



Metsäpuiden genetiikka ja jalostus, tutkimuksen ja sovellutuksen synergiaa

Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä 1995

Raili Tallqvist ja Olavi Kurttio (toim.)

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

Metsäpuiden genetiikka ja jalostus, tutkimuksen ja sovellutuksen synergiaa

Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä 1995

Raili Tallqvist ja Olavi Kurttio (toim.)

Tallqvist, R. & Kurttio, O. (toim.). 1996. Metsäpuiden genetiikka ja jalostus, tutkimuksen ja sovellutuksen synergiaa. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 605. 66 s.
ISBN 951-40-1519-3, ISSN 0358-4283

Toimittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus,
PL 18, 01301 VANTAA,
puh. 09-8570 51,
fax 09-8570 5711,
sähköposti Raili.Tallqvist@metla.fi

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus
Hyväksynyt: 18.6.1996 tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto,
PL 18, 01301 VANTAA,
puh. 09-857 051,
fax 09-8570 5582

Metsäntutkimuslaitos, Kaija Westin,
Unioninkatu 40 A, 00170 HELSINKI,
puh. 09-8570 5721,
fax 09-8570 5717

Hinta: 50 mk

Kannen kuva: Pekka Saranpää

Sisällys

Eero Paavilainen

Tutkimuspäivän avaus 5

Outi Savolainen

Ylläkselläkö ylidominanssia – yhteistyöstä ytyä 7

Olavi Kurttio

Metsänjalostustiedot tietokannasta – tiedon paljouden paradoksi 13

Martti Venäläinen, Juhani Hahl ja Tapani Pöykkö

Hyvistä jälkeläisistään todellinen pluspuu tunnetaan – nuorten
runkojen laatu plusmäntyjen testauksessa 21

Matti Haapanen

Valinnan vaikeus – metsäpuiden valintajalostuksen ongelmista ja
näkymistä 35

Mari Rusanen, Anu Mattila ja Pekka Vakkari

Jalojen lehtipuiden geneettinen monimuotoisuus – säilytä ja käytä... 45

Juha Raisio

Jalojen lehtipuiden luontaiset esiintymät - menneisyyden jäänteitä vai
huomisen puita? 53

Tutkimuspäivän avaus

Eero Paavilainen

Metla, Vantaan tutkimuskeskus

Harvalla metsätalouden sektorilla on tutkimuksen ja käytännön välinen yhteistyö suunniteltu ja toteutettu niin onnistuneesti kuin metsänjalostuksessa. Tästä on hyvä esimerkki vuosiksi 1990-1999 laadittu Pitkätähdyksen metsänjalostusohjelma, jossa esitellään yksityiskohtaisesti ohjelman tavoitteet, sen toteuttamiseen osallistuvat organisaatiot tehtävineen sekä tarvittavat voimavarat.

Metsäntutkimuslaitos toteuttaa omalta osaltaan Pitkätähdyksen metsänjalostusohjelmaa selvittäen tutkimuksen keinoin, miten viljelymetsien kasvua, laatua ja kestävyyttä voitaisiin parantaa. Osa työstä on perustutkimuksen luontoista, osa taas soveltaa tutkimusta jalostusmenetelmien ja jalostustulosten hyödyntämismenetelmien kehittämiseksi. Huomattava osa tutkimuksista tehdään Metlan Vantaan tutkimuskeskuksessa, jossa metsägeneettinen tutkimus on yksi tutkimustoiminnan painoaloista.

Metsäntutkimuslaitoksessa tehdään tutkimustyötä kaikilla jalostusohjelmassa esitetyillä osa-alueilla. Niitähän ovat

- populaatiogenetiikka,
- ekologinen ja fysiologinen genetiikka,
- valintamenetelmätutkimus,
- siemenviljelytutkimus,
- resistenssijalostuksen tutkimus sekä
- biotekniikan käyttömahdollisuuksien tutkiminen.

Vantaan tutkimuskeskuksen vastuulla on lisäksi viranomaistehtävänä metsänviljelyaineiston kaupan liittyvien virallisten rekisterien pitäminen.

Metsänjalostustoiminnan tähänastisista tuloksista saa hyvän kuvan, kun tutustuu uusimpaan viime kesänä julkaistuun Suomen metsänjalostuksen yleistilastoon. Siitä ilmenee mm., että valittuja kantapuita on yli 20 000 kpl, joista metsänjalostuksen peruspopulaation muodostavia pluspuita n. 13 000. Siemenkeräysmetsiköitä on 954. Suomen allekirjoittamien sopimusten edellyttämiä, metsäpuiden perinnöllisen vaihtelun säilyttämiseen tähtääviä geenireservimetsiä on perustettu 30 kpl, yhteiseltä pinta-

alaltaan n. 5 300 ha. Siemenviljelyksiä on 229 kpl, joissa on klooneja 7 120 ja vartteita n. 860 000. Rekisterissä on myös 2 837 metsänjalostuksen kenttä- tai testaustarhakoetta.

Tilastolukujen takana on, kuten pitääkin olla, paljon myös tutkijoiden ja heitä avustavan henkilökunnan työtä. Tämä on otettava huomioon, kun kritiikittömästi arvioidaan tutkimuksen tuloksellisuutta vertailemalla vain julkaisujen lukumäärää tutkijaa tai käytettyjä määrärahoja kohden. On myönnettävä, että tällaisessa vertailussa metsänjalostustutkijat saattavat jäädä alakynteen joihinkin muihin tutkimusaloihin verrattuna. Huterat ovat perusteet myös vaadittaessa metsägeneettisen tutkimuksen olennaista supistamista juuri nyt, kun esimerkiksi pitkäaikaiset jälkeläiskokeet ovat osoittautuneet korvaamattoman arvokkaiksi erilaisten ympäristömuutosten, kuten ilmaston lämpenemisen vaikutusten arvioinnissa.

On selvää, että kaikki tutkimustoiminnan tuloksellisuuden parantamiseen tähtäävä palaute on tärkeää myös metsänjalostuksen kentässä, mutta mielestäni alan tutkijat avustajineen ansaitsevat kiitoksen hyviä tuloksia tuottaneesta työstään.

Tämän tutkimuspäivän aikana esitetään metsägeneettisen tutkimuksen uusimpia tuloksia ja tarkastellaan tulevia tehtäviä. Toivottavasti tulevista tavoitteista keskusteltaessa käsitellään myös niitä suunnitelmia, joita prof. Veikko Koski kolleegoineen on laatinut metsäpuiden genetiikkaa ja ekofysiologiaa koskevan tutkimuksen kehittämiseksi Vantaan tutkimuskeskuksessa.

Kiitän kaikkia tutkimuspäivän valmisteluun ja toteuttamiseen osallistuneita.

Ylläkselläkö ylidominanssia – yhteistyöstä ytyä

Outi Savolainen

Oulun yliopisto, Biologian laitos

Monet metsänjalostuksen teoreettiset kysymykset nousevat evoluutioteorian, populaatio-genetiikan ja jalostustieteiden rajoilta. Kysymykset perinnöllisen muuntelun luonteesta ja sitä ylläpitävistä tekijöistä ovat keskeisiä. Toisaalta näillä ydinkysymyksillä on laajat seurausvaikutukset sovellutusalueilla, jalostustieteissä ja luonnonsuojelubiologiassa.

Näiden metsänjalostuksen keskeisten kysymysten tutkiminen vaatii hyvää osaamista. Laajan teoreettisen koulutuksen avulla voidaan toivottavasti tunnistaa keskeiset ongelmat, arvioida niiden merkitys sekä perustutkimuksen että sovellutusten kannalta ja löytää parhaat biologiset tai tilastolliset menetelmät käytettäväksi. Oulun yliopiston biologian laitoksella kasvigenetiikan ryhmä on tutkimassa kahta metsänjalostukseen liittyvää aihepiiriä. Toinen on sopeutumiseen liittyvien ominaisuuksien geneettinen perusta, toinen sukusiitosheikkouden perusta.

Metsäbiologinen tietämys on tutkimuksen perusta

Perustavaa laatua olevien kysymysten tutkiminen edellyttää usein hyviä tutkimus-aineistoja ja laajoja biologisia taustatietoja tutkittavasta aineistosta. Suomalaisten metsäntutkijoiden etuna tässä on erinomainen metsäbiologinen perinne. Esim. Risto Sarvaksen ja hänen seuraajiensa ansiosta suomalaisen männyn lisääntymisbiologia luonnonpopulaatioissa tunnetaan tietääkseni tarkemmin kuin minkään muun mäntylajin. Hän ja kollegansa ovat julkaisseet kuvaukset sekä hede- että emikukinnan kehityksestä ja siemensadon vaihtelusta (Sarvas 1962, Koski ja Tallqvist 1978). Siemensadon kehitystä maan eri osissa on tutkittu (Henttonen ym. 1986). Siitepölyn leviämistä on mitattu tarkasti (Koski 1970). Toisaalta Kosken (1971) työt muodostavat arvokkaan lähtökohdan uudemmille sukusiitosheikkoutta koskeville tutkimuksille.

Sukusiitosheikkouden geneettinen perusta

Evoluutio-, kasvinjalostus- ja luonnonsuojelututkimuksessa selvitetään tällä hetkellä aktiivisesti sukusiitosheikkouden genetiikkaa. Yritän perustella, miksi aihe on tärkeä myös metsänjalostuksen kannalta.

Kasvinjalostajat ovat pitkään tunteneet heteroosi-ilmion: risteytysjälkeläinen on kumpaakin vanhempaansa parempi. Aiheesta on tuore katsaus, joka sisältää runsaasti viitteitä (Williams ja Savolainen 1996). Taulukossa 1 on esitetty kaavamaisesti kaksi eri teoriaa, jotka tämän ilmiön taustaksi on esitetty. Ylidominanssiteorian mukaan jälkeläinen, joka on saanut vanhemmiltaan erilaiset alleelit (heterotsygootti), on alleelisen monimuotoisuutensa takia kelpoisuudeltaan parempi kuin kumpikaan homotsygootti. Dominanssiteorian mukaan kummassakin risteytettävässä vanhemmassa on homotsygoottisena huonoja geenejä (pienet kirjaimet). Risteytysjälkeläisessä nämä alleelit peittyvät vallitsevien "normaali" alleelien alle, jolloin risteytysjälkeläisellä on paras mahdollinen kelpoisuus. Nämä kaksi teoriaa ovat olleet esillä lähes koko vuosisadan, mutta vieläkin ei olla täysin selvillä siitä, kuinka suuri osuus niillä on perinnöllisen muuntelun ylläpidossa. Heteroosi-ilmion kääntöpuoli on sukusiitosheikkous: läheisten sukulaisten jälkeläiset ovat elinkyvyltään ja kasvultaan heikompia kuin ristisiittoiset jälkeläiset. Tämä ilmiö on hyvin voimakas männyillä. Itsesiittoisista pölytyksistä saadaan yleensä vain alle 15 % täyttä siementä, ristisiittoisista yli 80 %.

Taulukko 1. Ylidominanssi- ja dominanssiteorioiden peruste.

Ylidominanssi			
Perimä	A1A1	A1A2	A2A2
Kelpoisuus	1-s	1	1-t
Dominanssi			
Perimä	AAbb	AaBb	aaBB
Kelpoisuus	1-s1	1	1-s2

Suuri osa sukusiitosheikkoudesta johtuu luultavasti haitallisista alleeleista, mutta pienikin osuus ylidominanssia voi vaikuttaa voimakkaasti esim. lisääntymissysteemien evoluutiossa. Kasvinjalostuksessa hybridijalostus perustuu keskeisesti siihen olettamukseen, että ylidominanssi on tärkeä. Kuitenkin esim. maissinjalostajat ovat kyenneet tuottamaan lähes yhtä hyviä sukusiittoisia linjoja kuin parhaat hybridit, mikä viittaa siihen, että ylidominanssia on vähän. Toisaalta puhtaisiin homotsygoottisiin linjoihin tähtääminen jättää ylidominanssin mahdolliset edut huomiotta. Näin ollen jalostusmenetelmien kehittämisen kannalta ei ole yhdentekevää, millainen heteroosin perusta on. Uudeksi tärkeäksi alaksi on noussut luonnonsuojelubiologia ja geenivarojen tallennus. Parhaiden geenivarojen tallentamisen menetelmien kehittäminen ei ole

helppoa, ja nekin riippuvat heteroosin perustasta. Haitallisista geeneistä pyritään eroon: kuinka hyvin se on mahdollista riippuu niiden vaikutusten voimakkuudesta ja jakaumasta (Hedrick 1994, Williams ja Savolainen 1996).

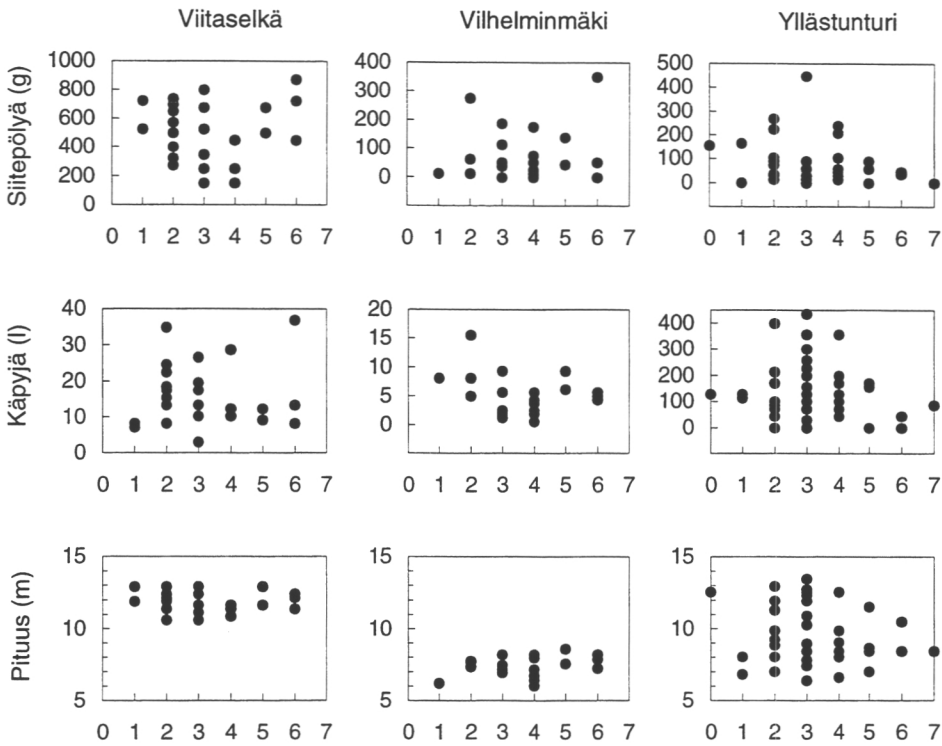
Esitän seuraavassa lyhyesti esimerkkejä siitä, kuinka olemme yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa käyttäneet erilaisia koeaineistoja tämän ongelman tutkimisessa.

Siemenviljelykset koepopulaatioina

Edellä mainituista kahdesta hypoteesista voidaan tehdä erilaisia ennusteita. Ylidominanssihypoteesin perusteella odotetaan, että mitä suurempi heterotsygoottisten geenien osuus on, sitä parempi kelpoisuus (kasvu, lisääntyminen) puulla on. Kelpoisuuden mittaaminen on vaikeaa yksittäisistä puista, mutta siemenviljelyksen toistetuista klooneista mittaukset voidaan tehdä tarkemmin (ks. myös Savolainen ym. 1993). Kuten kuvassa 1 näkyy, sen paremmin Vilhelminmäen kuin Viitaselän siemenviljelyksissä ei tällaista heterotsygootin etua näkynyt, ylidominanssihypoteesille ei siis löytynyt tukea (Savolainen ja Hedrick 1995).

Standardimetsiköt tutkimuksen ankkureina

Toinen ennuste on, että ankarissa olosuhteissa heterotsygotian ja kelpoisuuden suhde näkyy parhaiten. Testasimme siis tätä suhdetta Ylläksen standardimetsikössä (Kärkkäinen, Koski, Savolainen, jätetty julkaistavaksi). Kuvassa 1 näkyvät tulokset osoittavat, että vaikka Kolarin metsärajalla olosuhteet ovat varmasti ankarat, havainnot eivät tue ylidominanssiteoriaa (Savolainen ja Hedrick 1995). Standardimetsikön kaltaiset tutkimuskohteet ovat välttämättömiä. Kuten siemenviljelyksistäkin, näistä puista on jo Metlalla olemassa runsaasti aineistoa. Toisaalta me olemme myös keränneet jo monenlaista aineistoa: kukkimisesta, sen ajoittumisesta, entsyymigeeneistä, ribosomiDNA:sta, mikrosatelliittilokuksista. Hyvin merkityt pysyvät populaatiot mahdollistavat sen, että uusilla menetelmillä saadut yksittäisten puiden tiedot voidaan tehokkaasti yhdistää entisiin. Viitaselässä ja Vilhelminmäessä olemme myös tarkastaneet kaikkien vartteiden genotyypit.



Heterotsygoottisten lokusten lukumäärä

Kuva 1. Heterotsygoottisten lokusten lukumäärän ja pituuden, käpytuotannon ja siitepölytuotannon suhde kahdessa siemenviljelyksessä (Viitaselkä ja Vilhelminmäki) sekä Yllästunturin standardimetsikössä.

Kloonikokeet käytössä

Sukusiitosheikkoutta olemme tarkastelleet myös alueellisesti: onko populaatioiden välillä eroja varhain vaikuttavien ns. alkioletaaligeenien runsaudessa (Kärkkäinen, Koski ja Savolainen 1996). Perusaineistona olivat Veikko Kosken vuosien kuluessa Punkaharjulla hankkimat itsepölytysaineistot, joita laajempia ei tietääksemme muualla ole. Tulokset osoittavat, että pohjoisessa alkioletaaaleja on vähemmän. Tämä on kiinnostava havainto, jonka syiden selvittäminen kaipaa vielä lisätutkimuksia.

Risteytykset resursseina

Havupuiden pitkä sukupolvenväli on geenetikon suurimpia ongelmia. Männyn kehitys lisääntymisvaiheeseen kestää vielä paljon kauemmin kuin *Pinus*-suvun muiden lajien (esim. radiata-männyn). Sukusiitosheikkoustudkimuksessa keskeinen menetelmä on mitata usean sukupolven ja eri asteisten ristisiitosten vaikutuksia. Nämä työt ovat vasta

käynnissä, mutta niitä voitaisiin tuskin suunnitellakaan, ellei olisi aiempia risteytysaineistoja, joiden perusteella toisen sukupolven risteytykset voidaan tehdä. Samaten vanhat risteytykset ovat osoittautuneet oivallisiksi apuneuvoiksi sopeutumisen geneettisen taustan tutkimisessa (Hurme ym. valmisteilla).

Arvokasta tietoa voidaan toki saada myös lyhyemmällä aikataululla. Olemme esimerkiksi arvioineet eri havupuulajeilla alkiioletaalien määriä ja tutkineet alkiioletaalmalleja ensimmäisen sukupolven risteytysten siementuoton perusteella (Kuittinen ja Savolainen 1992, Savolainen ym. 1992).

Lopuksi

Suomessa työskentelevillä geneetikoilla on siis joissain suhteissa onnea. Väestö rakenne on suopea ihmisgeneetikkojen työlle, metsäbiologit ovat luoneet mahdollisuuksia metsägeneetikoille. On kuitenkin selvää, että moniin tämän hetken kysymyksiin ei aineistoa löydy, sen paremmin suunniteltua kuin sattumalta sopivaa. Joskus olemassaolleet aineistot ovat hävinneet tai puutteelliset. Silloin on odotettava, käytettävä vaihtoehtoisia lähestymistapoja, tai joskus turvaututtava sellaisiin lajeihin, jotka ovat helpompia tutkimuskohteita, kuten esim. lituruoho, *Arabidopsis thaliana*. Monta kertaa kuitenkin Suomen hyvin tunnettu luonto ja tutkimuslaitosten ylläpitämät metsiköt, kenttäkokeet, rekisterit ja siemenvarastot ovat arvokkaita resursseja, jotka osaltaan mahdollistavat korkeatasoisen perustutkimuksen ja jalostuksen.

Kiitokset

Tässä kirjoituksessa esittelin pääasiassa yhtä esimerkkiongelmää, mutta ryhmämme tutkimus on laaja-alaisempaa. Tapana on kiittää rahoittajia, mutta tällä kerralla suuntaan kiitokseni kaikille niille Metsäntutkimuslaitoksen tutkijoille ja muulle henkilökunnalle, joiden kanssa olemme viimeisten kymmenen vuoden aikana hyvin sujunutta yhteistyötä tehneet.

Kirjallisuus

- Hedrick, P. W. 1994. Purging inbreeding depression. *Heredity* 73: 363-372.
- Henttonen, H., Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of *Pinus sylvestris* seeds in relation to temperature climate in Northern Finland. *Scand. J. For. Res.* 1: 243-249.
- Koski, V. 1970. A study of pollen dispersal as a means of gene flow. *Commun. Inst. For. Fenn.* 70: 1-78.
- 1971. Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 75.3: 1-30.

- & Tallqvist, R. 1978. Results on long time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. *Folia Forestalia* 364: 1-60.
- Kuittinen, H. & Savolainen O. 1992. *Picea omorika* is a self-fertile but outcrossing conifer. *Heredity* 68: 183-187.
- Kärkkäinen, K., Koski, V. & Savolainen, O. 1996. Geographical variation in the inbreeding depression of Scots pine. *Evolution* 50: 111-119.
- Sarvas, R. 1962. A study on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 53: 1-198.
- Savolainen, O. & Hedrick, P. W. 1995. Heterozygosity and fitness: no association in Scots pine. *Genetics* 140: 755-766.
- , Kärkkäinen K. & Kuittinen, H. 1992. Estimating numbers of embryonic lethals in conifers. *Heredity* 69: 308-314.
- , Kärkkäinen, K., Harju, A., Nikkanen, T. & Rusanen, M. 1993. Fertility variation in *Pinus sylvestris*: a test of sexual allocation theory. *Amer. J. Botany* 80: 1016-1020.
- Williams, C. G. & Savolainen, O. 1996. Inbreeding depression in conifers: implications for breeding strategy. *Forest Science* (painossa).

