

Metsänjalostuksen monimuotoisuus



Juhani Häggman & Esko Oksa (toim.)

PUNKAHARJUN TUTKIMUSASEMA

Valokuvaajat:

Egbert Beuker: sivut 26, 27, 37

Juhani Hägman: 23 yläosa, 39, 55

Jukka Lehtonen: 23 alaosa

Jouko Lehto: 8, 45, 47, 48, 50, 51, 59

Juhani Mäkinen: 18

Teijo Nikkanen: 9, 12, 14, 20, 31, 32, 58

Matti Rousi: 40, 44

Kaarlo Karvinen: kartat

Kannen kuvat: Männyn risteytystä Punkaharjulla (iso kuva, Teijo Nikkanen).
Männyn somaattinen alkio (pieni kuva, Jouko Lehto).

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 753, 1999

Metsänjalostuksen monimuotoisuus

Juhani Häggman & Esko Oksa (toim.)

PUNKAHARJUN TUTKIMUSASEMA

Häggman Juhani & Oksa Esko (toim.). 1999. Metsänjalostuksen monimuotoisuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 753. 62 s.
ISBN 951-40-1708-0, ISSN 0358-4283

Avainsanat: metsänjalostus

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun tutkimusasema

Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 25.11.1999

Tekijöiden yhteystiedot:

Punkaharjun tutkimusasema
58450 Punkaharju
puh. (015) 7302 20, faksi (015) 644 333

Julkaisun myynti:

Metlan kirjasto
puh. (09) 8570 5580, faksi (09) 8570 5582

Metla, Punkaharjun tutkimusasema
puh. (015) 730 220, faksi (015) 644 333

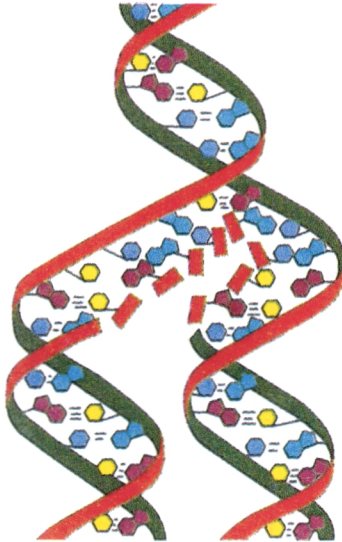
Sisällysluettelo

ALKUSANAT	5
METSÄNJALOSTUS, OLENNAINEN OSA VILJELYMETSÄTALOUTTA	8
METSÄNJALOSTUKSEN PERINTEISET MENETELMÄT	12
Mänty	15
Kuusi	19
Koivu	22
Haapa	26
METSÄNJALOSTUKSEN TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	28
Jalostustulokset käytäntöön metsänviljelyn kautta	28
Jalostettua metsänviljelyaineistoa siemenviljelyksiltä	28
Siemenviljelykset parhaassa tuotantovaiheessa	32
Siemenviljelyssiemenen geneettisen laadun kohottaminen	33
Kloonimetsätalous ja jalostushyödyn lisääminen	36
ILMASTONKESTÄVYYS JA SOPEUTUMINEN	36
Ilmastonmuutos ja kasvu	37
Tuhonaiheuttajat ja kasvihuoneilmiö	39
Hiilidioksidin vaikutus	41
Lainsäädäntö ja viljelymateriaalin vapaa kauppa	41
TUHOT KURIIN KESTÄVYYSJALOSTUKSELLE	43
Viljelyvarmuuden jalostaminen	43
Ruskotäpläkärpänen – esimerkki jalostuksen mahdollisuuksista	45
BIOTEKNIIKASTA TIETOA JA TEHOA METSÄNJALOSTUKSEEN	46
Solukkoviljely	46
Geeninsiirrot	49
Markkeritekniikat ja geenikartoitus	52
Tulevaisuuden näkymiä	54
METSÄNJALOSTUS JA GENEETTINEN MONIMUOTOISUUS	54
Geneettisen pohjan laajuus jalostusohjelmissä	57
Monimuotoisuuden säilyttäminen	58
AIHEESEEN LIITTYVÄÄ KIRJALLISUUTTA	61
SANASTO	62

ALKUSANAT

Genetiikka on planeetan mahtavin voima.
(Tohtori Malcolm, Jurassic Park)

Ihmisen toiminta vaikuttaa metsäluontoon ja metsiemme puuntuottokyvyn monella tavalla. Vaikutukset voivat olla joko kielteisiä tai myönteisiä. Suomessa metsiä on yleisesti käsitelty siten, että niiden kasvu on runsaasta käytöstä huolimatta lisääntynyt. Maanparannuksella, metsänhoidolla ja lannoituksella on muutettu kasvuolosuhteita edullisemmiksi. Toinen, biologinen lähestymistapa perustuu siihen, että kehitetään puiden ominaisuuksia suosimalla sellaisia perintötekijöitä eli geenejä, jotka tuottavat haluttuja ominaisuuksia. Tämä on metsänjalostuksen perusidea. Perinnöllisyystiede on selvittänyt geneettisen koodin eli periytyvän informaation kemiallisen rakenteen ja toiminnan hyvin yksityiskohtaisesti. Voidaankin sanoa, että metsänjalostus perustuu eksaktiin luonnontieteen ja vankkaan teoriaan.



Elämän perusmolekyylillä DNA sisältää geneettisen koodin.

Kaikki eliökunnan kolme pääryhmää: arkkeliöt, bakteerit ja aitotumalliset sisältävät DNA:ta eli geenejä, joiden toimintaan perustuvat kaikki ko. eliöiden elintoiminnot. Metsäpuut kuten muut kasvit ja myöskin eläimet kuuluvat aitotumallisiin, joiden jokaisessa solussa sijaitsevilla kromosomeissa on geenejä, jotka saavat aikaan erilaisia ominaisuuksia puuyksilöissä. Jokaista geeniä esiintyy kromosomeissa vähintään kaksi kappaletta, joita kutsutaan alleeleiksi. Tästä johtuen tietty ominaisuus esiintyy populaation yksilöissä erilaisena. Kyseessä on perinnöllinen muuntelu, joka on jalostustoiminnan lähtökohta. Ihminen pyrkii erilaisin jalostuksen menetelmin muokkaamaan puiden perinnöllistä rakennetta niin, että voitaisiin tuottaa ihmisen kannalta mahdollisimman hyviä puuyksilöitä. Ihmisen toivomia jalostettavia ominaisuuksia, joilla on merkitystä puun tuottamisessa ja käytössä, ovat esim. viljelyvarmuus, laatu ja nopeakasvuisuus.

Muihin viljelykasveihin verrattuna metsäpuiden jalostus on erittäin nuorta toimintaa. Monien viljakasvien kuten esim. maissin ja vehnän jalostamisen katsotaan alkaneen jo lähes 10000 vuotta sitten. Sen sijaan varsinainen metsänjalostus alkoi vasta 1940-luvulla Pohjoismaissa, josta se on levinnyt kaikkiin voimaperäistä metsätaloutta harjoittaviin maihin. Kuitenkin jo paljon aikaisemmin selvitettiin puiden sopeutumiseen ja lisääntymiseen liittyviä kysymyksiä, jotka kuuluvat nykyisin metsägenetiikan piiriin. Näiden selvitysten tekijät ovat jättäneet jälkeensä korvaamattoman ja ainutlaatuisen materiaalin, jollaista ei ole missään muualla kuin Suomessa. Valtioneuvos A.F. Tigerstedtin vuodesta 1901 lähtien perustamat laajat ulkomaisten puulajien viljelykokeet Elimäen Mustilassa sekä professori Olli Heikinheimon 1920-luvun lopulla aloittamat monipuoliset ulkomaisten puulajien ja maantieteellisten alkuperien koeviljelykset eri puolilla maatamme tarjoavat todellisen superaineiston suomalaisille metsägenetiikan ja metsänjalostuksen tutkijoille.

Vaikka varsinainen metsänjalostustoiminta alkoikin Suomessa vasta toisen maailmansodan jälkeen perusaineiston, pluspuiden, valinnalla, on kehitys ollut nopeaa ja tulokset olleet kohtuullisen hyviä. Perinteisten jalostusmenetelmien, valinnan ja risteyttämisen rinnalle, on kehitetty uusia menetelmiä, jotka nopeuttavat jalostusprosesseja. Geenitekniikka mm. mahdollistaa lähitulevaisuudessa täsmäjalostuksen kun metsäpuihin pystytään siirtämään geenejä, jotka saavat aikaan täsmälleen jonkin halutun ominaisuuden. Yhdessä muiden bioteknisten menetelmien kanssa geenitekniikka antaa lisäksi arvokasta tietoa geenien toiminnasta ja säätelystä, jota tietoa voidaan hyödyntää useilla metsätieteiden osa-alueilla.

Metsägeneettinen tutkimus on myös ollut varsin monipuolista. Hyviä tuloksia on saavutettu puuaineksen laatuun, puiden tuhonkestävyyteen, kasvuun ja siementuotantoon liittyvissä tutkimuksissa. Lisäksi on pystytty

selvittämään kuinka hyvin metsäpuumme sopeutuvat jos ns. kasvihuoneilmiö toteutuu tai muita suuria muutoksia tapahtuu ilmasto- ja kasvuolosuhteissa.

Viimeaikoina on oltu varsin huolestuneita luonnon monimuotoisuudesta. Geneettinen monimuotoisuus on biodiversiteetin perustaso. Tähän seikkaan ovat metsänjalostustutkijat kiinnittäneet huomiota jo paljon aikaisemmin kuin asiasta tuli muoti-ilmiö. Jo 1970-luvulla suomalaiset jalostustutkijat esittivät, että eri puolille maata pitäisi perustaa ns. geenireservimetsiä, joissa voitaisiin säilyttää paikallinen geeniaineisto. Toimenpiteisiin ryhdyttiin kuitenkin vasta 1990-luvulla, paljolti Euroopan metsäministerien Strasbourgin päätösten (1992) ja maailmanlaajuisen Rion biodiversiteettisopimuksen vaikutuksesta, kun maamme ensimmäinen geerireservimetsä perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun tutkimusalueeseen kuuluvaan Patasalon saareen vuonna 1991.

