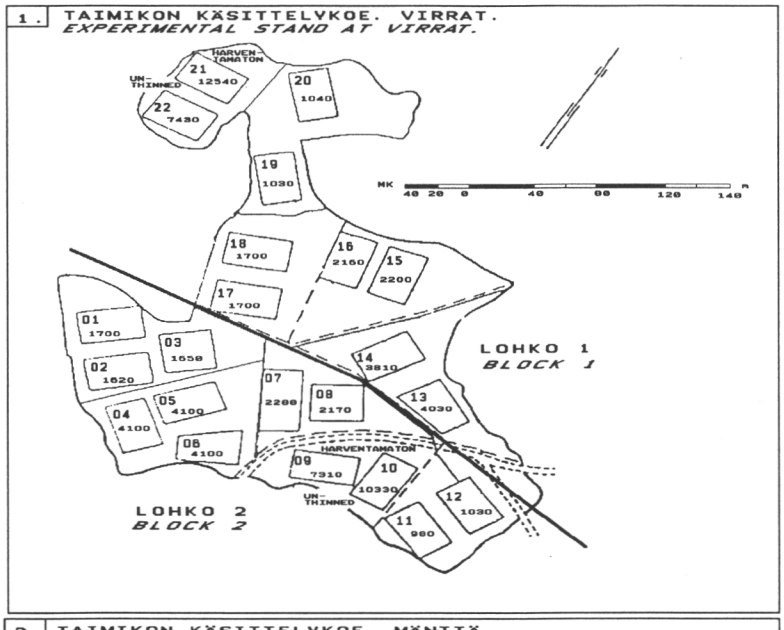
Metsiköiden puustotunnusten minimit, maksimit ja keskiarvot kokeen perustamishetkellä.
Minimum, maximum and mean values of stand parameters measured at the time the experiment was established.

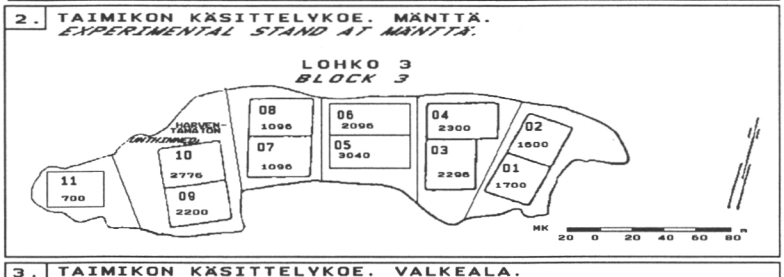
Metsikkö *Stand*	Runkoluku *Number of trees*	d1.3 *d1.3*	Pohjapinta–ala, m2/ha *Basal area, m2/ha*	Valtapituus, m *Dominant height, m*	Tilavuus, m3/ha *Volume, m3/ha*
(1) Virrat	980–10030	6.2–9.9	3.9–16.1	6.2–7.7	13.2–54.8
	(3078)	(7.9)	(9.5)	(7.0)	(32.1)
(2) Mänttä	700–3200	6.0–9.7	4.0–10.8	5.6–7.7	11.9–37.7
	(2054)	(7.6)	(7.2)	(6.9)	(24.9)
(3) Valkeala	488–3739	7.3–9.6	2.3–13.9	6.0–8.0	8.4–54.2
	(1955)	(8.2)	(8.1)	(6.8)	(29.1)

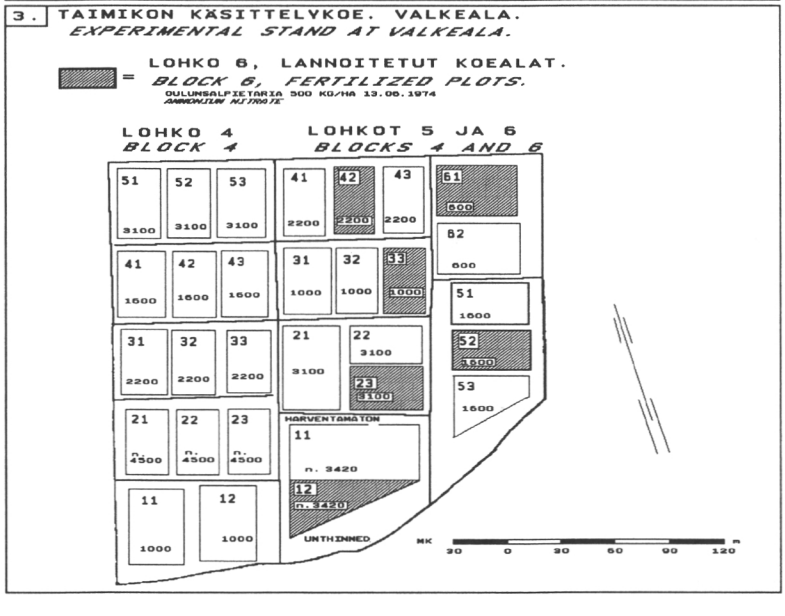
Metsiköiden puustotunnusten minimit, maksimit ja keskiarvot koejakson lopussa.
Minimun, maximum and mean values of stand parameters measured in the end of the experimental period.

Metsikkö *Stand*	Runkoluku *Number of trees*	d1.3 *d1.3*	Pohjapinta–ala, m2/ha *Basal area, m2/ha*	Valtapituus, m *Dominant height, m*	Tilavuus, m3/ha *Volume, m3/ha*
(1) Virrat	1000–6890	10.2–16.1	13.1–31.7	10.6–12.9	68.0–192.4
	(2837)	(12.7)	(23.2)	(12.0)	(133.7)
(2) Mänttä	710–3208	11.9–17.2	15.1–29.2	12.3–13.9	92.7–175.4
	(2053)	(13.7)	(23.0)	(12.8)	(141.5)
(3) Valkeala	631–3352	11.0–17.1	12.1–28.1	11.3–13.8	66.8–182.7
	(2017)	(13.8)	(20.4)	(12.6)	(123.4)

Liite 2. Taimikon käsittelykokeet.
Appendix 2. Experimental stands.







Liite 3. Varianssianalyysin tulokset.
Appendix 3. The results of the analysis of variance.

B = lohkojen väliset erot, T = käsittelyjen väliset erot
B = differences between blocks, T = differences between treatments

Pituusboniteetti-indeksien erot.
Differences in site index.

	Neliösumma	Vapausaste	Keskineliö	Testisuure	Riski-%
	Sum of squares	*D.F.*	*Mean squares*	*F-test value*	*Prob.*
Vakio K	18196	1	18196	9246.3	0.000
Constant K					
B/K	126.22	5	25.245	12.828	0.0
T/K,B	13.792	5	2.7584	1.4017	26.2
Jäännös	43.295	22	1.9679		
Residual					
Kokonaisvaihtelu	18379.	33	Mallin selitysaste	76.38 %	
Total variation			*Coefficient of determination*		

Vuotuisten pituuskasvujen erot.
Differences in the current annual height increments.

	Neliösumma	Vapausaste	Keskineliö	Testisuure	Riski-%
	Sum of squares	*D.F.*	*Mean squares*	*F-test value*	*Prob.*
Vakio K	7.8159	1	7.8159	14686.	0.000
Constant K					
B/K	0.24767E-01	5	0.49533E-02	9.3070	0.0
T/K,B	0.50600E-02	5	0.10120E-02	1.9015	13.5
Jäännös	0.11709E-01	22	0.53221E-03		
Residual					
Kokonaisvaihtelu	7.8574	33	Mallin selitysaste	71.81 %	
Total variation			*Coefficient of determination*		

Keskiläpimitan vuotuiskasvujen erot.
Differences in the current annual mean diameter increments weighted by basal area.

	Neliösumma	Vapausaste	Keskineliö	Testisuure	Riski-%
	Sum of squares	*D.F.*	*Mean squares*	*F-test value*	*Prob.*
Vakio K	7.355	1	7.3556	11212.	0.000
Constant K					
B/K	0.85895E-01	5	0.17179E-01	26.184	0.0
T/K,B	0.36322	5	0.72645E-01	110.73	0.0
Jäännös	0.14434E-01	22	0.65608E-03		
Residual					
Kokonaisvaihtelu	7.819	33	Mallin selitysaste	96.89 %	
Total variation			*Coefficient of determination*		

Liite 3. Varianssianalyysin tulokset (jatkuu).
Appendix 3. The results of the analysis of variance (cont.).

Pohjapinta-alan vuotuiskasvujen erot.
Differences in the current annual basal area increments.

	Neliösumma	Vapausaste	Keskineliö	Testisuure	Riski-%
	Sum of squares	*D.F.*	*Mean squares*	*F-test value*	*Prob.*
Vakio K	51.138	1	51.138	7457.1	0.000
Constant K					
B/K	0.51501	5	0.10300	15.020	0.0
T/K,B	0.98373	5	0.19675	12.690	0.0
Jäännös	0.15087	22	0.68577E-02		
Residual					
Kokonaisvaihtelu	52.788	33	Mallin selitysaste	90.85 %	
Total variation			*Coefficient of determination*		

Vuotuisten tilavuuskasvujen erot.
Differences in the current annual stem volume increments.

	Neliösumma	Vapausaste	Keskineliö	Testisuure	Riski-%
	Sum of squares	*D.F.*	*Mean squares*	*F-test value*	*Prob.*
Vakio K	2791.1	1	2791.1	4351.9	0.000
Constant K					
B/K	22.160	5	4.4321	6.9105	0.1
T/K,B	117.19	5	23.438	36.545	0.0
Jäännös	14.110	22	0.64135		
Residual					
Kokonaisvaihtelu	2944.6	33	Mallin selitysaste	90.81 %	
Total variation			*Coefficient of determination*		

Paksuimpien oksien läpimittojen erot.
Differences in the diameter of thickest branches.

	Neliösumma	Vapausaste	Keskineliö	Testisuure	Riski-%
	Sum of squares	*D.F.*	*Mean squares*	*F-test value*	*Prob.*
Vakio K	49.863	1	49.863	6018.0	0.000
Constant K					
B/K	0.10014E-04	1	0.10014E-04	0.12085E-02	97.4
T/K,B	0.90866	4	0.22716	27.417	0.4
Jäännös	0.33143E-01	4	0.82856E-02		
Residual					
Kokonaisvaihtelu	50.805	10	Mallin selitysaste	96.48	
Total variation			*Coefficient of determination*		

Liite 3. Varianssianalyysin tulokset (jatkuu).
Appendix 3. The results of the analysis of variance (cont.).

Scheffen testi mallille Z=VAKIO+LOHKO+KÄSITTELY+JÄÄNNÖS
Scheffe test for model Z=CONSTANT+BLOCK+TREATMENT+RESIDUAL

B = LOHKOJEN VÄLINEN ERO, T = KÄSITTELYJEN VÄLINEN ERO (T1 = 700 kpl/ha, T2 = 1000 kpl/ha T3 = 1600 kpl/ha, T4 = 2200 kpl/ha, T5 = 3000–4000 kpl/ha, T6 = harventamaton)
B = DIFFERENCE BETWEEN BLOCKS, T = DIFFERENCE BETWEEN TREATMENTS (T1 = 700 trees/ha, T2 = 1000 trees/ha, T3 = 1600 trees/ha, T4 = 2200 trees/ha, T5 = 3000–4000 trees/ha, T6 = unthinned)

Pituusboniteetti-indeksien erot.
Differences in site index.

Keskiarvo-pari *Means*	Erotus *Difference*	Eroamis-todennäköisyys *Probability*
B1–B5	4,9	99,9 %
B1–B6	3,2	95,6 %
B2–B4	2,0	54,6 %
B2–B5	5,2	100,0 %
B2–B6	3,5	98,0 %
B3–B5	4,9	100,0 %
B3–B6	3,2	96,8 %
B4–B5	3,3	96,6 %
B5–B6	–1,7	51,1 %
T1–T4	–2,4	63,0 %
T2–T4	–1,7	50,1 %
T3–T4	–1,9	63,1 %

Keskipituuden vuotuiskasvujen erot.
Differences in current annual height increment.

Keskiarvo-pari *Means*	Erotus *Difference*	Eroamis-todennäköisyys *Probability*
B1–B3	–0,04	85,3 %
B1–B4	0,04	72,2 %
B1–B5	0,03	55,1 %
B2–B3	–0,07	99,6 %
B3–B4	0,08	99,9 %
B3–B5	0,07	99,9 %
B3–B6	0,05	96,8 %
T2–T3	–0,03	56,7 %
T2–T4	–0.04	81,3 %
T2–T6	–0.03	50,5 %

Keskiläpimitan vuotuiskasvujen erot.
Differences in current annual mean diameter increment weighted by basal area.

Keskiarvo-pari *Means*	Erotus *Difference*	Eroamis-todennäköisyys *Probability*
B1–B3	–0,08	99,6 %
B1–B4	0,1	100,0 %
B2–B3	–0,08	99,8 %
B2–B4	0,09	99,9 %
B3–B4	0,2	0,0 %
B3–B5	0,09	100,0 %
B3–B6	0,07	99,3 %
B4–B5	–0,08	99,9 %
B4–B6	–0,1	100,0 %
T1–T2	0,1	99,9 %
T1–T3	0,2	100,0 %
T1–T4	0,3	100,0 %
T1–T5	0,3	100,0 %
T1–T6	0,3	100,0 %
T2–T3	0,09	99,9 %
T2–T4	0.2	100,0 %
T2–T5	0,2	100,0 %
T2–T6	0,2	100,0 %
T3–T4	0,08	99,9 %
T3–T5	0,1	100,0 %
T3–T6	0,1	100,0 %
T4–T5	0,06	98,6 %
T4–T6	0,06	96,5 %

Pohjapinta-alan vuotuiskasvujen erot.
Differences in current annual basal area increment.

Keskiarvo-pari *Means*	Erotus *Difference*	Eroamis-todennäköisyys *Probability*
B1–B4	0,3	99,9 %
B1–B5	0,3	99,9 %
B1–B6	0,2	97,5 %
B2–B4	0,2	99,1 %
B2–B5	0,2	98,6 %
B2–B6	0,1	79,1 %
B3–B4	0,3	100,0 %
B3–B5	0,3	100,0 %
B3–B6	0,2	98,8 %
T1–T2	–0,2	85,6 %
T1–T3	–0,4	100,0 %
T1–T4	–0,5	100,0 %
T1–T5	–0,5	100,0 %
T1–T6	–0,5	100,0 %
T2–T3	–0,2	98,1 %
T2–T4	–0,3	100,0 %
T2–T5	–0,4	100,0 %
T2–T6	–0,3	100,0 %
T3–T5	–0,2	93,7 %
T3–T6	–0,2	68,4 %

Liite 3. Varianssianalyysin tulokset (jatkuu).
Appendix 3. The results of the analysis of variance (cont.).

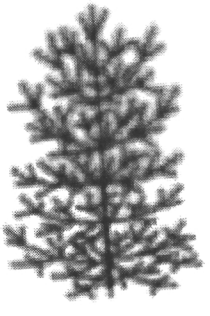
Vuotuisen tilavuuskasvun erot.
Differences in current annual stem volume increment.

Keskiarvo-pari *Means*	Erotus *Difference*	Eroamis-todennäköisyys *Probability*
B1–B2	1,1	59,3 %
B1–B4	1,6	87,0 %
B1–B5	2,3	99,4 %
B1–B6	1,7	92,7 %
B2–B5	1,1	60,5 %
B3–B4	1,4	78,4 %
B3–B5	2,1	99,0 %
B3–B6	1,4	87,3 %
T1–T2	–1,2	52,3 %
T1–T3	–3,0	99,8 %
T1–T4	–4,9	100,0 %
T1–T5	–5,5	100,0 %
T1–T6	–5,1	100,0 %
T2–T3	–1,8	96,2 %
T2–T4	–3,7	100,0 %
T2–T5	–4,2	100,0 %
T2–T6	–3,8	100,0 %
T3–T4	–1,9	98,2 %
T3–T5	–2,5	99,8 %
T3–T6	–2,1	99,1 %

Paksuimpien oksien läpimittojen erot.
Differences in diameter of thickest branches.

Keskiarvo-pari *Means*	Erotus *Difference*	Eroamis-todennäköisyys *Probability*
T1–T2	0,4	90,9 %
T1–T3	0,5	95,5 %
T1–T4	0,9	99,5 %
T1–T5	0,7	99,1 %
T2–T4	0,5	95,7%
T2–T5	0,4	89,7 %
T3–T4	0,4	91,2 %
T3–T5	0,3	76,8 %

V



Silva Fennica 1989, Vol. 23 N:o 4: 259 – 269

Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli

Martti Varmola

ABSTRACT: A MODEL FOR RING WIDTH OF PLANTED SCOTS PINE

Varmola, M. 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. Abstract: A model for ring width of planted Scots pine. Silva Fennica 23(4): 259–269.

Luston leveyttä rinnankorkeudella ennustetaan rungon säteellä rinnankorkeudella, puun asemaa metsikössä kuvaavalla läpimitan ja pohjapinta-alamediaaniläpimitan suhteella, metsikön pituusboniteetilla ja taimikon tiheydellä. Rinnankorkeusläpimitan ja kantoläpimitan välisen muuntomallin avulla voidaan ennustaa kannonkorkeuden keskimääräisiä lustonleveyksiä.

Aiempien tutkimusten mukaan puun laadussa on odotettavissa selvä parannus, kun keskimääräinen luston leveys ytimen läheisyydessä tyvileikkauksesta mitattuna pienenee 3:sta 2:een millimetriin. Tämän tutkimuksen mukaan männyn istutukseen soveltuvista maapohjista vain karuimmilla (VT–) luston leveys kannonkorkeudella jää paksuimmillakin puilla alle 3 mm:n nykyisillä kasvatustiheyksillä. Muilla kasvupaikoilla vaatimus alle 3 mm:n lustonleveyksistä aiheuttaa huomattavan kasvatustiheyden nostamisen nykyisestä ohjetasosta. Alle 2 mm:n keskimääräiseen lustonleveyteen ei rehevimmillä kasvupaikoilla päästä lainkaan alle 4000 runkoa/ha olevilla kasvatustiheyksillä ja karuimmillakin kasvupaikoilla vain runkolukusarjan ohuimmat puut täyttävät vaatimuksen alle 2 mm:n keskimääräisestä luston leveydestä.

Ring width at breast height is presented as a function of stem radius at breast height, the ratio between the diameter of a tree and the basal area median diameter, site index, and density of stand. By means of a conversion model ring width at stump height can be estimated as a function of ring width at breast height.

According to previous studies substantially better wood quality can be expected if mean ring width near the pith at stump height decreases from 3 to 2 mm. According to the present study only on the poorest sites suitable for pine planting (poor *Vaccinium* -type) is ring width less than 3 mm at stump height even in the thickest trees. On more fertile sites a substantial increase in the recommended planting density is required, if the mean ring width is aimed to be less than 3 mm. On the best sites it is impossible to reach mean ring widths of less than 2 mm, when the density is less than 4000 stems/ha. Only the thinnest trees on the poorest sites can have a mean ring width less than 2 mm.

Keywords: *Pinus sylvestris*, growth models, spacing, wood, quality.
ODC 56 + 232.43

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, Eteläranta 55, SF-96300 Rovaniemi, Finland.

Accepted October 25, 1989

1. Johdanto

Sahatavaran laatuun vaikuttavat oksaisuus, lenkous, järeys ja puuaineen lujuus. Näistä oksaisuus on tärkein sahatukkien laatua alentava tekijä. Erityisen haitallisia ovat kuivat ja lahot oksat. Lenkous vähentää lähinnä sahatavaran saantoa. Järeyden merkitys korostuu hyvälaatuisissa tukeissa.

Puun oksaisuus ja sitä kautta puuaineen laatu määräytyy pääasiassa nuoruusvaiheen kasvunopeuden perusteella. Suuri oksamassa merkitsee suurta yhteyttävää pinta-alaa ja nopeaa kasvua. Koska oksaisuuden mittaaminen tukista on vaikeaa, on kehitetty menetelmiä arvioida sahatavaran laatua luston paksuuden perusteella. Heiskanen (1954) totesi parhaaksi laadun ilmaisijaksi keskimääräisen luston leveyden tyvitukin kaatoleikkauksessa välillä 0-4 cm ytimestä. Myöhemmässä tutkimuksessa Heiskanen (1965) totesi puiden laadussa tapahtuvan selvän parannuksen, kun vuosiluston paksuus tyvileikkauksessa pieneni 3 tuuman matkalla ytimestä kolmesta kahteen millimetriin. Uusvaaran (1981b) mukaan vuosiluston leveyden ylittäessä kaatoleikkauksessa 3,5 mm ytimen läheisyydessä ei viljelymänniköistä saatu juuri lainkaan u/s-sahatavaraa. Toisaalta luston leveyden pieneneminen alle kahden millimetrin ei enää parantanut u/s-saantoa. Parhaaksi laatua selittäväksi tunnukseksi Uusvaara (1981a) totesi viljelymänniköissä lustojen keskimääräisen leveyden 75 millimetrin matkalla ytimestä. Halisen (1985) mukaan sahatavaran laatuluokkien välinen ero oli suurimmillaan mitattaessa luston leveyden keskiarvo väliltä 2–4 cm ytimestä.

Nylinder (1958) selitti oksan paksuutta rinnankorkeusvuosilustojen lukumäärällä välillä 2–4 cm ytimestä. Orvér (1970) havaitsi parhaaksi tunnukseksi vuosilustojen lukumäärän tyvitukin kaatoleikkauksessa välillä 2–4 cm ytimestä. Persson (1976) esitti laatuindeksifunktiot sekä kanto- että rinnankorkeusvuosilustojen leveyden perusteella.

Puutavaran mittauksen yhteydessä luston leveydet voidaan mitata kaatoleikkauksesta ja tähän perustuvatkin useimmat luston leveyden ja sahatavaran laadun välistä riippuvuutta koskevat selvitykset. Nuoruusvaiheen kasvunopeuteen vaikuttavien metsikkötietojen, esimerkiksi tiheyden, selvittäminen tukkipuista on kuitenkin mahdotonta.

Jos nuoruusvaiheen kasvunopeuteen vaikuttavia tekijöitä halutaan selvittää, se pitää tehdä pystypuiden avulla. Pystypuiden lustotiedot on mitattu useimmiten rinnankorkeudelta eikä kaatoleikkauksesta. Pääosa kasvuja tuotostutkimuksen sädekasvutiedoista koskee rinnankorkeusläpimitan kasvua. Tätä tietoa ei voida suoraan käyttää sahatavaran laadun ennustamiseen, kun laatua ennustetaan kaatoleikkauslustojen leveyden avulla. Tunnettaessa rinnankorkeus- ja kaatoleikkaussädekasvujen välinen riippuvuus sahatavaran laatua voidaan ennustaa myös rinnankorkeudelta mitattujen luston leveyksien perusteella.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää eri tekijöiden vaikutusta rinnankorkeudelta mitatun luston leveyteen männyn istutustaimikoissa. Ennustemallin avulla voidaan simuloida eri tilanteissa istutusmännyn sädekasvua rinnankorkeudella. Rinnankorkeussädekasvun ja kaatoleikkauksen sädekasvun välisen muuntofunktion avulla voidaan ennustaa kaatoleikkauksen luston leveyttä ja odotettavissa olevaa sahatavaran laatua.

Tutkimus on tehty Suomen Sahanomistajayhdistyksen aloitteesta. Se on myös pääosin rahoittanut työn. Tutkimuksen aineistot on kerätty Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnalla.

2. Aineisto

Aineisto on neljää pohjoisinta metsälautakuntaa lukuunottamatta sama, jota käytettiin männyn istutustaimikoiden ulkoista laatua selvittäneessä tutkimuksessa (Varmola 1980). Em. tutkimuksessa on esitetty yksityiskohtaisesti aineiston yleispiirteet ja mittausmenetelmä. Kustakin metsälautakunnasta (2–13, 15) valittiin mittauksen kohteeksi viisi taimikkoa. Jokaisessa taimikossa mitattiin 5–10 koealaa. Koealan keskipisteenä oli ns. keskuspuu, joita oli yhteensä 296.

Normaalien koepuutietojen ja lukuisten ulkoista laatua kuvaavien tunnusten lisäksi keskuspuista kairattiin lastu rinnankorkeudelta eteen sattuvalta puolelta. Luston leveydet mitattiin lastusta lustomikroskoopilla 0,01 millimetrin tarkkuudella. Lustomittauksista saatiin selville puiden rinnankorkeusikä. Toisaalta puista oli mitattu rinnankorkeusikä myös oksakiehkuroiden perusteella. Lustoista mitattu ikä osoittautui systemaattisesti suuremmaksi kuin kiehkuroista mitattu. Ero oli keskimäärin 1,7 vuotta. Syynä eroon saattoivat olla toisaalta lustojen lukumäärää lisäävät valelustot ja toisaalta kiehkuroiden lukumäärää vähentävät latvakadot. Summaamalla luston-leveydet ja lisäämällä kaksinkertaiseen summaan mitattu kuorenpaksuus saatiin rinnankorkeusläpimitta. Se oli keskimäärin 5,8 mm pienempi kuin mittasaksilla mitattu. Osa erosta on lustoista puuttuvaa mittausvuoden kasvua, joka jätettiin huomiotta niitä mitattaessa.

Epätarkkuuksista huolimatta lustotiedot hyväksyttiin sellaisenaan analyysin lähtöaineistoksi. Edellä mainitut erot osoittivat kuitenkin ikämittausten vaikeudet sellaisissakin tilanteissa, joissa sekä vuosilustojen että oksakiehkuroiden odottaisi erottuvan selvästi. Puutunnusten keskiarvot, hajonnat, minimit ja maksimit olivat:

	$\bar{x}$	s	minimi	maksimi
d, cm	10,4	2,5	4,7	18,7
h, m	6,7	1,5	3,1	11,3
$t_{1,3}$, v	13	3	5	24

n = 296

Varsinaisen analyysiaineiston muodosti vuosittainen lustotieto. Näistä poistettiin ytimen leveys, koska sitä kuvaamaan kehitettiin oma malli. Lustohavaintoja oli kaikkiaan 3518. Vuosiluston leveyttä (i_r), kunkin kasvuvuoden alkuun saakka keräytynyttä sädettä (r) ja ytimen sädettä (y) kuvaavat tunnukset olivat:

	$\bar{x}$	s	minimi	maksimi	n
i_r, mm	3,47	1,43	0,26	8,33	3518
r, mm	21,9	15,3	0,37	85,3	3518
y, mm	2,13	1,17	0,37	6,79	296

Luston leveyden keskiarvo oli lähes 3,5 mm. Analyysiaineiston havainnot keskittyivät ytimen läheisyyteen ja säteen keskiarvo oli noin 2 cm maksimin ollessa 8,5 cm. Ytimen halkaisija oli keskimäärin 4,3 mm. Esim. Kilkki ja Varmola (1979) asettivat nuorten mäntyjen runkokäyriä laatiessaan latvan huipun läpimitaksi eli kuorelliseksi ytimeksi 5 mm.

Metsikön tiheys mitattiin mäntyjen lukumääränä kolmen metrin säteisellä ympyräkoealalla, jonka keskipisteenä oli koepuu. Se, että koealan keskipisteenä oli puu, aiheuttaisi yliarvion metsikön tiheyteen, jos puiden lukumäärää käytettäisiin sellaisenaan muutettaessa tiheyttä hehtaarikohtaiseksi. Simuloitujen istutustaimikoiden perusteella laadittiin malli hehtaarikohtaisen runkoluvun (N) ennustamiseksi puiden lukumäärän (lkm) ja kuolleisuuden avulla:

$$N = 199 + 338 \times (\text{lkm}) - 7{,}23 \times (\text{kuolleisuusprosentti}) \quad (1)$$

Koska istutustiheyksiä ei mittausten yhteydessä selvitetty, metsiköiden kuolleisuusprosenttien laskeminen ei ollut mahdollista. Kuolleisuusprosentti lienee keskimäärin ollut 20–30 %. Jatkotarkastelussa koealan puiden lukumäärää vastaavana hehtaarikohtaisena runkolukuna käytetään kuolleisuusprosentin 30 mukaisia runkolukuja.

Yli puolet koealoista oli mustikkatyypillä (taulukko 1). Vähiten havaintoja oli lehtomaiselta kankaalta. Keskimääräinen puiden lukumäärä koealalla oli 5,1 eli noin 1700 runkoa/ha. Puiden lukumäärä koealalla kasvoi kasvupaikan parantuessa. Tiheysvaihtelu kattoi runkolukualueen 300–3000 (=tiheysluokat 1–10).

Hägglundin välipituusmallilla (1976) estimoitujen pituusboniteettien mukainen koealojen kasvupaikkajakauma oli:

Taulukko 1. Koealojen jakaantuminen tiheysluokkiin eri kasvupaikoilla.
Table 1. The distribution of sample plots in different density classes on different sites.

Metsätyyppi *Forest site type*	Tiheysluokka, mäntyjä/koeala *Density class, number of pines per plot*											Yhteensä *In all*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	
OMT			3	4	9	11	9	2	5	1	1	45
MT	3	15	19	31	30	26	15	8	6	1		154
VT	1	11	14	23	18	17	12			1		97

H_{100}	20–21	22–23	24–25	26–27	28–29	30–31
n	3	25	100	119	42	7

Vuokilan ja Väliahon (1980) mukaan viljelymänniköiden metsätyypeittäiset vastinpituusboniteetit ovat: VT 21–24, MT 27 ja OMT 30. Pituusboniteeteilla arvioituna aineiston pääosa sijoittui mustikkatyypille ja hyvälle puolukkatyypille. Aineisto kattoi myös karun puolukkatyypin ja lehtomaisen kankaan kasvupaikat.

