

SILVA FENNICA

Vol. 4 1970 N:o 2

Sisällys Contents	P.M.A. TIGERSTEDT ja EERO MALMIVAARA: Met- sänjalostuksen mahdollisuudet. I. Pluspuiden va- lintaero ja siemenviljelysten valintahyöty. 101 <i>Summary: The possibilities in forest tree breeding. I Selection differential of plus trees and genetic gain in seed orchards.</i> 117
	LEO HEIKURAINEN ja JUKKA OUNI: Turvemaiden taimistojen pituuskasvusta. 119 <i>Summary: On the height growth of seedling stands growing on peatland.</i> 140
	MATTI KÄRKKÄINEN: Moottorisahojen valinnasta teknisten ominaisuuksien ja hinnan perusteella. 142 <i>Summary: On the choice of power-saws on the basis of the price and technical properties.</i> 153
	MATTI KÄRKKÄINEN: Hakkuutähteiden merkityk- sestä puuston vaurioitumisen ja raiteenmuodostuk- sen kannalta harvennusmetsissä. 155 <i>Summary: On the significance of waste in thinnings as to scars and tracks.</i> 170
	RIHKO HAARLAA: Ideaalinäkemys metsätyöorgani- saatioiden kehittämisessä. 172 <i>Summary: The concept of ideal systems in design of forestry work organizations.</i> 184
	Uutta kirjallisuutta 185

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA
SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

Silva Fennica

A QUARTERLY JOURNAL FOR FOREST SCIENCE

PUBLISHER:

THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

EDITOR:

P. M. A. TIGERSTEDT. Address: Unioninkatu 40 A, Helsinki 17, Finland.

EDITORIAL BOARD:

PÄIVIÖ RIIHINEN (Chairman), VEIJO HEISKANEN (Vice Chairman), KUSTAA KALLIO, KULLERVO KUUSELA, KALLE PUTKISTO, SAKARI SAARNIJOKI and YRJÖ VUOKILA (Secretary)

Silva Fennica is published quarterly. It is a sequel to the Series, vols. 1 (1925)–120(1966.) Its annual subscription price is 20 Finnish marks. The Society of Forestry in Finland also publishes *Acta Forestalia Fennica*. This series appears at irregular intervals since the year 1913 (vol. 1).

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions and exchange inquiries can be addressed to the Library: Unioninkatu 40 B, Helsinki 17, Finland.

Silva Fennica

NELJÄNNEKSVUOSITTAIN ILMESTYVÄ METSÄTIETEELLINEN AIKA-
KAUSKIRJA

JULKAISIJA:

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

TOIMITTAJA:

P. M. A. TIGERSTEDT. Osoite: Unioninkatu 40 A, Helsinki 17.

TOIMITUSKUNTA:

PÄIVIÖ RIIHINEN (puheenjohtaja), VEIJO HEISKANEN (varapuheenjohtaja), KUSTAA KALLIO, KULLERVO KUUSELA, KALLE PUTKISTO, SAKARI SAARNIJOKI ja YRJÖ VUOKILA (sihteeri).

Silva Fennica, joka vuosina 1926–66 ilmestyi sarjajulkaisuna (niteet 1–120), on vuoden 1967 alusta lähtien neljännesvuosittain ilmestynyt aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura julkaisee myös *Acta Forestalia Fennica*-sarjaa vuodesta 1913 (nide 1) lähtien.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran kirjastolle, Unioninkatu 40 B, Helsinki 17. *Silva Fennica*n tilaushinta on Seuran jäseniltä 10 mk, muilta 20 mk.

METSÄNJALOSTUKSEN MAHDOLLISUUDET. I. PLUS- PUIDEN VALINTAERO JA SIEMENVILJELYSTEN VALINTAHYÖTY

P.M.A. TIGERSTEDT JA EERO MALMIVAARA

SUMMARY:

THE POSSIBILITIES IN FOREST TREE BREEDING. I. SELECTION
DIFFERENTIAL OF PLUS TREES AND GENETIC GAIN IN SEED ORCHARDS.

Saapunut toimitukselle 6. 2. 1970

Tutkimuksen tarkoituksena on pyrkiä selvittämään siemenviljelysten valintahyötyä käytävissä olevien tutkimustulosten avulla. Valintahyödyn laskemiseksi tarvitaan tietoja sekä pluspuiden valintaerosta että periytyvyydestä.

Valintaeroa on pyritty arvioimaan rekisteröityjen pluspuiden perusteella. Periytyvyystietoja on saatu sekä kotimaisista risteytyksistä että ulkomaisista tutkimustuloksista. Käytävissä olevien tietojen perusteella on arvioitu, että nykyisellä männyn jalostuksella pystytään hyvissä olosuhteissa kohottamaan kuutiokasvua 7–15 %. Tämä saavutetaan, jos pölytys tapahtuu siemenviljelyksessä valittujen kloonien kesken. Jos taas tapahtuu vieraspölytystä, laskee valintahyöty 3.5–7.5 %:iin.

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	102
2. Valinnan geneettinen perusta	102
2.1 Geneettinen vaihtelu	102
2.2 Valintaero	103
2.3 Periytyvyys	105
2.4 Valintahyöty	105
3. Pluspuiden valintaerot	106
3.1 Pituus	107
3.2 Läpimitta	108
4. Risteytysten avulla todettu periytyvyys	108
4.1 Pituuskasvun periytyvyys Oitin mäntysiemenviljelyksessä	109
4.2 Muualla tehdyt periytyvyysmittaukset	110
5. Valintahyöty Suomessa tehtyjen mittauksien perusteella	111
6. Tulosten tarkastelu	114
7. Kirjallisuutta	115
Summary	117

1. JOHDANTO

Varsinainen metsänjalostus on hyvin nuori metsän kasvun ja rahallisen arvon nostamisen menetelmä. Jalostuksella tarkoitetaan tavallisesti sellaisia toimenpiteitä, jotka muuttavat perinnöllisiä ominaisuuksia. Jalostuksen vaikutus eroaa tässä suhteessa muista metsänparannustoimenpiteistä, jotka kaikki ovat verrattain lyhytaikaisia vaikutukseltaan puun pitkää elinikää ajatellen. Metsänlannoitus ja kasvualustan vesitalouden parantaminen vaikuttavat usein hyvin voimakkaasti puun kasvun kohottamiseen. Kukin toimenpide lisää puuston vuotuista kasvua karkeasti arvioiden noin 20 % (HEIKURAINEN 1961, ERVASTI et al. 1965, VIRO 1967). Verrattuna metsänlannoituksen ja metsäojituksen kasvunlisäykseen on yleisesti todettava, että metsänjalostuksen tulokset jäävät hyvin vaatimattomiksi. Mahdollisesti saavutetaan yllämainittuja prosenttilukuja lähenteleviä tuloksia hybridijalostuksen avulla, mutta hybridijalostuksen toteuttaminen laajamittaisesti on ainakin toistaiseksi mahdotonta. Toisaalta on vielä kerran korostettava, että jalostuksen avulla saavutettavissa oleva kasvunlisäys on pysyvää eikä vaadi »jälkihoitoa» samalla tavalla kuin muut metsän kasvun kohottamiseen tähtäävät toimenpiteet. Tässä esitetty tutkimus tarkastelee metsänjalostuksen mahdollisuuksia nykyisiä laajamittaisia metsänjalostusohjelmia ajatellen ja se pyrkii, perinnöllisyystieteen tutkimustuloksia soveltaen, mahdollisimman realistisen ennusteen tekemiseen.