Metsäpuiden jalostus on hyvin pitkäjänteistä toimintaa. Puut poikkeavat perusteellisesti monien ominaisuuksien suhteen pelto- ja puutarhakasveista. Erikoispiirteitä ovat mm. pitkä elinikä, suuri koko, ristisiittoisuus ja sovellutusten kauaskantoisuus. Koska varsinkin nykyisessä taloudellisessa tilassa kaikki toiminnot, valitettavasti myös tutkimus, perustuvat lyhytjänteisyyteen, ei metsägeneettinen tutkimus ja metsänjalostus ole aina saaneet osakseen päättäjien ja rahoittajien ymmärtämystä. Nopeat muotivirtaukset kuten metsänviljelyn hyljeksiminen ovat heijastuneet myöskin jalostustutkimukseen. Pitäisi kuitenkin ajatella kauaskantoisesti pitkälle tulevaisuuteen ja ymmärtää ettei pitemmän päälle tulla selviämään metsätaloudessakaan ilman jalostettua materiaalia. Tällainen avarakatseisuus näyttää valitettavasti puuttuvan jopa metsäammattilaisilta, saati sitten tavalliselta kansalta. Kuinka moni olisi kuitenkaan palaamassa ravintokasvien osalta alkuperäisten villimuotojen viljelyyn? Tai, että autot pitäisi valmistaa vuoden 1940 mallien mukaan.

Tämän julkaisun tarkoituksena on antaa päättäjille ja muille asiasta kiinnostuneille tietoa siitä, millaista metsägeneettistä tutkimusta lähinnä Metsäntutkimuslaitoksessa on tehty, mitä tuloksia on saavutettu sekä mitä mahdollisuuksia metsägeneettinen tutkimus ja metsänjalostus tarjoavat tulevaisuuden ongelmien selvittämisessä.

Julkaisu on tehty yhteistyönä Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun tutkimusaseman ja Vantaan tutkimuskeskuksen metsägenetiikan tutkijoiden toimesta. Julkaisun kirjoittamiseen ovat osallistuneet: Tuija Aronen, Egbert Beuker, Matti Haapanen, Hely Häggman, Juhani Häggman, Veikko Koski, Teijo Nikkanen, Matti Rousi, Seppo Ruotsalainen, Mari Rusanen, Leena Ryyänen, Pirkko Velling ja Martti Venäläinen.

METSÄNJALOSTUS, OLENNAINEN OSA VILJELYMETSÄTALOUTTA

Toisen maailmansodan jälkeinen rakentaminen loi hyvät markkinat sahatavarakkeille ja koko metsäteollisuus kasvoi nopeasti. Puuvarojen, erityisesti korkealaatuisten sahatukkien, arvioitiin käyvän niukoiksi vuosikymmenten kuluessa. Metsien kasvua ja tuotosta ruvettiin parantamaan useilla keinoilla. Metsiä perattiin ja hoidettiin "metsämarssilla", soita ojitetiin ja lannoitettiin valtion tuella ja metsänviljelyä lisättiin vuosi vuodelta. Metsänjalostus, alkuperäiseltä nimitykseltään metsäpuiden rodunjalostus, käynnistettiin yhdeksi näistä tehostamistoimista. Metsänjalostus miellettiin osaksi metsänhoitoa ja erityisesti kiinteästi osaksi metsänviljelyä. Tämä yhteys on edelleen tärkeä: metsänjalostuksesta saadaan hyötyä vain uudistamalla metsiä jalostetulla viljelyaineistolla.



Vuonna 1957 Roomassa pidetyssä FAO:n kongressissa julistettiin, että perintötekijöiltään korkealaatuisten siemenen käyttö metsänviljelyksissä on laajimmin vaikuttavia ja taloudellisesti helpoimmin sovellettavia keinoja puun tuotannon kohottamiseksi ja sen laadun parantamiseksi.

Metsätalouden nousun alkaessa metsänhoidon tavoitteeksi asetettiin se, ettei metsien geneettinen taso enää alenisi. Määrämittahakkuiden ja huonolaatuisista puista kerätyn kylvösiemenen ymmärrettiin vievän kehitystä huonoon suuntaan. Esimerkkejä sopeutumattoman alkuperän aiheuttamasta viljelyn epäonnistumisesta oli jo tiedossa. Aktiivisen metsänjalostuksen kannustimena olivat tiedot kasvinjalostuksen saavutuksista pelto- ja puutarhakasveilla. Pluspuiden valinta- ja siemenviljelysten perustamistyöt pantiin liikkeelle varovaisessa laajuudessa, mutta viljelyalojen lisääntyessä 1960-luvulla metsänjalostuksen työvolyymiä kasvatettiin ripeästi. Tavoitteeksi asetettiin, että vuotuinen metsänviljelyala kohoaa 300 000 hehtaariin ja että koko viljelyalaa varten on tarjolla jalostettua siementä.



Puiden erikoismuodot ilmentävät luonnon perinnöllistä kirjavuutta. Kuvassa metsäkuusen erikoismuoto "pöytäkuusi."

Metsänjalostuksen nykyiset näkymät eivät vastaa alkuvuosien optimistisia näkemyksiä. Metsänviljelyn määrä on nykyisellään 110 000 ha vuodessa eikä tästäkään pinta-alasta kaikkea uudisteta jalostetulla aineistolla. Toisaalta aineiston taso ei vastaa alkuaikojen jalostusvoittolupauksia, jotka pohjautuivat silloiseen tietämykseen metsäpuiden genetiikasta ja ominaisuuksien periytymisestä. Sitä mukaa, kun perinnöllisyyteen sekä metsänjalostuksen teoriaan ja menetelmiin liittyvä tieto on lisääntynyt ja monipuolistunut, on käynyt ilmeiseksi, että käytännössä merkittävien jalostushyötyjen saavuttaminen vaatii metsäpuilla hyvin sinnikkään ja suunnitelmallisen työn. Samaan aikaan koko metsäammattikunnan toimintailmapii-

ri on muuttunut perinpohjin. Pelättyä puupulaa ei ole vielä tullut - päinvastoin - metsien kasvu ylittää hakkuupoistuman. Metsien monimuotoisuus sekä suojele ja muut metsänantimet kuin puu näyttävät suuren yleisön silmissä arvokkaammilta kuin puuraaka-aineen tuottaminen. Kun vielä huomioidaan jo todetut ja ennustetut muutokset ympäristössä, voidaan todeta, että jokseenkin kaikki onkin muuttunut, paitsi puut.

Metsäpuiden siementen keskimääräinen käyttö vuosina 1993-1997 koko Suomessa ja jalostetun siemenen osuus taimitarhakylvöissä käytetystä siemenestä kauden lopussa.

Puulaji	Metsäkylvöt kg/v	Taimitarhakylvöt, josta jalostetun siemenen osuus		Yhteensä kg/v
		kg/v	%	
Mänty	11 500	741	56	12 241
Kuusi	300	1 180	45	1 480
Rauduskoivu	300	70	82	370
Muut puulajit	-	400	23	400
Kaikkiaan	12 100	2 391		14 491

Kaikista muutoksista huolimatta metsänjalostuksen keskeinen päämäärä on edelleen sama kuin 50 vuotta sitten. Sellaisen viljelymateriaalin kehittäminen, joka tuottaa sekä määrällisesti että laadullisesti hyvän puusadon. Jalostuksen suuri vahvuus on sen biologinen perusta: geenit, jotka puu on perinyt, vaikuttavat koko kiertoajan ilman lisäpanostuksia. Jalostetun aineiston käytöstä aiheutuva lisäkustannus on metsänomistajalle pieni, koska pääosan metsänjalostuksen kustannuksista maksaa yhteiskunta. Ensimmäisen jalostuskierroksen siemenviljelyksiltä kerätyllä siemenellä arvioidaan saavutettavan puulajista riippuen 10-30% kasvunlisäys. Jo käynnissä oleva toinen jalostuskierros tavoittelee vähintään samansuuruisia lisäparannusta kasvuun ja sen lisäksi selvää parannusta puun laatuun. Tällä tavoin lisätään metsänviljelyn edullisuutta silloin, kun metsänviljelyn muut edellytykset ovat hyvät. Mikäli puuntuotantoon käytettävä metsäala merkittävästi pienenee, täytyy puuntuotantoa viljelymetsissä tehostaa ja tällöin metsänjalostuksen merkitys korostuu.

Metsäpuiden genetiikan tutkimus palvelee paitsi metsänjalostusta, myös luontaisesti syntyneiden metsien käsittelyä ja suojele. Luonnon monimuotoisuus ja geenivarojen suojele ovat metsätaloudelle tämän ajan tärkeitä arvoja. Metsänjalostajille nämä arvot eivät ole uusia, koska heille geneettinen vaihtelu on välttämätön, hyvin hitaasti uudistuva luonnonva-

ra. Jalostuspopulaatioissa on edustettuna osa luonnon metsien laajasta muuntelusta. Jalostuspopulaatioiden lisäksi perinnöllistä muuntelua säilytetään geenireservimetsien ja säilytyskokoelmien avulla. Tällä tavoin metsänjalostus on varautunut arvaamattomiin muutoksiin tulevaisuudessa. Odotettavissa oleva ilmaston muutos tuo metsänjalostukselle uusia haasteita. Joka tapauksessa Suomen ilmasto tulee aina olemaan niin erikoislaatuinen ettei valmiiksi jalostettua materiaalia voida ostaa muualta, vaan se on kehitettävä ja tuotettava täällä.