Puun asemaa metsikössä kuvattiin puun läpimitan suhteena pohjapinta-alamediaaniläpimittaan (d/D_{gM}). Runkolukusarjan ja keskiläpimitan selvittämiseksi mitattiin em. kolmen metrin säteisellä ympyrällä kaikkien puiden läpimitat 1 cm:n tasaavaa luokitusta käyttäen. Suhde d/D_{gM} oli keskimäärin 1,14, minimi 0,53 ja maksimi 2,28. Koepuut painottuivat siten hiukan keskimääräistä paksumpiin puihin. Puun sijaintia runkolukusarjassa suhteessa pohjapinta-alamediaaniläpimittaan käsitellään lähemmin alaluvussa 41.

3. Mallit

31. Vuosiluston leveys

Puun ja metsikön kasvua kuvaavat mallit ovat yleensä tulomuotoisia. Myös tässä tutkimuksessa päädyttiin tulomuotoiseen malliin. Selitettäväksi muuttujaksi valittiin vuosittainen kasvuindeksillä korjaamaton luston leveys. Aineiston havainnot muodostavat hierarkkisen rakenteen (taimikko > koepuut > lustot), joten havainnot eivät ole toisistaan riippumattomia, eikä t-testiä sinällään voi käyttää muuttujien valintakriteerinä. Selittävät muuttujat valittiin graafisen tarkastelun perusteella ja valinta tarkistettiin jäännösvaihtelukuvien perusteella.

Luston leveyttä (i_r, mm) parhaiten selittäviksi muuttujiksi todettiin kunkin kasvukauden alkuun mennessä keräytynyt säde (r, mm), puun asema metsikössä (d/D_{gM}), metsikön tiheys eli mäntyjen lukumäärä kolmen metrin säteisellä ympyräkoealalla (lkm), kasvupaikka (H_{100}) ja sädekasvuindeksi (IND) Tiihosen (1983, 1984 ja 1985) mukaan. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

selitettävä muuttuja $\ln(i_r)$, x=1,14 (2)

	kerroin	t-arvo		
vakio*	0,210797	0,68	R^2	0,297
$\ln(r+0,1)$	0,797684	27,68	s_m	0,492
$\sqrt{(r+0,1)}$	–0,409348	–25,29	s_f	0,412
d/D_{gM}	–0,537107	–4,00	$s_{e\%}$	43,1
$\ln(d/D_{gM})$	1,18491	7,66	$b_{e\%}$	–1,41
H_{100}	0,0355842	9,00	n	3518
lkm	–0,0288372	–7,59		
IND	0,00319211	5,81		

* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

jossa R^2 on mallin selitysaste, s_m selitettävän muuttujan keskihajonta, s_f mallin jäännöshajonta, $s_{e\%}$ mallin suhteellinen keskivirhe ja $b_{e\%}$ mallin systemaattinen virhe.

Mallin selitysaste oli melko alhainen. Tämä kuvaa sitä suurta vaihtelua, joka vuosilustoissa on nuorella iällä vuosittaisen kasvun sivuuttaessa maksimin. Systemaattinen virhe oli –1,41 %, absoluuttisena –0,041 mm. Harha aiheutui luston leveyden jonkin verran vinosta jakaumasta selittävien muuttujien suhteen.

Luston leveyden vaihtelusta suurimman osan selitti rungon kuoreton säde. Tämä on yhdenmukainen tulos verrattuna esimerkiksi pohjapinta-alan kasvumalleihin, joissa pohjapinta-ala ennen kasvujaksoa on yleensä paras kasvun selittäjä.

Luokittaisina keskiarvoina mitaten malli kulki harhattomasti selittävien muuttujien suhteen lukuunottamatta kasvuindeksiä, jonka suhteen mallilla saatiin muutamilla havainnoilla selvä yliarvio kasvuindeksin ollessa alhainen (kuva 1). Kasvuindeksin ollessa jonkin verran yli sadan malli antoi aliarvion. Kasvuindeksin huonoon selityskykyyn saattoi olla syynä se, että indeksit on laadittu pääasiassa vanhojen metsiköiden perusteella, joissa ilmaston vaikutus on suhteellisesti pienempi kuin nuorissa metsissä (Mikola 1950). Mallin laadinta-aineistossa kasvuindeksien keskiarvo oli 107. Indeksin mukaanotolla kyettiin joka tapauksessa jossain määrin korjaamaan keskimääräistä suotuisamman kasvujakson vaikutusta luston leveyteen.

Säteen ollessa yli 5 cm mallilla saatiin yliarvio luston leveydelle. Tämä aiheutui aineiston äärialueilla sijaitsevien muutamien puiden epänormaalin heikosta kasvusta.

Kasvupaikkaluokittain malli antoi keskimäärin harhattoman tuloksen (kuva 1). Karulla puolukkatyypillä malli kuitenkin aliarvioi sädekasvua ytimen läheisyydessä ja yliarvioi säteen ollessa yli 4 mm. Muilla kasvupaikkatyypeillä ei havaittu vastaavanlaisia systemaattisia virheitä.

Mallin laadinta-aineisto kattoi koko Etelä- ja Keski-Suomen lukuunottamatta ruotsinkielisiä metsälautakuntia. Malli lienee harhaton maantieteellisen sijainnin suhteen, koska lämpösummalla ei havaittu olevan selitysarvoa.

Mallin loogisuutta selittävien muuttujien suhteen tarkasteltiin osittaiskorrelaatiokuvilla (kuva 2). Muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle annettiin vakiona aineiston keskiarvot. Luston leveyden maksimi saavutettiin säteen ollessa 1,5 cm. Puun asemaa metsikössä kuvaavan muuttujan suhteen luston leveyden lisääntyminen oli sitä hitaampaa, mitä vallitsevammasta puusta oli kyse. Suhteen d/D_{gM} lähestyessä kahta luston leveys ei juurikaan enää lisääntynyt. Pituusboniteetin suhteen luston leveys lisääntyi samanmuotoisesti kuin esimerkiksi tilavuuskasvu kuvattaessa kasvupaikan boniteettia. Tiheyden lisääntyessä luston leveys pieneni, ei kuitenkaan kovinkaan voimakkaasti.

Kuvat osoittavat mallin loogisen käyttäytymisen selittävien muuttujien suhteen. On kuitenkin huomattava, että suuri osa luston leveyden vaihtelusta jäi selittämättä. Koska mallissa olevat puun asemaa ja metsikön tiheyttä kuvaavat tunnukset laskettiin kyseisen puun lähiympäristöstä, voidaan olettaa, että ne kuvaavat puun asemaa metsikössä ja siten naapuripuiden vaikutusta koepuun kasvuun. Näillä muuttujilla ei kuitenkaan päästy korkeaan selitysasteeseen. On ilmeistä, että pelkästään puista mitattavilla tunnuksilla ei kyetä kovinkaan tarkkaan kasvun ennustamiseen (ks. Mielikäinen 1978). Latvuksen, juuriston ja maaston mikrotopografian samoin kuin puiden tilajärjestyksen mittaamisella kasvun ennustamista kyettäisiin todennäköisesti parantamaan. Vaikeutena on kuitenkin mittausten suuritöisyys.

32. Ytimen leveys

Vuosilustomallilla kuvataan säteen kasvu rinnankorkeusiältä yksi eteenpäin. Puun ytimen eli ensimmäisen vuoden kasvun estimoimiseksi kehitettiin malli, jossa selitettävänä muuttujana oli ytimen säde (y, mm). Selittäviksi muuttujiksi valittiin puun asemaa kuvaava suhde (d/D_{gM}) ja metsikön tiheyttä kuvaava puiden lukumäärä koealalla (lkm). Muilla tarkastelluilla muuttujilla ei havaittu olevan selitysarvoa. Mallin muoto ja luotettavuustunnukset olivat:

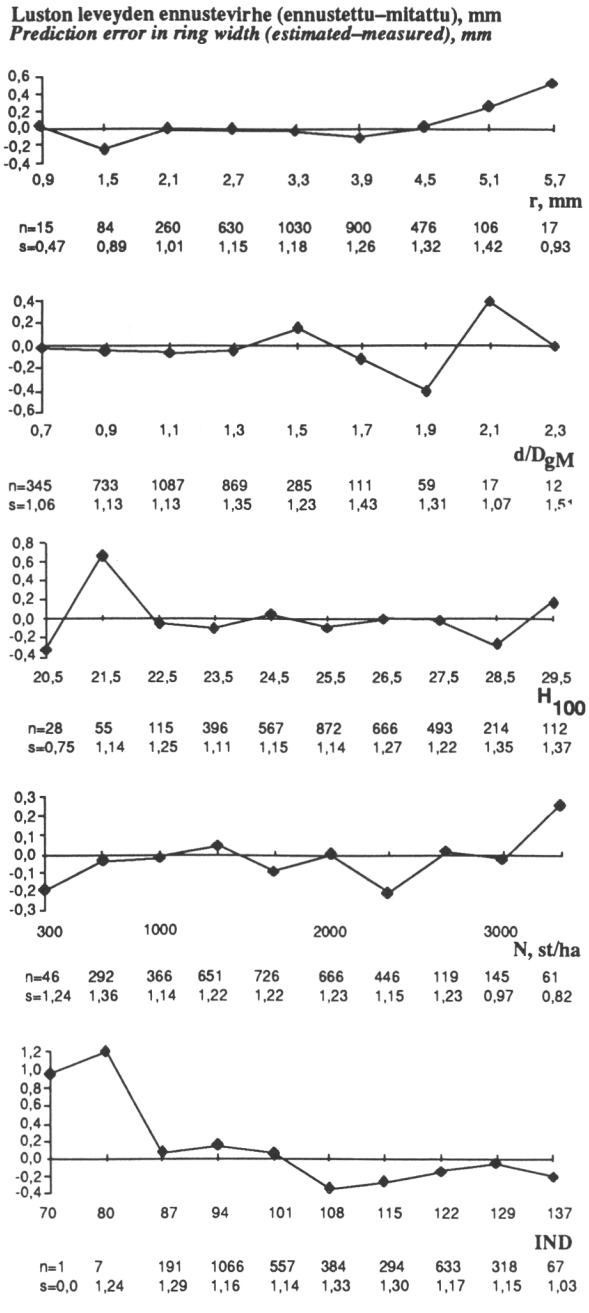
selitettävä muuttuja ln(y), x=0,631 (3)

	kerroin	t-arvo
vakio*	0,808448	7,79
$\ln(d/D_{gM})$	0,336952	2,71
lkm	–0,0189852	–1,23

R^2	0,039
s_f	0,495
s_m	0,487
$s_{e\%}$	51,7
$b_{e\%}$	–0,21
n	296

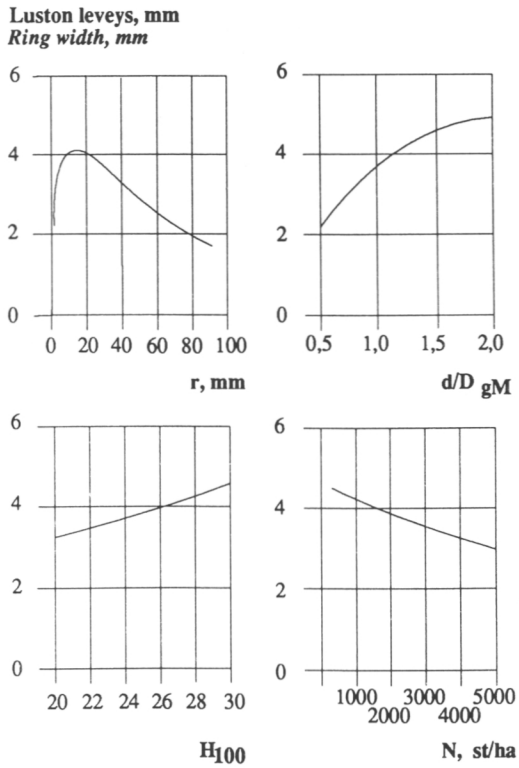
* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Mallin selitysaste oli hyvin alhainen. Tämä kuvaa sitä, että ytimen säde oli jokseenkin vakio puusta tai ympäristöstä riippumatta. Puun asema eli suhteellinen koko vaikutti kuitenkin jo tässä vaiheessa jonkin verran



Kuva 1. Vuosilustomallilla estimoitujen ja mitattujen lustonleveyksien erojen luokittaiset keskiarvot ja havaintojen lukumäärä selittävien muuttujien suhteen (r=rungon säde rinnantasalla, d/D_{gM}=rinnankorkeusläpimitan suhde pohjapinta-alamediaaniläpimittaan, H_{100}=pituusboniteetti, N=runkoluku, IND=kasvuindeksi).

Figure 1. Differences between estimated and observed ring widths and number of observations as a function of dependent variables (r=stem radius at breast height, d/D_{gM}=breast height diameter compared with the basal area median diameter, H_{100}=site index, N=number of stems per ha, IND=growth index).



Kuva 2. Osittaiskorrelaatiot eri muuttujien suhteen. Muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle on annettu aineiston keskiarvot vakiona (r=22 mm, d/D_{gM}=1,14, H_{100}=25,6, mäntyjen lukumäärä=5,1, symbolit, ks. kuva 1).

Figure 2. Partial relationships as a function of different dependent variables. Remaining variables are held constant (r=22 mm, d/D_{gM}=1,14, H_{100}=25,6, number of pines on a plot=5,1, symbols, Fig. 1).

puun paksuuteen, ja metsikön tiheyden lisääntyminen aiheutti jonkinasteisen ensimmäisenkin luston ohentumisen.

33. Rinnankorkeusläpimitan ja kantoläpimitan välinen suhde

Laasasenahon (1982) muuntomallin mukaan puun kantoläpimitta on keskimäärin 2 cm, kun puu saavuttaa rinnankorkeuden ja kantoläpimitta on keskimäärin 25 % + 2 cm suurempi kuin rinnankorkeusläpimitta. Perssonin (1976) mukaan tiheässä kasvaneessa istutustaimikossa vuosilustojen lukumäärä vyöhykkeellä 2 - 4 cm ytimestä on rinnankorkeudella keskimäärin 6–11 ja kannnonkorkeudella 5–10 lustoa. Perssonin mukaan läpimittojen välinen ero on siten pienempi, yhden vuosiluston verran eli 10–20 %.

Tämän tutkimuksen koepuista mitattiin läpimitat sekä rinnankorkeudelta että kannonkorkeudelta (1 % puun pituudesta, keskimäärin 6,7 cm maanpinnan yläpuolella). Tämä kannonkorkeus on alempi kuin täysikasvuisen puun kaatoleikkaustaso. Aiemmassa tutkimuksessa (Varmola 1980) männyn istutustaimien tyvilaajentuma havaittiin vähäisemmäksi kuin valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä mitatuilla puilla. Saman asian osoittaa istutusmäntyjen läpimittojen suhdetta kuvaava yhtälö:

$$d_{0,01h} = 1,70 + 1,167 \cdot d \qquad (4)$$

Kantoläpimitta, joka on lisäksi alempana puussa kuin tukkipuun kantoläpimitta, on vain 16,7 % + 1,7 cm suurempi kuin rinnankorkeusläpimitta. Koska puiden suhteellinen muoto ei riipu kovinkaan paljon puun koosta, suhdelukua voitaneen käyttää muunnettaessa rinnankorkeudelta mitattuja sädekasvuja kantoläpimitan sädekasvuksi.

4. Mallin soveltaminen

41. Soveltamisnäkökohtia

Pääosa aineistosta muodostui luston leveyksistä puun säteen ollessa vähemmän kuin 6 cm. Tämän rajan ulkopuolella mallin soveltaminen on osittain ekstrapolointia. Kasvupaikat käsittivät Etelä-Suomen kuivahkot, tuoreet ja lehtomaiset kankaat. Tiheysvaihtelu ulottui 300:sta 3000:een runkoon/ha. Yläjan osalta tulokset ovat ekstrapolointia aineiston ulkopuolelle.

Puun asemaa metsikössä kuvattiin mallissa suhteella d/D_{gM}. Suhteen ollessa yksi puu edustaa pohjapinta-alamediaanipuuta. Mallin laadinta-aineistossa suhteen ääriarvot olivat 0,53 ja 2,28. Metsikön kasvaessa puiden järeysjärjestys muuttuu. Samalla muuttuu puun asema metsikössä ja kunkin puun suhde

pohjapinta-alamediaanipuuhun. Aineistolla ei ollut kuitenkaan mahdollisuutta tutkia suhteen muuttumista ajan funktiona.

Istutusmänniköiden runkolukujakauman voi olettaa olevan melko kapean puiden samanikäisyyden ja tasaisen tilajärjestyksen vuoksi. Tutkimusaineisto ei kuitenkaan antanut mahdollisuuksia tutkia runkolukujakauman muotoa pienten koealojen vuoksi. Runkolukujakaumien muotoa ja suhteen d/D_{gM} sijaintia niissä tutkittiin Metsäntutkimuslaitoksen istutusvälikokeiden avulla (ks. Vuokila 1986). Mitatut kolme taimikkoa edustivat puolukkatyypin metsiköitä (2) ja peltoa (1). Taimikot mitattiin valtapituuden ollessa noin 6 metriä. Ne edustivat siten suunnilleen samaa kehitysvaihetta kuin lustonleveysmallin koepuut.

Kunkin istutusvaihtoehdon (800, 1100, 1600, 2500 ja 5000 runkoa/ha) eri istutuskuviovaihtoehdot yhdistettiin yhdeksi runkolukujakaumaksi, josta jätettiin pois alle 5 cm:n luokkaan kuuluvat puut samoin kuin tässäkin tutkimuksessa. Suhteelle d/D_{gM} laskettiin 0,5:stä alkaen sijainti runkolukusarjassa. Tämä sijainti ei ollut riippuvainen metsikön tiheydestä ja vaihteli enintään 10 %-yksikköä suhteen d/D_{gM} ollessa yli 0,9. Suhteen d/D_{gM} avulla voitiin ennustaa se, millä kohdalla runkolukujakaumaa eri läpimittaiset puut verrattuna pohjapinta-alamediaaniläpimittaan sijaitsevat (taulukko 2).

Taulukko 2. Puun suhteellinen sijainti läpimittajakaumassa d/D_{gM}:n (= puun läpimitan suhde pohjapinta-alamediaaniläpimittaan) eri arvoilla..

Table 2. The relative state of a tree in the diameter distribution on different values of d/D_{gM} (=breast height diameter compared with basal area median diameter).

d/D_{gM}	Sijainti - *State*, %
0,5	13
0,6	27
0,7	47
0,8	62
0,9	66
1,0	66
1,1	68
1,2	73
1,3	84
1,4	92
1,5	97
1,6	99
1,7	99
1,8	100
1,9	100
2,0	100

42. Luston leveys eri metsätyypeillä

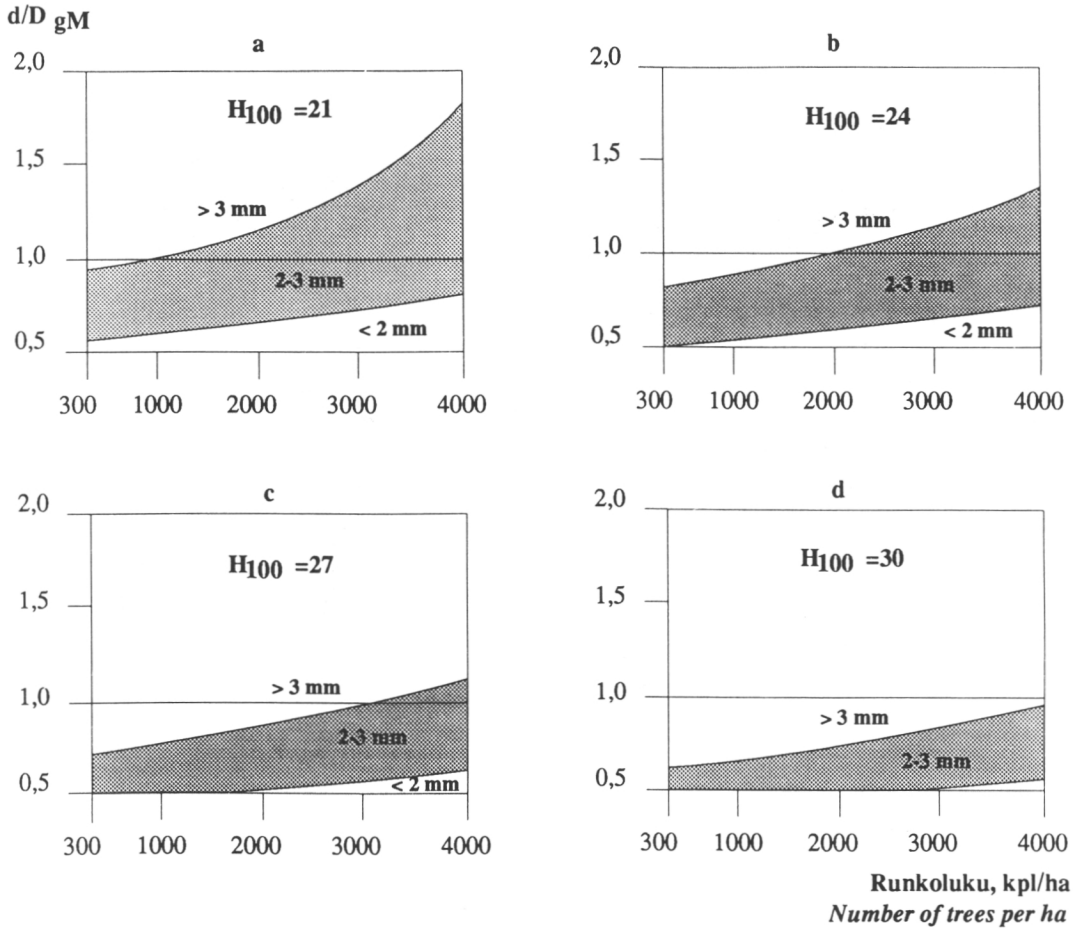
Ytimen sädettä (malli 3) ja luston leveyttä (malli 2) kuvaavien mallien avulla simuloitiin istutusmäntyjen keskimääräisiä lustonleveyksiä. Ydintä lukuunottamatta jokaiseen lustonleveyteen lisättiin yhtälön (4) mukaan 16,7 %, ja uutena säteenä pidettiin tällä suhdeluvulla lisättyä sädettä. Viimeisen mukaan tulevan muunnetun luston jälkeisen säteen tuli olla alle 75 mm. Tämä vastasi Uusvaaran (1981b) laatumallin muuttujaa.

Halisen (1985) ja Uusvaaran (1981b) tutkimusten mukaan keskimääräisellä luston leveydellä ytimen läheisyydessä voidaan ennustaa sahatavaran laatujakaumaa siten, että luston leveyden ollessa yli 3 mm sahatavarasta ei saada juuri lainkaan u/s-laatuluokkaa. Toisaalta luston leveyden jäädessä alle 2 mm:n u/s-laatuluokan osuus ei enää kasva, vaan joissakin tapauksissa jopa vähenee. Haluttaessa korkealaatuista sahatavaraa keskimääräisen luston leveyden on ytimen läheisyydessä jäätävä siis noin 2 mm:iin eikä se saa ylittää 3 mm:ä.

Kuvassa 3 on esitetty ne rajat, joilla luston leveys kannonkorkeudella on alle 2 mm, välillä 2–3 mm tai yli 3 mm. Seuraavassa tarkastelussa runkolukusarjan paksuimman puun läpimitan ja pohjapinta-alamediaanipuun läpimitan suhteeksi oletetaan 1,8 (ks. taulukko 2).

Puolukkatyypin karummalla osalla (H_{100} = 21) istutusmännikön kasvatustiheyden tulee olla lähes 4000 runkoa/ha, jos kaikkien puiden luston leveyden halutaan jäävän alle 3 mm:n (kuva 3a, taulukko 2). Jos luston leveys saa olla korkeintaan 2 mm, tiheydellä 4000 runkoa/ha vain hieman yli puolet puista runkolukusarjan alarajalta lukien täyttää ehdon (ks. taulukko 2). Tiheydellä 2000 runkoa/ha vain ohuimmilla puilla luston leveys jää alle 2 mm:n.

Puolukkatyypin rehevämmällä osalla (H_{100}=24) joidenkin puiden lustonleveys on yli 3 mm silloinkin, kun kasvatustiheys on 4000 runkoa/ha (kuva 3b). Pohjapinta-alame-



Kuva 3. Keskimääräinen luston leveys (alle 2 mm, 2–3 mm ja yli 3 mm) kannonkorkeudella 75 mm:n matkalla ytimestä puun aseman (d/D_{gM}) ja metsikön tiheyden funktiona eri pituusboniteeteilla (a=karu VT, b=rehevä VT, c=MT, d=OMT).

Figure 3. Mean ring width (under 2 mm, 2–3 mm, and over 3 mm) at stump height from the pith to 75 mm as a function of the state of a tree (d/D_{gM}) and the number of stems in different sites (a=poor Vaccinium-type, b=rich Vaccinium-type, c=Myrtillus-type, d=Oxalis-Myrtillus-type).

diaania ohuemmilla puilla luston leveys jää alle 3 mm:n, kun kasvatustiheys on vähintään 2000 runkoa/ha. Jos vaatimuksena ovat alle 2 mm:n vuosilustot, alle puolet puista täyttää ehdon kasvatustiheyden ollessa noin 4000 runkoa/ha ja vain kaikkein ohuimmat puut kasvatustiheyden ollessa 2000 runkoa/ha.

Mustikkatyypillä (H_{100}=27) paksuimpien puiden (d/D_{gM}>1,3) luston leveys on yleensä yli 3 mm tarkastellulla tiheysalueella (kuva 3c). Pohjapinta-alamediaania ohuemmilla puilla luston leveys jää alle 3 mm:n, kun kasvatustiheys on vähintään 3000 runkoa/ha. Alle 2 mm:n vuosilustoihin yltävät vain kaikkein ohuimmat puut, vaikka kasvatustiheys olisi 4000 runkoa/ha. Mallin mukaan on epätodennäköistä, että kasvatustiheydellä 2000 runkoa/ha on keskimäärin alle 2 mm:n levyisiä lustoja kasvattavia puita edes runkolukusarjan alapäässä.

Lehtomaisella kankaalla (H_{100}=30) kasvatustiheydellä 4000 runkoa/ha vain pohjapinta-alamediaania ohuemmat puut kasvattavat alle 3 mm:n levyisiä lustoja (kuva 3d). Kasvatustiheydellä 2000 runkoa/ha vain ohuimmat puut kasvattavat alle 3 mm:n levyisiä lustoja. Alle 2 mm:n lustoja kasvattavia puita ei tarkasteltavalla tiheysalueella ole juuri lainkaan.

5. Päätelmät

Luston leveyttä kuvaavaan malliin liittyy useita epävarmuustekijöitä. Eri tavoin mitattujen rinnankorkeusikien välinen ero on yli puolitoista vuotta. Vuosilustoista laskettu ikä on kuitenkin keskimäärin suurempi, joten, jos virheet ovat lustojen määrityksissä, luston leveys on pikemminkin tullut ali- kuin yliarvioiduksi.

Vuosilustomallin jäännöshajonta on suuri, 43 %. Huomattava osa vaihtelusta on siten jäänyt selittämättä. Selittämättä jäänyt vaihtelu osoittaa, että puiden lustonleveydet vaihtelevat suuresti samalla kasvupaikalla ja tiheydellä. Toisaalta yksittäiset suuret erot lustonleveyksissä tasoittunevat eri vuosien keskiarvoissa.

Puun asemaa kuvaava suhde $d/D_{\bar{x}M}$ kertoo puun sijainnin runkolukusarjassa. Yhteys on kiinteä suhteen ollessa yli yhden. Runkolukusarjan alapäässä sen sijaan yhteys on epämääräisempi.

Tutkimuksessa esitetty malli kuvaa luston leveyttä rinnankorkeudella. Koska sahatavaran laatua kuvaavissa tutkimuksissa on käytetty kannonkorkeudelta mitattuja luston leveyksiä, mallilla saatuun luston leveyteen lisättiin koepuiden rinnankorkeus- ja kantoläpimittojen eroa kuvaavana keskiarvona 16,7 %. Eri korkeuksilta mitattujen läpimittojen välisen suhteen tarkempi selvittäminen on tarpeen, jos luston leveyttä halutaan ennustaa rinnankorkeusläpimitan kasvun avulla, kuten kasvu- ja tuotostutkimuksissa yleensä tehdään ja sahatavaran laatua ennustetaan kuitenkin kannonkorkeudelta mitatun sädekasvun perusteella. Toisena mahdollisuutena on kehittää mallit kuvaamaan suoraan rinnankorkeudelta mitattujen luston leveyksien ja sahatavaran laadun välisiä suhteita (ks. Persson 1976).

