

Metsänjalostus 2050 — pitkän aikavälin metsänjalostusohjelma

Matti Haapanen ja Jouni Mikola

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute - sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Haapanen, Matti & Mikola, Jouni			
Nimeke Metsänjalostus 2050 — pitkän aikavälin metsänjalostusohjelma			
Vuosi 2008	Sivumäärä 50	ISBN 978-951-40-2048-1 (PDF)	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Vantaan toimintayksikkö / 3413 Metsänjalostus- ja siemenviljelyohjelmat			
Hyväksynyt Puttonen Pasi, tutkimusjohtaja, 30.10.2007			
Tiivistelmä Metsänjalostuksen avulla metsänviljelyaineiston perinnöllisiä ominaisuuksia muokataan vastaamaan paremmin ihmisen tarpeita niin, että puusta valmistettavien tuotteiden arvo lisääntyy, metsänkasvatuksen kiertoaika lyhenee ja sen taloudellinen kannattavuus paranee. Ensisijaisia jalostustavoitteita ovat lisääntynyt kasvu ja puun tuotos, vaneri- ja sahapuun laatuominaisuuksien paraneminen sekä luontaista parempi viljelyvarmuus, jolla tarkoitetaan laaja-alaista mukautumiskykyä erilaisiin ilmasto-oloihin, tautien ja tuholaisten kestävyyttä sekä hyvää ympäristöolosuhteiden vaihtelun sietokykyä. Jalostusohjelmassa määritetään jalostustyölle aineistoperustat ja toimintamallit, jotka turvaavat perinnöllisen edistymisen taloudellisesti tärkeissä ominaisuuksissa useiden ihmis- ja puusukupolvien aikajänteellä. Keskeisiä ratkaistavia kysymyksiä ovat, miten perinnöllistä muuntelua hyödynnetään tehokkaasti mutta kestävästi ja miten jalostetun aineiston lisäyksessä kyetään välttämään sukusiitosrasituksesta aiheutuvat ongelmat. Ajankohtaisena haasteena on lisäksi metsänviljelyaineistojen sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon. Tähän varaudutaan testaamalla jalostusaineistot systemaattisesti useissa erilaisia ilmasto-olosuhteita kattavissa kenttäkokeissa ja suosimalla niin jalostuksessa ja siemenviljelyssä mukautumiskyvyltään mahdollisimman joustavia genotyyppejä. Puulajien jalostusaineistot on jalostusohjelmassa ryhmitelty itsenäisesti kehitettäviin populaatioihin, joille on määritelty kasvukauden keskimääräisen lämpösumman perusteella rajattu kohdealue. Populaatioiden sisällä voidaan soveltaa erilaisia valintatavoitteita ja -painotuksia. Jalostusaineistoja kehitetään käyttäen positiivisesti valikoivia risteytyksiä, tehokkaita testausmenetelmiä sekä perheiden sisäistä yksilövalintaa. Sukusiitoksen lisääntymistä ehkäistään jakamalla jalostusaineistot osalinjoihin. Suurin osa resursseista suunnataan jalostusaineiston parhaan osan kehittämiseen, mikä lisää tulevaisuudessa saatavia jalostushyötyjä. Metsänjalostuksen tulosten hyödyntämisen oletetaan ainakin lähimpien vuosikymmenten ajan perustuvan siemenviljelyn kautta tapahtuvaan metsänviljelyaineiston tuotantoon. Jalostusohjelman tavoitteena on varmistaa pitemmälle jalostetun aineiston saatavuus toisen polven siemenviljelyyn siinä vaiheessa, kun niiden perustaminen tulee ajankohtaiseksi. Mikäli siemenviljelyä nopeampia ja tehokkaampia kasvulliseen lisäykseen perustuvia menetelmiä jalostetun aineiston tuottamiseksi metsänviljelyyn tulee siihen mennessä saataville, nykyistä nopeampaan jalostuskiertoon pyrkiminen tulee ajankohtaiseksi jo ennen seuraavan siemenviljelyvaiheen alkamista.			
Asiasanat metsänjalostus, jalostusohjelma			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp071.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Matti Haapanen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti matti.haapanen@metla.fi. Jouni Mikola, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti jouni.mikola@metla.fi			

Sisälllys

Sisälllys	4
Saatesanat	5
Yhteenvedo	6
1 Johdanto	7
1.1 Miksi pitkän aikavälin jalostusta?	7
1.2 Jalostusohjelma — pitkän aikavälin toimintamalli	8
2 Suomen metsänjalostuksen pääpiirteet	10
2.1 Metsänjalostuksen kehitys ja organisointi	10
2.2 Jalostettavat puulajit	11
2.3 Jalostushyödyt	16
3 Metsänjalostusohjelman tavoitteet	19
3.1 Toiminta-ajatus ja tulevaisuuden visio	19
3.2 Strategiset arvot	19
3.3 Jalostustavoitteet	21
4 Jalostusaineistot	22
4.1 Jalostussyklin populaatiot	22
4.2 Metsänjalostuksen kohdealueet	23
4.3 Populaatorakenne	25
5 Jalostusaineistojen käsittely	29
5.1 Jalostuspopulaation uudistaminen	29
5.2 Ehdokkaiden valinta	30
5.3 Ehdokaspopulaation testaus	31
5.4 Jalostuspopulaation koostaminen	34
5.5 Jalostusaineistojen säilytys	35
6 Tulevaisuuden haasteet	37
6.1 Varautuminen ilmastonmuutokseen	37
6.2 Metsänjalostus ja biotekniikka	38
7 Tutkimus- ja kehittämistarpeet	41
8 Terminologiaa	44
9 Kirjallisuutta	48

Saatesanat

Ajatus useita puusukupolvia kattavan metsänjalostusohjelman tarpeellisuudesta nousi Suomessa esille jo vuonna 1986, Williamsburgissa Virginiassa pidetyn IUFRO-kokoukseen osallistuneiden suomalaisten metsänjalostajien ja jalostustutkijoiden keskuudessa. Pian kokouksen jälkeen ryhdyttiinkin Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta laatimaan "Pitkántähtäyksen metsänjalostusohjelmaa" metsänjalostustehtävän toteuttamiseen osallistuneiden organisaatioiden yhteistyönä. Tämä ensimmäinen pitempiluonteinen jalostusohjelma valmistui vuonna 1989. Se todettiin kuitenkin raskaaksi ja kalliiksi toteuttaa. Jalostusohjelmaa ryhdyttiinkin 1990-luvulla uudistamaan ulkomaisista jalostusohjelmista saatujen virikkeiden ja esikuvien mukaan. Maa- ja metsätalousministeriö johti jalostusohjelman tarkistamista 1990-luvun ajan MML Jouni Mikolan toimiessa pääkoordinaattorina. Uuden ohjelman päälinjaukset hahmottuivat ja niitä alettiin toteuttaa käytännössä saman vuosikymmenen lopulla.

Vuoden 2000 alussa Suomen metsänjalostustoiminta keskitettiin Metsäntutkimuslaitokseen, ja siitä huolehtiminen määrättiin Metsäntutkimuslaitoksen lakisääteiseksi velvoitteeksi. Uudeksi haasteeksi tuli tämän myötä valmistella periaatteet ja suuntaviivat Metsäntutkimuslaitoksessa toteutettavalle käytännön metsänjalostustoiminnalle. Jalostusohjelman uudistamiseen ryhdyttiin ottaen tavoitteeksi luoda toimintamalli, joka soveltuisi suomalaisiin oloihin mahdollisimman hyvin ja jatkaisi luontevasti jo kuusi vuosikymmentä kestänyttä jalostustyötä, mutta olisi samalla aikaisempaa ohjelmaa kustannustehokkaampi, uudistumiskykyisempi ja enemmän jalostus-hyötyjä tuottava.

Kiitämme kansainvälisen evaluointiryhmän jäseniä, Tim Mullinia (NCSU, Yhdysvallat), Gunnar Janssonia (Skogforsk, Ruotsi) ja Alf Pliuraa (Liettuan metsäntutkimuslaitos) heidän rakentavasta kritiikistään ja parannusehdotuksistaan jalostusohjelman ensimmäiseen luonnokseen. Professori Dag Lindgrenin (SLU, Ruotsi) jalostusaineistojen käsittelyä koskeneet arvokkaat ideat ja ehdotukset vaikuttivat myös keskeisesti jalostusohjelman lopullisen version muotoutumiseen. Jalostusohjelman valmistelun yhteydessä kuultiin Metsäntutkimuslaitoksen asettaman, metsänjalostuksen sidosryhmiä edustavan Metsänjalostuksen neuvottelukunnan mielipiteitä jalostuksen painopisteistä ja toiminnan suuntaamisesta tulevaisuudessa. Haluamme esittää kiitoksemme neuvottelukunnan jäsenille, samoin kuin kaikille niille jalostajille ja tutkijoille, jotka ovat kommentoineet ohjelmaa sen valmistumisen eri vaiheissa. Kotimaisista tutkijakollegoistamme kiitämme erityisesti Seppo Ruotsalaista hänen ohjelman rakennetta ja sisältöä koskeneista parannusehdotuksistaan.

Vantaalla elokuussa 2007

Matti Haapanen

Jouni Mikola

Yhteenveto

Metsänjalostuksen avulla metsänviljelyaineiston perinnöllisiä ominaisuuksia muokataan vastaamaan paremmin ihmisen tarpeita niin, että puusta valmistettavien tuotteiden arvo lisääntyy, metsänkasvatuksen kiertoaika lyhenee ja sen taloudellinen kannattavuus paranee. Ensisijaisia jalostustavoitteita ovat lisääntynyt kasvu ja puun tuotos, vaneri- ja sahapuun laatuominaisuuksien paraneminen sekä luontaista parempi viljelyvarmuus, jolla tarkoitetaan laaja-alaista mukautumiskykyä erilaisiin ilmasto-oloihin, tautien ja tuholaisien kestävyyttä sekä hyvää ympäristöolosuhteiden vaihtelun sietokykyä.

Jalostusohjelmassa määritetään jalostustyölle aineistoperustat ja toimintamallit, jotka turvaavat perinnöllisen edistymisen taloudellisesti tärkeissä ominaisuuksissa useiden ihmis- ja puusukupolvien aikajänteellä. Keskeisiä ratkaistavia kysymyksiä ovat, miten perinnöllistä muuntelua hyödynnetään tehokkaasti mutta kestävästi ja miten jalostetun aineiston lisäyksessä kyetään välttämään sukusiitosrasituksesta aiheutuvat ongelmat. Ajankohtaisena haasteena on lisäksi metsänviljelyaineistojen sopeuttaminen muuttuvaan ilmastoon. Tähän varaudutaan testaamalla jalostusaineistot systemaattisesti useissa erilaisia ilmasto-olosuhteita kattavissa kenttäkokeissa ja suosimalla niin jalostuksessa ja siemenviljelyssä mukautumiskyvyltään mahdollisimman joustavia genotyyppejä.

Puulajien jalostusaineistot on jalostusohjelmassa ryhmitelty itsenäisesti kehitettäviin populaatioihin, joille on määritelty kasvukauden keskimääräisen lämpösumman perusteella rajattu kohdealue. Populaatioiden sisällä voidaan soveltaa erilaisia valintatavoitteita ja -painotuksia. Jalostusaineistoja kehitetään käyttäen positiivisesti valikoivia risteytyksiä, tehokkaita testausmenetelmiä sekä perheiden sisäistä yksilövalintaa. Sukusiitoksen lisääntymistä ehkäistään jakamalla jalostusaineistot osalinjoihin. Suurin osa resursseista suunnataan jalostusaineiston parhaan osan kehittämiseen, mikä lisää tulevaisuudessa saatavia jalostushyötyjä.

Metsänjalostuksen tulosten hyödyntämisen oletetaan ainakin lähimpien vuosikymmenten ajan perustuvan siemenviljelyn kautta tapahtuvaan metsänviljelyaineiston tuotantoon. Jalostusohjelman tavoitteena on varmistaa pitemmälle jalostetun aineiston saatavuus toisen polven siemenviljelyyn siinä vaiheessa, kun niiden perustaminen tulee ajankohtaiseksi. Mikäli siemenviljelyä nopeampia ja tehokkaampia kasvulliseen lisäykseen perustuvia menetelmiä jalostetun aineiston tuottamiseksi metsänviljelyyn tulee siihen mennessä saataville, nykyistä nopeampaan jalostuskiertoon pyrkiminen tulee ajankohtaiseksi jo ennen seuraavan siemenviljelyvaiheen alkamista.

1 Johdanto

1.1 Miksi pitkän aikavälin jalostusta?

Metsänjalostus on varsin uutta toimintaa maa- ja puutarhatalouden viljelykasvien ja kotieläinten jalostukseen verrattuna. Viime mainittujen perintöainesta ihminen on muokannut jo vuosituhansien ajan yksinkertaisen, sukupolvesta toiseen toistuvan parhaiden yksilöiden valinnan ja risteyttämisen avulla. Moderni kasvin- ja kotieläinjalostus sai alkunsa vasta viime vuosisadan alkupuolella uusien tieteenalojen, ennen muuta sytologian, kvantitatiivisen genetiikan, populaatiogenetiikan ja tilastotieteen läpimurron myötä. Tieteellisen menetelmän soveltaminen jalostustyöhön on sittemmin osoittautunut kaikin mittapuin menestystarinaksi. Kotieläinten jalostuksessa viimeisten viidenkymmenen vuoden aikana saavutetun perinnöllisen edistymisen on arvioitu olevan samaa suuruusluokkaa kuin se, mitä oli saatu aikaan edellisten parintuhannen vuoden aikana. Viljelykasveilla, kuten vehnällä ja maissilla, on puolestaan satoisuus moninkertaistunut muutamassa vuosikymmenessä.

Metsäpuiden jalostustyö käynnistyi eri puolilla maailmaa 1930–1950 -luvuilla. Alkuvaiheessa toiminta tähtäsi geneettisesti laadukkaan metsänviljelyaineiston tuottamiseen mahdollisimman nopeasti, eikä metsänjalostuksen mahdollisuuksiin pitemmällä tähtäimellä ei kiinnitetty paljoakaan huomiota. Eräissä nopeimmin edistyneissä ulkomaisissa metsänjalostusohjelmissa havahduttiin kuitenkin muutamassa vuosikymmenessä huomaamaan, että luonnon perintöaineen "kermaa kuorivasta" yksioikoisesta valintajalostuksesta seuraisi jo muutamassa sukupolvesta ylitsekäymättömiä vaikeuksia, jotka olisivat seurausta perinnöllisen muuntelun supistumisesta ja jalostusaineistojen lisääntyvästä lähisukulaisuudesta aiheutuvasta sukrasituksesta. Rohkaisevat kokemukset useita sukupolvia jatkuneesta viljelykasvien ja kotieläinten jalostuksesta viittasivat toisaalta siihen, että tämä kehityskulku olisi mahdollista välttää. Muun muassa maissin tärkkelys- ja öljypitoisuutta on voitu kokeellisesti jalostaa yli 80 sukupolven ajan ilman, että jalostushyödyt olisivat ehtyneet. Muilla kasveilla saaduista kokemuksista voitiinkin päätellä, että metsäpuillakin olisi mahdollisuuksia huomattavaan edistymiseen vielä sen jälkeen, kun välittömän jalostushyödyn tavoittelun kannalta parhaat luonnonmetsien yksilöt olisi löydetty ja otettu jalostuksen piiriin. Suunnitelmallisella ja pitkäjänteisellä valintajalostuksella voidaan siis ylittää huomattavasti suurempiin parannuksiin kuin ensimmäisen polven aineistoissa parhaimmillaan.

Jatkuvan perinnöllisen edistymisen tekee mahdolliseksi suvullisen lisääntymisen yhteydessä tapahtuva perintötekijöiden uudelleenjärjestyminen, rekombinaatio. Sen tuloksena syntyvät uudet geeniyhdistelmät tarjoavat miltei loputtomiin uusia mahdollisuuksia haluttujen ominaisuuksien jalostamiseen. Jalostus voi jatkua niin pitkään kuin sen kohteena olevissa aineistoissa säilyy valinnan raaka-ainetta, perinnöllistä muuntelua. Laajan muuntelupohjan säilyminen onkin pitkäjänteisen jalostustyön tärkein reunaehto. Metsäpuiden jalostuksen merkittävänä etuna muuhun kasvinjalostukseen verrattuna on se, että jalostustyön lyhyestä historiasta johtuen luontainen perinnöllinen monimuotoisuus on vielä kokonaisuudessaan jalostajan hyödynnettävissä. Kun tätä muuntelupohjaa hyödynnetään kestävästi, metsäpuiden jalostusta voidaan jatkaa menestyksellisesti jopa kymmeniä puusukupolvia.

1.2 Jalostusohjelma — pitkän aikavälin toimintamalli

Pääpiirteissään metsänjalostuksen periaatteet ja menetelmät ovat samoja kuin muussakin jalostuksessa: aluksi siinä etsitään ja kootaan yhteen luonnonmetsien paras perintöaines, minkä jälkeen haluttuihin ominaisuuksiin suotuisasti vaikuttavia perintötekijöitä rikastetaan valinnan, risteyttämisen ja testauksen avulla. Tätä jokaisessa sukupolvessa toistettavaa toimenpidesarjaa kutsutaan jalostusyksiöksi eli jalostuskierrokseksi.

Metsänjalostuksessa eteneminen on varsin hidasta muiden viljelykasvien jalostukseen verrattuna. Tämä on perusteltua, koska metsäpuiden kasvuympäristöä ei voida muokata samassa mitassa kuin muilla viljelykasveilla tai kotieläimillä, joista on jalostettu nimenomaan ihmisen luomiin uudensuolisiin ympäristöihin soveltuvia lajikkeita ja linjoja. Kotimaisilla puulajeilla yksi jalostuskierros vie aikaa 20:stä 40:een vuotta puulajista ja jalostuslinjasta riippuen. Männyllä ja kuusella ollaan parhaillaan aloittamasta toista jalostuskierrosta. Muuallakaan maailmassa jalostusohjelmat eivät ole juuri missään edenneet kolmatta puusukupolvea (jalostuskierrosta) pidemmälle. Tämä on seurausta ennen kaikkea tuotos-, laatu- ja kestävyysominaisuuksissa ilmenneiden perinnöllisten erojen todentamisen vaatimasta testausajasta. Jälkeläis- ja kloonikokeiden kesto aika on metsänjalostuksessa tyypillisesti noin 15–20 vuotta. Tähän on lisättävä jälkeläistestauksen edellyttämien taimiaineistojen tuottaminen, johon varsinkin myöhään kukintansa aloittavilla havupuilla kuluu yleensä 10–15 vuotta.

Hitaan etenemisnopeuden vastineeksi jalostuksella on saatava aikaan riittävästi hyötyä. Pyrkimys välittömien jalostushyötyjen maksimointiin geneettistä pohjaa voimakkaasti kaventamalla johtaa kuitenkin nopeasti sukusiitokseen ja tulevaisuuden jalostusmahdollisuuksien heikentymiseen. Pitkän aikavälin jalostusohjelman tärkein tehtävä onkin sovittaa yhteen lyhyen ja pitkän tähtäyksen tavoitteet, ja määritellä jalostustyölle sellaiset aineistoperustat ja toimintamallit, jotka turvaavat perinnöllisen edistymisen halutuissa ominaisuuksissa useiden ihmis- ja puusukupolvien aikajänteellä. Kyse on siten toisaalta perinnöllisen muuntelun kestävästä hyödyntämisestä ja toisaalta siitä, millä tavoin jalostetun aineiston lisäyksessä kytetään torjumaan sukusiitoksen lisääntymisestä aiheutuvat ongelmat. Näihin kysymyksiin ei ole olemassa yhtä vakioratkaisua, koska jalostustoiminnan lähtökohdat, infrastruktuurit, aineistot, tavoitteet, puulajit ja menetelmät ovat kaikkialla erilaiset. Erilaisia mahdollisia strategia- ja menetelmävaihtoehtoja on siten hyvin runsas määrä.

Metsäpuiden jalostuksessa erityisenä haasteena on ennakoida alkuvaiheessa tehtyjen strategisten päätösten vaikutuksia, koska ne ulottuvat pitkälle tulevaisuuteen ja sitovat myös tulevien jalostajien toimintamahdollisuuksia. Tässä ohjelmassa esitetyt linjaukset nojautuvat sekä nopeakasuvisempien puulajien jalostusohjelmista saatuihin kokemuksiin että alan tutkimukseen. Jalostuksen strategisia valintoja käsittelevän teoreettisen tutkimuksen määrä lisääntyi merkittävästi 1990-luvulla muun muassa stokastiseen simulointiin perustuvien mallinnusmenetelmien kehittämisen johdosta. Niiden avulla on tullut mahdolliseksi luoda simuloituja puujoukkoja ja seurata niiden kehittymistä tietokoneella useita sukupolvia eteenpäin. Lyhyessä ajassa on näin syntynyt aikaisempaa oleellisesti parempi kuva erilaisten jalostusaineistojen käsittelyvaihtoehtojen (risteytysjärjestelyjen, valintamenettelyjen, populaatiokokojen jne.) pitkän aikavälin vaikutuksista niin odotettavien jalostushyötyjen kuin perinnöllisen monimuotoisuuden säilymisenkin kannalta.

Tutkimustiedon karttumisen myötä on muuttunut esimerkiksi käsitys riittävän perinnöllisen monimuotoisuuden ylläpitämiseen tarvittavista yksilömääristä. Tulevissa jalostussukupolvissa kertautuvien jalostushyötyjen tuottamiseksi tarvittava jalostuspopulaation efektiivinen koko on

vain joitakin kymmeniä, ei satoja yksilöitä, kuten on yleisesti asianlaita useissa vanhemmissa jalostusohjelmissa eri puolilla maailmaa. Tämän mukaisesti jalostuspopulaatioiden koot on uudessa ohjelmassa mitoitettu selvästi pienemmiksi kuin ne olivat aikaisemmassa jalostusohjelmassa. Tällä on pitkäaikainen vaikutus jalostustoiminnan kustannustehokkuuteen, koska muiden jalostusyökin populaatioiden yksilömäärät ovat suorassa suhteessa jalostuspopulaation kokoon. Jalostusaineiston jakaminen stratifioituihin osalinjoihin puiden jalostusarvojen perusteella sekä epätasapainoinen, parhaita vanhempia suosiva valinta jälkeläisaineistoissa ovat muita esimerkkejä sellaisista viimeaikaisen jalostustutkimuksen tuottamista tehostamismenetelmistä, jotka on sisällytetty käsillä olevaan ohjelmaan ensimmäisenä tai ensimmäisten joukossa maailmassa.

Pitkän aikavälin jalostusohjelman suunnittelussa on tärkeää valmistautua myös uusiin haasteisiin, joita tulevaisuuden voidaan odottaa tuovan mukanaan. Metsänjalostuksen osalta tämä tarkoittaa ennen muuta ilmastonmuutokseen varautumista. Sen lisäksi on pidettävä silmällä bio- ja geeniteknologian alalla tapahtuvaa kehitystä. Vaikka ohjelmassa on oletettu, että jalostuksen tulosten hyödyntäminen tulee ainakin lähimpien vuosikymmenten ajan perustumaan siemenviljelyn kautta tapahtuvaan metsänviljelyaineiston tuotantoon, on otettava huomioon myös se realistinen mahdollisuus, että tulevaisuudessa metsänviljelyaineisto saatetaan jopa pääosin tuottaa siemenviljelyä nopeampien ja tehokkaampien, kontrolloituja risteytyksiä, kasvullista monistusta ja biotekniikkaa hyväksikäyttävien tekniikoiden avulla. Nykyistä nopeampaan jalostuskiertoon pyrkiminen tulee ajankohtaiseksi jo ennen seuraavan siemenviljelysvaiheen alkamista, mikäli tehokkaampia menetelmiä jalostetun aineiston tuottamiseksi laajamittaiseen metsänviljelyyn tulee siihen mennessä saataville.