Käytännön metsänjalostustyöhön on Suomessa osallistunut neljä eri organisaatiota: Metsäntutkimuslaitos, Metsähallitus, Metsänjalostussäätiö ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäntutkimuslaitos ja Metsänjalostussäätiö vastaavat jalostuksen suunnittelusta ja täytäntöönpanosta. Käytännössä tämä tarkoittaa pitkäntähtäyksen jalostusohjelman laatimista, jälkeläiskokeiden suunnittelua, mittaamista ja analysointia, pluspuiden valintaa jne. Molemmat organisaatiot ovat myös mukana siemenviljelysten kehittämisessä ja niiden käyttöalueiden määrittämisessä. Metsänjalostussäätiössä tehdään myös metsänjalostuksen menetelmiin liittyvää kehitystyötä. Metsähallituksen ja Tapion pääasiallinen vastuualue on kokeiden perustaminen ja hoito sekä siemenviljelystoiminta.

Metsänjalostustoiminnan ohjenuorana on useita puusukupolvia kattava pitkäntähtäyksen jalostusohjelma, josta johdetaan tarvittavat käytännön toimenpiteet. Koska metsänjalostus on pitkävaikutteista, mutta hitaasti tuottoa antavaa toimintaa, se on katsottu yhteiskunnalliseksi metsätalouden infrastruktuurin ylläpidoksi, jonka valtio rahoittaa lähes kokonaan.

Metsäntutkimuslaitoksen toiminnasta metsägenetiikkaan ja metsänjalostukseen liittyvä tutkimustoiminta muodostaa suuremman osan kuin käytännön metsänjalostus. Metsänjalostustutkimus pyrkii tuottamaan vastauksen johonkin jalostusmenetelmää tai jalostetun aineiston käyttöä koskevaan ongelmaan. Metsägeneettinen tutkimus sen sijaan on enemmän perustutkimusta, jonka käytännön sovellutukset ovat kauempana tulevaisuudessa. Metsägeneettistä tutkimusta tehdään merkittävässä määrin myös Helsingin ja Oulun yliopistoissa.

Tämä julkaisu keskittyy Metsäntutkimuslaitoksessa tehdyn metsänjalostus- ja metsägeneettisen tutkimuksen esittelyyn. Koska selvien rajalinjojen vetäminen ei aina ole mahdollista eikä tarpeellistakaan, paikoin käsitellään myös muualla tehtävää tutkimusta ja käytännön jalostusta. Vuoden 2000 alussa metsänjalostustehtävät keskitetään Metsäntutkimuslaitokseen. Metsänjalostussäätiö jatkaa toimintaansa metsänjalostusta edistävänä säätiönä.

METSÄNJALOSTUKSEN PERINTEISET MENETELMÄT

Jalostamisella tarkoitetaan kasvilajien muokkaamista paremmin viljelyyn sopiviksi. Perinteiselle jalostukselle on yhteistä valinnan, testaamisen ja risteyttämisen vuorottelu, olkoot kyseessä metsäpuut tai maatalous-, puutarha- ja koristekasvit. Metsäpuilla työskentelevien tosin odotetaan saavan aikaan muutamassa vuosikymmenessä saman, minkä saavuttaminen vanhoilla viljelykasveilla on vienyt satoja, jopa tuhansia vuosia. Tämä koskee niin kyseisten lajien domestikaatiota eli viljelyn ja hoidon opettelua kuin ”viljelylajikkeiden” jalostamista. Kuitenkin puiden viljelykierto ja sukupolvenväli ovat pituudeltaan jopa monikymmenkertaisia pelto- ja puutarhakasveihin verrattuna. Esimerkiksi koivun viljelemisestä ja jalostamisesta ei tiedetty 50 vuotta sitten juuri mitään. Vehnän viljelijät olivat tässä suhteessa paremmalla tiedon ja kokemuksen tasolla jo faaraoiden aikaan. Vehnästä on tosin tänä aikana tullut täysin ihmisen hoidosta riippuvainen kasvi, mitä metsäpuiden kohdalla ei toivottavasti koskaan tule tapahtumaan.



Luonnonmetsästä valitut pluspuut ovat metsänjalostuksen perusmateriaalia.

Jalostuksen perusmenetelmistä mainitaan aina ensimmäiseksi valinta. Tämä tarkoittaa sitä, että puulajin jalostus aloitetaan valitsemalla puuyksilöitä villeistä populaatioista eli luonnonvaraisista, paikallisiin olosuhteisiin sopeutuneista metsiköistä. Puut valitaan sillä perusteella, kuinka hyvin ne vastaavat ilmiänsultaan viljelypuun ihannetyyppiä. Jos tavoitteena on kasvattaa suorarunkoisia metsiä, valitaan lähtöaineistoksi vain kaikkein suorarunkoisimmat puut. Oletetaan, että puun hyvä ilmiäsu johtuu sen perintötekijöistä ja että hyvä piirre tulee ilmenemään myös sen jälkeläisissä. Oletus on täysin oikeutettu, vaikka tiedetäänkin, että yksilön ilmiäsu on vain osittain perintötekijöiden seurausta. Jos sama siemen, josta kankaalla kasvoi komea mänty, olisi sattumalta pudonnut rämeelle, olisi puusta kehittynyt varmaan aivan erinäköinen. Ilmiäsun eli fenotyypin perusteella valittuja puita kutsutaan pluspuiksi, ja ne muodostavat metsänjalostuksen lähtöaineiston.

Toinen vaihe on lähtöaineistoksi valittujen pluspuiden jälkeläisten vertaaminen toisiinsa eli jalostusarvojen testaaminen jälkeläiskokein. Jalostaja ei siis olekaan kiinnostunut hyvistä yksilöistä sinänsä. Kun jalostaja puhuu yksilön jalostusarvosta, hän tarkoittaa yksilön jälkeläisten arvoa verrattuna muiden yksilöiden jälkeläisten arvoon. Testaustulosten perusteella jalostaja tekee valinnan toiseen kertaan ja vasta tällöin hän on muodostanut varsinaisen jalostuspopulaation. Toistuvan valinnan edellytys on, että alunperin on valittu niin runsaasti pluspuita, että niistä voidaan hylätä huomattava osa.

Kolmannessa vaiheessa jalostuspopulaatioon mukaan otettujen pluspuiden geenit saadaan uuteen järjestykseen puita risteyttämällä. Risteytyminen on ristisiittoisille kasveille luonnonmukainen tapahtuma, jota ei juurikaan voida ohjailta emon ja isän valintaa pidemmälle. Toiveena on, että vanhemmaispuiden geeniyhdistelmien hajotessa ja uusien syntyessä muodostuisi sellaisia jälkeläisiä, joiden perimään olisi rikastunut paljon "hyviä" perintötekijöitä. Uusien geeniyhdistelmien arvo selviää vain testaamalla syntyneet jälkeläiset. Testaus johtaa valintaan ja valitut puut risteytetään uudelleen seuraavaa sukupolvea varten.

Jalostuksella halutaan tietoisesti kaventaa metsänviljelyaineistossa esiintyvää vaihtelua siten, että jalostettavissa ominaisuuksissa ei-toivottuun suuntaan vaikuttavien geenien osuus vähenisi. Siksi jalostustyön alkuvaiheessa on valittava niin runsaasti pluspuita, että aineistossa voidaan tehdä valintaa useiden sukupolvien ajan pelkäämättä, että ajaututtaisiin liian kapealle geneettiselle pohjalle. Se johtaisi valintahyödyn hiipumiseen jalostettavissa ominaisuuksissa ja haitallisesti vaikuttavan sisäsiitoksen lisääntymiseen. Niiden ominaisuuksien osalta, joihin ei kohdistu valintaa, halutaan perinnöllisen vaihtelun säilyvän runsaana.



Kontrolloidut risteytykset ovat metsänjalostuksen keskeinen perusmenetelmä.

Määrätietoinen metsänjalostus vaatii puulajikohtaisen ohjelman hyvin pitkälle aikavälille. Ohjelman tulee osoittaa jalostettavat ominaisuudet tärkeysjärjestyksessä ja yksityiskohtaiset, puulajin lisääntymisbiologiasta riippuvat keinot tavoitteiden saavuttamiseksi. Männylle, kuuselle ja rauduskoivulle on laadittu tällainen pitkäntähtäyksen jalostusohjelma. Koska jalostusohjelman toteuttaminen on työlästä ja rahallisesti suuri investointi, sitä ei kannata aloittaa puulajeilla, joiden viljelymäärät ovat vähäisiä. Tällaisia ovat meillä hieskoivu, visakoivu, tervaleppä, pihlaja, jalot lehtipuut, siperianlehtikuusi ja muut ulkomaiset puulajit. Niiden osalta metsätaloudelle riittää hyvälaatuisen, kestävä ja perinnöllisesti riittävän vaihtelun omaavan metsikkö- tai siemenviljelyssiemenen saannin takaava siemenhuolto-ohjelma. Mikäli puuta voidaan lisätä kasvullisesti kuten haapaa ja kuusta, jalostettua metsänviljelyaineistoa voidaan tuottaa myös kloonamalla. Seuraavassa tarkastellaan puulajeittain metsänjalostuksen tuloksia.

