



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1993

826

Pentti Niemistö, Erkki Lappalainen & Antti Isomäki

MÄNTYSIEMENPUUSTON KASVU JA TAIMIKON KEHITYS PITKITETYN
LUONTAISEN UUDISTAMISVAIHEEN AIKANA

Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during
a protracted regeneration period

FOLIA FORESTALIA

Julkaisija — *Publisher*

Metsäntutkimuslaitos

The Finnish Forest Research Institute

Toimitus — *Editors*

Päätoimittaja — *Editor in chief:*

Erkki Annila

Toimittaja — *Editor:*

Seppo Oja

Toimittaja — *Editor:*

Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

Toimituskunta — *Editorial Board*

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

Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope*

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

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

Tilaukset — *Subscriptions*

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

Pentti Niemistö, Erkki Lappalainen & Antti Isomäki

MÄNTYSIEMENPUUSTON KASVU JA TAIMIKON KEHITYS PITKITETYN LUONTAISEN UUDISTAMISVAIHEEN AIKANA

Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings
during a protracted regeneration period

Approved on 31.12.1993

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
2	AINEISTO	4
2.1	Koemetsiköt ja mittaukset	4
2.2	Aineiston peruslaskenta	6
3	TULOKSET	7
3.1	Siemenpuuston tilavuuskasvu	7
3.1.1	Metsikön kasvu	7
3.1.2	Yksittäisen puun tilavuuskasvu	10
3.2	Runkomuodon kehitys	11
3.2.1	Paksuuskasvun vaihtelu	11
3.2.2	Puun poikkileikkausalan kasvumallit	12
3.2.3	Kasvuennusteiden luotettavuus	13
3.2.4	Runkojen tukkisisältö	14
3.3	Ylispuiden vaikutus taimikon rakenteeseen Pohjois-Suomessa	15
3.3.1	Taimikon tiheys	15
3.3.2	Taimikon pituuskehitys	16
3.3.3	Maanmuokkauksen vaikutus	17
3.3.4	Taimikon vaihtelua kuvaavat mallit	17
4	TULOSTEN TARKASTELU	19
	KIRJALLISUUS — REFERENCES	21
	SUMMARY	22
	Liitteet — Appendices	24

Niemistö, P., Lappalainen, E. & Isomäki, A. 1993. Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys pitkittynyt luontaisen uudistamisvaiheen aikana. Summary: Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during a protracted regeneration period. *Folia Forestalia* 826. 26 p.

Mäntysiemenpuiden kasvu mitattiin 69 siemenpuu-alueella Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Puut mitattiin ja kairattiin 8–35 vuotta siemenpuuhakkuun jälkeen. Tulosten perusteella laadittiin siemenpuustoille kasvumallit sekä metsikkö- että puutasolla. Lisäksi tutkittiin ylispuiksi jätettyjen mäntyjen vaikutusta taimikon rakentamiseen ja kehitykseen.

Siemenpuiden kasvu alkoi voimistua noin kolmen vuoden kuluttua hakkuusta ja 15 vuoden kuluessa siemenpuun tilavuuskasvu lähes kaksinkertaistui. Puuston voimakkaan harventamisen takia paksuuskasvu oli voimakainta puun tyvellä. Hehtaarikohtainen kasvu riippui lähes suoraviivaisesti puuston määrästä tutkimusaineistossa, jossa oli enimmillään 200 runkoa hehtaarilla. Myös kasvupaikan viljavuus ja lämpösumma vaikuttivat voimakkaasti puiden kasvuun.

Keskimäärin 1 m³/ha vuositason kohonnut tilavuuskasvu oli lähes pelkäästään korkealaatuista tukkipuuta. Runkomuodon heikkenemisen takia kuitenkin noin puolet tilavuuskasvusta jää hyödyntämättä sahatavarana, mikä heikentää taloudellista tulosta.

Pitkäksi aikaa kasvamaan jätettyjen siemenpuiden ympärillä taimikko jäi juuristokilpailun takia harvaksi ja aukkoiseksi. Myös taimen pituuskasvu oli sitä hitaampaa mitä lähempänä siemenpuuta se kasvoi. Uudistumismetelmien taloudellisessa vertailussa siemenpuiden kasvu tukee osaltaan luontaisen uudistamisen kannattavuutta. Lisääntyvällä kasvulla ei kuitenkaan voida perustella siemenpuiden jättämistä pitemmäksi aikaa kuin uudistumisen kannalta on tarpeen. Maisema- ym. syistä kaksijaksainen männikkö voi olla tavoittelemisen arvoinen.

Increment of Scots pine seed bearers was measured on 69 regeneration sites in southern and northern Finland. On average, the trees were measured and bored 17 years since regeneration felling (range 8–35 a). Growth models at both stand and tree level were then calculated on the basis of the measurement results. The effect of pine trees left as hold-overs on the structure and development of young stands was also examined.

Increment of seed bearers began to increase approx. three years from the time of regeneration felling and in 15 years their volume increment per year almost doubled. Due to the drastic reduction in number of trees per hectare, radial increment was most pronounced at the base of the trees. Growth per hectare exhibited an almost linear dependence on the volume of the growing stock in study material where the maximum number of stems per hectare was 200. Site fertility and the temperature sum also had a significant influence on tree growth.

The volume increment, with a mean of 1 m³/ha/a, consisted almost entirely of high-quality saw timber. Due to poor stem form, however, about half of the volume increment will be unsuitable for the production of sawn goods. This means a economic losses.

Due to competition at the root system level, the young growth around seed bearers left to grow for lengthy periods of time had become sparse with openings here and there. The height increment of young trees was so much the slower the closer such a tree was to a seed bearer. When comparing regeneration methods in terms of their economic outcome, seed bearer increment contributes to the profitability of natural regeneration. The increase in growth does not, however, provide adequate grounds for leaving seed bearers standing longer than is required for the establishment of new growth. A two-storeyed stand of Scots pine may be a desirable goal for landscape and other such reasons.

Keywords: *Pinus sylvestris*, Scots pine, seed bearer, growth model, natural regeneration.
FDC 231+56+174.7 *Pinus sylvestris*

Author's addresses: Pentti Niemistö, The Finnish Forest Institute, Muhos Research Station, FIN-91500 Muhos, Finland; Erkki Lappalainen, Lokirinne 2 E 39, FIN-02320 Espoo, Finland; Antti Isomäki, The Finnish Forest Institute, Department of Forest Production, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland.

ISBN 951-40-1350-6
ISSN 0015-5543

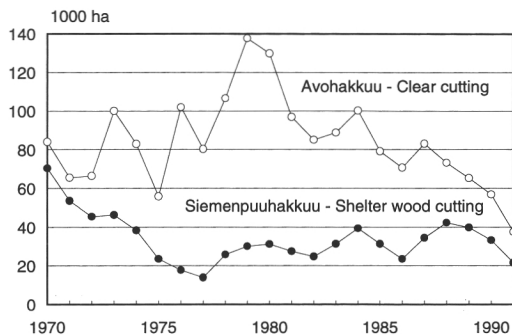
Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

1 Johdanto

Siemenpuuhakkuu männiköiden uudistamismenetelmänä otettiin käyttöön Suomessa 1800-luvun puolivälissä, jolloin sitä ensimmäisenä sovellettiin valtion sotilas- ja siviilivirkatalojen metsiin (Blomqvist 1891, Hannikainen 1919, Leikola 1987). Vähitellen menetelmä yleistyi koko maassa ja säilytti asemansa lähes yksinomaisena männiköiden uudistamiskeinona aina 1950-luvulle saakka.

Luontaiseen uudistamiseen tähtääviä uudistushakkuita tehtiin Suomessa 1960-luvun puolivälissä noin 130 000 ha/v. Tämän jälkeen niiden määrä supistui lähes ilman poikkeusta 1970-luvun loppupuolelle, jolloin niiden määrä oli enää 30 000 ha/v. Samaan aikaan vuosittaiset viljelyalat lisääntyivät saavuttaen huippunsa 160 000 ha/v. Sitten luontaisen uudistamisen suosio alkoi jälleen kasvaa. Vuotuisten siemen- ja suojuspuuhakkuiden yhteispinta-ala kohosi 1980-luvun loppuun mennessä 50 000 hehtaariin kun taas viljelyyn tähtäävät avohakkuut supistuivat samanaikaisesti 100 000 hehtaarin tasolle (Metsätilastollinen vuosikirja 1992). Valtaosa luontaisesta uudistamisesta on tehty männyn hyväksi (kuva 1).

Siemenpuumenetelmän uudelleen virinnyt suosio männiköiden uudistamiskeinona perustuu ensisijaisesti puuntuotannollisiin ja taloudellisiin seikkoihin. Menetelmän merkittävänä etuna pidetään sen vähäisiä työvoima- ja materiaalikkustannuksia. Toisaalta siemenpuumenetelmän suo-



Kuva 1. Männyn uudistamiseen tähtäävät hakkuut vuosina 1970–1991 Metsätilastollisen vuosikirjan mukaan.
Figure 1. The cutting areas for regeneration of pine in Finland in the years 1970–1991, according to the Yearbook of forest statistics.

siota ovat lisänneet myös lukuisat kielteiset kokemukset, joita on saatu varsinkin istutusmänniköiden laadullisesta kehityksestä. (Uusvaara 1974, 1991, Varmola 1980, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Vuokila 1982, Parviainen & Antola 1986).

Siemenpuumenetelmää saatetaan suosia myös puhtaasti maisemallisista ja luonnon monimuotoisuutta korostavista syistä. Arvostukset ja asenteet metsänhoitoa kohtaan ovat viime aikoina muuttuneet. On ruvettu vastustamaan avohakkuita ja vaatimaan luonnonmukaisia, mahdollisimman vähän ympäristöä muuttavia uudistamismenetelmiä. Näistä syistä siemenpuuvaihetta voidaan myös pitkittää ja päätyä jopa kaksijaksoisten männiköiden kasvatukseen.

Metsävarojen vajaakäyttö ja puuston ikääntyminen antavat myös tukea luontaiselle uudistamiselle. Rajallisen puunkysynnän vallitessa vanhojen metsien luontaiseen uudistamiseen voidaan ryhtyä suuremmalla pinta-alalla kuin vaihtoehtoisia viljelymenetelmiä käytettäessä, jolloin koko uudistusalan puusto on hakattava ja markkinoitava yhdellä kerralla. Pitkittämällä siemenpuiden kasvatusta vielä taimettumisvaiheen jälkeen voidaan jossakin määrin myös tehostaa kasvupaikan hyväksikäyttöä, sillä tässä vaiheessa taimet ovat vielä pieniä eivätkä voi käyttää uudistusalan kasvutekijöitä täysimääräisesti hyväkseen (Isomäki 1982). Tietyissä tilanteissa ylispuujaksoilla voidaan myös hidastaa metsien ikäluokkarakenteen liian nopeaa nuortumista.

Tavallisesti männyn siemenpuuhakkuussa jätetään kasvamaan elinvoimaltaan ja tekniseltä laadultaan metsikön parhaat valtapuut. Tällä valinnalla tavoitellaan ensisijaisesti hyvää perimää ja runsasta siemensatoa (Heikinheimo 1937, Kallala 1948, Sarvas 1949, Nyyssönen 1954). Hyvälaatuinen siemenpuusto tarjoaa kuitenkin myös mahdollisuuden tähdätä järeän, huippulaatuisen puun tuottamiseen.

Koska siemenpuut ovat yleensä jo saavuttaneet tukkipuun minimikoon, niiden pinnalle kasvava uusi puuaine lisää pelkästään tukkipuun saantoa. Rungon karsiutuneessa vyöhykkeessä se merkitsee oksattoman, huippulaatuisen raaka-aineen lisäämistä. Erityisesti tukkipuun laatumakсутavan yleistyessä myös tämä tekijä on omiaan kasvattamaan kiinnostusta männyn siemenpuumenetelmää kohtaan. Toisaalta tiedetään, että

voimakkaan hakkuun jälkeen sädekasvu lisääntyä erityisesti runkojen tyviosassa aiheuttaen runkomuodon heikentymistä (Nyblom 1927, Hagerberg 1942, Sarvas 1949, Nyyssönen 1952, Siren 1952, Hagner 1962). Hagnerin (1962) mukaan mänty reagoi vielä 150 vuoden iällä tehtyihin suojus- ja siemenpuuhakkuihin lisäämällä selvästi kasvuaan. Myös Hannikainen (1919), Barth (1929), Metsäpelto (1932), Vuokila (1965) sekä Hänninen ym. (1972) ovat kiinnittäneet huomiota siementävän puuston kasvuun.

Vaikka edellä mainituissa tutkimuksissa on tarkasteltu siementävän puuston omaa puuntuotannollista merkitystä, aiheeseen on kiinnitetty Suomessa tähän mennessä varsin vähän huomiota. Vallitsevana on ollut sinänsä perusteltu näkemys, jonka mukaan siemenpuiden päätehtävä on taimettaa uudistusala, ja jonka mukaan ylispuut pyritään poistamaan heti kun kehityskelpoinen taimikko todetaan syntyneen (Blomqvist 1891, Kalela 1961, Kinnunen ym. 1980, Valtanen 1984). Siemenvuosista riippuen tämä voi tapahtua muutamassa vuodessa (Valtanen 1984), mutta etenkin pohjoisessa aika voi venyä jopa 10 vuodeksi (Norokorpi 1983).

Koska metsien hoidolle asetetaan nykyisin yhä enemmän muitakin kuin pelkästään puuntuotannollisia tavoitteita, ylispuumänniköiden määrä saattaa lisääntyä voimakkaasti luontaisen uudistamisen yleistyessä. Tässä tilanteessa on syytä tutkia myös kaksijaksoisiksi kehittyvien männyn

siemenpuuasentojen puuntuotannollisia ominaisuuksia.

Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistettiin 1980-luvun puolivälissä tutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää ylispuumäntyjen kasvureaktio siemenpuuhakkuun jälkeen ja laatia mallit koko metsikön ja yksittäisten siemenpuiden kasvuille. Tilavuuskasvun ohella tutkimuksessa painotettiin siemenpuiden runkomuodon kehitystä sekä siemenpuista saatavien tukkien ominaisuuksia. Samalla tutkittiin pitkään ylispuina kasvaneiden mäntyjen vaikutuksia alueen uudistumiseen ja taimikon kehitykseen.

Tutkimuksen suunnittelusta ja maastotöistä vastasivat Pentti Niemistö Pohjois-Suomen ja Antti Isomäki Etelä-Suomen osalta. Aineiston käsitteli Pentti Niemistö ja kasvumallit laati Erkki Lappalainen Muhoksen tutkimusasemalla. Raportin laatimisesta vastasivat Antti Isomäki ja Pentti Niemistö.