Myös jalostustavoitteisiin tai niiden painotuksiin saattaa pitkällä aikavälillä kohdistua muutos-paineita. Ne ovat vaikeasti ennakoitavissa, ja niihin voidaan parhaiten varautua säilyttämällä jalostusaineistossa sellaisia harvinaisempia perintötekijöitä, joiden synnyttämä muuntelu on ajankohtaisten jalostustavoitteiden kannalta merkitykseltöä, mutta joka saattaa olosuhteiden muuttuessa osoittautua tärkeäksi. Ilman muuntelureserviä ainoaksi keinoksi vastata tavoitteiden muutoksiin jää palata takaisin luonnonmetsiin ja aloittaa jalostus alusta lähes nollatilanteesta. Samalla luonnollisesti menetettäisiin suurin osa niistä jalostushyödyistä, jotka siihen mennessä olisi ehditty saavuttaa.

2 Suomen metsänjalostuksen pääpiirteet

2.1 Metsänjalostuksen kehitys ja organisointi

Metsänjalostustoiminnan voidaan katsoa alkaneen Suomessa Metsäpuiden rodunjalostussäätiön (myöhemmin Metsänjalostussäätiö) perustamisesta vuonna 1947. Säätiö pani alulle määrätietois- sen työn hyvälaatuisten siemenkeräysmetsien sekä luonnonmetsien parhaiden puuyksilöiden, "pluspuiden", löytämiseksi ja niiden sisältämän perintöaineksen ottamiseksi käyttöön jalostuk- sessa. Pluspuiden valintatyö aloitettiin Suomessa 1940-luvun lopulla. Valinta oli fenotyypistä eli perustui puiden ulkoisten ominaisuuksien silmävaraisen arvosteluun. Vuoteen 2002 mennes- sä pluspuita oli valittu maassamme yli 13600 kpl, mistä määrästä yli puolet on männyn pluspui- ta.

Siemenviljelysten perustaminen pluspuilla alkoi heti 1950-luvun alussa, ja 1960-luvulla se laa- jeni valtion rahoittamaksi koko maan metsäpuiden siemenhuollon kattavaksi toiminnaksi, joka perustui metsäalan organisaatioiden keskinäiseen, Maa- ja metsätalousministeriön koordinoi- maan yhteistyöhön.

1960-luvulta lähtien metsänjalostustoiminnan rungon muodostivat valtakunnalliset kymmen- vuotisohjelmat, joista useimmat laadittiin Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta ja joiden päätoteuttajia olivat Metsäntutkimuslaitos, Metsänjalostussäätiö ja Metsähallitus. Myös yksityismetsätalouden neuvonta- ja valvontaorganisaatiot olivat pienellä osuudella mukana oh- jelmien toteutuksessa. Metsäteollisuus osallistui työhön vaihtelevalla panoksella. Työohjelmat painoutuivat jalostuksen ensimmäisen polven aineiston valinnan loppuunsaattamiseen (1967– 76), siemenviljelyksiin valittujen pluspuiden jälkeläistestaukseen (1976–85) ja jälkeläiskoevilje- lysten mittaamiseen (1985–94). Testausvaiheen tarkoituksena on määrittää fenotyypisesti va- littujen pluspuiden perinnöllinen arvo kasvattamalla niiden jälkeläisiä jälkeläiskokeissa vertai- lukelpoisissa olosuhteissa. Tällä tavoin varmistetaan, että seuraavan sukupolven risteytysvan- hemmiksi valikoituvat perintötekijöiltään parhaat pluspuut. Suomessa jälkeläiskokeita on perus- tettu yhteensä 1544 kpl 2158 ha pinta-alalle, suurin osa niistä 1970- ja 1980-luvuilla. Kokeista suurin osa, 1096 kpl, on perustettu männyn pluspuiden jälkeläisillä.

Taulukko 1. Suomen metsänjalostus- ja siemenviljelyohjelmat

1963 Siemenviljelysohjelma vuosille 1964–76

Metsänjalostuksen kymmenvuotisohjelmat

1967–76	"Valintaohjelma"
1976–85	"Testausohjelma"
1986–94	"Evaluointiohjelma"

1989 Pitkätähtäyksen metsänjalostusohjelma

1989 Metsäpuiden siemenviljelyohjelma vuosille 1990–2025

1997 Männyn, kuusen ja koivun siemenviljelysten perustamissuunnitelmat

2004 Metsäpuiden siemenhuoltotyöryhmän muistio

2004 Metsänjalostus 2050

Kolmatta kymmenvuotisohjelmaa ryhdyttiin tarkistamaan lähes välittömästi sen valmistumisen jälkeen. Tämän tuloksena valmistuivat vuonna 1989 sekä uusi kymmenvuotinen toimintaohjelma että ensimmäinen kauaskantoisempi "Pitkätähtäyksen metsänjalostusohjelma". Jälkimmäistä ohjelmaa ryhdyttiin päivittämään jo muutaman vuoden sisällä sen valmistumisesta Maa- ja metsätalousministeriön uuden toimeksiannon pohjalta.

Vuoden 2000 alussa valtakunnallinen metsänjalostustoiminta keskitettiin asetuksella Metsäntutkimuslaitoksen tehtäväksi. Samassa yhteydessä Metsänjalostussäätiön henkilökunta, kaikki jalostustoiminnot ja niiden jatkamisessa tarvittava omaisuus siirrettiin Metsäntutkimuslaitokseen. Keskittämisen tuloksena myös valtakunnallisen metsänjalostuksen suunnittelu ja organisointi, mukaan lukien MMM:n johdolla valmistellun metsänjalostusohjelman viimeistely ja tulevat tarkistukset, siirtyivät Metsäntutkimuslaitoksen tehtäväksi. Tätä kirjoitettaessa valtakunnallinen metsänjalostustoiminta on keskitetty Metsäntutkimuslaitoksen viranomaishankkeeseen "Metsänjalostus- ja siemenviljelyohjelmat".

2.2 Jalostettavat puulajit

Metsänjalostuksen pääpaino on taloudellisesti arvokkaimmissa kotimaisissa puulajeissa, männyssä, kuusessa ja rauduskoivussa. Jalostusaineistoja on koostettu myös lukuisilla muilla puulajeilla. Jalostuspanostusten kohdentamiseen eri puulajeille on vaikuttanut etupäässä metsänviljelyn määrä ja siinä odotettavissa oleva kehitys. Mänty on ollut jalostuksessa vuosikymmeniä etusijalla, mutta viimeaikaiset muutokset puulajien viljelyaloissa ovat siirtämässä painotusta yhä enemmän kuuseen. Tämän ohella painotuksiin ovat jossain määrin vaikuttaneet puulajien biologiset ominaisuudet, ts. helppous jalostustyön kannalta. Tämä koskee etenkin raudus- ja hieskoivuja, joiden varhainen kukinta ja runsas siementuotanto ovat edesauttaneet jalostuksen tekniikoiden kehittämistä ja soveltamista.

Mänty

Männyn ensimmäisen polven jalostusaineistot ovat puulajeistamme laajimmat; valittuja pluspuita on hieman yli 7000 ja näiden testaamiseksi on perustettu jälkeläiskokeita kaikkiaan 1096 kpl (1570 hehtaaria). Männyn asema metsänjalostuksen valtapuulajina on heijastanut sen tärkeyttä maamme metsätaloudessa ja metsänviljelyssä. Männyn osuus valtakunnan metsien puuston tilavuudesta on 47% (Etelä-Suomessa 38% ja Pohjois-Suomessa 60%), ja mäntyvaltaiset metsät käsittävät 65% metsämaan pinta-alasta. Mäntyä myös viljellään puulajeistamme yhä eniten, noin 60 000 hehtaaria vuodessa (noin puolet koko metsänviljelypinta-alasta), vaikka kahden viime vuosikymmenen kuluessa männyn istutuksen pinta-alat ovatkin selvästi pienentyneet. Metsäkylvön pinta-alat ovat sen sijaan olleet vakaassa kasvussa. Kylvön osuus on tällä hetkellä noin puolet (hieman yli 30 000 ha) männyn viljelypinta-alasta. Myös istutuspinna-ala on viime vuodet pysytellyt 30 000 ha tuntumassa.

Männyn jalostettu siemen tuotetaan tällä hetkellä 1960- ja 1970-luvuilla perustetuissa ensimmäisen polven siemenviljelyksissä. Männyn taimitarhakylvöistä ja metsäistutuksista on 1980-luvun puolivälistä lähtien tehty 50–70 % siemenviljelyssiemenellä. Etelä- ja Keski-Suomen metsänviljelytaimien tuotanto on viimeksi kuluneet noin 15 vuotta perustunut lähes kokonaan jalostetun siemenen käyttöön. Männyn istutuksen vähenemisen myötä taimitarhasiemenen kokonaistarve on vähentynyt runsaasta 1000 kg:sta noin 300 kg:aan vuodessa. Männyn siemenviljelyssiementä onkin ollut runsaasti saatavissa metsäkylvöön, jossa siementarve on monin ver-

roin suurempi. Siemenviljelyssiemenen jalostamatonta metsikkösiementä korkeampi hinta on kuitenkin toistaiseksi rajoittanut sen yleistymistä metsäkylvössä. Männyn metsäkylvöissä siemenviljelyssiemenen osuus on maan etelä- ja keskiosissa ollut noin puolet ja maan pohjoisosissa 10 % luokkaa. Uusia valiosiemenviljelyksiä perustetaan suunnitelmien mukaan 273 ha vuoteen 2020 mennessä. Tällä siemenviljelyspinta-alalla on tarkoitus kattaa istutusten lisäksi noin puolet valtakunnan metsäkylvöjen siementarpeesta.

Pohjois-Suomeen on toistaiseksi ollut saatavilla vain vähän männyn jalostettua siementä. Siemenviljelyksiä perustettiin alunperin myös Pohjois-Suomen siemenhuoltoon varten, mutta runsaan kukinnan ja siemenen tuleentumisen varmistamiseksi ne sijoitettiin maan etelä- ja keski-osiin. Taustapölytyksenä tulevan eteläisen perintöaineen on sittemmin todettu rajoittavan vakavasti näillä siemenviljelyksillä syntyvän siemenen käyttöä pluspuiksi valittujen emopuiden ilmastollisesti ankarammilla kotiseuduilla. Pohjoisten mäntyjen siemenviljelysten toimivuutta on kuitenkin saatu parannettua kestävyiden lisäämiseen tähtäävien geneettisten harvennusten ja valikoivan siemenkeruun avulla. Männyn jalostetun siemenen saatavuus onkin nopeasti parantamassa myös Pohjois-Suomen metsäviljelyä ja erityisesti maastokylvökäyttöä ajatellen.

Männyn jalostus on edennyt vakaasti, ja parhaillaan on menossa siirtyminen ensimmäisestä jalostussukupolvesta toiseen. Männylle on uudessa jalostusohjelmassa määritelty kuusi jalostuspopulaatiota, joiden kohdealueet kattavat maamme ilmasto-olojen vaihtelun. Pisimmälle jalostustyössä on tällä hetkellä edetty eteläisimmässä jalostuspopulaatiossa, joissa toisen polven uudistamaisaineistojen luominen on saatu päätökseen. Toiminnan painopiste on parhaillaan siirtymässä Pohjois-Suomen jalostuspopulaatioiden koostamiseen ja uudistamiseen.

Ensimmäisen polven jalostuspopulaatioiden muodostamisen yhteydessä jalostuksen tulokset siirretään käytäntöön valitsemalla testattujen puiden parhaimmisto valiosiemenviljelyksiin, joiden perustaminen aloitettiin 1990-luvun puolivälissä. Ensimmäiset siemensadot valiosiemenviljelyksistä on saatu vuonna 2007. Jalostusohjelman tärkeänä tavoitteena on, että toinen jalostuskierros saadaan kuusella ja männyllä päätökseen viimeistään toisen polven siemenviljelysten perustamisen tullessa ajankohtaiseksi (viimeistään 2040-luvulla), jolloin niitä varten on osoitettavissa korkealaatuista testattua materiaalia.

Kuusi

Kuusen osuus metsiemme puuston tilavuudesta on 34% ja metsämaan pinta-alasta 24%. Kuusen käyttö on lisääntynyt etenkin mekaanisessa puumassateollisuudessa, ja sen osuus puuston haku-kuupoistumasta on tällä hetkellä puulajeistamme suurin, 41%.

Teollisen kysynnän kasvu on heijastunut nopeasti kuusen viljelyn suosioon. Kuusen vuotuinen metsäviljelypinta-ala on kahdessa vuosikymmenessä yli kaksinkertaistunut ja on nyt noin 55 000 ha (45% koko metsäviljelystä). Tämä on merkittävästi lisännyt kuusen jalostetun siemenen kysyntää taimitarhoilla: viimeisten kymmenen vuoden aikana siemenviljelyssiemenen osuus taimitarhakylvöissä ehti nousta 10 %:sta 80 %:iin samalla kun kuusen taimien tuotantomäärät lisääntyivät huomattavasti. Taimitarhat ovat olleet kuusen siemenviljelyssiemenen tyytyväisiä sen korkean fysiologisen laadun ja siitä saatavan taimiaineen tasaisuuden takia. Siemenviljelyssiemenen käyttöä on kuusella rajoittanut vain sen saatavuus: kuusella siemenviljelysten tuotanto on alkanut ja kehittynyt hitaammin kuin männyllä, minkä jälkeen siemensatoja ovat alentaneet myös useat heikot kukintavuodet sekä hyvillä satovuosilla ajoittuneet siemen- ja käpytuhot. Lisäksi maan pohjoispuoliskon osalta kuusen jalostetun siemenen saatavuutta rajoittavat

amat ongelmat kuin männyllä, vaikka taustapölyttyneen kuusiaineiston ilmastollinen kestävyys onkin selvästi mäntyä parempi.

Kuusen ensimmäisen polven siemenviljelyksiä on tällä hetkellä 23 kpl, yhteensä 256 hehtaaria. Näiden 1960- ja 1970-luvuilla perustettujen siemenviljelysten tuotanto on nykyistä ja tulevaa kuusen siementarvetta ajatellen riittämätön. Kuusen siemenviljelysten pinta-ala tullaan suunnitelmien mukaan lähes kaksinkertaistamaan lähivuosina.

Kuusen jalostus on edennyt jonkin verran mäntyä jäljessä. Tämä on johtunut osin biologisista syistä, lähinnä kuusen epäsäännöllisistä siemenvuosista ja vanhojen pluspuiden varttamisessa esiintyneistä ongelmista, mutta myös siitä, että ensimmäisen polven kantapuuaineiston täydentämiseen lisävalinnoilla ryhdyttiin vasta 1990-luvulla. Viime vuosina kuusen jalostuksessa on menty ripeästi eteenpäin, ja tällä hetkellä kuusella on menossa vastaava sukupolven vaihdos kuin männyllä eli toisen polven uudistamisaineiston luominen sekä risteyttämällä että vanhojen kokeiden vapaapölytysjälkeläistöjä hyödyntämällä. Tulevaisuudessa kuusen jalostus etenee jopa mäntyä nopeammin, koska testauksessa voidaan käyttää siementaimien sijasta pistokkaita. Toisen polven testattuja valiosiemenviljelyksiä päästäänkin kuusella perustamaan kymmenisen vuotta aikaisemmin kuin männyllä.

Jalostuksen kannalta kuusella on mäntyyn verrattuna on joitakin etuja, erityisesti sen helpompi kasvullinen lisäävyys pistokkaista. Kuusella voidaankin tästä syystä soveltaa jälkeläistestausta tehokkaampaa kloonitestausta. Kuusen jalostusta jatketaan viidessä populaatiossa, joiden kohdealueet noudattavat pääosin vuoden 1989 jalostusohjelmassa esitettyä jalostusvyöhykejakoa. Mainitusta ohjelmasta poiketen kuusella ei enää esitetä muodostettavaksi omaa jalostuspopulaatiota pohjoisinta jalostusvyöhykettä vastaavalle alueelle, jossa kuusen käyttö metsänviljelyssä on vähäistä. Pohjoisimman Lapin kestävimpiä kuusipluspuita tullaan kuitenkin sisällyttämään Pohjois-Suomen muihin jalostuspopulaatioihin.

Raudus- ja hieskoivu

Raudus- ja hieskoivun osuus metsien puuston tilavuudesta on noin 15%. Metsissämme ne esiintyvät pääasiassa sekapuuna; vallitsevana puulajina rauduskoivua tavataan 3% ja hieskoivua 7% osuudella metsämaan pinta-alasta.

Kahdesta koivulajistamme taloudellisesti tärkeämmän, rauduskoivun viljely ja siten myös jalostus painottuu maantieteellisesti Etelä-Suomeen, pääosin Järvi-Suomen alueelle. Rauduskoivun viljelypinta-ala, joka oli vuonna 2002 noin 4100 ha, on pienentynyt 1990-luvun huippuvuosista peltojen metsityksen vähentyessä ja hirvituhoriskin vuoksi. Rauduskoivun käyttö metsäkylvöissä on kuitenkin 1990-luvulla hieman lisääntynyt.

Rauduskoivun jalostettua siementä on ollut saatavilla metsänviljelyyn 1970-luvun alkupuolelta lähtien. 1980-luvun lopulla rauduskoivun viljely lisääntyi voimakkaasti ennen muuta peltojen metsityksen takia niin, että 1990-luvun alussa siemenviljelyssiemenellä voitiin kattaa vain 25% siementarpeesta. Siemenviljelyä lisättiin kuitenkin nopeasti siten, että jalostetun siemenen osuus taimitarhojen käytössä nousi vuosikymmenen kuluessa nykyiseen noin 90 %:iin.

Koivun siemenviljelykset (vuonna 2007 rauduskoivulla 5 kpl ja visakoivulla 2 kpl) on perustettu muovihuoneisiin. Muovihuonesiemenviljelysten tärkeänä etuna on taustapölytyksen puuttuminen, mikä mahdollistaa jalostushyötyjen täysimääräisen hyödyntämisen. Koivun siemenvilje-

lysten kiertoaika on vain 8–10 vuotta, joten niiden suunnittelu ja uudistaminen ovat jatkuvaa toimintaa. Rauduskoivun nopea kasvu ja varhainen kukinta ovat jalostuksen kannalta erityisen suotuisia ominaisuuksia, joiden ansiosta rauduskoivun jalostus on edistynyt pääpuulajeistamme pisimmälle.

Rauduskoivun teollisen käytön tulevaisuuden näkymistä on tällä hetkellä epävarmuutta, mikä on osaltaan vaikuttanut sen viljelypinta-alojen viimeaikaiseen supistumiseen. Viljelymäärien mahdollisesti edelleen pienentyessä on ennakoitavissa, että rauduskoivun jalostukseen suunnatut panostukset tulevat jatkossa vähenemään. Tämä merkitsisi käytännössä toiminnan painopisteen siirtymistä entistä enemmän testattujen jalostusaineistojen passiiviseen ylläpitoon niiden uudistamisen sijasta.

Visakoivu, jonka viljelymäärät ovat viime vuosina vaihdelleet puolen miljoonan taimen molemmin puolin, sisältyy jatkossa rauduskoivun jalostuspopulaatioihin omina pieninä osapopulaatioinaan.

Hieskoivun jalostusta jatketaan rauduskoivua huomattavasti suppeammilla aineistoilla ja matalammalla intensiteetillä. Hieskoivun jalostusaineiston paras osa tallennetaan kloonikokoelmiin.

Haapa

Suomen metsien puuston tilavuudesta haavan osuus on noin 1,5 %. Haavoista suurin osa kasvaa sekapuuna; puhtaita haapametsiköitä on noin 0,3% metsämaan pinta-alasta.

Haavan jalostus alkoi maassamme jo 1950-luvun alussa, jolloin haapaa kasvatettiin lähinnä tultikkuteollisuuden raaka-aineeksi. Päähuomio oli tuolloin ja myöhemminkin lähes yksinomaan kotimaisen ja pohjoisamerikkalaisen haavan lajiristeytyksessä, hybridihaavassa. Tämä kotimaisen metsänjalostuksen ensimmäinen "jaloste" on kenttäkokeissa osoittautunut maamme nopeakasvuisimmaksi puulajiksi. Se kasvaa kotimaista haapaa yli 50% nopeammin ja sitä voidaan kasvattaa 20–40 vuoden kiertoajalla. Tätäkin nopeakasvuisempi on päätehakkuun jälkeen juuri-veisoista syntyvä uusi puusukupolvi. Haapa soveltuu myös lahovikaisten kuusikoiden uudistamiseen, mutta on toisaalta altis nisäkästuhoille.

Haavan teollinen kysyntä hiipui 1970-luvun alussa, ja sen myötä tyrehtyivät myös haavan viljely ja jalostus parikymmeneksi vuodeksi. Teollisuuden kiinnostus heräsi uudestaan 1990-luvun alussa, kun haavan huomattiin olevan kilpailukykyinen eukalyptuksen ja akaasian kanssa lyhytkuituisen massan raaka-aineena. Lupaavien näkymien vuoksi myös haavan jalostus käynnistettiin uudelleen vanhojen jalostusaineistojen pohjalta. Haavalla on jalostuksen kannalta monia biologisesti edullisia ominaisuuksia; nopeakasvuisuutensa lisäksi se kukkii nuorena, ja sen kasvullinen lisääminen pistokkaista tai solukkolisäyksellä on helppoa. Hybridihaapa onkin visakoivun lisäksi ainoa puulajimme, jonka metsänviljelyssä käytetään kasvullisesti lisättyjä kloonitaimia. Haavan viljelymäärät ovat kaikesta huolimatta jääneet alhaiselle tasolle; vuosien 1997–2002 aikana uusia haapaviljelyksiä perustettiin kaikkiaan 700 ha alalle.

Haavan jalostuksen tavoitteena on valita puuntuotokseltaan, kestävyydeltään ja puuaineen ominaisuuksiltaan yhä parempia testattuja hybridihaapaklooneja kasvullisen taimimateriaalin massatuotantoa varten. Tehokas valinta edellyttää tietoa haavan taloudellisesti tärkeiden ominaisuuksien periytymisestä, jota ollaan lähiaikoina saamassa koeviljelyksissä kasvavista risteytysaineistoista. Haavalla tuotetaan uusia hybridihaapaperheitä risteyttämällä kenttäkokeissa hyviksi

osoittautuneita vanhempia. Testatun aineiston pohjalta kotimaiselle haavalle varaudutaan perustamaan kaksi jalostuspopulaatiota Etelä- ja Keski-Suomeen.