Mänty

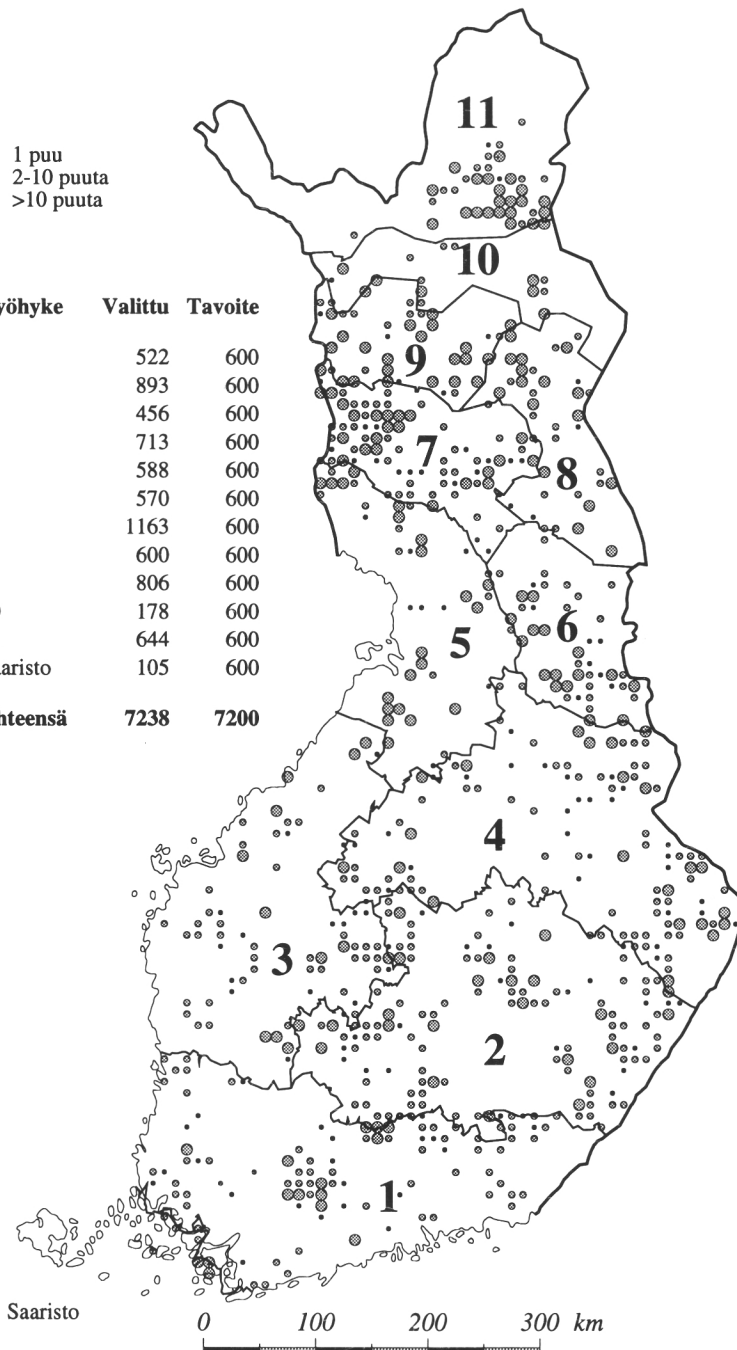
Männyn pluspuiden valinta aloitettiin vuonna 1947 Punkaharjulla. Pääosa perusaineistoista oli koossa 1960-luvun loppuun mennessä, minkä jälkeen alueellisia täydennyksiä tehtiin vähäisessä määrin vielä 1980-luvun aikana. Männynjalostuksen alueellista kohdentamista varten maa on jaettu 11 jalostusvyöhykkeeseen. Näiltä alueilta valittujen pluspuiden kokonaismäärään (7051 kpl) voi olla tyytyväinen, vaikka Etelä- ja Keski-Suomen osalta lukumäärä jäikin alle jalostusohjelman tavoitteiden. Kyseisillä alueilla lähtöaineiston todellista määrää pienentää lisäksi se, että vain noin 3/4 valituista pluspuista on otettu käyttöön. Jotta pluspuusta olisi mitään hyötyä metsätaloudelle, on välttämätöntä, että pluspuu vartetaan kloonikokoelmiin tai siemenviljelyksiin tai, että ainakin otetaan siitä suoraan kerättyä vapaapölytyssiementä jälkeläistestaukseen. Parasta jalostuksen etenemisen kannalta olisi jos kunkin jalostusvyöhykkeen koko aineisto olisi koottu samaan paikkaan jalostajan käsien ulottuville.

Pluspuiden valintaa ja kokoelmiin viemistä huomattavasti työlämpi vaihe on ollut jälkeläiskoeverkon perustaminen. Vuonna 1975 valmistuneessa testausohjelmassa asetettiin tavoitteeksi, että jokaisen pluspuun jälkeläisiä olisi kasvamassa vähintään neljällä eri paikkakunnalla olevassa koeviljelyksessä. Koeviljelys on yhteinen nimi kenttäkokeille ja testaus-tarhakokeille. Edellinen tarkoittaa normaaleissa metsänviljelyoloissa tehtävää koetta. Testaus-tarhat taas ovat tehostetun hoidon alla olevia koelaitteita. Tehokkaalla hoidolla pyritään pienentämään koevirhettä ja saamaan siten testattavat geneettiset erot esille selvemmin ja nopeammin. Etelä- ja Keski-Suomessa jälkeläiskokeet saatiin perustettua kokoelma- ja siemenviljelyskloonien osalta 1980-luvun loppuun mennessä. Pohjois-Suomessa työ on yhä kesken ja viimeiset kokeet saadaan perustettua vuosituhannen vaihteen tienoilla. Yhteensä männyn jälkeläiskokeita on tällä hetkellä lähes 1600 kpl ja niiden kokonaispinta-ala on noin 2400 ha.

Jälkeläiskokeista saatujen testaustietojen systemaattinen työstäminen testaustulosrekisteriin aloitettiin 1990-luvun vaihteessa. Testaustulosrekisteri koostuu kaiken käytettävissä olevan testaustiedon yhdistävistä puulaji- ja ominaisuuskohtaisista tiedostoista. Niiden perusteella pluspuut voidaan asettaa jalostusarvon mukaiseen paremmuusjärjestykseen toistuvaa valintaa varten. Metsägeneettiin tutkimustarkoituksiin saatetaan tarvita sekä hyviksi, keskinkertaisiksi että huonoiksi tiedettyjä puita. Uusiin siemenviljelyksiin ja jalostuspopulaatioiden ytimiin pyritään löytämään kaikkein parhaimmat puut. Huonoimmat puut hylätään jalostuspopulaatioiden ulkopuolelle.

- 1 puu
- 2-10 puuta
- ⊗ >10 puuta

Vyöhyke	Valittu	Tavoite
1	522	600
2	893	600
3	456	600
4	713	600
5	588	600
6	570	600
7	1163	600
8	600	600
9	806	600
10	178	600
11	644	600
Saaristo	105	600
Yhteensä	7238	7200



Pluspuut jalostusvyöhykkeittäin, mänty

Testaustulosrekisterissä on tällä hetkellä kolme tiedostoa. Etelä- ja Keski-Suomen mäntyjen tiedostossa on pituus- ja elävyytuloksia yli 80 %:sta kokeissa olevista pluspuista. Tiedostoa täsmennetään edelleen uusilla mittauksilla. Pohjois-Suomen mäntyjen tiedosto painottaa elävyytuloksia eteläistä versiota enemmän. Siinäkin on jo tietoja lähes 1000 pluspuusta, mikä on lähes 25 % kokonaistavoitteesta. Taimien elävyyttä ja pituutta käytetään jälkeläistöistä saatavan tuoton varhaisina ennustajina. Parempi kuitenkin olisi, että tuoton varsinaiset komponentit eli määrällinen puuntuotto-kyky ja tuotetun puun laatu olisivat tiedossa ennen kuin jalostuksen etenemisen kannalta ratkaisevia toistuvia valintoja tehdään. Männyn laadun ja kokonaisarvon tiedosto onkin jo käytössä. Laatu- ja kasvutietoja tarvitaan vielä runsaasti lisää ja niiden hankkiminen ja työstäminen onkin männynjalostuksen lähiajan tärkeimpiä tehtäviä. Tavoitteena on, että Etelä- ja Keski-Suomen jalostuspopulaatioiden ytimet saadaan valittua ja risteystyöt uuden sukupolven muodostamiseksi aloitettua heti vuosituotannon vaihteen jälkeen.

Metsänjalostajan näkökulmasta katsottuna männyn jalostuksessa on jo edetty varsin kauas lähtöpisteestä eli luonnonmetsistä. Useita sellaisia työvaiheita on jo ohitettu, joita välttämättä tarvitaan jalostustulosten käyttöönsä saamiseksi.

Männyn pluspuiden jälkeläistestauksen tilanne vuoden 1998 lopussa.

Alue	Testattavia Pluspuita Kpl	Mittaustiedot käytettävissä		
		Elävyys	Pituuskasvu %	Laatu
Etelä-Suomi ⁽¹⁾	1783 ⁽²⁾	-	83	50
Pohjois-Suomi	4166 ⁽³⁾	24	23	-

⁽¹⁾ Jalostusvyöhykkeet 1-4

⁽²⁾ Tällä hetkellä kokeissa mukana olevien puiden lukumäärä (noin 70 % valituista pluspuista). Uusia kokeita peruspopulaation testaamiseksi ei ole perusteilla.

⁽³⁾ Kaikkien valittujen pluspuiden lukumäärä. Kokeiden perustaminen jatkuu edelleen.

Mitä mäntyä maassamme sitten viljeltäisiin juuri nyt, ellei metsänjalostusta olisi aloitettu? Koko maassa käytettäisiin ohjatuilla hakkuukeräyksillä tai todennäköisemmin aluekeräyksillä saatua siementä, kuten nyt Pohjois-Suomessa, jonka siemenhuolto-ongelmiin jalostuksesta ei toistaiseksi ole ollut apua. Siemen tuskin olisi peräisin siemenkeräysmetsiköistä, joita on kyllä runsaasti valittu, mutta joista kerääminen on suhteellisen kallista. Siemensierroja ei tarvittaisi.