2. VALINNAN GENEETTINEN PERUSTA

Puun kasvu on perinnölliseltä laadultaan hyvin monen eri geenin yhteisvaikutusta. Tästä johtuen puhutaan perinnöllisyystieteessä ns. kvantitatiivisista ominaisuuksista, jotka riippuvat polygeenien vaikutuksista. Polygeenit periytyvät aivan yhtä »mendelistisesti» kuin klassiset geenit Mendelin kokeissa, mutta niiden lukuisuudesta johtuen ei voida todeta selviä »ominaisuusluokkia» vaan kvantitatiivinen ominaisuus jakautuu populaatiossa normaalijakautuman mukaisesti. Kasvuominaisuudet eivät ole »joko—tai»-ominaisuuksia, vaan ne ovat »enemmän—tai—vähemmän»-ominaisuuksia. Valinnalla, eli geneettisesti sanottuna massavalinnalla, pyritään kasaamaan yksilöihin sellaisia geenejä, jotka vaikuttavat määrättyyn ominaisuuteen ihmisen kannalta edulliseen suuntaan, ts. pyritään nostamaan määrättyjen edullisten geenien taajuuksia populaatiossa.

2.1 GENEETTINEN VAIHTELU

Geneettinen vaihtelu puun kvantitatiivisissa ominaisuuksissa on vain osittain jalostajain käytettävissä silloin kun jalostus tapahtuu massavalintamenetelmää soveltaen (siemenmetsät ja siemenviljelykset). Tämä johtuu geenien

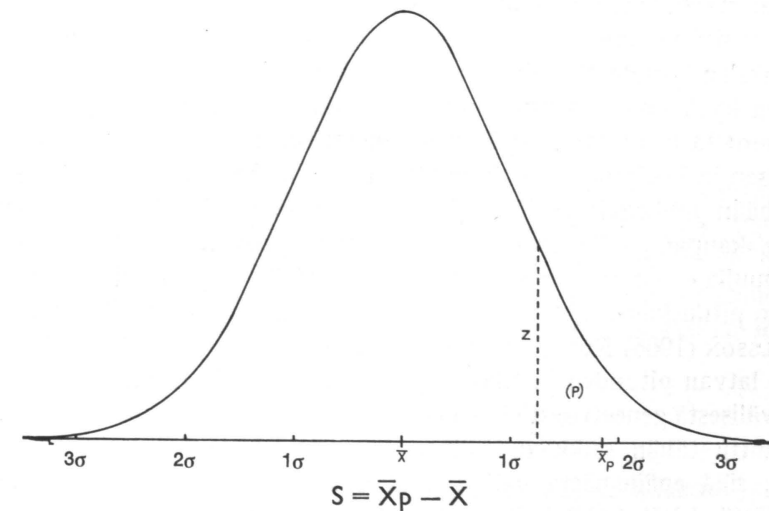
toiminnasta, joka voi olla (A) additiivista eli intermediääristä, (D) dominanssin aiheuttamaa tai (I) epistaattista eli lokusten välisestä yhteisvaikutuksesta johtuvaa. Määrätyn kvantitatiivisen ominaisuuden varianssi määrättyssä metsäpopulaatiossa johtuu siis näistä geneettisistä tekijöistä, mutta tämän lisäksi vaihtelua syntyy (E) ei-geneettisten ympäristötekijöiden ansiosta. Ympäristötekijöillä on luonnossa varsin suuri merkitys määrätyn yksilön fenotyypin (ilmiasun) muodostamisessa. Yksilöiden fenotyyppeihin perustuvat kenttämittaukset, joko varsinaisissa kenttäkokeissa tai suoraan metsiköissä, ilmaisevat määrätyn ominaisuuden fenotyypin vaihtelun. Jos kaikki yllämainitut vaihtelutekijät ovat riippumattomia toisistaan niin varianssien summauslauseen perusteella ominaisuuden fenotyypin vaihtelu metsikössä voidaan ilmaista seuraavalla tavalla:

$$V_P = V_A + V_D + V_I + V_E$$

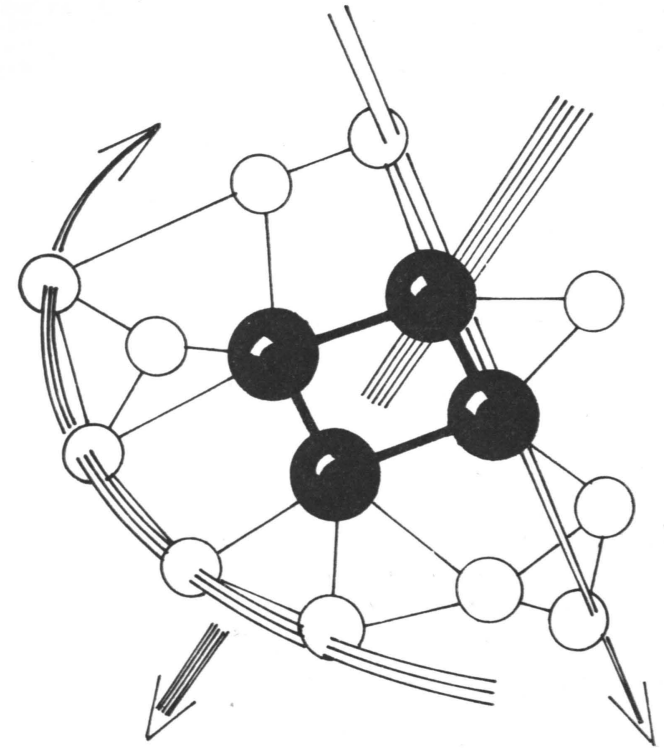
jossa V tarkoittaa kausaalista varianssikomponenttia, A, D, I, ja E tarkoittavat vaihtelun aiheuttajia.

2.2 VALINTAERO

Valintaerolla tarkoitetaan jalostukseen valittujen puiden ja koko valinnan perustana olevan puuston keskiarvojen erotusta. Tässä edellytetään, että puusto on tasaikäistä, että vertaukset suoritetaan yhtenäisellä boniteetilla ja että metsänhoidollinen tila on hyvä. Määrätyn ominaisuuden suhteen valintaeroa voidaan tarkastella normaalijakautuman perusteella (Kuva 1).



Kuva 1. Valintaeron kuvaus normaalisti jakautuneen kvantitatiivisen ominaisuuden suhteen. Figure 1. The representation of the selection differential of a normally distributed quantitative trait.



Korjaus:

Kirjoituksesta, RAIMO LEHTO: Opetustoiminnan taustaa ja työnopetus Hirvaan Metsäkonekoulussa. — *Silva Fennica* Vol. 4, N:o 1, 1970, sivu 40, puuttuu tekstistä tärkeä kuva. Kuva on painettu irtolehdele ja lukijoita pyydetään siirtämään se oikeaan paikkaan edelliseen numeroon.

Correction:

*This figure should be attached to *Silva Fennica* Vol. 4, N:o 1, 1970, page 40.*

Todetaan, että valintaeron (S) suuruus riippuu kahdesta tekijästä: 1) Valitun populaation osuudesta koko populaatiosta, joka voidaan ilmaista suhdelukuna ja 2) ko. ominaisuuden standardipoikkeamasta. Standardipoikkeama on siis näinollen eräs ko. ominaisuutta kuvaava tekijä. Sen ilmaiseminen mittalukuna, esimerkiksi senttimetreinä, kiloina, kuutiometreinä, selluloosapitoisuutena tai oksien lukumääränä, on hyödyllistä, sillä näin voidaan erilaisia ominaisuuksia verrata keskenään käyttämällä fenotyypistä standardipoikkeamaa mittayksikkönä. Tämä on ns. standardisoitu valintaero S/σ_p tai vaihtoehtoisesti valintateho i. Valintatehon arvo riippuu ainoastaan valitun populaation osuudesta koko populaatiosta ja koska kvantitatiivisen ominaisuuden fenotyypinen jakautuma ainakin lähentelee normaalia, niin se voidaan määrittää suoraan valmiiksi lasketusta taulukosta (esim. BECKER 1967). Jos nimittäin p on valitun populaation osamäärä (sadannes) koko populaatiosta ja z on ordinaatan korkeus »valintarajan» kohdalla niin normaalijakautuman matemaattisista ominaisuuksista seuraa, että

$$S/\sigma_p = i = z/p., \text{ kun } \sigma_p = 1.$$

Toisin sanoen, ainoastaan p:n avulla voidaan laskea paljonko valitun populaation keskiarvo (\bar{x}_p) eroaa koko populaation keskiarvosta (\bar{x}) ilmaistuna koko populaation standardipoikkeamana. Jos populaation fenotyypinen standardipoikkeama (σ_p) tunnetaan, niin valintaero (S) voidaan laskea.