Tutkimuksessa kehiteltyjen mallien mukaan männyn istutukseen soveltuvista maapohjista vain karuimmilla (VT-) luston leveys jää paksuimmillakin puilla yleensä alle 3 mm:n nykyisillä kasvatustiheyksillä. Muilla kasvupaikoilla vaatimus alle 3 mm:n lustonleveydestä aiheuttaa huomattavan kasvatustiheyksien nostamisen. Alle 2 mm:n keskimääräiseen lustonleveyteen ei rehevimmillä kasvupaikoilla päästä ainakaan alle 4000 runkoa/ha olevilla kasvatustiheyksillä ja karuimmillakin kasvupaikoilla vain runkolukusarjan ohuimmat puut täyttävät vaatimuksen alle 2 mm:n keskimääräisestä luston leveydestä.

Kasvatustiheyden nostamisen vaihtoehtona istutusmänniköissä on poistaa kookkaimpia puita ensiharvennuksessa. Tämä ns. laatuharvennus (ks. Vuokila 1982) voidaan nähdä laadun kohottamiseen tähtäävänä toimenpiteenä eikä suinkaan harsintana. Viimeaikaiset tulokset kookkaimpien puiden poistamisesta osoittavat, että jäljelle jäävän puuston kasvu ei harvennustavan vuoksi heikkene (Vuokila 1977, Eriksson 1985). Ensiharvennus voitaneen tehdä nykyistä kannattavammaksi toimenpiteeksi kookkaimpien puiden poistamisella. Se aiheuttaa kuitenkin nopeasti puustopääoman vähenemisen. Kolmasosan poisto runkolukusarjan yläpäästä alentaa pohjapinta-alan noin puoleen. Rehevimmillä kasvupaikoilla voimakaskaan kookkaimpien puiden poisto ei takaa laatupuusaantoa päätehakkuussa.

Tutkimuksessa ei ole puututtu siihen, miten luotettavia Uusvaaran (1981b) laskelmat luston leveyden ja sahatavaran laadun välisistä riippuvuuksista ovat. Tyvitukeista saatavan sahatavaran u/s-prosenttia luston leveydellä ja ensimmäisen täyden oksakiehkuran korkeudella maasta kuvaavan mallin selitysaste oli 29,8. On ilmeistä, että myös luston leveyden ja sahatavaran saannon väliseen riippuvuuteen liittyy suurta hajontaa siten, että leveälustoisestakin puusta voidaan saada hyvälaatuista sahatavaraa ja että ohuet lustot eivät välttämättä ole tae korkeasta laadusta. Tätä osoittaa sahatavaran u/s-prosentin pienentyminen luston leveyden lähestyessä yhtä millimetriä (Uusvaara mt.) ja myös Lapin mäntyjen paksuoksaisuus hitaasta kasvusta huolimatta.

Kirjallisuus

Eriksson, H. 1985. Dags att återinföra höggallring. Skogen 5–6: 48–50.

Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. Silva Fennica 19(4): 377–385.

Heiskanen, V. 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukkien laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Commun. Inst. For. Fenn. 44(5). 28 s.

— 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80(2). 62 s.

Hägglund, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 39. 66 s.

Kilkki, P. & Varmola, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovellutuksia. Acta For. Fenn. 174. 60 s.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Commun. Inst. For. Fenn. 108. 74 s.

Mielikäinen, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. Folia For. 363. 15 s.

Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Commun. Inst. For. Fenn.38(5). 131 s.

Nylinder, P. 1958. Synpunkter på produktionens kvalitet. Skogen 45(4):100-102.

Orvér, M. 1970. Klassificering av tallsågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Summary: Grading of Scots pine saw timber using objectively measurable factors. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 65. 138 s.

Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on quality of sawn timber from Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 42. 122 s.

Tiihonen, P. 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. Folia For. 545. 8 s.

— 1984. Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory. Folia For. 588. 8 s.

— 1985. Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory. Folia For. 615. 8 s.

Uusvaara, O. 1981a. Viljelymänniköiden puun teknninen laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 28. 47 s.

— 1981b. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-grown Scots pine. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 27. 108 s.

Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia For. 451. 21 s.

Vuokila, Y. 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Abstract: Selective thinning from above as a factor of growth and yield. Folia For. 298. 17 s.

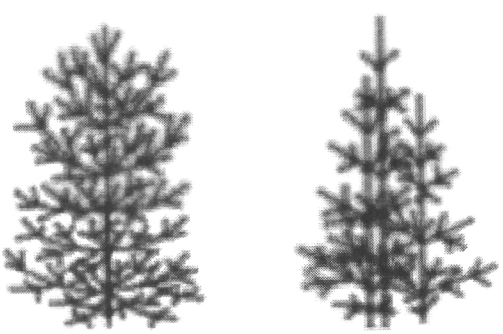
— 1983. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of the technical quality of forests. Folia For. 523. 55 s.

— 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.

— & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2). 271 s.

Total of 22 references

VI



FOLIA FORESTALIA 813

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1993

Martti Varmola

VILJELYMÄNNIKÖIDEN ALKUKEHITYSTÄ KUVAAVA METSIKKÖMALLI

A stand model for early development of Scots pine cultures

Approved on 1.9.1993

Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. Folia Forestalia 813. 43 p.

Tutkimuksessa esitetään mallit männyn viljelytaimikoiden puustotunnusten kehitykselle syntyhetkestä 10 metrin valtapituudelle tai 40 vuoden iälle asti. Tutkimusaineistona oli 100 koealaa Etelä-Suomen rannikolta Sodankylän korkeudelle saakka. Näistä 71 oli kylvetty ja 29 istutettu. Koealojen kehitystä oli kasvutietojen perusteella mahdollista seurata 15 vuoden ajan taaksepäin. Tämä kasvunlaskenta-aineisto (819 kasvujaksoa) muodosti eri mallien pääasiallisen laadinta-aineiston.

Kasvupaikan määrittämistä varten kehitettiin menetelmä pituusboniteetin ennustamiseksi valtapituuden ja sen viiden vuoden kasvun avulla. Pituusboniteettia käytettiin kasvupaikan hyvyyden kuvaajana. Valtapituuden kasvumallista johdettiin taimikoiden valtapituuden kehitys.

Kasvumallin perustaksi laadittiin kuorettoman pohjapinta-alan vuosittaista kasvua kuvaava malli. Kuorettoman pohjapinta-alan alkuarvo mallitettiin joko valtapituuden saavutettua rinnantasan tai taimikonharvennuksen jälkeen. Runkoluvun, pituusboniteetin ja kuorettoman pohjapinta-alan avulla ennustettiin kuorellinen pohjapinta-ala. Tilavuus, keskipituus ja keskiläpimitta ennustettiin em. tunnusten ja valtapituuden kombinaatioiden avulla. Kasvumallilla voidaan simuloida istutus- ja kylvötaimikoiden kehityssarjoja eri kasvupaikoille.

Models for early development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cultures are presented. The sample consists of 100 temporary plots, of which 71 are seeded and 29 planted. Annual increments for fifteen years were measured. The data of 819 growing periods is used in analysis.

Sites are described using site indexes which are determined by dominant height and 5-year increment of dominant height. Site index estimates are compared with site indexes of forest site types. The development of dominant height is described using a 5-year increment model.

The base model describes current annual increment of basal area u.b. Initial state for growth models is given as basal area u.b., when either dominant height has reached 1.3 m or cleaning has been done. Bark, volume, mean height, and diameter models are also derived. Growth tables may be simulated for different sites and initial number of stems for planted or seeded, cleaned or uncleaned sapling stands with a dominant height of up to 10 m.

Keywords: *Pinus sylvestris*, early development, juvenile growth, growth model, basal area, site index.
FDC 566+232+174.7 *Pinus sylvestris.*

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, P.O. Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland.

ISBN 951-40-1324-7
ISSN 0015-5543

SISÄLLYS

Käytetyt lyhenteet 4
1 JOHDANTO 5
2 TUTKIMUSAINEISTO 6
2.1 Metsiköiden valinta 6
2.2 Koealamittaukset 6
2.3 Metsikkötunnusten laskenta 7
2.4 Aineiston kuvaus 7
3 KASVUPAIKKOJEN LUOKITTELU 10
3.1 Vuokilan ja Väliahon malli 10
3.2 Välipituusmenetelmä 10
3.3 Välipituusmenetelmän laajennus 10
3.4 Pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus 11
3.5 Pituusboniteetin määritys taimikossa 12
4 VALTAPITUUS 13
4.1 Kehitys rinnantasalle 13
4.2 Valtapituuden kehitys 14
5 METSIKÖN POHJAPINTA-ALAN KASVU 15
5.1 Lähtötilanne 15
5.2 Kuoreton pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnankorkeuden 15
5.3 Kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen 15
5.4 Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumalli 16
5.5 Kuorettoman pohjapinta-alan kehitys 18
6 APUMALLIT 19
6.1 Kuorimallit 19
6.2 Tilavuusmalli 19
6.3 Keskipituusmalli 20
6.4 Keskiläpimittamalli 21
7 TAIMIKOIDEN KASVUMALLIN SOVELTAMINEN 22
7.1 Vuokilan ja Väliahon mallit ja taimikoiden kasvumallit 22
7.2 Vertailu taimikonharvennuskokeisiin 22
7.3 Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus puustotunnuksiin . 23
7.4 Kasvumallilla simuloidut kehityssarjat 24
8 PÄÄTELMÄT 24
KIRJALLISUUS — *REFERENCES* 26
SUMMARY 28
Symbols 30
LIITTEET 31

KÄYTETYT LYHENTEET

a, b_1, b_2, c_i mallin parametreja

b puun kuoren paksuus, mm

b_e systemaattinen virhe absoluuttisena $\frac{\sum(\hat{y} - y)}{n}$

$b_{e\%}$ systemaattinen virhe suhteellisena $100 \cdot \frac{\sum \frac{(\hat{y} - y)}{n}}{n}$

d puun rinnankorkeusläpimitta, cm

DD lämpösumma (>+5 °C), dd.

D_{gM} pohjapinta-alamediaaniläpimitta, cm

G metsikön kuorellinen rinnankorkeuspohjapinta-ala, m^2/ha

G_u metsikön kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, m^2/ha

h puun pituus, m

H_{dom} valtapituus, hehtaaria kohden sadan paksuimman puun keskipituus, m

$H_{dom(h)}$ metsikön valtapituus, kun taimikko harvennettiin, m

$H_{dom(h)} = 0$, kun taimikkoa ei ole harvennettu

H_{gM} läpimittaa D_{gM} vastaava keskipituus, m

H_{100} pituusboniteetti, valtapituus sadan vuoden iällä

i_d puun läpimitan kasvu rinnantasalla, cm/v

I_G kuorellisen rinnankorkeuspohjapinta-alan vuotuinen kasvu, $m^2/ha/v$

I_{Gu} kuorettoman rinnankorkeuspohjapinta-alan vuotuinen kasvu, $m^2/ha/v$

I_V kuorellisen tilavuuden vuotuinen kasvu, $m^3/ha/v$

$I_{V>1,3}$ pituudeltaan yli 1,3 metriä olevien puiden kuorellisen tilavuuden vuotuinen kasvu, $m^3/ha/v$

$I_{Hdom(5)}$ valtapituuden viiden vuoden kasvu, m

$I_{Hdom(2,5)}$ valtapituuden viiden vuoden kasvu alkaen 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta, dm

$\ln(x)$ luonnollinen logaritmi x:stä

n havaintojen lukumäärä

N metsikön runkoluku mukaanlukien alle 1,3 metriä pitkät taimet, kpl/ha

R^2 mallin selitysaste

s havaintojen keskihajonta

$s_{e\%}$ mallin suhteellinen keskivirhe, %,

logaritmimalleissa $100 \cdot \sqrt{e^{s_f^2} - 1}$

muissa $100 \cdot \sqrt{\frac{\sum\left(\frac{\hat{y} - y}{\hat{y}}\right)^2}{n - 1}}$

s_f mallin jäännöshajonta

s_m selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta

ST syntytapaa kuvaava valemuuttuja (0 = istutus, 1 = kylvö)

T metsikön biologinen ikä, v

$T_{1,3}$ metsikön valtapuiden rinnankorkeusikä, v

v puun kuorellinen tilavuus, dm^3

V metsikön kuorellinen tilavuus mukaanlukien alle 1,3 metriä pitkät taimet, m^3/ha

$V_{>1,3}$ metsikön pituudeltaan yli 1,3 metriä olevien puiden kuorellinen tilavuus, m^3/ha

$\bar{x}$ havaintojen keskiarvo

y muuttujan mitattu arvo

$\hat{y}$ muuttujan mallilla estimoitu arvo

1 Johdanto

Suomessa on uudistettu metsää viljellen lähes 5 milj. ha. Vuosituhannen vaihtumisen jälkeen Suomen metsistä lähes 30 % on viljelymetsiköitä, pääosin männiköitä. Suuri osa on silloin vielä taimikoita ja riukuvaiheen metsiköitä, mutta vanhimmat ovat jo lähellä päätehakkuuvaihetta. Niiden puuntuotannollinen merkitys tulee olemaan pinta-alaosuuttaan suurempi, painottuvathan viljelyt ja etenkin istutukset keskimääräistä paremmille kasvupaikoille.

Viljelymetsiköiden kasvututkimukset Suomessa rajoittuivat E.K. Cajanderin (1933) Etelä-Suomen viljelykuusikoiden kehitystä ja Kallion (1960) Etelä-Suomen harventamattomien kylvömänniköiden rakennetta ja kehitystä selvittäneisiin tutkimuksiin, kunnes Vuokila & Väliaho (1980) julkaisivat viljeltyjen havupuumetsiköiden kasvatusmallit, jotka käsittävät metsiköiden kehityksen riukumetsävaiheesta päätehakkuuseen. Tässä matemaattisiin malleihin perustuvassa tutkimuksessa on esitetty laajat kasvu- ja tuotostaulukot erilaisille harvennusohjelmille.

Suomessa on tutkittu runsaasti metsien uudistamisen onnistumista. Metsänviljelyn osalta tuloksia on tarkasteltu kirjallisuuskatsauksessa (Karjula ym. 1982). Eri tutkimukset ovat keskittyneet joillekin metsänuudistamisen osa-alueille ja maantieteellisesti rajatuille alueille. Koko maata koskevaksi tarkoitettu valtakunnan metsien uudistamisen inventointikin rajoittui kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueelle (Räsänen ym. 1985). Turvemaiden osalta vastaavat tulokset on esittänyt Peltonen (1986). Tutkimuksissa pääpaino on ollut uudistamistuloksen arvioinnissa eikä niinkään taimikoiden puustotunnusten kuvaamisessa. Lähinnä on kuvattu keskipituuden kehittymistä ja aikaa, joka kuluu yhden tai kahden metrin keskipituuden saavuttamiseen. Suojametsäalueen viljelytaimikoita koskevassa tutkimuksessa (Pohtila & Timonen 1980) on lyhyesti käsitelty myös taimikoiden iän mukaista tilavuuskehitystä.

Metsänviljelyketjujen laskentamalleissa (Hämäläinen ym. 1985, Parviainen ym. 1985) taimikoita kasvatetaan viiden metrin pituusvaiheeseen asti. Taimikoiden pituuskehitys on Parviaisen ym. (mt.) laskentaohjelmassa kuvattu Etelä-Suomessa tehtyjen käytännön uudistusalojen inventointitutkimusten perusteella ja Metsätehon laskentasysteemissä (Hämäläinen ym., mt.) Anderssonin & Björkdahlin (1984) perkaustutkimuksen malleilla.

Kestokokeisiin perustuvia tuloksia taimikonharvennuksen vaikutuksista puustotunnusten kehittymiseen ovat esittäneet Parviainen (1978), Varmola (1982) ja Salminen & Varmola (1990). Nämäkin tutkimukset keskittyvät vain lyhyehköön ajanjaksoon nuoren metsän kehityksessä. Kylvötuppaiden harventamista on selvitellyt Sirén (1956), joka myös laati luokituksen erilaisille kylvötupastyypeille. Kinnunen (1986) on esittänyt esituloksia erilaisten harvennustapojen vaikutuksista tuppaiden kehittymiseen. Istutustaimikoiden laadullisia ominaisuuksia on viime aikoina tutkittu runsaasti (esim. Varmola 1980, Huuri ym. 1984, Kaunisto & Tukeva 1986), mutta näissäkin tutkimuksissa on vain sivuttu taimikoiden puustotunnusten kehittymistä.

Viljelytaimikon kehityksessä voidaan erottaa seuraavat vaiheet: istutus tai kylvö, runkolukumuutokset viljelytaimien lukumäärän vähentyessä ja luontaisesti syntyneiden taimien täydentäessä taimikkoa, hoitotoimenpiteiden eli perkauksen ja harvennuksen vaikutus sekä puuston kehitys. Suomalaisissa kasvu- ja tuotostutkimuksissa metsiköiden varhaiskehitys on yleensä jäänyt kuvaamatta. Ainoastaan metsälaskelmassa (MELA), jossa puustoa kasvatetaan puu puulta, mallit kattavat koko kiertoajan. MELAssa on kuvattu uusien puiden luontainen syntyminen, puiden kasvu pituuden ja läpimitan kasvumallin avulla ja puiden luontainen kuoleminen. Pituuskasvu on kuvattu jokaiselle puulle rinnankorkeuden saavuttamisikänä ja sen jälkeen viiden vuoden pituuskasvuna (Ojansuu ym. 1991).

Kasvu- ja tuotostaulukoiden lähtökohdaksi on määräytynyt riukumetsävaihe monien tekijöiden tuloksena. Luontaisesti syntyneissä taimikoissa uusien puiden syntyminen ja tiheydestä aiheutuva kuoleminen merkitsevät runkoluvun suurta vaihtelua, ennen kuin metsikkö vakiintuu. Riukumetsävaiheessa valtapituuden ja pohjapinta-alan vuotuinen kasvu saavuttaa maksimin, ja sen jälkeisen ajan kuvaaminen matemaattisilla malleilla on helpompaa kuin koko kiertoajan kehityksen kuvaaminen. Riukumetsävaiheen valintaan kasvu- ja tuotostaulukoiden lähtökohdaksi on osittain vaikuttanut ainakin Suomessa myös se, että metsien uudistamisen tutkimus on perinteisesti kuulunut metsänhoidon kenttään ja met-

siköiden myöhemmän kehityksen tutkiminen metsänarvioimistieteeseen.

Viljelymetsätaloutta varten tarvitaan entistä tarkempaa tietoa metsiköiden kehityksestä. Etenkin nopea järeytyminen ja kiertoaikojen lyhentyminen lisäävät taimikkovaiheen kehityksen tuntemisen tärkeyttä. Metsikön puustotunnusten kuvaaminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa on tärkeää, jotta voidaan ennustaa metsikön myöhempi kehitys.

Tutkimuksen tavoitteiksi asetettiin viljelymänniköiden kehityksen kuvaaminen syntyhetkestä 10 metrin valtapituudelle asti, istutus- ja kylvömänniköiden kasvun ja kehityksen vertaaminen, taimikonharvennuksen vaikutusten tutkiminen ja kehityssarjojen esittäminen taimikko- ja riukumetsävaiheelle. Tutkimus täydentää siten olemassa olevia viljelymänniköiden kasvumalleja (Vuokila & Väliaho 1980), joissa päähuomio on ensiharvennuksen jälkeisessä kehityksessä.

Tutkimus liittyy Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnan (nykyisen metsänkasvatuksen tutkimusosaston) viljelymetsikkötutkimuksiin, jotka aloitettiin heti uuden tutkimussuunnan perustamisen jälkeen vuonna 1969. Tutkimuksen suunnitteli myös taimikoiden osalta prof. Yrjö Vuokila. Käytännön toteutuksesta huolehti silloinen metsänhoitaja Jouko Laasasenaho. Aineiston esikäsittelystä lähinnä varttuneiden viljelymänniköiden kasvatusmallien lähtökohtatilannetta varten huolehti Laasasenahon lisäksi VTL Timo Pekkonen. Olen saanut käyttööni valmiiksi tarkistetun aineiston, joka on osoittautunut vielä yli 15 vuotta aineiston keräämisen jälkeen erinomaiseksi. Opinnnäytteenä julkaistun käsikirjoituksen (Varmola 1987) ovat lukeneet MML Hans G. Gustavsen, VTK Jaakko Heinonen, MMK Antti Isomäki, prof. Pekka Kilkki, apul. prof. Laasasenaho, prof. Kari Mielikäinen, MMK Risto Ojansuu, prof. Simo Poso, dos. Hannu Saarenmaa, MMT Liisa Saarenmaa ja prof. Vuokila. Kaikilta heiltä olen saanut varteenotettuja huomautuksia työni suhteen. Englanninkielisen asun on tarkastanut BA Richard Foley. Lausun parhaat kiitokseni kaikille tutkimukseen myötävaikuttaneille henkilöille.

2 Tutkimusaineisto

2.1 Metsiköiden valinta

Tutkimuksen tarkoituksena oli viljelytaimikoiden ja taimien varhaiskehityksen tutkiminen erilaisissa kehitysolosuhteissa. Tutkimusalueena oli koko maa suojametsäaluetta lukuunottamatta ja perusjoukkona viljellyt taimikko- ja riukuvaiheen männiköt. Otanta rajoitettiin varttuneisiin taimikoihin ja riukumetsiin; aineiston keräämisen alkuperäiseksi tarkoitukseksi oli määritelty sen käyttö varttuneiden viljelymänniköiden kasvatusmallien lähtöpuustojen arviointiin (Vuokila & Väliaho 1980).

Tutkimuksen aineisto kerättiin neljän kenttäkauden aikana vuosina 1968–71. Työ aloitettiin Etelä-Suomesta ja sopivia kohteita etsittiin myöhempinä vuosina maan pohjoisimmista osista saakka. Otanta keskitettiin männyn metsätaloudellisesti tärkeille kasvupaikoille. Kylvö- ja istutusmänniköistä pyrittiin valitsemaan sekä harventamattomia että harvennettuja taimikoita. Harventamattomissa sallittiin kuitenkin perkaus, kunhan pääpuulajin taimia ei ollut harvennettu. Harvennuksesta piti olla kulunut vähintään kolme vuotta. Harvennuksen tuli olla tapahtunut varhain, 1–2 metrin mittaisena. Viljelytiheyden tuli vaihdella mahdollisimman paljon.

2.2 Koealamittaukset

Metsiköistä selvitettiin seuraavat tunnukset:

— metsätyyppi
— syntytapa
— viljelytiheys
— ikä
— valtapituus
— rinnankorkeusikä
— taimikonkäsittelystä kulunut aika ja käsittelytapa
— poistuman runkoluku
— sijaintitiedot

Viljelytiheys mitattiin 3–4 tyypillisimmästä kohdasta erikseen rivi- ja taimivälinä. Metsikön ikä selvitettiin vuosikasvaimista laskemalla ja puiden tyviltä kairaamalla. Tulos varmistettiin maanomistajaa haastattelemalla. Rinnankorkeusikä laskettiin koepuiden aritmeettisena keskiarvona. Taimikonkäsittelystä kulunut aika selvitettiin maanomistajalta ja mahdollisten lehtipuun kantojen avulla. Poistuman runkoluku laskettiin prosenttina puiden ja kantojen luvun jälkeen. Metsikön sijaintitietoina selvitettiin leveys- ja pituusaste sekä korkeus meren pinnasta.

Koemetsikköön rajattiin suorakaiteen muotoinen koeala, jonka tuli sisältää ainakin 200 tainta (istutus) tai taimiryhmää (kylvö). Koealan sivujen tuli kulkea istutus-

tai kylvörivien keskiväliltä, milloin rivit olivat selvästi havaittavissa. Koealan paikaksi valittiin tasainen, onnistunut kohta, jossa luonnontaimien osuuden tuli olla mahdollisimman vähäinen.

Puut luettiin 1 cm:n tasaavin luokin. Rinnankorkeutta lyhyemmät taimet laskettiin erikseen. Kuuset ja lehtipuut luettiin omina ryhminään. Männyt jaettiin kehityskelpoisiin ja -kelvottomiin. Kylvötaimikossa vain taimirypään voimakkain taimi saattoi olla kehityskelpoinen. Myös luonnontaimi saattoi olla kehityskelpoinen, ei kuitenkaan koepuu.

Runkolukujakauman mittauksen yhteydessä valittiin ja merkittiin systemaattisesti 40 tainta tai taimiryvästä. Merkityistä puista puolet valittiin koepuiksi siten, että ne edustivat koko runkolukusarjaa ja koealaa sijainniltaan. Kehityskelpoisista koepuista mitattiin seuraavat tunnukset:

— pituus, dm
— rinnankorkeusläpimitta ristikkäin, mm
— kuoren paksuus vastakkaisilta puolilta, mm
— elävän latvuksen alaraja, dm
— ikä
— rinnankorkeusikä
— kehityskelpoisuus
— pituuskasvut vuosittain (maksimi 15 v), cm
— mittausvuoden vajaa pituuskasvu, cm
— sädekasvu rinnantasalta (maksimi 15 v), 0,1 mm
— mittausvuoden vajaa sädekasvu, 0,1 mm

Lisäksi koepuista mitattiin osakorkeusläpimitat ristikkäin millimetrin tarkkuudella seuraavilta korkeuksilta: 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ja 90 % puun pituudesta. Tietoja on käytetty pienten mäntyjen runkokäyrämallien laadinnassa (Kilkki & Varmola 1979) ja pienten mäntyjen tilavuusyhtälöiden laadinnassa (Varmola & Vuokila 1986). Koepuiden viidestä lähimmästä männystä mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja etäisyys, kylvötuppaissa kuitenkin etäisyyden sijasta kirjattiin naapuripuun pituus.

2.3 Metsikkötunnusten laskenta

Valtapituuden kasvu selvitettiin pituusbonitointia varten niiden koepuiden pituuskasvujen avulla, jotka kuuluivat sadan paksuimman puun joukkoon. Muut metsikkötunnukset laskettiin koealojen peruslaskentaohjelmistolla (KPL) (Heinonen 1981). Laskennassa käytetyt tasoituskäyrät olivat:

läpimitan kasvu: $i_d = a + b_1 \cdot d$ (23.1)

pituuskäyrä: $(h - 1{,}3) = d^2/(a + b_1 \cdot d)^2$ (23.2)

lukupuun tilavuus: $\ln(v) = a + b_1 \cdot d + b_2 \cdot \ln(2 + 1{,}25 \cdot d)$ (23.3)

koepuun tilavuus: $\ln(v) = a + b_1 \cdot \ln(d) + b_2 \cdot \ln(h) + b_3 \cdot \ln(h - 1{,}3) + b_4 \cdot d$ (23.4)

kuoren paksuus: $b = a + b_1 \cdot d$ (23.5)

Koepuun tilavuutta kuvaava malli (23.4) antaa pienillä puilla harhaisen tuloksen, koska mallissa läpimitan lähestyessä nollaa tai pituuden lähestyessä 1,3 metriä myös tilavuus lähestyy nollaa. Myös malli (23.3) antaa liian pienen tilavuusestimaatin, kun läpimitta lähenee nollaa. Todellisuudessa 1,3 metrin mittaisen puun tilavuus on noin 0,2–0,3 dm^3 (Varmola & Vuokila 1986). Harhalla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä taimikoiden kokonaistilavuuksiin.

Maastomittauksissa erotettiin kehityskelpoiset ja -kelvottomat männyt ja puulajeista kuuset ja lehtipuut omiksi luokikseen. Laskennassa kaikki männyt yhdistettiin kuitenkin yhdeksi luokaksi, koska homogeenisessa viljelytaimikossa taimet eivät muodosta selviä luokkia ja taimien luokittelu kehityskelpoisuuden perusteella on suuressa määrin subjektiivista. Lisäksi koepuut kuuluivat kaikki "kehityskelpoisten" luokkaan, joten "kehityskelvottomien" taimien metsikkötunnusten laskenta olisi ollut hankalaa.

Koealojen peruslaskentaohjelmisto on tarkoitettu lähinnä varttuneiden metsiköiden metsikkökohtaisten tulosten laskentaan. Valitsemalla läpimitan kasvun kuvaajaksi suora ja lukupuun tilavuuden kuvaajaksi logaritminen malli pyrittiin minimoimaan tasoituskäyristä johtuvat epäloogisuudet. Pituuskäyräksi valittiin Näslundin malli, koska se aiheutti harvemmin epäjatkuvuuskohtia kuin esim. Prodanin pituuskäyrä.