Siemenviljelysten ansiosta Etelä-Suomessa on kuitenkin tarjolla geneettisesti vaihteleva, fysiologisesti elinvoimainen ja suurikokoinen siemen. Myynnissä oleva siemenviljelyssiemen tarjoaa sekä pituuskasvu- että elävyyssedun, joka on yhteensä suuruusluokaltaan n. 10 % metsikkösiemenneen verrattuna. Toistaiseksi on epävarmaa, kuinka suuri kuutiomäärä mihinkin hakkuuvaiheeseen tästä koituu, ja kuinka paljon paremmat mahdollisuudet kasvatettavien runkojen valintaan harvennushakkuissa on tarjolla. Ei myöskään voida vielä sanoa, kuinka paljon jalostus vaikuttaa sahatukkien laatuun. Keski-Suomen pohjoisosissa aina Oulujärven ympäristöön saakka ns. välialueen siemen tarjoaa elävyydessä ja kasvunopeudessa metsikköalkuperiä paremman vaihtoehdon ainakin nuorten kokeiden tulosten perusteella. Kyseinen siemen syntyy kun pohjoissuomalaiset puut pölytyvät Keski-Suomessa sijaitsevilla siemenviljelyksillä paikallisten puiden siitepölyllä. Tätä siementä riittäisi runsaasti myös metsäkylvöihin.

Ensimmäisen siemenviljelyssukupolven antamaa jalostushyötyä pidetään yleisesti vaatimattomana. Viljelyksissä on jo tehty jälkeläiskoeteluihin nojautuva geneettinen harvennus, joka parantaa niiden antamaa jalostushyötyä jonkin verran. Syy vaatimattomaan hyötyyn on siinä, että jalostajat ovat joutuneet valjastamaan kaiken perusmateriaalinsa siementuotantoon heti fenotyyppisen valinnan jälkeen. Tilanne parani oleellisesti kun uusia ns. valiosiemenviljelyksiä päästiin koostamaan jälkeläiskoetulosten perusteella.



Pluspuiden ilmiasuun perustuva valinta ei aina kuvaa perinnöllisiä ominaisuuksia. Perinnölliset ominaisuudet tulevat esille jälkeläiskokeissa ja huonot kloonit voidaan poistaa jalostusohjelmista koetulosten perusteella.

Valiosiemenviljelysten prototyyppejä tehtiin jo 1990-luvun alussa. Ensimmäinen varsinainen ja täysimittainen viljelys istutettiin Joroisiin keväällä 1996. Sen siementuotto alkaneen 10 vuoden kuluessa ja on odotettavissa, että sen jalostushyöty voisi nykyisiin siemenviljelyksiin verrattuna olla jopa 20 %. Siitä reilu puolet olisi nopeamman kasvun ja loput paremman laadun ansiota.

Kuusi

Kuusen pluspuuvalinta alkoi samanaikaisesti kuin männynkin. Kuusen siementarve on metsäkylvöjen puuttumisen vuoksi selvästi pienempi kuin männyllä, joten sillä ei ole ollut niin suurta painoa siemenviljelysten perustamisessa kuin männyllä. Tämä heijastui myös valittavien pluspuiden määriin ja muuhun jalostukseen, sillä alkuvaiheessa metsänjalostus käsitettiin pitkälti samaksi kuin siemenhuolto. Myöhemmin vuosina kuusen osuus viljelystä on lisääntynyt, mikä on korostanut sen jalostuksen tarvetta. Kuusen jalostusaineisto täydennettiin nykyisen jalostusohjelman mukaisiin mittoihin vasta 1990-luvun aikana. Tästä johtuen jälkeläiskoeverkon perustaminen on kesken ja kattavia tuloksia joudutaan odottamaan vielä vuosia. Etelä-Suomessa on testaustuloksia kuitenkin saatavilla jo yli kahdestasadasta ensimmäisessä vaiheessa valitusta pluspuusta, joten kuusellakin voidaan aloittaa valiosiemenviljelysten perustaminen männyn malliin.

Kuusen tärkein jalostettava ominaisuus on kasvunopeus. Pohjois-Suomessa myös ilmastonkestävyyteen on kiinnitettävä huomiota, mutta se ei kuusen luontaisesti hyvän kestävyyden takia ole niin tärkeä ominaisuus kuin männyllä. Hyvästä ilmastonkestävyydestä todistavat onnistuneet alkuperäsiirrot etelästä pohjoiseen ja Keski-Suomessa taustapölyttyneen siemenviljelysaineiston menestyminen aina Lapin läänin keskiosissa saakka. Toisin kuin männyllä, sahatavaran ulkoiset laatuominaisuudet eivät ole kuusen jalostuksessa keskeisiä. Tärkeämpiä ovat puuaineen sisäiset ominaisuudet kuten puuaineen tiheys ja kuidun pituus. Kuusen osalta Suomi on pitkäntähtäyksen jalostusohjelmassa jaettu kuuteen jalostusvyöhykkeeseen. Niistä kaksi sijoittuu Etelä-Suomeen ja loput neljä Keski-Suomen pohjoisosista Pohjois-Suomeen. Tällä hetkellä kuusen jalostusaineisto koostuu noin 2600 pluspuusta. Ensimmäisessä vaiheessa valittujen, siemenviljelyksillä mukana olevien noin 600 pluspuun jälkeläiskokeet on pääosin jo perustettu viljelyksillä syntynyttä vapaapölytys-siementä käyttäen. 1990-luvun valinnat testataan suoraan alkuperäisestä pluspuusta kerätyllä siemenellä. Kuusen fenotyypillisellä valinnalla saatutetta jalostushyötyä ei vielä tarkoin tunneta, mutta sen oletetaan olevan alhaisempi kuin männyllä. Pohjois-Suomen osalta on kuitenkin

osoitettu, että kuusen siemenviljelysaineiston pituuskasvu on nuorissa kokeissa n. 10 % parempi kuin paikallisella metsikköaineistolla. Kuusen siemenviljelysaineiston pituuskasvu on nuorissa kokeissa n. 10 % parempi kuin paikallisella metsikköaineistolla.



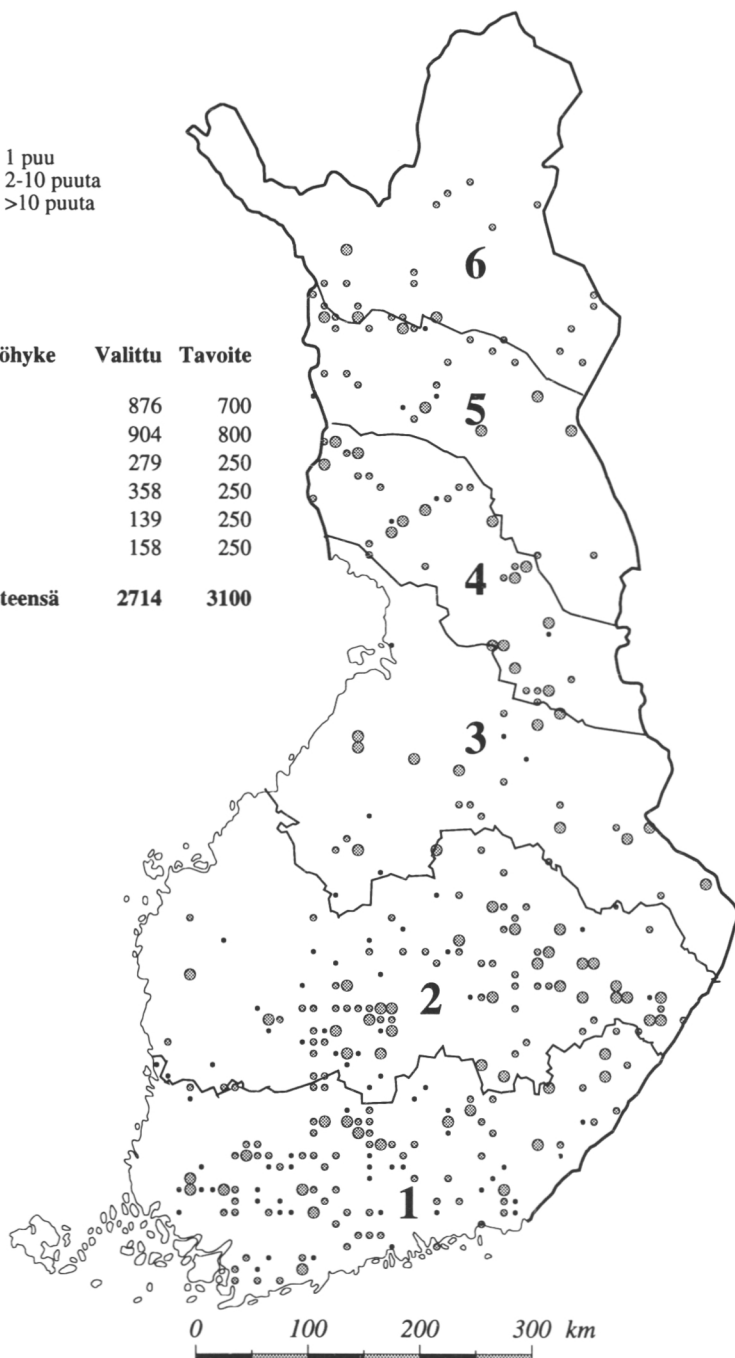
Kuusella hyviä kukkimisvuosia on harvoin, mutta hyvinä vuosina kukinta on sitäkin runsaampaa. Kuvassa kuusen emikukintoja.

Kuusen laaja perinnöllinen vaihtelu kasvu- ja laatuominaisuuksissa näkyy niin alkuperä-, metsikkö- kuin yksilötasollakin, joten jalostukselle on olemassa hyvät lähtökohdat. Toisaalta sen epäedulliset kukkimisominaisuudet hidastavat jalostustyötä mäntyyn verrattuna. Kuusen kukinta alkaa myöhäisellä iällä, luonnossa 20-30-vuotiaana, joten sukupolvien väli on varsin pitkä. Varsinkin emikukinta on lisäksi hyvin epäsäännöllistä.