Tervaleppä

Tervalepän jalostuksen tärkeimpänä tavoitteena on turvata kestävän ja korkealaatuisen kotimaisen metsänviljelyaineiston saatavuus. Tervalepän viljelyalat ovat viime vuosina olleet samaa luokkaa kuin haavalla, 100–200 ha vuodessa, vuotuisten viljelymäärien vaihdellessa 100 000 – 400 000 taimen välillä. Tervalepällä ei tällä hetkellä ole saatavilla jalostettua siementä taimituotantoon, mutta perusteilla on yksi tervalepän vartesiemenviljely Ahvenanmaalle ja kaksi mannermaalle. Siemenviljelyksen kloonivalintojen yhteydessä muodostetaan kolme pientä (40–60 puuta) fenotyyppisesti valituista puista koostuvaa jalostuspopulaatiota, joiden kohdealueena ovat Ahvenanmaa – Rannikko-Suomi, Etelä-Suomi ja Keski-Suomi. Lisäksi tervalepällä valitaan jälkeläiskokeisiin ja siemenviljelyssiemenen sopeutuneisuuden selvittämiseksi 4–5 vertailumetsikköä eri ilmastoalueilta Ahvenanmaalta Oulun seudulle asti. Tervalepän jalostuksen yhteydessä varttuneilta koeviljelyksillä mitataan myös tervalepän ja harmaalepän risteymän, hybridilepän koe-eriä tietopohjan kartuttamiseksi kyseisen risteymän käyttömahdollisuuksista.

Siperianlehtikuusi

Vierasperäisistä puulajeista siperianlehtikuusi on osoittautunut parhaaksi Suomen oloihin. Viljavilla kasvupaikoilla se on ylittänyt kuusen puuntuotoksen noin 20 %:lla. Lehtikuusen lahonkestävä puuaines soveltuu hyvin maa- ja vesirakentamiseen, ja sen menekkiin saattavat jatkossa vaikuttaa myönteisesti mahdolliset puunkyllästysaineiden käyttöä koskevat rajoitukset.

Lehtikuusen vuotuiset viljelymäärät maassamme ovat enimmäkseen vaihdelleet yhden ja kahden miljoonan taimen välillä. Viljeltyjä lehtikuusimetsiä Suomessa yhteensä noin 20 000 ha eli yksi promille metsämaan pinta-alasta. Lehtikuusen siemenviljelykset kattavat nykyisen taimituotannon tarpeen. Siemensadot ovat kuitenkin viljelysten ikääntymisen myötä vähenemässä. Lehtikuusen viljelykset ovat lisäksi alttiita sääoloille, ja täydellisiä katovuosia esiintyy usein. Lehtikuusen siementuotannon erityispiirteenä on puuttuva taustapölytytys, minkä seurauksena sen siemenviljelyksillä tuotettu siemen on jalostusasteeltaan suhteellisesti parempaa muiden havupuiden siemenviljelyksiin verrattuna.

Lehtikuusen jalostukseen panostetaan jatkossa matalalla intensiteetillä. Nykyisissä kymmenessä siperianlehtikuusen siemenviljelyksessä olevista alle 200:sta Raivolan alkuperää edustavasta kantapuusta muodostetaan kaksi ensimmäisen polven jalostuspopulaatiota maan etelä- ja pohjoisosia varten. Jalostuspopulaatioiden uudistaminen tapahtuu lehtikuusella vapaapölytysaineistoilla ja fenotyyppistä valintaa soveltamalla.

Muut puulajit

Metsätaloudellisesti vähempiarvoisilla puulajeilla kuten tammella, saarnella, jalavilla, lehmuskella, harmaalepällä ja pihlajalla on myös tehty pluspuuvalintaa ja perustettu siemenviljelyksiä. Tavoitteena näiden puulajien kohdalla on monimuotoisen ja viljelyvarman kotimaisen viljelyaineiston saatavuuden turvaaminen. Tähän pyritään täydentämällä tarpeen mukaan nykyisiä pluspuuaineistoja ja säilyttämällä parhaiden puiden klooneja vartekokoelmissa.

2.3 Jalostushyödyt

Taustaa

Jalostushyödyksi kutsutaan valinnalla aikaansaattua muutosta jalostettavan ominaisuuden keskiarvossa, mikä on seurausta ominaisuuteen vaikuttavien perintötekijöiden määräsuhteiden muuttumisesta. Jalostushyöty ilmaistaan yleensä prosenttilukuna suhteessa jalostamattoman vertailuaineiston keskiarvoon.

Metsänjalostuksen tuottamat jalostushyödyt siirtyvät metsätalouden hyödyiksi vaiheittain perustettujen siemenviljelysten kautta. Ensimmäisen polven siemenviljelykset perustettiin Suomessa pääosin 1960- ja 1970-luvuilla hyvälaatuisilla ja -kasvuisilla pluspuilla, joita valittiin luonnonmetsistä useita tuhansia (1. polven ehdokaspopulaation jäseniä). Jatkojalostukseen eli ensimmäisen polven jalostuspopulaatioon niistä on sittemmin kelpuutettu jälkeläisarvostelun perusteella paras osa (puulajista riippuen muutamasta sadasta tuhanteen yksilöä). Tällä hetkellä havupuilla perustetaan nk. 1,5 polven valiosiemenviljelyksiä, joihin hyväksytään vain toisen valintakierroksen testattujen puiden parhaimmisto.

Kokonaiskuva siemenviljelyssiemenen jalostushyödyistä on osittain vieläkin puutteellinen. Jalostuksen vaikutuksesta viljelyaineiston ominaisuuksiin voidaan tehdä luotettavia päätelmiä vain suunniteltujen kenttäkokeiden avulla, joissa siemenviljelyssiemenestä kasvatettua taimiainesta verrataan vastaavalla tavalla kasvatettuun metsikköaineistoon. Siemenviljelyssiementä tuotosvertailukokeisiin saadaan vasta siemenviljelysten siementuotannon alettua, mikä havupuilla vaatii 10–15 vuoden odotuksen. Kun tähän lisätään kenttäkokeen kesto aika, 15–20 vuotta, viive siemenviljelyksen kloonivalinnasta saavutetun jalostushyödyn toteamiseen on havupuilla vähintään 30 vuotta.

Nykyiset arviot jalostushyödyistä perustuvat 10–30 vuoden ikäisiin jälkeläis- ja vertailukokeisiin, joihin on vapaapölytetyiden pluspuiden jälkeläistöjen tai siemenviljelyserien lisäksi istutettu saman puulajin luonnonmetsiä edustavia koe-eriä. Nuorista kenttäkokeista saadut tulokset eivät luonnollisestikaan kerro vielä kaikkea koko kiertoajan mittaisesta tuotoksesta. Ne ovat kuitenkin vahvasti suuntaa antavia, ja joka tapauksessa parasta käytettävissä olevaa tietoa. Ensimmäiseksi tuloksia alkaa kertyä eroista kestävyyydessä ja pituuskasvussa, myöhemmin myös tilavuuskasvussa ja laatuominaisuuksissa. Arviot pinta-alakohtaisen tilavuuskasvun paranemisesta edellyttävät lisäksi suurilla koeruuduilla perustettuja ns. tuotoskokeita. Tilavuuskasvussa jalostushyödyt ovat tyypillisesti 2–3 kertaa suurempia kuin pituuskasvussa. Varhaisimmat, pituuskasvuun perustuvat jalostushyötyarviot ovatkin tästä syystä aliarvioita.

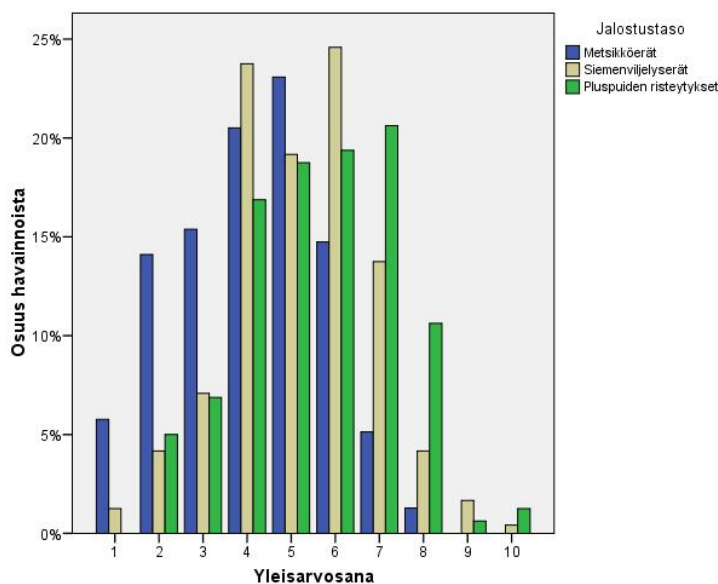
Rungon ulkoisten laatuominaisuuksien kohdalla nuorten kokeiden näyttöarvo on varsin hyvä, koska nuorista puista mitattavat oksaisuus- ym. tunnuksat määräävät hyvin pitkälle myöhemmin syntyvän tyvitukin sisäisen laadun. Osa kenttäkokeista jätetään pysyvään seurantaan, jotta jalostuksella saavutetuista hyödyistä ja niiden mahdollisista muutoksista saataisiin myöhemmin tarkempaa tietoa koko kiertoajalta.

Mänty

Eteläsuomalaisten siemenviljelyserien menestymisestä on saatu vastikään uusia tuloksia 10–18 -vuotiaiden kasvu- ja tuotoskokeiden mittauksista. Siemenviljelyserien pituuskasvu on näissä kokeissa ollut tyypillisesti 5–15 % nopeampaa kuin metsikköerillä. Tämä ylittää aikaisemmat

jälkeläiskokeisiin perustuvat arviot, joista eräät ovat ennakoineet vain muutaman prosenttiyksikön välillä olevaa parannusta. Rungon tilavuuskasvussa siemenviljelyssiemenen paremmuus suhteessa metsikkösiemenen on selvästi suurempi, useissa kokeissa 15–20 % luokkaa. Lisäksi monessa, joskaan ei kaikissa koeviljelyksissä, pinta-alayksikköä kohti lasketun puuntuotoksen jalostushyöty ylittää rungon tilavuudelle lasketun jalostushyödyn. Tämä tukee aikaisempia tuloksia siitä, että männyn siemenviljelysjälkeläisten elinvoimaisuus ja elävyys olisi Etelä-Suomessa jonkin verran metsikkösiementä parempi.

Rungon ulkoisessa laadussa (runkon suoruuden, oksakulman ja oksanpaksuuden yhdistelmä) jalostuksella saavutettu parannus näyttää vieläkin selvemmältä. Metsänjalostuskokeissa puut arvostellaan silmävaraisesti kymmenluokkaisella yleisarvosanalla, jota annettaessa otetaan huomioon puun koko, oksanpaksuus, oksakulma sekä yleinen elinvoimaisuus ja kasvumuoto. Laatuominaisuuksien kohdalla arvosteluvarmuutta parannetaan puusta tehtävin mittauksin. Siemenviljelyserien ja metsikkösiemenerien jakaumat eroavat johdonmukaisesti toisistaan. Huomattavinta tuloksissa on se, että kolmessa parhaassa yleisarvosanaluokassa 8–10 on yleensä vain pluspuiden jälkeläisiä, kun taas heikoimmissa luokissa 1–3 metsikkösiemenerien puiden yliedustus on yleensä huomattava. Tulosten perusteella on ilmeistä, että jalostetulla aineistolla toteutetun metsänviljelyn tuloksena harvennuksissa jäljelle jäävä alkuperäisen puuston paras osa on kiertoajan lopulla laadultaan selvästi parempaa kuin siinä tapauksessa, että metsänviljely tehtiin jalostamattomalla siemen- tai taimiaineistolla.



Silmävaraisesti arvioidun yleisarvosanan (huonoin luokka 1, paras luokka 10) jakaumat metsikkösiemenierissä, taustapölytetyneissä 1. polven siemenviljelyserissä ja hyvien pluspuiden risteytyserissä. Aineisto: Loppilainen kenttäkoe nro 1208/1 (ikä 13 vuotta).

Kenttäkoetulokset viittaavat siihen, että männyn pluspuiden valinta on onnistunut jopa ennakkoodotuksia paremmin. Laadun paraneminen pluspuiden jälkeläisissä ei ole sinänsä kovin yllättävää, koska jo pluspuuvalinnassa laatuominaisuuksiin kiinnitettiin männyllä paljon huomiota. Tulokset ovat kuitenkin erityisen hyviä ottaen huomioon, että ensimmäisen polven siemenviljelyksissä, joita kokeissa kasvavat koe-erät edustavat, on runsaasti sellaisia perimältään heikompia puita, jotka eivät ole enää kelvanneet uudempaan valiosiemenviljelyksiin. Lisäksi tuolloisista nuorista siemenviljelyksistä kerätyt siemenet ovat oletettavasti pölyttyneet lähes täysin siemenviljelyn ulkopuolisella siitepölyllä. Siemenviljelysten ikääntyessä ja taustapölytyksen vähentyessä niistä voidaan siten odottaa saatavan entistäkin laadukkaampaa siementä.

Männyllä, kuten muillakin pääpuulajeilla siemenviljelyssiemenen käyttöön liittyy jalostushyötyjen ohella erittäin selviä siemenfysiologisia (ei-geneettisiä) etuja: siemenviljelysten edullisissa kasvuolosuhteissa kehittynyt siemen on kookasta ja hyvin itävää.

Kuusi

Kuusen siemenviljelyn jalostushyödyistä ei jälkeläiskokeiden nuoruuden ja vähäisyyden takia ole vielä voitu tehdä vastaavia selvityksiä kuin männyllä. On arveltu, että tulokset eivät kuusella yltäisi ensimmäisessä sukupolvessa männyn tasolle, koska fenotyyppinen pluspuuvalinta ei luonnonkuusikoissa ole ollut yhtä tehokasta kuin yleensä niitä iältään tasarakenteisemmissä männiköissä. Tästä ei kuitenkaan ole mitään selkeää näyttöä. Päinvastoin, eräisiin pohjoissuomalaisiin jälkeläiskoetuloksiin perustuen kuusen pituuskasvun jalostushyödyksi on arvioitu noin 10 %, ja eräiden alustavien eteläsuomalaisten koetulosten perusteella noin 5 %. Pituuskasvun osalta edistyminen on siis suurin piirtein samaa tasoa kuin männyllä. Tilavuuskasvun jalostushyötyjä ei ole Suomessa toistaiseksi arvioitu sopivien tutkimusaineistojen puuttuessa.

Kuusella siemenviljelyssiemenen tuotannon rinnalle voi nopeastikin kehittyä myös kasvullista lisäämistä hyväksikäyttävää taimituotantoa. Käytäntöön siirrettävissä olevat jalostushyödyt muodostuisivat heti huomattavasti nykyistä siemenviljelyä suuremmiksi, koska lisäyspopulaation muodostamisessa voitaisiin käyttää korkeampaa valinnan intensiteettiä. Myös perinnöllisen muuntelun ei-additiivisen osan hyödyntäminen olisi kasvullisessa lisäyksessä mahdollista toisin kuin siemenviljelyssä.

Rauduskoivu

Rauduskoivulla, jolla jalostus on edennyt mäntyä ja kuusta pidemmälle, on koe-olosuhteissa mitattu 20–26 % luokkaa olevia lisäyksiä puuntuotoksessa (runkon tilavuuskasvussa). Myös monissa, erityisesti vaneriteollisuuden kannalta tärkeissä rungon ulkoisissa laatuominaisuuksissa, kuten runkomuodossa, on havaittu selvää paranemista. Rauduskoivulla voidaan pääpuulajeista helpoimmin harjoittaa myös kahden kloonin risteytyssemenviljelyä, mikä tarjoaa paljon perinteistä siemenviljelyä tehokkaammat mahdollisuudet huippuyksilöiden suvulliseen massatuotantoon. Myös kloonimonistus on rauduskoivulla mahdollinen jalostetun aineiston lisäysmenetelmä.

Rauduskoivun jalostuksessa on saavutettu huomattavaa edistystä niin kasvunopeudessa kuin laatuominaisuuksissakin. Valokuva Matti Haapanen.



3 Metsänjalostusohjelman tavoitteet

3.1 Toiminta-ajatus ja tulevaisuuden visio

Toiminta-ajatus

Metsänjalostus muokkaa metsänviljelyaineiston perinnöllisiä ominaisuuksia paremmin ihmisen tarpeita vastaaviksi niin, että puusta valmistettavien tuotteiden arvo lisääntyy ja metsänkasvatuksen taloudellinen kannattavuus paranee. Kaikki jalostustyö tähtää jalostushyötyjen saavuttamiseen sekä niiden siirtämiseen mahdollisimman nopeasti metsänviljelyyn. Perinnöllisesti korkealaatuisen, erilaisille kasvupaikoille ja ilmasto-oloihin hyvin sopeutuneen viljelyaineiston saatavuus varmistetaan koko maassa. Pitkäjänteisen, useita ihmis- ja puusukupolvia jatkuvan metsänjalostuksen edellytykset turvataan ylläpitämällä jalostuksen kohteena olevassa puujoukossa laajaa perinnöllistä monimuotoisuutta.

Visio

Metsänjalostus on erottamaton ja itsestäänselvä osa nykyaikaista viljelymetsätaloutta ja sen aktiivinen edistäjä. Metsänviljelyssä käytettävä aineisto on kokonaisuudessaan jalostettua, ja tuotettu menetelmillä, joiden avulla jalostuksen tulokset kyetään nykyistä siemenviljelyä tehokkaammin siirtämään metsätalouden hyödyksi.

3.2 Strategiset arvot

Tuloksellisuus

Metsänjalostuksen tulokset — jalostushyödyt taloudellisesti tärkeissä ominaisuuksissa — realisoituvat metsätalouden hyödyksi metsänviljelyn kautta. Kaikki jalostustyö tähtää jalostushyötyjen saavuttamiseen ja niiden siirtämiseen mahdollisimman nopeasti metsänviljelyyn joko suvullisen siemenlisäyksen tai kasvullisen lisäyksen avulla. Metsänjalostus on siten tärkeä osa edistävää metsätaloutta ja metsäpuiden siemen- ja taimihuoltoa. Pääpuulajien osalta jalostusohjelman tavoitteena on turvata nykyistä pitemmälle jalostetun aineiston saatavuus toisen polven valiosiemenviljelyksiin. Jalostetun aineiston käyttöä metsänviljelyssä pyritään lisäämään tiedottamalla metsänjalostuksen tuloksista ja tukemalla kasvullisten massalisäystekniikoiden käyttöönottoa edistävää tutkimustyötä.

Ennakoivuus

Metsänjalostuksessa on kyettävä vastaamaan myös niihin haasteisiin, joita aiheuttavat metsätalouden toimintaympäristössä ja tavoitteissa tapahtuvat muutokset. Jalostusohjelman tavoitteena onkin varmistaa korkealaatuisen ja hyvin sopeutuneen metsänviljelyaineiston tuottamisen myös tulevaisuuden muuttuneisiin olosuhteisiin.

Jalostusohjelmassa on tunnistettu seuraavat muutostrendit: ilmastonmuutos, jalostustavoitteiden muutokset sekä bio- ja geenitekniikan uudet sovellukset. Epävarmaan tulevaisuuteen varautumiseksi jalostusaineistoissa on ylläpidettävä perinnöllistä monimuotoisuutta yli ajankohtaisten tarpeiden, jotta jalostettavien ominaisuuksien erilaisiin painotuksiin säilyisi mahdollisuus sekä jalostuksessa että jalostetun aineiston lisäyksessä. Erityistä huomiota kiinnitetään tulevaisuuden

metsänviljelyaineistojen geneettiseen joustavuuteen; tavoitteena pidetään niiden määrätietoista sopeuttamista käynnissä olevaan ilmastomuutokseen ja sen ennakoitavissa oleviin välittömiin ja välillisiin seurauksiin. Tässä onnistuminen edellyttää, että jalostusaineiston puiden adaptiivisista ominaisuuksista ja reaktionormeista on jatkossa selvästi nykyistä enemmän tietoa. Tämä edellyttää jalostusaineistojen testausta systemaattisesti useissa erilaisissa ympäristöolosuhteissa, ja testaustulosten hyödyntämistä mahdollisimman laajan sopeutumiskyvyn omaavien genotyyppien valitsemiseksi.

Metsänjalostuksessa hyödynnetään nykyisin pääasiassa sitä osaa perinnöllisestä muuntelusta, joka siirtyy seuraavaan sukupolveen suvullisessa lisääntymisessä (nk. additiivista perinnöllistä muuntelua). Perinnöllisessä muuntelussa erotetaan myös perintötekijöiden ainutkertaisista yhdysvaikutuksista (dominanssi- ja epistaattiset vaikutukset) aiheutuva ei-additiivinen komponentti. Tämän muuntelunosan hyödyntäminen metsätaloudessa edellyttää joko kontrolloituihin riistetyksiin tai kasvulliseen lisäykseen, esimerkiksi pistokkaiseen tai solukkoviljelyyn perustuvia metsänviljelysaineiston massalisäystekniikoita, joita on tällä hetkellä käytettävissä lähinnä kuusella, koivulla ja erityisesti haavalla. Tällä hetkellä kasvullisesti lisättyä metsänviljelyaineistoa tuotetaan vain vähäisessä määrin haavalla ja visakoivulla. Tulevaisuudessa em. tekniikat voivat yleistyä myös muilla puulajeilla, mikä mahdollistaisi niin additiivisen kuin ei-additiivisenkin perinnöllisen muuntelun hyödyntämisen huomattavasti perinteistä siemenviljelyä tehokkaammin ja laajemmin. Tähän valmistaudutaan suuntaamalla jalostustyön kaikissa vaiheissa enin osa resursseista jalostusaineiston parhaan osan kehittämiseen.

Geenitekniikan sovellutuksista useimmat ovat metsäpuilla vielä varhaisella kokeiluasteella. Metsäpuiden perimän kartoituksen on jo pitkään odotettu johtavan valintajalostuksen tehostumiseen. Merkkigeeniavusteisen valinnan yleistyminen edellyttää kuitenkin yhä kartoituksen tarkentumista. On todennäköistä, että näiden menetelmien soveltaminen jalostukseen tulee aikanaan tapahtumaan ennakoitua suppeammassa laajuudessa. Jalostustulosten käytäntöön siirtämisen nopeutta voidaan lisätä käyttämällä kasvullisesti lisättyä aineistoa aluksi jalostusaineiston testauksessa ja jatkossa myös metsänviljelyaineiston tuotannossa. Metsänjalostuksen tehtävänä on varmistaa ominaisuuksiltaan ja sukujuuriltaan tarkoin tunnetun lähtöaineiston saatavuus sekä kasvullisesti lisättäväksi että mahdollisesti myös geenitekniikalla edelleen kehitettäväksi. Tämän lisäksi mahdolliset palautteet geenitekniikasta metsänjalostukseen — esimerkiksi siirto-geenisen jalostusaineiston muodossa — tulevat jalostuksen testaus- ja valintamenettelyn kautta. Perinteisellä jalostuksella on siten keskeinen rooli tulevaisuuden geenitekniikan hyödyntämisessä ja riskinhallinnassa.