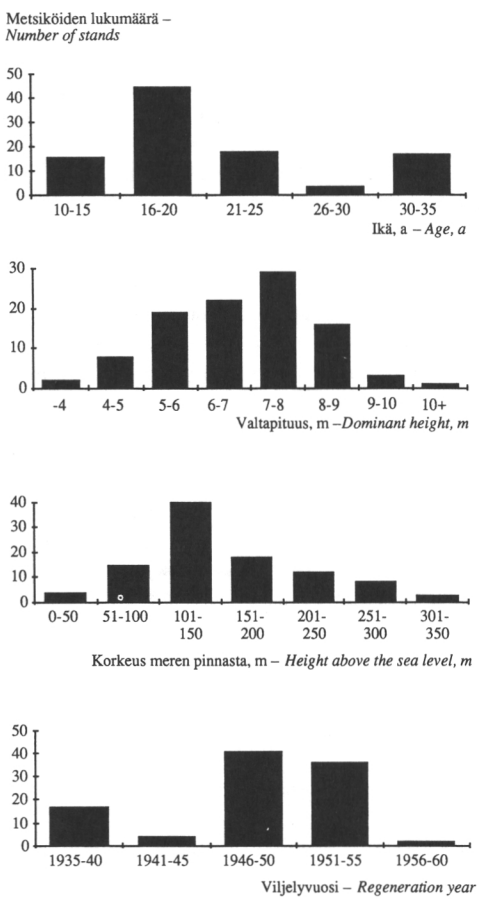
KPL määrittää tilavuuden vain niille puille, joiden pituus on yli 1,3 m. Pienissä taimikoissa saattaa kuitenkin suuri osa puista olla alle rinnankorkeuden. Metsikön todellinen tilavuus tulee siten aliarvioiduksi ja vuotuinen tilavuuskasvu vastaavasti yliarvioiduksi. KPL:n laskemaan tilavuuteen tehtiin pienten puiden aiheuttama lisäys estimoimalla alle 1,3 m:n mittaisten taimien pituus eksponenttimallilla. Tilavuus laskettiin pituuteen perustuvalla mallilla (Varmola & Vuokila 1986). Puiden edustama tilavuus lisättiin KPL:n vuosittain laskemaan tilavuuteen. Samoin meneteltiin jokaisena vuotena taaksepäin tarkasteltuna KPL:n runkoluvusta pois jääneiden taimien suhteen. KPL:n laskemien tilavuuksien ($V_{>1,3}$) ja myös pienet puut sisältävien tilavuuksien (V) ero oli keskimäärin 0,17 m^3/ha, suurimmillaan 2,28 m^3/ha.

2.4 Aineiston kuvaus

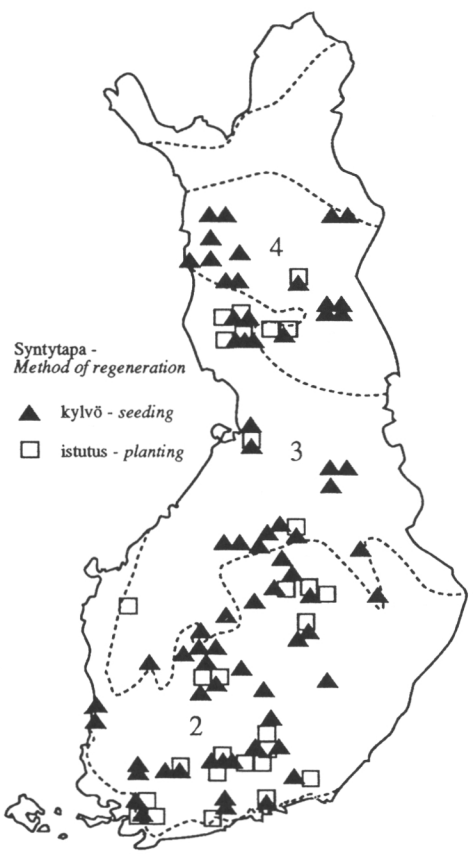
Aineiston muodostaa 100 taimikkoa, joista 71 oli kylvetty ja 29 istutettu. 37 kylvötaimikossa oli tehty harvennus yhdistettynä usein perkaukseen. Muissa taimikonkäsittelyä ei ollut tehty lainkaan (24) tai se oli ollut vain perkausta (10). Istutustaimikoista kolme oli sekä harvennettu että perattu, yhdeksän perattu. Sekä istutus- että kylvötaimikoista yksi oli lisäksi lannoitettu. Taimikonharvennuksesta kulunut aika vaihteli kahdesta 14 vuoteen, keskiarvona kuusi vuotta.

Taulukko 1. Koemetsiköiden kasvupaikkajakauma syntytavoittain ja metsäkasvillisuusvyöhykeittäin.
Table 1. The distribution of the material on different sites according to the method of regeneration and vegetation zones.

	Metsäkasvillisuusvyöhyke — *Vegetation zone*							
	Etelä-Suomi		Pohjanmaa–Kainuu		Peräpohjola		Yhteensä — *Total*	
	kylvö *seeding*	istutus *planting*	kylvö *seeding*	istutus *planting*	kylvö *seeding*	istutus *planting*	kylvö *seeding*	istutus *planting*
	Metsiköiden lukumäärä — *Number of stands*							
Lehtomaiset kankaat *Rich sites*	–	2	–	–	–	–	–	2
Tuoreet kankaat *Damp sites*	5	8	7	4	9	3	21	15
Kuivahkot kankaat *Sub-dry sites*	28	9	14	3	7	–	49	12
Kuivat kankaat *Dry sites*	1	–	–	–	–	–	1	–
Yhteensä — *Total*	34	19	21	7	16	3	71	29



Kuva 1. Koemetsiköiden jakauma iän, valtapituuden, sijaintiko:keuden ja viljelyvuoden mukaan.
Figure 1. The distribution of the study material according to age, dominant height, height above sea level, and regeneration year.



Kuva 2. Koemetsiköiden maantieteellinen jakauma. Metsäkasvillisuusvyöhykkeet: 2 = Etelä-Suomi, 3 = Pohjanmaa–Kainuu, 4 = Peräpohjola.
Figure 2. The geographical distribution of the study material. Vegetation zones: 2 = Etelä-Suomi, 3 = Pohjanmaa–Kainuu, 4 = Peräpohjola.

Taulukko 2. Koemetsiköiden metsikkötunnukset.
Table 2. Stand characteristics of sample plots.

	x̄	s	minimi *minimum*	maksimi *maximum*
N, kpl/ha — *stems/ha*	5107	4395	1327	24067
istutus — *planting*	3283	1095	1327	5460
kylvö — *seeding*	5812	4929	1594	24067
G, m^2/ha	11,7	5,4	3,1	24,0
V, m^3/ha	43,7	24,7	8,3	116,8
$T_{1,3}$, a	13	5	5	28
T, a	21	6	12	35
H_{dom}, m	6,8	1,4	3,7	10,1
Lämpösumma, dd *Temperature sum, dd*	1070	180	735	1320
Korkeus meren pinnasta, m *Height above sea level, m*	133	67	10	310
Koealan pinta-ala, m^2 *Plot size, m^2*	985	332	225	2000
Viljelytiheys, kpl/ha *Initial spacing, stems/ha*	3260	990	1590	5930
Sekapuuston osuus, % N:stä *Percentage of mixed trees*	7,2	7,5	0	28,7

Yleisin kasvupaikkatyyppi on Etelä-Suomen kuivahkot kankaat (taulukko 1). Istutustaimikot keskittyvät jonkin verran rehevämmille kasvupaikoille kuin kylvötaimikot yleisen uudistamiskäytännön mukaisesti.

Kun aineiston yhtenä tarkoituksena on kuvata myös varttuneiden viljelymänniköiden kasvatusmallien lähtökohtatilannetta, on luonnollista, että aineisto keskittyy ikäluokkiin 16–25 vuotta ja valtapituudelle 6–9 metriä (kuva 1). Vanhimmat taimikot sijaitsevat Pohjois-Suomessa ja Etelä-Suomen karuimmilla kasvupaikoilla (kuva 2).

Aineisto kattaa hyvin laajan alueen tiheysvaihtelun, vaikkakin viljelytiheydet poikkeavat nykyajan suosituksista (taulukko 2). Nykysuosituksia suuremmat viljelytiheydet johtuvat siitä, että aineiston suurin osa keskittyy 1940–50-luvuille (kuva 1), jolloin käytettiin yleisesti kylvöä ja noin 1,5×1,5 metrin rivi- ja taimiväliä viljelytyössä. Osittain suuret viljelytiheydet voivat aiheutua myös siitä, että koealat on rajattu taimikoiden parhaimpiin osiin. Runkoluvun keskiarvoa nostavat harventamattomat kylvötaimikot. Kehityskelpoisten taimien määrä vaihteli välillä 1300–4800 tainta/ha keskiarvon ollessa 2500 tainta/ha. Lämpösumman ja korkeusaseman mukaan taimikot kattavat vaihteluvälin eteläisimmästä Suomesta lähelle suojametsäalueen rajaa.

Metsiköiden kehitystä oli kasvutietojen perusteella mahdollista seurata 15 vuoden ajan taaksepäin. Aineistossa on siten edustettuna taimikoiden kehitys rinnankorkeudelta alkaen. Kaikkiaan KPL:n laskentatiedoista muodostetussa aineistossa on vuoden mittaisia kasvujaksoja 819. Metsiköittäin kasvujaksot vaihtelivat harvennettujen kylvötaimikoiden vähimmillään kahdesta harventamattomien kylvötaimikoiden ja istutustaimikoiden enimmillään viiteentoista kasvujaksoon. Kasvunlaskenta-aineistossa valtapituuden minimi on 1,5 m, maksimi 9,2 m ja keskiarvo 4,5 m (taulukko 3). Vuotuisen tilavuuskasvun maksimiarvo, yli 13 m^3/ha/v, vastaa Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan tilavuuskasvun maksimia pituusboniteetilla 30.

Taulukko 3. Kasvuaineiston metsikkötunnukset.
Table 3. Stand characteristics of the increment data.

	x̄	s	minimi *minimum*	maksimi *maximum*
G, m^2/ha	5,1	4,5	0,0	21,7
G_u, m^2/ha	4,1	3,7	0,0	17,6
V, m^3/ha	18,0	17,0	0,3	90,9
$V_{>1,3}$, m^3/ha	17,9	17,1	0,0	90,9
D_{gM}, cm	5,3	2,6	0,2	13,9
H_{gM}, m	3,9	1,5	1,3	8,1
H_{dom}, m	4,5	1,7	1,5	9,2
I_G, m^2/ha/a	1,1	0,6	0,03	3,3
I_{Gu}, m^2/ha/a	0,9	0,5	0,02	2,6
I_V, m^3/ha/a	4,0	2,6	0,09	13,2
$I_{V>1,3}$, m^3/ha/a	4,2	2,7	0,08	13,7

3 Kasvupaikkojen luokittelu

3.1 Vuokilan ja Väliahon malli

Kasvupaikat on Suomessa perinteisesti luokiteltu Cajanderin metsätyyppien mukaan (esim. Cajander 1949). Luokkamuuttujien käyttö matemaattisissa malleissa on kuitenkin ongelmallista, ja osa kasvupaikan hyvyyden antamasta informaatiosta voi jäädä käyttämättä. Esimerkiksi Etelä-Suomen kuivat kankaat kattavat pituusboniteetit 19,5–25,5 Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan. Tutkimuksessa päädyttiinkin pituusboniteettiin kasvupaikkaa kuvaavana muuttujana, koska tällöin mallituksessa päästiin jatkuvan muuttujan käyttöön.

Taimikoiden valtapituus vaihteli mittaushetkellä välillä 3,7–10,1 m. Vuokilan & Väliahon (1980) pituusboniteettimallin alarajaksi on määrätty 5,6–7,0 metriä. Taimikot olivat siten osittain tämän ikään ja valtapituuteen perustuvan mallin käyttöalueen alarajalla. Ensi vaiheessa taimikoille laskettiin pituusboniteetit em. mallilla. Pituusboniteeteiksi saatiin keskimäärin yhden luokan (=3 metriä) korkeampia arvoja kuin mitä niiden tulisi olla kasvupaikkatyypin mukaan (Varmola 1984). Samansuuntaisia tuloksia saatiin aiemmassa taimikko- ja riukuvaiheen männiköiden harvennuksen jälkeistä kehitystä selvittäneessä tutkimuksessa (Varmola 1982), jossa suuri osa tutkimuksen VT-männiköistä luokiteltiin pituusboniteettiluokkiin 27 ja 30, kun käytettiin Vuokilan & Väliahon mallia. Se ei siten näyttänyt antavan nuoressa metsikössä luotettavia tuloksia.

3.2 Välipituusmenetelmä

Hägglundin (1976) soveltamassa välipituusmenetelmässä riukuvaiheen taimikoiden pituusboniteetti saadaan mittaamalla valtapuiden viiden vuoden pituuskasvu alkaen 2,5 metrin yläpuolella olevasta seuraavasta oksakiehkurasta. Iän mittausta menetelmässä ei käytetä. Pituusboniteettiestimaatti saadaan seuraavalla mallilla:

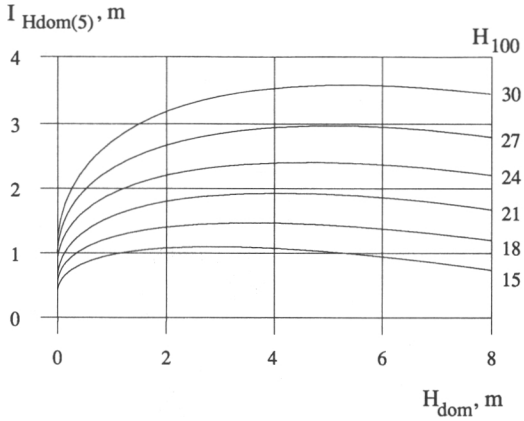
$$\ln(H_{100}) = 3{,}76455 + 0{,}54467 \ln(I_{Hdom(2,5)}) \qquad (32.1)$$

Jokaisesta koealan 20 koepuusta oli mitattu vuotuiset pituuskasvut enimmillään 15 vuotta taaksepäin. Näillä pituuskasvutiedoilla oli mahdollista laskea välipituusmenetelmän vaatima viiden vuoden pituuskasvu valtapuille. Kaikkiaan sadasta metsiköstä 21 metsikössä ei kuitenkaan ollut koepuita valtapuiden joukossa. Lisäksi 17 metsikössä pituuskasvuhavainnot eivät soveltuneet mallin vaatiman pituuskasvun laskentaan. Metsiköt olivat joko liian nuoria (ei riittävästi pituuskasvuhavaintoja 2,5 metrin yläpuolella) tai liian vanhoja (vähentämällä pituuskasvut ei päästy 2,5 metriin).

Pituusboniteetti voitiin näin ollen määrittää välipituusmenetelmällä 62 metsiköstä. Näissä mallin vaatima viiden vuoden pituuskasvu laskettiin keskimäärin kahden puun perusteella. Hägglundin välipituusmallin (32.1) soveltuvuutta koealojen pituusboniteettien määrittämiseen on tarkasteltu aiemmassa selvityksessä (Varmola 1984). Tuloksista ilmeni, että näin laskettujen pituusboniteettien ja metsätyyppien välinen vastaavuus oli suhteellisen hyvä. Vaihtelu metsätyyppien sisällä oli kuitenkin suurta. Hägglundin käyttämä aineisto on melko pieni ja lähes yksinomaan luontaisesti syntyneistä taimikoista kerätty. Koska etenkin suurimmassa yksittäisessä ositteessa eli Etelä-Suomen kuivahkoilla kankailla Hägglundin välipituusmenetelmällä saadut pituusboniteetit vastasivat metsätyyppien keskimääräisiä pituusboniteetteja huomattavasti paremmin kuin Vuokilan ja Väliahon mallilla lasketut, jatkoanalyysissä päätettiin käyttää välipituusmallia ja sen antamia pituusboniteettiestimaatteja lähtökohtana.

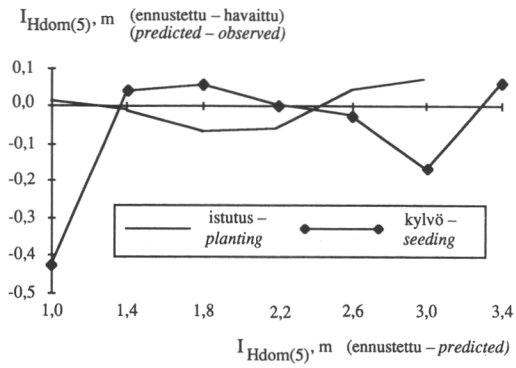
3.3 Välipituusmenetelmän laajennus

Ensi vaiheessa kehitettiin valtapuiden viiden vuoden tulevaa pituuskasvua ennustava malli, jossa selittävinä muuttujina olivat valtapituus ennen ennustejaksoa ja metsikön pituusboniteetti edellisessä alaluvussa kuvatulla tavalla laskettuna (ks. Elfving 1982, s. 52). Aineistona käytettiin niiden 62 metsikön tietoja, joista oli voitu laskea Hägglundin (1976) menetelmän mukainen pituusboniteetti. Havaintoja metsikköä kohti oli yleensä 11. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:



Kuva 3. Valtapituuden tulevan viiden vuoden pituuskasvu valtapituuden funktiona.

Figure 3. The 5-year height growth of the dominant height as a function of dominant height.



Kuva 4. Valtapituuden viiden vuoden ennustetun ja mitatun kasvun ero selitettävän muuttujan suhteen.

Figure 4. The difference between the predicted and measured 5-year height growth of the dominant height in relation to the dependent variable.

$$\ln(I_{Hdom(5)}) = -3{,}34630^{*} + 0{,}270265\ln H_{dom} + 0{,}01) + 1{,}18076\ln(H_{100} - H_{dom}) + 0{,}0125849 H_{100} \quad (33.1)$$

$R^2 = 0{,}733$, $s_m = 0{,}256$, $s_f = 0{,}132$, $s_{e\%} = 13{,}3$,
$b_{e\%} = 0{,}05$, n = 645
* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Selittävään muuttujaan ($\ln(H_{dom})$) on tehty pieni lisäys sen vuoksi, että alussa ($H_{dom} = 0$) kasvukin jäisi muuten nollaksi. Muuttuja $\ln(H_{100}-H_{dom})$ toimii mallissa asymptoottina, joten pituuden kehityksen suhteen malli ei käyttäydy loogisesti, kun metsikön ikä lähenee sataa vuotta (kuva 3).

Mallin jäännösvaihtelu selitettävän muuttujan suhteen on harhaton lukuunottamatta alkupäätä, jossa aineistossa saadaan kylvötaimikoissa selvä aliarvio kasvulle, kun viiden vuoden tuleva valtapituuden kasvu on alle 1,2 m (kuva 4). Lisäselittäjinä kokeiltiin myös runkolukua ja syntytapaa. Näillä selittäjillä ei ollut merkitystä valtapituuden kehityksessä.

Antamalla syöttötietoina valtapituus ja sen viiden vuoden kasvu pituusboniteetti voidaan laskea iteroimalla. Malli antaa siten mahdollisuuden estimoida pituusboniteetti muillakin valtapituuden kasvun aloituskorkeuksilla kuin 2,5 m. Alle 2 m:n aloituskorkeus näytti kuitenkin antavan epäluotettavan estimaatin pituusboniteetille.

Niissä 62 metsiköissä, joista saatiin Hägglundin (1976) välipituusmenetelmän vaatimat mittaustiedot, pituusboniteetti perustuu kyseiseen malliin. Pituusboniteettiestimaatti laskettiin iteroimalla niille 17 metsikölle, joissa oli valtapuita koepuina, mutta ei soveliasta viiden vuoden pituuskasvua Hägglundin mallia varten. Näille metsiköille pituusboniteetti saatiin yksittäisten pituusboniteettiestimaattien keskiarvona. Havaintoja oli metsikköä kohti keskimäärin 9.

Niille 21 metsikölle, joissa ei ollut valtapuita koepuina, pituusboniteetti laskettiin seuraavasti. KPL:n laskennan antamilta metsiköittäisiltä pituuskäyriltä laskettiin vuosittaiset valtapituuden arvot, jotka muutettiin pituuskasvumallin vaatimiksi havaintopareiksi (H_{dom}, $I_{Hdom(5)}$). Jokaiselle havaintoparille iteroitiin pituusboniteetti ja metsikön pituusboniteetti saatiin näiden havaintojen keskiarvona. Tämä sama menettely tehtiin myös muille metsiköille. Näin voitiin verrata KPL:n tuloksista iteroimalla laskettuja ja Hägglundin menetelmällä estimoituja pituusboniteetteja keskenään 59 metsikön aineistolla. KPL:n tiedoista iteroitujen pituusboniteettien keskiarvo (23,96) oli jonkin verran suurempi kuin Hägglundin mallilla estimoitujen (23,53), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (T=0,919). KPL:n tiedoista iteroidut pituusboniteetit hyväksyttiin edustamaan näiden 21 metsikön pituusboniteetteja.

3.4 Pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus

Hägglundin välipituusmallilla (32.1) ja valtapituuden kasvumallilla (33.1) laskettujen pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus on esitetty taulukossa 4, jossa on myös Vuokilan ja Väliahon (1980) mallilla lasketut pituusboniteetit.

Eri pituusbonitointimenetelmiä voidaan verrata seuraavasti:

1. Vuokilan ja Väliahon mallilla saadaan metsätyyppiä vastaava pituusboniteetti rehevillä kasvupaikoilla. Karuilla kasvupaikoilla mallilla saadaan huomattava yliarvio.
2. Keskinkertaisilla kasvupaikoilla Vuokilan ja Väliahon mallilla saadaan keskimäärin yhden pituusboniteettiluokan (=3 metriä) yliarvio.
3. Välipituusmenetelmällä saadaan rehevillä kasvupaikoilla pituusboniteetille selvä aliarvio. Karuilla kasvupaikoilla myös välipituusmalli yliarvioi pituusboniteettia.
4. Keskinkertaisilla kasvupaikoilla välipituusmenetelmällä saadaan metsätyyppiä hyvin vastaava pituusboniteetti.

Metsätyypin määrittäminen on ilmeisen vaikeaa taimikoissa. On kuitenkin epätodennäköistä, että suuri osa Etelä-Suomen puolukkatyypiksi luokitelluista taimikoista kuuluisi mustikkatyypin parhaimpaan osaan, jota Vuokilan & Väliahon (1980) mallilla saadut pituusboniteetit kyseisellä metsätyypillä edellyttäisivät.

Tehdyn tarkastelun perusteella päädyttiin jatkossa käyttämään kasvupaikan kuvauksessa välipituusmenetelmällä estimoituja pituusboniteetteja, vaikkakin menetelmällä saatetaan saada liian pieni vaihtelu pituusboniteetteihin. Pituusboniteetit vaihtelivat kuitenkin 16:sta lähes 30:een (kuva 5), mikä vastaa hyvin Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa esitettyä metsätyyppien pituusboniteettivaihtelua.

Metsätyyppien sisällä pituusboniteettien vaihtelu on suurta. Esim. Etelä-Suomen kuivahkojen kankaiden pituusboniteetit vaihtelevat 20,5:stä 28,5:een. Kuivahkojen kankaiden vaihtelua luonnossa kuvaa se, että Vuokila ja Väliaho jakavat puolukkatyypin kahteen osaan; VT+ (24) ja VT– (21).

Käytetyllä välipituusmenetelmällä lasketut taimikoiden pituusboniteetit vastaavat kaiken kaikkiaan melko hyvin metsätyyppien vastinpituusboniteetteja. Hägglundin (1976) välipituusmenetelmään perustuva pituusbonitointimalli näyttää sopivan siten hyvin Suomen oloihin. Valtapituuden kasvumallin (33.1) käyttö mahdollistaa pituusboniteetin estimoimisen Vuokilan & Väliahon (1980) mallin sovellusaluetta huomattavasti aiemmin ja myös Hägglundin mallia vapaamman mittauskorkeuden valinnan.

3.5 Pituusboniteetin määritys taimikossa

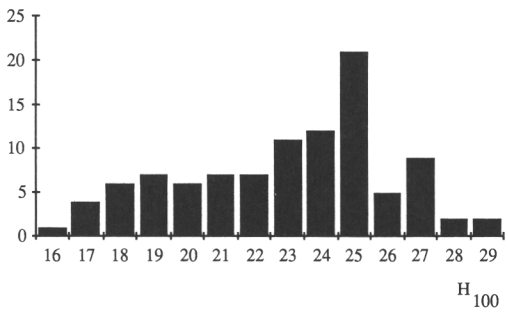
Männyn viljelytaimikon pituusboniteetti voidaan estimoida kolmella eri tavalla. Epävarmin tapa on arvioida pintakasvillisuuden perusteella metsätyyppi ja määrittää taimikolle pituusboniteetti Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan metsätyypin perusteella seuraavasti:

Pituusboniteetti	Etelä-Suomi	Pohjanmaa–Kainuu	Peräpohjola
30	OMT		
27	MT		
24	VT	MT	
21	VT–, CT+	VMT, VT	HMT, MT
18	CT	EVT	EVT
15	CT–, CIT+	ECT,CT	EMT
12	CIT	ErCIT	ErCIT,MCCIT

Taulukko 4. Koemetsiköiden pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus (Hä = välipituusmenetelmällä laskettu, Vla = Vuokilan ja Väliahon mallilla laskettu, **lihavoitu** = kasvupaikkatyyppiä vastaava Vuokilan ja Väliahon pituusboniteettiluokka, suluissa havaintojen lukumäärä).

*Table 4. Comparison of site indexes and forest site types (Hä = estimated with interceptmethod, Vla = estimated with Vuokila and Väliaho's model, **bold** = Vuokila and Väliaho's site index class, number of observations in parentheses).*

	Metsäkasvillisuusvyöhyke — *Vegetation zone*							
	Etelä-Suomi		Pohjanmaa–Kainuu				Peräpohjola	
			eteläosa *southern part*		pohjoisosa *northern part*			
	Hä	Vla	Hä	Vla	Hä	Vla	Hä	Vla
Lehtomaiset kankaat *Rich sites*	27,1 **30**	30,1 (2)						
Tuoreet kankaat *Damp sites*	25,9 **27**	29,1 (13)	24,0 **21–24**	28,1 (5)	18,4	21,6 (6)	19,5 **21**	21,1 (12)
Kuivahkot kankaat *Sub-dry sites*	24,5 **21–24**	28,6 (37)	23,3 **18**	26,6 (13)	18,7	21,1 (4)	18,8 **15–18**	20,3 (7)
Kuivat kankaat *Dry sites*	24,3 **15–21**	28,2 (1)						



Kuva 5. Koemetsiköiden jakautuminen pituusboniteettiluokkiin. Pituusboniteetit laskettu välipituusmenetelmällä (Hägglund 1976) ja valtapituuden kasvumallilla (33.1).

Figure 5. The distribution of the experimental stands in different site index classes; site indexes have been estimated using the interceptmethod (Hägglund 1976) and the dominant height growth model (33.1).

Tällä tavoin päästään korkeintaan 3 metrin tarkkuuteen.

Jos taimikosta tunnetaan ikä ja valtapituus, pituusboniteetti voidaan määrittää ikä-valtapituuskäyrästöstä kuten varttuneissakin metsiköissä joko nomogrammista (ks. kuva 7) tai käyttämällä malliin (33.1) sekä iterointiin ja kuutio-splini-interpolointiin perustuvaa laskentaohjelmaa. Menetelmän hankaluutena on pituusboniteettikäyrien läheisyys. Iän ja valtapituuden määritysvirheet tai valtapituuden häiriytynyt kehitys esim. tuhojen takia aiheuttavat helposti yhden pituusboniteettiluokan eron (=3 metriä). Esim. valtapituuden ollessa 4 metriä yhden vuoden virhe taimikon iässä muuttaa pituusboniteettia rehevällä kasvupaikalla 2 metriä.

Tarkin tapa määrittää pituusboniteetti on mitata valtapuiden pituus ennen kasvujaksoa ja viiden vuoden pituuskasvu. Pituusboniteetti saadaan joko nomogrammista (kuva 3) tai käyttämällä malliin (33.1) perustuvaa iterointiohjelmaa. Pituusboniteetti saadaan syöttämällä ohjelmaan mitattu valtapituus ja pituusboniteetin alkuarvo (esim. 15), vertaamalla mallilla (33.1) laskettua viiden vuoden valtapituuskasvua mitattuun ja muuttamalla pituusboniteettia pienein askelin suuremmaksi. Kun laskettu ja mitattu valtapituuden kasvu ovat riittävän lähellä toisiaan (<0,01 metriä), yhtälössä tällöin käytetty pituusboniteettiarvo hyväksytään taimikon pituusboniteetiksi. Menetelmä antaa luotettavan estimaatin vasta, kun valtapituus ennen kasvujaksoa on vähintään 2 metriä. Tälläkään menetelmällä ei siten saada luotettavaa pituusboniteettiestimaattia aivan nuorille taimikoille (valtapituus alle 3–4 metriä).

Pituusboniteetti voidaan luonnollisesti määrittää myös mallilla (32.1). Tällöin vaatimuksena on kuitenkin kiinteä mittauskorkeus, valtapuiden 2,5 metrin yläpuolella oleva oksakiehkura, josta ylöspäin valtapituuden viiden vuoden kasvu mitataan.

4 Valtapituus

4.1 Kehitys rinnantasalle

Taimikon kokonaisikä määritettiin joko maastossa vuosikasvaimia ja tyveltä kairattuja vuosilustoja laskemalla tai maanomistajalta saatujen tietojen perusteella. Istutusmänniköissä viljelyvuodesta kuluneeseen aikaan lisättiin taimien ikä, jotta päästiin kokonaisikään (= biologinen ikä). Valtapuiden ja kaikkien koepuiden rinnankorkeusikien välinen ero oli keskimäärin hieman yli kaksi vuotta.