Jalostuksen kannalta on edullista, että kuusta voidaan lisätä kasvullisesti pistokkaista. Pistokkaita voidaan käyttää hyväksi sekä jalostusaineiston testauksessa että jalostustulosten käytäntöön siirtämisessä. Tosin pistokaslisyys onnistuu kunnolla vain alle 10-vuotiaista puista. Vanhemmista puista otetut pistokkaat juurtuvat hyvin huonosti ja juurtuneidenkin kasvu on epäsymmetristä. Pistokasmenetelmällä on monistettu jo yli 2000 kloonina, joista noin 70 % on otettu kloonikokeisiin.

- 1 puu
- 2-10 puuta
- ⊗ >10 puuta

Vyöhyke	Valittu	Tavoite
1	876	700
2	904	800
3	279	250
4	358	250
5	139	250
6	158	250
Yhteensä	2714	3100



Pluspuut jalostusvyöhykkeittäin, kuusi

Koivu

Koivun pluspuita valittiin jo 1950-luvulla, mutta sen määrätietoinen jalostaminen alkoi vasta kymmenisen vuotta myöhemmin. Tämä johtui pitkälti siitä, että maassamme harjoitetun kaskitalouden jäljiltä koivua riitti vaneriteollisuuden tarpeisiin ja muuhun perinteiseen käyttöön aina 1960-luvun alkupuolelle saakka. Sitten havahduttiin uhkaavaan raaka-ainepulaan ja tilanteen korjaamiseksi perustettiin Suomen Vaneriyhdistys ja Koivukeskus, joiden tuella Metsäntutkimuslaitoksessa aloitettiin koivun viljelyä ja jalostusta koskeva tutkimus. Vähitellen koivun viljely alkoi myös lisääntyä. Enimmillään 1990-luvun alkuvuosina metsiimme istutettiin yli 20 miljoonaa rauduskoivun ja noin 5 miljoonaa hieskoivun tainta vuodessa, mikä merkitsi 15-20 % vuotuisesta metsänviljelyalasta. Samalla kuitenkin lisääntyivät erilaiset koivikoihin kohdistuvat tuhot, joita aiheuttivat mm. jänikset, hirvet ja eri myyrälajit.

Niin koivun viljely kuin jalostuskin ovat keskittyneet pääosin rauduskoivuun, joskin myös hieskoivun ja visakoivun kantapuita on valittu ja perustettu niille omat siemenviljelykset ja kenttäkokeet. Lisäksi joitakin ulkomaisia koivulajeja on käytetty tutkimustarkoituksiin. Näistä voidaan mainita mm. pohjoisamerikkalainen paperikoivu (*Betula papyrifera*) ja aasialainen japaninraudus (*Betula platyphylla var. japonica*).

Rauduskoivun pluspuita on valittu kaikkiaan n. 1800 ja hieskoivunkin yli 600 ja lisäksi satoja muita kantapuita. Viimemainituista tunnetuimpia ovat visakoivut sekä erilaiset liuskalehtiset erikoismuodot, jotka ovat suosittuja koristepuita. Kantapuiden jälkeläistöistä on yhdistettyä perheyksilövalintaa käyttäen merkitty yli 1300 toisen polven kantapuuta. Rauduskoivulla on myös oma jalostusohjelmansa, jossa maa on jaettu neljään jalostusvyöhykkeeseen. Pohjoisin vyöhyke (Lappi ja Koillismaa) on tosin ainakin tällä hetkellä aktiivisen jalostustoiminnan ulkopuolella. Hieskoivulla sen sijaan ei ole omaa jalostusohjelmaa ainakaan toistaiseksi.

Koivun jälkeläiskokeita on perustettu noin 250, yhteispinta-alaltaan lähes 400 ha. Vanhimmista, 1960-luvulla perustetuista, on jo saatu tuloksia päätehakkuuikää - tai paremminkin - kokoa lähestyvien puiden kasvusta ja laadusta. Parhaimmilla kasvupaikoilla rauduskoivun pluspuujälkeläiset ovat tuottaneet 30 vuodessa jopa 400 kuutiometriä puuta hehtaarilla. Perheiden välillä on tosin eroja, mutta tilavuuskasvun keskimääräisen jalostushyödyn on siemenviljelyssiementä käytettäessä arvioitu olevan 20-30%. Laatu puolestaan koostuu useammasta osatekijästä kuin kasvu eikä sen jalostushyödyistä olla vielä yhtä hyvin selvillä. Tähänastiset tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että myös laatu kokonaisuudessaan paranee tai pysyy ainakin entisellään.

Myös korkeampaa jalostusastetta edustavia valiosiemenviljelyksiä päästään koivulla hyödyntämään havupuita aikaisemmin ja siten entisestään parantamaan puiden kasvua ja laatua.



Kiloittain myytävä visakoivu on koristeellisen puuaineen vuoksi maamme arvokkain puulaji.



Rauduskoivu kukkii yleensä runsaasti ja tuottaa paljon siementä. Vasemmassa kuvassa eminorkkoja ja oikealla siemeniä.

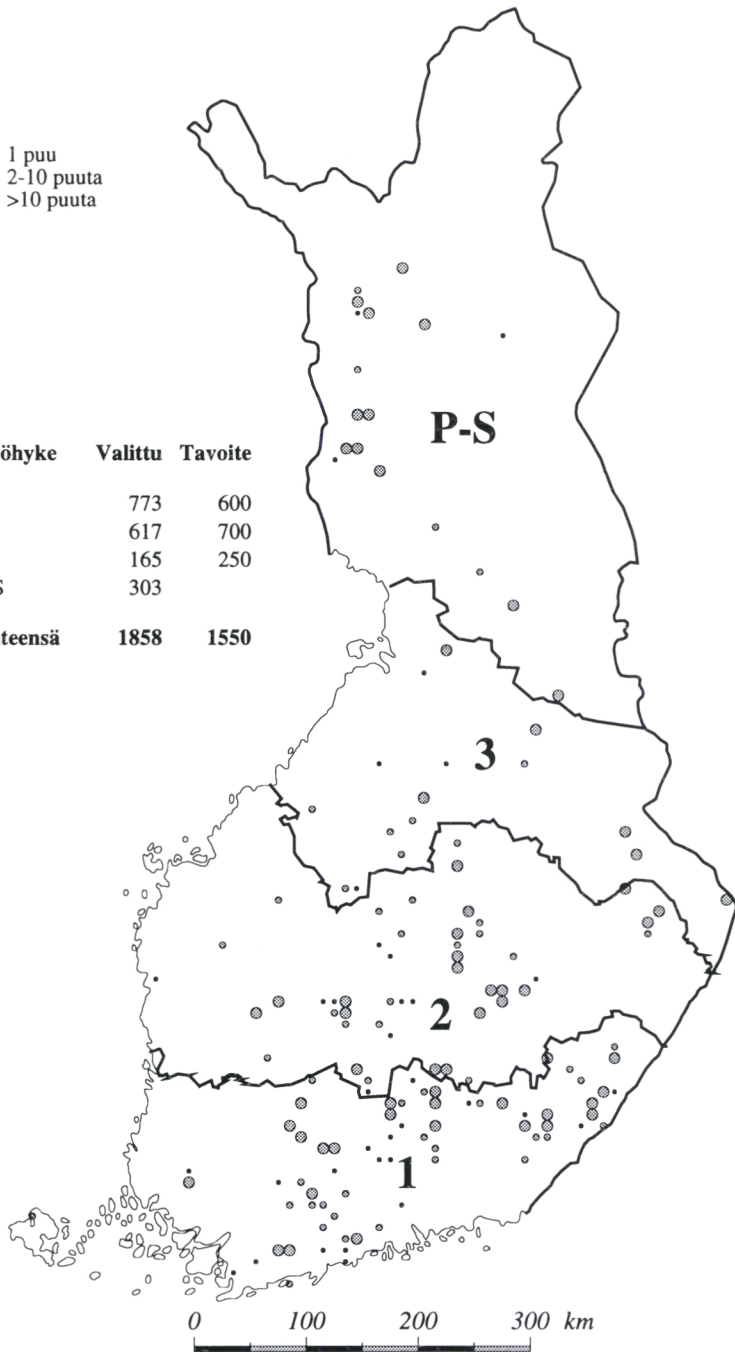
Jalostuskohteena koivu on kiitollinen puulaji. Se kukkii runsaasti lähes joka vuosi ja kasvihuoneessa se saadaan kukkimaan jopa alle vuoden ikäisenä, mikä nopeuttaa huomattavasti jalostuskiertoa. Jalostetun siemenen massatuotanto on helppo järjestää ja niinpä kaikki koivun siemenviljelykset ovatkin muovihuoneissa. Paitsi siemenistä, koivua voidaan lisätä kasvullisesti solukkoviljelyn avulla, ja mikä parasta jalostuksen kannalta, myös vanhoja puita. Näin on mahdollisuus odottaa jälkeläistestien tuloksia ja monistaa sitten parhaita yksilöitä viljelytarkoituksiin. Ensimmäiset mikrolisätyt rauduskoivut vietiin metsään 1988 ja alustavat testaukset osoittavat ettei niiden ja siementaimien menestymisessä ole merkittäviä eroja. Kloonivalintaan on kuitenkin syytä kiinnittää entistä tarkemmin huomiota, mikäli kaupallinen mikrolisäystoiminta käynnistyy uudelleen koivun osalta.

Jalostuksen avulla on mahdollista lyhentää tuntuvasti koivun kiertoaikaa. Tämä tarkoittaa sitä, että Etelä-Suomen oloissa päästään tukkipuun mittoihin jopa 35 vuodessa. Nopea kasvu ja hyvä laatu näyttävät periytyvän toisistaan riippumatta, mikä tarkoittaa, että ne yhdistyvät samassa yksilössä harvoin. Koska em. ominaisuuksien välillä ei ole mitään haitallistakaan riippuvuutta, voidaan molempia jalostaa samanaikaisesti. Tässä suhteessa tilanne on parempi kuin havupuilla.