Esityötä tutkimusta valmisteltaessa teki MH Markku Meriluoto. Maastotöistä huolehtivat metsätalousinsinöörit Kari Alatalo, Timo Siitonen ja Eero Siivola sekä tutkimusmestari Eero Poutiainen. Kuvat ja tekstin viimeistelivät toimistosihteerit Irene Murtovaara ja Marja-Liisa Herno. Käsikirjoituksen lukivat ja varteenotettavia huomautuksia tekivät MML Olavi Laakkonen, professori Kari Mielikäinen ja MMK (väit.) Risto Ojansuu. Käännöstyöstä vastasi MH, VKK Erkki Pekkinen. Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

2 Aineisto

2.1 Koemetsiköt ja mittaukset

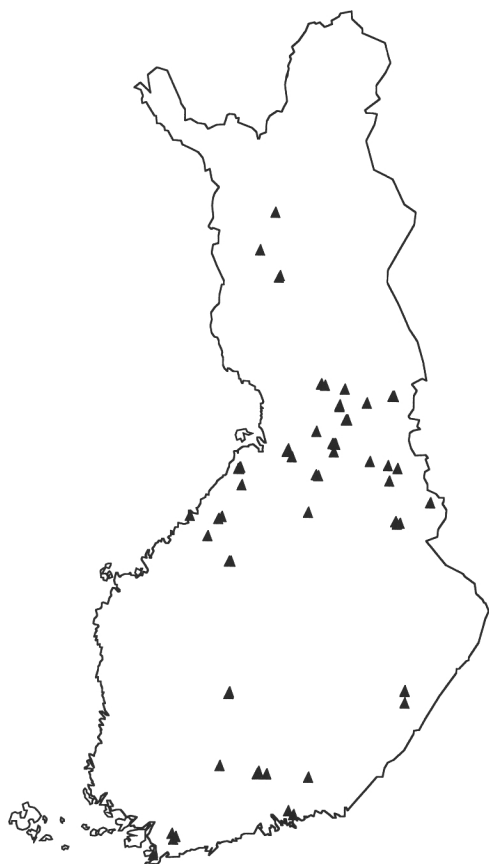
Tutkimusaineistoksi hankittiin pitkään siemenpuuasennossa kasvaneita männiköitä. Vuonna 1985 lähetettiin piirimetsälautakunnille, metsäyhtiöille ja Metsähallituksen hoitoalueille tiedustelu vanhojen siemenpuualueiden löytämiseksi. Taimikkoon ei valinnassa kiinnitetty huomiota. Metsikön piti täyttää seuraavat ehdot:

- Aikaa siemenpuuhakkuusta vähintään 8, mielellään yli 15 vuotta.
- Siemenpuuhakkuun ja sen jälkeen tehdyn maanpinnan käsittelyn tai muiden toimenpiteiden tarkka ajan-kohta oli tunnettava.
- Myrsky- tai muita tuhoja sallittiin vain lievästi.
- Yhtenäisellä metsikkökuvioilla oltava vähintään 30 valtaosaltaan tervettä siemenpuuta, mutta ei häiritsevästi muuta vanhaa puustoa.

Siemenpuualueiden etsintä painottui Pohjanmaan ja Kainuun alueille sekä eteläisimpään Suomeen. Myös Lapista mitattiin muutama alue. Pitkään siemenpuuasennossa olleita metsiköitä löytyi niukasti. Kohteita ei näin ollen tarvinnut yleensä rajoittaa, vaan kaikki mitattiin. Jos kuitenkin samalta seudulta löytyi toistensa kaltaisia kohteita, tutkimukseen valittiin pisimpään siemenpuuasennossa olleet metsiköt.

Koemetsiköihin pyrittiin perustamaan kolme ympyräkoelaa. Pienissä kohteissa jouduttiin tyytymään kahteen tai harvoin yhteen koelaan. Metsiköstä piirretylle kartalle hahmoteltiin mahdollisimman peittävästi samankokoiset ympyrät, joiden keskelle koelat sijoitettiin. Maastosta ja kartalta löydettävästä yksiselitteisestä paikasta hauduttiin kompassin ja mittanauhauksen avulla lähimpään keskipisteeseen, josta lähtien määritettiin samalla menetelmällä muiden koelajien sijainti.

Metsikkökuvioita selvitettiin maanpinnan kaltevuus,



Kuva 2. Tutkimusaineiston maantieteellinen sijainti.
Figure 2. Geographical location of the material collected on seed bearers.

metsätyyppi, maalaji ja humuskerroksen paksuus sekä puustoon ja maahan kohdistuneet toimenpiteet siemenpuuhakkuusta lähtien. Lisäksi määritettiin metsiköiden sijaintikoordinaatit ja korkeus merenpinnasta sekä niihin perustuen alueen keskimääräinen vuotuinen lämpösumma. Koealojen keskipisteet merkittiin maastoon siten, että ne pystytään paikallistamaan tarvittaessa myöhemmin.

Kaikkiaan mitattiin 69 siemenpuumetsikköä, joihin rajattiin 158 koealaa. Mittaukset ja kairaukset tehtiin yhteensä 1576 puusta. Siemenpuualueista 16 sijaitti Etelä-Suomessa, 4 Lapissa ja loput 49 Pohjanmaalla ja Kainuussa (kuva 2). Kasvupaikoista 78 % oli kuivahkoja kankaita, 13 % tuoreita ja loput kuivia kankaita. Siemenpuiksi jätettyjen mäntyjen keskipituus vaihteli 13,4 ja 31,1 metrin välillä ja oli koko aineistossa keskimäärin 18,4 m.

Alueiden keskimääräinen lämpösumma vaihteli 750 ja 1350 dd-yksikön välillä. Eniten havaintoja oli lämpö-

summa-alueelta 800–1000 dd (kuva 3). Siemenpuuston tiheys oli keskimäärin 75 kpl/ha ja vaihteluväli kymmenestä kahteensataan. Hehtaarikohtainen tilavuus oli keskimäärin 38 ja siemenpuiden keskitilavuus 0,5 kuutiometriä.

Siemenpuuhakkuun ajankohtana männiköiden keski-ikä oli 115 vuotta; vanhimmat männiköt olivat 200 vuotiaita. Yli 90 % havainnoista oli 90–150 vuotiaista männiköistä. Siemenpuuhakkuusta mittaukseen kulunut aika oli keskimäärin 17 vuotta, mutta keskiarvo kuvaa kahsihuippuista aineistoa huonosti (kuva 3). Kolmessakymmenessä metsikössä mittausjakso oli 18–35 vuotta ja 39 metsikössä 8–15 vuotta.

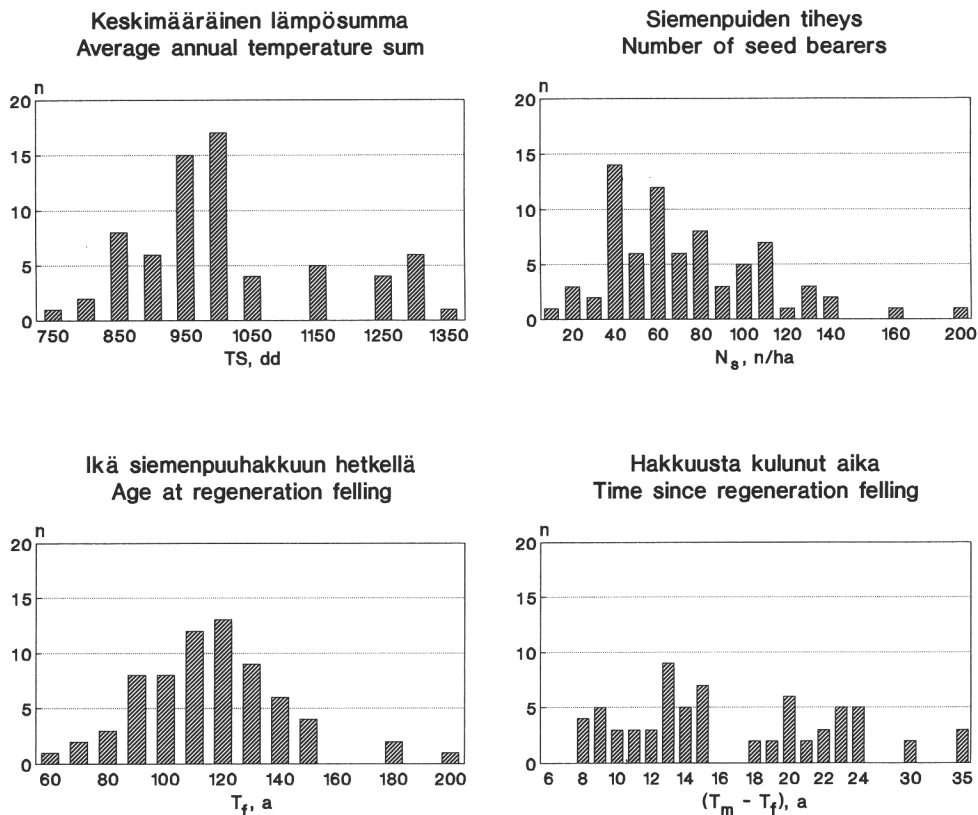
Varsinaiseen tutkimuskoealaan kuului keskipisteen ympäriltä 10 lähintä tervettä siemenpuuta (kuva 4), mutta lähiympäristön kartoittamiseksi mitattiin suunta ja etäisyys yhteensä 20 lähimpään siemenpuuhun ja niiden rinnankorkeusläpimitat. Tältä suuremmalta koealalta mitattiin myös kaikki muut vanhat elossa olevat puut, tuulenskaadot ja siemenpuuhakkuun jälkeen poistettujen puiden kannot.

Koepuukoealan 10 siemenpuusta mitattiin hypsometrillä pituus sekä elävän latvuksen alarajan ja leveimmän kohdan korkeus maasta. Latvusprojektion leveys arvioitiin maasta ja siemenpuuhakkuun jälkeen tapahtunut pituuskasvu kiikarin avulla. Latvuksen tuuheus luokiteltiin kolmeen luokkaan: harva, normaali ja tuuhe.

Rungon läpimitat mitattiin pääilmansuunnissa 0,5, 1,3, 3,0 ja 6,0 metrin korkeuksilta maasta. Mittausten yhteydessä otettiin kasvunäyte, joka ulottui vähintään 10 vuotta ennen siemenpuuhakkuuta kasvaneeseen vyöhykkeeseen saakka. Kairaus ulotettiin puun ytimeen 1,3 ja 6,0 metrin korkeuksilla. Kairaussuunta pidettiin puukohtaisesti samana, mutta puusta toiseen siirryttäessä sitä vaihdettiin pääilmansuunnasta seuraavaan. Kuorenpaksuus mitattiin kairaussuunnassa.

Jokaisen koepuun ympäriltä selvitetiin siemenpuuhakkuussa poistettu puusto kartoittamalla kannot 100 m²:n ympyrältä ja mittaamalla niiden kuorellinen läpimitta. Kuoren puuttuessa sen paksuus arvioitiin. Samoilta ympyräkoaloilta laskettiin myös isojen, vähintään metrin mitaisten taimien lukumäärät pituusluokissa 1–2 m, 2–3 m ja yli 3 m.

Siemenpuiden vaikutusta taimikkoon tutkittiin 5 m²:n ympyröiltä, joiden keskipisteiden etäisyydet siemenpuusta olivat 2, 5, 10, 15 ja 20 metriä. Tällaisia koealoja mitattiin joka toisen koepuun etelä- ja pohjoispuolelta ja joka toisen itä- ja länsipuolelta. Taimikoealaa ei rajattu, mikäli se olisi sijoittunut lähemmäksi jotakin toista siemenpuuta. Taimikoealoilta mitattiin kaikkien kehityskelpoisten taimien pituus ja ikä. Kehityskelpoisiksi todettiin taimet, joiden terveydentilassa ja vihreiden neulasten määrässä ei havaittu sellaisia puutteita, jotka estäisivät niitä selviytymästä taimivaiheen ohi. Taimikkoaineisto koostuu Pohjois-Suomen 51 siemenpuumetsiköstä.



Kuva 3. Tutkimusmetsiköiden jakautuminen lämpösumman, siemenpuuston tiheyden ja iän sekä hakkuusta kuluneen ajan mukaisiin luokkiin.

Figure 3. Distribution of the number of stands included in the study in terms of temperature sum, number of seed bearers per hectare, their age, and the time passed since the regeneration felling.

2.2 Aineiston peruslaskenta

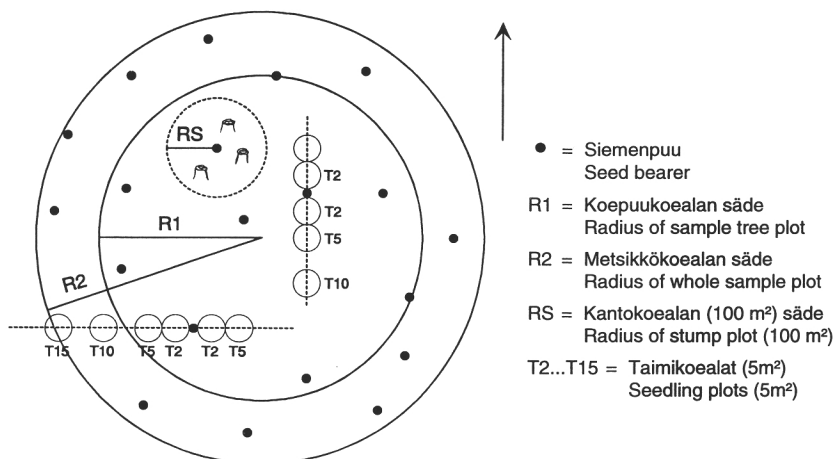
Kasvun vuotuisen vaihtelun takia siemenpuiden sädekasvut korjattiin vastaamaan pitkän ajan keskimääräisiä olosuhteita Tiihosen (1983 ja 1986) laatimilla vuosilustointidekseillä. Puiden kuorellinen tilavuus laskettiin eri ajankohtina runkokäyrän simulaanmallilla (Laasasenaho 1982) käyttäen 0,5, 1,3, 3,0 ja 6,0 metrin korkeuksilta mitattuja läpimittoja ja puun pituutta. Kuoren paksuuden oletettiin kasvavan samassa suhteessa puun säteen kanssa. Puun tilavuuskasvu saatiin eri ajankohtien kuorellisten tilavuuksien erotuksena.

Rungot jaettiin puutavaralajeihin ja sahapuuosa tukkeihin apteerausfunktiolla hakkuuhetkellä, 10 vuotta siemenpuuhakkuun jälkeen sekä mittaushetkellä. Kuitupuun minimiläpimitta kuoren alta oli 6,3 cm ja tukkien pituudet 30 cm välein 3,1–6,1 metriä. Lyhimmän tukin latva-

läpimitan piti olla vähintään 20 cm, seuraavissa pituuksissa 18 cm ja 16 cm ja pituudesta 4,3 m ylöspäin vähintään 14 cm. Latvuksen tilavuus mittaushetkellä laskettiin latvusrajasta ylöspäin ja latvan huipusta alaspäin laajenevina kahtena kartiona, jotka kohtaavat toisensa latvuksen leveimmällä kohdalla.

Koealan pinta-ala laskettiin lisäämällä kauimmaisen koepuun etäisyyden (säde = R_1 , 10 siemenpuuta, kuva 4) rajaaman ympyrän pinta-alaan puolikas yhden siemenpuun edustamasta pinta-alasta laajemmalla (säde = R_2) 20 puun ympyrällä (pinta-ala = $\pi \times (R_1)^2 + 0,5 \times \pi \times (R_2)^2 / 20$). Metsikkötunnukset laskettiin koealojen keskiarvoina.

Puuston määrä ennen siemenpuuhakkuuta arvioitiin siemenpuiden ja niiden ympäriltä mitattujen kantojen avulla. Poistettujen puiden läpimitta (cm) saatiin kannoista Nyysösen (1956) funktiolla ($d_{1,3} = 0,75 \times d_k - 0,5$).



Kuva 4. Tutkimuskoealan rakenne. Yhdestä metsiköstä mitattiin 2–3 tällaista koealaa.
Figure 4. Structure of a study sample plot. Two to three such plots were measured in each stand.

Kantojen lahoisuus aiheutti epävarmuutta niiden läpimitan mittauksessa, joten luotettavampaan tulokseen ei kannattanut pyrkiä.