Tavallisesti määrättyyn ominaisuuteen kohdistettu valinta muuttaa samalla jonkun toisen ominaisuuden (jota ei valinnalla pyritä muuttamaan) arvoa. Tätä kutsutaan geneettiseksi korrelaatioksi. Tällainen geneettinen korrelaatio voi olla jalostajan kannalta joko negatiivinen tai positiivinen. Jälkimmäisessä tapauksessa sitä voidaan käyttää hyväksi jalostuksessa. Geneettisesti tällainen ominaisuuksien korrelaatio johtuu mm. geenien pleiotrooppisesta vaikutuksesta tai geenien kytkennästä kromosomissa. Metsäpuilla on havaittu olevan jalostuksen kannalta määrätty positiivinen geneettinen korrelaatio kuusen silmujen puhkeamisen ja kesäpuuprosentin välillä (LANGER & STERN 1964). Jos siis valitaan myöhään puhkeavia yksilöitä tai provenienseja jotka eivät kärsi kevätthalasta, niin »kaupan päälle» saadaan suuri kesäpuuprosentti, joka taas merkitsee sitä että puulla on suuri ominaispaino. *Pinus taedalla* on positiivinen geneettinen korrelaatio pituuskasvun ja puun tiheyden (ominaispainon) välillä (BUIJTENEN 1963). NILSSON (1968) Ruotsissa on todennut, että männyllä on positiivista korrelaatiota latvan pituuden ja tilavuuspainon suhteen. Tutkimukset eri ominaisuuksien välisestä geneettisestä korrelaatiosta ovat tällä hetkellä Suomessa vasta alussa, mutta tähän seikkaan tullaan tulevaisuudessa kiinnittämään suurta huomiota, sillä epäilemättä valinnan taloudellisuus on suuresti riippuvainen tästä ilmiöstä. Lisäksi tällaisella tutkimuksella on suuri, puhtaasti geneettinen arvo, sillä sen avulla on ehkä mahdollista lähemmin tutkia ominaisuuksien periytymistä.

2.3 PERIITYVYYS

Ainoastaan additiivisesti vaikuttavien geenien varianssi on käytettävissä silloin kun jalostus perustuu massavalintaan. Tämä hyötysuhde ilmaistaan tavallisesti joko suoraan murtolukuna tai prosentteina. Jalostajat käyttävät tästä hyötysuhteesta nimitystä heritabiliteetti eli periytyvyys (h^2). Heritabiliteetti on siis yksinkertaisesti varianssikomponenteista muodostettu suhdeluku ja se voidaan ilmaista seuraavalla tavalla:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_A + V_D + V_I + V_E} \text{ tai } \frac{V_A}{V_P}.$$

Periytyvyys ilmaisee siis yksinkertaisesti paljonko jälkeläiset ovat vanhempiansa kaltaisia, muistuttavat vanhempiaan. Kvantitatiivisten ominaisuuksien periytyvyysarvot riippuvat suurimmaksi osaksi ko. ominaisuuden fitness-arvosta* eli sen merkityksestä yksilön säilymisen kannalta. Yleensä voi tässä todeta, että periytyvyys vaihtelee eri ominaisuuksissa noin 10–80 % välillä. Kasvuominaisuudet ovat hyvin merkityksellisiä yksilön säilymisen kannalta, erikoisesti taimi-asteella tapahtuvan kilpailun ansiosta; luonto on suorittanut massavalintaa kasvuominaisuuksien suhteen satojen sukupolvien aikana. Tästä syystä (on muitakin syitä, joihin tässä ei puututa) additiivinen geneettinen vaihtelu on tällaisten ominaisuuksien suhteen »käytetty loppuun» tai ainakin sitä on suhteellisen vähän (ROBERTSON 1955). Sitä vastoin vähemmän fitness-arvoa omaavat ominaisuudet ovat tavallisesti helpommin jalostettavissa, sillä niiden geneettinen vaihtelu on suureksi osaksi additiivista. Yleensä voidaan siis todeta, että mitä suurempi fitness-arvo määrättyllä ominaisuudella on sitä pienempi on ominaisuuden periytyvyys (FALCONER 1964).

2.4 VALINTAHYÖTY

Valintahyöty (R) lasketaan kaavasta $R = h^2S$ jossa h^2 tarkoittaa periytyvyyttä eli valinnan hyötysuhdetta ja S tarkoittaa valintaeroa. Valintahyöty ilmoitetaan kätevimmin prosentuaalisena kasvun- tai raha-arvon lisäyksenä. Samalla tavalla kuin valintaero voidaan myöskin valintahyöty standardisoida ilmoittamalla R:n arvo fenotyypin standardipoikkeaman avulla. R/σ_p on siis ns. standardisoitu valintahyöty. Tällöin

$$R/\sigma_p = S/\sigma_p \cdot h^2 ; R = i\sigma_p h^2$$

eli valintahyöty voidaan laskea populaatiossa, jos valintasadannes (p) ja peruspopulaation fenotyypin standardipoikkeama (σ_p) tunnetaan.

*) fitness-sanalla ei ole yksikäsitteistä suomenkielistä vastinetta, mutta siitä käytetään usein sanaa »sopeutuneisuus».

3. PLUSPUIDEN VALINTAEROT

Pluspuiden valintaeroista on varsin niukasti tietoja. Valintaa on suoritettu jo yli 20 vuotta. Metsätutkimuslaitoksen geneettiseen rekisteriin on kortistoitettu tiedot jo noin 11 000:sta pluspuusta. Pluspuiden valinnan käytännöllinen suoritus on vaihdellut melkoisesti varsinkin mitattujen tunnusten suhteen. Geneettisen rekisterin tietojen perusteella on tehty selvitys pluspuiden valintaeroista pituuden ja rinnankorkeusläpimitan suhteen (MALMIVAARA 1969). Mukaan on otettu vain sellaisia puita, joista on tarkat tiedot metsätyypistä, puulajista, iästä, läpimitasta, pituudesta ja mikäli mahdollista myös muotoa kuvaavasta kapenemisluvusta. Alunperin on otettu mukaan mänty- ja kuusipluspuut Etelä- ja Keski-Suomesta, mänty VT:ltä ja MT:ltä sekä kuusi MT:ltä ja OMT:ltä. Tässä käsitellään kuitenkin vain Etelä-Suomen mäntyjä VT:llä ja kuusia MT:llä.