Valtapuiden rinnakorkeusikään tehtävää lisäystä kuvaamaan laadittiin mallit (41.1) ja (41.2). Mallien kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$(T–T_{1,3})\ (\text{valtapuut}) = 11{,}5008 – 0{,}00675313H_{100}^2 \quad (41.1)$$

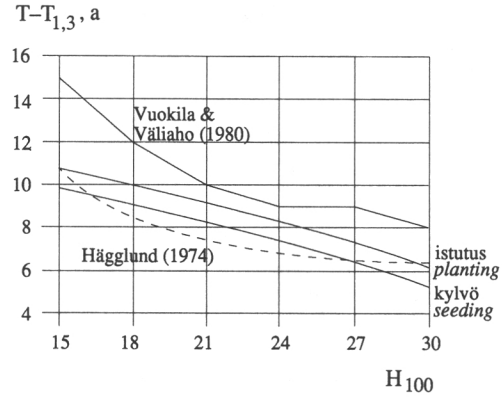
$R^2 = 0{,}246$, $s_m = 1{,}87$, $s_f = 1{,}62$, $s_{e\%} = 20{,}1$, $b_{e\%} = –0{,}04$, $n = 100$

$$(T–T_{1,3})\ (\text{valtapuut}) = 14{,}1787 – 0{,}00437779H_{100}^2 – 0{,}00308839DD – 0{,}910448ST \quad (41.2)$$

$R^2 = 0{,}324$, $s_{e\%} = 18{,}9$, $b_{e\%} = –0{,}02$

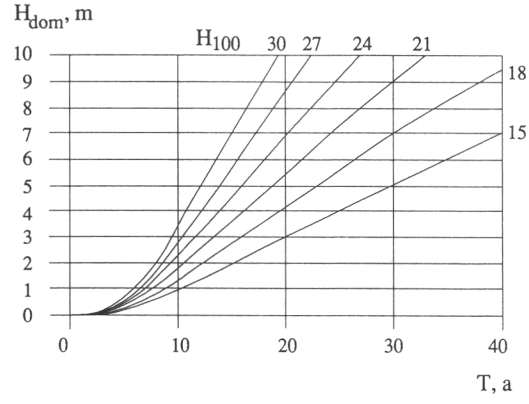
Valtapuiden kasvunopeuteen vaikuttaa mallin (41.2) mukaan kasvupaikan lisäksi syntytapa yllättävästi siten, että kylvötaimikoissa alkukehitys on jonkin verran nopeampaa kuin istutustaimikoissa. Ero rinnantasalla on vajaa vuosi. Lämpösumma tuo lisäselitystä malliin siten, että samalla pituusboniteetilla edullisemmissa olosuhteissa alkukehitys on jonkin verran nopeampaa.

Kylvötaimikot saavuttavat rinnankorkeuden biologisella iällä mitaten keskimäärin vuoden istutustaimikoita aiemmin (kuva 6). Ilmiö on hyvin säännönmukainen lukuunottamatta aivan karuimpia kasvupaikkoja, joissa muutamat istutustaimikot ovat kehittyneet kylvettyjä nopeammin.



Kuva 6. Valtapuiden kokonaisiän ja rinnankorkeusiän ero eri tutkimusten mukaan.

Figure 6. The difference between the total and breast height age of the dominant trees according to different studies.



Kuva 7. Valtapituuden iän mukainen kehitys pituusboniteeteittain.

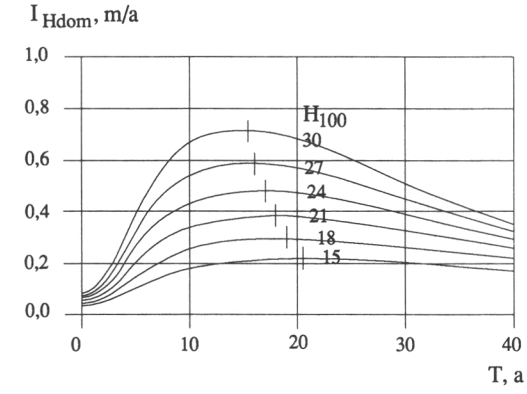
Figure 7. Dominant height-age curves in different site index classes.

Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan viljelytaimikoiden kehitys on 1–5 vuotta hitaampaa kuin tässä tutkimuksessa. Ero on suurin karuimmilla kasvupaikoilla (H_{100}=15–18). Mallin (41.2) yhteensopivuus Hägglundin (1974) mallin kanssa on parempi (kuva 6).

Syntytavan vaikutus taimikoiden alkukehitykseen on ristiriitainen eri tutkimusten mukaan. Yleensä kehitysnopeutta on mitattu aikana, joka taimikolla on kulunut yhden metrin keskipituuden saavuttamiseen. Syntytavalla ei joko ole vaikutusta (Kinnunen & Nerg 1982, Räsänen ym. 1985, Saksa 1986), kylvö osoittautuu noin vuoden paremmaksi (Leikola ym. 1977, Pohtila & Timonen 1980) tai istutuksella päästään nopeampaan kehitykseen (Kinnunen & Linnimäki 1977, Pelkonen ym. 1982, Pohtila & Pohjola 1983, Rautiainen & Räsänen 1980). Pohjois-Suomessa istutus osoittautuu alkukehityksen osalta huomattavasti kylvöä nopeammaksi suojametsäaluetta lukuunottamatta. Tulokset ovat usein ristiriitaisia siten, että karummalla kasvupaikalla saadaan nopeampi alkukehitys (Kinnunen & Linnimäki 1977, Leikola ym. 1977) tai kasvupaikalla ei ole vaikutusta (Kinnunen & Nerg 1982, Räsänen ym. 1985, Saksa 1986).

4.2 Valtapituuden kehitys

Valtapituuden kehitys voidaan ennustaa pituuskasvumallilla (33.1) (kuva 7). Aineisto kattaa ikävälin 0–35 vuotta ja pituusboniteetit 16–29. Mallilla saadaan valtapituudet viiden vuoden välein. Vuosittaisiin arvoihin päästään käyttämällä



Kuva 8. Valtapituuden vuotuinen kasvu. Pystyviivalla on osoitettu pituuskasvun kulminaatio.

Figure 8. The current annual increment of dominant height. Vertical lines show the culmination point of height increment.

esim. kuutiosplini-interpolointia (kuva 8).

Pituuskehitysmallilla laskettua puuston kehitystä rinnantasalle verrattiin alaluvussa 41 esitetyn ikälisäysmallin tuloksiin.

H_{100}	15	18	21	24	27	30
	Ikälisäys valtapuiden rinnankorkeusikään, v					
malli (41.1)	10	9	9	8	7	5
malli (33.1)	11	9	8	7	6	6

Tulosten yhteensopivuus on hyvä. Yhden vuoden erot aiheutuvat lähinnä lukujen pyöristyksistä. Vertailu osoittaa, että valtapituuden kasvumallilla kuvattu kehitys on aineiston mukainen rinnankorkeudelle.

Valtapituuden vuotuinen kasvu saavuttaa maksiminsa varhaisella iällä. Mallilla laskettua kasvun kulminaatiota on seuraavassa asetelmassa verrattu Hägglundin (1974) esittämiin vastaaviin arvoihin.

H_{100}	15	18	21	24	27	30
	Valtapituuden vuotuisen kasvun kulminaatio, v					
malli (33.1)	21	19	18	17	16	15
Hägglund (1974)	24	19	15	13	12	12

Hägglundin tutkimuksessa kulminaatiopiste ulottuu laajemmalle ikävälille eri kasvupaikoilla ja on keskimäärin hieman aikaisempi kuin tässä tutkimuksessa.

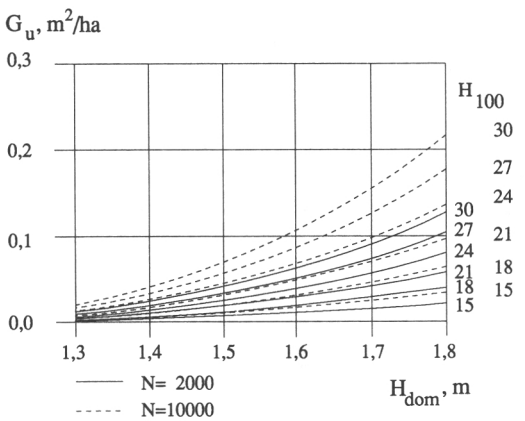
5 Metsikön pohjapinta-alan kasvu

5.1 Lähtötilanne

Suomalaiset kasvu- ja tuotostaulukot alkavat yleensä valtapituudella 5–8 metriä (esim. Koivisto 1959, Vuokila & Väliaho 1980), jolloin pohjapinta-ala on 5–10 m^2/ha. Valtapituus, kuten monet muutkin metsikkötunnukset, on tällöin jo ohittanut vuotuisen kasvun maksimin.

Tässä tutkimuksessa kasvumallien käytön lähtötilanteena on joko ajankohta, jolloin valtapituus saavuttaa 1,3 m (istutusmänniköt ja harventamattomat kylvötaimikot) tai taimikonharvennuksen ajankohta (harvennetut kylvömänniköt). Kun valtapituus ylittää rinnankorkeuden, alkaa myös pohjapinta-alan kerääntyminen. Istutetuissa taimikoissa, joissa ei tehdä taimikonharvennusta, kehitys jatkuu ilman puustoon kohdistuvia toimenpiteitä ensiharvennukseen saakka.

Kylvötaimikoiden harvennuksessa poistetaan pieniläpimittaista puustoa ja taimikon pohjapinta-ala pienenee. Taimikon kasvatuksen ja myös mallien lähtökohdan muodostaa taimikonharvennuksen jälkeinen tilanne. Harvennusta edeltävällä kehityksellä on yleensä vain vähän merkitystä, ja kehitys voidaan kuvata pelkästään valtapituudella. Jos harvennus on tehty hyvin myöhäisessä riukumetsävaiheessa, saattaa harvennuspuulla olla jo merkitystä.



Kuva 9. Kuoreton pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnantasan.

Figure 9. Basal area u.b. when the dominant height has reached the breast height.

5.2 Kuoreton pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnankorkeuden

Kuvattaessa pohjapinta-ala valtapituudella 1,3 metriä käytettiin laskenta-aineistona havaintoja, joissa rinnakorkeusikä oli 1–3 vuotta. Havainnot rinnankorkeusiällä 2–3 vuotta otettiin mukaan aineiston riittävyyden varmistamiseksi. Mallin muuttujat ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(G_u) = -7{,}96624^* + 2{,}37655\ln(H_{dom}-1{,}0) + 1{,}32263\ln(H_{100}-10) + 0{,}325822\ln(N) \quad (52.1)$$

$R^2 = 0{,}594$, $s_f = 0{,}952$, $s_m = 0{,}616$, $s_{e\%} = 67{,}9$, $b_{e\%} = 1{,}43$, $n = 103$

* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Syntytapa ei osoittautunut merkittäväksi muuttujaksi. Toisaalta runkoluku osaltaan selittää syntytapojen erilaisuuden vaikutusta lähtökohtatilanteen pohjapinta-alaan. Selittäviin muuttujiin tehtyjen muunnosten mukaan valtapituudella 1,3 metriä pohjapinta-ala on välillä 0,0–0,03 m^2/ha.

5.3 Kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen

Taimikonharvennuksen jälkeisen kuorettoman pohjapinta-alan mallin aineisto koostuu 33:sta harvennetusta taimikosta. Puuston valtapituus

vaihteli 1,6 metristä 7,8 metriin (ka. 3,4 m). Mallin muuttujat ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(G_u+0{,}001) = -5{,}88434^* + 2{,}19029\ln(H_{dom}-1{,}3) - 0{,}154263(H_{dom}-1{,}3) + 0{,}616342\ln(N) \quad (53.1)$$

$R^2 = 0{,}940$, $s_m = 1{,}45$, $s_f = 0{,}374$, $s_{e\%} = 38{,}7$, $b_{e\%} = 0{,}40$, $n = 33$

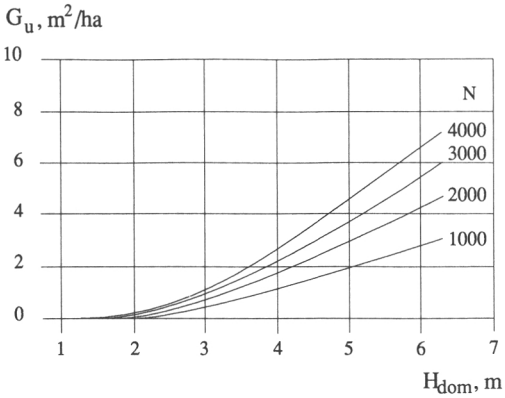
* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Toisin kuin mallissa (52.1) kasvupaikka ei osoittautunut merkitseväksi selittäväksi muuttujaksi (kuva 10). Taimikonharvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan vaikuttaa myös metsikön aiempi tiheys. Mitä tiheämpänä taimikko on alkuvaiheessa kasvanut, sitä pienempi on harvennuksen jälkeinen pohjapinta-ala runkoluvun ollessa vakio. Taimikon tiheydestä ennen harvennusta ei kuitenkaan ollut tässä tutkimuksessa tietoa. Myös harvennustapa vaikuttaa harvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan.

Elfvingin & Hägglundin (1975) tutkimuksessa kasvupaikan parantuminen vaikutti pohjapinta-alaan tuotosmallien alkutilanteessa pienentävästi. Aineisto koostui harventamattomista koealoista. Hägglundin ym. (1979) tutkimuksessa kontortamännystä pituusboniteetilla ei ollut vaikutusta selitettäessä pohjapinta-alaa. Vuokilan & Väliahon (1980) tutkimuksessa alkutilanteen (valtapituus 5–8 m) kuorellinen pohjapinta-ala suureni pituusboniteetin kasvaessa. Ero oli yhden pituusboniteettiluokan (=3 metriä) välillä 1,0–1,5 m^2/ha runkoluvun ja valtapituuden ollessa vakio. Myös Frykin (1984) tutkimuksessa kasvupaikan paraneminen lisäsi taimikonharvennuksen jälkeistä pohjapinta-alaa.

5.4 Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumalli

Metsikön kasvua kuvataan tavallisesti joko pohjapinta-alan tai tilavuuden kasvuna, yksittäisen puun kasvua taas läpimitan ja pituuden kasvuna. Metsikön kasvutunnuksista kuorettoman pohjapinta-alan kasvu voidaan määrittää tarkasti sädekasvutietojen avulla, jos sädekasvut on mitattu virheettömästi ja puiden poikkileikkaus on pyöreä. Kuorellisen pohjapinta-alan kasvuun vaikuttaa kuoren paksuuden muutos. Tilavuuden kasvua ei voida suoraan mitata, vaan se perustuu eri aikoina laskettujen tilavuusestimaattien eroihin ja mahdollisen poistuman kasvuun. Näiden syiden takia taimikoiden kasvumallien perustaksi valittiin metsikön kuorettoman pohjapinta-alan vuotuinen kasvu.



Kuva 10. Kuoreton pohjapinta-ala taimikonharvennuksen jälkeen.
Figure 10. Basal area u.b. after cleaning.

Pohjapinta-alan kasvu voidaan jakaa eri komponentteihin. Kasvumalleissa on yleisesti oletettu Jonssonin (1969) esittämän teorian mukaan, että kasvutekijät vaikuttavat kokonaisuuteen tulomuotoisesti (ks. Eriksson 1976, Hägglund ym. 1979, Agestam 1985, Ekö 1985, Mielikäinen 1985). Teorian mukaan kasvun komponentit voidaan ilmaista kasvupaikan viljavuudella, biomassan määrällä ja biomassan kyvyllä tuottaa yhteyttämistuotteita (ks. Varmola 1987, s. 32).

Mitattua sädekasvua tai pohjapinta-alan kasvua korjataan tavallisesti kasvuindekseillä. Tämä on tärkeää silloin, kun aineisto kattaa vain lyhyen ajanjakson, esim. 5 vuotta. Tässä tutkimuksessa päätettiin käyttää korjaamattomia sädekasvuja (ks. Agestam 1985, s. 21) ja oletettiin, että vuotuiset vaihtelut kumoavat toisensa ja että ne voidaan sisällyttää satunnaiskomponenttiin ε.

Syinä menettelyyn ovat seuraavat seikat. Vuotuisia kasvujaksoja metsikköä kohden on enimmillään 15, joten ilmastovaihtelut tasoittavat toisiaan. Taimikoissa, joissa sädekasvu on suurimmillaan, ilmaston vaikutus lienee pienimmillään (ks. Mikola 1950). Kasvuindeksit on usein laadittu vanhojen puiden sädekasvujen perusteella. Niiden käyttö taimien sädekasvutietojen korjaamiseen voisi aiheuttaa aineistoon lisähajontaa.

Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallin muodoksi valittiin tarkastelun perusteella:

$$I_{Gu} = c_1 H_{100}^{\,c_2} G_u^{\,c_3} e^{c_4 G_u} N^{c_5} e^{c_6 ST} e^{c_7 H_{dom(h)}} \quad (54.1)$$

ja logaritmimuodossa

$$\ln(I_{Gu}) = \ln(c_1) + c_2 \ln(H_{100}) + c_3 \ln(G_u) + c_4 G_u + c_5 \ln(N) + c_6 ST + c_7 H_{dom(h)} \quad (54.2)$$

Pohjapinta-alan kasvun ajan suhteen kuvaa mallissa pohjapinta-ala, joka selitti kasvua ikää tai valtapituutta paremmin. Puuston määrää kuvattiin pohjapinta-alan lisäksi runkoluvulla ja kasvupaikan viljavuutta pituusboniteetilla. Lisäksi mallissa ovat selittävinä muuttujina syntytapa ja taimikonharvennuksen ajankohta, joilla kuvataan taimikon mahdollisuuksia käyttää kasvupaikkaa hyväksi. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(I_{Gu}) = -7{,}43730^{*} + 1{,}67015\ln(H_{100}) + 0{,}633976\ln(G_u+0{,}001) - 0{,}0864853(G_u+0{,}001) + 0{,}232494\ln(N) - 0{,}131731ST - 0{,}0121400H_{dom(h)} \quad (54.3)$$

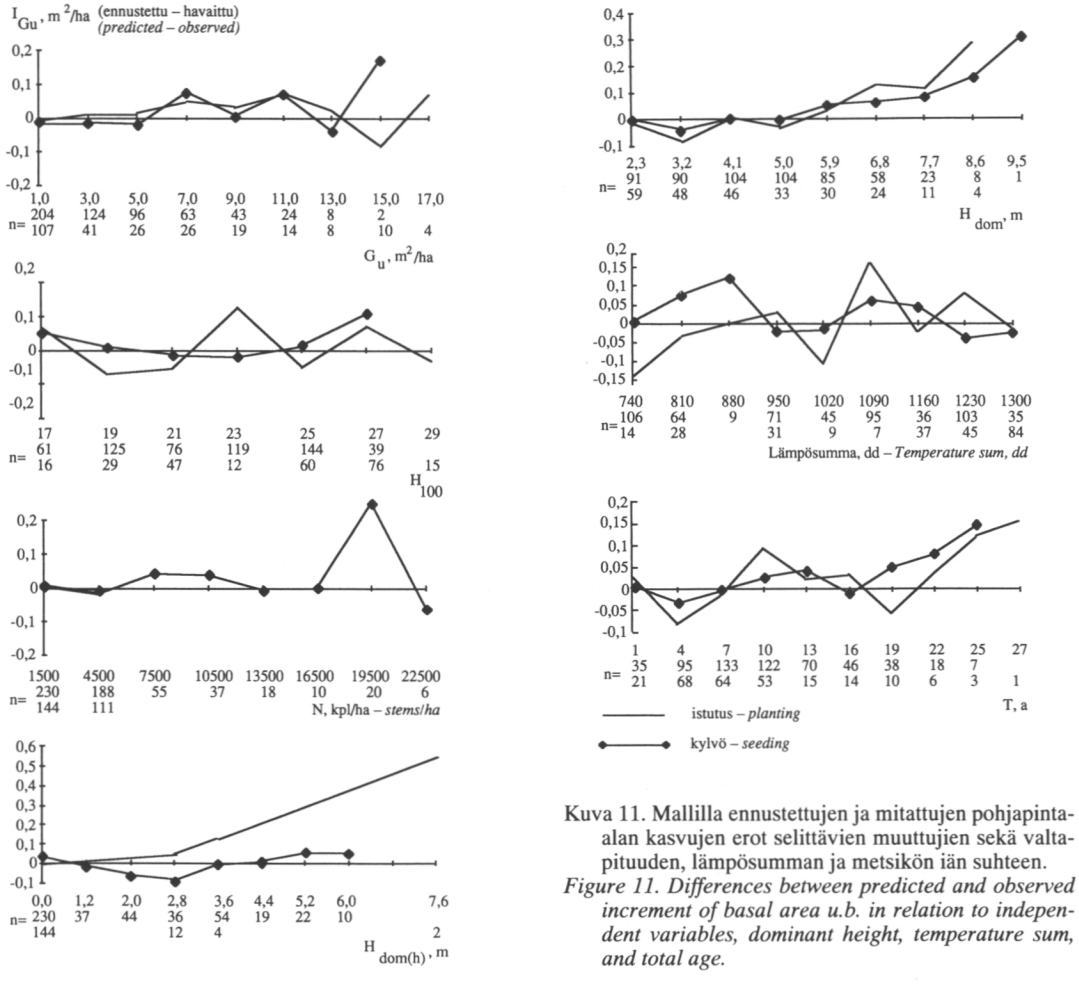
$R^2 = 0{,}881$, $s_m = 0{,}745$, $s_{f\%} = 0{,}258$, $s_{e\%} = 26{,}2$, $b_{e\%} = 0{,}16$, $n = 819$

* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Mallin käyttäytymistä on kuvattu jäännösvaihtelukuvilla (kuva 11), joissa on esitetty luokittaiset ennustettujen ja havaittujen kasvujen erotusten keskiarvot ja havaintojen lukumäärät. Mallissa mukana olevien muuttujien lisäksi on esitetty mallin kulku lämpösumman, valtapituuden ja valtapuiden rinnankorkeusiän suhteen.

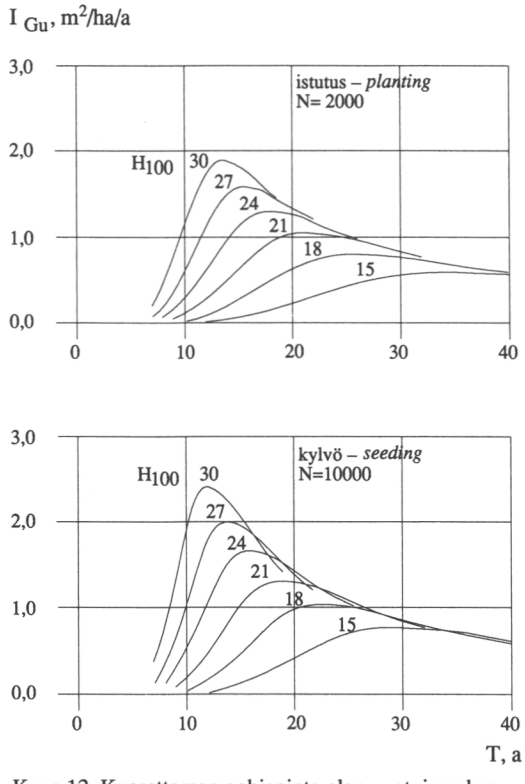
Mallissa mukana olevien muuttujien suhteen ei voida havaita systemaattisia virheitä. Ainoastaan muutamissa istutetuissa, myöhäisessä vaiheessa harvennetuissa taimikoissa malli on yliarvioinut pohjapinta-alan kasvua. Kyse on kuitenkin erikoistapauksista.

Valtapituuden suhteen malli ei ole harhaton, vaan yli 6 metrin valtapituudella mallilla saadaan yliarvio kuorettoman pohjapinta-alan kasvulle. Yliarvio näkyy kookkaimmissa taimikoissa, joskin lievempänä, myös iän suhteen. Lämpö-

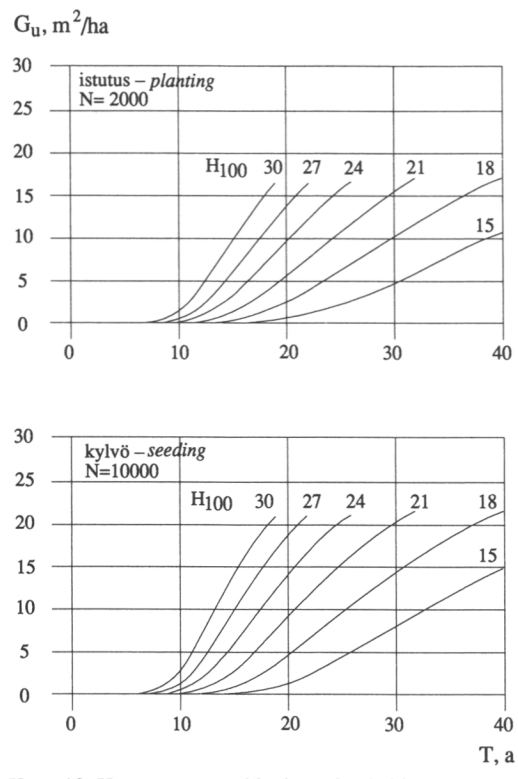


Kuva 11. Mallilla ennustettujen ja mitattujen pohjapinta-alan kasvujen erot selittävien muuttujien sekä valtapituuden, lämpösumman ja metsikön iän suhteen.

Figure 11. Differences between predicted and observed increment of basal area u.b. in relation to independent variables, dominant height, temperature sum, and total age.



Kuva 12. Kuorettoman pohjapinta-alan vuotuinen kasvu.
Figure 12. Current annual increment of basal area u.b.



Kuva 13. Kuorettoman pohjapinta-alan kehitys.
Figure 13. Development of basal area u.b.

summan suhteen ei voida havaita systemaattisia poikkeamia.

Osittaiskorrelaatiokuvatarkastelussa (liite 1) muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle on annettu vakioina aineiston keskiarvot. Istutustaimikoissa kuorettoman pohjapinta-alan kasvu on suurempi kuin kylvötaimikoissa. Tasoero on suurimmillaan noin 0,2 m²/ha/v. Kuorettoman pohjapinta-alan kasvu saavuttaa maksimin melko aikaisessa vaiheessa eli pohjapinta-alan ollessa 7–8 m²/ha. Pituusboniteetin suhteen kuorettoman pohjapinta-alan kasvu on lähes suoraviivaisesti nouseva. Runkoluvun suhteen kasvu on myös nouseva, mitään vuotuisen kasvun maksimia ei saavuteta taimikko- ja riukuvaiheessa.

Taimikonharvennuksen ajankohta vaikuttaa hyvin vähän pohjapinta-alan kasvuun. Tämä voidaan tulkita siten, että pohjapinta-alan kasvu on suurin harventamattomissa taimikoissa ($H_{dom(h)}$=0) ja mitä myöhemmin taimikko harvennetaan, sitä huonommin se kykenee reagoimaan harvennuksen aiheuttamaan kasvutilan lisääntymiseen. Kaiken kaikkiaan osittaiskorrelaatiokuvat osoittavat, että malli käyttäytyy selittävien muuttujien suhteen loogisesti ja oletusten mukaisesti.

5.5 Kuorettoman pohjapinta-alan kehitys

Kuorettoman pohjapinta-alan vuotuinen kasvu on esitetty kahtena esimerkkinä (kuva 12). Pohjapinta-alan alkuarvot on saatu mallilla (52.1). Tarkastelu on rajattu aineiston alueelle eli alle 10 metrin valtapituudelle ja alle 40 vuoden iälle.

Kasvun kulminaatio on sitä aikaisempi ja terävämpi, mitä parempi kasvupaikka on. Ennen maksimipistettä kasvu on sitä suurempi, mitä parempi kasvupaikka on. Kulminaatiopisteen jälkeen kasvukäyrät kuitenkin menevät ristiin etenkin, jos metsikön runkoluku on suuri. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että kokonaispohjapinta-alaa kuvaavat käyrät alkavat loitontumisen asemasta lähetä toisiaan. Tämä lienee merkki siitä, että metsiköt ovat saavuttaneet itseharvenemisen vaiheen.

Vuokilan & Väliahon (1980) tutkimuksessa kuorellisen pohjapinta-alan vuotuinen kasvu on sitä suurempi, mitä parempi kasvupaikka on, eikä mitään kasvukäyrien leikkaamista voi havaita ennen ensiharvennusta. Sen sijaan Hägglundin ym. (1979) kontortamänniköiden vuotuista kuorellista pohjapinta-alaa kuvaavat kasvukäyrät leik-

kaavat toisensa eri pituusboniteeteilla kulminaatiopisteen jälkeen iällä 30–50 vuotta.

Kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallilla voidaan ennustaa pohjapinta-alan kehitys (kuva 13). Lähtöarvona annetaan pohjapinta-ala valtapituuden ylitettyä rinnantasan (malli 52.1). Lähtöarvoilla laskettu vuotuinen kasvu lisätään pohjapinta-alaan. Tätä käytetään seuraavan vuoden alkuarvona, lasketaan uusi vuotuinen kasvu jne.

Pohjapinta-ala valtapituudella 10 metriä on jokseenkin riippumaton kasvupaikasta. Kasvupaikan vaikutus tulee esiin siinä, että hyvällä kasvupaikalla tietty pituus ja samalla pohjapinta-ala saavutetaan nopeammin kuin karulla kasvupaikalla. Vaikka pohjapinta-alan vuotuista kasvua kuvaavat käyrät leikkaavatkin toisiaan kulminaatiopisteen jälkeen, kehityskäyrien lähentymistä toisiinsa ei vielä voida havaita.