Taimikkoa koskevassa laskennassa käytettiin havaintojen riippumattomuuden takia taimikoealojen (5 m²) avulla laskettuja metsikkökeskiarvoja. Kehityskelpoisten taimien keskipituutta, keski-ikää ja tiheyttä sekä taimettomien koealojen osuutta tutkittiin varianssianalyysin avulla.

la pääilmansuunnittain eri etäisyyksillä emopuista. Kaikilla 51 siemenpuualueella oli havaintoja 10 metrin etäisyydelle siemenpuista, mutta 15 metrin etäisyydellä aineisto rajoittui 17 harvapuustoisimpaan metsikköön. Useimmiten 15 metrin etäisyydessä oltiin jo lähempänä jotakin toista siemenpuuta. Siemenpuiden keskinäisen etäisyyden vaihdellessa aineistosta ei kannattanut laskea taimikkokeskiarvoja koko siemenpuualueelle.

3 Tulokset

3.1 Siemenpuuston tilavuuskasvu

3.1.1 Metsikön kasvu

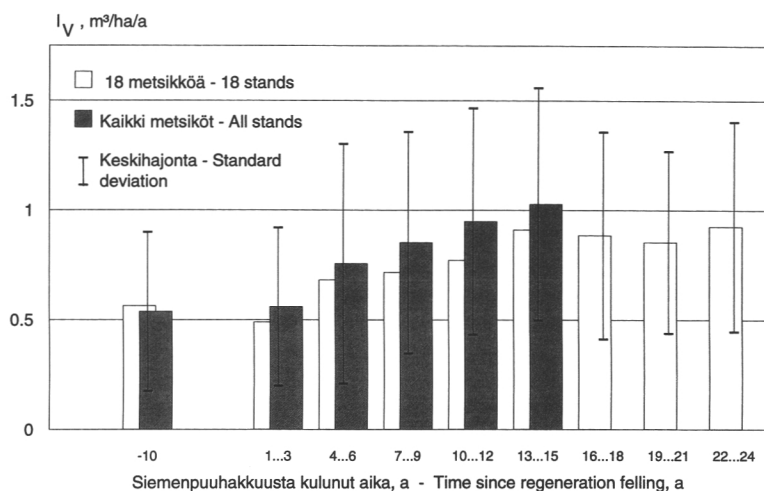
Siemenpuuhakkuun jälkeistä kasvua verrattiin samojen puiden tilavuuskasvuun hakkuuta edeltäneellä 10-vuotisjaksolla. Ensimmäisellä 3-vuotisjaksolla siemenpuiden kasvu ei vielä lisääntynyt, mutta toisella 3-vuotisjaksolla niiden indeksikorjattu tilavuuskasvu oli keskimäärin 45 % korkeampi kuin ennen hakkuuta (kuva 5). Jatkossa vuotuinen kasvu lisääntyi tasaisesti 15 vuoden päähän siemenpuuhakkuusta, jolloin se oli koko aineistossa keskimäärin lähes kaksinkertaistunut.

Kahdeksantoista metsikön osa-aineistossa tarkasteltiin kasvun muutoksia 24 vuoden aikana siemenpuuhakkuun jälkeen. Tässä aineistossa tilavuuskasvu aleni ensin vähän ja jäi muutenkin koko aineiston keskiarvojen alapuolelle. Muutoksen aikataulu oli kuitenkin sama ja kasvu lisääntyi 15 vuoden ajan siemenpuuhakkuusta jat-

kuen sen jälkeen saavutetulla tasolla (kuva 5).

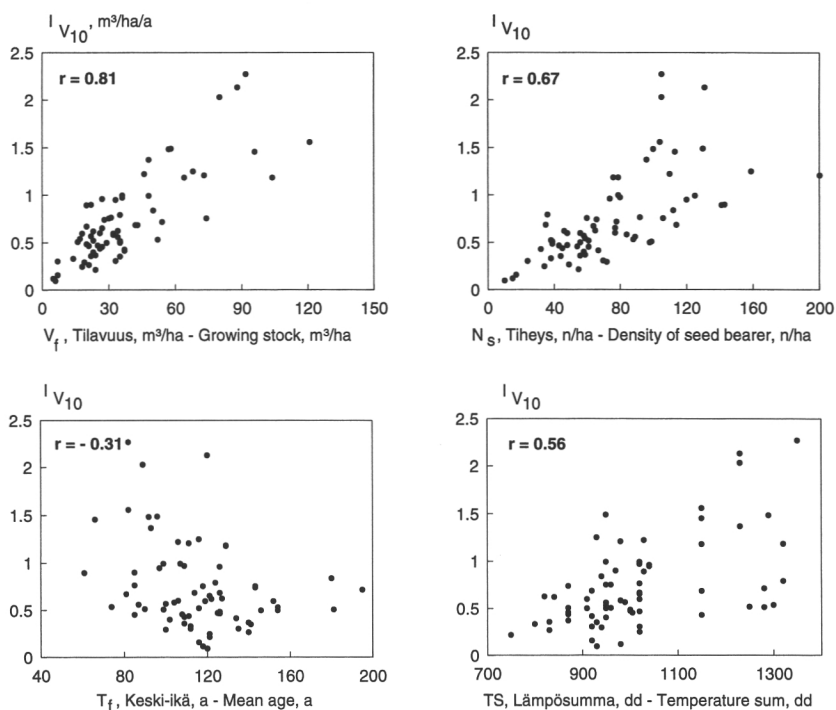
Siemenpuustojen erilaisuuden takia niiden kasvun vaihtelu oli suurta. Keskihajonta metsiköiden välillä oli yli 50 % niiden keskimääräisestä tilavuuskasvusta, joka ennen harvennusta oli noin 0,5 m³/ha/v ja 15 vuoden kuluttua hakkuusta noin 1,0 m³/ha/v. Kasvueroihin vaikuttivat etenkin siemenpuuston tilavuus ja runkoluku. Metsikön maantieteellisellä sijainnilla ja kasvupaikan viljavuudella oli myös merkitystä, mutta niiden vaikutusta ei pystytty erottamaan toisistaan. Esimerkiksi lämpösumman ja pituusboniteetin välinen korrelaatiokerroin oli tutkimusaineistossa 0,56. Siemenpuualat sijaitsivat pääasiassa kuivilla ja kuivahkoilla kasvupaikoilla.

Puuston korkea ikä näytti alentaneen siemenpuiden kasvua (kuva 6). Männikön ikä siemenpuuhakkuun ajankohtana ei ole kuitenkaan riippumaton muuttuja, koska se on uudistuskypsyyden takia hitaasti kasvavissa metsiköissä suurempi kuin nopeasti kasvavissa.



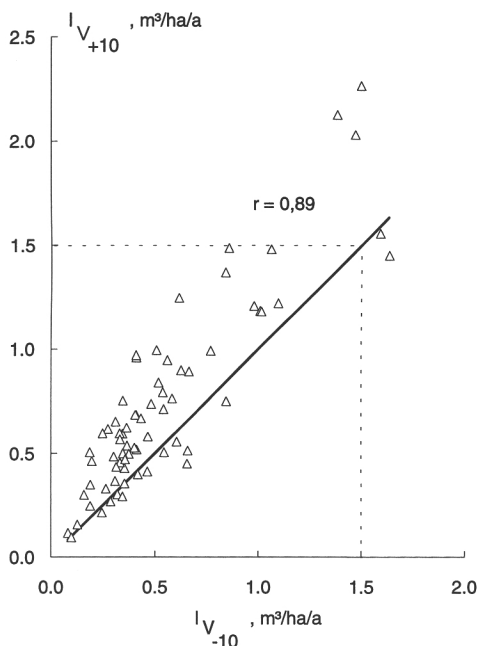
Kuva 5. Siemenpuuston keskimääräinen tilavuuskasvu siemenpuuhakkuun jälkeen verrattuna samojen puiden kasvuun 10-vuotiskaudella ennen hakkuuta.

Figure 5. Mean volume increment of seed bearers following regeneration felling as compared to the volume increment of the same trees during the preceding 10-year period.



Kuva 6. Siemenpuuston tilavuuskasvu hakkuun jälkeisellä 10-vuotiskaudella puuston tilavuuden, tiheyden ja iän sekä alueen lämpösumman funktiona.

Figure 6. Volume increment of seed bearers during the 10-year period following regeneration felling as a function of the volume, density (trees/ha) and age of the growing stock, and the local temperature sum.



Kuva 7. Siemenpuiden hehtaarikohtaisen tilavuuskasvun vertailu 10-vuotiskausilla ennen siemenpuuhakkuuta ja sen jälkeen.

Figure 7. Comparison of volume increment of seed bearers during the 10-year periods preceding and following regeneration felling.

Neljäsatoista metsikössä 69:stä kymmenen vuoden kasvu siemenpuuhakkuun jälkeen jäi pienemmäksi kuin samojen puiden kasvu ennen hakkuuta (kuva 7). Selvää syytä kasvureaktion puuttumiseen näissä metsiköissä ei löytynyt, mutta kasvupaikkojen välillä oli eroa. Hakkuun jälkeisen suhteellisen kasvunlisäyksen ja pituusboniteetin välinen korrelaatiokerroin oli $-0,34$. Karuimmilla kasvupaikoilla kasvureaktio oli suhteellisesti voimakkain, koska hakkuutähteiden lahoaminen ja kilpailun väheneminen aiheuttavat niissä suurimman muutoksen puiden kasvuoloihin.

Pohjoisessa siemenpuiden kasvu voimistui hitaammin kuin etelässä. Kasvureaktio oli sitä suurempi mitä enemmän puustopääoma pieneni siemenpuuhakkuussa. Aluksi vaikutus oli pieni, mutta ensimmäisen 10-vuotiskauden jälkeen jo selvästi suurempi. Syynä reaktion hitauteen lieenee latvusten elpymiseen kulunut aika.

Siemenpuuston tilavuuskasvun ennustamiseksi 5-vuotiskausittain laadittiin kasvumalli:

Selitettävä muuttuja $\ln(I_{V5})$ — Dependent variable

Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — Constant	$-10,1226$	1,88	$-5,39$
$\ln(V_y)$	$+0,4139$	0,09	4,36
$\ln(N_s)$	$+0,4644$	0,10	4,59
$\ln(TS)$	$+1,1302$	0,27	4,13
$\ln(\varphi t + 1)$	$+0,0953$	0,03	3,23

$n = 69$ $R^2 = 0,82$ $S_m = 0,64$ $S_t = 0,28$

Mallissa:

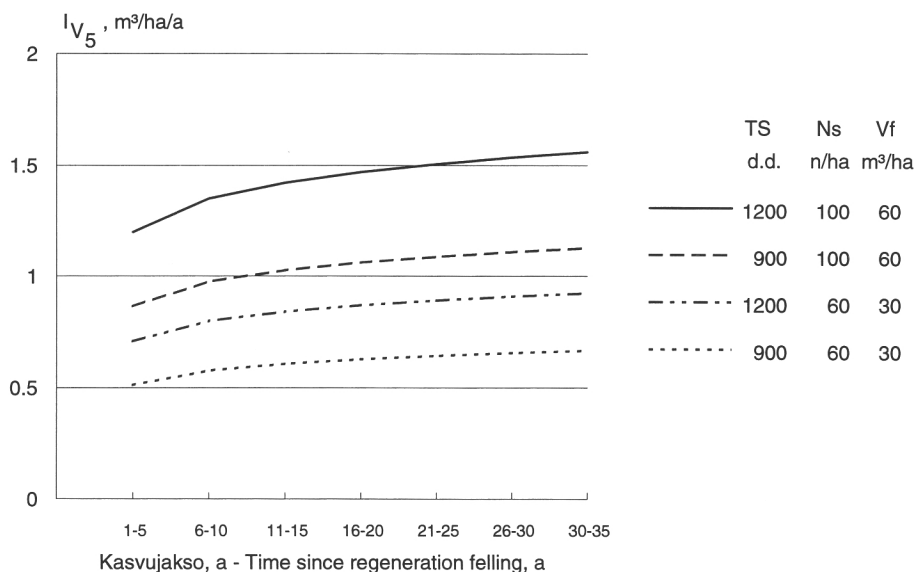
I_{V5} = siemenpuuston kasvu 5-vuotiskaudella, $m^3/ha/5$ v
 V_y = siemenpuuston tilavuus kuorineen jakson alussa, m^3/ha
 N_s = siemenpuuston runkoluku, kpl/ha
 TS = lämpösumma, dd
 φt = siemenpuuhakkuusta kulunut aika kasvujakson alussa

Havaintojen autokorrelaation poistamiseksi poimittiin regressiomallin aineistoksi kustakin metsiköstä satunnaisesti vain yhden 5-vuotiskauden tilavuuskasvu. Mallin harhattomuus selittävien muuttujien suhteen tarkastettiin residuaalien korrelaatiokuvien avulla. Kasvuyhtälön havainnollistamiseksi laadittiin kuva 8, jossa esitetään tilavuuskasvuarvot muutamilla aineistoon sisältyvillä tyyppillisillä selittäjien arvoilla. Tilavuuden ja runkoluvun välisen riippuvuuden ($r = 0,61$) vuoksi tarkastelu sisältää vain toisiinsa sidottuja runkoluku-tilavuus arvopareja.

Lämpösumman suuri kerroin kasvuyhtälössä on osoitus siitä, että sen vaikutukseen sisältyy myös muiden — yhtälöstä puuttuvienkin — muuttujien vaikutuksia. Myös aineiston maantieteellisesti epätasaisella jakautumisella voi olla vaikutusta (kuva 2). Iän poisjääminen mallista selittyy osittain sillä, että siemenpuumetsiköt ovat pohjoisessa vanhempia kuin etelässä. Samoin myös karuimmilla kasvupaikoilla siemenpuuston ikä on korkeampi.

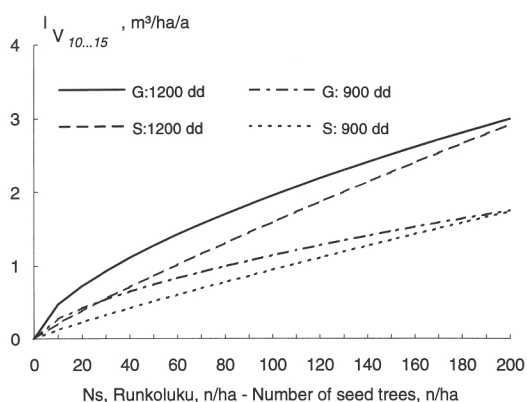
Kasvumallissa ei ole mukana erillistä muuttujaa kuvaamassa kasvupaikan viljavuutta, koska runkoluku ja tilavuus yhdessä ilmaisevat puiden kokoa ja sitä kautta myös kasvupaikan viljavuutta. Mallia käytettäessä ei yksittäisten selittäjien vaikutuksia voida muuttujien välisten riippuvuuksien takia erotella toisistaan.

Puuston tihteydessä metsikön tilavuuskasvu lisääntyi siemenpuuston kasvumallin mukaan lähes suoraviivaisesti (kuva 9). Tulos on looginen, koska näin harvassa kasvavat puut rajoittavat vain vähän toistensa kasvua. Siemenpuustoille laadittu kasvumalli johti esim. 25 puun hehtaari-tiheydessä 40 % ja 50 puun tiheydessä 30 % alempaan tilavuuskasvuun, kuin Gustavsenin (1992) VMI-aineistoon perustuva kasvumalli.



Kuva 8. Siemenpuumetsikön kasvumallilla ennustettu tilavuuskasvu muutamilla lämpösumman (TS), runkoluvun (N_s) ja siemenpuuston alkutilavuuden (V_i) arvoilla.

Figure 8. Predicted stand volume increment following regeneration felling for certain temperature sums (TS), stem numbers per hectare (N_s) and initial growing stock (V_i) values.