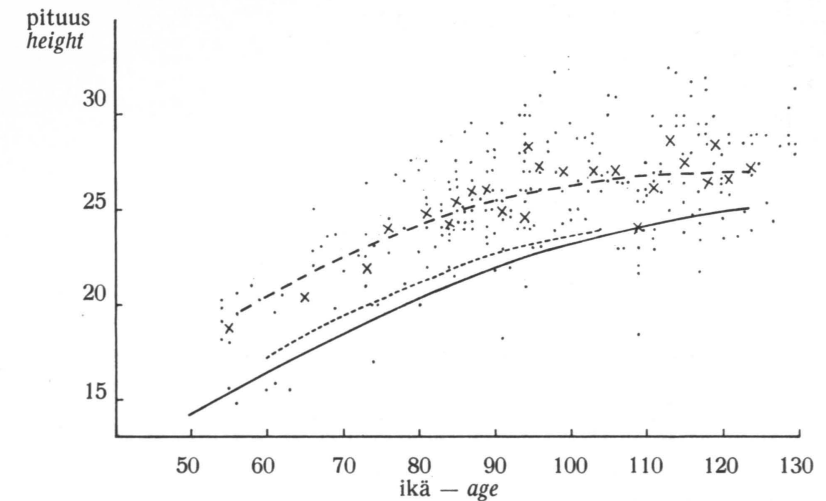
Pluspuiden valinnassa on Etelä-Suomeksi erotettu alue linjan Merikarvia—Jyväskylä—Tohmajärvi eteläpuolinen osa. Kortistossa suoritettujen valinnan tuloksena on saatu seuraavat määrät pluspuita: mäntyjä 268 kpl ja kuusia 114 kpl. Pluspuut on maastossa kairattu rinnan korkeudelta. Iän määrittämiseksi on näin saatuihin arvoihin lisätty 12—17 vuotta metsätyypistä ja puulajista riippuen (ILVESSALO 1965, Metsänarvioimisen perusharjoittelun ohjeet 1967). Saadut arvot on sijoitettu akselistoon ja käyrien piirtäminen on suoritettu seuraavasti: iän mukaisessa järjestyksessä on kymmenen puun ryhmistä laskettu keskiarvot iän ja ko. ominaisuuden suhteen ja näin saatujen muutamien pisteiden avulla on käyrän muoto ollut helpommin kuvattavissa. Vertailuperusteeksi on otettu kasvu- ja tuottotauluista (KOIVISTO 1960) keskipituutta ja keskiläpimittaa osoittavat arvot. Tämän vertailuperusteen luotettavuudesta on syytä esittää muutamia huomautuksia. Kasvu- ja tuottotaulukoiden keskipituudet on hoidettujen männiköiden osalta laskettu pohjapinta-alalla punniten (NYYSÖNEN 1954) ja hoidettujen kuusikoiden suhteen on keskipituus luettu pituuskäyrästä keskiläpimitan kohdalta (VUOKILA 1956). Keskiläpimitta on molemmissa tapauksissa laskettu pohjapinta-alan mediaaniin nojautuen. NYYSÖNEN (1954) on tehnyt vertauksia eri tavalla laskettujen keskiarvojen eroista. Esimerkiksi eräessä $\frac{1}{4}$ ha suuruudessa koemännikössä oli alaharvennuksen jälkeen metsikön keskiläpimitta runkoluvulla punnittuna 23.5 cm mutta pohjapinta-alan mediaaniin nojautuen vastaava läpimitta oli 24.7 cm. Runkoluvulla ja pohjapinta-alalla punnitut keskipituudet olivat samassa metsikössä vastavasti 20.1 ja 20.5 metriä.

Valintaeron laskemisessa käytetään kuitenkin, tilastollisiin ja perinnöllisyystieteellisiin tutkimuksiin ehkä ainakin teoreettisesti täsmällisempää, aritmeettista keskiarvoa. Toisin sanoen, kuvassa 1 esitetty tilastollinen tarkastelu valintaeron perusteista edellyttää aritmeettisen keskiarvon käyttöä. NYYSÖNEN (1954) ja VUOKILAN (1956) ilmoittamat pituuden ja läpimitan keskiarvot* ovat

*) koonnut KOIVISTO 1960.

näinollen aritmeettisiä tai runkolukuun punnittuja keskiarvoja suurempia ja lasketut valintaerot voivat olla jonkinverran todellista pienempiä.

Männyn ja kuusen pluspuita on piirroksissa verrattu toistuvien harvennuksien käsiteltyjen Etelä-Suomen vastaaviin kehityssarjoihin.



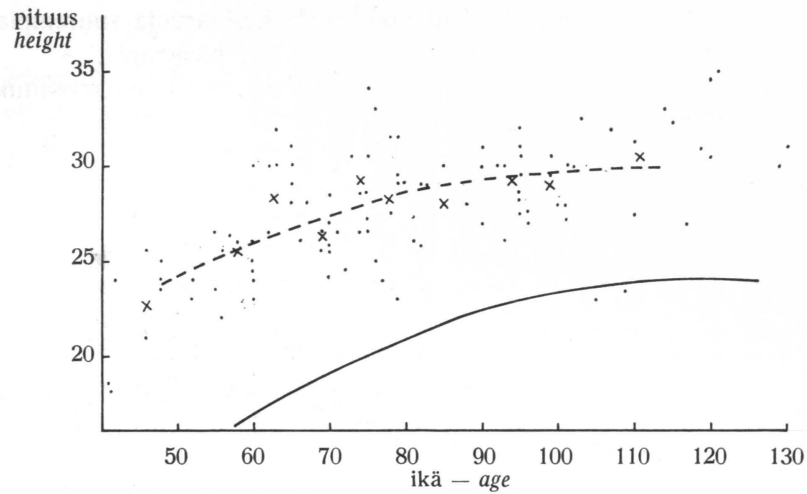
Kuva 2. Pituuden valintaero ja valintahyöty hoidetuissa Etelä-Suomen VT-männiköissä.
Figure 2. The development of the selection differential and the genetic gain of height growth in silviculturally treated *Vaccinium* type Scots pine stands in southern Finland.

— — — pluspuiden pituudet/height of plus-trees
 valintahyöty/genetic gain
 ————— hoidettujen männiköiden keskipituudet/mean height of silviculturally treated Scots pine stands

Oheisista piirroksista (kuvat 2 ja 3) käy ilmi, ettei valintaero pysy muuttumattomana. Nuorella iällä se on tavallisesti suurempi kuin vanhalla iällä, jolloin erot pyrkivät tasoittumaan. Vertailuja on suoritettu 60, 80 ja 100 vuoden iässä. Tällöin voidaan selvästi todeta valintaeron pieneneminen iän funktiona. Pääosa aineistoa sijoittuu 70—120 vuoden välille, joten 80 ja 100 vuoden iällä lienee valintaeron määrittäminen tarkimmin suoritettavissa.

3.1 PITUUS

Etelä-Suomen VT-männiköiden aineisto (kuva 2) vaikuttaa suhteellisen taseiselta, vaikka siinä lieneekin metsätyypin vaihtelusta johtuvia eroja. Valintaeroksi on saatu 80 vuoden iällä 3.8 m eli noin 18.6 %. Toisin sanoen kyseiset pluspuut ovat keskimäärin 18.6 % pitempiä kuin vastaava toistuvien harvennuksien käsitelty männikkö. Etelä-Suomen MT-kuusikoiden osalta (kuva 3) hajonta puiden pituuksissa on suurempi kuin männillä. Valintaero on 7.6 m eli noin 34.7 %.



Kuva 3. Pituuden valintaeron kehitys Etelä-Suomen hoidetuissa MT-kuusikoissa.
 Figure 3. The development of the selection differential of height in silviculturally treated *Myrtillus* type Norway spruce stands in southern Finland.
 — — — pluspuiden pituudet/height of plus-trees
 ————— hoidettujen kuusikoiden keskipituudet/mean height of silviculturally treated Norway spruce stands

3.2 LÄPIMITTA

Yleensä voidaan sanoa, että hajonta on läpimitan suhteen suurempi kuin pituuden suhteen. Kuoren ja kaarnan paksuuden vaihtelu vaikuttaa osaltaan tähän suuntaan. Hajonnan ollessa näinkin huomattava on käyrien piirtäminen epävarmaa.

Valintaero on 80-vuotiaalla VT-männnyllä 4.5 cm eli noin 19 %. MT-kuusella läpimitan vaihtelut ilmenevät selvemmin kuin männnyllä. Valintaeroksi on saatu 13.6 cm eli noin 61 %. Pluspuiden läpimitat ovat noin kaksinkertaisia keskiarvoihin nähden.