6 Apumallit

6.1 Kuorimallit

Sekä pohjapinta-ala että tilavuus ilmaistaan nykyisin kuorellisina mittoina. Pohjapinta-alan kasvumalli on kuoreton, joten kuorelliseen pohjapinta-alaan pääsemiseksi tarvitaan muuntomalli. Kuorettoman ja kuorellisen pohjapinta-alan suhde perustuu koepuiden kuorimittauksiin. Kuoren paksuuskin kasvaa puun koon kasvaessa. Puun kuoren paksuus kunkin kasvujakson (=1 vuosi) alussa laskettiin KPL:ssä sijoittamalla muunnettuun kuorikäyrään jakson alkua vastaava puun kuorettoman läpimitan estimaatti. Muunnettu kuorikäyrä on alkuperäinen kuorikäyrä muunnettuna siten, että se antaa kuoren paksuuden kuorettoman läpimitan funktiona (Heinonen 1981).

Muuntomallit kehitettiin sekä kuorettoman pohjapinta-alan muuntamiseksi kuorelliseksi että päinvastoin. Selitettäviksi muuttujiksi valittiin kuoriprosenttien logaritmit. Mallien kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(100 \cdot (G-G_u)/G_u) = -3{,}154938^* - 0{,}0672189\ln(G_u) + 2{,}47217\ln(H_{100}) - 0{,}0711495H_{100} + 0{,}0451761\ln(N) \quad (61.1)$$

$R^2 = 0{,}490$, $s_m = 0{,}268$, $s_f = 0{,}192$, $s_{e\%} = 19{,}4$, $b_{e\%} = 0{,}00$, $n = 813$

$$\ln(100 \cdot (G-G_u)/G) = -2{,}02088^* - 0{,}0504664\ln(G) + 1{,}91935\ln(H_{100}) - 0{,}0534393H_{100} - 0{,}0386639\ln(N) \quad (61.2)$$

$R^2 = 0{,}481$, $s_m = 0{,}214$, $s_f = 0{,}154$, $s_{e\%} = 15{,}5$, $b_{e\%} = -0{,}01$, $n = 813$

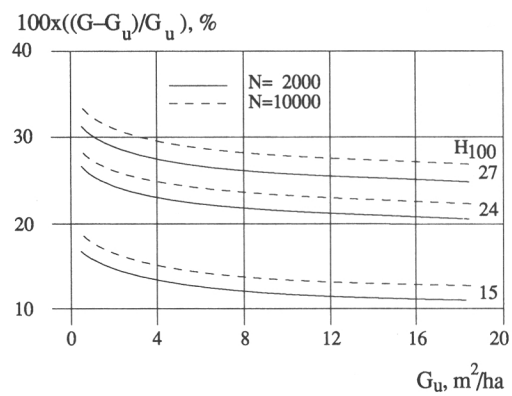
* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Kuoren osuus on sitä suurempi, mitä parempi kasvupaikka on (kuva 14). Pohjapinta-alan kasvaessa kuoren osuus pienenee ja on melko samansuuruinen kuorettoman pohjapinta-alan ylitettyä 5 m²/ha. Runkoluvun lisääntyminen lisää kuoren osuutta.

6.2 Tilavuusmalli

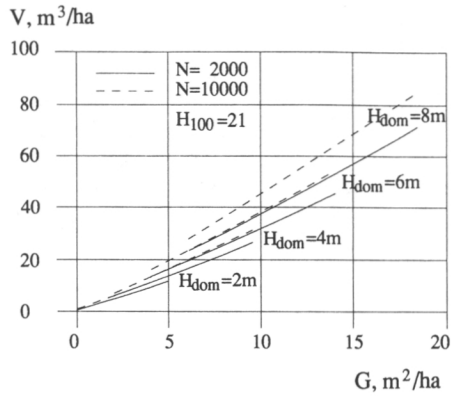
Tilavuusmalli kehitettiin kuvaamaan kuorellista tilavuutta. Tilavuudessa olivat mukana myös alle 1,3 metriä pitkät taimet (ks. alaluku 2.3), koska taimikkovaiheessa valtapituuden ylitettyä 1,3 metriä suurin osa tilavuudesta koostuu alle 1,3 m mittaisista puista. Kasvumallin perustana olevan kuorettoman pohjapinta-alan sijasta käytettiin selittävänä muuttujana kuorellista pohjapinta-alaa. Kuorellisen pohjapinta-alan käyttöön päädyttiin siksi, että se on käytännössä metsiköstä helpommin mitattava tunnus.

Aiemmissa tutkimuksissa on yleensä päädytty tulomuotoisen mallin käyttöön (Eriksson 1976, Hägglund ym. 1979, Vuokila & Väliaho 1980, Fryk 1984, Agestam 1985, Ekö 1985). Myös tässä tutkimuksessa tulomuotoinen malli osoit-



Kuva 14. Kuoriprosentti kuorettoman pohjapinta-alan funktiona.

Figure 14. Bark percent as a function of the basal area u.b.



Kuva 15. Puuston tilavuus pohjapinta-alan funktiona valtapituusluokittain.
Figure 15. Volume as a function of the basal area u.b. in different dominant height classes.

tautui tilavuutta parhaiten selittäväksi. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(V) = 1{,}34449^{*} + 1{,}01788\ln(G+0{,}3) + 0{,}0808575\,(H_{dom}-1{,}3) - 0{,}212569\ln(H_{100}) + 0{,}0000215926N \qquad (62.1)$$

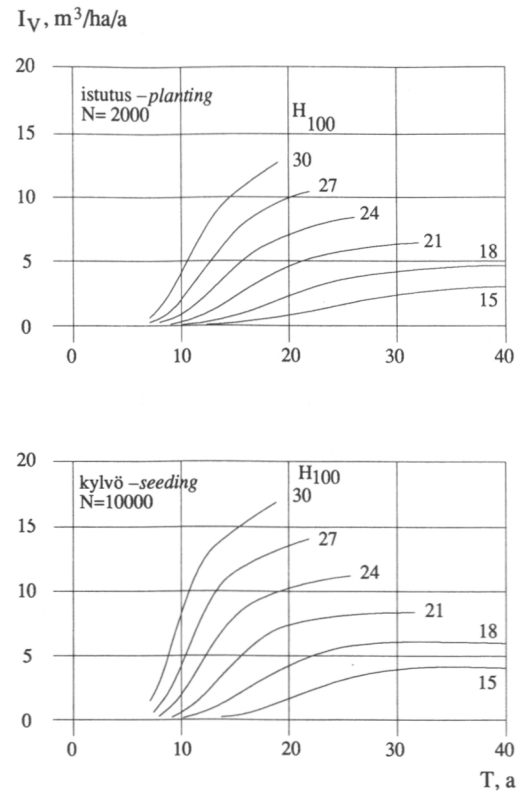
$R^2 = 0{,}985$, $s_m = 1{,}99$, $s_{f\%} = 0{,}149$, $s_{c\%} = 15{,}0$, $b_{c\%} = -0{,}01$, $n = 753$

* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Tilavuuden varianssin homogenisoimiseksi ja mallin loogisuuden parantamiseksi pohjapinta-alaan tehtiin lisäys 0,3. Pohjapinta-ala selittää suurimman osan tilavuudesta. Pohjapinta-ala ja valtapituus ovat keskenään korreloivia, joten näiden tekijöiden analysointi ei ole mahdollista tällä mallilla. Ainoastaan pituusboniteetin voi olettaa olevan muista selittävistä muuttujista riippumaton. Kasvupaikan paraneminen vähentää tilavuutta muiden tunnusten pysyessä vakiona eli rehevillä kasvupaikoilla metsikön muotoluku on pienempi kuin karuilla kasvupaikoilla. Malli on esitetty graafisesti kuvassa 15 pituusboniteetille 21.

Tilavuuskasvuun päästään käyttämällä kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallia, muuntamalla pohjapinta-ala kuorelliseksi ja sijoittamalla tunnukset tilavuusmalliin. Valtapituuden kasvu saadaan valtapituuden kasvumallilla (33.1) laskettujen valtapituuksien erona. Vuotuinen tilavuuskasvu saadaan peräkkäisten vuosien tilavuuksien erotuksena.

Tilavuuden vuotuinen kasvu on taimikko- ja riukumetsävaiheessa jatkuvasti suureneva toisin kuin pohja-pinta-alan kasvu (kuva 16). Etenkin tiheissä taimikoissa voidaan kuitenkin havaita



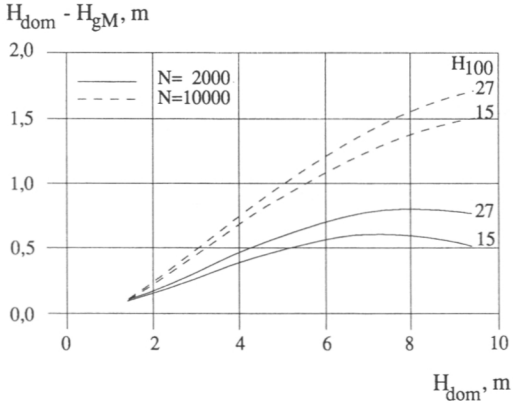
Kuva 16. Vuotuinen tilavuuskasvu.
Figure 16. Current annual increment of volume.

tilavuuskasvun laantumista. Se ajoittuu hetkeen, jolloin valtapituuden vuotuinen kasvu ohittaa maksimin. Harventamattomissa, karun kasvupaikan kylvötaimikoissa vuotuinen tilavuuden kasvu saavuttaa kulminaatiopisteen jo ennen kuin valtapituus on 10 metriä (kuva 16).

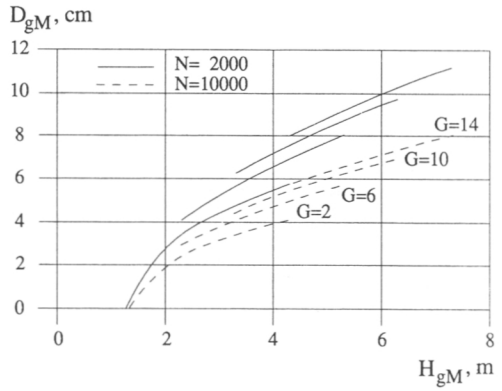
6.3 Keskipituusmalli

Useissa käytännön ohjeissa taimikonharvennuksen ajankohta ilmaistaan keskipituuden avulla. Keskipituus voi olla joko aritmeettinen, pohjapinta-alalla painotettu tai pohjapinta-alamediaaniläpimittaa vastaava pituus. Erilaiset pohjapinta-alapainotukseen liittyvät keskipituudet eivät taimikoissa eroa toisistaan kovinkaan paljon.

Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään pohjapinta-alamediaaniläpimittaa vastaavaa keskipituutta (H_{gM}). Se kuvattiin tulomuotoisella mallilla. Graafisen tarkastelun perusteella muuttujiin tehtiin muutokset, jotka pakottavat keskipituudeksi 1,3 metriä, kun valtapituus on 1,4



Kuva 17. Valtapituuden ja keskipituuden ero.
Figure 17. The difference of the dominant height and the height corresponding to the basal area median diameter.



Kuva 18. Pohjapinta-alamediaaniläpimitta vastaavan keskipituuden funktiona.
Figure 18. Basal area median diameter as a function of corresponding height.

metriä. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(H_{gM} - 1{,}3) = 0{,}673064^* + 0{,}938063\ln(H_{dom} - 1{,}4) + 0{,}0254534(H_{dom} - 1{,}4) - 0{,}0848432\ln(N) - 0{,}057965\ln(H_{100}) \quad (63.1)$$

$R^2 = 0{,}956$, $s_m = 0{,}749$, $s_f = 0{,}159$, $s_{e\%} = 16{,}0$, $b_{e\%} = 0{,}43$, $n = 750$

* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Valtapituus selittää suurimman osan keskipituuden vaihtelusta. Kasvupaikan paraneminen kasvattaa jonkin verran valtapituuden ja keskipituuden eroa (kuva 17). Tämä lienee osoitus siitä, että paremmalla kasvupaikalla puiden väliset pituuserot suurenevat ajan myötä enemmän verrattuna karumpiin kasvupaikkoihin. Mitä pienempi runkoluku on, sitä vähäisempi on valta- ja keskipituuden ero. Riippuvuus on looginen. Esim. taimikonharvennuksessa valtapituus ei muutu, mutta keskipituus suurenee, koska harvennuksessa poistetaan pääasiassa pieniä puita.

6.4 Keskiläpimittamalli

Keskiläpimitan jokseenkin vakiintuneeksi tunnukseksi on muodostunut pohjapinta-alamediaaniläpimitta (D_{gM}), joka saadaan helpoimmin määriteltyä relaskooppikoealalla. Läpimittatiedon avulla voidaan ennustaa runkoluku- ja pohjapinta-alajakaumia (Päivinen 1980, Kilkki & Päivinen 1986).

D_{gM} ennustettiin tulomuotoisella mallilla. Malli muodostaa keskipituusmallin kanssa rekursiivisen malliketjun, jossa keskipituusmalli on edeltäjämalli ja keskiläpimittamalli seuraajamalli. Mallin kertoimet ja luotettavuustunnukset olivat:

$$\ln(D_{gM}) = 2{,}67841^* + 0{,}481126\ln(H_{gM} - 1{,}3) - 0{,}205268\ln(N) + 0{,}165314\ln(G) \quad (64.1)$$

$R^2 = 0{,}968$, $s_m = 0{,}656$, $s_f = 0{,}117$, $s_{e\%} = 11{,}7$, $b_{e\%} = -0{,}02$, $n = 818$

* vakioon tehty logaritmimallin vaatima lisäys $s_f^2/2$

Samalla keskipituudella ja runkoluvulla keskiläpimitta on sitä suurempi, mitä suurempi pohjapinta-ala on (kuva 18). Läpimitan ja pituuden välinen riippuvuus on lähes suoraviivaista, kun keskipituus on yli 2 metriä. Runkoluvun vähentyminen suurentaa läpimittaa. Kun H_{gM} on 1,3 metriä, läpimitta on nolla.

7 Taimikoiden kasvumallin soveltaminen

7.1 Vuokilan ja Väliahon mallit ja taimikoiden kasvumallit

Viljelymänniköiden kasvatusmallien (Vuokila & Väliaho 1980) sovellusalueen alarajana on eri kasvupaikoilla valtapituus 5,6–7,0 metriä ja ikä 15–40 vuotta. Mallien alkuvaihe on siis päällekkäinen tämän tutkimuksen aineiston kanssa, ja tämä antaa mahdollisuuden tulosten vertailuun. On kuitenkin korostettava sitä, että yhteinen alue edustaa kummankin materiaalin reuna-alueita. Tämän tutkimuksen aineiston pääosan muodostaa vuosittainen kasvutieto ennen pohjapinta-alan ja valtapituuden vuotuisen kasvun maksimia. Vuokilan ja Väliahon aineisto taas edustaa kokonaisuudessaan em. vaiheen jälkeistä aluetta.

Erot tämän tutkimuksen ja Vuokilan & Väliahon (1980) tutkimuksen valtapituuksissa ovat sitä suuremmat, mitä parempi kasvupaikka on (kuva 19). Pääosa valtapituuden kehityksen eroista selittyy sillä, että Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa kehitys rinnantasalle on arvioitu tämän tutkimuksen tuloksia hitaammaksi (ks. kuva 6).

Valtapituuden kehityksen lisäksi vertailtiin tilavuuskasvua ja tilavuuden kehitystä. Vuokilan ja Väliahon aineiston pääosa on kylvettyjä männiköitä. Tämän tutkimuksen tilavuuskasvut laskettiin vertailua varten kylvömänniköille olettaen, että taimikonharvennus on tehty valtapituuden saavutettua 3 metriä. Harvennuksen jälkeiset runkoluvut olivat: H_{100}=27–30; N=2000, H_{100}=21–24; N=1800, H_{100}=15–18; N=1600 kpl/ha. Vertailukäyrät rajoitettiin taimikkomallien osalta valtapituudelle alle 10 metriä tai iälle alle 40 vuotta. Vuokilan ja Väliahon tutkimuksen arvot laskettiin kasvatusmallien sovellutusalueen alusta ensiharvennukseen asti.

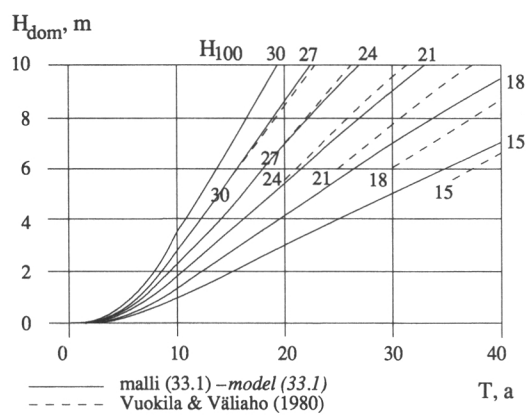
Koska tämän tutkimuksen mukaan valtapituuden kehitys on nopeampaa kuin Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa, alkaa myös pohjapinta-alan kehitys aikaisemmin. Samasta syystä myös tilavuuskasvu on tämän tutkimuksen mukaan nopeampaa kuin Vuokilan ja Väliahon malleilla laskien (kuva 20). Erot tilavuuskasvussa ovat suhteellisesti samansuuruiset kuin valtapituuden kasvussa eli yhden pituusboniteettiluokan (3 metriä) verran.

Erot tilavuuksissa ovat 10 metrin valtapituudella 10–30 m^3/ha (kuva 21). Tilavuuskehityksen erot tutkimusten välillä jäävät parhailla pituusboniteeteilla pienemmiksi kuin luokkaväli toisin kuin valtapituuden kehityksessä.

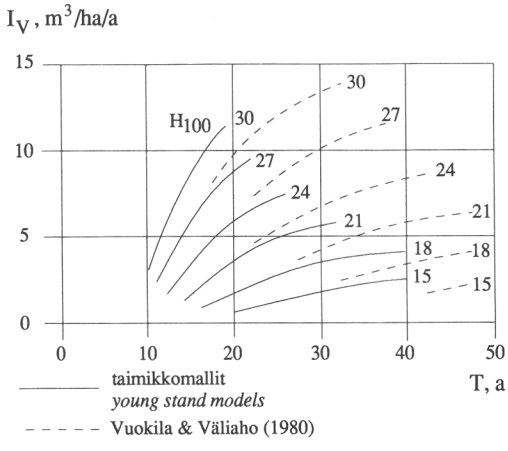
7.2 Vertailu taimikonharvennuskokeisiin

Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston puuntuotoksen tutkimussuunnalla perustettiin 1970-luvulla taimikonharvennuskokeita sekä luontaisesti syntyneisiin että kylvettyihin taimikoihin. Kokeiden yksityiskohtaiset tutkimussuunnitelmat on julkaissut Vuokila (1986, s. 76–81). Taimikoiden yleiskuvaus on julkaistu taimikoiden harvennuksen voimakkuutta selvitelleessä tutkimuksessa (Varmola 1982). Aineistosta valittiin tämän tutkimuksen kasvumallien testaamista varten kylvötaimikot, joita oli yhteensä 15 (162 koealaa). Kahdeksassa taimikossa (88 koealaa) metsikkötunnukset oli mitattu sekä harvennusvaiheessa että 4–7 vuotta myöhemmin. Neljästä metsiköstä (49 koealaa) oli tiedossa myös ensiharvennusvaiheen mittaustiedot. Kaikki metsiköt olivat kuivahkon kankaan taimikoita yhtä VMT-taimikkoa lukuunottamatta. Yksityiskohtainen mallien testaaminen harvennuskoeaineistoon on esitetty aiemmin (Varmola 1987).

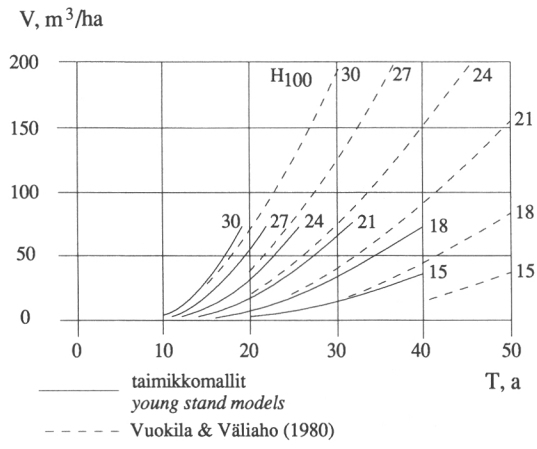
Kestokoeaineistolla tehty tarkastelu osoitti, että taimikoiden kasvumallien perustana oleva kuo-



Kuva 19. Valtapituus-ikäkäyrästöjen vertailu.
Figure 19. The comparison of dominant height-age curves.



Kuva 20. Vuotuinen tilavuuskasvu verrattuna Vuokilan & Väliahon (1980) malleihin.
Figure 20. Current annual increment of volume compared with Vuokila & Väliaho's (1980) models.



Kuva 21. Tilavuuskehitys verrattuna Vuokilan & Väliahon (1980) malleihin.
Figure 21. The development of volume compared with Vuokila & Väliaho's (1980) models.

rettoman pohjapinta-alan kasvumalli antoi luotettavia tuloksia myös testiaineistossa. Tulokset ovat loogisia aina ensiharvennukseen saakka. Mallilla (54.3) saatu noin 8 %:n aliarvio on mitä ilmeisimmin seurausta testiaineiston kasvunmittausjakson tavanomaista suotuisammista kasvuolosuhteista. Tarkastelu osoitti kuitenkin, että aikaisessa vaiheessa harvennettujen taimikoiden osalta mallilla saadaan selvä kasvun aliarvio.

Taimikonharvennuksen jälkeiselle pohjapinta-alalle saatiin mallilla (53.1) selvä aliarvio. Tämä aiheutui tämän tutkimuksen taimikoiden kasvamisesta tiheämpinä kuin testiaineiston taimikot ennen taimikonharvennusta.

Pituusbonitointia varten kehitetyllä valtapituuden kasvumallilla (33.1) saatiin myös testiaineistossa loogisia tuloksia. Pituusboniteettien ja kasvupaikkatyyppien vastaavuus osoittautui hyväksi. Eri ajankohtina lasketut pituusboniteetit eivät muuttuneet systemaattisesti, vaan testiaineiston metsiköiden valtapituuden kasvu noudatti mallin kulkua aina ensiharvennukseen asti.

Tilavuusmalli (62.1) ei sen sijaan antanut loogisia tuloksia valtapituuden ylitettyä 10 metriä. Jo laadinta-aineiston reuna-alueilla tulokset olivat epävarmoja. Keskipituusmalliin (63.1) liittyi testiaineistossa lähinnä tasoero. Keskiläpimittamallilla (64.1) saatiin yliarvio, kun lähestyttiin laadinta-aineiston rajoja.

Suurin ero testiaineiston ja laadinta-aineiston välillä oli metsiköiden tiheys ennen taimikon harvennusta. Testiaineiston useissa taimikoissa oli tehty kylvötuppaiden hajoitus muutamia vuosia ennen varsinaisen harvennuskokeen perustamista, mikä on epäilemättä vaikuttanut taimikoiden kehitykseen.

7.3 Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus puustotunnuksiin

Taimikonharvennuksella säädellään metsikön tiheyttä ja tilajärjestystä. Harvennus lisää puiden kasvutilaa ja nopeuttaa puiden järeytymistä. Mitä aiemmin taimikko harvennetaan, sitä nopeampaa on jäljelle jäävien puiden järeytyminen (Thernström 1982, Varmola 1982)

Kasvumalleilla tutkittiin taimikonharvennuksen ajankohdan vaikutuksia puustotunnuksiin olettamalla harvennus tehtäväksi, kun valtapituus ylittää 2, 4 tai 6 metriä. Harvennuksen jälkeiset runkoluvut olivat 1000 tai 2000 kpl/ha. Puustotunnukset on esitetty joko valtapituudella 10 metriä tai karummilla kasvupaikoilla iällä 40 vuotta (taulukko 5).

Aikaisen ja myöhäisen taimikonharvennuksen vaikutukset näkyvät selvimmin tilavuuksissa. Neljän metrin ero taimikon harvennushetken valtapituudessa aiheuttaa tilavuudessa noin 10 m^3/ha eron lähestyttäessä ensiharvennusta. Pohjapinta-alalla mitaten ero on 2,0–2,5 m^2/ha.

Voimakas harvennus vähentää puustopääomaa. Toisaalta jäljelle jäävät puut ovat taimikon kookkaimpia. Siten keskiläpimitta nousee jo pelkän

harvennuksen ansiosta. Ensiharvennusta lähestyttäessä ero keskiläpimitassa on 1–2 cm, kun runkoluku on joko 1000 tai 2000 kpl/ha.

7.4 Kasvumallilla simuloidut kehityssarjat

Liitteessä 2 on esitetty viljelymänniköiden kehityssarjoja erikseen istutetuille ja kylvötaimikoille. Taulukot on rajattu 10 metrin valtapituudelle tai 40 vuoden iälle. Kylvötaimikoissa harvennus on oletettu tehtäväksi valtapituuden ylitettyä 3 tai 6 metriä. Sekä istutettujen että harvennettujen kylvötaimikoiden runkoluvut ovat samat kuin Vuokilan & Väliahon (1980) taulukoissa eli seuraavan asetelman mukaiset:

H_{100}	N
27–30	2000
21–24	1800
15–18	1600

Taulukko 5. Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus puustotunnuksiin. Malleilla lasketut pohjapinta-ala, tilavuus ja keskiläpimitta, kun valtapituus on 10 metriä tai ikä 40 vuotta.

Table 5. The effect of the time and the strength of cleaning on some stand caharacteristics. Basal area, volume and basal area median diameter estimated with models when the dominant height is 10 m or when age is 40 years.

H_{100}	$H_{dom(h)}$	H_{dom}	G	V	D_{gM}
N = 1000					
15	2,0	7,3	8,2	31,7	11,5
	4,1	7,3	7,7	29,7	11,4
	6,2	7,3	5,8	22,6	10,9
21	2,2	10,0	15,3	67,9	15,6
	4,3	10,0	14,5	64,6	15,4
	6,2	10,0	12,8	57,1	15,1
27	2,3	10,3	15,3	66,1	15,7
	4,5	10,3	14,5	62,6	15,6
	6,2	10,3	13,0	56,0	15,3
N = 2000					
15	2,0	7,3	10,8	42,4	10,2
	4,1	7,3	10,3	40,3	10,1
	6,2	7,3	8,3	32,7	9,7
21	2,2	10,0	18,8	85,3	13,6
	4,3	10,0	18,1	82,0	13,5
	6,2	10,0	16,5	75,0	13,3
27	2,3	10,3	19,0	83,7	13,8
	4,5	10,3	18,3	80,4	13,7
	6,2	10,3	16,8	74,0	13,5

8 Päätelmät

Tutkimuksen aineistona oli 100 männyn viljelytaimikkoa, joista laskettiin koepuiden kasvutietojen ja runkolukusarjan perusteella vuosittaiset metsikkötunnukset 2–15 vuoden jaksolle. Mallien laadinnassa oli siten käytettävissä enimmillään 819 havaintoa. Käyttämällä saman metsikön perättäisiä havaintoja pienennettiin kasvutunnuksiin liittyvää satunnaisvaihtelua verrattuna poikkileikkausaineistoon. Samaan metsikköön liittyvät havainnot ovat keskenään korreloituneita, mikä olisi tullut ottaa huomioon regressiomallien laadinnassa. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista käytettävissä olleella tilasto-ohjelmalla ja ohjelma laski parametrien estimaatit ja niiden luotettavuustunnukset olettaen havainnot korreloimattomiksi. Tämä ei aiheuta harhaa parametrien estimaatteihin mutta kylläkin luotettavuustunnuksiin ja t-testeihin. Mallien valinta perustui ohjelmiston antamien tunnuslukujen lisäksi jäännösvaihtelu- ja osittaiskorrelaatiokuviin, joilla selvitettiin mallien loogisuutta sekä mallien ja aineiston yhteensopivuutta.

Viljelymänniköiden alkukehitys oli tutkimuksen mukaan jonkin verran aiemmin esitettyä nopeampaa. Sekä valtapituuden, pohjapinta-alan että tilavuuskasvun ero Vuokilan & Väliahon (1980) kasvatusmalleihin oli suunnilleen yhden pituusboniteettiluokan (3 metriä) verran riukumetsävaiheessa. Ero aiheutui pääasiassa siitä, että Vuokilan ja Väliahon tutkimuksessa kehitys rinnantasalle on arvioitu noin kaksi vuotta hitaammaksi kuin minkä tämä tutkimus osoitti.

Näiden kahden tutkimuksen mallien yhteensovittaminen voidaan tehdä korjaamalla metsikön ikää em. erolla ja sijoittamalla korjattu ikä Vuokilan & Väliahon (1980) malliin. Toinen mahdollisuus on käyttää kuutiosplinitasoitusta valtapituuden kehityksen yhteensovittamisessa (ks. Borders ym. 1984).

Taimikoiden pituusboniteetit estimoitiin Hägglundin (1976) välipituusmenetelmään perustuvalla mallilla ja siihen perustuvalla valtapituuden kasvumallilla. Vaikka Hägglundin mallin perustana oleva aineisto onkin melko pieni, näytti

malli soveltuvan hyvin myös suomalaisiin oloihin. Muutamat Etelä-Suomen lehtomaisten ja tuoreiden kankaiden taimikoiden pituusboniteetit jäivät kuitenkin selvästi alhaisemmiksi kuin mikä niiden tulisi olla metsätyyppiluokituksen mukaan. Tämä saattaa aiheutua Hägglundin mallin harhaisuudesta kaikkein parhaimmilla kasvupaikoilla. Mallilla ei hevin saada pituusboniteettia yli 30:ksi. Samaan seikkaan viittaa myös Elfvingin (1983) selvitys, jossa kaikkein rehevimpien kasvupaikkojen taimikoissa pituuskasvumenetelmä antoi pienempiä pituusboniteettiestimaatteja kuin kasvupaikkatekijöihin perustuva malli.