Metsänjalostustiedot tietokannasta – tiedon paljouden paradoksi

Olavi Kurttio

Metla, Vantaan tutkimuskeskus

Yleistä

Tiedon arvon määräävät sen merkityksellisyys ja käytettävyys. Kaikessa tietojen käsittelyssä – sekä manuaalisessa että automatisoidussa – on perusongelmana tiedon määrän ja laadun suhde. Vähäisen tietomäärän käsittely on helppoa, mutta käyttökelpoisuus voi olla heikko. Vastaavasti suuren tietomäärän käyttökelpoisuuskin voi olla heikko, ellei sitä pystytä kunnolla hallitsemaan.

Tietojen järkevää hallintaa varten niiden on oltava

- oikeita ja ajan tasalla
- täydellisiä
- sopivassa esitysmuodossa
- haettavissa (poimittavissa) järkevästi
- yhdistettävissä muihin tietoihin

Metsägeneettinen rekisteri

Metsägeneettinen rekisteri on metsänjalostustutkimusta ja käytännön jalostustyötä palveleva viranomaiselin, jonka toiminta perustuu lakiin metsänviljelyaineiston kaupasta (684/79) ja sen nojalla annettuihin maa- ja metsätalousministeriön päätöksiin (viimeisin 1533, 23.12.1992).

Rekisterin tehtävänä on toimia tietopankkina, jonka luetteloihin karttuu jalostukseen liittyvää tietoa, ja josta tarvitsevat myös löytävät tietoa. Päämääränä on kerätä ja säilyttää jalostustiedot niin, että niiden kattavuus, saatavuus ja relevanssi ovat mahdollisimman hyvällä tasolla. Rekisteri on ollut atk-pohjainen jo 70-luvulta lähtien, koska vain manuaalisesti hoidettuna rekisterin tietojen käytettävyys olisi ollut heikko.

Tietokohteita

Tietokohde voidaan määritellä esim. yksilöitävissä olevaksi konkreettiseksi tai abstraktiksi asiaksi, josta organisaatio tms. tarvitsee toimintaansa varten tietoja (Mikkonen & Soini 1988, Saarenmaa ym. 1990). Esimerkkejä kohteista ovat henkilö, puu, koeala ja hoitotoimenpide. Metsänjalostusrekisterien tärkeimmät tietokohteet ovat:

- kantapuut (pluspuut ovat olennaisin ryhmä; muodostaa jalostuksen peruspopulaation)
- metsiköt (siemenkeräys-, standardi- jne)
- siemenviljelykset ja kloonikokoelmat
- koeviljelykset

Tietokohteiden ja niiden välisten yhteyksien miettiminen eli tietoanalyysi on olennainen osa tietojärjestelmäsuunnittelussa. Kohdemalli kuvaa tietojen merkityksen ja niiden rakenteen ja keskinäiset suhteet. Tietoanalyysi on työläs vaihe, koska kohteita on yleensä paljon ja niiden väliset yhteydet voivat olla monimutkaisia. Varsinainen ohjelmointityö kuitenkin helpottuu ja työn laatu paranee huolellisella kohdemallituksella.

Pahvikortilta tietokoneelle

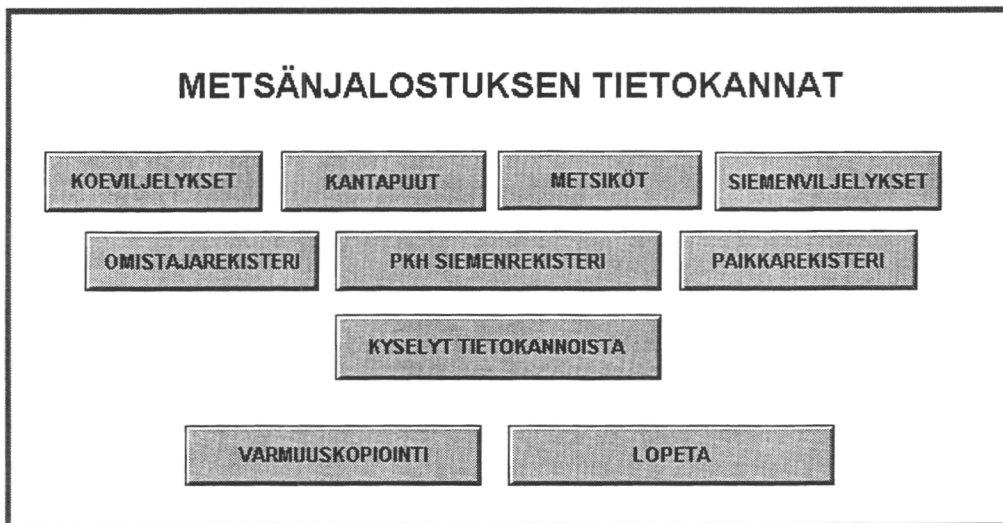
Metsägeneettisen rekisterin perusmateriaali kootaan ja kirjoitetaan pääosin vielä käsin pahvikorteille, ja varmaankin vielä kohtuullisen pitkän aikaa. Samantien tiedot tallennetaan myös tietokoneelle, tätänykyä suoraan mikron tietokantaan Paradox-sovelluksen kautta. Aiemmin pitkään käytössä olleen VAX-tietokoneella toimineen FORTRAN-pohjaisen ohjelmiston ongelmat – työläs ylläpito ja kehitys sekä järjestelmän vaikeakäyttöisyys – johtivat uuden järjestelmän kehittämistarpeeseen.

Ratkaisuksi valittiin relaatiotietokantaan pohjautuva tietojärjestelmä. Aluksi (1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alussa) sitä kehitettiin Unix-ympäristöön merkkipohjaisilla päätteillä käytettäväksi, mutta kehitysvälineet olivat liian työläät ja käyttöympäristö vanhanaikainen. Työ edistyi liian hitaasti. Lisäksi moderni graafiseen käyttöympäristöön tottuneet käyttäjät eivät halunneet vanhakantaisen oloista tekstipohjaista ratkaisua, jossa normaalit työkaluohjelmat eivät olisi olleet käytettävissä (tekstin-käsittely, taulukkolaskenta). Niinpä 1995 päädyttiin siirtämään kehitystyö kokonaan mikrotietokonepohjaiseksi, koska kehitysvälineet ja laitteet olivat kehittyneet niin paljon, että niiden varaan saattoi rakentaa toimivan tietojärjestelmän. Työvälineeksi valittiin Borlandin Paradox, jonka versiolla 5 järjestelmää kehitetään. Tietokannan taulut sisältöineen voidaan siirtää helposti myös muihin tiedostomuotoihin, mutta niitä käyttävä sovellus toimii vain Paradoxin sisällä.

Nyt lähes valmis järjestelmä pohjautuu vahvasti mikroverkon käyttöön. Tietokannan ja tarvittavien oheistiedostojen (näyttö- ja raporttilomakkeet ym.) perusversiot kopioidaan verkkolevylle, josta käyttäjät voivat kopioida itselleen tarvitsemansa osat. Tämä ratkaisu toimii pienessä piirissä, jossa henkilöt tietävät tarkasti kunkin tiedoston sisällön ja merkityksen, mutta kovin yleiseen käyttöön se ei sellaisenaan sovellu. Sovelluksen perusrunko on pääosin valmis, mutta kehitystyö jatkuu koko ajan.

Siirtymävaihe vanhoista tiedostoista uuteen tietojärjestelmään oli työläs. Koodausten tarkistaminen ja yhdenmukaistaminen sekä versionhallinta vaativat huomattavan paljon pikkutarkkaa työskentelyä. Lisäksi ohjelmistoon ja laitteisiin pitää edelleen investoida, jotta järjestelmän saa toimimaan kaikille halukkaille ja riittävän nopeasti.

Tietojärjestelmän ehdottomasti suurin etu on se, että tiedot ovat helposti käytettävissä. Kaikkiin tietokannan tietoihin pääsee helpolla graafisella käyttöliittymällä (kuva 1), ja useimmin tarvittaviin osiin on ohjelmoitu sovellusta, jolla satunnainenkin matkailija saa selattua tietoja (kuva 2).



Kuva 1. Tietojärjestelmän päävalikko.

Eksoottisetkin kyselyt voi helposti opetella tekemään muutamassa minuutissa Paradoxin kyselyjen (*query*) avulla (kuvat 3 ja 4., taulukko 1.). Esimerkiksi kuvan 4 kyselyllä halutaan etsiä kaikki Metsähallituksen Jyväskylän yksikön kantapuut, ja niistä tarvittavat tiedot (kentät) ovat kantapuun numero (KANTAPUU.PUU), jalostusvyöhyke (KANTAPUU.JALVYÖHYKE), puutyyppi (KANTAPUU.PTYYPPI (ei näy kuvassa)), omistajan nimi (OMREK.NIMI) ja puulaji täydellisenä (PUULAJIT.KOKONAAN). Tieto-

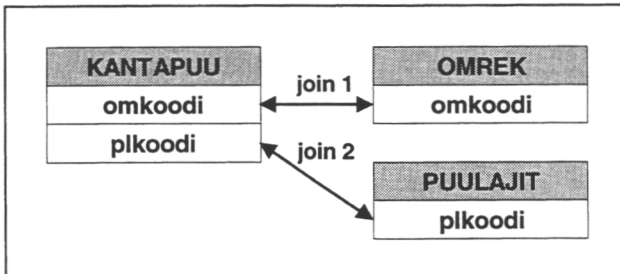
kannan taulut on yhdistetty toisiinsa ns. taululiitoksen (*join*) avulla. Taulut OMREK ja KANTAPUU sisältävät yhteisen kentän OMKOOID, ja taulut KANTAPUU ja PUULAJIT yhdistetään puulajikoodin sisältävän kentän PLKOOID avulla (kuva 3.).

SIEMENVILJELYSTEN SELAUSLOMAKE			
VILJELYS :	S:80	SIJLUSUMMA :	1103
PUULAJI :	Pinus sylvestris	MIN_ALKLS :	722
PL_KOODI :	01010000	MAX_ALKLS :	925
OMRYHMA :	2	ALKLSUMMA :	859
OMISTAJA :	MH, Jyväskylän yksikkö	SIIRTO :	273
OMKOOID :	653	TUL_VUOSI :	82
PER_VUOSI :	65	MIN_KÄYTLS :	970
HYV_VUOSI :	88	MAX_KÄYTLS :	1120
LUOKKA :	2	POISTO :	
HARV_S :	i	PÄIVITYS :	
HARV_VUOSI :	88	PINTAALA :	16.10
KUNTA :	Korpilahti	KLOONEJA :	81
NIMI :	Heinäsuu	VARTEITA :	3295
SELITYS :		TILANNE :	
PKRUUTU :	2233-12	KARTTA :	
P_KOORD :	688 384	TEKSTI :	
I_KOORD :	341 838	Istutettu: . . .	
LEVEYS :	62°03'		
PITUUS :	25°26'		
KORKEUS :	187		

PALUU
Etsi viljelys
Viljelyksen kloonit
Viljelyksen tuotanto

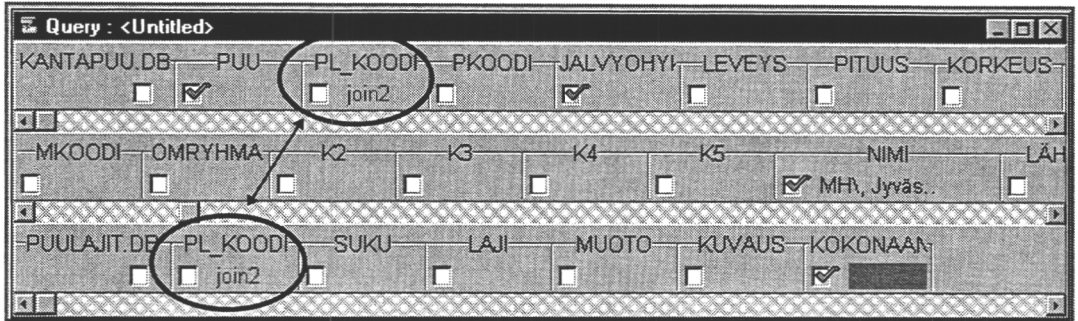
Täydennys kantapuurekisteristä (kestää kauemmin)

Kuva 2. Esimerkki tiedon selauslomakkeesta.



Kuva 3. Kaavio tietokannan taulujen liittämisestä yhteisten kenttien avulla.

Omistajatiedot sisältävän OMREK -taulun kenttään NIMI kirjoitetaan poimintaehdoksi "MH\, Jyväskylä..", jolloin mukaan otetaan vain ne rivit, joiden a.o. kentässä lukee haluttu teksti. Taulukossa 1 on pieni ote haun tulostaulusta.



Kuva 4. Vapaa kysely Paradoxin Query-ikkunassa.

Taulukko 1. Ote vapaan kyselyn tuottamasta taulukosta.

PUU	JALVYÖH	PUUTYYP	NIMI	KOKONAAN
E1062		4	MH, Jyväskylän yksikkö	Betula pubescens
E1063	2	4	MH, Jyväskylän yksikkö	Pinus sylvestris
E1202	2	2	MH, Jyväskylän yksikkö	Betula pendula
E1203		1	MH, Jyväskylän yksikkö	Populus tremula
E1204	2	1	MH, Jyväskylän yksikkö	Picea abies
E1205	2	1	MH, Jyväskylän yksikkö	Picea abies
E1206	2	1	MH, Jyväskylän yksikkö	Betula pendula
E1207		1	MH, Jyväskylän yksikkö	Populus tremula
E1208		1	MH, Jyväskylän yksikkö	Populus tremula
E1209		1	MH, Jyväskylän yksikkö	Populus tremula

Tietokannasta

Tällä hetkellä tietokannassa on n. 40 taulua, joissa on yhteensä useita satoja kenttiä. Tietokannan taulujen rakenne ei paljoakaan muutu. Rakenne ei ole vielä kaikin osin viimeistelty, koska järjestelmän tuotantokäyttöön saamisella oli kova kiire.

Tietokannan koko ei ole kovin suuri, taulujen koko tällä hetkellä on yhteensä vain reilut 20 megatavua, mutta monet rakenteet ovat hyvin monimutkaisia. Tietokohteet ovat hieman vaikeasti hahmotettavia ja niiden suhteet moniselitteisiä ja osin epämääräisiä. Tietojärjestelmä on hyvin modulaarinen, joten yhtä palaa voi helposti muokata kajoamatta muihin tai häiritsemättä normaalia käyttöä. Tällainen rakenne sallii

tehokkaan ryhmätyöskentelyn. Tosin se tuo ongelmia versionhallinnassa; miten pitää kirjaa muutoksista ja kunkin apudiedoston viimeisimmästä versiosta ja muutoksista.

Tietosisällöstä

Seuraavassa on lyhyt yhteenvedo metsägeneettisen rekisterin tärkeimpien tietokohteiden määristä ja jakautumisesta esim. puulajeittain (1.12.1995 tilanteen mukaan). Rekisteri julkaisee vuosittain yleistilaston, jossa esitetään kattavasti tärkeimmät metsänjalostustilastot (Pajamäki & Karvinen 1995). Julkaisun tuottaminen helpottuu ja vaadittavan käsityön määrä vähenee tietojärjestelmän kehittymisen myötä.

Kantapuut puutyypeittäin

Kantapuita on valittu kaikkiaan reilut 20 000, joista noin 60 % on pluspuita. Pluspuista puolet on mäntyjä ja kaikista kantapuistakin niitä on kolmasosa. Kuusen erikoismuotoja ym. on niitäkin runsaasti.

Puulaji	Pluspuut	Muut puut	Yhteensä
Mänty	7 049	515	7564
Kuusi	2 528	2 632	5160
Koivut	2 433	629	3062
Muut	1 140	3 486	4626
Yhteensä	13 150	7 262	20412

Metsiköt

Metsiköitä on rekisteröity kaikkiaan lähes 1500, joista yli puolet on männyn siemenkeräysmetsiköitä.

Puulaji	Metsiköt			Yhteensä
	Plus-	Standardi-	Tutkimus-	
Mänty	790	28	94	912
Kuusi	321	16	29	366
Koivut	128	14	1	143
Muut	32	0	1	33
Yhteensä	1 271	58	125	1 454

Siemenviljelykset (A2 ja A3)

Siemenviljelyksiä on perustettu reilut 200. Niiden yhteispinta-ala on hieman yli 3000 hehtaaria, ja vartteita on liki 850 000. Valtaosa on männyn viljelyksiä.

Puulaji	Viljelyksiä	Klooneja	Vartteita	Pinta-ala, ha
Mänty	176	24 691	752 961	2 718,4
Kuusi	23	1 775	78 569	264,6
Koivut	17	479	904	1,3
Muut	16	441	15 272	68,3
Yhteensä	232	27 386	847 706	3 052,6

Koeviljelykset

Koeviljelyksistä huomattavin osa on männyn jälkeläiskokeita. Koemäärä on todella huomattava; taimia on kokeissa yhteensä yli 11,5 miljoonaa.

Suku	Jälkeläiskokeet		Muut kokeet		Yhteensä	
	lkm	ha	lkm	ha	lkm	ha
<i>Pinus</i>	1 265	1 929	288	444	1 553	2 373
<i>Picea</i>	230	267	350	521	580	788
<i>Betula</i>	246	377	186	181	432	558
Muut	93	99	202	172	295	271
Yhteensä	1 852	2 672	1026	1318	2 860	3 990

Tulevaisuus

Tietotekniikka etenee niin huimaa vauhtia, ettei kovin kauaskantoisia suunnitelmia tietojärjestelmän tulevaisuudesta kannata tehdä, koska tarpeet ja työvälineet muuttuvat. Kehitystyössä seuraavana vaiheena voisi olla koeviljelytulosten tietokanta, tai paikkatiedon tehokkaampi hyödyntäminen tiedon esittämisessä ja analyysissä. Tietojen yhteiskäytön vaatimukset asettavat omat ehtonsa jatkosuunnitelmille. Olennaisinta on, että järjestelmä palvelee tutkimusta ja käytännön jalostusta sen muuttuvissa tietotarpeissa mahdollisimman tehokkaasti.

Henkilöt

Tietojärjestelmän kehitykseen ovat vaikuttaneet useat henkilöt. Aune Kurki teki systeeminsuunnittelutyötä 1992 ja Teijo Kalliomäki rakensi Ingres-järjestelmää 1992-1993. Sami Laitinen toteutti Paradox-sovelluksen perusrakenteet vuonna 1995, ja sitä edelleenkehittävät Matti Haapanen, Kaarlo Karvinen ja Olavi Kurttio. Jalostuksellista tietämystään ja kokemustaan ovat kehitystyöhön tuoneet hyvin monet muutkin henkilöt, joista mainittakoon Marja-Leena Annala, Raija Koski, Jaakko Pajamäki, Mari Rusanen ja Lea Siilin.

Kirjallisuus

- Mikkonen, M. & Soini, T. 1988. Yrityksen tietosuunnittelu. 344 ss., liit. Weilin+Göös, Espoo.
- Pajamäki, J. & Karvinen, K. 1995. Suomen metsänjalostuksen yleistilastoa 1995, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 565, 31 s.
- Saarenmaa, H., Lehto, K., Kaila, E., Salminen, H. & Pöntinen, J. 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategia. Työryhmän mietintö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 350, 82 ss., liit.

.....

Hyvistä jälkeläisistään todellinen pluspuu tunnetaan – nuorten runkojen laatu plusmäntyjen testauksessa

Martti Venäläinen¹, Juhani Hahl² ja Tapani Pöykö²

¹Metla, Punkaharjun tutkimusasema

²Metsänjalostussäätiö

Tässä esitelmässä selostetaan mäntypluspuiden jalostusarvojen testauksen ja ennustamisen nykytilaa keskittyen erityisesti siihen, kuinka jälkeläiskokeissa kasvavien nuorten mäntyrunkojen laatua voidaan arvioida sekä kuinka laatu ja puumäärä voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisarvoa kuvaavaksi tunnukseksi.

Johdanto käsitteeseen "männyn laatu"

Puumäärä on käsitteenä varsin yksiselitteinen, iso pino on enemmän kuin pieni pino. Toisin on puun laatu, joka joudutaan määrittelemään tapauskohtaisesti, jotta väittämät ja keskustelu rajautuisivat kerrallaan yhteen ja samaan asiaan. Erityisen tärkeää on määritellä laatu ja sen asema jalostettavana ominaisuutena eri puulajien jalostusohjelmissa, koska niiden aikahorisontit ovat vuosikymmenten mittaisia ja ulottuvat siten jalostajapolvesta ja aikakaudesta toiseen. Se, että määrittelyn tärkeyttä painotetaan ei kuitenkaan aina tarkoita, että määrittely olisi erityisen vaikeaa.

Pohjoismaista vientiin menneen havusahatavaran laadulle on kirjattu ohjeita jo 1880-luvulta alkaen. Suomessa annettiin omat kansalliset laatulajitteluohjeet 1936. Ohjeet yhtenäistettiin pohjoismaisittain 1960 ja uudistettiin 1994 (Pohjoismainen ... 1994). Ohjeiden päälinja on pysynyt koko ajan samana, joten siihen on jalostusohjelmankin hyvä nojata.

Lajitteluohjeita koskeneen keskustelun lisäksi 1930-luvulla puhuttiin laadusta muutenkin paljon, mm. suhdannesyistä ja pystykarsinnan elvyttämiseksi, ja tällöin esitettiin painokas huoli hyvälaatuisen raaka-aineen loppumisesta (Jussila 1935, Laitakari 1936, Lappi-Seppälä 1937, Vuoristo 1937). Laatukeskustelulla on täytynyt olla vaikutus siihen suuntaan, joka metsänhoidolle asetettiin määrämittaharsinnan jälkien hoidossa: suurien, mutta samalla hyvälaatuisien puiden suosiminen harvennuksissa ja siemenpuiden jättämisessä määrättiin maan tavaksi. Koska samat määrätietoiset miehet, jotka muotoilivat metsänhoito-ohjeet, panivat alulle metsäpuiden rodunjalostuksen

1940-luvun loppupuolella, oli aivan selvää, että laatu asetettiin puumäärään kanssa yhdenvertaiseksi jalostustavoitteeksi. *"Näin liittyvät rodunjalostuksen kantapuiksi valittavissa puuyksilöissä nopeakasvuisuus ja hyvä [teknillinen] laatu kiinteästi toisiinsa. Kummastakaan ei voida olennaisesti tinkiä vaarantamatta koko sitä teoreettista pohjaa, johon kantapuiden perusasun arvioiminen nojaa"* (Sarvas 1948).