4. RISTEYTYSTEN AVULLA TODETTU PERIYTYVYYS

Periytyvyyden tutkiminen metsäpuilla on hyvin hankalaa, sillä yleensä geneettisen vaihtelun erottaminen ympäristön aiheuttamasta vaihtelusta on suoritettava hyvin suunniteltujen kenttäkokeiden avulla. Näissä kenttäkokeissa käytetään risteytysjälkeläisiä, jotka ovat keskenään joko puoli- tai täyssisaruksia. Sukulaisuudesta johtuva samankaltaisuus eli tilastollisesti ns. *intra-luokka-korrelaatio* muodostaa tällaisen analyysin tieteellisen perustan — perinnöllisyystieteellisesti puhutaan eri sukulaisasteiden *kovariansseista*. Geneettisesti tällainen kovarianssi voidaan osoittaa muodostuvan erilaisesta geneettisestä vaihtelusta seuraavan asetelman mukaisesti:

$$\begin{aligned} \text{puolisisarukset } Kov_{(PS)} &= \frac{1}{4} V_A \\ \text{täyssisarukset } Kov_{(TS)} &= \frac{1}{2} V_A + \frac{1}{4} V_D \end{aligned}$$

Yksinkertaisuuden vuoksi on asetelmasta jätetty huomioimatta epistaattisen interaktion aiheuttamat vaihtelutekijät. Todettakoon tässä, että heritabiliteetin arvioimiseksi on pakko tehdä valvottuja risteytyksiä. Vain poikkeustapaüksessa voimme siemenviljelyksissä kerätä eri kloonien siemenet erikseen, jolloin ainakin teoreettisesti on mahdollista suorittaa puolisisarusryhmien välisiä tilastollisia analyysejä. Tällainen vapaan pölytyksen jälkeen syntynyt jälkeläistö on kuitenkin hyvin epävarma lähtökohta, sillä pölytyksen ansiosta voi samassa kloonissa syntyä sekä puoli- että täyssisaruksia, jonka seurauksesta periytyvyysarvot voivat tulla aivan liian »optimistisiksi».

Kaikki tähänastiset tutkimukset viittaavat siihen, että luotettavan periytyvyysasteen määrittäminen kenttäkokeen avulla kestää noin 5–20 vuotta (NANSON 1967, TIGERSTEDT 1969).

4.1 PITUUSKASVUN PERIYTYVYYS OITIN MÄNTYSIEMENVILJELYKSESSÄ

Ensimmäiset periytyvyyden mittaamiseen tähtäävät risteytykset on Suomessa tehty Keskusmetsälautakunta Tapion Oitissa sijaitsevassa männyn siemenviljelyksessä. Vuosina 1964 ja 1965 tehtiin varsinaiset risteytykset ja keväällä 1967 kylvettiin siemenerät muovihuoneeseen Oitin taimitarhalla. Kylvö tapahtui muovialtaisiin ja mahdollisimman tarkasti, niin että kunkin siemenerän sisäinen taimikilpailu tulisi samansuuruiseksi. Tätä varten käytettiin kylvössä erikoista kylvömuotia, jolla saatiin siementen kylvöväli 4 × 4 senttimetriksi. Kylvöt suoritettiin arvottujen lohkojen perusteella, yhteensä oli 3 lohkoa. Koe käsitti kaikkiaan noin 30 000 tainta. Mahdollisimman tarkalla alkusuunnittelulla pyrittiin parantamaan kokeen luotettavuutta nimenomaan varhaisen informaation saamiseksi. Neljän cm:n kylvöetäisyydellä pyrittiin siihen, että taimet voitaisiin kasvattaa 2/0-ikäisiksi ennen koulimista ja tällä tavalla käyttää kahden peräkkäisen kasvukauden mittaukset pituuskasvun periytyvyysasteen määrittämiseen. Kouliminen tai taimien istuttaminen kenttäkokeisiin suoritettiin keväällä 1969 ja tässä on todettava, että tällaiset taimien siirrot ja käsittelyt ovat niin voimakkaita »ympäristötekijöitä», että periytyvyysasteen tai geneettisen vaihtelun analysoiminen käy mahdottomaksi aina niin kauan kun mainitun operaation seuraukset vaikuttavat taimien kasvuun. Muissa kokeissa (esim. TIGERSTEDT 1966) on todettu, että tämä vaikutusaika kestää noin 5 vuotta.

Männyn pituuskasvun periytyvyysaste on näissä kokeissa laskettu kolmea eri menetelmää käyttäen, nimittäin (1) polycrossin, (2) dialleelin ja (3) faktorisarjan avulla. Tuloksia on kahden eri vuoden mittauksista ts. taimien pituudet mitattiin syksyllä 1967 ja 1968. Tässä yhteydessä on todettava, että ensimmä-

mäisen vuoden kasvu tapahtui muovihuoneessa, mutta toisen vuoden kasvu tapahtui ulkoilmassa. Taulukossa 1 on esitetty eri analyysien tulokset.

Taulukko 1. Männyn pituuskasvun periytyvyys Oitin siemenviljelyksessä tehtyjen risteytysjälkeläistöjen perusteella.

Table 1. Heribility of height growth based on progenies after crosses in the Oitti Scots pine seed orchard

Risteytys Cross	Periytyvyys Heritability	Keskivirhe Standard error
Polycross		
1967	0.42	0.28
1968	0.40	0.30
Dialleeli — Diallel		
1967	0.17	0.22
1968	0.00	(0.17)
Faktori — Factorial		
1967	0.07	0.07
1968	0.002	0.03
Keskiarvo — Mean	0.18	0.18

Kuten taulukosta näkyy on polycross-analyysi antanut korkeimmat periytyvyysarvot. Tämä johtuu siitä, että analyysi nimenomaan perustuu vapaan pölytyksen jälkeläistöihin jolloin, niinkuin yllä todettiin, on vaara olemassa, että arviot tulevat liian »optimistisiksi», koska saman kloonin jälkeläistössä on sekä puoli- että täyssisaruksia. Taulukosta todetaan myöskin että periytyvyys on ollut eri kokeissa ja jopa saman kokeen eri mittausvuosina hyvin erisuuruista. Tämä seikka johtuu nimenomaan hyvin nuorella iällä tehdyn kokeen suuresta virhevaihtelusta, joka myöskin heijastuu suuressa keskivirheessä. Laskemalla kaikista suoritetuista mittauksista periytyvyyden keskiarvon pääsemme kenties tällä kertaa mahdollisimman luotettavaan arvioon. Tämä periytyvyys olisi tässä tapauksessa 0,18 joka mahdollisesti on vähän liian optimistinen, sillä siihen vaikuttaa kaksi polycross-analyysiä. Tarkastelemalla muualla tehtyjä periytyvyysarvioita pääsee kuitenkin ehkä vielä objektiivisempaan kannanottoon.

4.2 MUUALLA TEHDYT PERIYTYVYYSMITTAUKSET

Periytyvyysarvoja on laskettu monille puun tunnuksille. Tietyn ominaisuuden periytyvyysarvot ovat useimmiten samansuuntaisia eri puulajeilla. Lasketavissa olevien arvojen perusteella voidaan arvioida jalostuksen tehokkuutta.

Ominaisuuksia voidaan jakaa eri luokkiin niihin kohdistuvan valinnan mukaan (VIDAKOVIC 1967). Ympäristöstä riippumattomia ominaisuuksia ovat oksien ja uinuvien silmujen lukumäärä, rungon kierteisyys ja puusydien pituus. Ympäristöstä jonkin verran riippuvaisia ovat runkomuoto, oksien paksuus, oksakulma ja rungon epämuodostumat. Eniten ympäristöstä riippuvat pituus- ja paksuuskasvu ja puun ominaispaino.