Paitsi yksilö- ja perhetasolla, puiden ominaisuuksissa esiintyy vaihtelua myös maantieteellisten alkuperien välillä. Koivun osalta mahdollisuudet hyödyntää tätä vaihtelua tunnetaan toistaiseksi melko puutteellisesti, mutta parannusta asiaan tuovat viime vuosina perustetut, kattavat raudus- ja hieskoivun provenienssikokeet. Samalla ne tarjoavat arvokkaan aineiston tutkia ennustetun kasvihuoneilmiön vaikutusta koivun sopeutumiseen. Koivu on kaikissa suhteissa otollinen metsänjalostuksen kohde.

- 1 puu
- 2-10 puuta
- ⊗ >10 puuta

Vyöhyke	Valittu	Tavoite
1	773	600
2	617	700
3	165	250
P-S	303	
Yhteensä	1858	1550



Pluspuut jalostusvyöhykkeittäin, rauduskoivu

Haapa

Haapa alkoi herättää uutta mielenkiintoa metsäpuuna 1990-luvun alussa, koska massa- ja paperiteollisuudella oli tarvetta saada lyhytkuituista raaka-ainetta, jolla olisi tasainen, korkea laatu. Haapa näyttikin lupaavalta tässä suhteessa. Se on suhteellisen nopeakasvuinen muihin metsäpuuhimme verrattuna ja on kotimainen puulaji. Haapa on myös sovelias viljeltäväksi sellaisilla paikoilla, joissa kuusi kärsii juurikäävystä. Haapa kasvaa sen lisäksi kloonimetsikköinä luontaisestikin, minkä vuoksi haapa soveltuu istutettavaksi kaupallisen kloonimetsätalouden periaattein. Täten voidaan taata tuotetun puun tasalaatuisuus. Koska ns. hybridihaapa, joka on kotimaisen ja pohjois-amerikkalaisen haavan risteymä (*Populus tremula* x *Populus tremuloides*), on vieläkin nopeakasvuisempi kuin kotimainen haapa, on jalostajien mielenkiinto kohdistunut erityisesti siihen.



Hybridihaapa on nopeakasvuinen puulaji. Kuvassa Simpeleelle vuonna 1972 istutettu hybridihaavikko.

Kiinnostus haapaa kohtaan tarjoaakin uusia mahdollisuuksia haavanjalostukselle, joka on potanut hiljaiseloa siitä lähtien kun tulitikkuteollisuus hiipui. Onneksi monet, vanhat hybridihaapakokeet ja istutukset ovat yhä elossa. Tämä materiaali oli hyvä perusta lähdettäessä muodostamaan uutta valintaohjelmaa, joka aloitettiin vuonna 1995 Metsänjalostussäätiön toimesta. Valintakriteereinä olivat kuidun pituus, fenolipitoisuus ja sopivuus mikrolisättäväksi. Kotimainen haapa kelpuutettiin hieman myöhemmin valintaohjelmaan.

Vuonna 1998 tehtiin haavanjalostusohjelma, joka sisältää uusien risteytysten tekemisen (takaisinristeytykset, kaukoristeytykset ja lajiristeytykset), testauksen (sekä pitkä- että lyhytaikaiset kokeet) ja valinnan sekä jalostuspopulaatioiden perustamisen ja *in vivo* kloonikokoelmat geneettisen monimuotoisuuden säilyttämiseksi. Tällä hetkellä vain osa tästä ohjelmasta on käynnistynyt (valinta luonnonpopulaatioista ja hybridihaapa-viljelmiltä), mutta aktiviteettia lisätään koko ajan asteittain.

Haavan jalostustyötä on tukenut Metsäliitto, jonka toimesta tullaan istuttamaan 1000 ha haapaa vuosittain lähimmän kymmenen vuoden aikana. On kuitenkin oletettavaa, että Metsäliiton lisäksi muutkin tahot kiinnostuvat haapakuidusta lähitulevaisuudessa. Tämä merkitsisi haavanjalostustyön laajenemista, jolloin voitaisiin ottaa mukaan uusia valinnan kohteena olevia ominaisuuksia.



Haapa on myös monimuotoisuutta edistävä puolaji.

METSÄNJALOSTUKSEN TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Jalostustulokset käytäntöön metsänviljelyn kautta

Metsää on uudistettu viljelemällä 110 000 - 130 000 ha vuodessa viimeksi kuluneen kymmenen vuoden aikana, mikä on noin 70 % koko uudistamisalasta. Metsänviljely-alasta männyn osuus on viime vuosina ollut vähän yli puolet, kuusen kolmannes ja muiden puulajien noin 15 %. Männyn viljely on viime vuosina vähentynyt ja kuusen ja koivun sekä muiden puulajien taas kasvanut.

Metsänjalostuksen tulokset hyödynnetään käytännön metsätaloudessa metsänviljelyn kautta. Kun valikoimattoman yleiskeräyssiemenen sijasta käytetään siemenviljelyksillä tuotettua, geneettisesti jalostettua siementä, voidaan metsikön tuottoa lisätä ja puiden laatua parantaa. Metsänviljelyssä jalostettua siementä on voitu männyn ja koivun osalta käyttää 1980-luvun alusta lähtien ja kuusen osalta vasta tällä vuosikymmenellä. Siemenviljelyssiemenen osuus koko maan taimitarhakylvöistä oli vuonna 1997 kuusella vähän alle ja männyllä vähän yli 50 %. Kummallakaan niistä ei jalostettua siementä kuitenkaan ole saatavissa aivan pohjoisimpaan osaan maata, joten siemenviljelyssiemenen osuus Etelä- ja Keski-Suomen taimitarhakylvöistä on selvästi koko maan keskiarvoa suurempi. Lisäksi männyn siemenviljelyssiementä riittää myös metsäkylvöihin. Koivulla siemenviljelyssiemenen osuus taimitarhakylvöistä oli vuonna 1997 yli 80 %.

Jalostettua metsänviljelyaineistoa siemenviljelyksiltä

Jalostettua metsänviljelyaineistoa tuotetaan tällä hetkellä miltei yksinomaan suvullisesti; kasvullinen monistaminen on toistaiseksi jäänyt vain tutkimustyössä käytettäväksi menetelmäksi. Suvullinen eli siemenen kautta tapahtuva jalostetun metsänviljelymateriaalin tuottaminen tapahtuu erityisissä siementuotantometsiköissä eli siemenviljelyksissä. Siemenviljelyksiin on koottu siementä tuottamaan luonnonmetsistä valittujen pluspuiden klooneja. Pluspuut on kloonattu viljelyksiin varttamalla ja niitä on istutettu sinne usean, yleensä muutaman kymmenen vartepuun klooneina. Pluspuuklooneja taas yhdellä siemenviljelyksellä on männyllä keskimää-

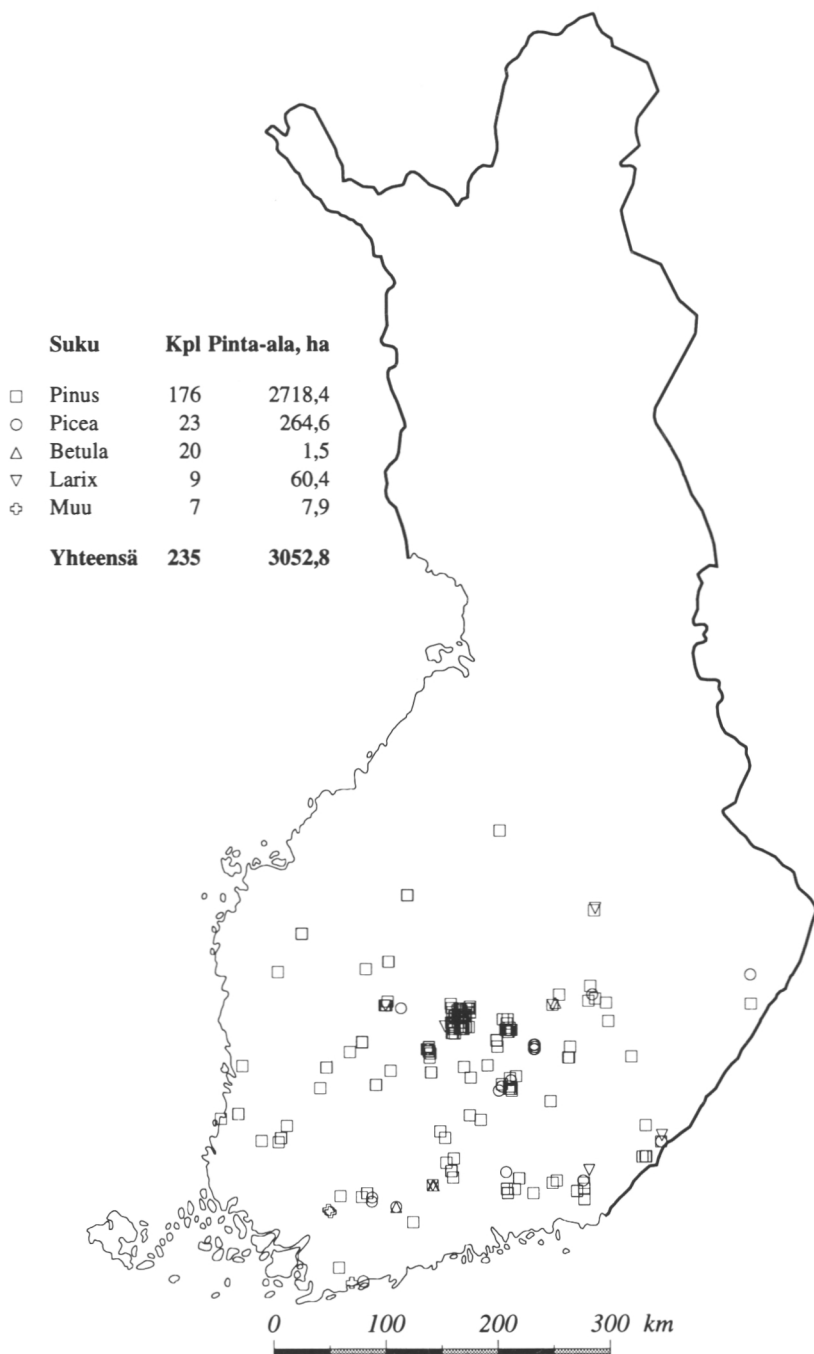
rin 134 ja kuusella 76. Siemenviljelyksissä pluspuiden vartteet saavat risteytyä vapaasti keskenään ja tuottaa näin geneettisesti monimuotoista ja valinnan kohteena olleissa ominaisuuksissa luonnonmetsiä parempaa siementä.