Tultaessa 1960-luvulle männyn viljelymäärät lisääntyivät nopeasti ja pari vuosikymmentä myöhemmin kavahdettiin kauhistelemaan nuorien viljelymänniköiden surkeaa laatua (Uusvaara 1974). Kehitys oli ensisijaisesti seurausta männyn viljelemisestä liian reheville kasvupaikoille, kuten jopa pelloille, mikä johti kyllä nopeaan kasvuun mutta samalla laadun heikkenemiseen. Heikkoa kokonaistulosta ei voine pitää täytenä yllätyksenä, koska mm. Heiskanen (1966) toteaa tutkimuksessaan: kuta voimakkaampi kasvu mäntyrungon nuoruusvaiheessa, sitä oksikkaampi ja siten huonolaatuisempi tukki – ja viittaa samalla 13 aiempaan tutkimukseen, joissa oli saatu sama tulos. Myöhemmin tuon väittämän on todettu olevan edelleen yleisesti pätevä (mm. Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Kellomäki ym. 1992). Kun tämä läksy lopulta opittiin, se syöpyi kaikkien mieliin muodossa: vain ja ainostaan hyvin hidas kasvu luontaisesti syntyneissä tiheissä taimikoissa voi tuottaa hyvää laatua. Unelma laadun ja kasvun yhdistämisestä viljelytaimikoissa, johon Sarvaskin (1948) viittaa, jätettiin vain metsänjalostajien elätettäväksi.

Taulukko 1. Oksien enimmäismäärä ja -koko 25 x 125 mm:n laudan huonoimmalla metrillä eri laatuluokissa ja luokkien suhteelliset arvot (arvoa 100 vastaava absoluuttinen arvo on nykyisin noin 2000 mk/m³).

Laatu- luokka	Luku- määrä	Oksan koko, mm		Arvo
		terve	kuiva	
A1	1	8	-	220
A2	2	10	7	140
A3	3	15	10	105
A4	4	25	17	90
B	5	40	28	60
C	6	55	55	50

Mitä Pohjoismaissa sitten tarkoitetaan männyn laadulla ja on suunnilleen tarkoitettu koko tämän vuosisadan ajan? Se on sahatavaran laatu, joka riippuu ratkaisevasti oksien koosta ja määrästä, kuten yksinkertaistettu esimerkki taulukossa 1 osoittaa. Nykyisen käytännön mukaan laudat, soirot ja lankut jaetaan neljään pääläatuun, joista paras, A-luokka, voidaan jakaa neljään alaluokkaan (Pohjoismainen ... 1994). Luokka A vastaa suunnilleen aikaisemmasta lajitteluohjeesta mieliin jäänyttä "u/s-laatua".

Taulukossa esitetyt suhteelliset arvot ovat peräisin Kärkkäisen (1982) tutkimuksesta ja lienevät edelleen päteviä osoittamaan hintaerojen suuruusluokan.

Metsänjalostajan käsityksen laadusta on oltava sama kuin tukki- ja puutavarakauppiaan käsitys. Se on jotain sellaista, josta asiakkaat ovat valmiita maksamaan. Puulajeistamme kuusella ja lehtipuilla kuidut ja muut prosessiominaisuudet saattavat joskus muodostua sellaisiksi, mutta männyn jalostusohjelman kohdalla sahatavaran laatu näyttää ainoalta hintaerojen perusteelta. Metsänjalostajan on kuitenkin, arvattuaan maksuhalukkuuden yli 50 vuoden päähän, osattava myös purkaa lopputuotteen laatu sellaisiin osatekijöihin, joihin jalostuksen keinoin, ensisijaisesti valinnalla, pystytään nyt vaikuttamaan. Männyn tapauksessa näitä osatekijöitä ovat oksan paksuus ja oksakulma sekä rungon koko, muoto ja viat (Velling 1988, Pöykkö 1993).

Laatua arvioimaan

Metsänjalostaja on kiinnostunut puiden jälkeläisistä, koska niiden perusteella emopuun arvo punnitaan. Sama pätee laadun arvioimiseen ja on ymmärrettävää, että on olemassa joku minimi-ikä, jossa aikaisintaan pystyy tekemään havaintoja jälkeläisten laadusta. Meidän oloissamme laatumittauksen vähimmäisikä pidetään 15 - 20 vuotta.

Laadun arvioimisessa on käytössä kaksi erilaista päälähestymistapaa. Toinen tapa on mitata useita eri ominaisuuksia latvuksesta, oksistosta ja rungosta. Tämä tapa on käytännössä työläs ja havaintojen analyysissä joudutaan helposti hankaluuksiin, kun useita ominaisuuksia täytyisi yhdistellä yhdeksi tunnukseksi, jotta perheitä voitaisiin panna paremmuusjärjestykseen.

Toinen tapa, jota kuvataan adjektiivilla holistinen, kokonaisvaltainen, on tarkastella puuta kokonaisuutena mittaamatta mitään. Tällöin ei myöskään tarvita mitään lineaarisia tai muunkaan muotoisia yhtälöitä, jotka muuntaisivat mittaustulokset yhdeksi laatuvaavaksi arvoksi, vaan kokenut tarkastelija antaa sen yhden tarvittavan arvosanan sillä perusteella, miltä puu näyttää.

Mielivaltaiseen silmänvaraisuuteen vedoten holistinen tapa on yleensä vaadittu varmuuden vuoksi hylkäämään. Siitäkin huolimatta, että metsikön harvennuksessa ja siemenpuiden jättämisessä ja erityisesti pluspuiden valinnassa silmänvaraisuus on ollut kautta aikain itsestään selvyys (Oskarsson 1995)! Menetelmän teoreettiset perusteet ovat vasta löytyessä ja yhtymäkohdat sumeaan logiikkaan, hahmon tunnistukseen ja neurolaskentaan avaavat kiinnostavia jatkokehittelyn mahdollisuuksia (Isomursu ym. 1995, Koikkalainen 1995).

Menetelmän käyttökelpoisin puolustus saadaan ideotyyppejäalostuksen alalta. Dickmannin (1991) mukaan ennalta määrättyä ideotyyppiä tai sen yksinkertaistusta, kenttäideotyyppiä, voidaan käyttää arvostelussa vertailukohtana, jolloin mielihyvälaitaisuuden vaara vähenee, mutta yksinkertaisuus säilyy. Viljelypuun ideotyyppi eli ihannemalli on määritelty tähän tapaan: se on puutyyppi, jolla on vaakasuorat, ohuet oksat sekä suora, hitaasti kapeneva, terve runko ja joka ei ole taipuvainen kilpailuun vaan tuottamaan metsikkönä suuren puusadon pinta-alayksikköä kohti (Kärki 1984, Kärki ja Tigerstedt 1985). Pöykön (1993) tulosten mukaan, asettamalla rinnakkain ideotyyppi ja sen vastakohtatyyppi, kauhein kuviteltavissa oleva susipuu, saadaan muodostumaan silmänvaraisessa arvioinnissa käyttökelpoinen asteikko. Verrattaessa yksittäisiä puita ääripäitä edustaviin puutyyppisiin tulisi jokaisen vastaantuluvan puun asettua johonkin kohtaan niiden välille.

Teorian mukaista ideotyyppejäpuuta ei löydy todellisesta metsiköstä, mutta jokaisesta metsiköstä löytyy hyvä ja huono puu, jotka saavat lähinnä edustaa kyseisiä puutyyppisiä. Asteikko on siis asetettava jokaiseen metsään ja jälkeläiskokeeseen erikseen. Käyttöön otetussa arvointiohjeessa äärityyppien väli on jaettu 10 luokkaan. Mielihyvälaitaisuuden vaaran edelleen vähentämiseksi arvostelussa käytetään taulukon 2 mukaista tarkastelutapaa.

Taulukko 2. Nuoren mantyrungon laatuluokan määräytyminen oksan paksuuden, oksakulman ja rungon koon perusteella

Oksan läpimitta	Oksakulma			Rungon koko *)
	'terävä'	'normaali'	'suora'	
ohut	8	9	10	a
	7	8	9	b
	6	7	8	c
	5	6	7	d
ohuempi kuin keskimäärin	6	7	8	a
	5	6	7	b
	4	5	6	c
	4	4	5	d
paksumpi kuin keskimäärin	4	5	6	a
	3	4	5	b
	3	3	4	c
	2	3	3	d
paksu	2	3	3	a
	2	3	3	b
	1	2	2	c
	1	1	1	d

*) a= iso, b= keskimääräistä isompi, c= keskimääräistä pienempi, d= pieni

Tietyllä koepaikalla arvioitavan koepuujoukon oksien paksuus ja rungon koko jaetaan silmänvaraisesti neljänneksiin ja oksakulma kolmanneksiin. Riippuen siitä, mihin neljännekseen tai kolmannekseen yksittäinen puu missäkin ominaisuudessa kuuluu, määräytyy sen laatuarvosana. Koska oksien paksuus on sahatavaran laadun kannalta vaikuttavin kriteeri, on sen merkitys arvosanan kannalta myös vaikuttavin. Oksakulman vaikutus on vähäisempi. Rungon koko on myös laatu tekijä sen lisäksi, että se on puumäärään vaikuttava tekijä (esim. Vuoristo 1937). Suuri rungon koko nostaa sen tilavuusyksikkökohtaista arvoa silloin, kun runko ei ole oksikkuudeltaan aivan heikko. Hyvin oksikkaan rungon arvo on aina alhainen koosta riippumatta.

Taulukon käytön etu on siinä, että sen arvoja säätämällä jalostaja voi muuttaa eri osatekijöiden vaikuttavuutta arvosanaan. Mikäli taulukosta johdettu arvosana ei vastaa jostakin syystä arvostelijan puusta saamaa vaikutelmaa, hän saa muuttaa arvosanaa ± 1 pisteellä. Ristiriitainen vaikutelma voi syntyä lähinnä poikkeuksellisen hyvän tai huonon runkomuodon johdosta.

Silmänvaraisesta arvioinnista syntyvä havaintosarja on luokka-asteikollinen (kuva 2). Jotta aineiston käsittely saataisiin helpommaksi ja tehokkaammaksi, tehdään havaintosarjalle muunnos, luokka-asteikon normitus (Gianola ja Norton 1981, Ericsson ja Danell 1995). Muunnos perustuu oletukseen, että muuttuja, jota on mitattu luokka-asteikolla, on kuitenkin luonnossa jatkuva ja normaalisti jakautunut. Muunnoksen avulla luokkarajat ja -keskukset saadaan siirretyksi jatkuvalle asteikolle, jonka keskiarvo on 0 ja keskihajonta 1. Luokkakeskuksen arvoa voidaan käyttää luokkaan kuuluvan havainnon arvona esimerkiksi keskiarvon laskennassa.

Jotta puumäärä ja sen laatu voidaan ottaa samanaikaisesti huomioon, päätettiin ne yhdistää kokonaisarvoksi käyttämällä yhteisenä mittana kummankin rahallista arvoa. Puumäärän rahallinen arvo on yksiselitteinen, mutta laadun raha-arvo jouduttiin johtamaan oheisen päättelyn avulla. Päättelyssä käytetyt hinnat ovat Itä-Suomen metsälautakunnan alueella vuonna 1994 vallinneet mäntytukki- ja -kuitupuun kantohinnat: 223 mk/m^3 ja 78 mk/m^3 . Erikoishyvän tyvitukin kantohinnan on oletettu olevan kaksinkertainen eli 440 mk/m^3 .

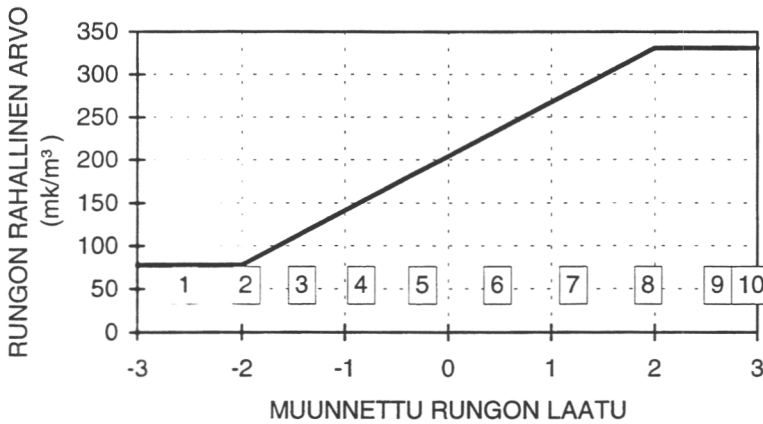
Raakapuun hinta ja nuorten runkojen (0,1)-normitettu laatu jakauma kiinnitetään toisiinsa kahdesta pisteestä (kuva 1). Ensimmäinen kiinnityspiste saadaan jakauman kohdasta -2, jossa siis ollaan kahden keskihajonnan verran keskiarvon alapuolella. Normaalijakauman mukaisesta suuresta puujoukosta 2,3 % edustaa tätä tahi vielä huonompaa laatua. Tämän laatuiset nuoret rungot kehittyvät 100 % varmuudella kuiturungoiksi, joten tässä pisteessä laadun arvo on kuitupuun arvo, 78 mk/m^3 .

Toinen kiinnityspiste otetaan jakauman toisesta laidasta, kohdasta +2, jonka alapuolella jää suuresta puujoukosta 97,7 %. Tässä pisteessä tyvitukki, joka edustaa 50 % koko tukkiisuuden tilavuudesta saa erikoishinnan ja loppuosa rungosta normaalin tukin hinnan. Laadun arvoksi saadaan $440 \times 0.5 + 223 \times 0.5 = 331 \text{ mk/m}^3$.

Hinnan muutos kiinnityspisteiden -2 ja +2 välillä asetetaan yksinkertaisuuden vuoksi lineaarisesti, jolloin saadaan laadusta riippuvalle yksikköhinnalle (y) yhtälö

$$y = 63,25 I_n + 204,5 \text{ mk/m}^3 \quad (1)$$

jossa I_n = laatu ilmoitettuna (0,1)-normitetun asteikon mukaisella arvolla.



Kuva 1. Korjuukypsan tukkirungon rahallinen arvo ennustettuna nuoren rungon silmänvaraisen laatuarvioinnin pohjalta. Vaaka-akselin muodostaa jatkuva asteikko, jolle maastossa käytettävä luokitteleva laatuasteikko voidaan sijoittaa normeeraamalla.

Lineaarisella välillä laatuluokkien hintaeron voi ajatella johtuvan kolmeen eri hintaluokkaan lankeavan raakapuun osuuksien vähittäisestä muuttumisesta. Mikäli yhtälöön sijoitetaan keskimääräisen puun arvo $I_n = 0$, saadaan y:n arvoksi $204,5 \text{ mk/m}^3$. Tulkinta on, että tällöin keskimäärin 12 % tukin kokovaatimukset täyttävästä rungon osasta menee laadun takia raakiksi eli putoaa kuitupuun hintaluokkaan loppuosan eli 87 % saadessa keskimääräisen 223 mk:n hinnan. Tulos voidaan tulkita myös siten, että keskimääräisellä nuorella puulla on 87 % todennäköisyys kehittyä tukin minimivaatimukset täyttäväksi rungoksi.

Edellä esitettyssä laskelmassa käytettyjä hintoja ei tule mieltää ehdottomina, vaan mieluummin esimerkin omaisina muuttujan arvoina, jotka tulee tarvittaessa korvata oikeammilla arvoilla. Varsinkin huippulaatuisen tyvitukin hinta markkinoilla on vakiintumaton ja tässä esitettävä tarkastelu on herkkä sille annettavan arvон suuruudelle. Vaihtoehtoiset laskelmat eri hinnoilla ja eri kiinnittämispisteillä jakauman paremmassa päässä ovat välttämättömiä ennenkuin laadun jalostusmahdollisuuksien merkityksestä puumäärän rinnalla tehdään lopullisia johtopäätöksiä.

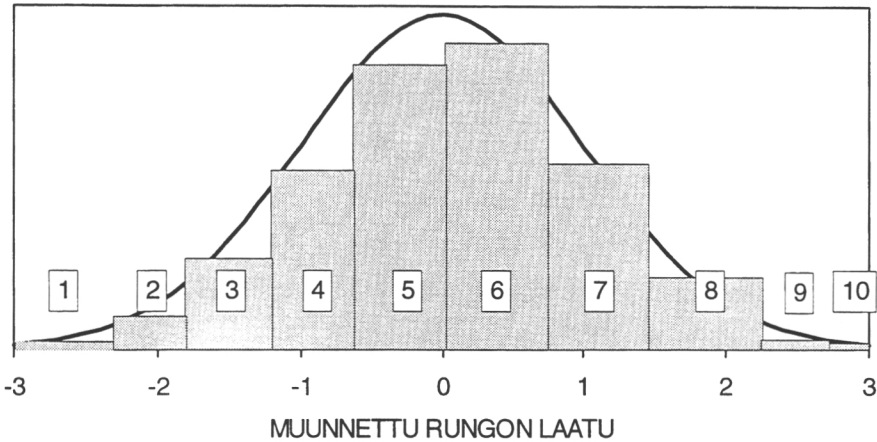
Kenttäkoe-esimerkki Leppävirralta

Kenttäkoe 309/2 Leppävirralla kuuluu ns. Mammuttikoesarjan pluspuukokeiden ryhmään ja on yksi niistä kokeista, joissa silmänvaraista laatuluokittelumenetelmää on kehitelty. Koe istutettiin kaksivuotiailla taimilla toukokuussa 1968. Mittaushetkellä koe oli ollut maastossa 26 kasvukautta. Istutetuista taimista oli elossa 68 %. Puiden rinnan- korkeusläpimitta oli 146 mm ja keskipituudeksi arvioitiin 11 metriä. Kokeessa ovat edustettuina kaikkiaan 140 pluspuun jälkeläistöt. Ajan ja vaivan säästämiseksi laatu- arvioinnin ulkopuolelle jätettiin pituuden testaustulosrekisterin mukaan 36 heikointa perhettä. Myöhemmin tämä kuitenkin todettiin väärässä paikassa säästämiseksi, koska näin saatu 104 jälkeläistön katkaistu havaintoaineisto ei anna niin hyvää kuvaa laadun jakautumisesta jalostusaineistossa, kuin mihin olisi ollut mahdollista päästä mittaamalla kaikki erät.

Koe rakentuu 9 puun ruuduista, jotka on satunnaistettu 12 lohkokoon. Laatuarviointiin otettiin mukaan 8 lohkoa ja jokaisessa ruudussa tehtiin laatu- koe- puiden systemaattinen otanta siten, että mukaan otettiin neljä paksuinta puuta. Tällä otantasäännöllä vältettiin otannan subjektiivisuus. Oikeampi otos olisi ollut ensiharvennuksessa kasvamaan jätettävät puut, mutta sellaisen otannan toteuttaminen ilman poistettavien puiden leimausta olisi ollut vaikeaa. Jos ruudun elävyys oli heikko, ei neljää koe- puuta aina saatu, koska aivan alistettuja tai pahasti viallisia puita ei otokseen haluttu ottaa.

Tavoitteena oli saada 32 koe- puuta jokaisesta perheestä eli yhteensä 3328 puuta. Saatiin kuitenkin vain 3072. Puut jakautuivat 10 laatuluokkaan kuvan 2 osoittamalla tavalla. Havaitaan, kuten odotettiin, että keskiluokissa on paljon havaintoja ja ääri- luokissa vähän. Ääri- luokat eivät ole symmetrisiä. Luokka- asteikon normituksen ansioista voimme todeta, että luokka 1 huonojen puiden laidalla vastaa luokkien 9 ja 10 osuuksia hyvien puiden laidalla. Luokan 8 sijanti taas vastaa lähes luokkia 2 ja 3. Luokan 1 suhde luokkaan 10 juontuu taulukosta 2, jonka mukaan puulla on useita mahdollisuuksia päätyä heikoimpaan mahdolliseen arvosanaan. Parhaan mahdollisen arvosanan puu voi saada yhdellä ehdolla: sen oksakulman on oltava suuri ja sen on kuuluttava oksan- paksuudeltaan ohuimpaan ja rungon kooltaan paksuimpaan neljännekseen.

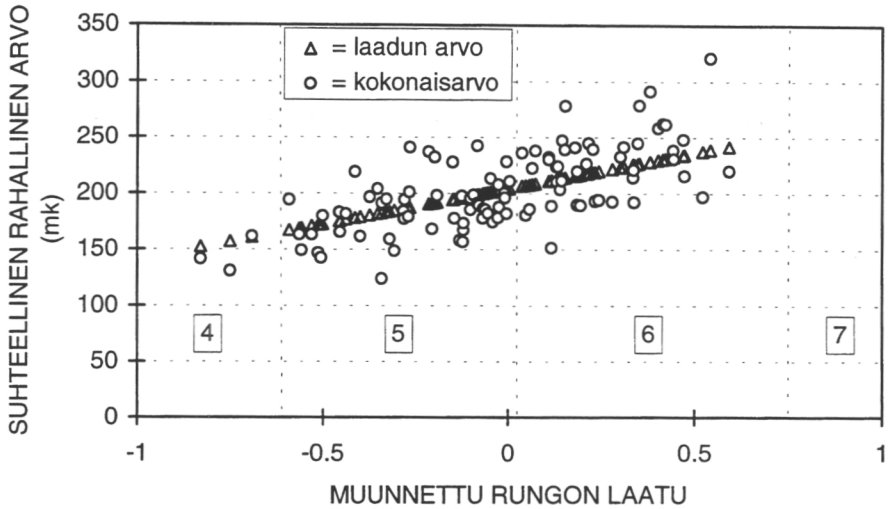
Oksanpaksuuden ja rungon koon välinen positiivinen korrelaatio tekee tuollaisen yhdistelmän harvinaiseksi. Samalla tavalla harvinaisia ovat arvioijien mielestä ne puut, jotka vastaavat heidän mielikuvaansa ihannepuusta.



Kuva 2. Kenttäkokeessa 309/2 havaittu 3072 rungon jakautuminen silmänvaraisiin laatuluokkiin. Laatuluokat on sijoitettu normeeraamalla jatkuvalle asteikolle.

Käyttämällä luokkakeskusten jatkuvia arvoja voidaan havainnoista laskea perheiden laadulliset keskiarvot (kolmiot kuvassa 3). Perheiden laatuarvojen hajonta on paljon suppeampi kuin yksittäisten puiden. Kahden perheen keskiarvo sijoittuu silmänvaraisen luokan 4 alueelle ja loput luokkien 5 ja 6 alueelle. Rahassa mitattuna vaihteluväli on noin 90 mk/m³. Kokeen puiden todellisia tilavuuksia ei mitattu, mutta kaikista puista, ei siis ainoastaan laatuokopuista, mitattiin rinnankorkeusläpimitat. Läpimitoista laskettiin pohjapinta-alat, joita summaamalla voitiin arvioida ja vertailla perheiden puutuotokkyä.