Kasvunopeuden jalostamiseen vaikuttavat sekä periytyvyysarvot että ympäristötekijät. Viimeksimainituilla voidaan huomattavasti vaikuttaa puiden kasvuun. Pituuskasvun periytyvyys kuvaa melko hyvin puun kasvunopeuden vaihtelua vaikka sitä ei voida suoraan rinnastaa kuutiokasvuun. Eri ominaisuuksien periytyvyydestä on saatu mm. seuraavanlaisia arvoja:

Taulukko 2. Eräitä periytyvyysarvoja HATTEMERIN (1963) mukaan täydennettynä.
Table 2. Some values of heritability according to HATTEMER (1963) with amendments.

Ominaisuus Trait	Puulaji Species	Periytyvyys Heritability
Pituus — Height	Pinus silvestris	0.16
»	» »	0.24
»	» »	0.65
»	Pinus elliottii	0.12
»	» »	0.10
»	Pinus ponderosa	0.36
»	» »	0.39
»	Pinus monticola	0.07 (Squillace et al. 1967)
»	» »	0.21
Ominaispaino — Spec. gravity	Pinus taeda	0.76
»	Pinus pinaster	0.65 (Polge ja Illy 1968)
Tilavuuspaino — Volume weight	Pinus taeda	0.50—0,79
Kesäpuu % — Latewood %	» »	0.86—0,92
Silmujen muodostuminen — Bud formation	Pinus silvestris	0.81
»	» »	0.82
Käpysato — Cone production	Pinus elliottii	0.13 (Varnell et al. 1967)
Vuosiluston leveys — Annual increment	Pinus radiata	0.05 (Nicholls et al. 1964)

Periytyvyysarvot saattavat muuttua puun iän lisääntyessä. Tämän on todennut mm. NICHOLLS (1967) keskimääräisen trakeidin piteuden ja puun ominaispainon suhteen.

Yleensä voidaan sanoa, että sopeutuneisuuteen positiivisesti vaikuttavilla ominaisuuksilla on varsin alhaiset periytyvyysarvot. Tämä voidaan, kuten aikaisemmin todettiin, ymmärtää siten, että sopeutuneisuutta lisäävien ominaisuuksien vaihtelu on luonnollisen valinnan seurauksena käytetty loppuun. Näiden muualla tehtyjen periytyvyystutkimusten valossa Suomessa saadut tulokset männyn pituuskasvun suhteen vaikuttavat suhteellisen luotettavilta.

5. VALINTAHYÖTY SUOMESSA TEHTYJEN MITTAUKSIEN PERUSTEELLA

Kun määrätyn ominaisuuden periytyvyys tunnetaan ja kun tämän lisäksi tunnetaan ko. ominaisuuden valintaero, niin on mahdollista ilmoittaa ns. valintahyöty esim. prosentteina aivan niinkuin metsänlannoittajat ja ojittajat ilmoittavat prosentuaalisen kasvunlisäyksen; lannoitusyhdydän ja ojitusyhdydän

lisäksi on siis kasvuennusteissa huomioitava jalostajan työn tuloksena saavutettava valintahyöty.

Tässä esitetään valintahyöty Suomen eteläpuoliskossa valittujen pluspuiden perusteella. Koska mittaukset tässä tapauksessa perustuvat metsäntutkimuslaitoksen pluspuurekisterin tietoihin, ei esityksessä ole voitu käyttää fenotyypiseen standardipoikkeamaan perustuvaa tarkastelua. Varsinaisen valintahyödyn ennustamiseen päästään ainoastaan männyn pituuskasvun suhteen, sillä muiden puulajien kohdalla ei toistaiseksi ole voitu laskea kasvun tai muiden ominaisuuksien periytyvyyttä tai eri ominaisuuksien välillä vallitsevaa geneettistä korrelaatiota.

Kuvassa 2 on Etelä-Suomen VT-männiköiden pluspuiden pituuksia verrattu toistuvien harvennuksien käsiteltyjen metsien keskipituuksiin. Kuten kuvasta näkyy pienenee valintaero iän kasvaessa, johtuen luonnollisesti puun pituuskasvun asteittaisesta loppumisesta iän kasvaessa. Näyttää siis siltä, että tehokkain valinta on suoritettavissa puiden vielä ollessa voimakkaassa pituuskasvussa. Ottaen huomioon laatua koskevat valintavaatimukset, voidaan päätellä, että valinnan pitäisi tapahtua noin 40–70 vuoden ikäisissä metsiköissä.

Kuvaan 2 nojautuen esitetään tässä pituuskasvun valintahyöty 60, 80 ja 100 vuoden ikäisissä VT-männiköissä (Taulukko 3). Tässä on käytetty kaavaa $R = h^2S$ johon on sijoitettu h^2 :n arvoksi 0.18.

Taulukko 3. Pituuskasvun valintahyöty hoidetussa VT-männikössä.

Table 3. Genetic gain of height growth in a silviculturally treated Scots pine stand on Vaccinium site.

Ikä Age	Keskipituus, m. Mean height, m.	Valintaero, m. Selection differential, m.	Valintahyöty Genetic gain	
			cm	%
60	16,5	4,0	72	4,4
80	20,3	3,8	68	3,4
100	23,1	3,3	59	2,6

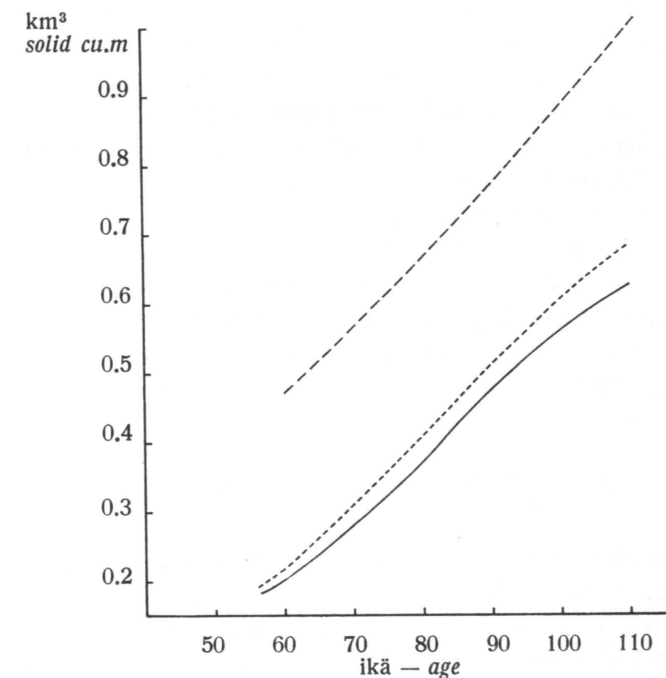
Valintahyöty männyn pituuskasvun suhteen Etelä-Suomen VT-metsätyypillä on siis 2,6–4,4 %. Kuitenkin on ilmeistä, että taloudellisesti metsänviljelijää kiinnostaa puun kuutiokasvun valintahyöty, eikä niinkuin tässä on esitetty pituuskasvun suhteen. Koska ilmeisesti näin varhaisessa vaiheessa on mahdotonta arvioida jälkeläistaimien perusteella puun läpimitan tai kuutiokasvun periytyvyyttä on tässä tapauksessa ollut pakko arvioida kuutiokasvun lisäys nojautuen pituuskasvuun. Valintaeron ollessa suurimmillaan, 60 vuoden ikäisessä VT-männikössä, on valintahyöty pituuskasvun suhteen 72 cm. Toisin sanoen, täsmälleen samanlaisella kasvualustalla kasvatetun jalostetun mäntymetsän keskipituus on 60 vuoden iällä $16,5 + 0,72 = 17,22$ metriä. Olettaen, että puun kapeneminen ei muutu (mikä sinänsä ei ole aivan realistinen oletamus) voidaan toistuvien harvennuksien käsiteltyjen männiköiden kehityssarjois-

ta lukea pituuskasvun valintahyödyn aiheuttamat muutokset keskiläpimitaan. Tällä tavalla päästään ainakin karkeaan arvioon kuutiokasvun valintahyödyn suuruudesta. Asiaa on paras tarkastella yksittäisen puun perusteella kuutiokasvun suuruudella 60, 80 ja 100 vuoden keskipituuksien mukaan, sekä jalostamattoman

Taulukko 4. Kuutiokasvun valintahyöty hoidetussa VT-männikössä arvioituna puun pituuskasvun valintahyödyn perusteella.