Kustannustehokkuus

Uuden jalostusohjelman linjaukset merkitsevät jalostustoiminnan kustannustehokkuuden parantamista. Puulajien jalostuspopulaatiot ovat kooltaan selvästi pienempiä vuoden 1989 metsänjalostusohjelmassa esitettyihin verrattuna, mikä alentaa toiminnan kustannuksia kaikissa jalostus- ja kasvun vaiheissa. Kenttäkoetoiminnassa käyttöön otettavat aikaisempaa tehokkaammat koejärjestelyt sekä kasvullisella aineistolla perustettavat testaukset mahdollistavat taimimäärien ja testauspinta-alojen supistamisen. Eräillä metsätaloudellisesti vähämerkityksellisemmällä puulajeilla aineistojen testauksesta luovutaan kokonaan, ja jalostustyö perustetaan pelkästään fenotyyppiseen valintaan.

3.3 Jalostustavoitteet

Jalostustyön pitkäjänteisyyden vuoksi jalostustavoitteiden tulee olla verrattain yleisiä niin, että ne säilyttävät merkityksensä kaikissa todennäköisissä metsätaloutta koskevista tulevaisuuden skenaarioissa. Tavoitteiden muuttamista kesken jalostustyötä on syytä välttää, sillä se johtaisi ominaisuuksien välillä vallitsevien perinnöllisten riippuvuussuhteiden vuoksi helposti jo saavutettujen jalostushyötyjen mitätöitymiseen tai merkittävään pienenemiseen.

Jalostettavat ominaisuudet ja niiden painotukset säilyvät lähes entisellään. Hyvää viljelyvarmuus, jolla tarkoitetaan laajaa mukautumiskykyä ilmastoon, taudin- ja muiden tuhojen kestävyyttä sekä ympäristöolosuhteiden vaihtelun sietokykyä, on jo aikaisemmin ollut tärkein ominaisuus Pohjois-Suomen ilmastollisesti ankarissa oloissa, joissa korkea taimikuolleisuus on suurin metsänviljelyn ongelmista. Jatkossa siitä tulee entistäkin tärkeämpi jalostustavoite koko maassa. Tämä johtuu odotettavissa olevasta ilmastonmuutoksesta, joka tulee vaatimaan metsäpuilta aikaisempaa parempaa mukautumiskykyä ja joustavuutta. Viljelyvarmuuden jalostamiseksi ehdokasaineistot testataan useilla erilaisilla ympäristöolosuhteilla edustavilla koepaikoilla. Tällöin testaustulosten perusteella voidaan jatkojalostukseen ja siemenviljelyksille valita mahdollisimman joustavia genotyyppisiä ("generalisteja"), joiden jälkeläiset menestyvät hyvin erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Kuusella viljelyvarmuutta (hallanarkuutta) parannetaan myös kasvurytmiin kohdistuvalla valinnalla.

Jalostuksen kohteena olevista muista ominaisuuksista tärkeimmät ovat edelleen — puulajista ja kohdealueesta riippuen — rungon ulkoinen laatu sekä runkopuun tuotos pinta-alayksikköä kohden. Kasvun jalostuksessa kriteerinä käytetään puun kokoa (pituus, rungon läpimitta ja niiden perusteella laskettu rungon tilavuus). Laadun jalostuksessa sovelletaan useimmiten rungon muodon ja oksaominaisuuksien silmävaraista arvostelua.

Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi myös puuaineksen laadussa, kuten puun tiheydessä, kuidunpituudessa ym. paperintuotantoon vaikuttavissa ominaisuuksissa (erityisesti haavalla), nisäkäsresistenssissä (koivulla) ja lahonkestävyydessä (männyllä) on tutkimuksissa todettu selväpiirteistä perinnöllistä muuntelua, joka voidaan tarvittaessa ottaa jalostuksen kohteeksi omissa osapopulaatioissaan.

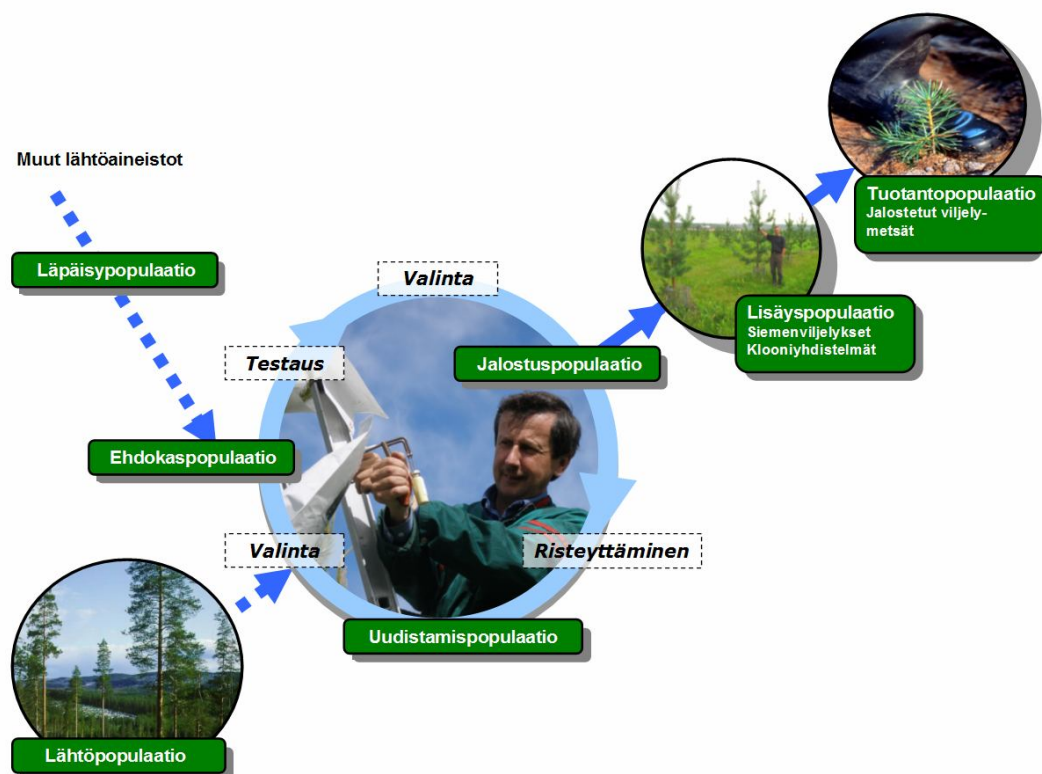
4 Jalostusaineistot

4.1 Jalostussyklin populaatiot

Jalostusaineistot ryhmitellään käsitteellisesti populaatioihin, joilla on erilainen rooli pitkän aikavälin jalostuksessa. Metsänjalostuksen lähtöaineiston muodostavia luonnonmetsiä kutsutaan **lähtöpopulaatioksi**. Lähtöpopulaatiossa suoritettavan pluspuiden valinnan tuloksena on kandidaatti- l. **ehdokaspopulaatio**.

Jokaisen jalostuskierroksen päätteeksi ehdokkaiden joukosta valitaan testauksen perusteella parhaat yksilöt **jalostuspopulaatioon**. Jalostuspopulaatio on jalostussyklin populaatioista keskeisin, sillä ainoastaan siihen kuuluvien puiden sallitaan siirtää perintekijöitään eteenpäin seuraavaan jalostussukupolveen. Ensimmäisen polven jalostuspopulaatiota kutsutaan myös **perustajapopulaatioksi**, koska siihen sisältyvät kaikki ne luonnonmetsien perintötekijät, jotka muodostavat pohjan myöhemmälle jalostukselle.

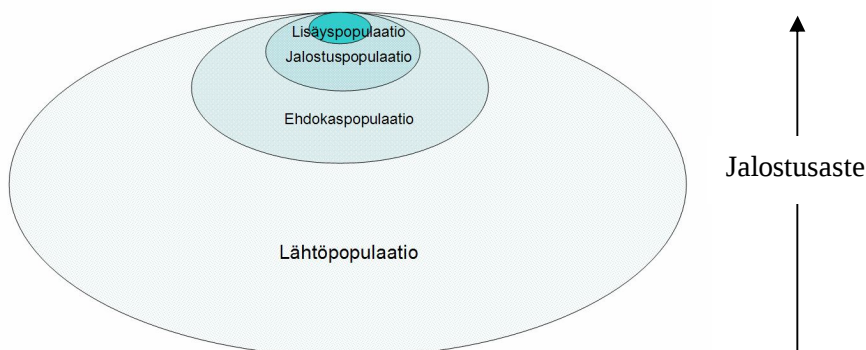
Ne yksilöt, jotka hyväksytään käytettäväksi metsänviljelyaineiston massatuotannossa muodostavat **lisäyspopulaation**. Lisäyspopulaatio voidaan koostaa joko ehdokkaista (tyypillisesti ensimmäisen polven siemenviljelykset) tai jalostuspopulaation testatusta parhaimmistosta (valio-siemenviljelykset). Edellisessä tapauksessa ehdokas- ja lisäyspopulaatio ovat yleensä koostumukseltaan identtiset. Lisäyspopulaatio ei enää kuulu jalostussykliin. Jalostussyklin ulkopuolella on myös **tuotantopopulaatio**, jolla tarkoitetaan lisäyspopulaation avulla tuotettua, metsänviljelyssä käytettävää jalostettua aineistoa. Metsänjalostuksen tulokset realisoituvat luonnollisesti juuri tuotantopopulaation perinnöllisten ominaisuuksien parantamisena.



Kaavamainen esitys metsäpuiden jalostuskierrosta ja siihen osallistuvista populaatioista.

Seuraavaan jalostussukupolveen siirtyminen (uudistaminen) tapahtuu pääsääntöisesti jalostuspopulaation puiden välisten kontrolloitujen risteytysten avulla, jolloin syntyvien jälkeläisten vanhemmat ovat tunnettuja. Risteytyksistä tai vapaapölytyksistä syntyviä aineistoja kutsutaan **uudistamispopulaatioksi** (l. rekrytointipopulaatio). Se on toiminnallisesti rinnasteinen lähtöpopulaation kanssa, koska uudistamispopulaatiossa suoritetaan vastaava ehdokasvalinta kuin lähtöpopulaatiossa ensimmäisessä sukupolvessa.

Jalostussykliin voidaan tuoda aineistoa myös sen ulkopuolelta. Uusi aineisto pääsääntöisesti testataan ennen kuin se hyväksytään jalostussykliin. Sen geneettistä tasoa voidaan tarvittaessa nostaa **läpäisy populaatiossa** (l. sisäänottopopulaatio). Kun uusi aineisto on peräisin ulkomaisista jalostusohjelmista, erillistä läpäisy populaatiota ei yleensä tarvita, vaan edellä mainittujen ohjelmien jalostus populaatioiden voidaan katsoa muodostavan läpäisy populaation. Aineisto otetaan tällöin suoraan testattavaksi yhdessä kotimaisen ehdokasaineiston kanssa. Joissain tapauksissa, kun tuotava aineisto on jo testattu muissa ohjelmissa, se voidaan siirtää myös suoraan jalostus populaatioon (mahdollisesti omana erityistavoite populaationaan).



Jalostussyklin populaatiot ovat toistensa osajoukkoja.

Jalostuksen populaatiot muodostuvat siis valinnan tuloksena jalostuskierron edetessä, ja kukin niistä on edeltävän populaation osajoukko. Ehdokaspopulaatio sisältyy lähtö- tai uudistamispopulaatioon, jalostuspopulaatio ehdokaspopulaatioon, ja lisäyspopulaation puut kuuluvat kaikkiin sitä ajallisesti edeltäviin saman syklin populaatioihin. Poikkeuksena tästä ensimmäisen polven siemenviljelykset perustetaan yleensä testaamattomalla pluspuilla, jolloin ehdokaspopulaatio ja lisäyspopulaatio ovat koostumukseltaan identtiset.

4.2 Metsänjalostuksen kohdealueet

Sopeutuneisuus viljelypaikalla vallitsevaan ilmastoon on olennainen osa metsänviljelyaineistoilta edellytettävää hyvää viljelyvarmuutta. Luonnonvalinnan tuloksena metsäpuiden maantieteellisten alkuperien välille on syntynyt eroja ilmastoon sopeutuneisuudessa. Tämän seurauksena tiettyä alkuperää edustavan siemenaineiston viljely kaukana alkuperäalueeltaan johtaa yleensä joko kasvun tai kestävyys heikkenemiseen. Metsänjalostuksessa nämä luontaiset sopeutuneisuuserot pyritään ottamaan huomioon jakamalla jalostusaineisto erillisiin osapopulaatioihin, joita jalostetaan tiettyä ilmastollisesti suhteellisen yhtenäistä aluetta silmälläpitäen.

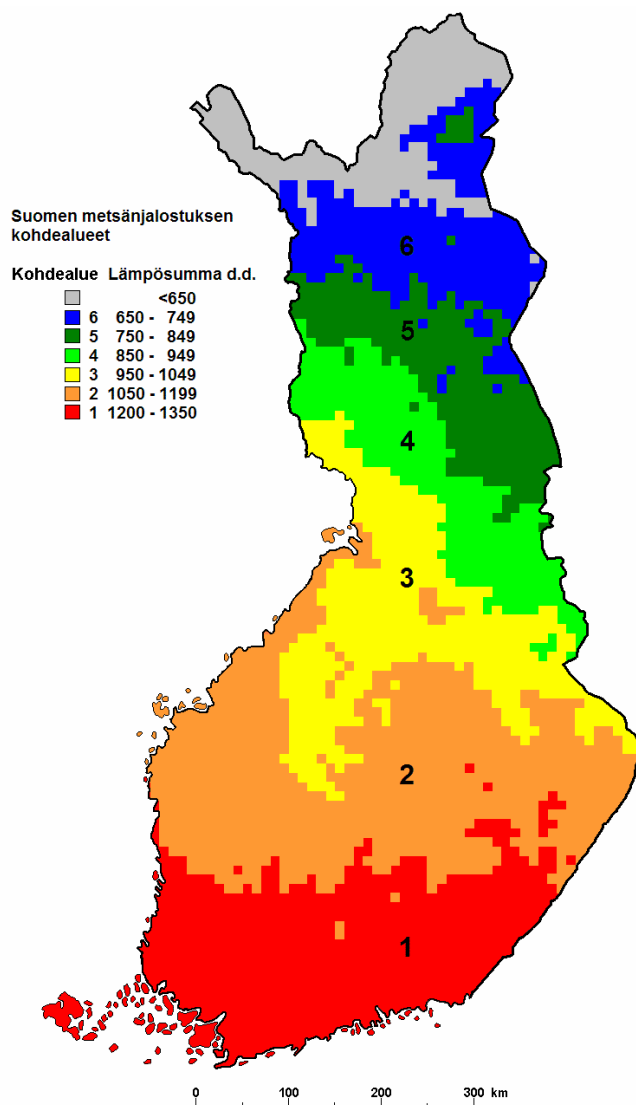
Pitkätähdyksen metsänjalostusohjelmassa (1989) Suomi jaettiin maantieteellisiin jalostusvyöhykkeisiin, joita oli männynllä 11, kuusella kuusi, ja koivuilla kolme. Vyöhykkejaon perusteena käytettiin lähinnä kasvukauden keskimääräisen tehoisan lämpösumman suuralueittaista vaih-

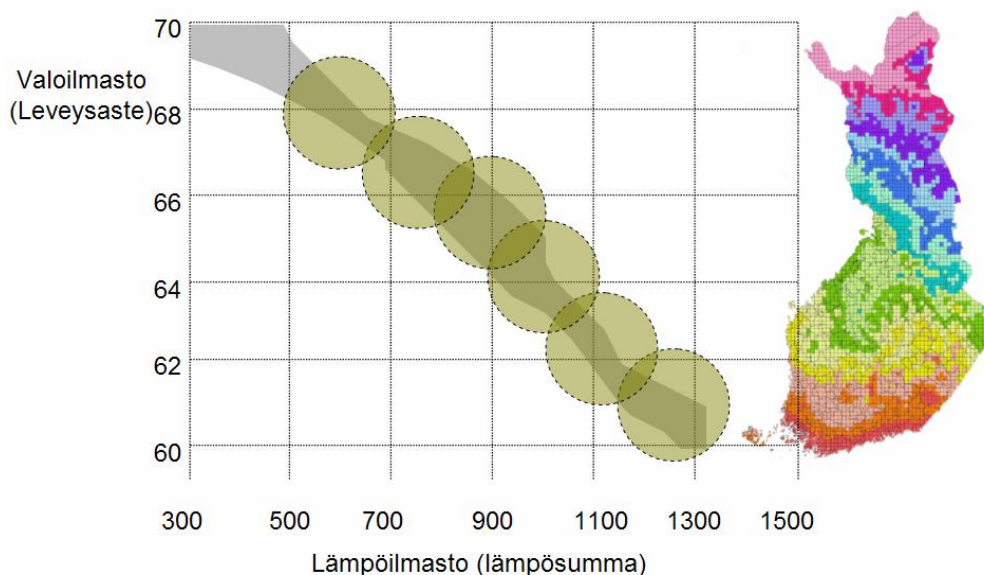
telua sekä valittujen pluspuiden lukumäärien maantieteellistä jakaumaa. Jalostusvyöhykkeiden yhtenä tarkoituksena oli siis ryhmitellä ensimmäisen polven ehdokasaineistot käytännön toiminnan kannalta sopivan kokoisiksi käsittely-yksiköiksi.

Vyöhykerajaukset muodostuivat eri puulajeilla jossain määrin toisistaan poikkeaviksi. Männyllä katsottiin varovaisuussyistä tarkoituksenmukaiseksi rajata jalostusvyöhykkeet siten, että kunkin vyöhykkeen kylmimmän ja lämpimimmän osan keskimääräisen lämpösumman välinen erotus oli enintään 150 lämpösummayksikköä. Myös mantereisuuseroihin varauduttiin. Pohjois-Suomen jalostusvyöhykkeissä lämpösumman vaihteluväli jäi kuitenkin tätäkin selvästi kapeammaksi (~100 d.d.). Jalostusvyöhykkeiden lukumäärä oli Pohjois-Suomessa verrattain korkea. Yhteensä 11:stä männyn vyöhykkeestä seitsemän oli kokonaan tai osittain Oulu-Kuusamo -linjan pohjoispuolella. Eräät niistä olivat lisäksi lämpösummiensa vaihtelun puolesta lähes identtiset. Kuusen ja rauduskoivun jalostusvyöhykkeet olivat jonkin verran männyn vyöhykkeitä suurempia.

Metsänjalostus 2050 -ohjelmassa Suomi on jaettu kuuteen kohdealueeseen tärkeimmän kasvutekijän, kasvukauden aikaisen lämpösumman mukaan. Kohdealueella tarkoitetaan yhden jalostuspopulaation pääasiallista ilmastollista jalostustavoitetta. Kohdealue on laajuudeltaan 100–150 lämpösummayksikköä. Käytännöllisistä syistä kohdealueiden lämpösummarajat on määriteltä siten, että jaottelu on suurin piirtein yhtenevä vanhan jalostusohjelman kuusen jalostusvyöhykkeiden kanssa. Kaikilla pääpuulajeilla sovelletaan toistaiseksi samoja kohdealuerajauksia. Tulevaisuudessa kohdealueita saatetaan joutua muuttamaan ilmaston muuttuessa. Koska ilmastomuutoksen nopeudesta ja suuruudesta ei ole täyttä varmuutta, erilaisiin skenaarioihin varaudutaan korostamalla laaja-alaisen sopeutuneisuuden merkitystä jalostustavoitteena.

Männyllä itsenäisiä jalostuspopulaatioita muodostetaan kuusi (kohdealueet 1–6), kuusella viisi (kohdealueet 1–5) ja rauduskoivulla kaksi (kohdealueet 1–2). Kuusen ja rauduskoivun jalostuksen rajoittuminen eteläisille kohdealueille selittyy niiden vähäisellä metsätaloudellisella merkityksellä ja metsänviljelyllä pohjoisimmassa Suomessa (kuusi) ja poronhoitoalueella (rauduskoivu). Aineistoa johonkin populaatioon voidaan valita myös sille määritellyn kohdealueen ulkopuolelta, jos koeviljelytulokset antavat tähän aihetta. Kotimaisten jalostusaineistojen ohella jalostustyössä voidaan hyödyntää Ruotsin ja Baltian maiden jalostusohjelmien aineistoja ilmastollisen sopeutuneisuuden vaatimusten puitteissa.





Vuotuisen lämpösumman vaihtelu Suomen eri osissa (harmaa alue) ja metsänjalostuksen kohdealueet.

4.3 Populaatiorakenne

4.3.1 Jalostuspopulaatioiden lukumäärä ja koko

Jalostuspopulaation muodostavat ne parhaat yksilöt, joiden annetaan tuottaa seuraavan sukupolven jalostusaineisto. Jalostuspopulaation koko ja sen sisäiset sukulaisuusrakenteet määrittelevät siten jalostuksen piirissä säilyvän perinnöllisen muuntelupohjan laajuuden. Ensimmäisen polven jalostuspopulaatioiden (perustajapopulaatio) tavoitekokoon on pääpuulajeilla 160 yksilöä / kohdealue. Tällä turvataan tietyn alueen luonnonpopulaatioissa esiintyvän summautuvan perinnöllisen muuntelun sisältyminen jalostuspopulaatioon lähes täydellisesti (yli 99%).

Vain hyvin harvinaisina esiintyvät perintötekijät jäävät alkuvaiheessa jalostuksen ulkopuolelle. Niillä ei ole juurikaan vaikutusta populaatioissa ilmenevän perinnöllisen muuntelun laajuuteen, eikä siten myöskään välitöntä merkitystä jalostukselle, varsinkin kun mutaatiot luovat jatkuvasti vastaavaa uutta muuntelua valintajalostuksen hyödynnettäväksi. Harvinaisimpien perintötekijöiden merkitys on ensisijaisesti evolutiivinen, lajin sopeutumista edistävä, ja se korostuu olosuhteiden muuttuessa, jolloin luonnon valintapaine voi muuttua niitä suosivaksi. Harvinaisten alleelien yleistymisen vaatii kuitenkin voimakasta valintapainetta ja useita sukupolvia. Jalostusaineiston lisäyksessä harvinaisia alleleja voidaan hyödyntää suoraankin, mikäli kasvullinen monistaminen on toimiva vaihtoehto.