Pohjapinta-alojen vertailu tosin aliarvioi pitkäkasvuisten perheiden todellisia tilavuuksia. Perheen kaikkien puiden pohjapinta-alat laskettiin yhteen ja koko kokeesta laskettiin näiden perheitäisten summien keskiarvo. Keskiarvon katsottiin merkitsevän yhden m³ puumäärää. Kun kokeen keskiarvolla jaettiin yksittäisten perheiden pohjapinta-alasummia, saatiin kahden puolen ykköstä olevia suhteellisia arvoja. Niiden tulkittiin niin ikään merkitsevän puumäärää, joilla laadun perusteella lasketut yksikköhinnat voitiin kertoa. Näin saatiin perheiden suhteelliset kokonaisarvot (pallot kuvassa 3).

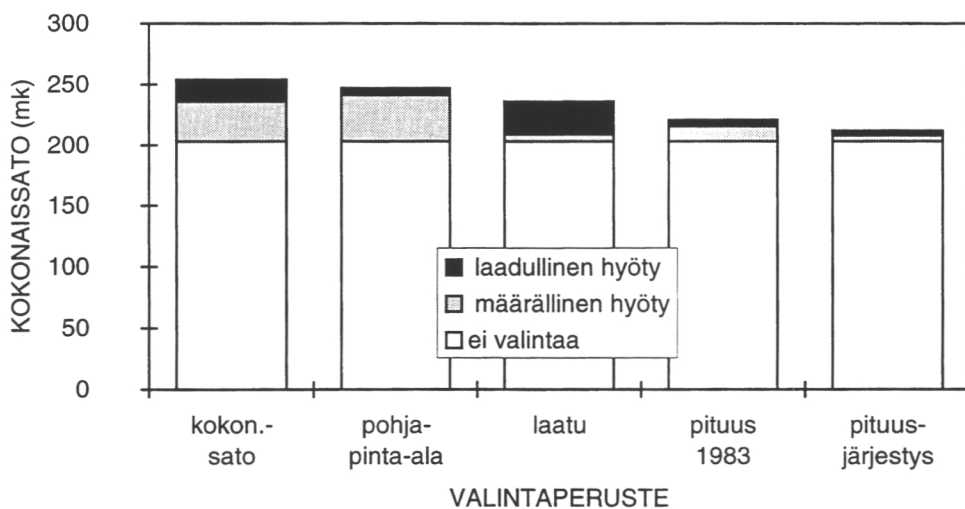


Kuva 3. Kenttäkokeessa 309/2 edustetun 104 pluspuujälkeläistön keskiarvot laadussa ja kokonaistuotossa.

Tarkastelemme perheiden kokonaisarvoja ja rohkenemme tehdä koko jalostusaineistoa koskevia johtopäätöksiä tämän yhden kokeen tuloksen perusteella. Mikäli laatu määritellään, kuten tässä yhteydessä on tehty, ei näytäkään olevan sitä pelättyä laadun ja puumäärän välistä negatiivista korrelaatiota. Laadussa toiseksi paras perhe on kokonaisarvoltaan paras ja kokonaisarvoltaan heikoin on laatu järjestyksessä 19. lopusta päin lukien. Ei siis sittenkään ole ylivoimaista löytää hyväkasvuisia ja samalla hyvälaatuisia perheitä. Saman seikan, koskien Ruotsin männynjalostusaineistoja, toteaa myös Persson (1994). Perheiden kokonaisarvojen välillä on suuria eroja, vaihteluvälin ollessa 124:stä 321:een eli 197 markkaa. Vaihtelun lähempi analyysi osoittaa, että noin 36 % siitä on perheiden välisistä geneettisistä eroista johtuvaa. Tämä viestii siitä, että perheiden joukossa kannattaa tehdä toistuvaa valintaa.

Valintaan ja sen vasteeseen kytkeytyy varsin monia kiinnostava seikka: jalostushyöty. Jotta odotettavissa olevasta jalostushyödystä saataisiin suuntaa antavia viitteitä, tehtiin koeaineistossa kuvan 4 mukainen simulointi. Valittiin 104 perheestä 21 vuoronperään eri valintakriteerillä ja laskettiin, kuinka paljon valitun joukon keskimääräinen kokonaisarvo poikkesi koko kokeen keskiarvosta. Poikkeamasta eriteltiin laadun paranemisen ja puumäärän lisääntymisen osuudet. Aivan ensimmäiseksi valinta tehtiin itsensä kokonaisarvon perusteella, jotta tiedettäisiin saavutettavissa oleva maksimihyöty.

Pohjapinta-ala valintakriteerinä antaa 85 % maksimihyödyistä. Jos valinta tehdään laadun perusteella, päästään 65 %:iin maksimista. Siinä, missä pohjapinta-ala antaa pienen positiivisen laadullisen vasteen, antaa laatu pienen määrällisen vasteen. Taimien pituutta käytetään kokeiden nuoruusvaiheessa kokonaisarvon varhaisena tunnuksena. Perheiden pituuserot tässä samaisessa kokeessa tiedettiin 10 vuotta aiemmin tehdyn mittauksen perusteella. Lisäksi tiedettiin perheiden sijainti yli 200 kokeen pituusmittauksiin perustuvassa testaustulosrekisterissä. Ilmenee, että pituuden perusteella valittaessa kokonaisyöty jää vaatimattomaksi, vaikka todellinen tilavuus olisikin aliarvioitu. Myönteisessä mielessä on merkille pantavaa pituusvalinnalla saatava laadun suhteellisen suuri osuus kokonaisyödyistä.



Kuva 4. Kenttäkokeen 309/2 tuloksilla tehty toistuvan valinnan simulointi, jossa vuorotellen eri perusteilla valittiin 21 perhettä 104 perheestä ja verrattiin valitun joukon kokonaistuoton keskiarvoa koko kokeen keskiarvoon.

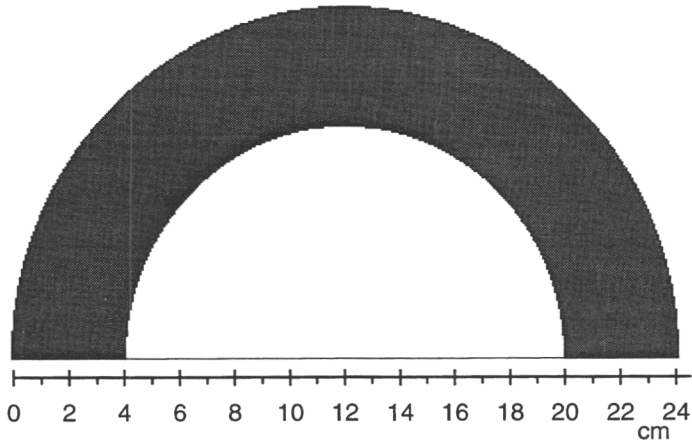
Johtopäätös kuvasta 4 on, että vaikka kokeiden mittaaminen on kallista, meidän on saatava tietoja perheiden todellisista puumääristä ja laatueroista, ja perustettava jalostuksen etenemisen kannalta ratkaisevat valinnat niistä muodostettavaan kokonaisarvoon. Tällöin valitun pluspuujoukon laadullinen ja puuntuotannollinen potentiaali on turvallisella tavalla tasapainossa ja valintahyöty suurempi, kuin pelkkään pituustietoon luotettaessa.

Vastauksia epäilijöille ja tulevaisuuden lupauksia

Muodissa olevaan hitaan kasvun ihannointiin ainoana laatua kohottavana tekijänä tuntuu melko yleisesti kuuluvan piirre, että nopeaa kasvua sinänsä pidetään laatua alentavana tekijänä. Tietyissä erikoistarkoituksissa tiheäisyys on aivan perusteltu laatutunnus, mutta laajamittaista käyttöä ajattelevan jalostajan on tiedostettava, miten nopeaa kasvu saa olla, ennenkuin se itsessään on todellinen uhka huippulaadulle.

Sahatavaran lujuusluokitteluohjeissa (Kotimaisen ... 1952) on asetettu vuosiluston paksuudelle enimmäisraja, johon saakka lusto saa levetä ilman, että sahatavarakappaleen lujuus siitä kärsii. Se on 3 mm. Toisaalla tukkipölkyn sisäisen laadun ennustamista koskevissa tutkimuksissa on haettu sellaista pölkyn päästä näkyvää luston vähimmäispaksuutta, joka kielisi sisällä piilevien oksien pilaavan tukin, vaikka niitä ei päälle päin näkyisikään. On päädytty alle 2 mm:iin (Halinen 1985).

Tämä luston paksuuden muutos 2 mm:stä 3 mm:iin on se väli, jolla metsänjalostaja ja pystykarsija voivat huoletta ponnistella. Mikäli oksat pysyvät kurissa ja syntyvä puu on suorasyistä, nopeammin kasvanut sahatavara täyttää edelleen korkeimmatkin yleiset laatukriteerit. Pienen tuntuisella muutoksella vuosiluston paksuudessa on vaikkapa 40 vuoden ajanjaksolla hämmästyttävä vaikutus tukin tilavuuteen (kuva 5).



Kuva 5. Kokonaisläpimitaan 40 vuoden aikana syntyvä ero, mikäli vuosilustojen leveys muuttuu 2 mm:stä 3 mm:iin.

Niille, jotka epäilevät, voiko laatua ennustaa nuoresta rungosta jopa 50 vuoden päässä odottavaa sadonkorjuuta ajatellen, voi vakuuttaa, että mahdollisuudet ainakin tyvitukin

osalta ovat lupaavat. Kun oksat ovat kuolemaisillaan tai jo kuolleet, ei niiden paksuus enää muutu niiden jäädessä paksuutta kasvavan tyven sisälle. Näin ollen laadun lähtökohta on nuoressa rungossa silmin nähtävissä toisin kuin korjuukypsässä tukkirungossa, jossa kyljestyneet oksat ovat piilossa. Lopullisen laadun ennuste paranisi huomattavasti, mikäli mukaan voitaisiin ottaa ennuste oksien karsiutumisenesta.

Männyn jalostuksen mahdollisuuksista ja jalostusaineiston testaustilanteesta puhuminen herättää aina kysymyksen tulosten hyödynnettävyydestä metsänviljelyssä. Kuinka paljon lisää tuottoa jalostettu aineisto käytännössä antaa? Mäntysiemenviljelysten ensimmäisen polven kohdalla elävyyteen ja pituuskasvuun pohjautuvat arviot hyötyodotuksista ovat olleet vaatimattomampia, kuin joskus aikoinaan on lupailtu (Venäläinen ym. 1994). Todelliseen tilavuuteen ja laatuun perustuvat laskelmat ovat tosin vielä keskeneräisiä. Tässä yhteydessä esimerkkiaineistona olleen kenttäkokeen tuloksista yritettiin kuitenkin päätellä, minkä suuruista lisähyötyä on odotettavissa uusilta, nyt perusteilla olevilta männyn valiosiemenviljelyksiltä aiempiin verrattuna. Päätelmä perustuu kuvassa 4 esitettyihin tuloksiin ja toistuvan valinnan simuloinnissa käytettyyn valintasuhteeseen. Suhde oli yksi 5:stä, kun taas uuteen siemenviljelykseen voidaan valita klooneja jopa suhteella yksi 20:stä. Näyttää alustavasti ja ilahduttavasti siltä, että saavutettavissa oleva lisäkasvu olisi 12 % ja laadullinen lisä 8 % eli tuoton lisä yhteensä jopa noin 20 %.

Jospa uhkakuvat männyn viljelyn loppumisesta kokonaan olisivat sittenkin ennenaikaisia!

Kirjallisuus

- Dickmann, D.I. 1991. Role of physiology in forest tree improvement. Teoksessa: Koski, V (toim.) Biological systems in tree breeding. Joint meeting of IUFRO working parties in Tuusula, Finland. *Silva Fennica* 25(4): 248-256.
- Ericsson, T. & Danell, Ö. 1995. Genetic evaluation, multiple-trait selection criteria, and genetic thinning of *Pinus contorta* var. *latifolia* seed orchards in Sweden. *Scan. J. For. Res.* 10: 313-325.
- Gianola, D. & Norton, H.W. 1981. Scaling threshold characters. *Genetics* 99: 357-364.
- Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. *Silva Fennica* 19(4): 377-385.
- Heiskanen, V. 1966. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. *Acta Forestalia Fennica* 80(2): 1-62.

- Isomursu, P., Carlsson, C., Niskanen, V. & Eklund, P. 1995. Sumean logiikan mahdollisuudet. Tekes. Julkaisu 34/93. Helsinki. 5. painos. 100 s.
- Jussila, E. 1935. Raaka-aineen vaikutus sahatavaran laatuun. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikirja. 8: 24-38.
- Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatukasvatus. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Koikkalainen, P. (toim.) 1995. Neurolaskennan mahdollisuudet. Tekes. Julkaisu 43/94. Helsinki. 2. painos. 151 s.
- Kotimaisen rakennesahatavaran lujuusluokitteluohjeet. 1952. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Tiedoit. 93: 1-30.
- Kärki, L. 1984. Genetically narrow-crowned trees combine high timber quality and high stem wood production at low cost. Teoksessa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.) *Crop physiology of forest trees*. University press. Helsinki. s. 245-256.
- & Tigerstedt, P.M.A. 1985. Definition and exploitation of forest ideotypes in Finland. Teoksessa Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. (toim.) *Attributes of trees as crop plants*. Inst. Terr. Ecol. Monks Wood, Abbots Ribton, Hunts, U.K. s. 102-109.
- Kärkkäinen, M. 1982. Mäntyukkirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 96(5): 1-152.
- & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. *Folia Forestalia* 515. 28 s.
- Laitakari, E. 1936. Laatupuun kasvattamisesta. *Metsänhoitajien jatkokurssit 1935*. *Silva Fennica* 39: 259-270.
- Lappi-Seppälä, M. 1937. Karsimisesta arvopuun kasvatusta silmällä pitäen. *Metsänhoitajien jatkokurssit 1936*. *Silva Fennica* 42: 120-136.
- Oskarsson, O. 1995. Silmällä tehty savotta. Pluspuiden valinnan historia ja arki. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 579. 68 s.
- Persson, A. 1994. How genotype and silviculture interact in forming timber properties. *Silva Fennica* 28(4): 275-282.
- Pohjoismainen sahatavara. 1994. Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. 64 s. + 16 liites.
- Pöykkö, T. 1993. Selection criteria in Scots pine breeding with special reference to ideotype. Männyn jalostuksen valintaperusteet erityisesti viljelypuun ihannemallia soveltaen. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 6: 1-66.
- Sarvas, R. 1948. Metsäpuiden rodunjalostuksesta. *Silva Fennica* 64, 33-41.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality of plantation grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 80(2): 1-105.
- Velling, P. 1988. The relationship between yield components in the breeding of Scots pine. University of Helsinki, Department of Plant Breeding.
- Venäläinen, M., Annala, M-L., Kosonen, E., Rantanen, H. & Tynkkynen, H. 1994. Plusmäntyjen testaustulosrekisteri ja jalostushyöty. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 497. 89 s.
- Vuoristo, I. 1937. Havupuumetsien laatuarvo ja laadun arviointi. *Metsänhoitajien jatkokurssit 1935*. *Silva Fennica* 39: 232-247.

Valinnan vaikeus – metsäpuiden valintajalostuksen ongelmista ja näkymistä

Matti Haapanen
Metla, Vantaan tutkimuskeskus

Massavalinnasta jälkeläisarvosteluun

Metsänjalostuksen toimenpidevalikoima on varsin yksinkertainen: perusmenetelmänä on sukupolvittain toistuva valinta ja valittujen yksilöiden risteyttäminen. Menetelmä on sama, jota ihminen on käyttänyt jo tuhansia vuosia jalostaessaan hyötykasveja ja -eläimiä (Lush 1949). Menestyksellisen valintajalostuksen tuloksellisuuden edellytyksenä on onnistunut arvio yksilön perinnöllisestä arvosta. Tämä perustuu joko yksilön omaan tai sen sukulaisten – yleensä jälkeläisten – ilmiösuun. Esimerkiksi edellisestä käy männyn, kuusen ja koivun ensimmäisen sukupolven peruspopulaatioiden koostaminen, joka Suomessa aloitettiin 1940-luvun lopulla fenotyyppisenä pluspuuvalintana, tunnuslauseena "*luonnonmetsien parhaat yksilöt jalostuksen lähtökohdaksi*" (Oskarsson 1995). Arvostelussa päähuomio kiinnitettiin puiden kasvuun, elinvoimaisuuteen, rungon suoruuteen sekä latvuksen säännöllisyyteen ja hienooksaisuuteen (Sarvas 1953). Massavalinnan hyödynnettävissä oli koko luonnonmetsien perinnöllisen muuntelun kirjo. Tämän lisäksi valinnan seula oli erittäin tiheä: jokainen pluspuu on periaatteessa valittu miljoonien lajitoveriensä joukosta, olkoonkin että käytännössä valintatyö painottui tasaikäisiin yhden puulajin ns. plusmetsiköihin (Sarvas 1953). Ilmiösultaan erinomaisten pluspuiden valinta loi odotuksia huomattavasta kasvunlisäyksestä ja oksalaadun paranemisesta seuraavassa sukupolvessa. Jälkeläiskoeviljelyksistä saadut tulokset ovat myöhemmin osoittaneet nämä odotukset ylimitoitetuiksi. Ensimmäisen valintakierroksen realisoitunut hyöty on toki positiivinen, mutta vaatimaton suhteessa valinnan korkeaan intensiteettiin. Venäläinen (1994) arvioi massavalinnalla saavutetun pituuskasvun ja elävyyden paranemisen olevan männyllä Etelä-Suomessa suuruusluokkaa n. 2-4 %. Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös toisaalla (Morgenstern ym. 1975, Samuel ja Johnston 1979, Zobel ja Talbert 1984).

Mitkä tekijät sitten vaikuttavat valintahyötyyn? Valinnan voimakkuus eli intensiteetti ja populaatiossa olevan perinnöllisen vaihtelun määrä tulivat jo edellä mainituiksi. Kolmas ja mielenkiintoisin tekijä on ilmiösuun (fenotyyppin) ja jalostusarvon (additiivisen genotyyppin) välinen riippuvuus. Tämä tarkoittaa yleisemmin sen informaation laatua, johon jalostaja perustaa valintapäätöksensä. Fenotyyppinen vaihtelu etenkin kasvuominaisuuksissa on yleensä suurimmaksi osin ympäristöstä johtuvaa, ts. yksittäisen

puun ilmiön ja jalostusarvon riippuvuus on heikko. Ilmiön onkin kelvollinen valintakohde vain silloin, kun parempaa informaatiota jalostusarvosta ei ole käytettävissä, sillä ratkaisevaahan ei tietysti ole puun oma, vaan sen jälkeläisten menestyminen. Puiden jälkeläisarvostelua varten Suomessa on perustettu koeviljelyksiä yli 1800 kpl (Pajamäki ja Karvinen 1995). Koeviljelyksissä ympäristötekijöiden vaihtelu on vähäisempää kuin luonnossa keskimäärin ja sitä voidaan lisäksi kontrolloida tehokkaasti koejärjestelyjen avulla. Tämän seurauksena valintahyödyn voidaan odottaa olevan selvästi aikaisempaa suurempi. Kuitenkin myös jälkeläisarvosteluun liittyy epävarmuustekijöitä ja ongelmia, joita ei ole ratkaistu tai joiden merkitystä ei vielä edes kovin hyvin tunneta. Tämän kirjoituksen tarkoituksena on luoda lyhyt silmäys näihin ongelmiin. Peruskysymykset koskevat sitä, millaista jälkeläiskokeista saatava informaatio on ja miten sitä tulisi hyödyntää, jotta valinta johtaisi toivotunlaiseen perinnölliseen edistymiseen. Siirtyminen massavalinnasta jälkeläisarvostelun perusteella suoritettavaan valintaan merkitsee väistämättä valintatyön monimutkaistumista. Jalostajalta edellytetäänkin jatkossa harjaantuneen silmän lisäksi ennen muuta perehtyneisyyttä tilastotieteeseen ja kvantitatiivisen genetiikan teoriaan.

Valinnan ajankohta

Metsänjalostuksessa joudutaan tekemään kompromissi valintahyödyn ja valinta-ajankohdan välillä, koska puuyksilön taloudellinen arvo realisoituu kokonaisuudessaan vasta kiertoajan lopussa. Tässä suhteessa metsänjalostus eroaa huomattavasti viljelykasvien tai kotieläinten jalostuksesta, joissa kummassakin valintapäätökset voidaan lähes poikkeuksetta perustaa aikuisista yksilöistä kerättyyn informaatioon. Metsänjalostuksen kulmakivi onkin itse asiassa optimistinen oletus, että perinnölliset erot kiinnostavissa ominaisuuksissa tulevat riittävän luotettavasti esille jo nuoren iän ilmiössä (Lambeth ym. 1983).

Varhaisvalinnan tehokkuus ja optimaalinen valintaikä ovat metsänjalostuksen tutkituimpia kysymyksiä (mm. Kang 1985, Jiang 1987, Burdon 1989). Metsänjalostajan tehtävänä on maksimoida aikayksikköä kohti laskettu valintahyöty. Varhaisvalinnasta odotettava hyöty voidaan yksinkertaisessa tapauksessa laskea kaavasta

$$i_x h_x r_{gx.gy} s_{gy} x^{-1},$$

jossa i_x on valinnan intensiteetti, $r_{gx.gy}$ geneettinen ikäkorrelaatio varhaisen iän (x) valintatunnuksen ja tavoiteiän (y) jalostusarvon välillä, h_x periytyvyysasteen neliöjuuri ja s_{gy} jalostusarvojen keskihajonta (Nanson 1976). Optimaalinen valintaikä on se x , joka maksimoi yhtälöstä lasketun valintahyödyn. Yhtälö on yksinkertainen, mutta sen ratkaiseminen ongelmallista, koska geneettiset parametrit, eritoten $r_{gx.gy}$ ja s_{gy} ovat

pääsääntöisesti tuntemattomia (Lambeth 1983, Gill 1987), eikä riittävän varttuneita aineistoja niiden määrittämiseksi ole vielä saatavilla. Vanhimmat jälkeläiskokeet ovat Suomessakin vasta runsaan 30 vuoden ikäisiä, eli liian nuoria, jotta ikäkorrelaatioista ja geneettisestä vaihtelusta varttuneella iällä voitaisiin niiden perusteella tehdä sitovia johtopäätöksiä.