Table 4. Genetic gain of volume increment in silviculturally treated Vaccinium-type Scots pine stands estimated on the basis of genetic gain of height growth.

Ikä Age	Puiden keskipituus ilman valintaa Mean volume of trees without selection $k-m^3/solid\ cu.m.$	Valittujen puiden jälkeläisten keskipituus Mean volume of selected tree progeny $k-m^3/solid\ cu.m.$	Valintahyöty Genetic gain	
			$k-m^3$	%
60	0.196	0.226	0.030	15.3
80	0.372	0.410	0.038	10.2
100	0.560	0.601	0.041	7.3



Kuva 4. Valintaeron ja valintahyödyn kehitys kuutiomäärän suhteen Etelä-Suomen hoidetuissa VT-männiköissä.

Figure 4. The development of the selection differential and the genetic gain of volume growth in silviculturally treated Vaccinium type Scots pine stands in southern Finland.

- — — pluspuun kuutiomäärä/volume of plus-tree
- valintahyöty/genetic gain
- keskipuun kuutiomäärä/volume of average tree

että valinnalla jalostetun metsän puut. Valintahyödyn aiheuttama kuutiolisäys on nyt suoraan todettavissa ja kuutiokasvun lisäys voidaan ilmoittaa prosenteissa (Taulukko 4 ja kuva 4).

Kuutiokasvun valintahyöty tällä tavalla arvioituna on siis 7—15 %. Luonnollisesti tällä tavalla tehty arvio on erittäin karkea, mutta karkeakin arvio on hyvin tarpeellinen, kun on kysymyksessä tarkastelu, jonka perusteella arvioidaan metsänjalostuksen mahdollisuuksia Suomessa.

6. TULOSTEN TARKASTELU

Käyttämällä kaikki tällä tavalla saatavissa oleva informaatio päädytään siihen, että männyn jalostus siinä muodossa kuin sitä laajamittaisesti Suomessa harjoitetaan, optimaalisissa olosuhteissa pystyy kohottamaan kuutiokasvua 7—15 %. Optimaaliset olosuhteet ovat kuitenkin todennäköisesti melkein mahdottomat saavuttaa, sillä esimerkiksi ANDERSSON (1955) on todennut, että männyn siemenviljelyksissä aina tapahtuu ympäristön aiheuttamaa pölytystä. Optimiolosuhteiden vallitessa oletetaan kuitenkin pölytyksen tapahtuvan siemenviljelyksissä yksinomaan valittujen kloonien välillä. ANDERSSON (loc.cit.) toteaa kuitenkin, että vierasta pölytystä tapahtuu 30—50 % ja samankaltaisiin tuloksiin on Koski (suullinen tieto) päätenyt Suomessa tehtyjen mittauksien perusteella. Tämän seikan lisäksi on otettava huomioon, että siemenviljelyksissä kasvavat männyn vartteet tuottavat melkein yksinomaan emikukkia ensimmäisten 10—15 vuoden aikana. Tällöin pölytys siis tapahtuu lähes 100 prosenttisesti siemenviljelyksen ulkopuolelta tulevan siitepölyn avulla. Kvantitatiivisten ominaisuuksien additiivisesta periytymisestä johtuen voidaan matemaattisesti osoittaa, että jos siemenviljelyksen kloonit pölyttyvät täysin satumanvaraisen pölypilven ansiosta (siis ympäristöpölytyksen ansiosta) niin valintahyöty putoaa täsmälleen puoleen optimiarvostaan eli:

$$R = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot S \text{ tai } R/\sigma_P = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot S/\sigma_P$$

Toisin sanoen, ilmoitettu 7—15 % valintahyöty kuutiokasvun suhteen VT-männikössä on absoluuttinen maksimi kun taas absoluuttinen minimi on puolet tästä arvosta eli 3.5—7.5 %. Siemenviljelysten varttuessa pölytys tapahtuu yhä suuremmalla todennäköisyydellä valittujen yksilöiden välillä, jolloin vähitellen lähestytään optimiarvoja. Täysin kloonien väliseen pölytykseen ei Pinus silvestriksen suhteen pääse muuta kuin viemällä siemenviljelykset sellaiseen ympäristöön, missä tavallista mäntyä ei kasva lainkaan tai missä sikäläinen populaatio kukkii kokonaan eri aikaan kuin siemenviljelyksen kloonit. Molemmat vaihtoehdot tuntuvat mahdottomilta ja on joka tapauksessa, myös täysikasvuissa siemenviljelyksissä, laskettava että valintahyödystä menetetään ehkä noin 25 % tällaisen »saastutuksen» ansiosta.

Valitettavasti tässä tarkastelussa ei ole voitu suorittaa samanlaisia ennusteita kuusen jalostuksen suhteen, sillä toistaiseksi ei Suomessa, eikä oikeastaan muuallakaan, ole ilmoitettu kuusen kasvun periytyvyysarvoja. Kuten edellä kuitenkin todettiin, ominaisuus sinänsä, riippumatta puulajista, antaa määrättyjä mahdollisuuksia tehdä päätelmiä sen periytyvyydestä. Jos siis oletetaan, että kuusen heritabiliteetti pituuskasvun suhteen on samaa suuruusluokkaa, kuin männyllä niin tässä tutkimuksessa ilmoitetusta kuusen valintaeron kehityksestä iän funktiona (Kuva 3), voidaan päätellä, että valintahyöty kuusella on ainakin samaa suuruusluokkaa, kuin männyllä — suoraan valintaeron perusteella arvioiden ehkä jopa kaksinkertainen. Kuvasta todetaan nimittäin, että VT-männyn valintaero 80 vuoden ikäisessä metsikössä on 3,8 metriä, mutta vastaava arvo MT-kuusikossa on 7,6 metriä. On kuitenkin huomattava, että kuusen suurempi valotoleranssi voi tässä tapauksessa, metsikön sisäisen ikävaihtelun takia, huomattavasti suurentaa metsikön fenotyypistä vaihtelua pituuskasvun suhteen, ts. eri-ikäisyydestä johtuva »virhevarianssi» sisältyy fenotyypiseen vaihteluun ja tämän takia valintaero tulee näennäisesti paljon suuremmaksi kuin männyllä. Valitettavasti kuusen jalostaminen massavalinnan avulla siemenviljelyksissä on toistaiseksi hyvin hankalaa kuusen hyvin voimakkaan ns. topofyysi-ilmiön ansiosta.

Valtakunnallisen siemenviljelysohjelman ollessa nyt täydessä menossa herää luonnollisesti kysymys siitä, miten tästä edetään kohti vielä voimaperäisempää metsänjalostusta. Parempiin tuloksiin pääseminen riippuu ratkaisevasti metsägeneettisen tutkimuksen tuloksista. Hyvin tärkeitä tutkimusaiheita tulevaa kehitystä ajatellen ovat mm. eri ominaisuuksien välisten geneettisten korrelaatioiden laskeminen, sekä eri ominaisuuksien taloudellisten arvojen selvittäminen. Erittäin tärkeitä olisi myöskin kartoittaa eri ominaisuuksien periytyvyyttä erityisesti adaptiivisten ominaisuuksien suhteen.