Kuva 9. Siemenpuuston tilavuuskasvumallin (= S) vertailu Gustavsenin (1992) julkaisemaan vähäpuustoisten männiköiden kasvumalliin (= G). Runkon keskitilavuus oli 800 dm³/puu lämpösumma-arvolla 1200 dd ja 500 dm³/puu lämpösumma-arvolla 900 dd.

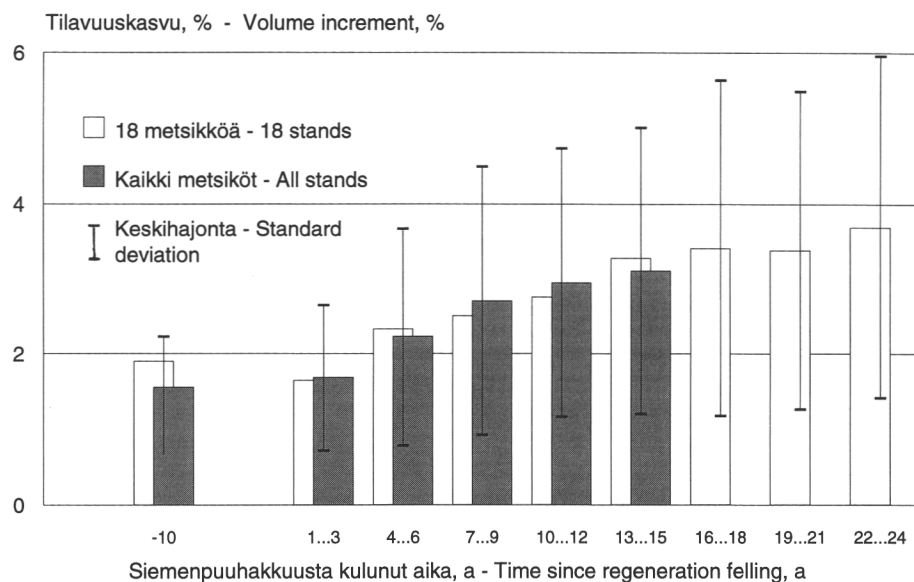
Figure 9. Comparison of the volume increment model (= S) formulated for the seed bearers and the growth model for understocked pine stands (= G) as published by Gustavsen (1992). The mean volume of stem was 800 dm³/tree by temperature sum 1200 dd and 500 dm³/tree by temperature sum 900 dd.

3.1.2 Yksittäisen puun tilavuuskasvu

Yksittäisten puiden keskimääräinen kasvu noudatti samaa rytmiä, kuin koko puuston kasvu (vrt. kuva 5). Puukohtaisen kasvun hajonta oli suhteellisesti suurempi. Siemenpuiden keskimääräinen kasvuprosentti oli ennen harvennusta 1,6 ja nousi 15 vuoden kuluttua hakkuusta yli 3 %:n tasolle (kuva 10).

Puun tilavuuskasvu 10-vuotiskaudella siemenpuuhakkuun jälkeen korreloi voimakkaasti rungon tilavuuden ($r = 0,57$) ja vielä voimakkaammin hakkuuta edeltäneen tilavuuskasvun ($r = 0,71$) kanssa. Korrelaatiot olivat voimakkaimmillaan heti hakkuun jälkeen ja vähenivät ajan kuluessa. Puun kasvu riippui myös latvuksen tilavuudesta, mutta sen vaikutusta ei voitu tarkastella yksinään, koska latvuksen koko korreloi voimakkaasti rungon tilavuuden kanssa. Latvuksen silmävaraisesti arvioitujen tuuheusluokan ja tilavuuskasvun välinen korrelaatiokerroin oli vain 0,18.

Absoluuttinen tilavuuskasvu ei korreloinut puun iän kanssa, mutta kasvuprosentti oli vanhemmilla puilla pienempi kuin nuoremmilla. Lähimpien naapuripuiden vaikutusta puun kasvuun tutkittiin 10, 20 ja 30 metrin säteellä. Kilpailutekijänä naapuripuiden tilavuus alensi lievästi pui-



Kuva 10. Siemenpuiden keskimääräinen tilavuuskasvu-% siemenpuuhakkuun jälkeen verrattuna samojen puiden hakkuuta edeltäneen 10-vuotiskauden kasvuprosenttiin.
 Figure 10. Mean volume increment % following regeneration felling as compared to the increment percentage of same trees for the preceding 10-year period.

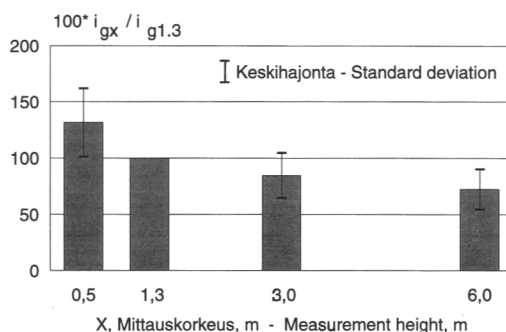
den kasvuprosenttia; 10 m:n säteellä $r = -0,10$, 20 m:n säteellä $r = -0,17$ ja 30 m:n säteellä $r = -0,20$.

3.2 Runkomuodon kehitys

3.2.1 Paksuuskasvun vaihtelu

Siemenpuumäntyjen runkomuodon kehitystä tutkittiin vertaamalla ensimmäisen kymmenvuotiskauden sädekasvua ja poikkileikkauspinnan kasvua neljällä eri mittauskorkeudella (taulukko 1). Sädekasvu puolen metrin korkeudella puun tyvellä oli 15–20 % suurempaa kuin rinnankorkeudella ja poikkileikkaus lisääntyi siellä keskimäärin 31 % nopeammin (kuva 11). Kolmen metrin korkeudessa puun paksuus kasvoi keskimäärin 12 % ja poikkileikkaus 16 % hitaammin kuin rinnankorkeudella. Kuudessa metrissä ero rinnankorkeuteen oli 18 ja 26 %. Hakkuuhetkellä siemenpuiden kapeneminen ($d_{1,3}-d_{6,0}$) oli keskimäärin 5,0 cm, 10 vuotta myöhemmin 5,4 cm ja mittaushetkellä 5,6 cm.

Yli 80 %:lla siemenpuista runkomuoto heikkeni hakkuun jälkeen (kuva 11). Muutoksen riippuvuutta erilaisista puutason muuttujista tutkit-



Kuva 11. Rungon poikkileikkauspinnan keskimääräinen kasvu eri korkeuksilla 10-vuotiskaudella siemenpuuhakkuun jälkeen suhteutettuna puun omaan kasvuun rinnankorkeudella (= 100).

Figure 11. Mean cross-sectional increment of the stem at various heights over the 10-year period following regeneration felling in relation to a particular tree's own increment at breast height (= 100).

tiin korrelaatioanalyysin avulla. Puun voimakas kasvu heikensi runkomuotoa merkitsevästi. Kasvun painottuminen puun tyvelle oli voimakkainta heti hakkuun jälkeen ja vähentyi ajan kuluessa.

Taulukko 1. Siemenpuiden keskimääräinen paksuuskasvu hakkuun jälkeen eri mittauskorkeuksilla.
Table 1. Mean radial and cross-sectional increment of seed bearers at different measurement heights following regeneration felling.

Mittauskorkeus Measurement height m	5-vuotisjaksot siemenpuuhakkuun jälkeen — 5-year periods since regeneration felling							
	1–5 a		6–10 a		11–15 a		16–20 a	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Sädekasvu, mm/ 5 a — Radial increment, mm 5 a								
0,5	6,2	5,1	8,5	4,9	8,5	4,6	8,7	4,3
1,3	4,8	5,1	7,3	4,9	7,6	4,6	7,4	4,8
3,0	4,0	4,9	6,6	5,0	6,8	4,8	6,7	4,8
6,0	3,7	4,7	6,0	5,1	6,4	4,9	6,1	5,0
Poikkileikkauspinnan kasvu, cm ² /5 a — Increment in cross-sectional area, cm ² /5 a								
0,5	58,4	32,0	81,2	42,0	82,9	39,4	83,4	38,5
1,3	44,4	25,2	61,6	32,9	62,8	30,1	63,9	29,5
3,0	35,8	19,5	49,1	25,6	51,0	23,6	51,3	23,1
6,0	29,7	15,0	39,7	19,8	41,5	18,3	42,4	19,6
Havaintoja Number of observations	1571		1341		844		638	

3.2.2 Puun poikkileikkausalan kasvumallit

Mallit laadittiin tutkimusaineistosta puun poikkileikkausalan kasvulle neljälle eri kairauskorkeudelle (0,5, 1,3, 3,0 ja 6,0 m). Selitettävänä muuttujana kaikissa yhtälöissä oli poikkileikkauspinnan kasvu tulevalla 5-vuotiskaudella ja selittäjinä kunkin kauden alkutilanteen arvot.

Mallien kiinteän osan selittäjiksi valittiin merkitsevyyden ja jäännösvaihtelukuvien perusteella samat puutasen tunnuksot kaikilla mittauskorkeuksilla. Valitut selittävät muuttujat olivat puun poikkileikkauspinta-ala (g_{xy}), puun ikä (t_y) ja siemenpuuhakkuusta kulunut aika kasvujakson alussa lisättynä yhdellä ($\phi t + 1$).

Koska mallien laadinta-aineisto rakentui hierarkkisesti koeala- ja puutasesta, jaettiin mallien satunnaisosa koealojen väliseen ja sisäiseen vaihteluun (Lappi 1983). Mallien kiinteät parametrit ja varianssikomponentit (koealojen välinen σ_b^2 ja sisäinen σ_e^2 , taulukko 2) estimoititiin suurimman uskottavuuden menetelmällä (*maximum likelihood*) käyttäen BMDP3V-ohjelmaa.

Eri korkeuksille laaditut puun poikkileikkausalan kasvuyhtälöt olivat kertoimiltaan hyvin samankaltaisia. Iän vaikutus kasvuun oli negatiivinen ja poikkileikkauspinnan sekä siemenpuuhakkuusta kuluneen ajan vaikutus puolestaan positiivinen. Jäännöshajonnan logaritminen pieneminen siirryttäessä rungolla ylöspäin on osoitus paksuuskasvun suuremmasta suhteellisesta vaihtelusta siemenpuun tyvellä.

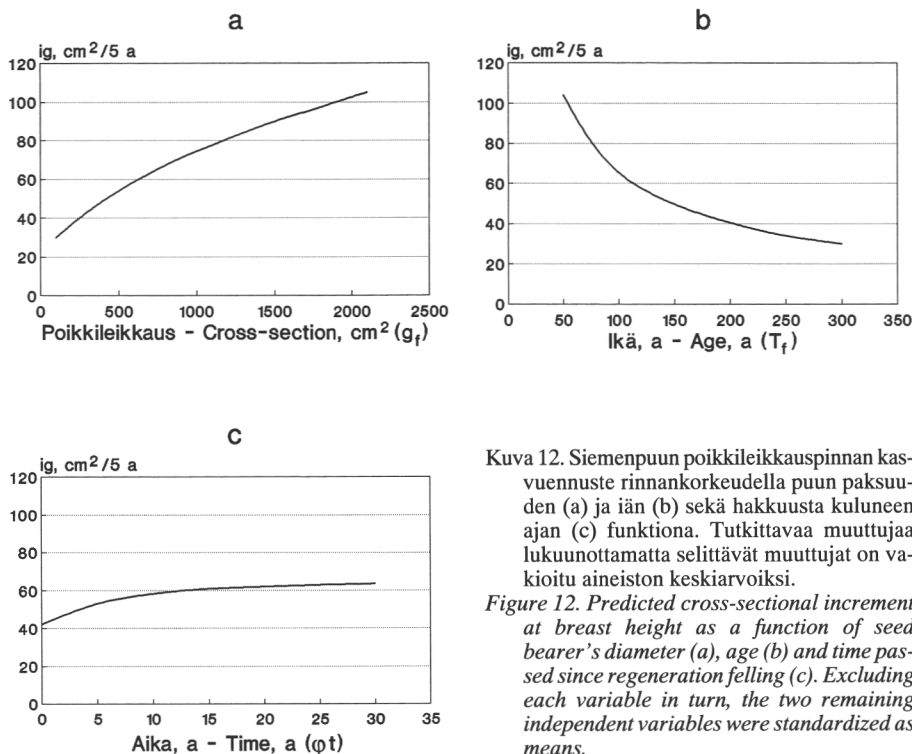
Taulukko 2. Puun poikkileikkauspinnan kasvumallin kiinteä osa sekä metsiköiden välinen (σ_b^2) ja sisäinen (σ_e^2) jäännösvarianssi rungon eri korkeuksilla.

Table 2. The fixed part of growth models for cross sections at different heights and the residual variances between (σ_b^2) and within (σ_e^2) stands.

Selitettävä muuttuja $\ln(i_{gs})$, cm²/5 a
Dependent variable $\ln(i_{gs})$, cm²/5 a

Muuttuja Variable	Mittauskorkeus — Measurement height			
	0,5 m	1,3 m	3,0 m	6,0 m
Kerroin — Coefficient				
Vakio — Constant	4,822	4,190	4,102	4,009
$\ln(g_{xy})$	0,381	0,432	0,427	0,450
$\ln(t_y)$	−0,711	−0,684	−0,686	−0,707
$\ln(\phi t + 1)$	0,184	0,165	0,164	0,130
Keskihajonta — Standard deviation				
Vakio — Constant	14,076	12,592	12,729	13,463
$\ln(g_{xy})$	11,687	13,044	13,092	15,661
$\ln(t_y)$	−9,735	−9,502	−9,767	−10,600
$\ln(\phi t + 1)$	15,311	14,145	14,421	12,025
σ_b^2	0,070	0,076	0,064	0,056
σ_e^2	0,183	0,172	0,166	0,147
n	1576	1579	1573	1579

Poikkileikkauspinnan kasvuyhtälöitä havainnollistetaan kuvassa 12. Kuvien käyrät saatiin kasvattamalla yhtä mallin kiinteän osan selittäjää kerrallaan vaihtelualueensa minimistä maksimiin, samalla, kun muut mallin selittäjät vakioitiin keskiarvoihinsa. Mallin kiinteän osan se-



Kuva 12. Siemenpuun poikkileikkauspinnan kasvuennuste rinnankorkeudella puun paksuuden (a) ja iän (b) sekä hakkuusta kuluneen ajan (c) funktiona. Tutkittavaa muuttujaa lukuunottamatta selittävät muuttujat on vakioitu aineiston keskiarvoiksi.

Figure 12. Predicted cross-sectional increment at breast height as a function of seed bearer's diameter (a), age (b) and time passed since regeneration felling (c). Excluding each variable in turn, the two remaining independent variables were standardized as means.

Taulukko 3. Regressioyhtälöt poikkileikkauspinnan kasvumallin metsikkövaikutukselle (v_{igs}) rungon eri korkeuksilla.

Table 3. Regression models for the stand effect (v_{igs}) in the growth models for cross sections at different heights.

Selitettävä muuttuja $\ln(v_{igs})$ — Dependent variable $\ln(v_{igs})$

Muuttuja Variable	Mittauskorkeus — Measurement height			
	0,5 m	1,3 m	3,0 m	6,0 m
Kerroin — Coefficient				
Vakio — Constant	-2,775	-3,525	-3,815	-4,136
$\ln(TS)$	0,653	0,805	0,804	0,849
$\ln(H_{100})$	-0,473	-0,574	-0,492	-0,557
$\ln(N_s)$	-0,096	-0,101	-0,086	-0,062
t-arvo — t-value				
Vakio — Constant	-1,924	-2,410	-2,842	-3,289
$\ln(TS)$	2,701	3,286	3,573	4,128
$\ln(H_{100})$	-2,609	-3,123	-2,912	-3,612
$\ln(N_s)$	-2,139	-2,210	-2,042	-1,628
R^2	0,160	0,203	0,203	0,243
S_f	0,235	0,238	0,218	0,200
n	69	69	69	69

littäjien kesken ei laadinta-aineistossa esiintynyt voimakasta korrelaatiota.