Vaikka tuntemattomia parametreja on yritetty arvioida eri tavoin (Nanson 1976, Lambeth 1980), päätös valintaiästä tehdään harvoin puhtaasti laskennallisin perustein. Suomessa on arvioitu, että kasvu- ja laatu-tekijöihin perustuvaa valintaa voidaan luotettavasti tehdä n. 10-15 vuoden ikäisissä jälkeläiskokeissa (Pitkätähdyksen... 1989). Useimmat tutkimustulokset antavat tukea tälle johtopäätökselle (Franklin 1979, Lambeth ym. 1983). Hyvin varhain, n. 1-5 vuoden iässä tapahtuva valinta on sen sijaan useimmiten havaittu epäluotettavaksi. Poikkeuksen muodostavat kestävyysominaisuudet, joiden suhteen taimivaiheessa tapahtuva valinta vaikuttaa erityisen lupaavalta (Pulkkinen ja Aho 1992, Aho ja Pulkkinen 1993). Kasvuominaisuuksien kohdalla perinnöllisten erojen vakiintuminen riippuu todennäköisesti enemmän puuston kehitysvaiheesta, etenkin latvuston sulkeutumisen ajankohdasta, kuin iästä. Sekä Namkoong ym. (1972) että Franklin (1979) erottivat metsikön kehitysdynamiikassa kolme vaihetta, joiden kuluessa periytyvyysaste ja perinnöllinen varianssi vaihtelevat jyrkästi. Franklinin (1979) mukaan pituuskasvun periytyvyysaste on korkeimmillaan jonkin ajan kuluttua latvuskilpailun alkamisesta. Tällöin myös vaste valintaan on korkein. Yhtenä keinona valinnan varhaistamiseksi Franklin (1979) esitti koeviljelysten perustamista mahdollisimman tiheinä, jotta siirtyminen intensiiviseen kilpailuvaiheeseen tapahtuisi mahdollisimman nopeasti. On ilmeistä, että paras valintatulos saadaan puuston tiheydeltään ja kasvupaikkatekijöiltään vaihtelevissa koeviljelyksissä eri ajankohtina. Toistaiseksi tältä alueelta on niukasti tutkimustietoa (Magnussen 1991).

Perimän ja ympäristön yhdysvaikutus

Perimän ja ympäristön yhdysvaikutus ilmenee metsäpuilla siten, että klooniyksilöt, perheet tai alkuperät reagoivat ristiriitaisesti, kun niitä viljellään eri ympäristöissä. Tyypillinen esimerkki tästä ilmiöstä on puulajin maantieteellisen alkuperän menestyminen siirrettäessä siementä alkuperäalueen ulkopuolelle. Pohjois-Suomen olosuhteisiin sopeutunut mäntyalkuperä häviää etelään siirrettynä selvästi kasvussa eteläsuomalaiselle alkuperälle. Jälkimmäinen ei taas todennäköisesti menesty lainkaan jos sitä yritetään viljellä Lapissa.

Yhdysvaikutus heikentää valinnan tehokkuutta, jos puiden menestyminen valintaympäristössä, siis kentäkokeissa, poikkeaa siitä mitä se on itse metsänviljelyssä. Alkuperien ilmastollisesta sopeutuneisuudesta johtuvan yhdysvaikutuksen minimoimiseksi

puiden testaus suoritetaan pääsääntöisesti niiden omilla jalostusvyöhykkeillä sijaitsevilla koeviljelyksissä. Nämä vyöhykkeet, joita esim. männyllä on Suomessa 11 kpl, on rajattu siten, että suurilmastollinen (lämpösumma, kasvukauden pituus) vaihtelu kunkin vyöhykkeen sisällä on mahdollisimman pientä (Pitkätähtäyksen... 1989). Tästä huolimatta on mahdollista, että jälkeläiset reagoivat eri lailla esimerkiksi kasvupaikan ravinteisuuteen ja puiden väliseen kilpailuun. Merkittävä osa jälkeläiskoeviljelyksistä on Suomessa ns. testaustarhakokeita, jotka ympäristöolosuhteiltaan poikkeavat huomattavasti tavallisista metsäkasvupaikoista. Testaustarhat on usein perustettu ravinteiselle peltomaalle käyttäen jopa viisi kertaa normaalia korkeampaa istutus-tiheyttä. Valinnan edellytykset ovat niissä periaatteessa suotuisat: puut kasvavat ravinteisella ja tasalaatuisella maapohjalla nopeasti; lisäksi periytyvät erot tulevat testaustarhakokeissa yleensä selvemmin näkyviin kuin tavallisissa metsämaalle perustetuissa kenttäkokeissa. Toisinaan on kuitenkin esitetty epäily, menestyvätkö näin poikkeavissa olosuhteissa valitut yksilöt tai perheet parhaiten normaalissa metsänviljelyssä (Lindgren 1984, Hodge ja White 1992). Tuoreessa selvityksessä (Haapanen 1996) todettiin, että pituuskasvun geneettinen korrelaatio männyn jälkeläiskokeiden välillä (ks. Falconer 1952, 1981) on yleisesti melko alhainen, mutta testaustarhat eivät tässä suhteessa eronneet muun tyyppisistä kokeista. Testaustarhavalintoihin liittyvä riski lienee siis melko pieni. Onkin todennäköistä että tilastollisen analyysin perusteella havaittu yhdysvaikutus ei ole läheskään aina biologista, vaan se voi johtua esimerkiksi käytetyistä koejärjestelyistä (Matheson ja Cotterill 1990).

Kasvinjalostuksessa perimän ja ympäristön yhdysvaikutusta on käytetty hyväksi jalostamalla erikoistuneita lajikkeita, 'spesialisteja', jotka ovat hyvin satoisia tietyssä rajatussa ympäristössä. Kokonaistuotto on teoriassa korkein, kun jokaisessa ympäristössä viljellään juuri niihin olosuhteisiin parhaiten sopeutuneita genotyyppisiä. Metsäpuiden jalostuksessa yhdysvaikutuksen hyödyntämistä ei juuri ole yritetty; sekä ympäristöolosuhteiden kontrollointi että yhdysvaikutusta synnyttävien tekijöiden tunnistaminen on metsäpuilla huomattavasti hankalampi tehtävä kuin lyhytikäisiä, usein itsepölytteisiä viljakasveja jalostettaessa. Lisäksi metsänjalostuksen aineistot asettavat omat rajoituksensa; satojen puiden jälkeläisten systemaattinen testaaminen monen tyyppisillä kasvupaikoilla vaatisi kohtuuttomia resursseja. Metsäpuilla luonnollisempi strategia onkin suosia monessa eri ympäristössä keskimäärin hyvin menestyviä yksilöitä, 'generalisteja'. Burdon (1977) ehdotti, että metsäpuiden jalostuksessa päähuomio tulisi kiinnittää testattavien puiden sijasta itse koeviljelyksiin. Mikäli perimän ja ympäristön yhdysvaikutusta todella esiintyy, valintatyö kannattaa keskittää sellaisiin kenttäkokeisiin, jotka generoivat yhdysvaikutusta vähiten.

Ideotyyppijalostus vai "ideaton jalostus"?

Jalostustavoitteeksi on metsäpuiden jalostusohjelmissa tyypillisesti määritelty muutaman kasvu- ja oksalaatutunnuksen parantaminen toistuvan valinnan avulla (esim. Cotterill 1984, Borralho ym. 1992). Esimerkiksi männyn jalostuksen tavoitteeksi Etelä-Suomessa on kirjattu "*Ensisijainen ominaisuus, jota Etelä-Suomessa pyritään jalostamalla parantamaan, on pituuskasvu ja siitä johtuva rungon käyttöosan tilavuuskasvu.*" (Pitkätähhtäyksen... 1989). Virkkeestä on helppo huomata, että jalostustyön varsinaista päämäärää ei ole yksiselitteisesti määritelty, ellei siksi katsota sukupolven jaksoissa tapahtuvaa jatkuvaa vähittäistä edistymistä mainituissa ominaisuuksissa.

Vaihtoehtoinen lähtökohta on jalostustavoitteen etukäteen tapahtuva määrittely ns. ideotyyppin muodossa. Ideotyyppijalostuksen ajatus on lähtöisin kasvinjalostuksesta, jossa se on osoittautunut hedelmälliseksi. Ideotyyppillä tarkoitetaan mallia, joka käyttäytyy ennustettavasti tietyssä ympäristössä (Donald 1968) tai metsäpuille sovellettuna, mallipuuta joka maksimoi taloudellisen puuntuotoksen tarkoin määritellyssä ympäristössä, olettaen että puusato käytetään tietyn lopputuotteen valmistamiseen (Dickmann 1994). Viljelypuun ihannemallille, ns. satoideotyyppille on tunnusomaista runsas puuntuotos pinta-alayksikköä kohti sekä korkea satoindeksi, yhteyttämistuotteiden ohjaaminen puun taloudellisesti arvokkaimpaan osaan, runkoon (Pulkkinen ym. 1989). Viiteympäristönä on tiheänä perustettu yhden puulajin viljelymetsä, jonka kiertoaika on normaalia lyhyempi. Mutaation tuloksena syntyneiden harvinaisten kapealatvaisten puuyksilöiden on todettu täyttävän nämä vaatimukset (Pulkkinen 1991, Pöykkö 1993). Harvojen yksilöiden tarjoama geneettinen pohja on kuitenkin jalostusta varten liian kapea, minkä vuoksi valintaa on suoritettava myös peruspopulaatiossa hyödyntäen siinä vallitsevaa additiivista perinnöllistä vaihtelua (Pöykkö 1993, Dickmann ym. 1994). Tämä ei ole helppo tehtävä, koska valintakohteenä eivät ideotyyppijalostuksessa ole mitkään yksittäiset puutunnukset vaan hyvinkin paljon normaalista jalostusmateriaalista poikkeava, usein vain sanallisesti kuvailtu puun malli, jossa yhdistyvät useat suotuisat fysiologiset ja morfologiset tekijät. Käytännön ongelmana on, miten tämä abstraktio muutetaan valintaohjeiksi. Ideotyyppijalostuksen valintastrategiaa on metsäpuilla tutkittu tähän mennessä yllättävän vähän, lähinnä Van Damme ja Parker (1987) sekä Pöykkö (1993). Silmävaraisen arvioinnin ja sumean logiikan menetelmien soveltaminen saattaa jatkossa avata uusia mahdollisuuksia tällä verraten kartoittamattomalla alueella (Venäläinen ym. 1995, Venäläinen ym. 1996).

Miten puiden paremmuus ratkaistaan?

Tehokkaan valinnan edellytyksenä on peruspopulaation puiden järjestäminen niiden jalostusarvojen mukaiseen paremmuusjärjestykseen. Puun jalostusarvo on ennuste, joka kertoo miten sen jälkeläiset keskimäärin poikkeavat valitun ominaisuuden osalta koko

jälkeläispopulaation keskiarvosta, olettaen, että jälkeläisten isät ovat satunnaisotos kaikista vanhemmaispopulaation yksilöistä (Falconer 1981). Yksittäisen puun todellinen jalostusarvo on aina tuntematon, koska sen kaikista jälkeläisistä ei ole käytännössä mahdollista tehdä havaintoja. Itse asiassa mikään puu ei pysty elinikänsä aikana tuottamaan niin paljon jälkeläisiä, että kaikki mahdolliset perintötekijöiden yhdistelmät olisivat niiden joukossa edustettuina. Jalostusarvolle voidaan silti laskea estimaatti otoksesta, jonka muodostavat puiden koeviljelyksiin istutetut jälkeläiset ja niistä tehdyt havainnot. Kaikkien otosestimaattien lailla jalostusarvonkin luotettavuus riippuu sen otoksen ominaisuuksista, josta se on laskettu. Tämän vuoksi on ongelmallista, että otokset eri puiden jälkeläisistä ovat tyypillisesti hyvin vaihtelevia. Yhden puun jälkeläisiä voi olla istutettu yhteen tai kahteen, toisen taas jopa yli sataan koeviljelykseen. Tavoite, jälkeläisten vertaileminen yhdenmukaisissa olosuhteissa ei ole tällöin toteutunut, vaan aineistot ovat tilastollisesti epätasapainoisia. Jälkeläisarvostelua vaikeuttaa lisäksi kenttäkokeiden tuottaman informaation kirjavuus. Valinnan kannalta on ratkaisevaa, mikä on 1) havaintojen luotettavuus geneettisessä mielessä, ts. missä määrin ilmasujen vaihtelu kuvastaa todellisten jalostusarvojen vaihtelua, sekä 2) geneettinen korrelaatio havaintojen (valintatunnusten) ja varsinaisen jalostustavoitteen välillä (White ja Hodge 1989). Käytännössä kenttäkokeet ovat huomattavan erilaisia, mitä tulee ympäristötekijöiden vaihteluun, koejärjestelyihin, taimien kuntoon ja kokeiden ikään mittaushetkellä.

Testausaineistot eri puiden jälkeläisistä vaihtelevat siis sekä määrällisesti että laadullisesti. Tämä tulee ottaa huomioon päätettäessä menetelmästä, jolla puiden paremmuus ratkaistaan. Puut asetetaan paremmuusjärjestykseen jonkin mittaus-havaintojen funktiona saadun mittaluvun avulla. Yksinkertaisimmat funktiot perustuvat jälkeläiserien yli koko aineiston laskettuun, yleensä kokeiden keskiarvon ja varianssin suhteen korjattuun keskiarvoon (Cotterill ym. 1983). Tällainen funktio on esimerkiksi ns. menestystasomenetelmä (Hatcher ym. 1981). Korjatut keskiarvot ovat käyttökelpoisia erityisesti silloin kun testattavat puut ovat edustettuina likimain kaikissa kokeissa ja kokeista saatu testaustieto on samankaltaista (kokeiden ikä, koevirhe, mitatut tunnuksset jne.). Kun nämä edellytykset eivät täyty, marginaalikeskiarvoihin perustuvat menetelmät suosivat niitä puita, joista on vähiten testaustietoa (White ja Hodge 1989). Ne eivät myöskään tee eroa kokeiden geneettisen informaatioarvon (periytyvyysaste) välillä. Havaintoja voidaan toki painottaa koekohtaisten tekijöiden mukaan, kuten on tehty mm. Suomessa nykyisin käytössä olevassa menestystasomenetelmän parannetussa versiossa (Venäläinen ym. 1994). Ongelmana on kuitenkin, että painotuskertoimet ovat pitkälti subjektiivisia, eikä ole olemassa mitään yleispätevää kriteeriä, joka osoittaisi mikä kertoimien yhdistelmä todellisuudessa johtaa parhaaseen valintatulokseen.

Uusina menetelminä puiden jälkeläisarvosteluun ovat viimeksi kuluneen vuosikymmenen tehneet tuloaan kotieläinjalostuksen puolella jo 1950- ja 1960-luvulla kehitetyt ns. lineaariset ennustemallit BLP ("Best Linear Prediction") ja BLUP ("Best Linear Unbiased Prediction") (White ja Hodge 1989, Danell 1991, Verryn 1994, Jarvis ym. 1995). Näissä menetelmissä tuntemattomia jalostusarvoja ennustetaan fenotyyppisten havaintojen lineaarisena funktiona. Tämä edellyttää, että jokaiseen havaintoon liittyvä vaihtelu sekä havaintojen ja jalostusarvojen yhteisvaihtelu (kovarianssi) tunnetaan. Matemaattisesti voidaan osoittaa, että ennustemalleilla saadut jalostusarvot ovat sekä harhattomia että täsmällisiä, ts. ne poikkeavat mahdollisimman vähän todellisista jalostusarvoista (White ja Hodge 1989). Tästä huolimatta ennustemallienkin luotettavuus riippuu niille annetuista lähtöarvoista, geneettisistä parametreista, jotka, kuten jo aikaisemmin on todettu, tunnetaan metsäpuilla toistaiseksi melko huonosti.

Markkeriavusteisen valinnan mahdollisuudet

Molekyyligenetiikan menetelmien 1980-luvun alun jälkeen tapahtuneen nopean kehityksen tuloksena monien metsäpuiden perimän rakenne ja toiminta tunnetaan jo varsin hyvin. Ns. kvantitatiivisiin ominaisuuksiin vaikuttavien perintötekijöiden kartoittaminen on tuonut jalostajien ulottuville mahdollisuuden tehdä valintaa suoraan DNA-merkkigeenien perusteella ilman fenotyyppisiin mittauksiin liittyvää ympäristövirhettä (Neale & Harry 1994). Markkeriavusteinen valinta on mahdollista jo taimivaiheessa, joten se tarjoaa houkuttelevan vaihtoehdon pitkällisen valinta-risteytystestaus -ketjun nopeuttamiseksi ja siihen liittyvien kustannusten vähentämiseksi.

Metsänjalostajan näkökulmasta markkerivalinnan hyöty olisi ilmeisin niissä monigeenisesti säädellyissä ominaisuuksissa, jotka joko periytyvät heikosti tai joista fenotyyppisten havaintojen keruu on erityisen hankalaa tai kallista. Toistaiseksi geenikartoituksen kohteena ovat kuitenkin olleet lähinnä sellaiset ominaisuudet, joihin vaikuttaa melko vähäinen joukko geenejä ja joiden periytyvyysaste on korkea, esimerkkinä loblollymännyn puuaineen tiheys (Neale ja Williams 1991). Paradoksi on siinä, että juuri näiden ominaisuuksien jalostaminen on vaivatonta myös perinteisin keinoin. Tässä suhteessa merkkigeenit eivät tuone kaivattua apua lähitulevaisuudessa. Lisäksi markkerijalostukseen pätevät osittain samat rajoitukset kuin perinteiseen valintajalostukseen. Perintötekijöiden yhdistelmään suoraan kohdistuva valinta ei voi olla tuloksellista, mikäli siihen liittyvä ilmiasu on ennustamaton. Näin on esimerkiksi silloin, kun ominaisuuden fenotyyppisestä vaihtelusta merkittävä osa johtuu perimän ja ympäristön yhdysvaikutuksesta.

Siitä huolimatta, että molekyyli-genetiikan menetelmät tuskin tekevät perinteistä valintajalostusta kokonaan tarpeettomaksi, niistä todennäköisesti tulee jatkossa tärkeä osa metsänjalostuksen metodivalikoimaa. Tutkimuksen haasteena on löytää ne keinot, joilla jälkeläiskokeiden tuottama fenotyyppinen ja merkkipigeneihin sitoutunut genotyyppinen informaatio yhdistetään parhaalla mahdollisella tavalla palvelemaan tehokasta valintaa.

Kirjallisuus

- Aho, M.-L. & Pulkkinen, P. 1993. Evaluation of the frost hardiness of Scots pine seed orchard crops using early freezing tests. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 7. 8 s.
- Borralho, N., Cotterill, P. & Kanowski, P. 1992. Breeding objectives for pulp production of *Eucalyptus globulus* under different industrial cost structure. *Canadian Journal of Forest Research* 23 (4): 648-656.
- Burdon, R. 1977. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genetica* 26 (5-6): 168-175.
- Burdon, R. 1989. Early selection in tree breeding: principles for applying index selection and inferring input parameters. *Canadian Journal of Forest Research*. 19: 499-504.
- Cotterill, P. 1984. A plan for breeding radiata pine. *Silvae Genetica* 33 (2-3): 84-90.
- , Correll, R. & Boardman, R. 1983. Methods of estimating the average performance of families across incomplete open-pollinated progeny tests. *Silvae Genetica* 32 (1-2): 28-32.
- Dickmann, D., Gold, M. & Flore, J. 1994. The ideotype concept and the genetic improvement of tree crops. *Pinat Breeding Reviews*. Vol 12. (ed. Jules Janick). John Wiley & Sons, New York. 163-193.
- Danell, Ö. 1991. Prediction of genetic values - basic concepts and methods. Institution för Skogsbättring. Arbetsrapport nr 250. Uppsala. 30 s.
- Donald, C. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17: 361-403.
- Falconer, D. 1952. The problem of environment and selection. *American Naturalist*. 86: 293-298.
- 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd. ed. Longman Group Ltd. 340 s.
- Franklin, E. 1979. Model relating levels of genetic variance to stand development of four north american conifers. *Silvae Genetica* 28 (5-6): 207-212.
- Gill, J. 1987. Juvenile-mature correlations and trends in genetic variances in Sitka spruce in Britain. *Silvae Genetica* 36 (5-6): 189-194.
- Haapanen, M. 1996. Impact of family-by-trial interaction on the utility of progeny test methods for Scots pine. *Silvae Genetica* (painossa).
- Hatcher, A., Bridgwater, F. & Weir, R. 1981. Performance level - standardized score for progeny test performance. *Silvae Genetica* 30: 184-187.
- Hodge, G. & White, T. 1992. Genetic parameter estimates for growth traits at different ages in Slash pine and some implications for breeding. *Silvae Genetica*. 41 (4-5): 252-262.

- Jarvis, S., Borralho, N. & Potts, B. 1995. Implementation of a multivariate BLUP model for genetic evaluation of *Eucalyptus globulus* in Australia. Eucalypt plantations: improving fibre yield and quality. CRCTHF-IUFRO Conference Hobart, Australia. 212-221.
- Jiang, I. 1987. Early testing in forest tree breeding: a review. *Forest Tree Improvement*. 20: 45-78.
- Kang, H. 1985. Juvenile selection in tree breeding: some mathematical methods. *Silvae Genetica* 34 (2-3): 75-84.
- Lambeth, C. 1980. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. *Forest Science*. 26(4): 571-580.
- , Bujtenen, J., Duke, S. & McCullough, R. 1983. Early selection is effective in 20-year-old genetic tests of loblolly pine. *Silvae Genetica* 32 (5-6): 210-215.
- Lingren, D. 1984. Prediction and optimization of genetic gain with regard to genotype x environment interactions. *Studia Forestalia Suecica* 166: 15-24.
- Lush, J. 1949. *Animal Breeding Plans*. Iowa State College Press. 3. p. 439 s.
- Magnussen, S. 1991. Efficiency of early selections for stem volume and predictions of size distributions of selections in a red pine spacing trial. *Forest Science* 37(2): 593-612.
- Matheson, A. & Cotterill, P. 1990. Utility of genotype-environment interactions. *Forest Ecology and Management* 30: 159-174.
- Morgenstern, E., Holst, M. Teich, A. & Yeatman, C. 1975. Plus-tree selection. Review and outlook. Pub. no 1347. Can. For. Serv.
- Namkoong, G., Ursanis, R. & Silen, R. 1972. Age-related variation in genetic control of height growth in Douglas fir. *Theoretical and Applied Genetics*. 42: 151-159.
- Nanson, A. 1976. Juvenile-mature relationships, mainly in provenance and progeny tests. Proc. IUFRO Joint Meeting of Genetic Parties on Advanced Generation Breeding, Bordeaux: 99-120.
- Neale, D. & Williams, C. 1991. Restriction fragment length polymorphism mapping in conifers and application to forest genetics and tree improvement. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 545-554.
- & Harry, D. 1994. Genetic mapping in forest trees: RFLPs, RAPDs and beyond. *AgBiotech News and Information* 6(5): 107N-114N.
- Oskarsson, O. 1995. Silmällä tehty savotta - pluspuiden valinnan historia ja arki. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 579: 65 s.
- Pitkääntäytymisen metsänjalostusohjelma ja työsuunnitelma vuosiksi 1990-1999. 1989. Metsänjalostuksen tarkennustyöryhmä. Helsinki. (Moniste). 127 s. + liitteet.
- Pulkkinen, P. 1991. The pendulous form of Norway spruce as an option for crop tree breeding. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 2. 30 s.
- & Aho, M.-L. 1992. Estimation of frost hardiness in Scots pine by using single needle and whole plant freezing. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 4. 8 s.
- , Pöykkö, T., Tigerstedt, P. & Velling, P. 1989. Harvest index in northern temperate cultivated forests. *Tree Physiology* 5: 83-98.
- Pöykkö, T. 1993. Selection criteria in Scots pine breeding with special reference to ideotype. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 6.