7. KIRJALLISUUTTA

- ANDERSSON, E. 1955. Pollenverbreitung und Abstandsisolierung von Forstsamenplantagen. Zeitschrift für Forstgen., 4: 150—152.
- BECKER, W.A. 1967. Manual of procedures in Quantitative Genetics. Washington. 130 p.
- BUIJTENEN, J. P. 1963. Inheritance of Wood Properties and their Relation to Growth Rate in Pinus Taeda. Proc. World Consult. of For. Genet. and Tree impr. 13 p.
- ERVASTI, S. — HEIKINHEIMO, L. — HOLOPAINEN, V. — KUUSELA, K. — SIREN, G. 1965. The development of Finland's Forests in 1964—2000. Silva Fennica 117,2: 1—35.
- FALCONER, D. S. 1964. Introduction to Quantitative Genetics. Reprinted with amendments. Oliver and Boyd, Edinburgh. 365 p.
- HATTEMER, H. H. 1963. Estimates of Heritability published in Forest Tree Breeding Research. FAO/FORGEN 63—2a/3.1—14.
- HEIKURAINEN, L. 1961. Metsäojituksen vaikutuksesta puuston kasvuun ja poistumaan. Eripainos julkaisusta Acta Forestalia Fennica. 1—71.
- ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki. —»— 1965. Metsänarvioiminen. 400 p. Porvoo—Helsinki.

- KOIVISTO, P. 1960. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Comm. Inst. For. Fenn. 51.8: 1—49.
- LANGNER, W. & STERN, K. 1964. Untersuchungen über den Austriebstermin von Fichten und dessen Beziehungen zu anderen Merkmalen. Allg. F.u.J.-Ztg., 135. Jg., 3: 53—60.
- MALMIVAARA, E. 1969. Pluspuiden valintaero. Konekirjoite Helsingin Yliopiston metsänhoitotieteen laitoksessa.
- Metsänarvioimisen perusharjoittelun ohjeet. Helsingin Yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Helsinki 1967.
- NANSON, A. 1967. Contribution à l'étude de la valeur des tests précoces. II — Experience internationale sur l'origine des gaines de pin sylvestre (1906) — Administration des Eaux et Forêts. Travaux-Série E, No 2.
- NICHOLLS, J. W. P., DADSWELL, H. E. and FIELDING, J. M. 1964. The Heritability of Wood Characteristics of *Pinus radiata*. *Silvae Genetica* 13: 68—71.
- »— 1967. Preliminary Observations on the Change with Age of the Heritability of Certain Wood Characters in *Pinus radiata* Clones. *Silvae Genetica* 16: 18—20.
- NILSSON, B. 1968. Studier av några kvalitetsegenskapers genetiska variation hos tall (*Pinus silvestris* L.) — Inst. för Skogsgenetik, Rapport och Uppsatser 3: 1—117.
- NYSSÖNEN, A. 1954. Hakkauksilla käsitellyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. *Acta For.Fenn.* 60. 194 p.
- POLGE, H. et ILLY, G. 1968. Héritabilité de la densité du bois et corrélations avec la croissance étudiées à l'aide de tests non destructifs sur plants de Pin maritimes de quatre ans. *Silvae Genetica* 17: 173—181.
- ROBERTSON, A. 1955. Selection in animals: synthesis — Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 20: 225—229.
- SQUILLACE, A. E., BINGHAM, R. T., NAMKOONG, G. and ROBINSON, H. F. 1967. Heritability of Juvenile Growth Rate and Expected Gain from Selection in Western White Pine. *Silvae Genetica* 16: 1—6.
- TIGERSTEDT, P. M. A. 1966. Entwicklung der genetischen Varianzen des Höhenwachstums in einem Feldversuch mit *Betula verrucosa*. *Silvae Genetica* 15: 101—140.
- »— 1969. Progeny Tests in a *Pinus silvestris* (L.) Seed Orchard in Finland. *Acta For. fenn.* 99. 17 p.
- VARNELL, R. J., SQUILLACE, A. E. and BENGTON, G. W. 1967. Variation and Heritability of Fruitfulness in Slash Pine. *Silvae Genetica* 16: 125—128.
- VIDAKOVIC, M. 1967. Genetics in Silviculture. The Pakistan Journal of Forestry. Vol. XVII, No. 3: 325—335.
- VIRO, P. J. 1967. Forest manuring on mineral soils. Medd. fra Det norske skogforsøksvesen. Vollebakk. Hefte 85 (Bd.XXIII), 111—136.
- VUOKILA, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusiköiden kehityksestä. *MTJ* 48.1.138 p.

SUMMARY:

THE POSSIBILITIES IN FOREST TREE BREEDING. I. SELECTION DIFFERENTIAL OF PLUS TREES AND GENETIC GAIN IN SEED ORCHARDS.

An attempt is made to estimate critically the genetic gain in clonal seed orchards of *Pinus silvestris* (L.) in Finland. The selection differential of Scots pine and Norway spruce is calculated on the basis of filed information on selected plus trees which has been kept by the genetic register at the Finnish Forest Research Institute. The differential is estimated in a non-statistical way as there is no information on phenotypic variability of the stands that incorporates the measured plus-trees. The differentials are computed as realized differences in height between plus-trees and normal silviculturally treated stand characteristics on respective site class and as a function of age. For example at an age of 80 years, the selection differential of total tree height is 3.8 meters in a silviculturally treated Scots pine stand on sites of *Vaccinium* type. The selection differential in Norway spruce stand at the same age but on *Myrtillus* type is 7.6 meters. Differentials are also computed for D.B.H. measurements and they are 4.5 and 13.6 cm respectively. However D.B.H. differentials have not been used in computations of volume growth as there is not information on the heritability of diameter increment. The selection differential for tree volume (Fig. 4) was computed on the basis of differentials in total tree height assuming a constant stem form.

Narrow sense heritability of height growth in Scots pine has been estimated by TIGERSTEDT (1969) on the basis of covariance of half- and fullsib families. The estimations have been made during the first two growth periods and subsequently they are quite unreliable. However no better information is available at the present time and comparisons with heritability studies carried out elsewhere indicate that present estimations must be rather accurate. Different cross designs have given different heritability values but it was concluded that an average of all estimates may give the most realistic value at present. This heritability value is 0.18 or 18 %.

The genetic gain in height growth of *Pinus silvestris* (L.) has been computed on the basis of information on selection differential and heritability. This genetic gain is between 2.6—4.4 % provided there is no pollen contamination from unknown sources outside the seed orchard. On the basis of the genetic gain in height growth genetic gain in volume growth has been estimated (Table 4). This is definitely a very crude estimate but there is no other alternative at present. Provided there is no pollen contamination in the seed orchards this genetic gain of volume growth in Scots pine is about 7—15 %. However investigations have revealed that there is invariably some pollen contamination in seed orchards of this kind. During the first 10—15 years Scots pine seed orchards tend to produce almost exclusively female strobili, thus pollination will be entirely due to sources outside the orchard. As orchards grow and start to produce endemic pollen, contamination may fall to 30—50 %. Thus the genetic gain of 7—15 % sets an upper limit to progress through breeding. If pollination is entirely due to foreign pollen sources it can be shown

mathematically that genetic gain will be halved. Thus 3.5—7.5 % is a lower limit for the genetic gain in this case.

Some aspects on breeding Norway spruce in the same way are discussed and it is concluded that the greater selection differential in spruce stands must partly depend on the growth habit of this tree species. A larger phenotypic variability in total height in a spruce stand may be due to variations in tree age. There are no heritability observations available for height growth in Norway spruce but it is stressed that identical traits often show identical heritability values even in different species. No estimation of genetic gain for Norway spruce is attempted however.

It is emphasized that future improvements of breeding methods depend on advances in basic forest genetics. Research should be concentrated on the computation of genetic correlations between different traits. The economic impact of different traits should be carefully analyzed. Heritability studies should be made particularly on adaptive characters.