Valtapituuden kasvumallia voidaan käyttää paitsi valtapituuden kehityksen ennustamisessa myös pituusboniteetin estimoinnissa. Hägglundin (1976) malli rajoittuu tapauksiin, joissa pituuskasvu on mitattu määrätyltä korkeudelta. Tämän tutkimuksen mallissa ei sen sijaan ollu riippuvaisia määrätystä aloituskorkeudesta. Jäännösvaihtelukuvia tarkastelemalla näytti kuitenkin ilmeiseltä, että valtapituuden tulee olla vähintään kaksi metriä, ennen kuin mallia voidaan käyttää.

Kasvumallien lähtötilanne kuvattiin kuorettomana pohjapinta-alana joko valtapituuden ylitettyä rinnantasan (harventamattomat) tai taimikonharvennuksen jälkeen (harvennetut). Viimeksimainitussa mallissa selittävinä muuttujina olivat vain valtapituus ja runkoluku harvennuksen jälkeen. Aineiston mukaan kasvupaikalla ei ollut vaikutusta harvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan. Muiden tutkimusten tulokset ovat tässä suhteessa ristiriitaisia. On selvää, että taimikonharvennusta edeltävä metsikön tiheys ja harvennustapa vaikuttavat harvennuksen jälkeiseen pohjapinta-alaan. Tiheydestä ennen harvennusta samoin kuin harvennustavasta ei kuitenkaan ollut tietoa, joten niitä ei voitu ottaa malliin mukaan selittäviksi muuttujiksi.

Kasvumallien perustana oli kuorettoman pohjapinta-alan vuotuista kasvua kuvaava malli. Mallin rakenne noudatteli Jonssonin (1969) esittämää teoriaa pohjapinta-alan kasvuun vaikuttavista tekijöistä. Mallin loogisuus tarkistettiin sekä jäännösvaihtelu- että osittaiskorrelaatiokuvilla.

Testiaineistossa mallilla saatiin kuuden vuoden kasvujaksolla pohjapinta-alalle noin 8 %:n aliarvio jakson loppuajankohdan mitattuun pohjapinta-alaan verrattuna. Eron tulkittiin aiheutuvan pääasiassa testiaineiston suhteellisen lyhyen kasvujakson keskimääräistä edullisemmista kasvuolosuhteista. Tiihosen (1983) kasvuindeksien keskiarvo em. jaksolla oli 115, kun laadinta-aineiston kasvunjaksojen kasvuindeksien keskiarvo oli 95.

Metsikön syntytapa oli pohjapinta-alan kasvumallissa valemuuttujana. Istutustaimikossa kasvu on mallin mukaan aina jonkin verran suurempi kuin kylvötaimikossa. Tasoero selittyy sillä, että istutustaimikossa puilla on alusta alkaen tasainen tilajärjestys. Kylvötaimikossa tilajärjestys on ennen tuppaiden harventamista ryhmittäinen. Myös harvennuksen jälkeen kasvu jäi kylvömänniköissä pienemmäksi kuin istutustaimikossa. Kasvumallit kuvasivat hyvin kylvömänniköiden kehitystä testiaineistonkin mukaan. Istutustaimikoista ei testiaineistoa ollut saatavilla. Syntytavan vaikutusta taimikoiden kasvuun ei siten voitu varmistaa erillisellä aineistolla.

Taimikonharvennuksen vaikutusta selitti pohjapinta-alan kasvumallissa harvennushetken valtapituus. Pohjapinta-alan kasvu oli sitä pienempi, mitä myöhemmin taimikko harvennettiin. Väheneminen oli lievää ja suoraviivaista. Puustotunnusten tarkastelu 10 metrin valtapituudella osoitti, että malli käyttäytyi loogisesti ja aiempien tutkimusten mukaisesti. Testiaineisto kuitenkin osoitti, että mallilla saatiin aliarvio pohjapinta-alan kasvulle, kun taimikko oli harvennettu aikaisessa vaiheessa eli valtapituudella alle 4 metriä. Kun toisaalta on osoitettu, että vain aikaisella harvennuksella saadaan aikaan nopea järeytyminen (esim. Thernström 1982, Varmola 1982), on ilmeistä, että taimikonharvennuksen vaikutus on mallissa kuvattu liian lievästi.

Taimikoiden tilavuus ennustettiin tutkimuksessa kuorellisen pohjapinta-alan, valtapituuden, runkoluvun ja pituusboniteetin avulla. Tilavuudessa olivat mukana myös alle 1,3 metrin mittaiset taimet, joiden osuus on huomattava valtapituuden vasta ylitettyä rinnantasan.

Tutkimuksen mallit kuvaavat metsikkötunnusten kehitystä. Runkoluku- tai pohjapinta-alajakaumia kuvaavilla malleilla metsiköiden rakenne voitaisiin kuvata tarkemmin. Taimikkovaiheessa em. jakaumien tunteminen ei kuitenkaan ole ensiarvoisen tärkeää. Jakaumien merkitys korostuu, kun tarvitaan tietoa tukki- ja kuitupuuosuuksista. Taimikkomallien sovellusalueen yärajalla, valtapituudella 10 metriä kuitupuun osuus on harvennetuissa taimikoissa noin 80 %, joten ensiharvennusvaiheessa kuitupuun määrällä on jo merkitystä. Puutavaralajien estimointi katsottiin kuitenkin soveltuvan tarvittaessa Vuokilan & Väliahon (1980) malleilla tehtäväksi.

Kasvumalleihin kuuluvat myös luonnonpoistumaa ja uusien taimien syntymistä kuvaavat mallit. Luonnonpoistumaa on yleensä kuvattu metsikkökohtaisilla malleilla (esim. Hägglund

ym. 1979, Agestam 1985, Näslund 1986). Viljelytiheyksien ja mittaushetken runkolukujen analysointi tutkimusaineistossa osoitti, että viimeksimainittu oli joissakin tapauksissa jopa suurempi kuin viljelytiheys. Tämä kertoi toisaalta luontaisen taimiaineksen täydentävästä vaikutuksesta ja toisaalta pienestä kuolleisuudesta. On oletettavaa, että harvennetuissa taimikoissa kuolleisuus on hyvin pientä ensiharvennukseen mennessä, minkä osoitti myös testiaineisto. Erillisiä kuolemismalleja ei siten tarvita ainakaan harvennetuissa taimikoissa. Syntymismallien merkitys korostuu luontaisesti uudistetuissa taimikoissa.

Missään mallissa ei käytetty selittävänä muuttujana taimikon ikää, joka sinänsä on helposti määriteltävissä viljelytaimikossa. Iän käyttöä ei katsottu tarpeelliseksi malleissa, koska pituusboniteetti itsessään sisältää tietoa metsikön iästä ja valtapituudesta. Pituusboniteetti saadaan taimikkovaiheessa varmimmin estimoitua pituuskasvun avulla. Jos taimikkoa on jossain vaiheessa kohdannut tuho ja sen kehitys on tuhon takia hidastunut, voidaan ikään perustuvilla malleilla saada huomattavan väärä arvio kehitykselle. Valtapituutta ei myöskään käytetty pohjapinta-alan kasvumallissa suoraan selittävänä muuttujana, vaikka sillä olisi selitysarvoa ollutkin. Syynä menettelyyn oli se, että valtapituus ajan suhteen muuttuvana tunnuksena vääristäisi kasvumallia, jos sen kehityksessä tapahtuisi häiriöitä. Kuoretonta pohjapinta-alaa lukuunottamatta mallissa mukana olevat muut selittävät muuttujat ovat ajan suhteen muuttumattomia.

Tutkimuksen aineistona olivat hyvin onnistuneet, täystiheät taimikot. Mallit kuvaavat siten viljelymänniköiden ideaalista kehitystä taimikkovaiheessa samoin kuin Vuokilan ja Väliahon mallit myöhäisemmällä iällä. Siitä, millainen vähennys malleihin olisi tehtävä "arkitaimikoissa", ei ole tietoa. On kuitenkin ilmeistä, että etenkin harvennetuissa taimikoissa puiden kasvutila voidaan järjestää tasaiseksi, ja kehitys noudattelee taimikkomalleja edellyttäen, että taimikoissa ei tapahdu runkoluvun muutoksia.

Kirjallisuus — References

Agestam, E. 1985. En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Summary: A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter 15. 150 s.

Andersson, S-O. & Björkdahl, G. 1984. Om björkstubbskottens höjdutveckling i ungdomsskedet. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3–4: 61–67.

Borders, B.E., Bailey, R.L. & Ware, K.D. 1984. Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method. Forest Science, 30(2): 411–423.

Cajander, E.K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 19(3). 101 s.

Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. Acta Forestalia Fenniae 56. 69 s.

Ekö, P.M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. Summary: A growth simulator for Swedish forests, based on data from the national forest survey. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel, Rapporter 16. 224 s.

Elfving, B. 1982. HUGIN's ungskogstaxering 1976–1979. Projekt HUGIN, Sveriges lantbruksuniversitet, Rapport 27. 87 s.

— 1983. Ståndortsindex på HUGIN's ungskogsytor. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för Skogsskötsel. Moniste. 11 s.

— & Hägglund, B. 1975. Utgångslägen för produktionsprognoser. Tall och gran i Sverige. Summary: Initial stands for yield forecasts. Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 38. 75 s.

Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 41. 291 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 Iggesund Bruk in central Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 13. 248 s.

Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 41 s.

Huuri, O., Lähde, E. & Huuri, L. 1984. Tiheyden vaikutus istutusmännikön laatuun. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 167. 22 s.

Hägglund, B. 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Summary: Site index curves for Scots pine in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 31. 54 s.

— 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 39. 66 s.

— , Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. Projekt HUGIN, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 13. 133 s.

Hämäläinen, J., Kaila, S. & Keskinen, S. 1985. Laskentasysteemi metsänviljelyn menetelmien vertailuun. Metsätehon katsaus 18. 4 s.

Jonsson, B. 1969. Studier över den av väderleken orsakade variationen i årsringsbredderna hos tall och gran i Sverige. Summary: Studies of variations in the witdhs of annual rings in Scots pine and Norway spruce due to weather conditions in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 16. 297 s.

Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. 116 s.

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 Forestalia Fenniae 71(3). 78 s.

Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemailla. Summary: Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat. Folia Forestalia 646. 36 s.

Kilkki, P. & Päivinen R. 1986. Weibull function in the estimation of the basal area dbh-distribution. Seloste: Weibull-funktio pohjapinta-alan läpimittajakauman estimoinnissa. Silva Fennica 20(2): 149–156.

— & Varmola, M. 1979. A nonlinear simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Silva Fennica 13(4): 293–303.

Kinnunen, K. 1986. Männyn kylvötuppaiden harventamisesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 215. 19 s.

— & Linnimäki, J. 1977. Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa. Summary: Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia. Folia Forestalia 329. 32 s.

— & Nerg, J. 1982. Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä. Abstract: State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forests of western Finland. Folia Forestalia 535. 16 s.

Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(8). 49 s.

Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P. K. & Taimisto, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967–1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967–1975. Folia Forestalia 312. 27 s.

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 Forestales Fenniae 133. 79 s.

Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 38(5). 131 s.

Näslund, B-Å. 1986. Simulering av skador och avgång i ungskog och deras betydelse för beståndsutvecklingen. Summary: Simulation of damage and mortality in young stands and associated stand development effects. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel, Rapporter 18. 147 s.

Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) — Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 s.

Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia Forestalia 346. 40 s.

— , Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Metsänuudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma "VILJO". Summary: A calculation system for the comparison of forest regeneration chains. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 179. 93 s.

Pelkonen H., Tuomi, P. & Valtanen, J. 1982. Männyn viljelytaimikoiden kunto 10 vuoden iällä Taivalkoskella. Summary: Survival of pine on reforested sites in the northern Finland. Folia Forestalia 511. 23 s.

Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemailla kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978–1979. Folia Forestalia 679. 26 s.

Pohtila, E. & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–1972 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970–1972. Silva Fennica 17(3): 201–224.

— & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. Folia Forestalia 453. 18 s.

Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. Folia Forestalia 442. 28 s.

Rautiainen, O. & Räsänen, P.K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968–1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968–1976. Folia Forestalia 426. 24 s.

Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland: Results from the inventories in 1978–1979. Folia Forestalia 637. 30 s.

Saksa, T. 1986. Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa.

Summary: The development of Scots pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland. Folia Forestalia 644. 60 s.

Salminen, H & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. Folia Forestalia 752. 29 s.

Sirén, G. 1956. Männyn taimistojen käsittelystä. Summary: The treatment of pine seedling stands. Metsätaloudellinen aikakauslehti 1: 5–12.

Thernström, P-O. 1982. Några resultat från sex röjningsförsök med röjning i tallungskog vid olika beståndsålder. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för Skogsproduktion. Examenarbete 3. 69 s.

Tiihonen, P. 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. Folia Forestalia 545. 8 s.

Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia Forestalia 451. 21 s.

— 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s.

— 1984. Taimikoiden pituusbonitoinnin ongelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 148: 148–151.

— 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Konekirjoite. 89 s.

— & Vuokila, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for small-sized pines. Folia Forestalia 652. 24 s.

Vuokila, Y. 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.

— & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 99(2). 271 s.

Total of 53 references

Summary

A stand model for early development of Scots pine cultures

Introduction

Artificial regeneration has been used in Finland on a large scale since the 1950s. Nowadays the artificially regenerated area is about 140 000 ha per year. This equals half of the area regenerated annually. The total area of cultures is nearly 5 mill. ha.

Growth and yield models for Scots pine cultures in Finland have been created by Vuokila & Väliaho (1980). These models contain the development of stands from pole stage (dominant height 5–8 m) to the final cutting. In most Fennoscandinavian growth and yield tables (e.g. Koivisto 1959, Eriksson 1976, Hägglund et al. 1979, Vuokila & Väliaho 1980, Agestam 1985, Ekö 1985) the development of stands is desribed only from the pole stage on. In this study stand models for the early development of Scots pine cultures up to 10 m of dominant height are presented. The following stand characteristics are described; basal area both over and under bark, basal area median diameter and corresponding height, dominant height, and volume. Application of models is discussed in relation to models for older stands.

Material

The data consist of 100 temporary plots. They cover practically all sites suitable for artificial regeneration of Scots pine in Finland (Table 1). The geographical distribution is from southernmost Finland (60° N) to above the Arctic Circle (67° 30'N) (Fig. 2). The stands have been selected subjectively in order to get as wide a variety as possible in relation to density and site. Twentynine stands were planted, the rest seeded. In 37 seeded stands cleaning had been done 2 to 14 years before measurement.

The size of plot varies from 225 to 2000 m^2, with at least 200 plants calipered, from which 20 sample trees were selected. Besides the normal tree characteristics (Table 2) height increments (max 15 a), and radial increment at breast height (max 15 a) were measured. At the time of measurement dominant height varied from 3.7 to 10.1 m, age from 12 to 35 years (Fig. 1), and density from 1300 to 24 000 stems/ha.

The basis for the analysis is the increment data (Table 3). It contains 819 annual increment periods in all. In all static variables values are presented as those in the beginning of the corresponding growing period. Volumes also include trees under 1.3 m high, which in small stands are of great importance.

Site indexes

Site index curves based on height and age can be used in stands over at least 5 to 8 m of dominant height. In any case it is risky to estimate a site index with such a model when dominant height is under 10 m as in the study material. The use of a site index model for Scots pine cultures (Vuokila & Väliaho 1980) gave as a mean value 3 m higher than should have been supposed on the basis of forest site types (see Cajander 1949).

Instead of height-age model another method was used. Hägglund (1976) has developed a model for site classification in young stands ("interceptmethod") based on the 5-year increment of dominant height beginning from the height of 2.5 m. This model seems to suit well in the study material. As mean values site indexes are equal to indexes of different forest site types, but the deviation in a single forest site type is less than when using the dominant height-age model.

In Hägglund's model (1976) the starting point for height growth is fixed, 2.5 m. To be able to estimate site index with different starting points a height growth model (33.1) was derived.

The model describes the development of dominant height (Fig. 7). Annual values can be derived by cubic spline interpolation when 5-year points of dominant heights are known (Fig. 8). Site indexes are calculated by iteration. Iteration was used in 38 stands, where no value for Hägglund's method was available.

In spite of the difficulties in determining forest site type in a young stand the correspondence between calculated site indexes and those of different forest site types was considered rather good (Table 4). Also the deviation of site indexes, which are determined by Hägglund's model and by equation (33.1) cover the range of sites used in artificial regeneration in Finland (Fig. 5).

Basal area growth model

The base model for the simulation system is that of current annual increment of basal area u.b (54.3). As in many other studies, a multiplicative model was used. The model is described in two examples (Fig. 12), where the first represents a typical planted stand and the second a normal density seeded stand without cleaning. The development curves are limited to 10 m of dominant height (Fig. 13).

In a dense stand growth curves on different sites cross each other. This is a sign of overdensity and a need for thinning. A similar pattern of crossing has been recognized by Hägglund et al. (1979) with Lodgepole pine.

Other models

In order to get an initial state for basal area two models were derived. The first model (52.1) describes basal area u.b. when the dominant height has reached 1.3 m, i.e. the breast height age is 1, as a function of dominant height, site index and stem number (Fig. 9). In the second model (53.1), which gives basal area u.b. after cleaning, site index had no significance as an independent variable (Fig. 10). According to other studies site index seems to have a negative effect (Elfving & Hägglund 1975), a positive effect (Vuokila & Väliaho 1980), or no effect (Hägglund et al. 1979) on the basal area after cleaning or thinning. These conflicting results show that different models lack some important variables, e.g. density before thinning and method of thinning.

Bark models (61.1 and 61.2) were derived for converting basal area u.b. to that o.b. and vice versa (Fig. 14). Volume is described by basal area, dominant height, site index, and stem number (Model 62.1 and Fig. 15). Basal area median diameter (Model 64.1 and Fig. 18) and corresponding height (Model 63.1 and Fig. 17) were modelled, too. Current annual volume increment, which is counted as the difference between annual values, is presented in two examples (Fig. 16).

Particularly in a dense, uncleaned stand the current annual volume increment curve has a clear turning point when dominant height is about 7 m. This equals the culmination point of the current annual increment of both basal area and dominant height.

Application of model

In Finland growth and yield of Scots pine cultures are described by Vuokila & Väliaho's models (1980) from the pole stage on (dominant height 5–8 m). The upper limit of models in this study is 10 m of dominant height or 40 years of age. Thus a comparison between both models can be made for the common area.

According to this study dominant height reaches breast height on average two years earlier than in Vuokila and Väliaho's study (Fig. 6). This can be seen as a quicker development of dominant height up to 10 m (Fig. 19). The difference between the two studies in site indexes is about one class (3 m).

The same phenomenon can be seen in volume growth (Fig. 20). While the development of dominant height is faster in this study, the cumulation of basal area begins earlier, too. Basal area is the main dependent variable in the volume model and thus affects volume growth strongly. The difference for volume growth between the two studies is, however, smaller than for dominant height.

Growth tables

Growth tables are of interest for e.g. a forest manager, who wants to estimate the state of a cultivated Scots pine stand and its development. The following initial values are required: site index, stem number and, in seeded stands, time of cleaning. Stem number can vary from 500 to 20 000 stems/ha, site index (H_{100}) from 15 to 30, and the time of cleaning from 1.5 to 8.0 m of dominant height. Tables are restricted to 10 m of dominant height as the upper limit or, on poorer sites, to an age of 40 (see appendix 2).

Conclusions

In young stands the method for estimating site index with 5-year dominant height growth is consired adequate. With a dominant height growth model no fixed starting point is needed. However, when the dominant height is under 2 m, estimation of site index will be uncertain.

The simulation system contains the estimation of main stand characteristics excluding mortality. This is partly due to the lack of proper material for either the mortality of plants or the birth of new, naturally regenerating plants. On the other hand, mortality is not obvious after cleaning as the test material showed.

The early development of a stand is an interesting part in the whole time of rotation. Changes are rapid and many characteristics reach their culmination in annual increment. How different models which describe the early and later develoment can be combined, has to be solved before different models for the whole rotation time can be used.

SYMBOLS

a, b_1, b_2, c_i parameters of a model

b bark thickness of a tree, mm

b_e absolute bias $\frac{\sum(\hat{y} - y)}{n}$

$b_{e\%}$ relative bias $100 \cdot \frac{\sum \frac{(\hat{y} - y)}{n}}{n}$

d breast height diameter, cm

DD temperature sum (>+5 °C), degree days

D_{gM} basal area median diameter, cm

G basal area at breast height over bark, m^2/ha

G_u basal area at breast height under bark, m^2/ha

h tree height, m

H_{dom} dominant height, mean height of 100 thickest trees/ha, m

$H_{dom(h)}$ dominant height at cleaning, m
=0 in uncleaned stands

H_{gM} mean height correponding to D_{gM}, m

H_{100} site index, dominant height at the age of 100 years

i_d diameter increment at breast height, cm/a

I_G current annual increment of basal area at breast height o.b., $m^2/ha/a$

I_{Gu} current annual increment of basal area at breast height u.b., $m^2/ha/a$

I_V current annual increment of volume o.b., $m^3/ha/a$

$I_{V>1,3}$ current annual increment of volume of trees over 1.3 meter in height, $m^3/ha/a$

$I_{Hdom(5)}$ 5-year growth of dominant height, m

$I_{Hdom(2,5)}$ 5-year growth of dominant height from the first whorl above 2,5 m, dm

$\ln(x)$ natural logarithm of x

n number of observations

N number of stems including trees under 1.3 meter in height, stems/ha

R^2 degree of determination

s standard deviation of observations

$s_{e\%}$ relative standard error of the model, %,

in logarithmic models $100 \cdot \sqrt{e^{s_f^2} - 1}$

in other models $100 \cdot \sqrt{\frac{\sum\left(\frac{\hat{y} - y}{\hat{y}}\right)^2}{n - 1}}$

s_f residual error of a model

s_m standard deviation of dependent variable

ST dummy variable describing the way of regeneration (0 = planting, 1 = seeding)

T total age, a

$T_{1,3}$ breast height age of dominant trees, a

v volume of a tree o.b, dm^3

V volume o.b. including trees under 1.3 meter in height, m^3/ha

$V_{>1,3}$ volume o.b. without trees under 1.3 meter in height, m^3/ha

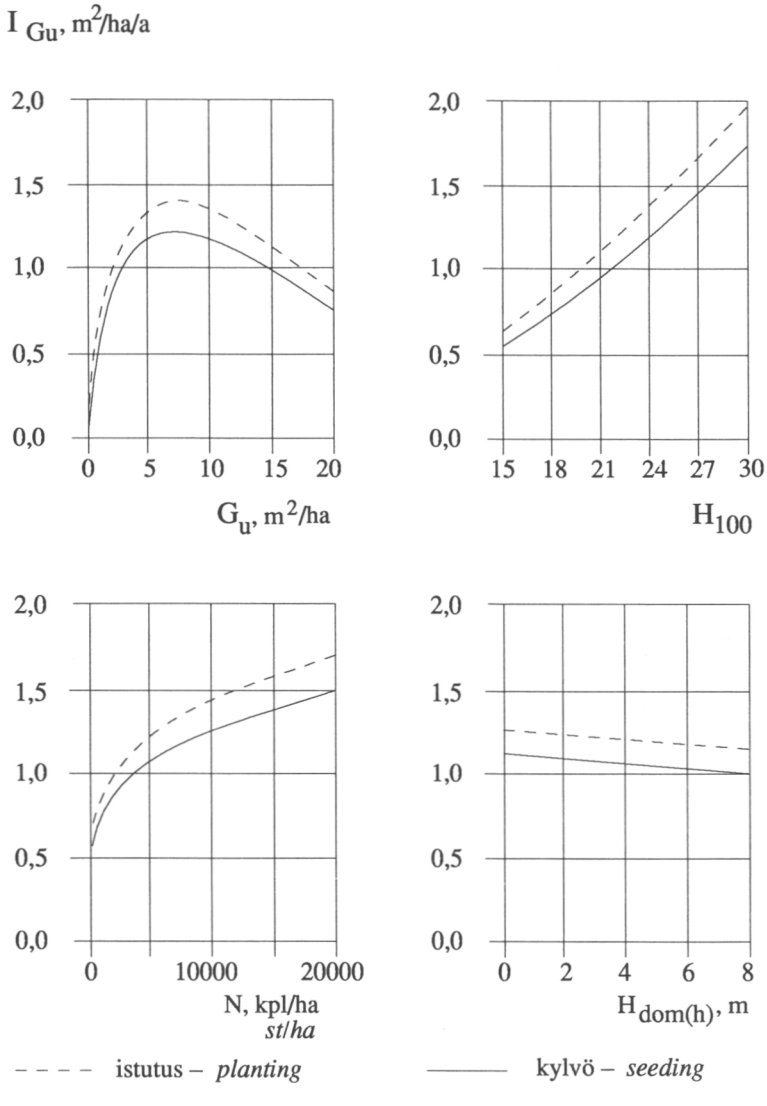
$\bar{x}$ mean of observations

y observed value of a variable

$\hat{y}$ estimated value of a variable

Liite 1. Pohjapinta-alan kasvumallin osittaiskorrelaatiokuvat selittävien muuttujien suhteen. Muille kuin tarkasteltavalle muuttujalle on annettu vakiona aineiston keskiarvot (G_u=3,6, H_{100}=22,5, N=5000, $H_{dom(h)}$=3,6).