- Samuel, C. & Johnstone, R. 1979. A study of population and inheritance in Sitka spruce. I. Results of glasshouse, nursery and early forest progeny tests. *Silvae Genetica* 28: 26-32.
- Sarvas, R. 1953. Ohjeita pluspuiden valitsemista ja ilmoittamista varten. *Silva Fennica* 80. 9 s.
- Van Damme, L. & Parker, W. 1987. Selection of *Picea mariana* for growing space efficiency. *Can. J. For. Res.* 17: 421-427.
- Venäläinen, M., Annala, M.-L., Kosonen, E., Rantanen, H. & Tynkkynen, H. 1994. Plusmäntyjen testaustulosrekisteri ja jalostushyöty. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 497. 89 s.
- , Pöykkö, T. & Hahl, J. 1995. The quality of young Scots pine stems in predicting the breeding value. Program and Abstracts of CTIA/WFGA Conference "Evolution and Tree Breeding", Victoria, BC. (Esitelmäabstrakti).
- , Hahl, J. & Pöykkö, T. 1996. Hyvistä jälkeläisistään todellinen pluspuu tunnetaan - nuorten runkojen laatu plusmäntyjen testauksessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 605: 21-33. (painossa)
- Verryn, S. 1994. Improving on Best Linear Prediction for Tree Breeding. Väitöskirja. Faculty of Biological and Agricultural Sciences. University of Pretoria. 98 s.
- White, T. & Hodge, G. 1989. Predicting breeding values with applications in Forest Tree Improvement. Kluwer Academic Pub., Dordrech, The Netherlands. 367 s.
- Zobel, B. & Talbert, J. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons. New York.

Jalojen lehtipuiden geneettinen monimuotoisuus – säilytä ja käytä

Mari Rusanen¹, Anu Mattila² ja Pekka Vakkari²

¹Metla, Vantaan tutkimuskeskus

²Metsänjalostussäätiö

Jaloilla lehtipuilla tarkoitetaan lehtipuulajeja, jotka ovat vaativia suomalaisissa olosuhteissa ja jotka tuottavat arvokasta puuainetta erityiskäyttöön. Useimmiten ryhmään luetaan kuuluvaksi tammi, vaahtera, saarni, vuori- ja kynäjalava sekä lehmus. Näiden lajien valtakausi Suomessa oli 5000-7000 vuotta sitten, minkä jälkeen ilmaston muuttuminen kylmemmäksi ja kosteammaksi sekä kuusen leviäminen maahamme heikensivät lajien asemaa. Myöhemmin myös ihmisen toimet kuten pellon raivaus ja lehmuksella niinen kiskonta rajoittivat lajien levinneisyyttä ja nykyisin lajit esiintyvät levinneisyysalueellaankin useimmiten puuryhminä tai yksittäispuina, varsinaiset metsiköt ovat harvinaisia.

Kun levinneisyyttä rajaavat sekä ilmasto että ekologiset vaatimukset ja ihmisen toiminta, seurauksena on, että esiintymät Suomessa ovat pieniä ja rikkonaisia toisin kuin pääpuulajeillamme, joilla myös siitepöly ja siemenet leviävät tehokkaammin ja laajemmalle. Taulukkoon 1 on koottu lajien ominaisuuksia, jotka ovat populaatiogeneettiseltä kannalta mielenkiintoisia.

Metsäpuiden populaatiogeneettiset tutkimukset Suomessa ovat tähän asti keskittyneet mäntyyn ja kuuseen, joiden ominaisuudet poikkeavat jaloista lehtipuista niin monessa suhteessa, ettei saatuja tuloksia voida yleistää näihin lajeihin. Populaatiogeneettistä tietoa tarvitaan kuitenkin pohjaksi sekä geneettisen suojelun suunnitteluun että viljelyaineiston oikeaan valintaan ja käyttöön.

Alkanut tutkimus

Metsätutkimuslaitos ja Metsänjalostussäätiö aloittivat vuonna 1995 tutkimuksen, jonka tavoitteena on selvittää tärkeimpien jalojen lehtipuulajiemme populaatiogeneettisen rakenteen pääpiirteet. Ensimmäisiksi kohteiksi valittiin tammi, vaahtera ja kynäjalava sekä menetelmäksi isoentsyymit neutraalin geneettisen muuntelun mittaajina. Isoentsyymit ovat tietyn entsyymiproteiinin variantteja, jotka pystytään erottamaan toisistaan elektroforeesilla niissä tapauksissa, joissa proteiinin sähköinen nettovaraus on

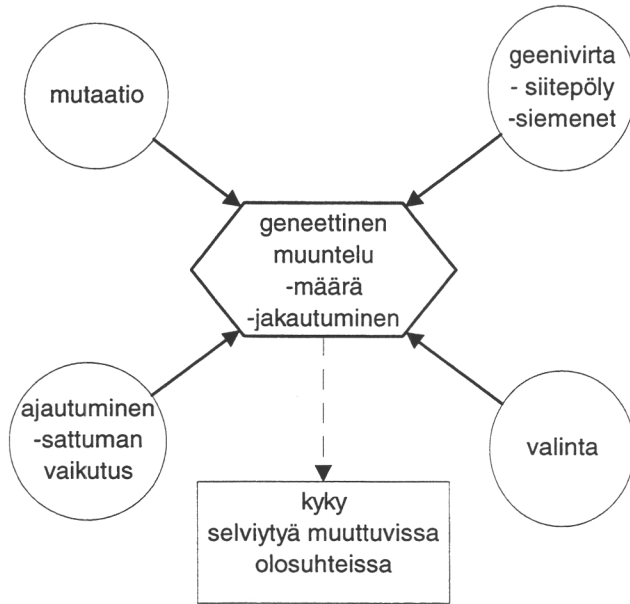
muuttunut. Proteiinit saadaan näkyviksi spesifisillä värjäyksillä, jotka perustuvat kunkin entsyymien katalysoimiin kemiallisiin reaktioihin.

Taulukko 1. Pääpuulajien ja jalojen lehtipuiden ekologisia ominaisuuksia.

Puulaji	Levinneisyys	Pölytyminen	Siementen leviäminen	Lisääntyminen
Mänty Kuusi Koivu	laaja yhtenäinen	ristipölytteinen tuuli	tuuli	suvullinen yksikotinen
Tervaleppä	metsiköitä vetiset maat	ristipölytteinen tuuli	tuuli	suvullinen yksikotinen
Tammi	pieniä metsiköitä	ristipölytteinen tuuli	raskaat terhot eläimet	suvullinen yksikotinen
Vaahtera	yksittäispuita tai ryhmiä	ristipölytteinen tuuli + hyönteis	tuuli	suvullinen yksikotinen
Saarni	ryhmiä	ristipölytteinen tuuli	tuuli	suvullinen yksi + kaksik.
Lehmus	ryhmiä, joissa klooneja	ristipölytteinen tuuli + hyönteis	tuuli	suvullinen yksik. + kasvullinen
Kynäjalava	ryhmiä, veden äärellä	ristipölytteinen tuuli	tuuli	suvullinen yksikotinen
Vuorijalava	ryhmiä	ristipölytteinen tuuli	tuuli	suvullinen yksikotinen

Havaituista isoentsyymeistä lasketaan tilastollisia tunnuslukuja kuten muuntelevien lokusten osuus tutkituista lokuksista, alleelien lukumäärä lokuksessa, alleelien frekvenssit populaatioissa ja heterotsygotia-aste. Menetelmän soveltaminen perustuu oletukseen, että tutkittavat lokukset ovat satunnaisotos lajin genomista ja että ne ovat neutraaleja eli eivät liity ominaisuuksiin, joihin luonnonvalinta vaikuttaa. Tunnuslukujen avulla saadaan arvio neutraalin geneettisen muuntelun määrästä sekä muuntelun jakautumisesta populaatioiden väliseen ja sisäiseen komponenttiin. Muuntelun määrä heijastaa lajin evolutiivista potentiaalia, kykyä selviytyä muuttuvassa ympäristössä, tilanteessa jossa valinta ei välttämättä suosi vallitseviin olosuhteisiin parhaiten sopeutuneita genotyyppisiä (kuva 1). Populaatioiden välisen muuntelun osuus havaitusta kokonaisuunneltelusta kuvastaa populaatioiden välistä erilaistumista, joka johtuu joko valinnan vaikutuksesta tai satunnaisajautumisesta. Satunnaisajautuminen on evoluutio-geneettinen tekijä, joka muuttaa populaation alleelifrekvenssejä puhtaasti todennäköisyyslaskennan lakien mukaisesti ja jonka vaikutus tulee näkyviin pienissä ja

eristyneissä populaatioissa. Satunnaisajautuminen ei pysty eriyttämään populaatioita toisistaan, jos niiden välillä on geenivirtaa. Geenivirran voimakkuutta voidaan siis osaltaan arvioida muuntelun jakautumisen perusteella, toisaalta siitepölyn ja siementen kulkeutumista arvioidaan suorilla havainnoilla ja mittauksilla.

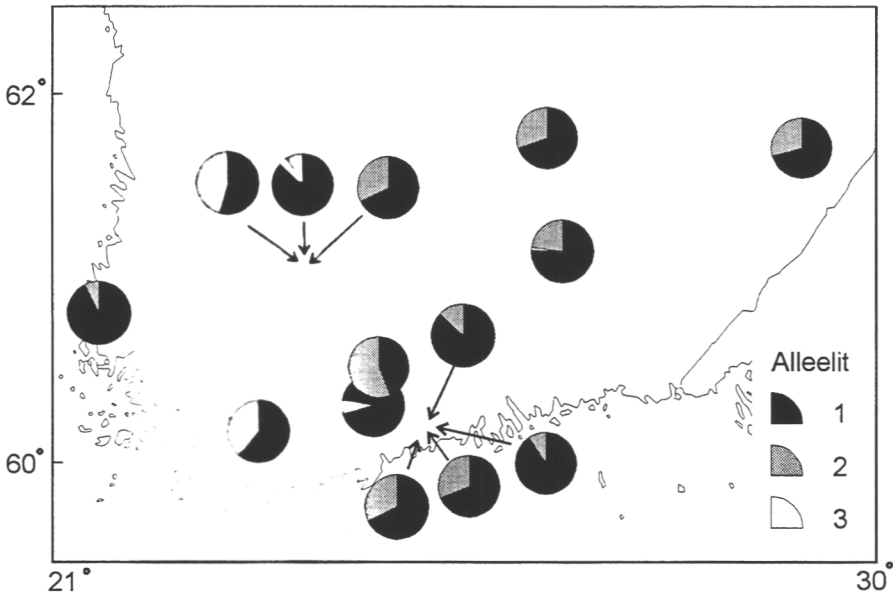


Kuva 1. Kaavakuva evoluutiotekijöistä.

Ensimmäiset tulokset tukevat oletusta, että jalot lehtipuut poikkeavat pääpuulajeistamme geneettiseltä rakenteeltaan

Mattila ym. (1994) on julkaissut ensimmäiset tulokset tammen populaatiogeneettisestä kartoituksesta Suomessa. Analyseissä oli mukana viisi luontaista populaatiota. Näissä populaatioissa keskimäärin 49,2 % lokuksista oli muuntelevia, mikä osuus sopii hyvin yhteen aikaisempien puuvartisilla koppisiemenisillä saatujen tulosten kanssa. Harvinaisten alleelien osuus oli huomattava aivan kuten keskieuropalaisissakin populaatioissa. Geneettisen muuntelun määrä ja jakautuminen suomalaisissa tammi-populaatioissa ei näyttänyt eroavan huomattavasti Keski-Euroopassa julkaistuista arvoista. Tutkitut populaatiot olivat kuitenkin maantieteellisesti pienemmältä alueelta kuin keskieuropalaisissa tutkimuksissa mukana olleet populaatiot, ja siten on mahdollista, että suomalaisten metsiköiden geenivirta on vähäisempää.

Ensimmäisessä vaahterapopulaatioiden kartoituksessa oli mukana 14 populaatiota eri puolilta vaahteran levinneisyysaluetta. Neljä tutkituista populaatioista oli selvästi viljeltyä tai viljellystä villiintynyttä alkuperää, loput ovat todennäköisesti luontaisia. Varmaa tietoa alkuperästä on useimmiten mahdotonta hankkia, koska vaahtera on ollut yleinen koristepuu ja istutuksia ei ole dokumentoitu. Päätelmät on tehty kasvupaikan ja asutuksen läheisyyden tai paikallishistorian avulla. Esitetyt geneettiset parametrit ovat alustavia tuloksia ja niitä voidaan tulkita vain suuntaa-antavina. Tulkintaa hankaloittaa, että vaahteralla ei ole julkaistu vastaavia populaatiogeneettisiä tutkimuksia, joten tarkastelu on tehty vain hyvin yleisellä tasolla. Vertailukohtana on käytetty Hamrickin (1992) metsäpuiden geneettisistä tutkimuksista kokoamaa laajaa yhteenvetoa, jossa on esitetty ryhmittäin laskettuja keskimääräisiä geneettisiä tunnuslukuja.



Kuva 2. SDH-lokuksen alleelifrekvenssit tutkituissa populaatioissa.

Populaatioista tutkittiin 14 entsyymilokusta, joista polymorfisten lokusten osuus kussakin populaatioissa vaihteli välillä 36-57 %, kun Hamrickin yhteenvedossa keskimääräinen osuus oli koppisiemenisillä puilla 60 %. Alleelien lukumäärä lokuksessa oli tutkituissa populaatioissa 1,4-1,9, mikä on vähemmän kuin koppisiemenisille esitetty keskiarvo 2,1 alleelia/lokus. Havaittu heterotsygotia-aste oli 0,066-0,177 ja populaatioiden erilaistumista kuvastava tunnusluku F_{ST} oli 0,126. F_{ST} :n arvoa voidaan verrata Hamrickin yhteenvedon G_{ST} -arvoon, jonka keskiarvo koppisiemenisillä oli 0,102.

Koppisiemenisillä on yleisesti ottaen populaatioiden välinen osuus muuntelusta suurempi kuin paljassiemenisillä. Jos populaatioiden välisen muuntelun osuus on 13 %, tämä osoittaa selvää populaatioiden välistä erilaistumista. Muuntelussa ei kuitenkaan ollut havaittavissa selvää maantieteellistä jakautumista, kuten SDH (shikkimaatti-dehydrogenaasi)-lokuksen alleelifrekvenssit eri populaatioissa havainnollistavat (kuva 2).

Jalojen lehtipuiden geneettinen suojele kokoelmassa

Suomalaisten jalojen lehtipuiden perimän suojeleminen on erityisen tärkeää siksi, että populaatiomme edustavat lajin sopeutumia levinneisyysalueen rajalla. Geneettistä suojelema koordinoidaan kansainvälisillä ohjelmilla (IPGRI, EUFORGEN), joiden sisällä kullekin maalle jää vastuu oman perimänsä suojelema. Voidaan hyvällä syyllä katsoa, että jalojen lehtipuiden suhteen Suomen vastuu on vähintään yhtä suuri kuin pääpuulajiemme suhteen. Erityisesti muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa omat alkuperämme ja niissä oleva muuntelu tulee olemaan arvokasta. Tällä hetkellä lisääntynyt viljely toisaalta auttaa lajin suojelema, kun arvostus kasvaa, mutta toisaalta uhkaa suomalaista perimää, koska varsin pienetkin ulkomaisen viljelyaineiston määrät muodostavat helposti suuren osuuden kunkin lajin viljelyaloista.

Pääpuulajiemme geneettisestä suojelema huolehditaan varaamalla erityisiä geenireservimetsiä, jotka ovat luontaisesti syntyneitä ja jotka uudistetaan tulevaisuudessa joko luontaisesti tai viljellen metsikön omasta siemenestä kasvatetuilla taimilla. Metsiköiden tulee olla riittävän suuria (100 ha) turvaamaan myös riittävä pölytys, joka takaa että jälkeläistö on muuntelevaa eikä sisällä liiaksi ympäröivien viljelymetsien geneejiä. Geenireservimetsät ovat ikään kuin pankeja, joissa paikallinen sopeutumiskyky ja geenijoukko talletetaan eri puolilla maata, vaikka lajit itsessään ovat monimuotoisia ja muuntelevia myös viljelymetsissä. Tällainen geneettisen säilyttämisen *in situ*-ohjelma on tehokas lajeilla, joilla on yhtenäinen levinneisyysalue ja voimakas geenivirta.

Erilaisen populaatorakenteensa vuoksi jalot lehtipuut tarvitsevat toisenlaisen säilyttämisstrategian. Metsiköitä, jotka sopisivat *in situ*-suojelema historiansa ja rakenteensa puolesta, on vähän. Useimmat jalojen lehtipuiden populaatiot ovat uhanalaisia jo pienuutensakin takia. Geneettisessä mielessä populaatiot ovat vieläkin pienempiä, koska yksilöt osallistuvat lisääntymiseen epätasaisesti, siemensadot ovat usein pieniä ja katovuosia on paljon. Jos populaatiot ovat selkeästi erilaistuneita, säilytetään yksittäisen populaation suojelema vain rajoitettu otos lajin suomalaisesta perimästä.

Jalolen lehtipuiden geneettisessä suojelussa on valittu päästrategiaksi *ex situ*-säilytys. Lajeittain perustetaan kokoelmia, joihin kerätään yksilöitä useasta eri populaatiosta. Perustaminen voi tapahtua joko varttamalla tai siemeniä kylväen. Kokoelmat suojataan ja taimet saavat alkukasvatuksen aikana tarvitsemansa hoidon. Menetelmä on huomattavasti kalliimpi kuin geenireservimetsien perustaminen, mutta tallettaa suuremman osan lajin muuntelusta. Lisätuna on, että kokoelmia voidaan myöhemmin käyttää myös viljelymateriaalin tuotantoon. Keinotekoisia, useita populaatiota yhdistelemällä tehtyjä lisääntymislähteitä tulee suosia erityisesti lajeilla, joilla luonnonpopulaatioissa on havaittu sisäsiittoisuutta. Suojeluohjelmaan voidaan myös sisällyttää geenireservimetsiä, joita tällä hetkellä on valittu yhteensä neljä (taulukko 2). Pääpuulajien geenireservimetsiä käsitellään normaalin hyvän metsänhoidon menetelmin, mutta jalot lehtipuut tarvitsevat pienipiirteiset hoitosuunnitelmat, joilla suositaan suojeltavaa lajia, erityisesti helpotetaan lajin luontaista uudistumista.

Taulukko 2. Jalolen lehtipuiden geenireservimetsät 1.2.1996.

Puulaji	Nro	Nimi	Kunta	Omistaja	Pinta-ala, ha
Lehmus	22	Niinisaari	Punkaharju	Metla	17
Vaahtera ja lehmus	23	Haarikonmäki	Punkaharju	Metla	5
Lehmus	24	Muukonsaari	Joutseno	Enso-Gutzeit	10
Saarni	33	Kalkkivuori	Hyvinkää	Enso-Gutzeit	30

Viljelyaineisto kannattaa valita huolellisesti

Metsänviljelyn onnistumiselle on ensisijaisen tärkeää, että käytetty alkuperä on hyvin sopeutunut kasvupaikalleen, ennen kaikkea vallitsevaan ilmastoon. Tärkeimmät viljelyvarmuuteen vaikuttavat ilmastolliset tekijät ovat kasvukauden pituus, ilmaston mereisyys tai mantereisuus sekä talven kylmin lämpötila. Näiden vaikutuksia voidaan tutkia luotettavimmin kenttäkokeissa, joihin sisällytetään eri alkuperiä. Toistaiseksi jalolen lehtipuiden kokeita ei ole perustettu laajassa mittakaavassa, koska kiinnostus viljelyyn on ollut vähäistä ja tuonti metsänviljelytarkoituksiin Suomen ulkopuolelta vielä vähäisempää. Tilanne on kuitenkin muuttunut, kun erityisesti tammen viljely on lisääntymässä ja saman aikaisesti tuonti EU-maista (Ruotsia lukuunottamatta) on vapautunut. Jalot lehtipuut kasvavat Suomessa luontaisen levinneisyysalueensa pohjoisrajalla, lajin kannalta katsottuna ääriolosuhteissa. Tämän takia kaikki siemensierrot on punnittava tarkoin ja pitkiä siirtoja voidaan suositella vain, jos niitä tukevat kokeista saadut tulokset.

Kotimaista viljelyaineistoa on saatavilla vain rajoitetusti. Jalojen lehtipuiden siemen-
viljelyksiä on vähän ja ne ovat tuhojen vuoksi huonossa tuotantokunnossa (Taulukko
3a). Viralliseen luetteloon on merkitty yhteensä vain viisi jalojen lehtipuiden siemen-
keräysmetsikköä, eikä niiden tuotantokunto ole tiedossa (Taulukko 3b).

Metsikkökeruut ovat työläitä ja luontaiset metsiköt sijaitsevat usein rauhoitetuilla
alueilla, siemensadot ovat epäsäännöllisiä ja siementen säilyvyys heikko. Tällä hetkellä
tammen yleisimmin käytetyt lisäyslätteet ovat Fiskarsin viljelymetsikkö ja Malmin
hautausmaa. Koska uusien siemenviljelyksien perustaminen ja kasvattaminen tuotanto-
kuntoon vaatii avomaalla aikaa parikymmentä vuotta, tulee kiireimmiten valita joko
luontaisia tai viljeltyjä metsiköitä, jotka sopivat siemenlähteiksi. Siemenkeräys-
metsiköitä valittaessa tulee yksilöiden laadun ja kasvun lisäksi ottaa mahdollisuuksien
mukaan huomioon populaatiogeneettiset näkökohdat kuten geneettisen muuntelun
määrä ja sisäsiittoisuus. Sisäsiittoista populaatiota ei missään tapauksessa voida käyttää
siemenlähteenä.