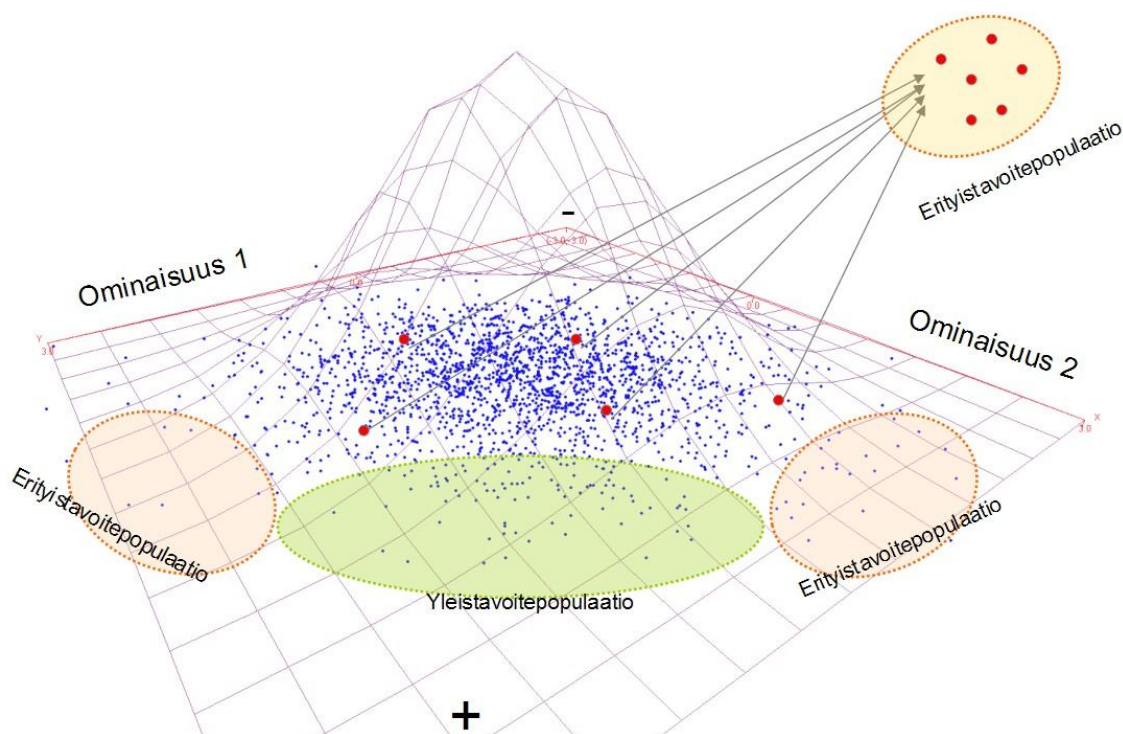
Koska kaikkia populaatioissa esiintyviä harvinaisia perintötekijöitä ei ole tarpeen (eikä käytännössä mahdollistakaan) sisällyttää jalostusaineistoon, jalostusta voitaisiin jatkaa tehokkaasti useita sukupolvia ehdotettua selvästi pienemmilläkin populaatioilla. Pitkäjänteisessä metsänjalostuksessa on kuitenkin tärkeää varautua ennakolta ympäristössä ym. olosuhteissa tapahtuviin muutoksiin. Tämä edellyttää, että jalostuksen piirissä säilyy riittävästi sellaisia harvinaisempia alleleja, jotka saattavat osoittautua tulevaisuudessa arvokkaiksi. Jalostuspopulaation tehoisa koko on siten syytä pitää suurempana kuin mitä ajankohtaiset tarpeet edellyttäisivät. Välittömiä tarpeita suurempi yksilömäärä on perusteltu myös siksi, että se (yhdessä osalinjajaon kanssa) hidastaa ratkaisevasti sukusiitoksen kertymistä tulevaisuuden jalostussukupolvissa ja mahdollistaa siten ei-sukulaisten puiden saatavuuden tuleviin siemenviljelyksiin usean sukupolven ajan.

4.3.2 Yleis- ja erityistavoitepopulaatiot

Tärkeimmiksi arvioituja ominaisuuksia jalostetaan soveltamalla painotuksia, jotka määräytyvät kyseisten ominaisuuksien arvioidun keskinäisen taloudellisen merkityksen mukaisesti. Jalostuspopulaatiosta, jonka muodostamisessa sovelletaan näitä yleisiä painotuksia (ilmastollisen sopeutuneisuuden vaatimusten ohella), voidaan tästä syystä käyttää myös nimitystä yleistavoitepopulaatio (tai -joukko).

Kovin monen erillisen ominaisuuden jalostaminen samassa populaatiossa on tehotonta, koska uusien ominaisuuksien ottaminen valinnan kohteeksi vähentää väijäämättä yksittäisissä ominaisuuksissa saavutettavaa edistymistä. Uusien erityisominaisuuksien (esimerkiksi lahonkestävyys, puun kuituominaisuudet, puuaineen visaisuus, kapealatvaisuus jne.) sisällyttäminen jalostukseen on järkevintä toteuttaa perustamalla pienempiä, korkeintaan muutamasta kymmenestä yksilöstä koostuvia erityistavoitepopulaatioita. Erityistavoitepopulaatioissa, joissa jalostettavat ominaisuudet ovat enemmän tai vähemmän yleistavoitteesta riippumattomia, voidaan siten jalostaa puita tietyissä tunnetuissa olosuhteissa halutun ilmiäsuun tuottavia "täsmäjalosteita".

Erityistavoitepopulaatio voidaan perustaa myös jonkin yleiseen jalostustavoitteeseen sisältyvän ominaisuuden painottamiseksi poikkeavalla tavalla. Vaihtoehtoisen valintaindeksin painotukset on syytä määritellä konservatiivisesti, jotta sen perusteella valittavat puut eivät poikkeaisi liikaa muusta jalostusaineistosta. Näin menetellen myös erityistavoitepopulaation aineistot ovat käytettävissä valittaessa aineistoa lisäykseen. Erilaiseen indeksipainotukseen perustuvalla valinnalla tulee siten saavuttaa jalostushyötyä myös siinä tapauksessa, että sen mukaan valitut puut arvoisteltaisiin yleistavoiteindeksin mukaan.



Kaavamainen esimerkki yleis- ja erityistavoitepopulaatioiden muodostamisesta tilanteessa, jossa jalostustavoite sisältää kaksi taloudellisesti tärkeää ominaisuutta. Siniset pisteet tarkoittavat jalostusaineiston yksilöiden sijoittumista ominaisuusakseleille. Erityistavoitepopulaatio voidaan perustaa myös jonkin yleistavoitteesta täysin riippumattoman ominaisuuden jalostamiseksi (oik. ylh.).

Erityistavoitepopulaatiot ovat toiminnallisesti itsenäisesti yksiköitä, joten niihin valittavat puut voivat olla mukana myös yleistavoitepopulaatiossa. Jokaiselle erityistavoitepopulaatiolle laaditaan oma jalostussuunnitelma, jonka intensiivisyysaste voi vaihdella tapauskohtaisesti huomattavastikin — passiivisesti säilytettävästä kloonikokoelmasta voimaperäisen jalostustyön kohteena olevaan eliittilinjaan. Erityistavoitepopulaatioita voidaan perustaa myös tutkimustarkoituksissa (esimerkkinä männyn kloonitestausta). Lähtökohtaisesti erityistavoitepopulaatioissa saavutettuja tuloksia ei ole tarkoitus hyödyntää suvullisen siemenlisäyksen, vaan tehokkaampien lisäysmenetelmien, ennen muuta risteytysperheiden kasvullisen joukkomonistuksen ja yksilöiden kloonimonistuksen avulla.

4.3.3 Osalinjat

Perinnöllisen muuntelun säilyminen koko populaation mitassa laajana on kestävän jalostustyön perusedellytys. Muuntelua supistavat sekä valinta että alleelien sattumanvarainen häviäminen, nk. satunnaisajautuminen. Perinnöllisen muuntelun ehtymistä voidaan tehokkaasti hidastaa pidättäytymällä valinnassa perheen sisäisen muuntelun hyödyntämisessä, jakamalla jalostusaineisto pienempiin yksiköihin, ja huolehtimalla siitä, että jalostuspopulaatioiden yhteinen yksilömäärä, nk. metapopulaatio, sisältää alussa riittävästi muuntelua.

Metapopulaatioiden tavoite koko on pääpuulajeilla useita satoja yksilöitä, joka riittää hyvin pitkäjänteisen jalostustyön tarpeisiin. Koska tiettyjä ilmastollisia tavoitteita vastaavia jalostuspopulaatioita perustetaan vain melko pieni määrä (2–6 kpl), strukturointia on perusteltua jatkaa alemmille hierarkiatasojille. Tämä tarkoittaa jalostuspopulaation jakamista vieläkin pienempiin, muutamasta puusta koostuviin itsenäisiin käsittely-yksiköihin, osalinjoihin.

Osalinjat koostetaan männyllä ja kuusella pääsääntöisesti toisen jalostuskierroksen lopulla, toisen polven jalostuspopulaation yksilöistä. Jokaiseen osalinjaan valitaan kahden ei-sukulaisten risteytysperheen kaksi parasta testattua ehdokasta, siis neljä yksilöä. Osalinjojen koko voi olla alussa tätä suurempikin, mikäli se on tarpeen jalostuspopulaation puiden sukulaisuussuhteiden ohjaamiseksi osalinjojen sisälle. Osalinjoja koostettaessa voidaan soveltaa myös epätasapainoista valintaa, jossa parhaista perheistä valitaan osalinjaan kolme ehdokasta, jalostusarvoltaan keskimääräisistä perheistä kaksi ja ja huonoimmista vain yksi.

Yksilömääriltään pienten osalinjojen sisällä muuntelu supistuu geenifrekvenssien satunnaisajautumisen tuloksena suhteellisen nopeasti. Silloin, kun populaatiota tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena, ilmiö on päinvastainen: perinnöllinen muuntelu säilyy samankokoisessa populaatiossa paremmin silloin kun populaatio on ositettu (verrattuna siihen että osalinjoja ei muodosteta). Tämä on seurausta siitä, että eri osalinjoissa ajan myötä sattumanvaraisesti fiksoituvat alleelit eivät ole samoja.

Osalinjoilla pyritään myös varmistamaan, että jalostuspopulaatiosta voidaan pitkällä aikavälillä poimia riittävästi puita, joiden käyttö siemenviljelyksillä ei aiheuta jalostushyödyn alenemiseen johtavia sukurasitusongelmia. Sukurasituksella tarkoitetaan jälkeläisten kasvun sekä lisääntymis- ja elinkyvyn taantumista, joka on seurausta läheisten sukulaisten paritumisesta eli sukusiitoksesta. Ilmiö on seurausta ”geneettisestä taakasta”, suuresta joukosta piilevinä esiintyviä haitallisia alleleita, jota kaikki puulajimme kantavat. Suurissa ristisiittoisissa luonnonpopulaatioissa taakan merkitys on vähäinen. Sen sijaan pienehköissä suljetuissa populaatioissa sukusiitosaste lisääntyy sukupolvien vaihtuessa väijäämättömästi sen hillitsemiseksi valituista toimenpiteistä riippumatta. Lähisukulaisten välisen risteytymisen ja niissä piilevien epäedullisten geeni-

muunnosten homotsygoitumisen seurauksena jälkeläiset kehittyvät vanhempiaan huonommiksi. Sukurasitus on siten sukusiitoksen näkyvä seuraus ja mitattavissa oleva ilmentymä.

Jalostetussa metsänviljelyaineistossa sukurasitusilmiöitä ei voida sallia. Siemenviljelyyn valittavat kloonit eivät saa tästä syystä olla keskenään (aluksi lainkaan ja myöhemminkään ei kovin läheistä) sukua. Osalinjojen etuna on se, että sukusiitoksen lisääntyminen voidaan keskittää jalostuspopulaatiossa osalinjojen sisälle. Yhteen siemenviljelykseen voidaan siten valita yhtä monta yksilöä kuin jalostuspopulaatiossa on ei-sukulaisia osalinjoja. Kaikkia jalostuspopulaation puita voidaan edelleen hyödyntää siemenlisäyksessä, kunhan huolehditaan siitä, että samasta osalinjasta valitut puut päätyvät eri siemenviljelyksille.

Sukusiitosasteen väistämätön lisääntyminen populaatiossa saattaa aiheuttaa pitkän päälle ongelmia puiden kukinnalle ja siten myös jalostuksen etenemiselle. Tätä kielteistä kehitystä voidaan tarvittaessa hillitä yhdistämällä seuraavissa sukupolvissa osalinjojen aineistot pareittain. Tällöin osalinjojen koko kasvaa edelliseen sukupolveen verrattuna kaksinkertaiseksi ja lukumäärä vastaavasti puolittuu. Kun näin menetellään toistuvasti, osalinjojen lukumäärä supistuu ennen pitkää niin pieneksi, että siemenviljelyksiin on vaikea löytää riittävää määrää yksilöitä, jotka eivät olisi toisilleen jossain määrin sukua. Tähän ajaudutaan kuitenkin vasta kaukaisessa tulevaisuudessa, usean jalostuskierroksen jälkeen. On todennäköistä, että perinteinen siemenviljely on siinä vaiheessa jo korvautunut tehokkaammilla massalisäysmenetelmillä (risteytysaineistojen kasvullinen massalisäys), joissa sukulaisuussuhteet ja sukusiitoksesta aiheutuvat ongelmat ovat helpommin hallittavissa. Eräs mahdollisuus on luopua osalinjoista kokonaan muuttaman puusukupolven kuluttua. Jalostus voi sen jälkeenkin jatkua pitkään tehokkaana perustuen valintaan, jossa otetaan halutuin painotuksin huomioon sekä ehdokkaiden jalostusarvot että niiden keskinäiset sukulaisuussuhteet.

Sukusiitoksen kehittymistä voidaan tehokkaasti viivästyttää myös tuomalla jalostukseen testauksen kautta ei-sukulaista aineistoa joko luonnonpopulaatiosta tai rinnakkaisista jalostusohjelmista (lähinnä Ruotsista). Lisäksi fenotyyppinen valinta toimii itsessään sukurasitusta vastaan ja vähentänee ilmiön merkitystä tulevaisuuden jalostusaineistossa.

4.3.4 Osalinjojen stratifiointi

Jalostusohjelmissa, joissa osalinjajakoa on käytetty, osalinjojen kokoonpano on määräytynyt yleensä enemmän tai vähemmän sattumanvaraisesti. Tällöin osalinjoista tulee geneettisesti verraten samanarvoisia. Tässä ohjelmassa osalinjojen koostamisessa ehdotetaan sovellettavaksi stratifiointia, jossa osalinjojen kokoonpano määräytyy jalostusarvon perusteella. Jalostusarvoiltaan parhaat yksilöt sijoitetaan siten omiin osalinjoihinsa ja heikoimmat vastaavasti omiinsa. Tämä menettely vastaa pitkälle ensimmäisessä sukupolvessa sovellettavaa positiivisesti valikoivien risteytysten periaatetta. Parhaat yksilöt sisältävät osalinjat voidaan ymmärtää myös eliittilinjoina. Osalinjojen stratifiointi laajentaa perinnöllisen muuntelun määrää seuraavassa polvessa, minkä johdosta tulevat siemenviljelykset voidaan perustaa geneettisesti hieman paremmalla aineistolla verrattuna siihen, että siemenviljelyksiin tulevat kloonit valittaisiin satunnaisesti koostetuista osalinjoista. Stratifiointi luonnollisesti lisää myös kasvullisen lisäyksen avulla saatavia jalostushyötyjä.

5 Jalostusaineistojen käsittely

5.1 Jalostuspopulaation uudistaminen

Metsänjalostuksessa uudistamisella tarkoitetaan uuden puusukupolven tuottamista suvullisesti. Uudistamisessa luodaan testatun, hyväksi todetun lähtöaineiston geeniaineksen uudelleenjärjestymisen l. rekombinaation pohjalta uusi muunteleva yksilöaineisto, uudistamispopulaatio, jossa jalostustyötä voidaan menestyksellisesti jatkaa. Jalostuspopulaation uudistaminen tapahtuu pääsääntöisesti kontrolloitujen risteytysten avulla, jolloin syntyvien jälkeläisten molemmat vanhemmat tunnetaan. Risteytykset toteutetaan kloonikokoelmissa, muovinalaisissa jalostustarhoissa ja vanhoissa siemenviljelyksissä.

Uudistamisristeytyksiä ryhdytään toimeenpanemaan välittömästi, kun jalostuspopulaatio tai riittävä osa siitä on saatu koostettua. Risteytykset pyritään saamaan valmiiksi mahdollisimman nopeasti, mihin puulajista ja kukitettavan aineiston iästä riippuen kuluu yleensä 2–7 vuotta.

Risteytysyhdistelmien lukumäärä puuta kohti riippuu puun jalostusarvosta. Pääsääntöisesti uudistamisessa käytetään yksilöpariristeytyksiä, jossa kukin puu risteytetään kerran. Yksilöpariristeytysten tarkoituksena on minimoida puiden väliset sukulaisuussuhteet ja säilyttää jalostuspopulaation tehoisa koko seuraavissa sukupolvissa mahdollisimman suurena. Menettely on myös kustannustehokas; yksilöpariristeytykset minimoivat työmäärän, joka tarvitaan jalostuspopulaation uudistamiseen. Jalostuspopulaation parhaan neljänneksen (40 yksilöä) osalta risteytysyhdistelmiä toteutetaan kuitenkin 2–3 kpl. Risteytysten kokonaistavoitemäärä on siten kussakin jalostuspopulaatiossa 100 kpl (yksilöpariristeytykset $160 \text{ puuta} / 2 = 80$ + ylimääräiset risteytykset $40 \text{ puuta} / 2 = 20$). Useampien risteytysyhdistelmien toteuttaminen tarjoaa mahdollisuuden suorittaa jatkovalintaa paitsi perheiden sisällä, myös niiden välillä. Seuraavan polven ehdokkaat valitaan tällöin yhdestä (parhaasta) risteytysjälkeläistöstä. Ylimääräiset risteytysyhdistelmät parantavat myös jalostushyötymahdollisuuksia silmälläpitäen yksittäisten huippuperheiden ja -yksilöiden kasvullista massalisäystä. Risteytysten lukumäärää onkin syytä edelleen kasvattaa, mikäli siemenviljelyä tehokkaampia metsänviljelyaineiston lisäysmenetelmiä tulee lähitulevaisuudessa saataville.

Risteytysyhdistelmien muodostamisessa sovelletaan mahdollisuuksien mukaan positiivisesti valikoivien risteytysten periaatetta. Siinä jalostuspopulaation puut järjestetään jalostusarvonsa mukaiseen paremmuusjärjestykseen, minkä jälkeen ne risteytetään pareittain samassa järjestyksessä (1×2 , 3×4 , ..., 159×160). Menettelyn etuna on syntyvän uudistamisaineiston hieman laajempi perinnöllinen muuntelevuus satunnaisesti muodostettuihin yhdistelmiin verrattuna. Tämä lisää jalostushyötyjä siinä vaiheessa, kun jalostuspopulaation parhaiden puiden joukosta valitaan aineistoa siemenviljelyksiin tai muuhun lisäykseen.

Uudistamisristeytyksessä syntyvän täyssisarperheen tavoite koko on 120 yksilöä. Risteytysvanhempien parhaan neljänneksen (40 puuta) osalta pyritään kuitenkin vähintään 160 yksilön perheisiin. Vastaavasti jalostusarvoltaan heikoimpien vanhempien osalta riittävä perhe koko on 80 yksilöä. Risteytysperheen kokovaatimuksessa voidaan joustaa alaspäin, jos riittävän uudistamisaineiston luominen osoittautuu ylitsekäymättömän vaikeaksi esimerkiksi puiden niukan kukinnan takia. Koska valinta perustuu jatkossa pääsääntöisesti jälkeläisten vertailuun kunkin perheen sisällä, ei kaikkia risteytyksiä tarvitse saada valmiiksi samanaikaisesti, vaan risteytysaineistojen jatkokasvatus tai testaus voidaan aloittaa kokonaisilla siementaimiperheillä sitä mukaa kuin aineistoa kertyy.

5.2 Ehdokkaiden valinta

Jalostuskierron seuraavassa vaiheessa uudistamispopulaatiosta poimitaan joukko yksilöitä ehdokkaiksi joko sattumanvaraisella otannalla siemen- tai taimivaiheessa tai myöhemmin fenotyyppin perusteella. Fenotyyppistä valintaa kutsutaan myös esivalinnaksi, koska valitut ehdokkaat jatkotestataan jälkeläis- tai kloonikokeissa.

Ehdokkaat valitaan 5–17 vuotta kestävästä jälkeläiskasvatusvaiheen (esivalintakoe) jälkeen. Jälkeläisten kasvatus esivalintakokeessa vie rauduskoivulla 10–14 ja männyllä 13–17 vuotta. Myös kuusen kloonitestausta voi edeltää jälkeläiskasvatus ja esivalinta siinä tapauksessa, että ehdokkaat on mahdollista valita suoraan nuorista jälkeläiskokeista. Kuusella esivalinta joudutaan suorittamaan muita puulajeja aikaisemmin, 5–7 vuoden iällä, koska kloonitestauksen edellyttämä ehdokkaiden pistokasmonistus vaikeutuu nopeasti tämän ikävaiheen jälkeen. Esivalinta kuusen taimiaineistoissa on tehokkainta pohjoisimmilla kohdealueilla, joilla ilmaston voidaan odottaa karsivan kestävyydeltään heikoimpia genotyyppisiä jo muutaman ensimmäisen ikävuoden aikana. Etelä-Suomessa, jossa viljelyvarmuus on yleensä tyydyttävä, jälkeläiskasvatusvaihe ei ole kuusella välttämätön, vaan ehdokkaat voidaan poimia jo taimitarhakasvatuksen yhteydessä. Vaikka tällöin kyse on enemmän otannasta kuin valinnasta, jonkunasteista fenotyyppistä valintaa voidaan kuitenkin suorittaa taimien kasvujakson pituuden tai hallankestävyyden perusteella. Niin otantaa kuin valintaakin seuraa aina ehdokkaiden varttaminen kokoelmiin (tai taltiointi kryopreservoimalla), mahdollisimman nopea kukittaminen sekä siemenen tai kasvullisesti lisätyjen taimien tuottaminen jälkeläis- tai kloonikokeita varten.

Parhaiden vanhempien risteytysjälkeläistöistä valitaan jälkeläistestaukseen useampia (10–20 kpl) ehdokkaita kuin jalostusarvoiltaan huonompien vanhempien jälkeläistöistä (5–10 kpl). Ehdokkaiden määrän lisäys (20–35 kpl / perhe) on perusteltua silloin kun fenotyyppisen valinnan sijasta ehdokkaat poimitaan otannalla jo taimivaiheessa tai jos fenotyyppinen valinta on syystä tai toisesta erityisen epäluotettavaa.

Valinnan onnistumisen kannalta on tärkeää, että ympäristötekijöiden vaihtelu esivalintakokeissa on mahdollisimman vähäistä. Esivalintakokeet tuleekin perustaa testaustarhoihin tai vastaaviin olosuhteisiin. Kokeet toistetaan 2–3 paikkakunnalla, jotka sijaitsevat kaikki testattavan aineiston omalla kohdealueella. Tuhoriskin pienentämiseksi esivalintakokeen aineisto on yleensä perusteltua jakaa muutamaan (2–4) satunnaistettuun lohkokoon rajattuihin yhtenäisruutuihin. Esivalinnassa on tarpeen painottaa kokeiden tuottaman informaation luotettavuutta siten, että suhteellisesti suurin osa ehdokkaista valitaan niistä koeviljelyksistä, jotka puista tehtyjen mittausten perusteella erottelevat perinnöllisiä eroja parhaiten.