Appendix 1. *Partial correlations of basal area u.b. in relation to independent variables. Other variables than that being studied are given constant values (G_u=3.6, H_{100}=22.5, N=5000, $H_{dom(h)}$=3.6).*



Liite 2. Kasvumallilla simuloituja kehityssarjoja.
Appendix 2. *Growth tables simulated with models.*

Istutus -*planting*		H_{100}= 30			N = 2000				
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	**G**	**V**	I_G	I_V
1		0.08							
2		0.19							
3		0.33							
4		0.53							
5		0.82							
6		1.20							
7	1	1.67	1.55	1.1	0.08	0.12	0.82	0.28	0.63
8	2	2.21	2.01	2.2	0.30	0.40	1.45	0.60	1.41
9	3	2.81	2.51	3.3	0.75	1.00	2.86	1.03	2.59
10	4	3.44	3.04	4.5	1.54	2.02	5.45	1.49	4.08
11	5	4.10	3.60	5.6	2.71	3.52	9.54	1.92	5.70
12	6	4.78	4.19	6.7	4.21	5.43	15.24	2.21	7.23
13	7	5.48	4.80	7.8	5.96	7.65	22.47	2.36	8.53
14	8	6.18	5.44	8.9	7.83	10.01	31.00	2.38	9.56
15	9	6.89	6.10	9.9	9.72	12.39	40.57	2.31	10.39
16	10	7.61	6.78	10.8	11.57	14.70	50.96	2.19	11.07
17	11	8.32	7.48	11.7	13.32	16.89	62.03	2.06	11.68
18	12	9.03	8.20	12.6	14.97	18.95	73.71	1.92	12.23
19	13	9.73	8.93	13.4	16.51	20.87	85.93	1.79	12.75

Istutus -*planting*		H_{100}= 27			N = 2000				
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	**G**	**V**	I_G	I_V
1		0.07							
2		0.16							
3		0.29							
4		0.46							
5		0.70							
6		1.01							
7	1	1.40	1.30	0.0	0.02	0.03	0.64	0.10	0.22
8	2	1.84	1.69	1.4	0.09	0.12	0.87	0.24	0.57
9	3	2.32	2.11	2.3	0.28	0.37	1.43	0.48	1.15
10	4	2.84	2.54	3.3	0.64	0.85	2.58	0.78	1.99
11	5	3.38	2.99	4.3	1.25	1.62	4.58	1.12	3.05
12	6	3.93	3.46	5.2	2.13	2.74	7.63	1.44	4.22
13	7	4.50	3.95	6.2	3.26	4.18	11.85	1.70	5.38
14	8	5.07	4.46	7.1	4.62	5.88	17.23	1.88	6.44
15	9	5.66	4.99	8.0	6.12	7.76	23.67	1.97	7.33
16	10	6.25	5.53	8.9	7.69	9.73	31.00	1.98	8.05
17	11	6.84	6.08	9.8	9.28	11.71	39.05	1.94	8.64
18	12	7.43	6.64	10.6	10.84	13.65	47.70	1.87	9.13
19	13	8.01	7.21	11.3	12.34	15.51	56.83	1.78	9.54
20	14	8.59	7.79	12.1	13.78	17.29	66.37	1.68	9.90
21	15	9.16	8.38	12.8	15.13	18.97	76.27	1.58	10.23
22	16	9.73	8.97	13.4	16.41	20.55	86.50	1.49	10.54

Istutus - *planting*			H_{100} = 24		N = 1800				
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.07							
2		0.14							
3		0.25							
4		0.39							
5		0.58							
6		0.84							
7		1.15							
8	1	1.50	1.40	0.6	0.03	0.03	0.68	0.09	0.21
9	2	1.89	1.74	1.5	0.09	0.12	0.89	0.19	0.46
10	3	2.30	2.10	2.3	0.24	0.32	1.34	0.35	0.85
11	4	2.73	2.47	3.1	0.51	0.66	2.19	0.54	1.38
12	5	3.17	2.84	4.0	0.94	1.20	3.58	0.76	2.04
13	6	3.63	3.23	4.8	1.54	1.96	5.62	0.98	2.79
14	7	4.09	3.64	5.6	2.32	2.94	8.41	1.18	3.57
15	8	4.56	4.05	6.4	3.27	4.12	11.98	1.34	4.34
16	9	5.03	4.48	7.2	4.36	5.46	16.32	1.46	5.04
17	10	5.51	4.91	8.0	5.54	6.93	21.36	1.53	5.65
18	11	5.99	5.35	8.7	6.79	8.46	27.01	1.56	6.17
19	12	6.47	5.80	9.4	8.06	10.02	33.18	1.56	6.60
20	13	6.95	6.26	10.1	9.33	11.58	39.78	1.53	6.96
21	14	7.42	6.72	10.8	10.58	13.11	46.74	1.48	7.26
22	15	7.88	7.18	11.4	11.79	14.59	54.00	1.43	7.52
23	16	8.34	7.64	12.0	12.96	16.02	61.52	1.37	7.75
24	17	8.79	8.11	12.6	14.09	17.39	69.27	1.31	7.94
25	18	9.24	8.57	13.2	15.16	18.70	77.21	1.25	8.12
26	19	9.67	9.03	13.7	16.19	19.95	85.34	1.19	8.28

Istutus - *planting*			H_{100} = 21		N = 1800				
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.06							
2		0.12							
3		0.21							
4		0.33							
5		0.48							
6		0.68							
7		0.92							
8		1.20							
9	1	1.50	1.40	0.6	0.02	0.02	0.67	0.06	0.14
10	2	1.82	1.69	1.3	0.06	0.08	0.82	0.12	0.29
11	3	2.16	1.98	2.0	0.16	0.20	1.11	0.21	0.52
12	4	2.50	2.28	2.7	0.32	0.41	1.63	0.32	0.82
13	5	2.86	2.58	3.4	0.58	0.73	2.45	0.45	1.21
14	6	3.22	2.90	4.0	0.95	1.19	3.65	0.60	1.65
15	7	3.59	3.22	4.7	1.44	1.78	5.31	0.74	2.14
16	8	3.96	3.55	5.4	2.04	2.52	7.45	0.87	2.65
17	9	4.34	3.88	6.0	2.75	3.40	10.10	0.99	3.16
18	10	4.72	4.22	6.7	3.57	4.39	13.26	1.08	3.64
19	11	5.10	4.56	7.3	4.46	5.47	16.90	1.15	4.08
20	12	5.48	4.91	7.9	5.42	6.62	20.98	1.20	4.47
21	13	5.86	5.26	8.5	6.41	7.82	25.45	1.22	4.80
22	14	6.23	5.61	9.1	7.42	9.04	30.25	1.23	5.09
23	15	6.60	5.97	9.6	8.44	10.27	35.33	1.22	5.33
24	16	6.97	6.32	10.2	9.46	11.48	40.66	1.20	5.54
25	17	7.33	6.68	10.7	10.45	12.68	46.20	1.17	5.71
26	18	7.69	7.03	11.2	11.43	13.84	51.91	1.13	5.86
27	19	8.04	7.38	11.7	12.37	14.98	57.77	1.10	5.98
28	20	8.39	7.74	12.1	13.29	16.08	63.75	1.06	6.09
29	21	8.72	8.09	12.6	14.18	17.14	69.84	1.02	6.19
30	22	9.06	8.43	13.0	15.04	18.16	76.03	0.99	6.27
31	23	9.38	8.78	13.4	15.86	19.15	82.30	0.95	6.34
32	24	9.70	9.12	13.8	16.66	20.09	88.64	0.91	6.40

Istutus - *planting*		H_{100} = 18			N = 1600				
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.05							
2		0.10							
3		0.17							
4		0.27							
5		0.39							
6		0.54							
7		0.72							
8		0.93							
9		1.16							
10	1	1.40	1.30	0.1	0.01	0.01	0.66	0.02	0.07
11	2	1.66	1.55	0.9	0.03	0.03	0.72	0.05	0.13
12	3	1.92	1.78	1.5	0.07	0.08	0.85	0.09	0.23
13	4	2.19	2.02	2.1	0.14	0.18	1.08	0.14	0.36
14	5	2.46	2.26	2.6	0.26	0.32	1.45	0.21	0.54
15	6	2.74	2.51	3.2	0.43	0.52	1.98	0.28	0.74
16	7	3.03	2.76	3.7	0.66	0.80	2.73	0.36	0.98
17	8	3.31	3.01	4.2	0.96	1.16	3.71	0.44	1.25
18	9	3.61	3.27	4.8	1.32	1.59	4.96	0.52	1.54
19	10	3.90	3.53	5.3	1.76	2.11	6.50	0.60	1.83
20	11	4.19	3.79	5.9	2.26	2.71	8.33	0.67	2.13
21	12	4.48	4.06	6.4	2.82	3.38	10.45	0.73	2.42
22	13	4.77	4.32	6.9	3.44	4.11	12.87	0.78	2.69
23	14	5.06	4.59	7.4	4.11	4.89	15.57	0.83	2.95
24	15	5.35	4.86	7.9	4.81	5.72	18.52	0.86	3.18
25	16	5.64	5.12	8.3	5.54	6.57	21.70	0.88	3.39
26	17	5.92	5.39	8.8	6.29	7.45	25.09	0.89	3.58
27	18	6.20	5.66	9.2	7.05	8.35	28.68	0.90	3.75
28	19	6.47	5.93	9.7	7.81	9.24	32.42	0.90	3.89
29	20	6.74	6.19	10.1	8.58	10.14	36.31	0.89	4.01
30	21	7.01	6.45	10.5	9.34	11.03	40.32	0.88	4.12
31	22	7.27	6.72	10.9	10.09	11.90	44.43	0.86	4.21
32	23	7.53	6.98	11.3	10.83	12.77	48.64	0.85	4.28
33	24	7.78	7.24	11.6	11.56	13.61	52.92	0.83	4.35
34	25	8.03	7.49	12.0	12.27	14.44	57.27	0.81	4.40
35	26	8.28	7.75	12.3	12.96	15.25	61.67	0.79	4.45
36	27	8.52	8.00	12.6	13.64	16.04	66.12	0.77	4.48
37	28	8.75	8.24	13.0	14.29	16.80	70.60	0.75	4.52
38	29	8.98	8.49	13.3	14.94	17.55	75.12	0.73	4.54
39	30	9.20	8.73	13.6	15.56	18.27	79.66	0.70	4.56
40	31	9.42	8.97	13.9	16.17	18.98	84.22	0.68	4.58

Kylvö - *seeding*			H_{100} = 27		N = 2000			$H_{dom(h)}$ = 3,4	
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.07							
2		0.16							
3		0.29							
4		0.46							
5		0.70							
6		1.01							
7	1	1.40							
8	2	1.84							
9	3	2.32							
10	4	2.84							
11	5	3.38	2.99	4.2	1.08	1.41	4.06	0.87	2.40
12	6	3.93	3.46	5.1	1.76	2.28	6.46	1.11	3.28
13	7	4.50	3.95	6.0	2.64	3.40	9.74	1.33	4.20
14	8	5.07	4.46	6.9	3.69	4.72	13.94	1.49	5.10
15	9	5.66	4.99	7.8	4.88	6.21	19.05	1.60	5.93
16	10	6.25	5.53	8.6	6.16	7.81	24.98	1.66	6.67
17	11	6.84	6.08	9.4	7.48	9.47	31.65	1.67	7.32
18	12	7.43	6.64	10.2	8.82	11.14	38.97	1.64	7.88
19	13	8.01	7.21	11.0	10.14	12.78	46.85	1.60	8.37
20	14	8.59	7.79	11.7	11.43	14.38	55.22	1.54	8.80
21	15	9.16	8.38	12.4	12.67	15.92	64.02	1.48	9.19
22	16	9.73	8.97	13.1	13.86	17.40	73.21	1.41	9.55

Kylvö - *seeding*			H_{100} = 24		N = 1800			$H_{dom(h)}$ = 3,2	
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.07							
2		0.14							
3		0.25							
4		0.39							
5		0.58							
6		0.84							
7		1.15							
8	1	1.50							
9	2	1.89							
10	3	2.30							
11	4	2.73							
12	5	3.17	2.84	3.9	0.83	1.07	3.25	0.60	1.63
13	6	3.63	3.23	4.7	1.31	1.67	4.88	0.76	2.19
14	7	4.09	3.64	5.4	1.92	2.43	7.07	0.91	2.78
15	8	4.56	4.05	6.2	2.65	3.34	9.85	1.05	3.40
16	9	5.03	4.48	7.0	3.49	4.39	13.25	1.16	3.99
17	10	5.51	4.91	7.7	4.43	5.55	17.24	1.24	4.55
18	11	5.99	5.35	8.4	5.43	6.79	21.78	1.29	5.06
19	12	6.47	5.80	9.1	6.48	8.08	26.84	1.31	5.51
20	13	6.95	6.26	9.8	7.55	9.40	32.36	1.32	5.91
21	14	7.42	6.72	10.4	8.62	10.72	38.27	1.30	6.26
22	15	7.88	7.18	11.1	9.69	12.02	44.53	1.28	6.57
23	16	8.34	7.64	11.7	10.74	13.30	51.10	1.25	6.85
24	17	8.79	8.11	12.2	11.75	14.55	57.95	1.21	7.09
25	18	9.24	8.57	12.8	12.74	15.75	65.05	1.17	7.31
26	19	9.67	9.03	13.4	13.70	16.92	72.36	1.12	7.51

Kylvö - *seeding*		H_{100} = 21			N = 1800		$H_{dom(h)}$ = 3,2		
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.06							
2		0.12							
3		0.21							
4		0.33							
5		0.48							
6		0.68							
7		0.92							
8		1.20							
9	1	1.50							
10	2	1.82							
11	3	2.16							
12	4	2.50							
13	5	2.86							
14	6	3.22	2.90	4.0	0.88	1.10	3.42	0.48	1.34
15	7	3.59	3.22	4.6	1.27	1.58	4.77	0.58	1.71
16	8	3.96	3.55	5.2	1.74	2.16	6.48	0.68	2.10
17	9	4.34	3.88	5.9	2.30	2.85	8.57	0.78	2.49
18	10	4.72	4.22	6.5	2.94	3.62	11.07	0.86	2.88
19	11	5.10	4.56	7.1	3.64	4.48	13.95	0.92	3.26
20	12	5.48	4.91	7.7	4.40	5.40	17.21	0.97	3.61
21	13	5.86	5.26	8.2	5.20	6.37	20.81	1.00	3.93
22	14	6.23	5.61	8.8	6.04	7.37	24.74	1.02	4.22
23	15	6.60	5.97	9.3	6.88	8.39	28.97	1.03	4.48
24	16	6.97	6.32	9.8	7.74	9.43	33.45	1.03	4.72
25	17	7.33	6.68	10.4	8.60	10.46	38.17	1.02	4.92
26	18	7.69	7.03	10.8	9.45	11.48	43.09	1.01	5.10
27	19	8.04	7.38	11.3	10.29	12.49	48.19	0.99	5.26
28	20	8.39	7.74	11.8	11.12	13.48	53.46	0.97	5.41
29	21	8.72	8.09	12.2	11.92	14.44	58.86	0.94	5.53
30	22	9.06	8.43	12.6	12.71	15.38	64.40	0.91	5.64
31	23	9.38	8.78	13.1	13.48	16.30	70.04	0.89	5.74
32	24	9.70	9.12	13.5	14.22	17.18	75.78	0.86	5.83

Kylvö - *seeding*		H_{100} = 18			N = 1600		$H_{dom(h)}$ = 3,0		
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.05							
2		0.10							
3		0.17							
4		0.27							
5		0.39							
6		0.54							
7		0.72							
8		0.93							
9		1.16							
10	1	1.40						–	
11	2	1.66							
12	3	1.92							
13	4	2.19							
14	5	2.46							
15	6	2.74							
16	7	3.03	2.76	3.7	0.66	0.81	2.74	0.30	0.84
17	8	3.31	3.01	4.2	0.92	1.11	3.58	0.36	1.04
18	9	3.61	3.27	4.7	1.22	1.47	4.63	0.42	1.26
19	10	3.90	3.53	5.2	1.57	1.89	5.88	0.48	1.48
20	11	4.19	3.79	5.7	1.97	2.37	7.36	0.53	1.71
21	12	4.48	4.06	6.2	2.42	2.90	9.07	0.58	1.93
22	13	4.77	4.32	6.7	2.91	3.48	11.01	0.62	2.16
23	14	5.06	4.59	7.2	3.44	4.10	13.17	0.66	2.37
24	15	5.35	4.86	7.6	4.00	4.76	15.54	0.69	2.58
25	16	5.64	5.12	8.1	4.59	5.46	18.12	0.72	2.77
26	17	5.92	5.39	8.5	5.20	6.17	20.89	0.74	2.95
27	18	6.20	5.66	9.0	5.83	6.91	23.84	0.75	3.11
28	19	6.47	5.93	9.4	6.46	7.66	26.95	0.76	3.26
29	20	6.74	6.19	9.8	7.11	8.41	30.21	0.76	3.40
30	21	7.01	6.45	10.2	7.76	9.17	33.61	0.76	3.52
31	22	7.27	6.72	10.6	8.40	9.93	37.13	0.75	3.62
32	23	7.53	6.98	10.9	9.05	10.68	40.75	0.75	3.72
33	24	7.78	7.24	11.3	9.68	11.43	44.47	0.74	3.81
34	25	8.03	7.49	11.6	10.31	12.16	48.28	0.73	3.88
35	26	8.28	7.75	12.0	10.94	12.89	52.16	0.71	3.95
36	27	8.52	8.00	12.3	11.55	13.60	56.10	0.70	4.00
37	28	8.75	8.24	12.6	12.15	14.30	60.11	0.69	4.05
38	29	8.98	8.49	12.9	12.74	14.99	64.16	0.67	4.10
39	30	9.20	8.73	13.2	13.31	15.66	68.25	0.66	4.13
40	31	9.42	8.97	13.5	13.88	16.31	72.39	0.64	4.16

Kylvö - *seeding*		H_{100} = 15			N = 1600		$H_{dom(h)}$ = 3,1		
T	$T_{1,3}$	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1		0.04							
2		0.09							
3		0.14							
4		0.21							
5		0.30							
6		0.41							
7		0.55							
8		0.70							
9		0.86							
10		1.04							
11		1.22							
12	1	1.41							
13	2	1.61							
14	3	1.81							
15	4	2.01							
16	5	2.22							
17	6	2.43							
18	7	2.64							
19	8	2.86							
20	9	3.07	2.81	3.8	0.70	0.82	2.88	0.22	0.64
21	10	3.29	3.01	4.2	0.89	1.04	3.52	0.25	0.75
22	11	3.50	3.20	4.5	1.11	1.29	4.28	0.28	0.87
23	12	3.72	3.39	4.9	1.35	1.57	5.15	0.32	0.99
24	13	3.93	3.59	5.3	1.63	1.89	6.14	0.35	1.11
25	14	4.15	3.78	5.7	1.93	2.24	7.25	0.37	1.24
26	15	4.36	3.97	6.0	2.26	2.61	8.49	0.40	1.36
27	16	4.57	4.17	6.4	2.61	3.01	9.85	0.43	1.48
28	17	4.78	4.36	6.7	2.98	3.44	11.33	0.45	1.60
29	18	4.99	4.55	7.1	3.37	3.89	12.93	0.47	1.72
30	19	5.19	4.74	7.4	3.79	4.36	14.65	0.49	1.83
31	20	5.39	4.94	7.7	4.21	4.85	16.47	0.50	1.93
32	21	5.59	5.13	8.1	4.65	5.35	18.41	0.51	2.03
33	22	5.79	5.31	8.4	5.10	5.86	20.43	0.52	2.12
34	23	5.98	5.50	8.7	5.56	6.38	22.55	0.53	2.21
35	24	6.18	5.69	9.0	6.03	6.92	24.76	0.54	2.28
36	25	6.36	5.87	9.3	6.50	7.45	27.04	0.54	2.36
37	26	6.55	6.05	9.6	6.98	7.99	29.40	0.54	2.42
38	27	6.73	6.23	9.8	7.46	8.53	31.82	0.54	2.48
39	28	6.91	6.41	10.1	7.93	9.08	34.30	0.54	2.53
40	29	7.09	6.59	10.4	8.41	9.62	36.83	0.54	2.58

Kylvö - *seeding*			H_{100}= 27			$H_{dom(h)}$ = 6,2				
T	$T_{1,3}$	N	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1			0.07							
2			0.16							
3			0.29							
4			0.46							
5			0.70							
6			1.01							
7	1	10000	1.40	1.30	0.0	0.03	0.05	0.81	0.17	0.45
8	2	10000	1.84	1.64	1.0	0.16	0.22	1.26	0.44	1.20
9	3	10000	2.32	2.00	1.7	0.49	0.66	2.46	0.86	2.47
10	4	10000	2.84	2.38	2.4	1.15	1.52	4.93	1.38	4.22
11	5	10000	3.38	2.78	3.2	2.22	2.91	9.16	1.90	6.21
12	6	10000	3.93	3.19	3.9	3.70	4.81	15.37	2.29	8.10
13	7	10000	4.50	3.62	4.6	5.50	7.10	23.46	2.51	9.63
14	8	10000	5.07	4.06	5.2	7.47	9.61	33.10	2.56	10.75
15	9	10000	5.66	4.52	5.8	9.50	12.17	43.85	2.49	11.52
16	10	2000	6.25	5.53	8.2	4.66	5.94	19.11	1.53	5.95
17	11	2000	6.84	6.08	9.1	5.88	7.47	25.07	1.59	6.72
18	12	2000	7.43	6.64	9.9	7.15	9.06	31.78	1.61	7.39
19	13	2000	8.01	7.21	10.6	8.44	10.67	39.17	1.60	7.97
20	14	2000	8.59	7.79	11.4	9.73	12.27	47.14	1.56	8.48
21	15	2000	9.16	8.38	12.1	10.98	13.83	55.61	1.51	8.92
22	16	2000	9.73	8.97	12.8	12.20	15.34	64.54	1.45	9.32

Kylvö - *seeding*			H_{100}= 24			$H_{dom(h)}$ = 6,5				
T	$T_{1,3}$	N	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1			0.07							
2			0.14							
3			0.25							
4			0.39							
5			0.58							
6			0.84							
7			1.15							
8	1	10000	1.50	1.39	0.4	0.04	0.06	0.87	0.16	0.45
9	2	10000	1.89	1.68	1.1	0.17	0.22	1.32	0.37	1.02
10	3	10000	2.30	1.99	1.7	0.45	0.59	2.34	0.66	1.93
11	4	10000	2.73	2.31	2.3	0.96	1.26	4.27	1.02	3.12
12	5	10000	3.17	2.63	2.9	1.76	2.28	7.38	1.38	4.48
13	6	10000	3.63	2.97	3.5	2.85	3.66	11.86	1.70	5.85
14	7	10000	4.09	3.32	4.1	4.20	5.36	17.71	1.92	7.06
15	8	10000	4.56	3.68	4.6	5.73	7.28	24.77	2.04	8.05
16	9	10000	5.03	4.05	5.2	7.37	9.32	32.82	2.07	8.79
17	10	10000	5.51	4.42	5.7	9.03	11.39	41.60	2.04	9.32
18	11	10000	5.99	4.81	6.2	10.67	13.43	50.93	1.96	9.71
19	12	1800	6.47	5.80	8.6	4.65	5.82	19.49	1.20	4.83
20	13	1800	6.95	6.26	9.3	5.62	7.03	24.32	1.25	5.32
21	14	1800	7.42	6.72	10.0	6.63	8.27	29.64	1.26	5.77
22	15	1800	7.88	7.18	10.6	7.66	9.54	35.41	1.27	6.16
23	16	1800	8.34	7.64	11.3	8.69	10.80	41.56	1.25	6.50
24	17	1800	8.79	8.11	11.9	9.72	12.05	48.07	1.23	6.81
25	18	1800	9.24	8.57	12.5	10.72	13.28	54.87	1.20	7.07
26	19	1800	9.67	9.03	13.0	11.70	14.48	61.94	1.16	7.31

Kylvö - *seeding*			H_{100} = 21			$H_{dom(h)}$ = 6,2				
T	$T_{1,3}$	N	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1			0.06							
2			0.12							
3			0.21							
4			0.33							
5			0.48							
6			0.68							
7			0.92							
8			1.20							
9	1	10000	1.50	1.39	0.4	0.03	0.04	0.85	0.11	0.30
10	2	10000	1.82	1.64	1.0	0.11	0.15	1.15	0.23	0.64
11	3	10000	2.16	1.89	1.5	0.29	0.38	1.80	0.40	1.17
12	4	10000	2.50	2.15	1.9	0.61	0.78	2.97	0.62	1.87
13	5	10000	2.86	2.41	2.4	1.10	1.40	4.84	0.85	2.71
14	6	10000	3.22	2.68	2.9	1.79	2.25	7.55	1.09	3.62
15	7	10000	3.59	2.96	3.4	2.67	3.34	11.17	1.29	4.52
16	8	10000	3.96	3.24	3.9	3.72	4.63	15.69	1.45	5.35
17	9	10000	4.34	3.53	4.4	4.90	6.08	21.03	1.56	6.05
18	10	10000	4.72	3.82	4.8	6.17	7.64	27.09	1.61	6.62
19	11	10000	5.10	4.12	5.2	7.49	9.25	33.71	1.62	7.06
20	12	10000	5.48	4.42	5.6	8.82	10.87	40.78	1.60	7.40
21	13	10000	5.86	4.72	6.0	10.14	12.47	48.17	1.56	7.65
22	14	1800	6.23	5.61	8.3	4.35	5.33	18.07	0.93	3.69
23	15	1800	6.60	5.97	8.9	5.12	6.26	21.76	0.96	4.01
24	16	1800	6.97	6.32	9.4	5.92	7.23	25.77	0.99	4.30
25	17	1800	7.33	6.68	9.9	6.73	8.21	30.07	0.99	4.57
26	18	1800	7.69	7.03	10.5	7.56	9.21	34.64	1.00	4.80
27	19	1800	8.04	7.38	10.9	8.39	10.20	39.44	0.99	5.01
28	20	1800	8.39	7.74	11.4	9.21	11.19	44.44	0.98	5.19
29	21	1800	8.72	8.09	11.9	10.03	12.17	49.63	0.96	5.35
30	22	1800	9.06	8.43	12.3	10.83	13.13	54.98	0.94	5.49
31	23	1800	9.38	8.78	12.7	11.61	14.06	60.46	0.92	5.61
32	24	1800	9.70	9.12	13.2	12.38	14.98	66.07	0.89	5.71

Kylvö - *seeding*			H_{100} = 18			$H_{dom(h)}$ = 6,2				
T	$T_{1,3}$	N	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1			0.05							
2			0.10							
3			0.17							
4			0.27							
5			0.39							
6			0.54							
7			0.72							
8			0.93							
9			1.16							
10	1	10000	1.40	1.30	0.1	0.01	0.02	0.81	0.05	0.14
11	2	10000	1.66	1.51	0.7	0.05	0.06	0.94	0.10	0.30
12	3	10000	1.92	1.71	1.1	0.13	0.16	1.24	0.18	0.54
13	4	10000	2.19	1.92	1.5	0.28	0.35	1.78	0.29	0.88
14	5	10000	2.46	2.12	1.9	0.52	0.64	2.66	0.42	1.31
15	6	10000	2.74	2.33	2.3	0.86	1.06	3.97	0.56	1.80
16	7	10000	3.03	2.55	2.7	1.33	1.63	5.77	0.71	2.35
17	8	10000	3.31	2.77	3.0	1.92	2.33	8.12	0.84	2.91
18	9	10000	3.61	2.99	3.4	2.62	3.18	11.03	0.96	3.46
19	10	10000	3.90	3.21	3.8	3.42	4.14	14.49	1.06	3.97
20	11	10000	4.19	3.43	4.2	4.31	5.20	18.46	1.14	4.42
21	12	10000	4.48	3.66	4.5	5.27	6.34	22.89	1.19	4.81
22	13	10000	4.77	3.89	4.8	6.27	7.53	27.70	1.21	5.13
23	14	10000	5.06	4.12	5.2	7.29	8.74	32.83	1.22	5.39
24	15	10000	5.35	4.34	5.5	8.32	9.96	38.22	1.21	5.60
25	16	10000	5.64	4.57	5.8	9.34	11.17	43.82	1.19	5.76
26	17	10000	5.92	4.80	6.1	10.35	12.36	49.57	1.16	5.88
27	18	1600	6.20	5.66	8.4	4.00	4.77	16.64	0.67	2.66
28	19	1600	6.47	5.93	8.9	4.57	5.43	19.30	0.69	2.85
29	20	1600	6.74	6.19	9.3	5.15	6.12	22.14	0.71	3.02
30	21	1600	7.01	6.45	9.7	5.76	6.83	25.17	0.72	3.18
31	22	1600	7.27	6.72	10.1	6.37	7.55	28.35	0.73	3.33
32	23	1600	7.53	6.98	10.5	6.99	8.27	31.67	0.73	3.46
33	24	1600	7.78	7.24	10.9	7.61	9.00	35.13	0.73	3.58
34	25	1600	8.03	7.49	11.2	8.23	9.73	38.71	0.73	3.68
35	26	1600	8.28	7.75	11.6	8.85	10.46	42.39	0.72	3.77
36	27	1600	8.52	8.00	11.9	9.47	11.18	46.16	0.71	3.85
37	28	1600	8.75	8.24	12.3	10.08	11.89	50.02	0.70	3.92
38	29	1600	8.98	8.49	12.6	10.68	12.59	53.94	0.69	3.99
39	30	1600	9.20	8.73	12.9	11.27	13.28	57.93	0.68	4.04
40	31	1600	9.42	8.97	13.2	11.86	13.96	61.97	0.67	4.08

Kylvö - *seeding*			H_{100}= 15		$H_{dom(h)}$= 6,2					
T	$T_{1,3}$	N	H_{dom}	H_{gM}	D_{gM}	G_u	G	V	I_G	I_V
1			0.04							
2			0.09							
3			0.14							
4			0.21							
5			0.30							
6			0.41							
7			0.55							
8			0.70							
9			0.86							
10			1.04							
11			1.22							
12	1	10000	1.41	1.31	0.1	0.01	0.01	0.82	0.02	0.08
13	2	10000	1.61	1.48	0.5	0.03	0.03	0.89	0.05	0.15
14	3	10000	1.81	1.63	0.9	0.07	0.08	1.05	0.09	0.27
15	4	10000	2.01	1.79	1.2	0.14	0.17	1.31	0.14	0.42
16	5	10000	2.22	1.95	1.5	0.26	0.31	1.73	0.20	0.62
17	6	10000	2.43	2.11	1.8	0.42	0.50	2.35	0.27	0.85
18	7	10000	2.64	2.27	2.1	0.65	0.77	3.20	0.34	1.11
19	8	10000	2.86	2.43	2.4	0.94	1.11	4.31	0.42	1.41
20	9	10000	3.07	2.60	2.7	1.30	1.53	5.72	0.50	1.71
21	10	10000	3.29	2.76	3.0	1.73	2.03	7.43	0.57	2.03
22	11	10000	3.50	2.93	3.3	2.22	2.60	9.46	0.64	2.34
23	12	10000	3.72	3.09	3.5	2.78	3.24	11.80	0.70	2.63
24	13	10000	3.93	3.26	3.8	3.38	3.94	14.43	0.75	2.91
25	14	10000	4.15	3.42	4.1	4.04	4.70	17.34	0.80	3.16
26	15	10000	4.36	3.59	4.3	4.73	5.50	20.51	0.83	3.39
27	16	10000	4.57	3.75	4.6	5.45	6.32	23.90	0.85	3.59
28	17	10000	4.78	3.92	4.8	6.19	7.17	27.48	0.86	3.75
29	18	10000	4.99	4.08	5.1	6.94	8.04	31.24	0.87	3.89
30	19	10000	5.19	4.25	5.3	7.70	8.91	35.13	0.87	4.01
31	20	10000	5.39	4.41	5.5	8.46	9.78	39.14	0.86	4.11
32	21	10000	5.59	4.57	5.8	9.21	10.64	43.25	0.85	4.18
33	22	10000	5.79	4.74	6.0	9.96	11.49	47.43	0.84	4.24
34	23	10000	5.98	4.90	6.2	10.69	12.33	51.68	0.82	4.29
35	24	1600	6.18	5.69	8.4	3.98	4.58	16.62	0.48	1.93
36	25	1600	6.36	5.87	8.7	4.39	5.05	18.55	0.49	2.03
37	26	1600	6.55	6.05	9.0	4.82	5.54	20.58	0.50	2.12
38	27	1600	6.73	6.23	9.3	5.26	6.04	22.70	0.51	2.21
39	28	1600	6.91	6.41	9.6	5.71	6.55	24.90	0.51	2.29
40	29	1600	7.09	6.59	9.9	6.16	7.06	27.19	0.52	2.36

Kansi: Jouni Hyvärinen

ISBN 951-40-1493-6
ISSN 0358-4283
Hakapaino Oy, Helsinki 1996