Mallien kiinteän osan selittäjät ovat pääasiassa puutunnuksia. Satunnaisen metsikkötekijän riippuvuutta metsikkötunnuksista tutkittiin regressiomallin avulla (taulukko 3). Niiden merkitys on tässä aineistossa melko vähäinen, mikä näkyy selittäjien pienestä merkitsevyydestä ja regressioyhtälöiden alhaisista selitysasteista. Lämpösumman vaikutus metsikkötekijään on odotetusti positiivinen ja vastaavasti runkoluvun vaikutus negatiivinen. Sitä vastoin pituusboniteetin negatiivinen vaikutus on odotusten vastainen. Metsikkötekijän merkityksen vähäisyys ja osittainen epäloogisuus johtunevat siitä, että mallin kiinteässä osassa ikä ja poikkileikkauspinta yhdessä selittävät suurimman osan kasvupaikkojen välisestä vaihtelusta.

3.2.3 Kasvuennusteiden luotettavuus

Puun tilavuuskasvun ennuste saatiin erotusmenetelmällä laskemalla puun tilavuus jakson alussa ja lopussa runkokäyrämallilla tunnettujen läpimittojen ($d_{0,5}$, $d_{1,3}$, $d_{3,0}$ ja $d_{6,0}$) sekä pituuden

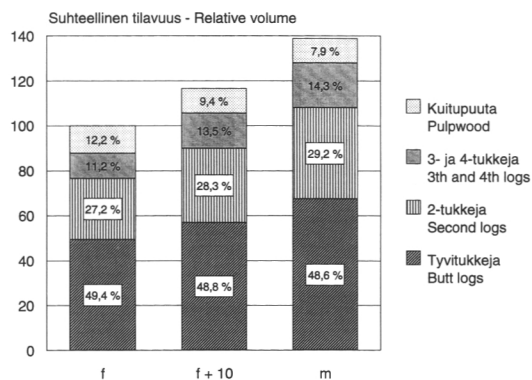
funktiona. Kasvumallien virheen vaikutusta tilavuuskasvuennusteeseen tutkittiin vertaamalla ennustettujen pohjapinta-alan kasvujen avulla saatua tilavuuskasvua mitattujen läpimittojen avulla saatuu kasvuun.

Mittaustietojen avulla siemenpuiden viiden vuoden keskimääräinen tilavuuskasvu oli 58,3 dm³ ja poikkileikkauspinnan kasvumalleilla saatiin tulos 60,1 dm³. Residuaalien keskihajonta 4681:n havainnon aineistossa oli 26,6 dm³/5 v.

3.2.4 Runkojen tukkisäilytö

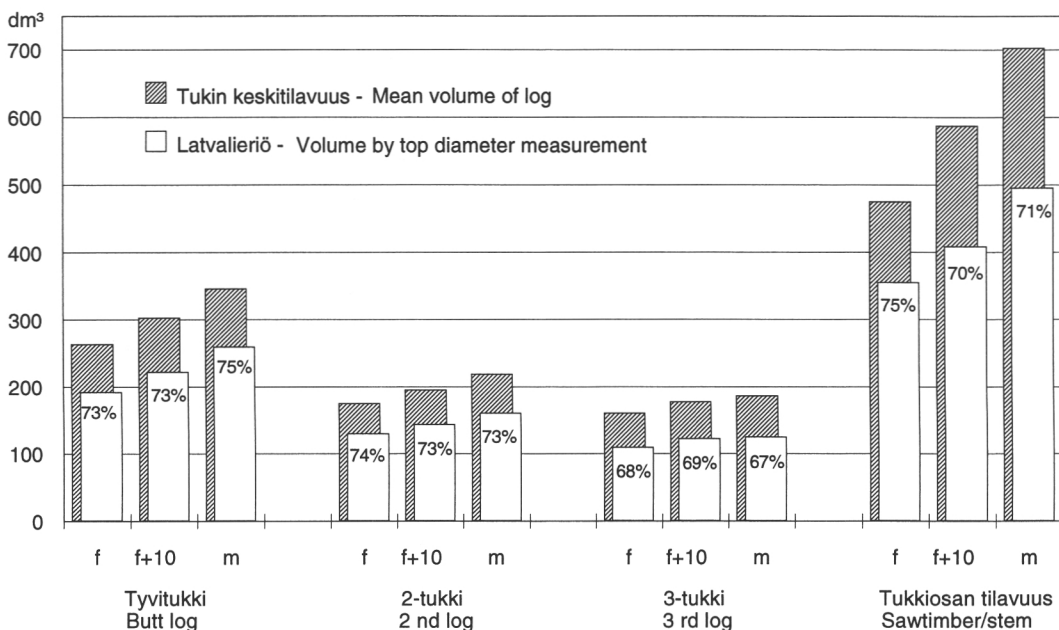
Välittömästi siemenpuuhakkuun jälkeen rungon tukkiosan tilavuus oli keskimäärin 0,48 m³, 10 vuotta myöhemmin 0,58 m³ ja mittaavuonna 0,70 m³. Tyvitukit muodostivat hiukan alle 50 % puiden kokonaistilavuudesta ja yli 50 % tukki-tilavuudesta, kakkostukit puolestaan noin kolmanneksen (kuva 13).

Määrällisesti suurin lisäys siemenpuuhakkuun jälkeen tapahtui tyvitukien tilavuudessa, vaikka niiden osuus kokonaistilavuudesta säilyikin en-



Kuva 13. Tukki- ja kuitupuun määrät siemenpuuaineistossa välittömästi hakkuun jälkeen (f, yhteensä = 100), 10 vuotta myöhemmin (f + 10) sekä mittaushetkenä (m, keskimäärin 17 vuotta hakkuusta).

Figure 13. The amounts of saw timber and pulpwood in the seed bearer material immediately following regeneration felling (f, total = 100), 10 years later (f + 10) and at the time of measurement (m, on average 17 years since felling).



Kuva 14. Tukkien latvaläpimitan ja pituuden avulla laskettu tekninen tilavuusmitta (= latvalieriö) verrattuna saman tukkilajin keskimääräiseen tilavuuteen (dm³ ja %) välittömästi siemenpuuhakkuun jälkeen (f), 10 vuotta myöhemmin (f + 10) ja mittaushetkellä (m).

Figure 14. Technical volume (= cylinder whose diameter is equal to diameter of small end of log) of logs as compared to the same log class's mean volume (dm³ and %) at the time of regeneration felling (f), 10 years later (f + 10) and at the time of measurement (m).

nallaan. Kuitupuun määrä pysyi samana, mutta sen osuus kokonaistilavuudesta laski kolme %-yksikköä kymmenessä vuodessa.

Sahatavaran saanto riippuu ratkaisevasti tukin latvaläpimitasta. Siksi kokonaistilavuuden ohella laskettiin tukeille tekninen tilavuus sylinterinä, jonka läpimittana käytettiin tukin latvamittaa kuoren päältä ja korkeutena tukin pituutta. Hakkuuvuonna latvalieriöt muodostivat 75 % kaikkien tukkien tilavuudesta ja kymmenen vuotta myöhemmin 70 % (kuva 14).

Rungon tukkitilavuus lisääntyi keskimäärin 10 dm³/v kymmenen vuoden jaksolla siemenpuuhakkuun jälkeen, mutta vain 51 % tästä lisäyksestä tapahtui tukkien latvaläpimitan mukaan lasketuissa lieriöissä. Loppu joutuu pintapuun mukana hakkeeksi. Tukkien järeytyminen kompensoi tätä menetystä, koska saanto isosta tukista on suhteellisesti suurempi kuin pienestä. Tästä syystä latvalieriön osuus tyvitukkien kokonaistilavuudesta ei alentunut (hakkuuvuonna 73 % ja mittausvuonna 75 %), vaikka puun runkomuoto selvästi heikkeni.

3.3 Ylispuiden vaikutus taimikon rakenteeseen Pohjois-Suomessa

3.3.1 Taimikon tiheys

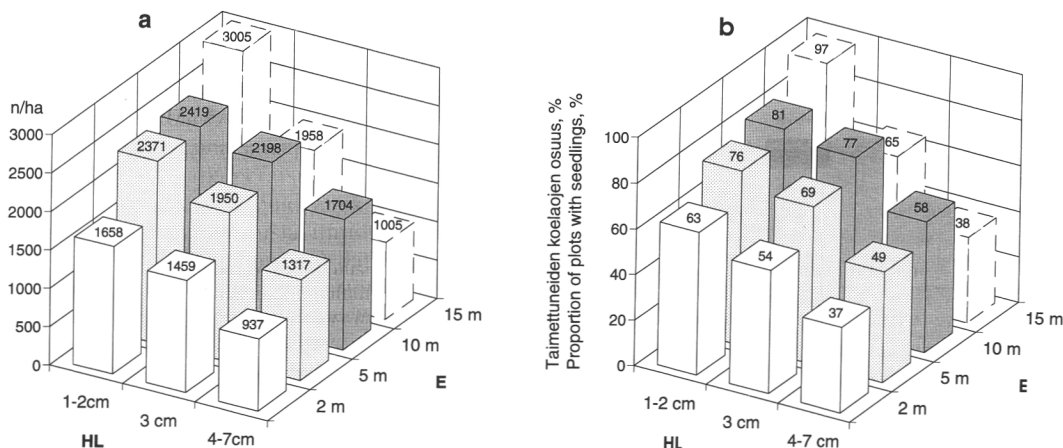
Taimikon sisäistä vaihtelua tutkittiin varianssi-analyysiä käyttäen pienten (5 m²) ympyräko-

alojen avulla, joiden keskipisteet sijaitsivat 2, 5, 10, ja 15 metrin etäisyyksillä siemenpuista. Tätä kauempaa havaintoja ei saatu juuri lainkaan ja 15 metrin etäisyydelläkin aineisto on selvästi pienempi ja epäluotettavampi kuin lähempänä siemenpuita. Eri pääilmansuunnista mitatut ympyräkoalat osoittivat, ettei ilmansuunnalla ollut vaikutusta taimikon tiheyteen, pituuteen eikä ikään. Tästä syystä eri suunnista saadut havainnot voitiin yhdistää etäisyyksittäin metsikön keskiarvoiksi.

Metsiköiden välistä taimimäärän vaihtelua selitti parhaiten humuskerroksen paksuus. Kun metsiköt ryhmiteltiin humuksen paksuuden perusteella kolmeen luokkaan 1–2 cm, 3 cm ja ≥ 4 cm, aineisto jakautui muiden mahdollisesti vaikuttavien muuttujien (hakkuusta kulunut aika, lämpösumma, siemenpuuston ikä, pituus ja runkoluku) suhteen tasapainoisesti.

Tiheimmät taimikot olivat ohuthumuksisilla kasvupaikoilla (kuva 15a, liite 2). Kahden metrin etäisyydessä siemenpuusta taimia oli keskimäärin 1600 kpl/ha ja 10 metrin etäisyydessä 2400 kpl/ha. Humuksen paksuuden ollessa 4 cm tai enemmän taimia oli lähellä siemenpuuta keskimäärin alle 1000 kpl/ha ja 10 metrin etäisyydessä 1700 kpl/ha. Erot olivat suuresta hajonnasta huolimatta erittäin merkitseviä ja johdonmukaisia. Etäisyydellä ja humuksen paksuudella ei ollut yhdysvaikutusta taimikon tiheyteen.

Taimien sijainnin tasaisuutta kuvattiin taimetuneiden koalojen (ainakin yksi kehityskelpoi-



Kuva 15. Lähimmästä siemenpuusta mitatun etäisyyden E ja humuksen paksuuden HL vaikutus taimikon tiheyteen (a) ja taimettuneiden koalojen (5 m²) osuuteen (b). Havaintojen määrä ja tulosten luotettavuus ovat 15 metrin etäisyydellä selvästi pienempiä kuin lähempänä siemenpuuta.

Figure 15. Influence of distance away from nearest seed bearer E and thickness of the humus layer HL on the density of the young stand (a) and the proportion of plots (5 m²) including viable seedlings (b). The number of observations and the reliability of the results are clearly less at a distance of 15 m than they are closer up to a seed bearer.

nen taimi/5 m²) osuudella kaikista koealoista (kuva 15b, liite 2). Tulokset olivat yhdenmukaisia taimimäärien kanssa. Kahden metrin etäisyydellä siemenpuusta taimettuneiden koealojen osuus oli 37–63 %, viidessä metrissä 49–76 % ja kymmenessä metrissä 58–81 %.

Ajan vaikutusta taimien lukumäärään tutkittiin ottamalla se varianssianalyysissä selittäjäksi etäisyyden ja humuspaksuuden rinnalle. Aineisto jakautui ajan suhteen kaksihuippuiseksi, joten luokat olivat 8–15 vuotta hakkuusta ja 17–35 vuotta hakkuusta (vrt. kuva 3). Nuoremmilla uudistusaloilla taimia oli keskimäärin 250 kpl/ha enemmän. Ero oli tilastollisesti merkitsevä 5,5 %:n riskillä.

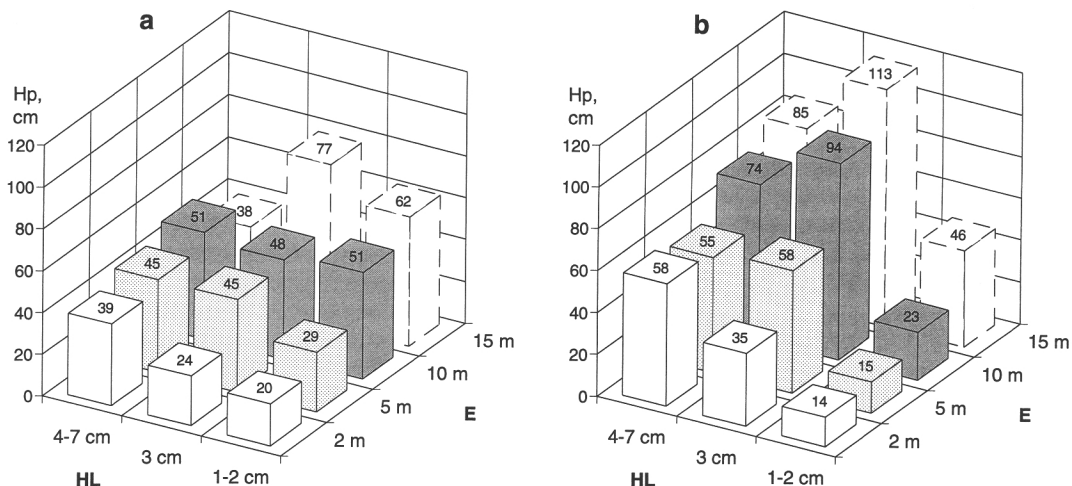
3.3.2 Taimikon pituuskehitys

Taimikon keskipituuteen vaikutti eniten siemenpuuhakkuusta kulunut aika. Nuoremmilla uudistusaloilla taimikon keskipituudet eri etäisyyksillä erosivat niukasti (kuva 16a, liite 3), mutta taimien pituus lisääntyi kuitenkin johdonmukaisesti siemenpuusta mitatun etäisyyden kasvaessa. Vahvalla humuksella taimien pituus ei alentunut lähellä siemenpuuta yhtä paljon kuin ohuella humuksella. Kymmenen metrin etäisyydellä humuk-

sen vaikutus taimien pituuteen oli vähäistä.