Taulukko 3a. Jalojen lehtipuiden siemenviljelykset.

Laji	Sv- nro	Paikka- kunta	Omis- taja	Per. vuosi	Pinta- ala, ha	Kloonien lkm	Tuotto, kg
Tammi	334	Inkoo	mh	1978	0,70	24	8,99
Saarni	328	Inkoo	mh	1978	0,60	28	
Vuorijalava	329	Inkoo	mh	1977	1,40	19	0,06
Kynäjalava	330	Inkoo	mh	1977	1,10	11	0,09
Lehmus	331	Inkoo	mh	1977	0,50	19	
Lehmus	333	Somero	mh	1977	1,80	26	

Taulukko 3b. Jalojen lehtipuiden siemenkeräysmetsiköt.

Laji	Metsikön nro	Paikka- kunta	Omistaja	Synty- tapa	Ikä, v	Pinta- ala, ha	Keräys- puita
Tammi	32	Turku	Turun kaupunki	luontai- nen	n. 190	1,30	60
Tammi	1088	Tammi- saari	Tammisaaren kaupunki	viljelty	97	0,50	24
Vuori- jalava	34	Pohja	Fiskars Oy	luontai- nen	n. 100	0,50	30
Saarni	36	Särki- salo	Forsström Oy	viljelty	75	0,30	40
Saarni	63	Tammi- saari	Tammisaaren kaupunki	viljelty	58	0,40	40

Jalot lehtipuut ovat rikkaus suomalaisessa luonnossa. Ne luovat vaihtelua maisemaan ja tarjoavat metsänviljelyyn ja puun käyttöön vaihtoehtoja. Arvokkaiden, mutta vähälukuisten lajien oikea käyttö edellyttää, että niiden geneettiset ominaisuudet tunnetaan sekä yksilöiden että populaation tasolla. Nyt aloitettu tutkimus palvelee metsänviljelyä ja luontaisten jalopuumetsiköiden hoitoa sekä luo pohjan luonnon monimuotoisuuden vaalimiselle myös geneettisellä tasolla.

Kirjallisuus

Hamrick, J.L., Godt, M.J.W. & Sherman-Broyles, S.L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6: 95-124.

Mattila, A., Pakkanen, A., Vakkari, P. & Raisio, J. 1994. Genetic variation in English oak (*Quercus robur*) in Finland. *Silva Fennica* 28(4): 251-256.

Jalojen lehtipuiden luontaiset esiintymät - menneisyyden jäänteitä vai huomisen puita?

Juha Raisio

Metla, Vantaan tutkimuskeskus

Tammet, saarnet, vaahterat, jalavat ja lehmukset kasvavat meillä aivan levinneisyytensä pohjoisrajalla. Niiden elinvoimaisimmat luontaiset esiintymät säilynevät myös tulevien polvien iloksi jäänteinä menneiltä lämpökaisilta. Säilyminen ei kuitenkaan ole ollut aivan itsestään selvää. Kunnollista selvitystä jalopuualasta ei ole, mutta sitä on arvioitu olevan ehkä 500-700 ha. Jo Etelä-Ruotsissa jaloja lehtipuita on n. 150 000 ha, josta tammimetsiä n. 50 000 ha ja pyökkiä suunnilleen saman verran.

Jalojen lehtipuiden geneettisen suojelun päästrategiaksi on valittu *ex situ*-säilytys (Rusanen ym. 1996). Useista eri populaatioista kerätään yksilöitä kokoelmiin. Niissä eri alkuperien puut pääsevät risteytymään ja lajin geneettinen monimuotoisuus voi jopa lisääntyä. Harvinaisuutensa vuoksi luontaiset jalopuumetsiköt pyritään säilyttämään myös *in situ* – paikoillaan. Esiintymillä on arvoa erityisesti jalopuiden geneettisen vaihtelun lähteinä ja monen eliölajin elinympäristönä (esim. Rassi ym. 1991). Säilyminen varmentuu, jos puustoa hoidetaan jalopuita suosien. Geenireserveiksi on valittu tähän mennessä neljä jalopuukohdetta (Rusanen ym. 1996). Näissa pyritään varmentamaan lajien säilyminen uudistamalla jalopuustoja luontaisesti tai joissakin tapauksissa keinollisesti. Uudistamista vaikeuttaa siemenvuosien jaksottaisuus (tammi 3-7 v, saarni 2-4 v ja lehmus satunnaisesti), sopivien uudistumisalojen puute ja ruohovartisten kilpailu. Pelkästään jyräjät ja hirvi saattavat tehdä tyhjiksi kaikki uudistumistoiveet.

Merkittävä osa esiintymistä on mukana lehtojensuojeluohjelman varauksissa (Alapassi ja Alanen 1988). Jo aiemmin on jalopuukohteita suojeltu yksittäisin rauhoituspäätöksin (Ympäristöministeriö 1989, Osara 1989). Molemmat jalavalajit on rauhoitettu, sekä Ahvenanmaalla ympärysmitaltaan yli 170 cm tammet. Uudessa luonnonsuojelulaki-esityksessä ehdotetaan luontaiset jalopuuesiintymät suojeltaviksi luontotyyppeinä (Ympäristöministeriö 1996).

Lämpimien ilmastojaksojen jäänteitä

Jalot lehtipuut levisivät jääkauden jälkeen useassa vaiheessa ja osin eri suunnista. Niiden esiintyminen on ollut laajinta lehtipuukaudella 5 000-7 000 vuotta sitten. Kynäjalava ja pähkinäpensas saapuivat ensimmäisinä jalopuina jäätikön vetäytyessä kaakosta

Karjalan kannasta pitkin. Kynäjalavan tuloa nopeutti jääkauden jälkeinen vähittäinen rantojen siirtyminen (Linkola ja Väänänen 1938). Kylmemmät kaudet sekä idästä levinnyt kuusi aiheuttivat taantuman ja vetäytymisen takaisin kohti etelää, mutta paikallisesti ja ajoittain lajit ovat voineet levitä uudelleen. Vuorijalavan nykyiset hajanaiset esiintymät ovat aiemman levinneisyyden jäänteitä. Lehmus jäi sinnittelemään pääosin kasvullisen uudistumisen turvin esiintymisensä pohjoisrajalla.

Myöhemmin laidunnus, kaskeaminen ja viljelymaan raivaus pirstoivat jalopuulehtoja. Ruissaloo kaskettiin ja alettiin raivata viljelykseen 1540-luvulla (Perälä 1979). A.G. Blomqvist (1869, s.102) mainitsee matkakertomuksissaan Lohjan Jalassaaren peltojen raivaamisesta: "*En del af den mark, der ekar förr vuxit i större mängd, har blifvit uppodlad, hvilket syntes af en på åkrarne qvarstående stubbe af detta trädslag*". Niinipuu saattoi hyötyä kuloista, sillä se uudistui vegetatiivisesti nopeammin kuin muut puut. Vasta kaskeaminen ja jatkuvan peltoviljelyn alkaminen aiheutti lehmuksen ja muiden jalopuiden kylmien kausien jälkeisten esiintymien selvän vähenemisen.

Metsiköitä harsittu ja niintä kiskottu

Tammimetsiköistä on toistuvasti harsittu parhaita puita. Se on todennäköisesti heikentänyt metsiköiden geneettistä laatua. Puuston päästessä heti uudistumaan on vahinko voinut osittain korjautua. Ruotsin laissa säädettiin uuden ajan alussa hedelmää tuottavat puut, erityisesti tammi kruunun omaisuudeksi. Jo 1300-luvulla oli puumaiset tammetsikat julistettu rauhoitetuiksi. Rahvas alkoi siksi vieroksua ja salaa hävittää tammia (Hinneri 1996). Ruotsin suurvaltakautena (1630-1710) kruunu poimi hyviä runkoja laivanrakennusta varten. Isonvihan aikana (1713-1721) venäläiset verottivat rannikoiden tammimetsiä. Tukkeja tarvittiin Venäjän laivaston rakentamiseen ja Pietarin paaluttamiseen (Perälä 1979).

Vuosina 1796-99 Ruissalosta kaadettiin 710 arvokkainta tammien runkoa maaherra Willebrandin toimesta (Perälä 1979). Leppävaaran kartanon tammetsikat hakettiin Suomeen linnaa rakennettaessa (Söyrinki 1952). A.G. Blomqvist (1869, s.101) kertoo Lohjan Jalassaaresta kaadetun talvella 1867-68 useita kuormia tammipuuta: "*Under föregående vinter hade här blifvit afverkadt ej mindre än 50 lass ekvirke för export - en mindre skonsam behandling af ett allt mer försvinnande trädslag*". Taivassalosta ja Rymättylästä vietiin yli 400 tammitukkaa sotakorvauksina vielä toisen maailmansodan jälkeen (Hinneri 1996).

Kuva 1. Hyviä, suoria noin 50-60 vuotiaita tammia Ruissalon kansanpuistossa



Niiniverotus loppui jo 1600-luvun alkuun mennessä lehmuksien huvetessa. Vuonna 1542 kaadettiin koko maassa yhteensä 699 verorunkoa (lpm 20 cm); vuonna 1600 luku oli enää 63. Kotitarpeiksi kaadettuja lienee ollut moninkertainen määrä (Hertz 1925). Nuorista puista kiskotusta kuoresta saatiin liuottamisen jälkeen niintä, josta tehtiin esimerkiksi köysiä ja verkkoja. Niintä kiskottiin paikoin vielä viime sotien jälkeen.

Jalopuista veistettiin työkalujen varsia, ja hevosvaljaitten luokkeja. Niitä on tehty ainakin saarnesta, vaahterasta ja jalavista. Etelä-Hämeessä luokkipuunotto on voinut hävittää pieniä puuryhmiä, samoin lääketervan tislauksella on verottanut saarniesiintymiä (Linkola ja Väänänen 1938, Laitakari 1955). Pariisin maailmannäyttelyn Suomen paviljongin lattia sahattiin Nurmijärven lehtojen vaahterarungoista (ks. Hjelt 1911).

Jalopuita on myös viljelty

Jalopuiden viljelyllä ei aiemmin historiassa ole ollut ratkaisevaa merkitystä levinneisyyteen. Istutuksiin on käytetty usein paikallista alkuperää. Kuitenkin monin paikoin tammi ja vaahtera on alkanut levittäytyä istutuksista ympäristöön. Viime vuosikymmeninä on esimerkiksi alkuperältään keskieurooppalaista vaahteraa istutettu koriste-

puuksi siinä määrin, että sillä voi tulevaisuudessa olla merkitystä jopa lajin perimän kannalta. Tammia on kerrottu istutetun Juhana-herttuan toimesta 1500-luvulla Ruis-saloon. Tästä ei ole kuitenkaan ole todisteita (Perälä 1979). Turun Akatemian hyödyn ajan väitöskirjoissa käsiteltiin myös jalojen lehtipuiden esiintymistä, viljelyä ja käyttöä (esim. Crusell 1757, Palander 1767).

Jaloja lehtipuita on aikanaan saatettu tuoda ruukkiihdyskuntiin, esimerkiksi Fagervikiin, jonka puistoa myös A.G. Blomqvist (1869, s.102) ihasteli "*Af särdeles intresse var att under genomresa besöka den till Fagervik hörande trädgård, der man ser en större mängd utländska trädslag än på något annat ställe i lande*". Porvoossa Wirvikin kartanon tammetsat ovat Saelanin (1858) mukaan peräisin Eestistä. Blomqvist (1869, s. 106) kertoo Brödtopissa näkemästään taimitarhasta: "*En plantskola med alm, gran, lönn och något lärkplantor finnes här äfven, härifrån mindre utplanteringar i skogen och på ängsbackar blifvit gjorda*". Aivan 1700-luvun lopulla perustettiin Akatemian kanslerin Gustaf Mauritz Armfeltin toimesta Åminnen (Joensuu) kartanoon jalopuumetsikkö, johon istutettu tammea ja lehmusta. Näidenkään puiden alkuperää ei tunneta, mutta ne saattavat olla ulkolaisia. Joensuun siemenillä on myöhemmin 1920-luvulla perustettu Fiskarsin tammiviljelmät. Torsten Ranckenin toimesta on 1920 ja -30-luvuilla perustettu useita menestyneitä, luontaisen oloisia saarni-istutuksia. Nämä ovat voineet vaikuttaa käsityksiimme saarnen esiintymisestä etelärannikon tuntumassa.

Jalopuut voivat levitä uudelleen

Olosuhteiden salliessa jalopuut voivat alkaa jälleen levitä. Ilmaston mahdollinen lämpeneminen saattaa parantaa niiden kilpailuasemaa. Tosin muutos voi myös merkitä epävakaistumista, josta harva laji hyötyy. Uudenkaupungin saaristossa maa kohoaa vajaan sentin vuodessa, ja uusia jalopuulehtoja voi vieläkin syntyä tuoreille veden alta paljastuneille rannoille. Saarnen ja vaahteran siemenet voivat levitä syksyisiä ja keväisiä jää- ja hankipintoja myöten. Tärtön Pernunkarissa on tällainen varsin äskettäin kehittynyt, noin puolen hehtaarin lehtoalue. Rannalla kasvaa tervaleppää, osin niiden joukossa parikymmentä saarnea ja vähän ylempänä vielä viisitoista puumaista vaahteraa (Alapassi ja Alanen 1988, Hinneri 1994). Lähisaaristossa on lisäksi joitakin muita pieniä saarni-vaahteralehtoja. Lehmusta esiintyy Satakunnassa sisämaassa, mutta vain vähän nopeasti kohoavalla rannikkovyöhykkeellä (esim. Kauser 1972, Kalinainen ja Hakila 1985). Lehmuskin voi suotuisissa olosuhteissa levitä. Söyrinki (1985) löysi Ruovedellä siementaimia 75-100 m päästä emopuusta ja Pigott (1981) havaitsi taimia 300 m päässä lähimmistä lehmuksista Evon Upinniemiellä.

Meillä kynäjalava on sopeutunut järvien rannoille; Keski-Euroopassa se on jokivarsien laji. Se sietää keväistä jäiden puskemista huomommin kuin tervaleppä, mutta on niiden

joukossa kärkkymässä taimettumiseen sopivia paljastumia. Kynäjalavan siemen voi pysyä pinnalla pari vuorokautta ennen vajoamistaan (Saarnijoki 1942). Halikon Märyssä, Pihkon tammilehdon lähistölle hakkuuaukkoihin on noussut luontainen tamentaimikko. Samanlaista nuorennosta on nähtävissä usean muun tammimetsikön ympäristössä. Terhoja levittävät metsiin erityisesti närhet, jopa kilometrien matkoja sopiviin aukkoihin (Bossema 1979, Mosandl ja Kleinert 1995). Jo Reuter (1913b) teki havaintoja tammen leviämisestä uusille alueille Paraisten Lenholmissa. Myyrät ja hiiret voivat kuljettaa siemeniä puiden latvuksen alta muutamia tai korkeintaan kymmeniä metrejä.



Kuva 2. Hakkuuaukealle syntynyt luontainen tamentaimikko Halikon Märyssä

Tammia kalliomäkien katveissa

Tammea esiintyy Uusikaupunki-Laitila-Piikkiö-Salo-Lohja-Espoo-Porvoo -linjan eteläpuolella. Solantien (1983) mukaan tammen luontaisen levinneisyyden pohjoisrajaa kuvaa hyvin 144 vrk isoviiva, jolla kevään +5 ja syksyn +10 asteen keskilämpötilojen välisen kauden pituus 1931-1960 oli 144 vrk. Terhojen ja seuraavan vuoden kukka-aiheiden kehittymisen kannalta on merkitystä niillä loppusyksyn päivillä, joiden keskilämpötila kohoaa +10 asteeseen.

Tammelle ovat jääneet usein kuivahkojen kallioisten mäkien katveet. Niistäkin peltoa on vähitellen voitu raivata lisää (Hinneri 1996). Tammi selviää näillä paikoilla

suhteellisen syvään ulottuvan juuristonsa avulla ja se sietää useimpiin kesiin osuvia kuivia jaksoja kuusta paremmin. Solantie (1983) korostaa tällaisten paikkojen lämpö-
taloudellista edullisuutta. Kalliomäet keräävät lämpöä pitkään syksyllä ja luovuttavat
sitä ympäristöön. Useat Vakkasuomen tammimäistä ovat yhä merestä kohottuaankin
käytännössä saaria, nyt keskellä peltoaukeita. Tammi ei välttämättä ehtinyt levitä
ympäristöön, sillä pellot on otettu suoraan viljelyyn ennen kuin ne ovat ehtineet
metsittyä (Hinneri 1994, 1996). Geenivirta siitepölyn tai siementen välityksellä saattaa
suhteellisen lähekkäistenkin tammimäkien välillä olla rajoitettua.

Tammen luontaista uudistamista ei meillä ole juuri kokeiltu. Espoon Laaksolahdessa on
kuitenkin muutaman tammen alle saatu kasvamaan silminähden täystiheä, nyt jo
kertaalleen harvennettu nuorpuusto. Huonoina terhovuosina lähes kaikki siemenet
kuluvat hyönteisten ja muiden eläinten ravinnoksi. Vain hyvinä vuosina syntyy
riittävästi ylijäämää, jonka turvin uutta nuorennosta ja leviämistä pääsee tapahtumaan.
Vuosisikymmenen vaihteessa on ollut ainakin pari tällaista vuotta.



Kuva 3. Luontainen tammen nuorennos Espoon Laaksolahdessa

Tammihakamaat

Useimpia luontaisia tammikoita lienee joskus laidunnettu. Varsinaisten hakamaiden puusto on usein harvahkoa ja aukkoista, jolloin reunapuiden siementuotto voi olla runsasta. Karja syö kuitenkin lehtipuiden nuorennosta jättäen kuusentaimit jäljelle. Hakamaakasvillisuus säilyy vain laiduntamalla.

Jalopuiden luontainen uudistuminen edellyttää sen sijaan laiduntamistaukoja ja kuusien poistoa. Turun kaupungin metsänhoitokonsulentti Hj. Carpelan esitti v. 1898 laiduntamiskieltoa Ruissalon metsiin, jotta tammen nuorennos säästyisi. Kielto toteutui v. 1903, jonka jälkeen uusi tammisukupolvi nousikin (Rainio 1979). Paraisten Lenholmenilla saaristotien pohjoispuolta laidunnettiin 1940-luvulle asti. Karjan jäljiltä ei ilmeisesti jäänyt juurikaan tammen nuorennosta. Tammihaka on muuttunut havusekametsäksi, jossa vieläkin kasvaa seassa joitakin tammia ja lehmuksia (Lindgren 1995). Saaristotien eteläpuolta Lenholmenilla laidunnetaan yhä ja siellä hakamaa on säilynyt. Karjankäyntiä rajoitettiin aikanaan, jotta tammi olisi päässyt uudistumaan (Reuter 1913ab). Uudistumisesta päätellen jotkut lohkot ovat välillä olleet aidattuina karjalta. Ylilaidunnus näkyy eräillä lohkoilla puuston ikääntymisenä ja ränsistymisenä sekä nuorennoksen puuttumisena.

Lehmus on levinnein jalopuu

Lehmus esiintyy Suomessa vain hyvillä kasvupaikoilla (Kujala 1980). Paikallisesti sitä voi tavata lähes yleisesti, kuten Espoon Nuuksiossa (Espoon ympäristönsuojelulautakunta 1987). Vantaalla metsälehmusta kasvoi 73:lla 246:sta kasvillisuusruudusta (1x1 km) (Ranta ym. 1996). Nurmi (1995) löysi Kiskon, Suomusjärven ja Kiikalan alueilta lehmusta 95:llä 210:stä kasvillisuusruudusta (1x1 km). Ruovedellä on ainakin kolmisenkymmentä lehmusesiintymää, joista useimmat nuoria emopuun kaatamisen jälkeen syntyneitä vesaryhmiä tai pieniä puita (Söyrinki 1985). Esiintymisen pohjoisraja kulki vielä joitakin vuosikymmeniä sitten suunnilleen Kristiinankaupungin-Laihianlialmen-Nurmeksen kautta kohti Korpiselkää Venäjän puolella (esim. Kihlman 1898, Linkola ja Väänänen 1938).

Aiempaa levinneisyyttä voi ounastella nykyisten esiintymien pohjoispuolelta löydettävistä niini -alkuisista paikannimistä. Alavudella oli Niinikangas-niminen torppa v. 1867, jonka lähistöllä kerrottiin aiemmin kasvaneen lehmuksia (Blomqvist 1869, s. 20). Nykyisin lehmusta kasvaa paikkakunnalla Kuorasjärven Etelä-Majasaarella kahdessa paikassa (Alapassi ja Alanen 1988). Lehmus uudistuu varsin huonosti suvullisesti, mutta kanto tai kaatunut runko voi olla alkuna ryppäälle uusia vesataimia

(esim. Hertz 1925, s.66-67). Kasvullinen uudistuminen onkin sen pelastus pohjoisimmissa esiintymissä.

Lehmus kukkii heinäkuun lopulla, eikä siemen ehdi useinkaan kypsyä (Pigott 1981). Syyskuun lämpötilasumma ratkaisee siemenen kypsymisen. Puiden ristipölytys voi jäädä vähäiseksi, jos mesipistiäiset keräilevät vain yhden kookkaan puun kukinnoissa kerrallaan. Jo muutama lähekkäinen puu voi pölyttyä pääosin tuulen välityksellä. Kurun Niinimäessä on parikymmentä kookasta puumaista lehmusta. Rinteellä on ollut aiemmin laajempi lehmusmetsikkö, joka on laiduntamisen myötä pienentynyt nykyiseksi (esim. Kihlman 1898, Hertz 1925). Samoin Ilmajoen ja Jurvan rajalla, Äijänpellossa oli vielä 1920-luvulla huomattavasti enemmän lehmuksia. Alue on nykyisin lehtojen-suojeluohjelman kohde (Salo 1936, Alapassi ja Alanen 1988). Tällaisissa tapauksissa jäljelle jääneet puut voivat olla enää muutamaa kloonina, jolloin itsesiitoksen yleisyys voisi myös selittää siementen huonoa itävyyttä (Tigerstedt, suullinen tieto).