Männyn ja kuusen toisen sukupolven uudistamispopulaatioihin hyväksytään poikkeuksellisesti myös ensimmäisen polven jälkeläiskokeissa kasvavia risteytys- ja vapaapölytysjälkeläistöjä. Myöhemmissä jalostusyksikeissä uudistamispopulaatiot luodaan yksinomaan risteyttämällä. Suorittamalla ehdokasvalinta olemassaolevissa varttuneissa kenttäkokeissa saavutetaan huomattava ajallinen säästö siemensyntyisen uudistamisaineiston tuottamiseen verrattuna. Vapaapölytysperheiden etuna on, että niissä on valinnan pohjaksi puolet enemmän perinnöllistä muuntelua (75% perinnöllisestä kokonaismuuntelusta) kuin risteytys- eli täyssisarperheissä (50% perinnöllisestä kokonaismuuntelusta). Valitut ehdokkaat ovat hyvin todennäköisesti kaikki eri isien jälkeläisiä, mikä laajentaa ehdokasaineiston geneettistä pohjaa. Toisaalta isät jäävät tuntemattomiksi, ja ne edustavat jalostusarvoiltaan luonnonpopulaation keskimääräistä tasoa. Vapaapölytysjälkeläisten jalostusarvon odotusarvo on siten risteytysperheitä heikompi. Vapaapölytysaineistoissa tehtävissä toisen polven ehdokasvalinnoissa rajoitutaankin tästä syystä lähinnä niihin

perheisiin, joiden emopuu ei lukeudu ensimmäisen polven jalostuspopulaatioon parhaaseen puoliskoon. Näistä jälkeläistöistä voidaan huomattavasti suuremmalla todennäköisyydellä löytää emopuuta parempia yksilöitä, kuin siinä tapauksessa, että emo on jalostusarvoltaan populaation kärkipäätä.



Kuusen viiden vuoden ikäinen esivalintakoe nro 2129/02 Mäntsälässä. Esivalintakokeet pyritään perustamaan mahdollisimman tasalaatuisille kasvupaikoille luotettavan fenotyypin varhaisvalinnan takaamiseksi. Kuusenjalostaja Marja-Leena Napola (kuvassa) valitsee kokeen jokaisesta perheestä fenotyypiltään parhaat yksilöt (esivalinta) ja typistää niiden latva- ja oksaversot. Tämän avulla taimi saadaan tuottamaan runsaasti versoja, joista saadaan muutaman vuoden kuluttua kloonitestauksessa tarvittavia pistokasoksia. Valokuva Matti Haapanen.

5.3 Ehdokaspopulaation testaus

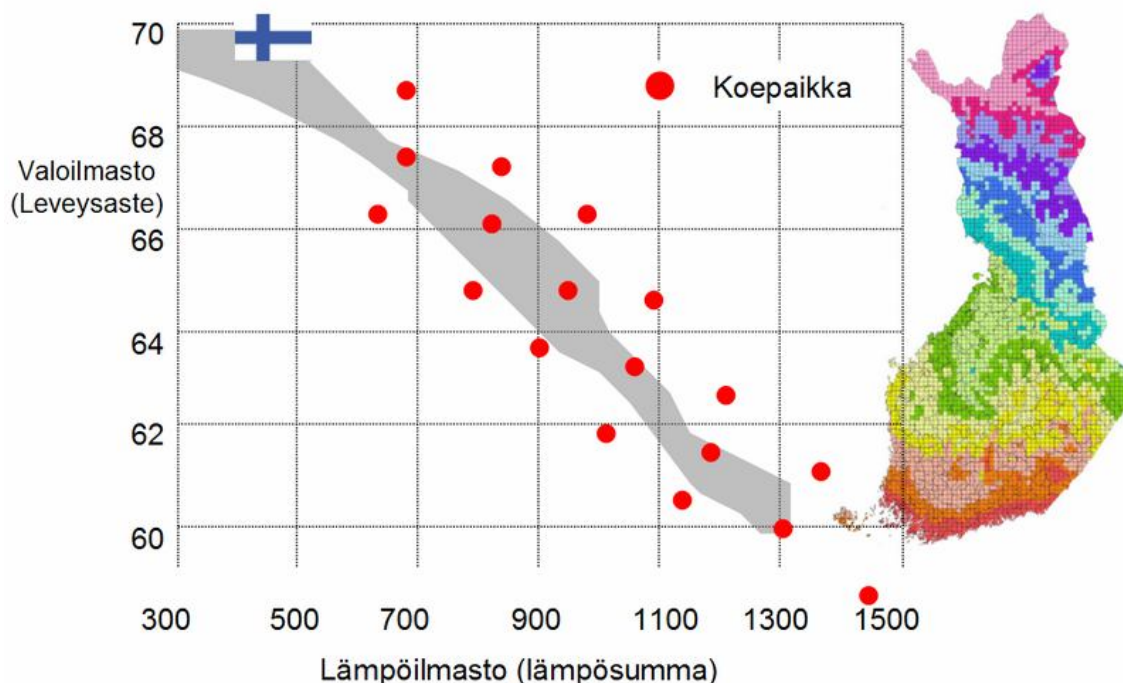
Fenotyypin valinta on melko epäluotettavaa, koska ympäristön vaikutus ilmiösuun on lähes kaikissa ominaisuuksissa selvästi perimää suurempi. Kun fenotyypisesti valitut yksilöt testataan kasvattamalla niiden siemenjälkeläisiä tai kasvullisesti lisättyjä kloonitaimia koeolosuhteissa, niiden jalostusarvo saadaan selville huomattavasti tarkemmin. Testausvaihe tehostaa siis valintaa ja on olennainen osa valintajalostusta. Testauksen yhteydessä saadaan myös tärkeää tietoa jalostuksen realisoituneista hyödyistä sekä ominaisuuksien geneettisistä parametreista (periytyvyys, geneettiset korrelaatiot).

Kasvullisesti lisätyllä taimiaineistolla suoritettava kloonitestaus on siemenjälkeläisten testausta nopeampaa ja tehokkaampaa, joten sitä suositetaan aina kun se on teknisesti mahdollista ja kustannuksiltaan perusteltua. Muussa tapauksessa ehdokkaiden testauksessa käytetään suvullisesti (vapaapölytys tai polycross) tuotettuja siemenjälkeläisiä. Käytännössä kuusi soveltuu pääpuula-

jeista kloonitestaukseen (pistokastaimet) parhaiten, kun taas männyn sekä rauduskoivun testauksessa sovelletaan toistaiseksi perinteistä jälkeläistestausta.

Jälkeläis- ja kloonikokeet perustetaan jokaisella testattavalla aineistoerällä koesarjoina, jotka koostuvat vähintään 4–6 eri paikkakunnalle perustetusta osakokeesta. Osakokeista kolme (vähintään kaksi) sijoitetaan populaation kohdealueelle siten, että koepaikat kattavat kohdealueen keskimääräisen vuotuisen lämpösumman vaihtelun. Koepaikkojen valinnassa otetaan huomioon myös mantereisuus-mereisyys -vaihtelu siten, että vähintään yksi kolmesta osakokeesta perustetaan mereistä ja yksi mantereista ilmastoa edustavalle paikkakunnalle. Loput osakokeista perustetaan viereisten kohdealueiden paikkakunnille, jotka ilmastollisesti edustavat sekä edullisempia että ankarampia olosuhteita. Ilmastollisen vaihtelun kattavuuden varmistamiseksi osa kokeista voidaan perustaa naapurimaihin. Testausaineistot joutuvat siis alttiiksi huomattavasti laajemmalle ympäristötekijöiden vaihtelulle kuin uudistamisaineistot, jotka kasvatetaan niiden omalle kohdealueella.

Kenttäkokeiden systemaattisella sijoittamisella erilaisiin ilmasto-oloihin pyritään tehostamaan testattavien ehdokkaiden viljelyvarmuuden ja perinnöllisen joustavuuden arviointia. Luotettava testautieto vaihtelevia ympäristöoloja kattavista koesarjoista mahdollistaa sekä mukautumiskyvyltään joustavan metsänviljelyaineiston kehittämisen että tietyissä ympäristöissä keskimääräistä paremmin menestyvien genotyyppien tunnistamisen (täsmäjalostus). Se mahdollistaa myös tehostuneen kloonivalinnan siemenviljelyksiin, siemenviljelysten käyttöalueiden entistä tarkemman määrittämisen, aineistojen siirron jalostuspopulaatiosta toiseen, kahden jalostuspopulaation yhdistämisen tai yhden populaation jakamisen kahteen ilmastolliselta kohdealueeltaan eroavaan osaan. Jälkimmäinen voi tulla kyseeseen silloin, mikäli testaus antaisi viitettä pysyvän genotyyppi-ympäristö -yhdysvaikutuksen olemassaolosta esimerkiksi kohdealueen sisäisen mantereisuus-mereisyys -gradientin suhteen.



Kaavamainen kuva jalostusaineiston testauspaikkojen (punaiset täplät) sijoittelusta erilaisiin ilmasto-olosuhteisiin. Harmaa alue kuvastaa lämpösumman vaihtelua Suomen eri osissa.

Siementaimiperheet testataan kussakin kokeessa 20 siementaimiyksilönä, jotka satunnaistetaan koepaikalle yhden puun koeruutuihin tai hajaruutuihin. Kasvatettavan aineiston tavoitemäärä on kuuden koepaikan tapauksessa siten 120 tainta / perhe (testattava ehdokas). Kloonitestausta jälkeläistestausta tehokkaampaa, ja siinä riittää suppeampi testausaineisto, 8–10 kasvullisesti lisättyä yksilöä kustakin ehdokkaasta koepaikkaa kohti. Tiettyä kohdealuetta varten valittu ehdokaspopulaatio pyritään testaamaan mahdollisuuksien mukaan kokonaisuudessaan yksissä ja samoissa koeviljelyksissä. Yksittäisissä koeviljelyksissä tulisi mahdollisuuksien mukaan myös testata ehdokkaita useammalta kohdealueelta. Sekä jälkeläis- että kloonitestauksessa kokeiden kesto aika on 10–17 vuotta. Pitempi testausaika voi olla perusteltu esimerkiksi silloin, kun valinta kohdistuu ominaisuuksiin, jotka eivät ilmene nuorella iällä.

Jälkeläis- ja kloonikokeisiin sisällytetään vertailuerinä myös metsikkösiemeneriä ja risteytysperheitä, joita käytetään jalostuksen tulosten ja etenemisen todentamiseen. Varsinkin risteytysstandardit sopivat käytettäväksi myös valinnan apuvälineenä, eri kokeissa, eri ajankohtina ja eri jalostusvyöhykkeillä saatujen mittaustulosten vertailemiseen ja yhdistämiseen.

Männyn jälkeläistestauksessa pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan olemassa olevia hirviäidattuja testaustarha-alueita, joiden tasalaatuiset maaperäolosuhteet ja huolellinen maanmuokkaus takaavat valinnan onnistumisen todennäköisemmin kuin tavanomaisissa metsämaalle perustetuissa kenttäkokeissa.



Valinnan tehostamiseksi kaikki männyn jälkeläis- ja esivalintakokeet pyritään jatkossa perustamaan testaustarhoihin eli testaustoimintaa varten erityisesti valituilla ja valmistelluilla, maapohjaltaan tasalaatuisille, hirviäidatuille koekentille. Kuva Suomussalmella sijaitsevasta Kiannan testaustarhasta. Valokuva Matti Haapanen.

Toisen polven ehdokkaiden testauksessa päästään alkuun ensimmäiseksi kuusella, jolla se alkaa jo 2010-luvulla pistokaskloonien testauksena. Männyllä testausvaihetta edeltää jälkeläiskasvatus ja fenotyyppinen valinta, ja jälkeläistestaus alkaa vasta 2030-luvun alussa. Toisen polven ehdokasaineistojen testaus valmistuu männyllä 2040–2050 -luvuilla ja kuusella 2020–2030 -lukujen vaihteen molemmin puolin. Välittömästi tämän jälkeen voidaan aloittaa männyn ja kuusen 2.5-polven testattujen valiosiemenviljelysten perustaminen. Männyllä 2. polven siemenviljelyksiä on mahdollista perustaa jo huomattavasti aiemminkin, 2020–2030 -luvuilla, esivalitun ehdokasaineiston pohjalta. Kyse on tällöin alustavasti testatuista toisen polven siemenviljelyksistä.

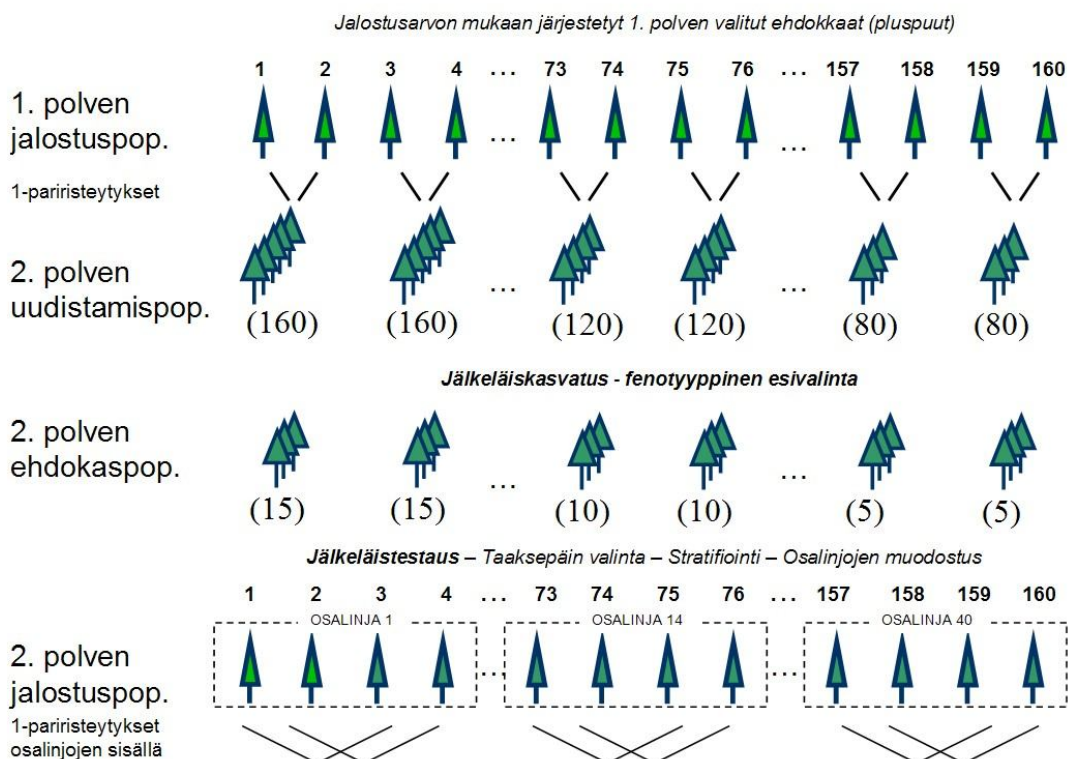
Myös männyllä pyritään kehittämään klooniasaineistojen testausta pistokkailla, mikä lyhentäisi jalostuskierron männyllä samaan kuin kuusella (25–30 vuotta). Toistaiseksi männyn kasvullinen lisääminen on kuitenkin vaikeaa tai epävarmaa, josta syystä testaus on toistaiseksi suunniteltava siemenjälkeläisten pohjalta tehtäväksi. Kloonitestauksen tehokkuus riippuu ratkaisevasti siitä, miten tehokkaasti nuoria siementaimia kyetään lisäämään kasvullisesti, ja kasvaako näin lisätty aineisto kokeissa normaalisti. Muun muassa kloonitaimien juurtumisessa on usein todettu vaihtelua eri kloonien välillä, mikä voi testauksessa johtaa virheellisiin johtopäätelmiin kloonien kasvuerosta.

5.4 Jalostuspopulaation koostaminen

Siirtyminen ehdokaspopulaatiosta jalostuspopulaatioon tapahtuu ehdokkaiden jalostusarvojen ts. niiden suvullisten tai suvuttomien jälkeläisten koeviljelyksissä osoittaman menestymisen (laatuominaisuuksien, kasvun, sopeutuneisuuden ja muiden puulajikohtaisten ominaisuuksien) perusteella. Jalostuspopulaatioon valitaan jokaisella kohdealueella 160 parasta testattua ehdokasta.

Jalostuspopulaation koostamisessa on pääsääntöisesti kyse perheiden sisällä tehtävästä yksilövalinnasta siten, että risteytysperheestä valitaan jalostuspopulaatioon kaksi parasta ehdokasta. Valinta voi olla myös epätasapainoista, jolloin parhaista risteytysperheistä valitaan jalostuspopulaatioon usempia ehdokkaita (3) kuin jalostusarvoltaan keskimääräisistä (2) tai heikoimmista perheistä (1). Lievä epätasapainoisuus valinnassa rikastuttaa parhaiden puiden perintötekijöitä jalostuspopulaatiossa, mutta ei kuitenkaan merkittävästi köyhdytä populaation perinnöllistä muuntelupohjaa, koska seuraavan polven jalostuspopulaatiossa on mukana perintöainesta kaikilta tai lähes kaikilta vanhemmilta.

Valinnan kohdistuminen perheiden sisälle on kestävä jalostustyön keskeinen edellytys, sillä seuraavassa sukupolvessa additiivinen perinnöllinen muuntelu palautuu tehokkaasti ennalleen perintötekijöiden uudelleenjärjestymisen tuloksena. Perheiden (risteytysvanhempien) välillä tehtävä valinta köyhdyttää perinnöllistä muuntelua yleensä selvästi enemmän, sillä sen tuloksena osa alkuperäisestä perimäaineksesta karsiutuu pysyvästi jalostuksen piiristä. Sen käyttö rajoittuukin yleensä tapauksiin, joissa parhaiden puiden ylimääräisistä risteytyksistä syntyneistä perheistä valikoidaan jatkoon testaustulosten perusteella paras perhe, josta jalostuspopulaatioon tulevat puut valitaan. Lisäyspopulaatioita (valiosiemenviljelyksiä) muodostettaessa on sen sijaan rationaalista soveltaa usein ankaraakin perheiden (jalostuspopulaation puiden) välistä valintaa jalostushyötyjen kasvattamiseksi. Tämä ei vaikuta haitallisesti pitkän aikavälin jalostuksen kestävyYTEEN, koska lisäyspopulaatio ei kuulu jalostusympäristöön.



Yksinkertaistettu kaavio valinnasta ja osalinjojen koostamisesta. Uudistamis- ja ehdokasaineistojen koko (suluissa) vaihtelee vanhempien jalostusarvosta riippuen.

Jalostuspopulaation puiden joukosta valitaan edelleen parhaat puut (havupuilla 20–30 puuta) lisäyspopulaatioon. Männyllä ja kuusella ensimmäisen polven jalostuspopulaatioiden koostamisessa ja niistä muodostettavien 1½-polven valiosiemenviljelyksien perustamisessa ollaan jo pitkällä. Rauduskoivun jalostuspopulaatioihin tulee sisältymään hyviksi tunnettuja yksilöitä useista eri jalostussukupolvista.

5.5 Jalostusaineistojen säilytys

Jalostuspopulaatioon valitut puuyksilöt monistetaan varttamalla ja niitä säilytetään klooneina niin pitkään, että vähintään yksi niiden jälkeläinen on joko tullut valituksi seuraavan sukupolven jalostuspopulaatioon tai ne on syystä tai toisesta karsittu pois jalostuksesta. Myös ehdokaspopulaatioon kuuluvat puut on säilytettävä niin pitkään, että testaustulokset ja lopullinen valinta ehdokasaineistossa ovat valmistuneet.

Jalostusaineistojen säilytys tapahtuu jalostusasemilla astiakasvatuksissa tai erityisissä kloonikoelmissa, pääsääntöisesti vähintään kahdessa paikassa ja 4–5 vartteena. Kuusen usealla paikalla toistetut kloonikokeet toimivat samalla myös ehdokkaiden säilytystarkoituksessa, jolloin vältetään erillisten kloonikokelmien perustamiselta. Esivalittujen ehdokkaiden säilyttämisessä voidaan hyödyntää myös mahdollisesti perustettavia uusia siemenviljelyksiä. Rauduskoivulla ja kuusella ehdokkaiden säilytys voi tapahtua myös kryopreservoidun (kylmäsäilytetyn) aineiston avulla. Kylmäsäilytys on tehokas ja edullinen menetelmä varsinkin silloin, jos se voidaan tulevaisuudessa yhdistää kloonattujen koetaimien massatuotantoon.

Kloonikokoelmat perustetaan ja hoidetaan siten, että niissä voidaan mahdollisimman nopeasti tehdä uudistamis- ja testausaineistojen aikaansaamiseen tarvittavat risteytykset ja vapaapölytys-siemenen keruut. Tämä siltä varalta, että kyseisen aineiston tuottaminen jalostusasemilla astia- tai latvavartteita kukittamalla epäonnistuu tai viivästyy. Astiavartteiden päätarkoituksena on jatkokasvatusaineiston tuottaminen, mutta niitä voidaan siirtää kokoelmiin jälkeläisten jatko-kasvatuksen ja myöhemmän testauksen ajaksi.

Jalostusaineiston säilytyksen yhteydessä taltioidaan riittäviä näytteitä myös sellaisista monilla puulajeilla harvinaisina tavattavista, perintötekijöistä johtuvista erikoismuodoista (mm. suru-kuusi, kultakuusi ja visakoivu), joilla on geneettisen tutkimuksen, koristekäytön tai jalostuksen kannalta tavoiteltavia tai kiinnostavia ominaisuuksia.

Jalostuksen laajemman geneettisen reservin muodostavat tähän mennessä perustetut, suurim-maksi osaksi vapaapölyttyneitä perheaineistoja sisältävät ensimmäisen polven jälkeläiskoevilje-lykset (noin 1500 kpl), joiden mittausaineistoihin perustuen on valittu ja valitaan puita jalostus-populaatioon sekä toisen polven ehdokaspopulaatioihin. Jälkeläiskokeiden tavanomainen seu-ranta-aika on korkeintaan 20 vuotta. Osa koeviljelyksistä jätetään kuitenkin palvelemaan jalos-tusta ylimääräisenä reservinä, jonka tärkein arvo tulee jatkossa olemaan tutkimustiedon tuotta-minen jalostushyötyjen pysyvyydestä sekä geneettisten parametrien kehittymisestä iän myötä.

Suomessa on lisäksi perustettu Kansallisen kasvigeenivaraohjelman puitteissa pääpuulajeilla geenireservimetsien verkosto, joka tarjoaa laajan (yhteensä noin 7000 hehtaaria) luontaisen pe-rinnöllisen muuntelun varmuusvaraston. Geenivaraohjelma huolehtii myös kaikkien muidenkin puulajiemme luontaisten geenivarojen suojelusta. Metsänjalostuksen aineistojen laajan muunte-lupohjan takia on hyvin epätodennäköistä, että jalostustyössä tulisi pitkälläkään aikavälillä tar-vetta turvautua puulajien luonnonpopulaatioihin tai muihin jalostamatonta aineistoa sisältäviin muuntelureserveihin, lukuun ottamatta niiden käyttöä vertailuaineistona testauksessa.

Metsäntutkimuslaitoksen metsägeneettinen rekisteri vastaa jalostusaineistoa ja -kokeita koske-vien tietokantojen ajantasaisesta ylläpidosta ja säilytyksestä. Rekisterin tehtävänä on jatkossa myös huolehtia pitkän aikavälin metsänjalostusohjelman etenemisen yleisestä seurannasta ja hallinnasta pitämällä tietokantoja jalostuspopulaatioiden kokoonpanosta, risteyttämisen, jälke-läiskasvatuksen ja -testauksen suunnitelmista sekä niiden toteutumisesta.