Vanhemmilla siemenpuualoilla taimikon pituusvaihtelu oli suurempaa kuin nuoremmilla (kuva 16b, liite 3). Ohuthumuksisilla kasvupaikoilla taimikon kehitys on ollut erittäin hidasta. Siemenpuusta mitatun etäisyyden kasvaessa kahdesta kymmeneen metriin taimien keskipituus lisääntyi 14:stä 23 senttimetriin. Runsashumuksisissa metsiköissä etäisyyden vaikutus oli myös pieni. Eniten etäisyys vaikutti kasvupaikoilla, joissa humusta oli 3 cm. Taimikoiden keskipituus nousi niissä 35 cm:stä yli metriin, kun etäisyys siemenpuusta kasvoi kahdesta viiteentoista metriin.

Kehityskelpoisten taimien ikä ei ollut riippuvainen humuksen paksuudesta (liite 3). Myöskään siemenpuuhakkuusta kulunut aika ei selittänyt täydellisesti taimien ikävaihtelua, vaan sen ohella myös hyvien siemenvuosien ajoittumisella on ollut huomattava merkitys. Metsäntutkimuslaitoksen käypäsatotiedustelun mukaan Pohjois-Suomessa siemensato oli erittäin runsas vuosina 1972 ja 1973 ja kolmena seuraavanakin vuonna se oli kohtalainen. Valtaosa tutkimusaineiston taimista oli syntynyt vuosien 1974–79 aikana, vaikka siemenpuuhakkuut oli keskimäärin toteutettu jo 1970-luvun alussa. Taimikoiden pieni ikäero vanhempien ja nuorempien uudistus-



Kuva 16. Lähimmästä siemenpuusta mitatun etäisyyden E ja humuksen paksuuden HL vaikutus taimien keskipituuteen kahdessa osa-aineistossa: (a) 8–15 v ja (b) 17–35 v siemenpuuhakkuun jälkeen. Havaintojen määrä ja tulosten luotettavuus ovat 15 metrin etäisyydellä selvästi pienempiä kuin lähempänä siemenpuuta.

Figure 16. Influence of distance away from nearest seed bearer E and thickness of the humus layer HL on the mean height of the young stand for two partial materials: (a) 8–15 a and (b) 17–35 a since regeneration felling. The number of observations and the reliability of the results are clearly less at a distance of 15 m than they are closer up to a seed bearer.

alojen välillä viittaa myös vaihtuvan taimiaineksen suureen osuuteen (Valtanan 1984).

3.3.3 Maanmuokkauksen vaikutus

Maata oli muokattu yli puolella tutkituista siemenpuualueista. Koemetsiköistä kaksikymmentä oli äestetty, kuusi laikutettu ja kaksi aurattu. Vanhimmilta siemenpuualueilta maanmuokkaus yleensä puuttui kokonaan tai se oli tehty laikuttaen. Muokkauksen vaikutusten tutkimista haittasi niiden painottuminen ohuthumuksisille alueille, vaikka maanpinnan käsittelyllä olisi suurempi vaikutus silloin, kun humuskerros on paksu. Muokatuilla alueilla humuksen paksuuden vaihteluväli oli 1–4 cm ja muokkaamattomilla 1–10 cm. Myös muokkauksen ajankohdat aiheuttivat ongelmia, koska kaksi kolmannesta oli tehty normaalisti 1–2 vuotta siemenpuuhakkuun jälkeen, mutta loppuissa ero hakkuun ja muokkauksen välillä oli 10–15 vuotta.

Edellä olevista syistä maanmuokkauksen vaikutuksen arviointi on epävarmaa. Varianssianalyysimallissa olivat mukana siemenpuusta mitatun etäisyyden ja humuksen paksuuden lisäksi maanpinnan käsittely eroteltuna muokattuihin ja muokkaamattomiin alueisiin. Kaikilla kolmella tekijällä oli merkitsevä vaikutus taimikon tiheyteen ja taimettuneiden koalojen osuuteen. Lisäksi muokkauksella ja humuksen paksuudella oli merkitsevä yhdysvaikutus. Tulos voitiin tulkita siten, että maanmuokkaus oli lisännyt taimien lukumäärää alueilla, joilla humuksen paksuus oli 3 cm tai enemmän. Myös siemenpuusta mitatulla etäisyydellä ja maankäsittelyllä oli yhdysvaikutus, mutta syynä oli todennäköisesti se, että muokkauksella kiertää siemenpuut eikä kivennäismaata paljastu niiden läheltä. Mittausvuonna maanpinnan käsittelystä oli kulunut niin pitkä aika, ettei muokkausjälkeen ja sen ulkopuolelle syntyneitä taimia voitu erottaa toisistaan.

Muokkauksen vaikutusta taimien pituuteen ei voitu tutkia, koska muokkauksesta kulunut aika oli keskimäärin 10 vuotta, mutta muokkaamattomilla alueilla siemenpuuhakkuusta oli kulunut keskimäärin 19 vuotta. Muokkauksen jälkeen syntyneet taimet olivat vielä pieniä ja muokausjäljessä saattoi esiintyä vaihtuvaa taimiainesta, joka luokiteltiin kehityskelpoiseksi. Lisäksi muokatut alueet olivat keskimäärin karumpia ja taimet myös siitä syystä pienempiä.

3.3.4 Taimikon vaihtelua kuvaavat mallit

Luokkakieskiarvojen selkeistä eroista huolimatta taimikon kehityksen ennustaminen on epävarmaa, koska hajonta on suurta. Ennustettavuutta tutkittiin regressioanalyysin avulla. Taimikkojen tiheysvaihtelusta selittyi 28 %, keskipituuden vaihtelusta 33,5 % ja keski-ikä vaihtelusta 32 % seuraavilla malleilla:

Selitettävä muuttuja — *Dependent variable*, N_p (n/ha)

Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — <i>Constant</i>	2362	981	2,4
HL	–265	39	–6,8
E	–260	99	–2,6
$\sqrt{E}$	+1607	510	3,2
H_m	–107	0,41	–2,6
n = 184	$R^2 = 0,28$	$S_m = 976$	$S_f = 838$

Selitettävä muuttuja — *Dependent variable*, H_p (dm)

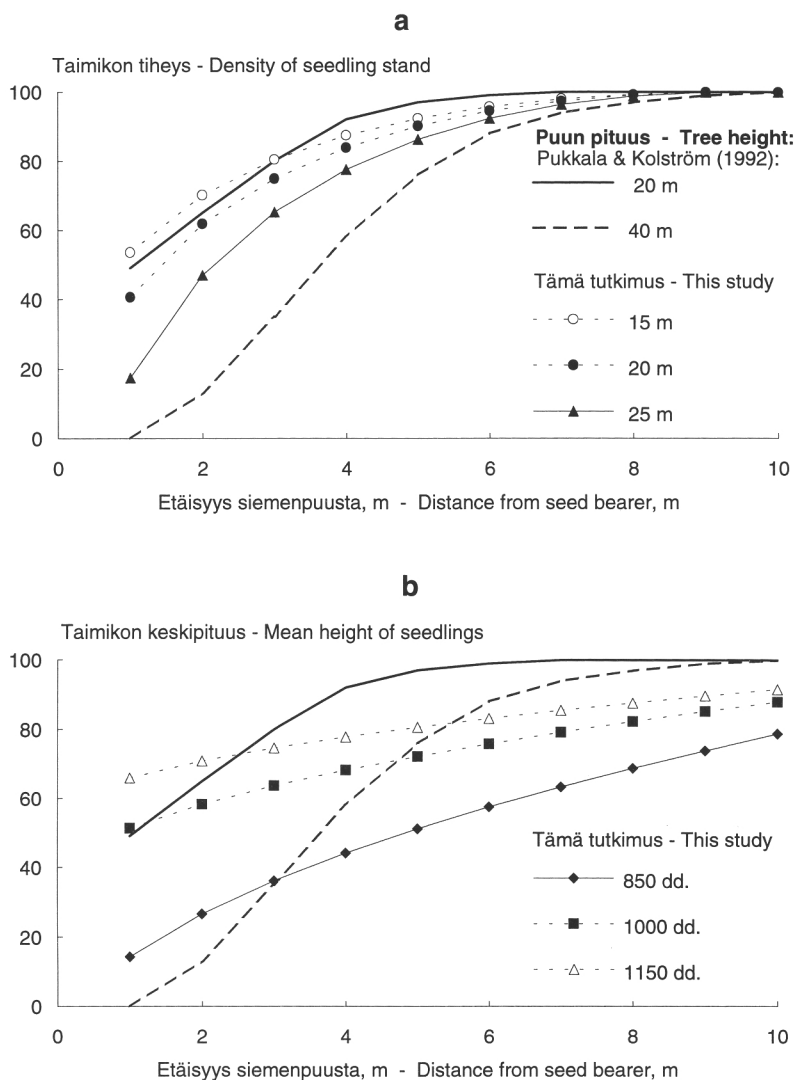
Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — <i>Constant</i>	–24,6	5,09	–4,8
Δt^2	0,0096	0,0014	6,8
TS	0,025	0,0051	4,9
N_s	–0,032	0,0096	–3,3
$\sqrt{E}$	1,47	0,393	3,7
HL	0,47	0,21	2,2
n = 178	$R^2 = 0,35$	$S_m = 5,45$	$S_f = 4,45$

Selitettävä muuttuja — *Dependent variable*, T_p (a)

Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — <i>Constant</i>	–1,91	6,00	–0,32
Δt	0,36	0,05	7,9
H_m	–0,71	0,17	–4,2
TS	0,014	0,004	3,3
T_f	0,043	0,013	3,3
n = 178	$R^2 = 0,32$	$S_m = 4,00$	$S_f = 3,31$

Selitykset — *Symbols*

N_p (n/ha) = Taimikon tiheys — *Number of seedlings*
 H_p (dm) = Taimien keskipituus — *Mean height of seedlings*
 T_p (a) = Taimien keski-ikä — *Mean age of seedlings*
HL (cm) = Humuksen paksuus — *Thickness of humus layer*
E (m) = Etäisyys siemenpuusta — *Distance from seed bearer*
 H_m (m) = Siemenpuiden keskipituus — *Mean height of seed bearers*
 Δt (a) = Siemenpuuhakkuusta kulunut aika — *Time since regeneration felling*
 T_f (a) = Puiden keski-ikä siemenpuuhakkuussa — *Mean age of seed bearers at regeneration felling*
TS (dd) = Lämpösumma — *Temperature sum*
 N_s (n/ha) = Siemenpuiden lukumäärä — *Number of seed bearers*



Kuva 17. Tutkimusaineistoon perustuvilla malleilla estimoidut taimikon suhteelliset tiheydet (a) ja keskipituudet (b) eri etäisyyksillä siemenpuusta verrattuna Pukkalan & Kolströmin (1992) ennustamaan käytettävissä olevien kasvutekijöiden osuuteen.
 Figure 17. The relative densities (a) and mean heights (b) of young stands at various distances away from seed bearers estimated using the models based on the study material and compared to the amount of available growth factors as predicted by Pukkala & Kolström (1992).

Yhtälöillä laskettua taimikon tiheyttä ja keskipituutta eri etäisyyksillä siemenpuusta verrattiin puun käytössä olevien kasvutekijöiden osuutta kuvaavaan malliin (Pukkala & Kolström 1992). Kyseinen malli kuvaa hyvin taimikon suhteellista tiheyttä tämän tutkimusaineiston karuilla ja ohuthumuksilla kasvupaikoilla (kuva 17a). Kuitenkin viiden metrin etäisyydellä siemenpuusta

taimia oli tutkimusaineistossa jonkin verran vähemmän kuin kasvutekijöitä kuvaavalla mallilla laskettuna. Siemenpuun lähiympäristössä taimikko harveni suhteellisesti vähemmän ohuthumuksilla kasvupaikoilla kuin paksummilla humuskerroksilla, joilla taimikko oli muutenkin harvempaa.

Pukkalan & Kolströmin (1992) mallissa emo-

puun koon suureneminen vaikuttaa voimakkaasti käytettävissä olevien kasvutekijöiden määrään puun lähiympäristössä. Sama ilmiö näkyi tämän tutkimuksen siemenpuualoilla, mutta ei yhtä voimakkaana. Taimikon tiheyden lisäksi kasvutekijöitä ennustavaa mallia verrattiin taimien pituus-

kasvun vaihteluun. Tutkimusaineistossa siemenpuun läheisyyden vaikutus taimien pituuteen ei ollut yhtä jyrkkä kuin em. mallilla laskettu tulos. Siemenpuut hidastivat taimien pituuskasvua aina 10 metrin etäisyydelle saakka (kuva 17b).

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimus perustui empiiriseen aineistoon, joka käsitti 69 siemenpuumetsikköä eri puolilla valtakuntaa. Keräykseen liittyvistä käytännöllisistä syistä aineisto painottui Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueille, mikä on syytä huomioida myös tulosten arvioinnissa.

Siemenpuiden kasvua verrattiin puiden omaan kasvuun ennen hakkuuta. Ensimmäisten kolmen vuoden aikana hakkuun aiheuttamaa kasvunlisäystä ei havaittu, mutta sen jälkeen nousua tapahtui tasaisesti yli 10 vuoden ajan. Siemenpuiden tilavuuskasvu oli 15 vuoden kuluttua lähes kaksinkertainen hakkuuta edeltäneeseen tasoon verrattuna. Keskimäärin 75 siemenpuun määrällä hehtaarikohtainen kasvu kohosi noin yhteen kuutiometriin vuodessa. Kasvussa ei havaittu alenemisen merkkejä vielä 35 vuoden kuluttua siemenpuuhakkuusta.

Tuotostaulukoiden (Nyyssönen 1954) perusteella yksittäisen männyn tilavuuskasvu on vielä lievässä nousussa tutkimusaineistoa vastaavassa, keskimäärin 115 vuoden ikävaiheessa. Tutkimus osoitti, että vanhatkin männyt reagoivat siemenpuuhakkuuseen (Hagner 1962). Kasvu ei lisääntynyt kuitenkaan heti, vaan puut tarvitsevat aikaa sopeuttaakseen juuristonsa ja latvuksensa uusiin olosuhteisiin (Kalela 1954, Lehto 1956, 1969).

Siemenpuumetsikön kasvua ennustettiin regressiomallilla. Eniten hehtaarikohtaiseen kasvuun vaikuttivat puiden lukumäärä ja tilavuus. Aineiston vaihteluvälillä 10–200 kpl/ha yksittäisen puun kasvu aleni vain hyvin vähän runkoluvun lisäaika-työssä. Gustavsenin (1992) vähäpuustoisten metsiköiden kasvumallissa puuston määrällä on suurempi vaikutus (kuva 9), mutta aineisto kattaakin hehtaari- ja tilavuus-työyhtiä 200:sta ylöspäin. Malleilla saatiin samantasoinen kasvu aineistojen rajakohdassa, joten ne täydentävät hyvin toisiaan.

Puuston määrän lisäksi lämpösumma ja siemenpuuhakkuusta kulunut aika olivat tärkeitä kasvun selittäjiä. Ikä jäi pois metsikön kasvumallista, koska sen vaihtelu riippui lähinnä uu-

distuskypsyydestä, joka saavutetaan viljavalla kasvupaikalla nuorempana kuin karulla.