Lehmus uudistuu kuitenkin myös siemenestä. Siementaimia on havaittu mm. Viipurin Monrepossa (Hertz 1925), Bromarvin Solbölessä (Perttula 1930), Lammilla (Pigott 1981). Söyrinki (1985) löysi useita siementaimia Ruoveden Kukonpohjasta 62. leveysasteen tuntumasta. Myös Halikon Vaisakossa pellolle istutetun koivikon alla on erikokoisia lehmuksen (siementaimia (Metsäntutkimuslaitos 1995). Lehmusta kasvaa tammimetsiköissä, Vaisakossa se on paikoin valtalaji (Metsäntutkimuslaitos 1995). Sitä esiintyy saarissa, etelärannikon tuntumassa esimerkiksi Kaarinan Jauhosaarella tai sisämaassa Kiskon MikkoHolmassa, Pälkäneen Hausalossa ja Joutsenon Muukonsaarella (Alapassi ja Alanen 1988). Useat pohjoiset lehmuskantapuut ovat saarissa. Lehmusta tapaa myös ilmastollisesti edullisilla harjujen rinteillä, purojen varsilla tai kallioiden alla (esim. Hamari ym. 1992). Lehmus on jäänyt sinnittelemään kantovesojen turvin, kun pieniä lehmusmetsiköitä on kuusetettu viimeisten vuosikymmenien aikana. Joitakin tällaisia esiintymiä olisi palautettavissa lehmukselle.

Vaahtera

Yksittäispuina vaahtera ei ole harvinainen eteläisessä Suomessa. Joiltakin alueita se kuitenkin puuttuu lähes tyystin, kuten Satakunnan sisäosista (Kause 1972, Kalinainen ja Hakila 1985, Hinneri 1982). Vaahtera villiyytyy helposti istutuksista ja usein on metsissä kasvavista puista vaikea päätellä, ovatko ne luontaisia vai vai pihoilta kylväytyneitä (Linkola ja Väänänen 1938). Helsingissä Viikin vaahterametsikköä hoidetaan puistometsänä. Metsikkö on hyvin luontaisen oloinen, mutta alkuperäinen sekään ei liene. Pieniä, luontaisenoloisia vaahteraryhmiä on mm. Parikkalassa, Ruokolahdella, Luhangalla, Asikkalassa, Lammilla, Kalvolassa, Uudessakaupungissa ja Espoon Nuuksiossa. Vaahterametsiköitä on kuitenkin hyvin vähän ja ne ovat pieniä. Vaahteraa

löytyi 66 lehtojensuojeluohjelman kohteesta, joista vain kahdessa se muodosti metsikön (Alapassi ja Alanen 1988).

Joitakin vaahteraryhmiä on hakkuissa kaadettu kuusen tieltä. Maanomistajaa on jälkikäteen ehkä vaikea vakuuttaa, että kannoista vesovat pensasmaiset yksilöt voivat olla geneettisesti arvokkaita ja siten säilyttämisen arvoisia. Siemenlähteiksi sopivia metsiköitä ei juuri ole. Vaahtera on sopeutunut hyvin kasvamaan välipuuston asemassa, sillä jo pieni puu voi tehdä paljon siemeniä. Hyönteiset saattavat sopivasti tehostaa hajallaan kasvavien pienten vaahteroiden ristipölytystä. Sopivassa tuulessa lenninsiivellinen siemen voi lentää ilmassa pyörien jopa kymmeniä metrejä.

Vaahteran taimet sietävät varjoa, mutta harvoin niille avautuu tilaa kasvaa isoiksi puiksi. Harvoin metsässä törmää tukkipuun kokoiseen vaahteraan. Vaahteraa on tuotu runsaasti puistopuiksi. Maatilahallituksen tilastojen mukaan maahan tuotiin vuosina 1975-1989 lähes 250 000 vaahteraa (Maatilahallitus 1990). Jonkinlainen riski on meille huonosti sopeutuneen geeniaineksen kulkeutuminen siementen tai siitepölyn muodossa luontoon. Helsingissä Bulevardin varrella oli lokakuun lopussa 1995 vihreälehtisiä vaahteroita. Marraskuun lopulla lehdet olivat vielä kiinni puissa jäätyneinä, mutta yhä vihreinä. Kotimainen vaahtera pudottaa lehtensä yleensä lokakuun alkupuolella.

Saarnia korpinotkoissa

Lounaissaaristossa saarni on yleisempi kuin tammi. Sitä tapaa suhteellisen yleisenä esimerkiksi Uudenkaupungin saaristossa. Siellä ja muualla saaristossa saarni on levittänyt viime vuosien aikana uusille paikoille (Hinneri 1996). Sisämaassa saarnia kasvaa muun muassa Kiskossa, Suomusjärvellä, Karkkilassa, Hyvinkäällä, Lopella, Hattulassa, Asikkalassa, Valkealassa ja Kymissä (esim. Alapassi ja Alanen 1988, Nurmi 1995, Pykälä 1987, Godenhjelm 1995). Esiintymiä on vähän ja ne ovat kooltaan pieniä. Rakentaminen ja tontittaminen on pilkkonut saarnilehtoja Lohjan Vappulassa ja Nurmijärven Rajamäellä (Pykälä 1987, Toivonen 1985).

Saarni viihtyy sisämaassa vain parhailta korpimailla, sopivan kalkkivaikutteisissa notkoissa, joissa on pinnanalaista vesien virtausta tai lähteisyyttä. Virtaus saattaa tuoda sopivasti lämpöä saarnen juuristolle talvipakkasilla. Sisämaan saarnet saattavat olla ilmastollisesti karaistuneempia kuin rannikon puut. Lopen Kerminnotkossa saarniesiintymän ympäristö on hakattu leveäksi aukoksi, joka on vaarantanut arvokkaan sammal- ja muun kasvillisuuden (ks. esim. Häyrén 1941). Yksittäiset puut ja vakiintuneet taimet voivat hyötyä lisääntyneestä valosta. Uudistuminen kuitenkin kärsii, sillä taimet eivät kestä ruohovartisten kilpailua, ja myöskin hallariski kasvaa ilman suojapuustoa. Taimettuminen näyttää Hyvinkään Kalkkivuoressa onnistuneen kuusien

alla. Väljennysaukkoja kannattaa tehdä sopivien siemenpuiden ympärille ja laajentaa niitä vähitellen taimettumisen edetessä.

Useita muita saarnikohteita on myös hakattu ja ojitettu, kuten Kymin lentokentän ympäristössä (Godenhjelm 1995). Ojitetuissa kohteissa on ehkä aihetta yrittää palauttaa pinnanalainen virtaus, jos saarnen säilyminen on uhattuna, vaikka ennalleen ei vesitaloutta välttämättä oja tukkimalla saada.

Kynäjalava kasvaa rannoilla

Molemmat jalavalajit ovat osin uhanalaisia ja siksi suojeltuja. Kynäjalavaa kasvaa pääosin Vanajaveden, Pyhäjärven ja Kuloveden rannoilla (esim. Saarnijoki 1942, Uotila ym. 1977, Suominen 1979, Erkamo 1984). Taajempia esiintymiä on Hattulassa Metsäkylässä ja Retulansaareissa sekä Valkeakoskella Niemenpäässä ja Annilassa. Lohjanjärven rantamilla Paavolassa on myös elinvoimainen kanta (Uotila 1991). Ruotsinpyhtään Tessjön varrella on joitakin kynäjalavaryhmiä (Viljamaa ja Viljamaa 1980). Muualta tunnetaan vain pieniä hajaesiintymiä tai yksittäispuita (esim. Järventausta ja Laine 1987). Tampereen ja Hämeenlinnan ympäristöissä rantarakentaminen on muokannut kynäjalavan esiintymiä. Lisäksi jotkut mökit ovat korvautumassa suuremmilla vakituisilla asuinrakennuksilla. Kynäjalavalle voi avautua uusia kasvupaikkoja, mutta yleensä rantoja siistittäessä käy päinvastoin. Aiemmin kynäjalavan yleisyyteen on vaikuttanut rantaniittyjen raivaamisen ohella etenkin vesistöjen säännöstelyn muutokset. Pääsääntöisesti kynäjalava on hyötynyt vedenpinnan alentamisesta, mutta säännöstelyn myötä myös vaihtelu on vähentynyt, joten sopivia paljastumia syntyy entistä harvemmin. Kynäjalavavanhuksia tapaa nykyistä ylempänä aiempien säännöstelytasojen aikaisilla rantavyöhykkeillä (Saarnijoki 1942).

Vuorijalavia purovarsilla

Vuorijalava on kynäjalavaa harvinaisempi (Erkamo 1979). Muutaman suuremman esiintymän lisäksi on vain harvoja pienempiä. Puumaisten vuorijalavien luku saattaa jäädä vain pariin tuhanteen yksilöön. Vuorijalavaa kasvaa kallionalustoilla mm. Rymättylässä ja Suomusjärvellä ja rehevillä lehtorinteillä mm. Karjalohjalla ja Lohjalla (Alapassi ja Alanen 1988, Pykälä 1987). Vuorijalava viihtyy myös jyrkkien louhikkoisten purojen varsilla mm. Kiskossa, Karkkilassa, Kalvolassa, Nokiolla ja Korpilahdella (Erkamo 1981).

Lisätutkimusta tarvitaan

Ilmaston kylmeneminen ja kuusen kilpailu ovat vaikuttaneet jalojen lehtipuiden menestymiseen ja levinneisyyteen. Metsiköitä ovat heikentäneet laiduntaminen, peltojen raivaaminen ja puulajien hyväksikäyttö. Myöhemmin metsänhoito ja rakentaminen sekä tontittaminen ovat edelleen pirstoneet esiintymiä. Seurauksena on ollut esiintymien pienentyminen ja jopa häviäminen. Populaatiot ovat voineet erilaistua geneettisesti ja lajien perimä voinut köyhtyä levinneisyyden pohjoisrajalla. Jalojen lehtipuiden populaatiogeneettisen taustan selvittely on käynnissä. Tietoa tarvitaan lajien geneettisen suojelun pohjaksi (esim. Rusanen ym. 1996, Mattila ym. 1995).

Jalopuiden esiintymiä on aiemmin suojeltu yksityismaiden rauhoituksin (Osara 1989, Ympäristöministeriö 1989). Suojelu on usein ollut passiivista säilöntää, esiintymät ovat rauhassa saaneet kuusettua, eikä nuorennoksesta ole pääsääntöisesti kannettu huolta. Jalopuiden uudistuminen edellyttää usein sopivien pienten aukkojen tekemistä esiintymien tuntumaan. Viime vuosina on useissa jalopuukohteissa kuusia on alettu poistaa, joissakin tapauksissa selkeästi liian myöhään. Jo lähtötilanne on ollut jalopuiden uudistumisen kannalta epäedullinen, jos kohteita on aiemmin laidunnettu. Lehtojen hoitoa käsittelevä opas on ilmestynyt (Alanen ym. 1995). Luontaisten jalopuukohteiden hoitoa tulee jatkossa edelleen selvittää.

Lehtojensuojeluohjelman puitteissa on suojeltu ehkä edustavin osa jalopuukohteista (Alapassi ja Alanen 1988). Ohjelman ehdoton ansio oli, että näiden kohteiden olemassaolo ja laajuus tuli laajan selvitystyön perusteella esille. Ehkä metsäpuolellakin havahduttiin miettimään pienten rehevien jalopuulehtolaikkujen kuusettamisen mieltä. Osa jalojen lehtipuiden esiintymistä oli lehtojensuojelun tavoitteiden kannalta sopimattomia kohteita, esimerkiksi liian pieniä tai liian voimallisesti käsiteltyjä. Kaikki kohteet eivät tuolloin olleet vielä tiedossa. Tällä hetkellä selvittelyvastuu on metsäkeskuksilla. Esiintymien selvittelyssä on vielä tehtävää.

Uudessa luonnonsuojelulaissa esitetään luontaisesti syntyneet jalopuuesiintymät luontotyyppinä suojeltaviksi (Ympäristöministeriö 1996). Lain eräänä tarkoituksena on parantaa luontotyyppien säilymistä. Sen yksityiskohtaisissa perusteluissa todetaan mm.: *"Metsikössä tulee jatkuvasti olla eri ikäisiä jalopuita ja erityisesti vanhoja runkoja ja lahoavaa puuta"*. Soveltaminen tulee ratkaisemaan, edistääkö laki myös elävien jalopuiden säilymistä. Jalopuut leviävät kuitenkin vielä vähitellen ympäristöönsä. Luontaista nuorennosta on löydettävissä usean esiintymän lähistöltä erillisinä ryppäinä. Jalojen lehtipuiden luontaista uudistumista tulee selvittää erikseen. Tällainen selvitys palvelee sekä suojelun tavoitteita ja toteutusta että eri lajien geneettisen säilyttämisen tarvetta.

Kirjallisuus:

- Alanen, A., Leivo, A., Lindgren, L. & Piri, E. 1995. Lehtojen hoito-opas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B. No 26. 78s.+50 liites. Vantaa.
- Alapassi, M. & Alanen, A. 1988. Lehtojensuojeluohjelman mietintö. Komiteamietintö 1988: 16. Ympäristöministeriö. 279s.
- Blomqvist, A.G. 1869. Reseberättelser från åren 1867-1869. Julkaistu: 1959 Silva Fennica 100: 20, 101-102, 106.
- Bossema, I. 1979. Jays and oaks: an eco-ethiological study of a symbiosis. Behaviour 70: 1-117.
- Crusell, N. (1757). Några anmärkningar rörande nödwändigheten af ekskogarnas bättre wård och ans i Finland. Academisk afhandling. Åbo Academi. J. Merckells tryckeri. Åbo. 12s.
- Erkamo, V. 1979. Onko kynäjalava Suomen harvinaisin jalopuu? Dendr. Seur. Tied. 10(4): 164-165.
- 1981. Purolehdot jalaviemme (*Ulmus glabra* ja *U. laevis*) kasvupaikkana. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 57: 33-40.
- 1984. Kynäjalavan esiintymisestä Vanajaveden seudulla. Kanta-Hämeen seutu-kaavaliitto. Julk. II: 130. 22s.+liites.
- Espoon ympäristönsuojelulautakunta, 1987. Espoon arvokkaat luontokohteet -kokonaisraportti. Julk 2/87.
- Godenhjelm, M. 1995. Luonnonsuojelukohteiden inventointi Kotkassa kesällä 1995. Kotkan ympäristökeskus. 44s.
- Hamari, R., Husa, J. & Rintanen, T. 1992. Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kallioalueet Kymen läänissä. Vesi- ja Ympäristöhallituksen monistesarja nro. 353. 253s+liites.
- Hertz, M. 1926. Niinipuun uudistumisesta Suomessa. Acta For. Fenn. 29(5): 1-144.
- Hinneri, S. 1982. Vaahtera (*Acer platanoides*) metsäpuuna. Sorbifolia 13(1): 5-12.
- 1994. Keski-eurooppalaiset jalopuumetsät kurkottavat eteläiseen Vakka-Suomeen. Teoksessa: Vakka-Suomi, merestä maaksi. West Point Oy. Rauma. s. 87-95.
- 1996. Jalopuumetsät eilen, tänään, huomenna. Teoksessa: Jalopuumetsät. Metsälehti kustannus/ Dendrologian seura - Dendrologiska sällskapet. s 11-16.
- Hjelt, H. (1909-1911). Conspectus Florae Fennicae. Acta Soc. F. Fl. Fenn. 35(1): 137-146 (*Acer platanoides* L.)
- Häyrén, E. 1941. Notis om kryptogamvegetationens bältesbildning i Kerminnotko bäckdal, Lintukorpi naturskyddsreservat. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 17: 180-182.
- Järventausta, K. & Laine, U. 1987. Kynäjalava (*Ulmus laevis*) luontaisena ja viljeltyinä Turun seudulla. Sorbifolia 18(4): 175-181.
- Kalinainen, P. & Hakila, R. 1985. Satakunnan luonnonsuojeluselvytys 1984. Satakunnan seutukaavaliitto. Sarja A: 145. 206s+liites.
- Kause, I. 1972. Lounais-Satakunnan kasvisto. Luonnon Tutkija 76. Lisäside.
- Kihlman, A.O. 1898. Über die Nordgrenze der Schwartzlerle und der Linde in Finnland. Medd. Soc. Fl. F. Fenn. 23: 82-101.
- Kujala, V. 1980. Tilia L.-Lehmuksen suku. Teoksessa: Jalas, J. (toim.): Suuri kasvikirja III. Otava. Keuruu. s.71-75.

- Laitakari, E. 1955. Saarnen terva, vanha suomalainen lääke. Arch. Bot. Soc. 'Vanamo' 9 (Suppl.): 144-149.
- Lindgren, L. 1995. Lenholmin luonnonsuojelun alueen ja lehtojensuojelun alueen hoito- ja käyttösuunnitelma. Metsähallitus. Etelärannikon puistoalue. Luonnos 17.1. 1995.
- Linkola, K & Väänänen, H. 1938: Pohjolan luonnonkasvit I. WSOY. Porvoo-Helsinki. 155s.
- Maatilahallitus, 1990. Eräitä tietoja puuvartisten koristekasvien maahantuonnista ja tuotannosta v. 1975-1989. Maatilahallitus, Puutarhatoimisto.
- Mattila, A., Pakkanen, A., Vakkari, P. & Raisio, J. 1995. Genetic variation in English Oak (*Quercus robur*) in Finland. *Silva Fennica* 28(4): 251-254.
- Metsäntutkimuslaitos, 1995. Vaisakon luonnonsuojelun alue. Kasvillisuus 1991-1993. Metlan tutkimusmetsien julkaisusarja. 7/1995
- Mosandl, R. & Kleinert, A. 1995. Natural regeneration of oak with special respect to seed propagation by jay. Abstracts of Invited Papers. IUFRO XX World Congress 6-12 August 1995 Tampere Finland. s. 96-97.
- Nurmi, J. 1995. Tietoja jalojen lehtipuiden esiintymisestä Kiskon, Suomensjärven ja Kiikalan kuntien alueilla. Helsingin yliopisto, kasvimuseo. 3s.+karttas. Kirjallinen tieto
- Osara, M. 1989. Luonnonsuojelun nojalla vuosina 1978-1984 rauhoitetut luonnonsuojelun alueet ja luonnonmuistomerkit. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojelun osasto. Sarja B 20. 284 s.
- Palander, L. 1767. Oeconomisk beskifning öfwer Kulsiala församling i Tavastehus län. Academisk afhandling. Åbo Academi. Tryckt hos J.C. Frenckell. Åbo.
- Perttula, U. 1930. Lehmuksen siementaimien esiintymisestä Solbölen lehdöissa. *Luonnon Ystävä* 34: 94-98.
- Perälä, T. 1979. Kruunun hallitsema Ruissalo. Teoksessa: Kallio, P. (toim.): Ruissalo. Luontoa ja kulttuuria. Otava. Keuruu. s.185-189.
- Pigott, C.D. 1981. Nature of seed sterility and natural regression of *Tilia cordata* near its northern limit in Finland. *Ann. Bot. Fenn.* 18: 255-263.
- Pykälä, J. 1987. Länsi-Uudenmaan seutukaavaliiton arvokkaat kasvillisuuskohteet ja uhanalaiset kasvit. Länsi-Uudenmaan seutukaavaliitto. Lohja. 159s.
- Rainio, R. 1979. Menneen ilmastokauden luonnonmuseo. Teoksessa: Kallio, P. (toim.): Ruissalo. Luontoa ja kulttuuria. Otava. Keuruu. s.20-35.
- Ranta, P. & Siitonen, M. 1996 Vantaan luonto. Kasvit. Vantaan kaupunki, Metsätähti Oy. Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä. 442 s.
- Rassi, P., Kaipiainen, H., Mannerkoski, I. & Ståhls, G. 1991. Uhanalaisten eläinten ja kasvien seurantatoimikunnan mietintö. Komiteamietintö 1991: 30, Ympäristöministeriö. 328 s.
- Reuter, E. 1913a. Om ekvegetationen på Lenholmen i Pargas socken. *Medd. Soc. Fl. F. Fenn* 39.
- 1913b. Några ord om eken, dess återväxt och tillväxt särskilt i vår sydvästra skärgård. *Metsätaloudellinen aikakauskirja*. s.483.
- Rusanen, M., Mattila, A. & Vakkari, P. 1996. Jalojen lehtipuiden geneettinen monimuotoisuus - säilytä ja käytä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 605: 45-52.
- Saarnijoki, S. 1942. Jalavan esiintymisestä Pyhäjärven, Kokemäen vesistön keskuseräjäjärven tulvarannoilla. *Silva Fennica* 58: 1-44.

- Saelan, T. 1858. Öfversigt af de i östra Nyland växande Kotyledoneer och Ormbunkar. Notis. Soc. F. Fl. Fenn 4.
- Salo, N. 1936. Äijänpelto, kahden pohjalaisen talonpojan perustama luonnonsuojelu-alue. Luonnon Ystävä 40: 81-87.
- Solantie, R. 1983. Mereisyyden-mantereisuuden ja humidisuuden käsitteistä erityisesti tammen luontaisen levinneisyyden perusteella. Silva Fennica vol.17(1): 91-99.
- Suominen, J. 1979. Kuloveden jalavat. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 55: 63-72.
- Söyrinki, N. 1952. Luonnonsuojelun käsikirja. Otava. Helsinki. 348s.
- 1985. Niinipuun (*Tilia cordata*) siemennellisestä uudistumisesta Ruovedella. *Sorbifolia* 16(1): 29-38.
- Toivonen, T. 1985. Nurmijärven arvokkaimman lehtoalueen kohtalo. *Lutukka* 1: 73-75.
- Uotila, P. 1991. Lohjanjärven kynäjalavat. *Kruuhu* 76-86.
- , Haapanen, A. & Uotila, M. 1977. Hattulan luonnon suojelu. Hattulan kunnan luonnonsuojelutoimikunta. Helsinki. 109s + kartat.
- Viljamaa, K. & Viljamaa, H. 1980. Kynäjalava ja lehtoalue Ruotsinpyhtäällä. *Kymenlaakson luonto* s.22-23
- Ympäristöministeriö, 1989. Luonnonsuojelulain nojalla rauhoitetut luonnonsuojelu-alueet ja luonnonmuistomerkit. Ympäristönsuojeluosasto. Sarja B 19. 2.painos. (1. p. 1978). 190 s.
- Ympäristöministeriö, 1996. Hallituksen esitys Eduskunnalle luonnonsuojelulain-säädännön uudistamiseksi.

ISBN 951-40-1519-3
ISSN 0358-4283



9 789514 015199