6 Tulevaisuuden haasteet

6.1 Varautuminen ilmastomuutokseen

Ihmisen toiminnan ennustetaan jo lähivuosikymmenien aikana johtavan ilmastomuutoksiin, jotka vaikuttavat monin tavoin maapallon luontoon ja ihmisen elämään. Ratkaisevin merkitys maapallon ilmaston ennustetussa muutoksessa on fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvällä hiilidioksidilla, jonka pitoisuus ilmakehässä on lisääntynyt esiteollisen ajan 280 miljoonasosasta nykyiseen 370:een. Tämän kehityksen seurauksena keskilämpötila maapallon pinnalla on nousut viime vuosisadalla noin 0,6 °C. Muutoksen on arvioitu kiihtyvän jatkossa siten, että maapallon keskilämpötila nousisi vuoteen 2100 mennessä 1,4–5,8 °C huolimatta kaikista ennakoitavista olevista kasvihuonekaasujen päästöjen vähennyksistä. Ennusteiden mukaan lämpeneminen olisi eri alueilla eri suuruista; maapallon keskiarvoa nopeampaa se olisi manneralueilla ja erityisesti pohjoisilla maa-alueilla talvisin.

Suomen osalta mallit antavat melko yhtenevän kuvan ilmaston lämpenemisestä ja muuttumisesta sateisemmaksi tällä vuosisadalla: uusimmat skenaariot ennakoivat 2,4–7,4 °C (lämpötila) ja 6–37 % (sademäärä) kasvuja vuoteen 2080 mennessä. Vuoteen 2050 mennessä lämpötilan kohtaminen olisi 1,8–5,2 astetta. Voidaan siis otaksua, että kuluvan vuosisadan lopulla ilmasto Etelä-Suomessa tulee lämpöoloiltaan muistuttamaan paljolti sitä, mikä nykyisin vallitsee Etelä-Ruotsissa. Etenkin Etelä-Suomessa lumiset talvet ovat ilmaston lämmitessä harvinaistumassa.

Kotimaiset metsäpuut ovat sopeutuneet nykyisin vallitsevaan paikalliseen ilmastoon geneettisesti — luonnonpopulaatioiden kasvurytmin ajoittumisessa on todettavissa selvä etelä-pohjois-suuntainen kliini. Puille on myös kehittynyt luonnonvalinnan tuloksena lämpötilaan ja valoperiodiin perustuvia säätelymekanismeja, jotka toimivat sopeutumina vuosien väliseen lämpöolojen vaihteluun, ja joiden voidaan olettaa toimivan joustavana puskurina myös pitempiaikaista ilmaston muutosta vastaan. Metsäpuut kykenevät muun muassa erottamaan lopputalven leudot säät varsinaisesta kevästä ja kesästä, ja siten välttämään lämpiminä vuosina ennenaikaisesta kasvuunlähdestä aiheutuvat pakkasvauriot. Myös metsäpuiden alkuperäsiirtokokeiden perusteella näyttäisi siltä, että kasvukauden aikaisesta lämpenemisestä sinänsä ei aiheutuisi vakavaa riskiä metsäpuille. Erityisesti Pohjois-Suomessa, jossa lämpötila on nykyisin kasvun minimiteikijä, muutoksen vaikutukset saattavat osoittautua metsätalouden näkökulmasta paljolti myönteisiksi: vuoteen 2080 mennessä pohjoisten metsien kasvun on arvioitu lämpenemisen johdosta lisääntyvän jopa 70 prosenttia. Myös olosuhteet metsänviljelyn ja luontaisen uudistumisen kannalta tulevat Suomen pohjoisosissa luonnollisesti paranemaan tällaisen kehityksen myötä.

Ennusteiden mukaisena toteutuessaan ilmaston muutoksen nopeudelle on vaikea löytää vertailukohtaa puiden evolutiivisesta historiasta. Tämä merkitsee sitä, että nykyiset metsänviljelyaineistot eivät ilmeisesti ole optimaalisesti sopeutuneita niiden kiertoajan lopulla vallitsevaan ilmastoon, joka on mahdollisesti vielä nykyistä huomattavasti äärevämpi. Puiden vuosirytmien kannalta talveentumisen myöhästymisen ja siitä aiheutuva altistuminen myöhäissyksyn pakkasvaurioille on eräs huomioitava uhkatekijä. Toinen on vastaavasti talvilevon ennenaikainen purkautuminen keväällä.

On varsin todennäköistä, että kotimaiset metsäpuut kykenevät sopeutumaan ilmaston muutokseen geneettisesti. Sopeutumisprosessi saattaa kuitenkin ihmisen näkökulmasta tapahtua hitaasti. Valintajalostuksen ja metsänviljelyn avulla sopeutumista voidaan nopeuttaa ja siten varmistaa viljelymetsien tuotantokyvyn säilyminen tulevaisuudessa. Tämä edellyttää tehokasta testaus-

ta ja valintaa tulevaisuuden ilmastoon mahdollisimman hyvin mukautuvien yksilöiden löytämiseksi ja hyödyntämiseksi metsänviljelyaineistojen tuotannossa. Määrätietoinen valinta on ensisijainen keino saada aikaan haluttu geneettinen muutos jalostuspopulaatioissa. Lisäksi voidaan hyödyntää aineiston tuontia sellaisista ilmasto-oloista (lämpösumman, valoilmaston, mantereisuuden ja mereisyyden -yhdistelmät), joita Suomessa ei tällä hetkellä esiinny, mutta joiden voidaan odottaa yleistyvän tulevaisuudessa. Käytännössä nämä aineistot ovat peräisin pääpuulajien ruotsalaisista ja baltialaisista jalostuspopulaatioista.

6.2 Metsänjalostus ja biotekniikka

6.2.1 Taustaa

Biotieteiden kehitys, joka alkoi 1950-luvulla tapahtuneesta DNA:n molekyyliarakenteen keksimisestä ja sitä seuranneesta perinnöllisen koodin selvittämisestä, on luomassa laajan uuden keinovalikoiman, jolla kasvin- ja kotieläintuotantoa sekä monia teollisia prosesseja voidaan tehostaa. Esimerkiksi geenisiirrot on jo otettu käyttöön maatalous- ja puutarhakasvien jalostuksessa ja viljelyssä, vaikka epävarmuus uusilla tekniikoilla nopeasti aikaansaattujen uudenlaisten eliöiden mahdollisista haittavaikutuksista ihmiselle ja muulle luonnolle on hillinnyt tätä kehitystä. Moderni bio- ja geeniteknikka tarjoaa lupaavia näkymiä myös metsänjalostuksen nopeuttamiseen ja täsmentämiseen. Metsäpuut ovat laahanneet selvästi jäljessä muiden tuotantokasvien tutkimuksesta ja sovelluksista. Puuvartiset kasvit tiedetään kaikenlaisen bio- ja geenitekniikan käsittelyn kannalta yleensä vaikeammiksi kohteiksi kuin ruohovartiset vilja- ja vihanneskasvit. Havupuut ovat tässä suhteessa erityisen hankalia — ehkä kaikkien vaikein ja vähiten tunnettu ryhmä ihmisen hyödyntämistä eliöistä.

Geeniteknikan mahdollisuudet metsäpuilla on nähty huomattaviksi, mutta vasta pitemmällä aikavälillä. Geenitekniisesti käsiteltyihin aineistoihin väistämättä liittyvien pitkien testausaikojen takia menetelmien sovellusmahdollisuudet käytännön jalostustyöhön näyttävät juuri tällä hetkellä varsin kaukaisilta. Metsäpuilla viljelyaineiston geneettisen kokoonpanon muokkaamista rajoittaa edelleen se, että ihminen ei voi muuttaa ja säädellä niiden elinympäristöä samassa mitassa kuin pelto- ja puutarhakasveilla tai kotieläimillä. Metsäpuut ovat viljelykasveina vielä paljolti luonnonkasveja ja erittäin monimutkaisten, lukemattomien vuorovaikutuksiltaan heikosti tunnettujen kasvi-, eläin- ja pieneliölajien muodostamien ekosysteemien jäseniä. Kaikesta huolimatta metsäpuiden bio- ja geenitekniikan tutkimus on ollut viime aikoina erittäin vireää niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Käytännön sovelluksiin asti uudet tekniikat eivät kuitenkaan ole vielä juuri missään johtaneet.

Tärkein yksittäinen ongelma, johon uusista tekniikoista haetaan ratkaisua, on metsänjalostuksen pitkä aikajänne. Jalostuksen hyötyjen realisoituminen vasta pitkällä tulevaisuudessa on rajoittanut varsinkin yksityisen sektorin kiinnostusta sitoa resursseja puiden tuotanto-ominaisuuksien parantamiseen. Biotekniikasta haetaan apua nimenomaan perinteisen jalostustyön ja sen tulosten käyttöönoton nopeuttamiseen.

6.2.2 Kasvullinen monistus

Metsänjalostuksen todennettujen tulosten siirtäminen käytäntöön perustuu kaikkialla maailmassa edelleen pääosin perinteiseen siemenviljelytekniikkaan, johon liittyy väistämättä pitkä tuo-

tantoviive viljelysten perustamisesta kaupallisesti merkittävän siementuotannon alkamiseen (poikkeuksena koivut). Metsänjalostuksen tuloksia päästäänkin käytännössä hyödyntämään vasta vuosikymmenien kuluttua siemen- ja taimituotannon alkamisesta. Kasvullinen kloonimonistus on ainoa keino saada valinnan tulokset hyödynnettyä nopeasti ja täydellisesti l. löydettyjen huippuyksilöiden edulliset geeni- ja ominaisuusyhdistelmät siirrettyä muuttumattomina viljely-aineistoon. Esimerkiksi kanadalaisten tutkimustulosten mukaan sikäläisten kuusilajien (lähinnä valkokuusi) pituuskasvua voidaan lisätä parasta valikoitua kloonimateriaalia käyttämällä jopa 22–45%. Kasvullista monistusta voidaan hyödyntää sekä jalostetun aineiston massatuotannossa että itse jalostustyön nopeuttamisessa. Käytännön taimituotantoon sopivien kasvullisten monistusmenetelmien kehittäminen on jalostustutkimuksen suurin haaste ja tulevaisuuden toive. Se avaisi myös aivan uusia mahdollisuuksia yksittäisten ominaisuuksien "täsmäjalostuksen" suuntaan.

Jälkeläistestauksen vaatima aika on metsäpuiden pitkäikäisyyteen liittyvä metsänjalostuksen "pullonkaula". Siirtyminen kasvullisesti lisätyn aineiston avulla tapahtuvaan kloonitestaukseen nopeuttaisi valintaa huomattavasti, sillä se merkitsisi sekä esivalintaa edeltävän jälkeläisten kasvatusvaiheen että testauksessa tarvittavien siementaimiaineistojen tuottamisen (männyllä yhteensä jopa 25 vuotta) jäämistä pois jalostussyklistä. Kuusella ja koivuilla kasvullisen lisäyksen ongelmat on jo jokseenkin ratkaistu, mutta männyn jalostus joudutaan toistaiseksi perustamaan kaksivaiheiseen suvulliseen jälkeläistestaukseen/sukupolvi, mikä edellyttää tällä välillä tapahtuvaa siementaimien (ehdokkaiden) kukittamista ja risteyttämistä.

6.2.3 Kloonien fysiologisen vanhenemisen ehkäiseminen

Fysiologinen vanheneminen heikentää kasvullisen lisäämisen onnistumista ja vaikeuttaa erityisesti kuusella lupaavaa pistokaskloonien testausvalintaan ja monistukseen tähtäävää jalostusta. Männyllä ongelma ovat vieläkin suurempi, lehtipuilla taas vähäisempi (mikrolisäyksen yhteydessä). Ratkaisuja olisi haettava kloonien nuorentamisesta tai nuoruuden ylläpitämisestä testausvaiheen aikana (esim. kryopreservaaion avulla, jossa kasvimateriaalia säilytetään nestemäisessä työssä). Kuusella voidaan käyttää myös kasvullisten alkuiden tuottoon perustuvaa kloonausta ja kylmäsäilytystä, jossa fysiologinen vanheneminen ei ole ongelma. Suurena tulevaisuuden haasteena on kasvullisen alkiosolukon tuottaminen muusta solukosta kuin siemenalkioista. Tätä mahdollisuutta tutkitaan parhaillaan männyllä Metsäntutkimuslaitoksessa.

6.2.4 Markkeriavusteinen varhaisvalinta

Monien taloudellisesti tärkeiden ominaisuuksien, erityisesti kokonaistuotoksen ja puuaineen ominaisuuksien todellinen arvo selviää vasta myöhäisessä vaiheessa. Näiden ominaisuuksien varhaisen ja kypsän iän geneettisistä korrelaatioista on toistaiseksi hyvin vähän tietoa. Riittävän tiheän geenikartan avulla voidaan löytää vaikeasti jalostettavia kvantitatiivisia ominaisuuksia sääteleviin perintötekijöihin kytkeytyneitä ns. merkkigeenejä. Kohdistamalla valinta näihin merkkigeeneihin voidaan itse ominaisuuden valintaa nopeuttaa ja tehostaa.

Markkeriavusteista valintaa ei liene vielä sovellettu missään käytännön jalostusohjelmassa kenttätestausta keventävänä apukeinona. Sen ottaminen laajaan käyttöön jalostuksessa edellyttää vielä pääpuulajiemme perimän kartoituksen tarkentumista sekä merkkigeenien ja kvantitatiivisten ominaisuuksien välisten kytkentöjen etsimistä. Lähitulevaisuudessa yksittäisten perintöteki-

jöiden kartoitus ja niiden vaikutusten tutkiminen (ns. funktionaalinen genomikka) voi mahdollistaa tärkeiden ominaisuuksien valinnan suoraan nuorissa taimiaineistoissa.

Menetelmän ensimmäiset sovellusalueet olisivat todennäköisesti männyn ilmastokestävyyden sekä puuaineen ominaisuuksien (esimerkiksi ligniinien pitoisuus ja rakenne, lahonkestävyys) valinnassa. Merkkigeeniavusteinen valinta ei suinkaan poista nykyisenlaisen kenttäkoetestauksen tarvetta. Aineistojen esikarsintamenetelmänä se saattaisi kuitenkin vähentää kenttätestauksen työmääriä ja pinta-aloja, tai vaihtoehtoisesti kasvattaa valinta-aineiston määrää ja valinnan intensiteettiä. Merkkiominaisuuksia käyttämällä voidaan puuyksilöt myös tunnistaa, mistä on hyötyä tarkistettaessa risteytyksissä käytettyjen vanhempien tai siemenviljelyksille vartettujen kloonien oikeellisuutta.

6.2.5 Geenisiirrot

Geenisiirtotekniikat ovat metsäpuilla kehittyneet lähes samaan tahtiin kasvien geenitekniikan tutkimuksen eturintaman kanssa. Tutkimuksen työvälineinä geenisiirrot hallitaan jo varsin hyvin koivulla ja kuusella. Geenisiirto mäntyyn on onnistunut, mutta menetelmän soveltaminen tutkimuskäyttöönkin on vielä kesken. Tekniikoiden käytännön soveltamiseen liittyvät ongelmat näyttävät keskittyvän siirtogeenisten solukoiden regenerointiin sekä siihen, millaisia geenejä voidaan siirtää organismista toiseen.

Epäilykset "vieraiden" siirtogeenien sivuvaikutuksista kasvien perimässä ovat johtaneet tiukkojen turvamääräysten luomiseen. Vieraiden geenien luontoon leviämisen estämiseksi siirtogeenisten metsäpuiden kenttätestaus on rajoitettu hyvin lyhytaikaiseksi, jotta puut eivät ehtisi kukkia ja tuottaa siementä. Tämä rajoitus estää yksinäänkin kaiken geeniteknisesti muunnellun aineiston kokeilun ja käytön muualla kuin tutkimuslaitosten suljetuissa laboratorioissa ja tarkoin valvotuissa lyhytaikaisissa kenttäkokeissa. Testausrajoitukset saattavat lieventyä ja sovellusmahdollisuudet laajeta ajan myötä, kun tieto siirtogeenien toiminnasta ja vaikutuksista sekä luontoon leviämisen riskeistä lisääntyy. Tähän voi kuitenkin mennä useita vuosia tai jopa vuosikymmeniä. Geenitekniikan turvamääräysten takia geenisiirtojen onnistumisen, pysyvyyden ja vaikutusten pitkäaikainen seuranta ei ole toistaiseksi mahdollista edes perustutkimuksen tasolla.

Geenitekniinen tutkimus metsäpuilla on toistaiseksi kohdistunut metsätalouden ja -jalostuksen kannalta pääosin merkityksettömiin ominaisuuksiin. Jatkuvasti tarkentuvalla tiedolla yksittäisten geenien toiminnasta ja säätelystä voi kuitenkin olla monenlaista hyötyä perinteisen metsänjalostuksen kehittämisessä. Geenitekniikan tärkein anti jalostukselle on tähän mennessä ollut ja luultavasti tulee olemaankin juuri tässä — perustiedon lisääntymisessä puissa molekyyalitasolla tapahtuvista biokemiallisista prosesseista ja niiden geneettisestä ohjauksesta.

6.2.6 Päätelmiä biotekniikan mahdollisuuksista

Moderneista biotieteistä ei todennäköisesti kannata odottaa mitään nopeaa ja käänteentekevää ratkaisua metsätalouden ja metsänjalostuksen ongelmiin. Vaikka lupaavia uusia tekniikoita jalostuksen nopeuttamiseksi ja täsmentämiseksi näyttäisi jo olevan metsänjalostajan käden ulottuvilla, useimpien hyväksikäytön tiellä on vielä monia vakavia esteitä. Metsänjalostuksella tulee joka tapauksessa olla jatkuva valmius osoittaa mahdollisimman pitkälle jalostettua, ominaisuuksiltaan ja sukujuuriltaan tarkoin tunnettua lähtöaineistoa niin bioteknisesti massamonistettavaksi kuin myös bio- ja geenitekniikoilla edelleen kehitettäväksi.

7 Tutkimus- ja kehittämistarpeet

Metsänjalostuksen tueksi tarvitaan jatkuvaa jalostuksen perusteiden tutkimusta ja teknisten menetelmien kehittämistä. Ydinongelmana on aina ollut metsäpuiden luontainen pitkäikäisyys, mikä hidastaa uudistamisaineistojen luomista ja vaikeuttaa jalostettavien ominaisuuksien arviointia kaikessa valinnassa ja testauksessa. Toinen tärkeä pullonkaula on, että jalostuksen tuloksia on toistaiseksi päästy männyllä ja kuusella hyödyntämään yksinomaan suvullisen lisäyksen, avomaan siemenviljelysten avulla. Siemenviljelyssä 25% – 50% jalostuksella saavutetusta perinnöllisestä edistymisestä eli jalostushyödytystä menetetään viljelysten ulkopuolelta tulevan luonnonmetsien valikoimattoman taustapölytyksen takia. Metsänjalostusta nopeuttavien ja täsmäntävien ratkaisujen löytäminen tulevaisuuden toimintaan asettaa suuria toiveita ja haasteita niin perinteiselle metsägenetiikalle, kasvifysiologialle kuin moderneille biotieteillekin.

Seuraavassa on listattu tärkeysjärjestyksessä metsänjalostuksen etenemisen kannalta viisi keskeisintä tutkimus- ja kehittämisasihetta — "pullonkaulaa", joita avartamalla jalostustoiminnan tuloksellisuutta ja vaikuttavuutta saataisiin merkittävästi parannettua.

Havupuiden kasvullinen lisäys

Kasvullisella lisäyksellä yhdestä yksilöstä tuotetaan perinnöllisesti emoyksilönsä ja toistensa kanssa identtisiä kopioita. Erityisesti solukkoviljelyyn perustuvien lisäysmenetelmien kehittäminen tehostaisi merkittävästi paitsi jalostusta, myös jalostuksen tulosten hyödyntämistä metsänviljelyssä varsinkin männyllä ja kuusella. Lisäksi jokseenkin kaiken bio- ja geenitekniikan metsänjalostukseen soveltamisen edellytyksenä näyttäisi olevan, että kohdepuulajille on käytettävissä tehokkaita kasvullisia lisäysmenetelmiä. Jalostuksessa kasvullisen lisäyksen hyödyt realisoituisivat ennen muuta jalostussyklin (testausaineiston tuottamiseen kuluvan ajan) merkittävänä lyhenemisenä (jopa puolittumisena) sekä testauksen luotettavuuden paranemisena siemensyntyisten vapaapölytysjälkeläisten testaukseen verrattuna.

Kasvullisen joukkomonistuksen (ns. bulk-lisäys) saaminen käytännön mittakaavan taimituotantomenetelmäksi kuusella ja myöhemmin myös männyllä mahdollistaisi kontrolloidusti tuotettujen parhaiden risteytyserien jatkomonistamisen. Tämä puolestaan mahdollistaisi sekä nykyistä huomattavasti korkeammat jalostushyödyt että niiden siirtämisen täysimääräisinä metsänviljelyyn. Kasvullisen lisäyksen tärkeimpiä etuja siemenviljelyyn verrattuna ovat siis 1) erityisen kombinaatiokyvyn (parhaiden perheiden joukkomonistus) hyödyntäminen jalostuksessa, 2) taustapölytyksestä aiheutuvan jalostushyödyn alenemisen välttäminen, ja 3) lyhyempi viive tuotannon aloittamispäätöksestä taloudellisesti merkittävän tuotannon alkamiseen.

Kukinnan ja siementuotannon nopeuttaminen

Havupuilla jalostusta hidastuttaa siementaimien kukinnan myöhäisyys. Kehittämiskohteita ovat erityisesti männyn ja kuusen varttamis-, risteytys- ja taimikasvatustekniikat, mukaanlukien latvavarttaminen (top-grafting) vanhoihin perusrunkoihin, hormonikäsittelyt ja astiataimien tehokasvatus kasvihuoneissa.



Latvavarttaminen on menetelmä, jonka avulla pyritään nopeuttamaan kukintaa ja jalostustyötä, ennen muuta männyn jälkeläistestauksessa tarvittavien siemenaineistojen tuottamista. Varttamalla valituista nuorista puista kerätyt varteokset vanhojen varteiden (ns. välivarteet) latvaversoihin niiden kukinnan odotetaan käynnistyvän normaalia aikaisemmin. Samaan välivarteeseen voidaan varttaa usean eri puun varteoksia, jotka merkitään huolellisesti. Kuvan latvavarteet ovat osa Metsäntutkimuslaitoksen Haapastensyrjän jalostusasemalla vuonna 2006 aloitettua koetta, jossa selvitetään menetelmän toimivuutta käytännössä.

Siemenviljelysten jalostushyötyjen lisääminen

Männyn ja kuusen siemenviljelysten geneettistä toimivuutta on tehostettava, jotta jalostuksen tulokset realisoituisivat nykyistä paremmin myös suvullisessa siemenlisäyksessä. Tämä edellyttää siemenviljelysten parempaa tai täydellistä eristystä ulkopuolista taustapölytystä vastaan sekä niiden oman sisäisen pölytyksen lisäämistä. Mahdollisia menetelmiä ovat muun muassa siemenviljelyksien maantieteelliset siirrot, minisiemenviljelykset kasvihuoneissa sekä keinollinen lisäpölytys. Lisäksi kuusella tarvitaan toimivia menetelmiä siemenviljelysten käpy- ja siementuhojen ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi.