Voimakkaan harvennuksen jälkeen paksuuskasvun on todettu painottuvan puun tyvelle (Nyyssönen 1952, Vuokila 1960). Myös siemenpuilla tämä ilmiö oli havaittavissa. Poikkileikkauspinnan kasvu oli lähes kolmanneksen pienempi rinnankorkeudella (1,3 m) kuin puolen metrin korkeudella. Ero oli yhtä suuri myös 1,3 ja 6,0 metrin korkeuksien välillä. Ajan myötä runkomuodon heikkeneminen hidastui.

Puukohtaisen kasvun ennustamista varten laadittiin poikkileikkauspinnan kasvuyhtälöt erikseen 0,5; 1,3; 3,0 ja 6,0 metrin korkeuksille. Mallit ovat kertomiltaan keskenään samankaltaisia, mutta puun tyvellä 0,5 metrin korkeudella kasvun ennustaminen osoittautui selvästi epäluotettavammaksi kuin ylempänä.

Siemenpuumäntien tuottama puu oli lähes kokonaan hyvälaatuista järeää tukkia. Arvokaimmat tyvitukit muodostivat vähän yli 50 % tukkitilavuudesta. Runkomuodon heikkenemisen takia kuitenkin vain puolet siemenpuiden kasvusta kohdistui tukkien latvaläpimitan mukaan laskettuun tekniseen tilavuuteen. Toinen puoli kasvusta joutuu pintapuun mukana hakkeeksi. Toisaalta tukkien järeäytyminen sinänsä lisäsi sahapuun saantoa.

Siemenpuuhakkuun jälkeen syntyneen taimikon osalta tulokset rajoittuvat Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon. Hakkuut oli tehty pääasiassa 1970-luvulla tai aikaisemmin. Siemenpuun läheisyys alensi selvästi taimikon tiheyttä ja keskittuutta. Kahden metrin etäisyydellä siemenpuusta kehityskelpoisten taimien lukumäärä oli 30–40 % pienempi kuin 10 metrin päässä. Taimien pituudessa vastaava ero oli noin 50 % ja vaikutus näytti ulottuvan yli 10 metrin etäisyydelle. Valtasen (1984) mukaan heikosti taimettu alue on pinta-alaltaan 1–2 aaria eli 6–8 m säteellä siemenpuusta.

Siemenpuualueiden väliseen taimikon tiheysvaihteluun vaikutti eniten humuksen paksuus.

Kun humuskerros oli 4–7 cm paksu, oli taimia keskimäärin 60 % ohutkuntaisimpien kasvupaikkojen taimimäärästä. Maanmuokkaus lisäsi taimien määrää alueilla, joilla humuksen paksuus oli 3 cm tai enemmän. Taimien keskipituus korreloi positiivisesti humuksen paksuuden kanssa. Tämä johtunee ensisijaisesti siitä, että sekä humuskerroksen paksuus että taimien kasvu ovat samansuuntaisesti riippuvaisia kasvupaikan viljavuudesta.

Taimien keski-ikä lisääntyi selvästi hitaammin kuin siemenpuuhakkuusta kulunut aika. Tulos osoittaa, että suuri osa taimista on ns. vaihtuvaa taimiainesta, jota syntyy ja kuolee siemenpuu-alueilla. Myös siemensadon vuotuisella vaihtelulla on vaikutuksensa. Taimien iän määrittäminen vuotuisten pituuskasvujen perusteella oli epävarmaa, koska ylispuuston alla oksakiehkuroiden muodostuminen ei ole aina säännöllistä (Vaartaja 1951).

Juuristokilpailu näyttää olevan suurin syy siemenpuun lähiympäristön heikkoon taimettumiseen (Vaartaja 1951, Kalela 1954, Lehto 1956 ja 1969). Varjostuksella puolestaan ei liene suurta vaikutusta, koska taimien tiheys ja pituus eivät riippuneet ilmansuunnasta siemenpuun ympärillä.

Merkitsevästä keskiarvoeroista huolimatta siemenpuualan taimettumista on vaikeaa ennustaa. Taimikon tiheyden, keskipituuden ja iän vaihtelusta selittyi regressiomalleilla vain noin 30 %. Taimimäärän selittäjinä käytettiin siemenpuun etäisyyttä, humuskerroksen paksuutta sekä siemenpuiden pituutta. Taimien pituuden ja iän selittäjinä käytettiin edellisten lisäksi lämpösummaa ja hakkuusta kulunutta aikaa.

Keskiarvoilla ja malleilla voitiin tutkia taimikon sisäistä rakennetta. Sen sijaan luontaisen uudistamisen yleistä onnistumista ei voitu arvioida tämän tutkimusaineiston perusteella. Tutkimuskohteiksi oli valittu mahdollisimman vanhoja siemenpuualoja, joille siemenpuut on saatettu jättää juuri siitä syystä, että uudistuminen on ollut puutteellista.

Vaartajan (1951) mukaan alikasvosasemasta vapautetut männyn- ja taimet toipuvat usein muuttaman vuoden juromiskauden jälkeen, mutta taimikon epätasaisuus ja aukkoisuus aiheuttavat tuotos- ja laatutappioita. Juuri puutteellisen ja epävarman taimettumistuloksen vuoksi männikön

uudistamiseen ei ilmeisesti kannata yleensä pyrkiä pitkitettyä siemenpuuasentoa käyttäen. Männyin uudistamisessa tarvitaan selkeästi omat, luontaiseen uudistamiseen tai metsänviljelyyn tähtäävät toimenpiteet.

Tutkimuksen mukaan siemenpuut pystyvät lisäämään omaa kasvuaan lähes kaksinkertaiseksi. Siitä huolimatta hehtaarikohtainen kasvu jää pieneksi verrattuna koko kiertoajan kasvuun. Siemenpuiden suhteellinen tilavuuskasvu nousee 15 vuoden aikana siemenpuuhakkuuta edeltäneestä 1,8 %:n tasosta 3,0 %:iin. Tuntuvasta kasvun lisäyksestä huolimatta siemenpuustoon sidotun pääoman korko jää liiketaloudellisesti arvioiden alhaiselle tasolle.

Tulokset osoittavat, että mänty pystyy lisäämään kasvuaan vanhanakin, jos kasvuolet paranevat. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää väljentämällä varttunut tai uudistuskypsä männikkö tuottamaan pitkällä kiertoajalla huippulaa- tuista mäntytykkä. Puuston tiheyden täytyy kuitenkin ylittää selvästi siemenpuille suositeltu runkoluku. Suurempi puustopääoma tuottaa enemmän puuta ja myös runkomuoto säilyy parempana.

Taloudellisissa laskelmissa siemenpuuston oma kasvu osaltaan tukee luontaista uudistamista. Samalla tulee kuitenkin ottaa huomioon puustoon sidotun pääoman alhainen tuottoaste, siemenpuiden erillisestä korjuusta aiheutuvat lisäkustannukset sekä myrskytuhojen riski. Kun näiden lisäksi vielä otetaan huomioon juuristokilpailun uudistumista estävä ja taimien kehitystä hidastava vaikutus, ei ylispuuston kasvattamista voida perustella yksinomaan puuntuotannollisilla seikoilla.

Vanhat ylispuut ja epätasaiset taimikot lisäävät yleisen käsityksen mukaan metsäluonnon monimuotoisuutta ja parantavat metsän maisemallisia ominaisuuksia. Näitä seikkoja painotettaessa siemenpuustojen kasvatusta voidaan perustellusti jatkaa vielä taimettumisen jälkeenkin. Tasainen siemenpuusto ei kuitenkaan liene paras vaihtoehto sovitettaessa yhteen puuntuotannon, maisemanhoidon, ja luonnonsuojelun näkökoh- tia. Ehkä tällainen monitavoitteinen ylispuuvai- he voidaan parhaiten toteuttaa ryhmittäisellä tai maaston mukaan vyöhykkeittäisellä siemenpui- den tilajärjestyksellä.

Kirjallisuus — References

- Barth, A. 1929. Skjermföryngelsen i produksjonsøkonomisk belysning. *Acta Forestalia Fennica* 34(15). 34 s.
- Blomqvist, A. G. 1891. Suomen puulajit metsänhoidolliselta kannalta. I Mänty. Suom. T. A. Cannelin. Keisarillisen Senaatin kirjapaino. Helsinki. 211 s.
- Gustavsen, H. G. 1992. Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusiköiden kehitys. Summary: Development of understocked pine and spruce stands. *Folia Forestalia* 796. 29 s.
- Hagberg, N. 1942. Stamformens förändringar hos tall och gran under beståndsutvecklingen och efter friställning. Zusammenfassung: Die Veränderungen der Stammform bei Kiefer und Fichte während der Bestandsentwicklung und nach Freistellung. *Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift* 40. 46 s.
- Hagner, S. 1962. Naturlig förnygring under skärm. Summary: Natural regeneration under shelterwood stands. *Meddelanden av Statens Skogsforskningsinstitutet* 52(4). 263 s.
- Hannikainen, P. W. 1919. Metsänhoito-oppi. Neljäs painos. Otava. Helsinki. 286 s.
- Heikinheimo, O. 1937. Metsäpuiden siementämiskyvyttä. II. Referat: Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume II. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 24(4). 67 s.
- Hänninen, T., Räsänen, P. K. & Yli-Vakkuri, P. 1972. Männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen antamista tuloksista Etelä-Suomen kangasmailla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 7. 96 s.
- Isomäki, A. 1982. Metsänviljelyn puuntuotannolliset haitat. Metsä ja Puu 99. s. 6–8.
- Kalela, E. 1948. Luonnonmukainen metsien käsittely. Metsänhoitajien jatkokurssi 1947, V. Der Fortbildungskursus für Forstmeister 1947, V. *Silva Fennica* 64. s. 16–32.
- 1954. Mäntysiemenpuiden ja -puustojen juurisuhteista. Referat: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefern-samenbäume und -baumbestände. *Acta Forestalia Fennica* 61(28). 17 s.
- 1961. Metsät ja metsien hoito. WSOY. Porvoo-Helsinki. 368 s.
- Kinnunen, K. & Mäki-Kojola, S. 1980. Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa. Summary: Natural Regeneration of Scots pine in Western Finland. *Folia Forestalia* 449. 18 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. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lappi, J. 1983. Preliminary outline for statistical analysis of taper curve. In: Forest inventory for improved management. Proceedings of the IUFRO subject group 4.02 meeting in Finland, september 5–9, 1983. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja 17. s. 93–101.
- 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 Forestalia Fennica* 66(2). 106 s.
- 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemen- ja suojuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(4). 140 s.
- Leikola, M. 1987. Metsien luontainen uudistaminen Suomessa 1. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 57. 203 s.
- Metsäpelto, E. 1932. Ylispuiden kasvatuksesta ja vaikutuksesta nuoren metsän kasvuun. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 49. s. 156–157.
- Metsätalastollinen vuosikirja 1990–1991. 1992. Toim. Martti Aarne. Summary: Yearbook of forest statistics 1990–1991. *Folia Forestalia* 790. 281 s.
- Norokorpi, Y. 1983. Männyn luontainen uudistaminen Lapissa. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 105. s. 57–71.
- Nyblom, E. 1927. Formförändring hos helt friställda träd. Summary: Alteration in the form of wholly liberated trees. *Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift* 25. s. 51–61.
- 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.
- 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. *Acta Forestalia Fennica* 60(4). 194 s.
- 1956. Hakkuumäärän arvioiminen kannoista. Summary: Estimation of the cut from stumps. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(5). 68 s.
- Parviainen, J. & Antola, J. 1986. Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa mäntyistutuksissa. Summary: The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock. *Folia Forestalia* 671. 29 s.
- Pukkala, T. & Kolström, T. 1992. A Stochastic spatial regeneration model for Pinus sylvestris. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7(3):376–385.
- Sarvas, R. 1949. Siemenpuuhakkuu männikön uudistamishakkuuna Etelä-Suomessa. Summary: Seed-tree cutting as a regeneration method in Scots pine forests in Southern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(6). 43 s.
- Siren, G. 1952. Hakuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpimailla. Summary: On the effect of releasing cutting upon wood structure of spruce on peat moors. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(32). 36 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.
- 1986. Kasvun vaihtelu Suomen pohjoispuoliskossa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation in North Finland according to the 7th national forest inventory. *Folia Forestalia* 658. 9 s.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 80(2). 105 s.
- 1991. Havaintoja nuorten istutusmänniköiden oksikuudesta ja puuaineen laadusta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 377. 56 s.
- Vaartaja, O. 1951. Alikasvosasemasta vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advance growth and its silvicultural importance. *Acta Forestalia Fennica* 59(3). 133 s.
- Valtanen, J. 1984. Männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 158. s. 37–50.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia Forestalia* 451. 21 s.
- Vuokila, Y. 1960. Männyn kasvusta ja sen vaihtelusta harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. Summary: On growth and its variations in thinned and unthinned Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(7). 38 s.
- 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Seloste: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 60(4). 86 s.
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. *Folia Forestalia* 523. 55 s.

Total of 40 references

Summary

Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during a protracted regeneration period

Introduction

Increment data for models depicting forest growth and development are also needed on non-standard stands. One extreme in this sense is provided by stands of seed bearers where the trees are widely spaced out and their age exceeds normal rotations. During the 1970s the scope of seed-tree and shelterwood felling in Finland fell from an annual figure of approx. 90 000 ha down to 30 000 hectares. During the 1980s it has risen to 50 000 hectares.

The purpose of this study was to report on the impacts that seed-tree felling, leading to a drastic change in the growth conditions of trees, has on the increment and stem form development of the remaining trees. Growth models for Scots pine seed bearers on both stand and individual tree levels are presented on the basis of the results obtained. The impact had on the structure and development of new growth by hold-overs left standing for longer than normal was also studied.

Material

A total of 69 regeneration sites relying on seed bearers were measured throughout Finland (Fig. 2) with the emphasis on northern Finland. The basic criteria were a minimum of 30 seed bearers and at least 8 years having

passed since the regeneration felling. Two to three circular sample plots of the kind described in Fig. 4 were established in each stand. Increment measurements were based on increment boring made of a total of 1576 trees.

The average spacing of the seed bearers was 75 per hectare for the material as a whole and the average age of the growing stock at the time of regeneration felling was 115 years (Fig. 3). The time passed since regeneration cutting varied within the range of 8–35 years and the temperature sum variation was within the range 750–1350 dd.

Volume growth of seed bearers

The increment of the seed bearers did not increase during the first 3-year period since the regeneration felling (Fig. 5). Thereafter, increment increased for over ten years and then remained at a level averaging almost double ($= 1 \text{ m}^3/\text{ha/a}$) that recorded for the same trees prior to regeneration felling. The number of seed bearers per hectare and the temperature sum had the most influence on stand growth (Fig. 6).

The number and volume of seed bearers per hectare, temperature sum and time passed (in years) since the regeneration felling were selected as the independent variables included in the stand level volume growth mo-

del (Fig. 8). The said model was then compared to Gustavsen's (1992) growth model for sparsely stocked stands of Scots pine (Fig. 9). Both models give the same result for a stand density of 200 trees per hectare. They supplement one another very well as the material for the present study covers densities (number of stems/ha) below 200 and the other those above it.

Development of stem form

The cross sectional increment of the seed bearers was reduced by nearly a third when comparing measurements made at 0.5 m above ground level and at breast height (1.3 m) and by another third when comparing measurements made at breast height to those made at 6.0 m (Fig. 11). Cross-sectional growth models were formulated for four heights (0.5, 1.3, 3.0 and 6.0 m) using mixed linear model technique for the purpose of predicting individual tree growth (Tables 2 and 3, Fig. 12).

Predicting error of increment was largest on the base of the tree. Worsening of stem form reduces economic returns because only half of the seed bearers' volume increment can be exploited by the sawmilling industry (Fig. 14). The other half ends up as pulpwood.

Influence of hold-overs on structure of young stands

There were 30–40 % less seedlings next to seed bearers than at a distance of 10 m (Fig. 15 and Appendix 2). The height of seedlings increased up to a distance of 15 m

from seed bearers (Fig. 16 and Appendix 3). Another significant factor restricting restocking was the presence of a thick humus layer. Site preparation increased the number of seedlings on sites where the thickness of the humus was 3 cm or more. Average seedling age increase slower than the number of years passed since the regeneration felling. This is explained by the emergence of new seedlings and the death of older ones.

Discussion

Scots pine is able to exploit improved growing conditions and the more abundant availability even at an old age. Growth increases for about 15 years following regeneration felling and then levels out. On regeneration sites with seed bearers this characteristic needs to be taken into account when comparing the economics of different regeneration methods. At the same time, one should take into consideration logging costs, the capital tied up in the growing stock and the risk of wind damage.

Leaving seed bearers to grow for prolonged periods in excess of the time required for regeneration is not economically feasible, because competition at the root system level cause undue restriction to the development of new growth. The timber produced consists mostly of knot-free saw timber, but poorer stem form means that half of the increment ends up as chips for the pulp and paper industry. Reasons such as landscaping may favour two-storied stands as tending goals. On nutrient-poor sites this goal is difficult to attain without the application of intensive measures such as site preparation and fertilisation.

Liite 1. Symbolit.
Appendix 1. Symbols.

Siemenpuu — Seed bearer

- d_x = läpimitta kuorellisena korkeudelta x , cm
diameter at height x , incl. bark, cm
- d_k = läpimitta kuorellisena kannonkorkeudelta, cm
diameter at stump height, incl. bark, cm
- g_{fx} = poikkileikkauspinta-ala siemenpuuhakkuun
 hetkellä korkeudella x , cm^2
cross-sectional area at height x , cm^2
- i_{gy} = poikkileikkauspinnan kasvu kaudella y , cm^2/a
*annual increase in cross-sectional area during
 period y , cm^2/a*
- $\hat{i}_{gy}$ = poikkileikkauspinnan kasvun estimaatti kaudella
 y , cm^2/a
*estimate for annual increase in cross-sectional
 area during period y , cm^2/a*
- i_{vy} = tilavuuskasvu kaudella y , dm^3/a
annual volume increase during period y , dm^3/a
- $\hat{i}_{vy}$ = tilavuuskasvun estimaatti kaudella y , dm^3/a
*estimate for annual volume increase during
 period y , dm^3/a*

Siemenpuusto — Stand of seed bearers

- f = siemenpuuhakkuun ajankohta
time of regeneration felling
- H_{100} = pituusboniteetti (männyn valtapituus 100 vuoden
 iällä)
*site index (dominant height of Scots pine at the
 age of 100 years)*
- H_m = siemenpuiden keskipituus mittaushetkellä, m
mean height of seed bearers when measured, m
- I_{vy} = siemenpuuston tilavuuskasvu kaudella y , $\text{m}^3/\text{ha}/\text{a}$
*annual volume increment of seed bearers during
 period y , $\text{m}^3/\text{ha}/\text{a}$*
- $\hat{I}_{vy}$ = siemenpuuston tilavuuskasvun estimaatti
 kaudella y , $\text{m}^3/\text{ha}/\text{a}$
*estimate for annual volume increment of seed
 bearers during period y , $\text{m}^3/\text{ha}/\text{a}$*
- m = mittauksen ajankohta
time of measurement
- N_s = siemenpuuston runkoluku, kpl/ha
number of seed bearers/ha
- φt = siemenpuuhakkuusta kulunut aika kasvujakson
 alussa, a
*time after regeneration felling at the beginning
 of growth period, a*
- Δt = siemenpuuhakkuun ja mittauksen välinen aika, a
*period between regeneration felling and
 measurement, a*

- t_y = puun ikä hetkellä y , a
age of tree at time y , a
- T_y = siemenpuuston keski-ikä hetkellä y , a
mean age of seed bearers at time y , a
- v_{ig5} = siemenpuun poikkileikkauspinnan kasvumallin
 logaritminen metsikkövaikutus
*logarithmic stand effect in the growth models for
 cross sections of a seed bearer*
- V_y = siemenpuuston tilavuus kuorineen hetkellä y ,
 m^3/ha
*volume of seed bearers, including bark, at time
 y , m^3/ha*
- TS = lämpösumma, dd
temperature sum (= number of degree days), dd

Taimikko — Seedlings

- E = etäisyys lähimmästä siemenpuusta, m
distance from nearest seed bearer, m
- HL = humuksen paksuus, cm
humus thickness, cm
- H_p = taimien keskipituus, dm
mean height of seedlings, dm
- N_p = taimikon tiheys, kpl/ha
number of seedlings/ha
- T_p = taimien keski-ikä, a
mean age of seedlings, a

Muita — Others

- n = havaintojen lukumäärä
number of observations
- r = korrelaatiokerroin
correlation coefficient
- R^2 = selitysaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin)
*coefficient of determination (R = multiple
 correlation coefficient)*
- s = keskihajonta
standard deviation
- S_f = mallin jäännöshajonta
residual deviation
- S_m = selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta
standard deviation of dependent variable
- s_x = keskiarvon keskivirhe
standard error of mean
- $\bar{x}$ = keskiarvo
mean value

Liite 2. Humuksen paksuuden ja siemenpuuhakkuusta kuluneen ajan vaikutus kehityskelpoisten männyntaimien tiheyteen ja taimettuneiden koealojen osuuteen eri etäisyyksillä siemenpuista.

Appendix 2. Influence of the thickness of the humus layer and the time passed since the regeneration felling on the density per hectare of viable pine seedlings and on the proportion of plots with one or more viable seedlings at different distances away from seed bearers.

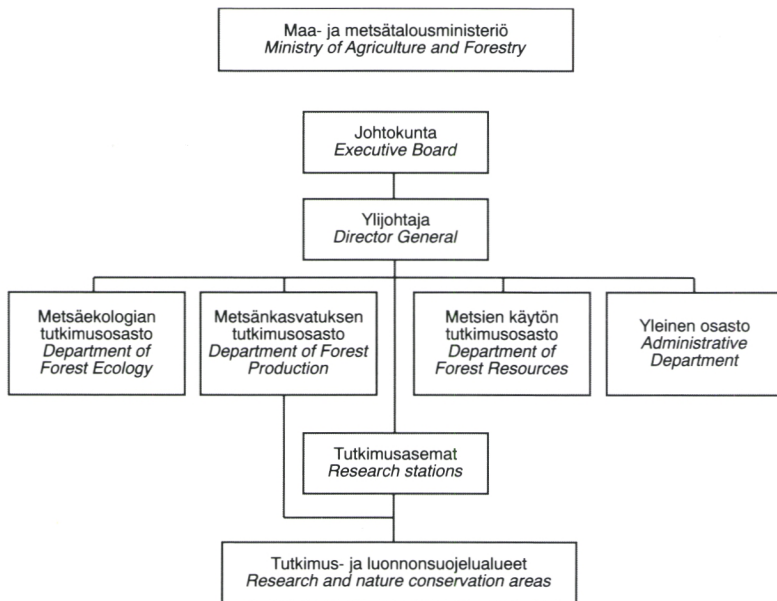
Humuksen paksuus <i>Humus thickness</i> HL, cm	Metsiköiden lukumäärä <i>Number of stands</i>	Metsiköiden keskiarvo, $\bar{x}$ <i>Mean value of stands, $\bar{x}$</i> Etäisyys siemenpuusta <i>Distance from seed tree</i>				Keskiarvon keskivirhe, $S_{\bar{x}}$ <i>Standard error of mean, $S_{\bar{x}}$</i> Etäisyys siemenpuusta <i>Distance from seed tree</i>			
		2 m	5 m	10 m	15 m	2 m	5 m	10 m	15 m
Taimien lukumäärä kpl/ha — <i>Number of seedlings, n/ha</i>									
Kaikki metsiköt — <i>All stands</i>									
1–2	12	1658	2371	2419	3005	212	230	268	308
3	22	1459	1950	2198	1958	126	89	142	480
4–7	17	937	1317	1704	1005	118	160	211	488
1–7	51	1332	1838	2083	1907	92	117	118	305
8–15 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>8–15 years since regeneration felling</i>									
1–2	7	1418	2111	2164	3333	278	359	433	333
3	13	1388	2078	2269	1861	185	208	181	941
4–7	10	1087	1650	2054	1500	158	180	259	958
1–7	30	1294	1943	2173	2090	115	137	149	535
18–35 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>18–35 years since regeneration felling</i>									
1–2	5	1993	2735	2775	2678	292	143	159	506
3	9	1561	1766	2083	2056	162	247	241	352
4–7	7	724	842	1204	510	154	180	270	182
1–7	21	1385	1689	1948	1724	153	199	192	309
Tyhjien taimikoealojen osuus, % — <i>Proportion of plots void of seedlings, %</i>									
Kaikki metsiköt — <i>All stands</i>									
1–2	12	37	24	19	3	6,6	6,3	6,3	2,9
3	22	46	31	23	35	4,3	4,5	4,4	11,2
4–7	17	63	51	42	62	4,2	5,2	6,0	14,7
1–7	51	49	36	28	36	3,1	3,3	3,4	7,9
8–15 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>8–15 years since regeneration felling</i>									
1–2	7	44	30	26	0	9,3	10,2	9,8	0,0
3	13	47	28	22	52	6,5	5,8	5,9	18,4
4–7	10	57	41	32	50	5,5	5,8	6,3	28,9
1–7	30	50	33	26	39	4,0	4,0	3,9	13,0
18–35 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>18–35 years since regeneration felling</i>									
1–2	5	27	15	8	6	7,9	2,3	4,0	5,8
3	9	43	35	24	19	5,0	7,4	7,0	10,1
4–7	7	70	66	57	75	6,0	6,7	9,4	9,1
1–7	21	49	40	32	33	5,0	5,8	6,1	9,7

Liite 3. Humuksen paksuuden ja siemenpuuhakkuusta kuluneen ajan vaikutus kehityskelpoisten männyntaimien keskipituuteen ja -ikään eri etäisyyksillä siemenpuusta.

Appendix 3. Influence of the thickness of the humus layer and the time passed since the regeneration felling on the mean height and age of the viable seedlings at different distances away from seed bearers.

Humuksen paksuus <i>Humus thickness</i> HL, cm	Metsiköiden lukumäärä <i>Number of stands</i>	Metsiköiden keskiarvo, $\bar{x}$ <i>Mean value of stands, $\bar{x}$</i>				Keskiarvon keskivirhe, $S\bar{x}$ <i>Standard error of mean, $S\bar{x}$</i>			
		2 m	5 m	10 m	15 m	2 m	5 m	10 m	15 m
		Etäisyys siemenpuusta <i>Distance from seed tree</i>				Etäisyys siemenpuusta <i>Distance from seed tree</i>			
Taimien keskipituus, cm — <i>Mean height of seedlings, cm</i>									
Kaikki metsiköt — <i>All stands</i>									
1–2	12	18	23	39	54	4,4	5,7	10,6	27,3
3	22	28	50	65	99	4,8	10,1	16,2	38,1
4–7	17	47	48	60	66	11,7	8,1	12,4	33,0
1–7	51	32	43	57	78	4,7	5,5	8,4	20,9
8–15 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>8–15 years since regeneration felling</i>									
1–2	7	20	29	51	62	4,6	6,3	12,0	39,4
3	13	24	45	48	77	3,6	7,4	9,5	27,6
4–7	10	39	45	51	38	8,9	7,1	8,2	37,5
1–7	30	28	41	50	63	3,7	4,3	5,5	18,0
18–35 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>18–35 years since regeneration felling</i>									
1–2	5	14	15	23	46	8,9	10,0	17,9	45,8
3	9	35	58	94	113	10,5	22,9	37,9	62,8
4–7	7	58	55	74	85	26,2	18,3	28,2	52,2
1–7	21	38	47	69	89	10,3	12,1	19,1	34,4
Taimien keski-ikä, a — <i>Mean age of seedlings, a</i>									
Kaikki metsiköt — <i>All stands</i>									
1–2	12	8,8	8,6	9,4	10,6	1,0	0,7	0,8	2,1
3	22	8,8	9,5	9,9	11,8	0,6	0,7	0,9	2,4
4–7	17	9,3	9,6	9,3	10,6	0,9	0,9	1,0	1,8
1–7	51	9,0	9,3	9,6	11,2	0,5	0,4	0,5	1,3
8–15 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>8–15 years since regeneration felling</i>									
1–2	7	9,5	9,3	10,4	12,7	1,3	0,8	0,9	2,5
3	13	7,7	7,9	8,0	11,5	0,4	0,4	0,6	1,0
4–7	10	8,8	9,1	8,6	7,8	1,3	1,0	0,7	0,2
1–7	30	8,5	8,6	8,8	11,0	0,6	0,4	0,4	0,9
18–35 vuotta siemenpuuhakkuusta — <i>18–35 years since regeneration felling</i>									
1–2	5	7,9	7,6	7,9	8,6	1,6	1,3	1,4	3,4
3	9	10,4	11,9	13,1	12,0	1,1	1,3	1,8	4,5
4–7	7	9,9	10,4	10,2	12,4	1,4	1,7	2,2	3,1
1–7	21	9,6	10,3	10,8	11,3	0,8	0,9	1,2	2,3

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute*

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

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

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä

Tutkimusasemat — *Research Stations*

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 813 Varmola, Martti: Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli.
A stand model for early development of Scots pine cultures.
- No 814 Nieminen, Mika & Ahti, Erkki: Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta.
Leaching of nutrients from an ombrotrophic peatland area after fertilizer application on snow.
- No 815 Heikkilä, Risto: Ravinnon määrän ja puulajikoostumuksen vaikutus hirven ravinnonkäyttöön ja taimituhoihin mäntytaimikoissa.
Effects of food quantity and tree species composition on moose (*Alces alces*) browsing in Scots pine plantations.
- No 816 Uusvaara, Olli: Pystykarstuista männiköistä valmistetun sahatavaran laatu ja arvo.
Quality and value of sawn goods from pruned Scots pine stands.
- No 817 Kanninen, Kaija: Sisäisten mallien teoria hakkuutyötapaturmien selittäjänä.
Theory of internal models in explaining logging accidents.
- No 818 Mäkinen, Pekka: Metsäkoneyrittämisen menestystekijät.
Success factors for forest machine contractors.
- No 819 Tamminen, Pekka: Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä.
Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties.
- No 820 Moilanen, Mikko: Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla.
Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu.
- No 821 Rantala, Tapio & Moilanen, Mikko: Nuorten suomänniköiden lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla.
Profitability of fertilization of young pine stands in northern Ostrobothnia.
- No 822 Hytönen, Jyrki & Ekola, Elina: Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla.
Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland.
- No 823 Verkasalo, Erkki: Lehtikuusitukkien laatu Suomessa.
Technical quality of larch saw logs in Finland.
- No 824 Sievänen, Tuija: Kaupunkiväestön ulkoilukäyttäytyminen ja ulkoilualueiden käyttö. Hämeenlinnan ulkoilututkimus.
Outdoor recreation household survey in the City of Hämeenlinna.
- No 825 Salminen, Sakari: Eteläisimmän Suomen metsävarat 1986–1988.
Forest resources of southernmost Finland, 1986–1988.
- No 826 Niemistö, Pentti, Lappalainen, Erkki & Isomäki, Antti: Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys pitkitetyn luontaisen uudistamisvaiheen aikana.
Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during a protracted regeneration period.