Fysiologisen nuoruustilan ylläpito ja palauttaminen

Havupuiden pistokaslisäyksen ongelmana on menetelmän toimivuuden rajoittuminen nuoreen, muutaman vuoden ikäiseen lähtöaineistoon. Testattujen, jalostusarvoltaan parhaiden yksilöiden lisäys on mahdollista vain suvullisen siemenlisäyksen avulla. Tämä on perintötekijöiden rekombinaatiosta aiheutuvan ominaisuuksien hajoamisen takia kloonausta tehottomampi lisäys-

menetelmä. Rejuvenaatioon liittyvien ongelmien ratkaisemisella olisi siten huomattava merkitys jalostuksen tulosten hyödyntämisellä metsätaloudessa kasvullisen lisäyksen avulla.

Ilmaston sopeutumisen genetiikka

Metsänjalostuksen haasteena on varmistaa tulevaisuuden metsänviljelyaineistojen sopeutuneisuus nopeasti muuttuvaan ilmastoon. Tässä onnistuminen edellyttää tutkimustietoa mm. tulevaisuuden ilmaston optimaalisesta kasvurytmistä, alkuperien ja yksilöiden perinnöllisyyden joustavuuden vaihtelun rajoista sekä mantereisuus-mereisyys -gradientin merkityksestä jalostuksen kohdealueita ja siemenviljelysten käyttöalueita määritettäessä.

Muut tutkimus- ja kehittämistarpeet

Edellä lueteltujen viiden tärkeimmän teeman lisäksi tutkimustietoa tarvitaan myös toteutuneista jalostushyödyistä, jalostuksen ekonomiasta ja optimoinnista, kloonimetsätalouden perusteista (kloonimonokulttuurien ja -sekoitusten hyödyt ja ekologiset vaikutukset) sekä geenien toiminnasta metsäpuilla. Tärkeistä kehittämisaiheista voidaan mainita muun muassa männyn ulkoisen laadun arvioimisen menetelmät, fenotyyppisen valinnan tarkentaminen, merkkigeeniavusteisen valinnan hyödyntäminen jalostuksen tehostamisessa sekä uusien jalostettavien ominaisuuksien (esimerkiksi kuituominaisuudet, lahon- ja taudinkestävyys ym. resistenssiominaisuudet) geneettisen taustan selvittäminen sekä niiden edellyttämien uusien mittaustekniikoiden kehittäminen.

8 Terminologiaa

alkuperä

maantieteellinen paikka tai alue, jonka luontaisesta esiintymästä jalostus- tai metsänviljelyaineisto on peräisin

ehdokaspopulaatio

lähtö- tai uudistamispopulaatiosta fenotyyppisesti valitut puut, jotka testataan jalostusarvojen tarkempaa määrittämistä varten

eteenpäinvalinta

valinta, joka suoritetaan aikaisemmin valittujen yksilöiden jälkeläisten joukossa

fenotyyppi

perimän ja ympäristön yhteisvaikutuksesta johtuva yksilön ominaisuus tai yksilön kaikkien ominaisuuksien kokonaisuus

fenotyyppinen valinta

halutunlaisten yksilöiden, perheiden tai alkuperien valinta ulkoisten tunnusten perusteella ilman testausta

genotyyppi

yksilön kaikkien perintötekijöiden muodostama kokonaisuus tai tietyn ominaisuuden ilmiasun aiheuttava geenivaihtoetojen yhdistelmä

hybridi

risteymä; kahden lähisukuisen lajin risteytymisen tai kahden erilaisen jalostuslinjan risteytyksen tulos

ilmiasu

ks. fenotyyppi

jalostusaineisto

biologinen aineisto, joka on valittu käytettäväksi jalostuksessa

jalostusarvo

yksilön geenien keskimääräinen vaikutus ilmiasuun

jalostushyöty

valinnan tuloksena saatu jälkeläispopulaation keskimääräinen paremmuus vertailupopulaation verrattuna

jalostusmenetelmä

toimenpide tai toimenpideketju, jolla tähdätään perinnöllisen muutoksen aikaansaamiseen tai muuntelun laajentamiseen puujoukossa

jalostusohjelma

monivuotinen jalostussuunnitelma, jossa kuvataan jalostuksen aineistot, tavoitteet ja menetelmät

jalostuspopulaatio

se osa lähtöpopulaatiota, johon kuuluvien puiden geenejä siirretään uuteen jalostusykkliin tai viljelyaineistoon. Jalostuspopulaatioon valitaan jalostusarvoltaan parhaat puut. Jalostuspopulaation avulla ylläpidetään muuntelua sukupolvesta toiseen.

jalostussykli

valinnasta, risteyttämisestä ja testauksesta koostuva jokaisessa sukupolvessa toistettava toimenpideketju (syn. jalostuskierto).

jalostusvyöhyke

jalostuspopulaation koostamista varten määritelty ekologisilta tekijöiltään suhteellisen yhtenäinen maantieteellisesti rajattu alue

jälkeläiskoe

koeviljelmä, jonka avulla selvitetään ominaisuuksien periytyvyyttä ja määritetään testattavien puiden jalostusarvoja

kasvullinen lisäys

kantayksilön kanssa perimältään identtisten yksilöiden tuottaminen

kenttäkoe

jalostusaineiston testaamista varten perustettu koeviljelmä, jolla sovelletaan normaalin metsänhoidon menetelmiä

kloonaus

ks. kasvullinen lisäys

kohdealue

jalostuspopulaation pääasiallinen ilmastollinen jalostustavoite, joka määräytyy lämpösumman perusteella

käyttöalue

viranomaisen kullekin metsänviljelyaineistoerälle määrittämä maantieteellinen alue, jolla viljelyvarmuus on riittävä

läpäisy populaatio

puujoukko, johon jalostussyklin ulkopuolelta tuleva uusi aineisto voidaan ottaa kehitettäväksi ennen aineiston sisällyttämistä jalostukseen

lisäys populaatio

puujoukko, jota hyödynnetään jalostetun metsänviljelyaineiston tuotannossa

lähtö populaatio

puujoukko, josta jalostaja valitsee yksilöitä seuraavan jalostussukupolven muodostamiseksi

metsänjalostus

metsänviljelyaineiston perinnöllisten ominaisuuksien muuttaminen kasvinjalostuksen menetelmillä paremmin ihmisen tarpeita vastaaviksi

metsänviljelyaineisto

metsäpuiden siemenet tai muut viljelyyn käytettävät siemenyksiköt, kasvinosat ja taimet

muuntelun laajentaminen

metsänjalostuksen osa, jossa jalostettavan ominaisuuden vaihteluväliä laajennetaan tai jalostuksen lähtömateriaaliin tuotetaan uudenlaisia ominaisuuksia hyödyntämällä siemensiirtoa, risteytystä, mutaatioita ja geeninsiirtoa

osalinja

jalostuspopulaation (ja koko jalostussyklin) itsenäisesti kehitettävä osajoukko, jonka aineistot ovat geneettisesti eristyksissä muista osalinjoista

perinnöllinen muuntelu

erilaisista geeneistä aiheutuva yksilöiden välinen vaihtelu, joka on riippumaton ympäristön tuottamista eroista

perustajapopulaatio

ensimmäisen polven jalostuspopulaatio; yksilöjoukko, jonka perintötekijät ovat pohjana kaikelle jatkojalostukselle

pistokas

vegetatiivisesta kasvinosasta juurruttamalla tuotettu kloonitaimi

pluspuu

luonnosta hyvien ulkoisten ominaisuuksiensa perusteella ehdokaspopulaatioon valittu ja rekisteröity puu

risteytysjalostus

jalostus, jossa perintötekijöiltään erilaisia yksilöitä risteyttämällä pyritään joko yhdistämään useita haluttuja ominaisuuksia tai aikaansaamaan erikoisen elinvoimainen kanta

satunnaisajautuminen

otannasta johtuva populaation geenikoostumuksen satunnainen muutos, jossa alleeleja voi fiksoitua tai hävitä; satunnaisajautumisen vaikutus riippuu alleelien yleisyydestä ja populaation koosta

siemenviljelys

siementuotantoa varten perustettu valikoitujen kloonien tai perheiden viljelys

sopeutumiskyky

populaation kyky geneettisesti sopeutua paikallisiin ympäristötekijöihin ja niiden muutoksiin

sukusiitos

keskenään (melko läheistä) sukua olevien yksilöiden pariutuminen

sukurasitus

yksilön ilmiänsä (lisääntymiskyky, elinvoimaisuus) heikkeneminen johtuen haitallisten väistyvien perintötekijöiden yhdistymisestä sukusiitoksen seurauksena

taaksepäinvalinta

toistuva valinta, jossa ilmiänsä perusteella valittujen joukosta valitaan jälkeläistestauksen perusteella jalostusarvoltaan parhaat vanhemmat

testaus

metsänjalostuksen osa, jossa määritetään kokeellisesti yksilöiden, perheiden tai alkuperien ominaisuuksia ja geneettisiä eroja

testaustarha

intensiiviseen koekasvatukseen varattu alue, jossa on pyritty eliminimaan ulkopuoliset tuhot ja saamaan kasvutekijät mahdollisimman tasaisiksi kaikille koe-erille.

toistuva valinta

valinta, joka tapahtuu aikaisemmin valittujen yksilöiden tai niiden jälkeläisten joukossa (joko taaksepäin- tai eteenpäin)

tuotantopopulaatio

jalostetulla aineistolla metsätaloudellisten hyödykkeiden tuottamiseksi perustetut viljelymetsät

uudistamispopulaatio

jalostuspopulaatioon kuuluvien puiden valvotuista risteytyksistä syntyvä puujoukko, joka muodostaa pohjan valintajalostukselle seuraavassa sukupolvessa

valinta

metsänjalostuksen osa, jossa lähtöaineistosta otetaan jalostuksen käyttöön tai viljelymateriaalin tuottamiseen se osa, joka parhaiten sopii jalostajan tarkoituksiin

valintaindeksi

valintajalostuksessa käytettävä monen ominaisuuden lineaarinen yhdistelmä; valintaindeksin painokertoimet eri ominaisuuksille lasketaan niiden keskinäisten taloudellisten arvosuhteiden, geneettisten korrelaatioiden ja periytymisasteiden avulla

valintajalostus

taloudellisesti tärkeiden ominaisuuksien parantaminen toistuvan valinnan ja risteyttämisen sekä useimmiten myös testauksen avulla

valiosiemenviljelys

siemenviljelys, joka on perustettu jälkeläiskokeiden perusteella valittujen pluspuiden vartteilla l. ”1.5 polven siemenviljelys”

vapaapölytys

luonnollinen tuulen tai hyönteisten välityksellä tapahtuva pölytys

varhaistesti

jalostusaineiston testaamiseen kehitetty jälkeläiskoe, jossa jo varhaisessa vaiheessa pyritään tekemään päätelmiä jälkeläisten ominaisuuksien myöhemmästä kehitymisestä

viljelyvarmuus

kyky mukautua paikalliseen kasvupaikkatekijöiden yhdistelmään sekä vastustuskyky kasvitauteja ja tuholaisia vastaan

yhdistetty valinta

valinta, jossa otetaan huomioon sekä perheiden keskimääräinen menestyminen että perheen sisäinen yksilövaihtelu

9 Kirjallisuutta

Pitkän aikavälin jalostuksen perusteita

- Burdon, R.D. & Shelbourne, C.J.A. 1971. Breeding populations for recurrent selection: conflicts and possible solutions. *New Zealand Journal of Forestry Science* 1(2): 174-193.
- Cotterill, P.P. 1986. Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simple low cost options. *Silvae Genetica* 35: 212-223.
- Cotterill, P., Dean, C., Cameron, J. & Brindbergs, M. 1989. Nucleus breeding: a new strategy for rapid improvement under clonal forestry. In: *Breeding tropical trees, Population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry* (Eds. Gibson, G.L., Griffin, A.R. and Matheson, A.C.), Proc. IUFRO Conf., Pattaya, Thailand, November 1988: 39-51.
- Danell, Ö. 1990. Possible gains in initial stages of a national tree breeding programme using different techniques. *Forest Tree Improvement* 23: 11-30.
- Danell, Ö. 1991. Survey of past, current and future Swedish forest tree breeding. *Silva Fennica* 25: 241-247.
- Danell, Ö. 1993. Breeding programmes in Sweden. 1. General Approach. Proc. Nordic Group for Tree Breeding, Edinburgh, Scotland.
- Danell, Ö. 1993. Tree Breeding Strategy: Are we too concerned conservationists but inefficient breeders? Proc. Nordic Group for Tree Breeding, Edinburgh, Scotland: 80-94.
- Gullberg, U. & Kang, H. 1985. A model for tree breeding. *Studia Forestalia Suecica* 169: 1-8.
- Kang, H. & Nienstaedt, H. 1987. Managing Long-Term Tree Breeding Stock. *Silvae Genetica* 36: 30-39.
- Lindgren, D. & Mullin, T. 1997. Balancing gain and relatedness in selection. *Silvae Genetica* 46: 124-129.
- McKeand, E. & Beineke, F. 1980. Sublining for Half-Sib Breeding Populations of Forest Trees. *Silvae Genetica* 29: 14-17.
- McKeand, S.E. & Bridgwater, F.E. 1998. A Strategy for the Third Breeding Cycle of Loblolly Pine in the Southeastern U.S. *Silvae Genetica* 47: 223-234.
- Mullin, T. & Park, Y. 1995. Stochastic simulation of population management strategies for tree breeding: a new decision support tool for personal computers. *Silvae Genetica* 44: 132-141.
- Namkoong, G. 1974. Breeding for future generations. Proc. IUFRO Joint Meeting of Working Parties on Population Genetics, Breeding Theory and Progeny Testing. Stockholm 30.8.-5.9.1974.
- Rosvall, O. Enhancing gain from long-term forest tree breeding while conserving genetic diversity. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 109. 65 s. + 4 osajulkaisua.
- Ruotsalainen, S. 1999. Metsänjalostuksen populaatiokäsitteet. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 79-91.
- Ruotsalainen, S. & Lindgren, D. 2000. Stratified sublining: a new option for structuring breeding populations. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 596-604.
- Ruotsalainen, S. & Lindgren, D. 2001. Number of founders for a breeding population using variable parental contribution. *Forest Genetics* 8(1): 57-67.
- Ruotsalainen, S. 2002. Managing breeding stock in the initiation of a long-term tree breeding program. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 875: 95 s. + 4 osajulkaisua.
- White, T., Matheson, A., Cotterill, P., Johnson, R., Rout, A. & Boomsa, D. 1999. A Nucleus Breeding Plan for Radiata Pine in Australia. *Silvae Genetica* 48: 122-133.
- Williams, C.G. & Hamrick, J.L. 1996. Elite populations for conifer breeding and gene conservation. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 453-461.
- Williams, C.G. & Savolainen, O. 1996. Inbreeding Depression in Conifers: Implications for Breeding Strategy. *Forest Science* 42: 102-117.

Suomen pitkän aikavälin jalostusohjelma

- Haapanen, M., Mikola, J., Ruotsalainen, S. & Venäläinen, M. 1999. Combining genetic gain and diversity by means of open nucleus breeding system (Poster Abstract). Climatic adaptation of boreal tree species - Tree breeding in the Nordic Countries. Proc. 1998 joint meeting of Nordic Group for the Management of Genetic Resources of Trees and Nordic Arboretum Council, Biri, Norway, June 25-27, 1998: 26.
- Haapanen, M. 2002. Evaluation of options for use in efficient field testing of *Pinus sylvestris* (L.). Finnish Forest Research Institute, Research Paper 826. 143 s.
- Metsänjalostuksen tarkennustyöryhmä. 1989. Pitkätähtäyksen metsänjalostusohjelma ja työsuunnitelma vuosiksi 1990-1999. Metsähallitus. Moniste. 135 s.
- Mikola, J. 1989. Metsänjalostukselle pitkän ja lyhyen aikavälin tavoitteet. Metsänjalostussäätiö – Foundation for Forest Tree Breeding 1988 (vuosijulkaisu): 7-10.
- Mikola, J. 1998. Ehdotus pitkän aikavälin metsänjalostusohjelmaksi. Luonnos Maa- ja metsätalousministeriölle 20.10.1998. Moniste. 23 s.
- Mikola, J. 1999. Present status and future developments of tree breeding in Finland (Summary). Climatic adaptation of boreal tree species - Tree breeding in the Nordic Countries. Proc. 1998 joint meeting of Nordic Group for the Management of Genetic Resources of Trees and Nordic Arboretum Council, Biri, Norway, June 25-27, 1998. s. 16.
- Mikola, J. 2002. Long-Term Tree Breeding Strategy in Finland: Integration of Seed Production and Breeding (Country Report). In: Integrating Tree Breeding and Forestry (eds. M. Haapanen & J. Mikola). Proc. Nordic Group for Management of Genetic Resources of Trees, Mekrijärvi, Finland, March 23-27, 2001. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 842: 12-13.
- Mikola, J. 2002. Long-Term Tree Breeding Strategy in Finland, with special emphasis on broadleaved species. In: Management and utilization of broadleaved tree species in Nordic and Baltic countries - Birch, aspen and alder (eds. J. Hynynen & A. Sanaslahti). Proc. of Workshop held in Vantaa, Finland, May 16 to 18, 2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 847: 48-50.
- Suomen maa- ja metsätalouden kansallinen kasvigeenivaraohjelma. 2001. MMM:n julkaisuja 12. Maa- ja metsätalousministeriö.

Siemenviljelyohjelma

- Kukkonen, H. 2002. Genetic quality of reproductive material in forest regeneration in Finland. In: Integrating Tree Breeding and Forestry (eds. M. Haapanen & J. Mikola). Proc. Nordic Group for Management of Genetic Resources of Trees, Mekrijärvi, Finland, March 23-27, 2001. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 842: 12-13.
- Mikola, J. 1995. Siemenviljelyssä uusi aikakausi alkamassa. Metsänjalostussäätiö – Foundation for Forest Tree Breeding 1994 (vuosijulkaisu): 4-11.
- Siemenviljelytyöryhmä. 1989. Metsäpuiden siemenviljelyohjelma vuosille 1990–2025. Metsähallitus. Moniste. 63 s.
- Siementuotannon suunnitteluryhmä. 1997. Männyn, kuusen ja koivun siemenviljelysten perustamissuunnitelmat. Muistio Maa- ja metsätalousministeriölle. Moniste. 45 s.
- Metsäpuiden siemenhuoltotyöryhmän muistio. 2004. Maa- ja metsätalousministeriö, työryhmämuistio 2004:12. 48 s.

Biotekniiikan sovellusmahdollisuudet

- Aronen, T. 1999. Biotekniiikan sovellukset tulevat – muuttuvatko metsänjalostuksen mallit? Metsätiet. aikakauskirja 2/1999: 255-260.
- Aronen, T. 2002. Metsäpuiden geenitekniiikka. Metsätieteellinen aikakauskirja 2/2002: 131-146.
- Aronen, T. 2002b. Metsäpuilla tehtävä bio- ja geenitekninen tutkimus. Taustaselvitys maa- ja metsätalousministeriölle, Maaliskuu 2002. Moniste. 43 s.

- Högberg, K.-A., Ekberg, I., Norell, L. & von Arnold, S. 1998. Integration of somatic embryogenesis in a tree breeding programme: a case study with *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research* 28 (10): 1536-1545.
- Mikola, J. 2002. Bio- ja geenitekniiikan mahdollisuuksista metsäpuiden jalostuksessa sekä jalostetun aineiston tuotannossa ja metsätalouskäytössä. Taustaselvitys maa- ja metsätalousministeriölle, Huhtikuu 2002. Moniste. 42 s.
- Mikola, J. 2002. Bio- ja geenitekniiikan mahdollisuuksista metsäpuiden jalostuksessa. *Metsätieteellinen aikakauskirja* 2/2002: 154-161.
- Williams, C.G. & Neale, D.B. 1992. Conifer wood quality and marker-assisted selection: a case study. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 1009-1017.

Jalostushyötyennusteet ja -näytöt

- Ahtikoski, A. 2000. The Profitability of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) and Silver Birch (*Betula Pendula* Roth) Next-Generation Seed Orchards in Finland. Academic Dissertation. University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Forest Economics.
- Haapanen, M. & Ruotsalainen, S. 2007. Siemenviljelyssiemenen jalostushyödyt lunastavat metsänjalostuksen lupaukset. *Taimiuutiset* 2/2007: 7-10.
- Hagqvist, R. 1998. Jalostettu koivu kasvultaan ja laadultaan selvästi metsikköalkuperiä parempaa. *Metsänjalostussäätiö - Foundation for Forest Tree Breeding* 1997 (vuosijulkaisu): 10-17.
- Hagqvist, R. & Hahl, J. 1998. Rauduskoivun siemenviljelysten jalostushyöty Etelä- ja Keski-Suomessa. *Metsänjalostussäätiön tiedonantoja* 13.
- Li, B., McKeand, S.E. & Weir, R.J. 1999. Tree improvement and sustainable forestry - impact of two cycles of loblolly pine breeding in the U.S. *Forest Genetics* 6(4): 229-234.
- Napola, J. (toim.). 1998. Haapa, uusi tuottoisa viljelypuu. *Metsänjalostussäätiön tiedote* 1/1998. 16 s.
- Rosvall, O., Lindgren, D. & Ruotsalainen, S. 1999. Högre genetisk vinst utan diversitetsförlust. I: Årsbok 1998. *Föreningen Skogsträdsförädling*: 9-16.
- Ruotsalainen, S. & Nikkanen, T. 1998. Kuusen siemenviljelysaineiston menestyminen Pohjois-Suomessa. Summary: Survival and growth of Norway spruce seed orchard material in northern Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 709. 33 s.
- Venäläinen, M., Annala, M-L., Kosonen, E., Rantanen, H. & Tynkkynen, H. 1994. Plasmäntyjentestatulokset rekisteri ja jalostushyöty. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 497. 89 s.
- Venäläinen, M., Hahl, J. & Pöykkö, T. 1996a. Hyvistä jälkeläisistään todellinen pluspuu tunnetaan - nuorten runkojen laatu plasmäntyjien testauksessa. Julkaisussa: *Metsäpuiden genetiikka ja jalostus, tutkimuksen ja sovellutuksen synergiaa, Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä 1995* (toim. R. Tallqvist & O. Kurtio). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 605: 21-33.
- Venäläinen, M., Hahl, J. & Pöykkö, T. 1996b. Jälkeläisten laadun arvioiminen – plasmäntyjien testauksen lähiaikojen urakka. *Metsänjalostussäätiö - Foundation for Forest Tree Breeding* 1995 (vuosijulkaisu): 15-21.
- Yrjänä, L. 2001. Männyn fenotyyppisen pluspuuvalinnan toteutunut valintahyöty Etelä-Suomessa – Jälkeläiskokeisiin perustuva tarkastelu. Pro gradu -työ, Helsingin yliopisto. 37 s.

Perusoppikirjat ja tilastotiedot

- Eriksson, G. & Ekberg, I. 2001. An Introduction to Forest Genetics. SLU, Uppsala. 166 s.
- Namkoong, G. 1979. Introduction to quantitative genetics in forestry. USDA Forest Service, Tech. Bull. No. 1588. 342 s.
- Peltola, A. (toim.) 2002. Metsätilastollinen vuosikirja 2002. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. Metsäntutkimuslaitos. 374 s.
- Yrjänä, L. & Karvinen, K. 2002. Suomen metsänjalostuksen yleistilastoa 2002. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 783. 47 s.
- Zobel, B. & Talbert, J. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons. 492 s.