Ensimmäiset metsäpuiden siemenviljelykset perustettiin Suomeen jo 1950-luvulla, mutta pääosa yli kymmenen vuotta myöhemmin, 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alussa. Siemenviljelyksiä perustettiin tuolloin lähes 3400 ha. Kaikkiaan viljelyksiin istutettiin yli miljoona vartetta noin 7000 pluspuusta.

Siemenviljelysten perustamisen tavoitteena on siemenen geneettisen laadun kohottamisen ohella ollut myös siemenhuollon turvaaminen. Ankarien ilmasto-olojen takia Pohjois-Suomessa hyviä siemenvuosia on harvoin ja siksi alueen siemenhuoltoa varten sen siemenviljelykset onkin perustettu Etelä- ja Keski-Suomeen samoille seuduille kuin maan eteläisempiin osiin siementä tuottavat viljelykset. Siemenviljelystoiminnan tärkeänä tavoitteena on lisäksi ollut kävyinkeruun helpottaminen.

Siemenviljelyksen maantieteellinen sijainti vaikuttaa ratkaisevasti vartteiden alkukehitykseen ja viljelyksen vartuttua kukinnan runsauteen ja sen säännöllisyyteen. Siemenviljelysten sijainti pluspuiden alkuperäaluetta edullisemmissä ilmasto-oloissa vaikuttaa siemensadon määrän lisäksi siemenen fysiologiseen laatuun. Siemenen tuleentuminen on etelässä varmempaa kuin pohjoisessa. Myös pienilmaston vaikutus vartteiden kehitykseen ja kukintaan on etenkin kuusella ratkaiseva; hallakuoppiin siemenviljelystä ei kannata perustaa. Huomiota on syytä kiinnittää myös viljelyksen kasvupaikan laatuun. Viljavilla kasvupaikoilla kehitys on nopeampaa ja siementuottokyky suurempi kuin karuilla mailla.

Siemenviljelyksiin istutetut pluspuukloonit ovat peräisin maantieteellisesti rajatulta alueelta. Siemenviljelyksen alkuperäalueen rajaaminen on siemenen viljelyvarmuuden takia välttämätöntä. Samanlaisista oloista peräisin olevat puut ovat kasvurytmiltään kutakuinkin samanlaisia. Etelä- ja Keski-Suomessa siemenviljelyksen tuottaman siemenen käyttöalue on suunnilleen sen kloonien alkuperäalueen mukainen. Pohjois-Suomessa on jouduttu tyytymään alkuperäaluetta eteläisempään käyttöalueeseen. Tämä johtuu lähinnä siitä, että maan eteläosiin perustetut pohjoissuomalaista alkuperää olevat viljelykset pölyttyvät ainakin osaksi viljelyksen ulkopuolelta tulevalla eteläistä alkuperää olevalla siitepölyllä. Vuodesta 1995 lähtien on siemenviljelyssiemenen käyttöalueen määrittely perustunut keskimääräiseen vuotuiseseen lämpösummaan. Käyttöalueiden määrittämisestä vastaa Metsäntutkimuslaitos.



Metsäpuiden siemenviljelykset

Koivun siemenviljelykset eroavat muista metsäpuiden siemenviljelyksistä siinä, että ne on perustettu suuriin muovihuoneisiin. Muovinalaisella siemenviljelyllä voidaan avomaasiemenviljelyksiä vaivaava taustapölytys kokonaan välttää. Lisäksi muovihuoneviljelysten avulla voidaan siementuotantoa monin tavoin tehostaa ja kontrolloida. Muovihuoneissa saadaan koivunvarreet kukkimaan ja tuottamaan kohtalaisia siemensatoja jo parin vuoden kuluttua istutuksesta. Muovihuoneissa lämpimämpien kasvuolojen takia kukinta tapahtuu keväällä aikaisemmin kuin luonnon oloissa, mikä osaltaan estää jalostuksen kannalta haitallisen taustapölytyksen. Muovihuonesiemenviljelysten epäkohtana on niiden lyhytikäisyys; viljelyksiä voidaan pitää hyvässä tuotokunnossa alle kymmenen vuotta. Toisaalta nopea viljelysten sukupolven kierto takaa sen, että koko ajan tuotetaan jalostusarvoltaan parasta mahdollista viljelymateriaalia.



Kaikki koivun siemenviljelykset on perustettu muovihuoneisiin.

Pääpuulajien lisäksi siemenviljelyksiä on perustettu jaloille lehtipuille ja pihlajalle sekä ulkomaisista puulajeista lehtikuuselle. Jalojen lehtipuiden viljely oloihimme sopeutuneella alkuperällä on pyritty turvaamaan perustamalla pienialaisia siemenviljelyksiä kaikille maassamme luontaisina kasvaville jalopuulajeille: lehmukselle, saarnelle, tammelle, vaahteralle sekä kynä- ja vuorijalavalle. Näistä siementuotanto on alkanut parhaiten kynä- ja vuorijalavan viljelyksillä. Lehtikuusen siemenhuollossa siemenviljelyksillä on jo vuosia ollut tärkeä asema.

Siemenviljelykset parhaassa tuotantovaiheessa

Männyn 1-polven siemenviljelysten perustamisesta on kulunut 20 - 30 vuotta ja viljelykset ovat nyt parhaassa tuotantovaiheessa. Nykyisillä mäntyviljelyksillä siementuotannon on arvioitu säilyvän hyvänä tai kohtalaisena vielä 20 – 40 vuotta. Parhailta mäntyviljelyksiltä on hyvinä siemenvuosina kerätty siementä yli 20 kg hehtaarilta. Viljelysten siementuottokyvyssä on kuitenkin suuria eroja, yleensä keräysmäärät ovat jääneet alle 5 kg hehtaarilta. Vuosittain männyn siemenviljelyksiltä kerätään siementä noin 2500 kg. Yhteensä siemenviljelyksiltä on kerätty vuoden 1997 loppuun mennessä männyn siementä 45000 kg.

Kuusen siemenviljelykset ovat kehittyneet tuotantovaiheeseen hitaasti. Kuusiviljelyksiltä saatiin ensimmäinen runsas siemensato vuonna 1989, jolloin viljelykset olivat keskimäärin vähän yli 20 vuoden ikäisiä. Viljelyksiltä kerättiin tuolloin siementä lähes 2000 kg, kun sitä ennen siementä oli kerätty yhteensä vain noin 200 kg. Vuoden 1989 jälkeen hyviä tai kohtalaisia käpyvuosia on kuusella ollut useita. Kaikkiaan kuusiviljelyksiltä on kerätty siementä vuoden 1997 loppuun mennessä 4500 kg. Yli puolet tästä määrästä on saatu Kangasniemen 46 hehtaarin siemenviljelysalueelta.



Kuusen siemenviljelys I 70 Korpilahdella on ollut yksi tuottavimpia.

Siemenviljelyksiltä kerättyjä siemensatoja tarkasteltaessa on muistettava, että viljelyksiltä kerätyn siemenen kokonaismäärä ei suoraan kerro niiden tuottokyvystä. Aina ei viljelykseltä ole kerätty siementä, vaikka sen siemensato olisi ollut hyväkin. Siemenviljelysten tuottokyvystä saa kokonaissatoja paremman kuvan tarkastelemalla yksittäisiltä viljelyksiltä kerättyjä huippusatoja. Vuonna 1989 runsain kuusiviljelyksiltä kerätty sato oli 30 kg siementä hehtaarilla (sv 170 Korpilahdella) ja vuonna 1995 49 kg siementä hehtaarilla (sv 110 Kangasniemellä). Mäntyviljelysten huippusadot, kuten edellä jo todettiin, ovat jääneet huomattavasti kuusen huippusatoja pienemmiksi.

Koivulla voidaan siementarpeen muutoksiin reagoida siementuotannossa paljon nopeammin kuin männällä tai kuusella. Siementarpeen kasvu oli kuitenkin 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa niin voimakasta, että kuluvan vuosikymmenen alussa siemenviljelyksiltä saatiin alle puolet siementarpeesta. Vuosikymmenen loppua kohti tilanne on kuitenkin parantunut ja nyt suurin osa taimitarhojen noin 100 kg siementarpeesta saadaan siemenviljelyksiltä. Metsäkylvöihin, joiden siementarve on noin 300 kg, ei sitä kuitenkaan riitä. Vuoden 1997 alussa rekisteröityjä koivun siemenviljelyksiä oli yhteensä 20 kpl (1,45 ha). Ne eivät kuitenkaan kaikki ole parhaassa tuotantovaiheessaan. Koivun siemenviljelysten lyhyen käyttöajan ja nopean kierron takia koivun siemenviljelyn tilanne muuttuu kaiken aikaa; viljelyksiä lakkautetaan ja uusia perustetaan melkein vuosittain.

Lehtikuusen siemenviljelyksillä vuosien väliset satovaihtelut ovat myös suuria, mikä johtuu ennen kaikkea kukinnan vuosivaihtelusta, mutta erityisesti lehtikuusella myös pölytyksen onnistumisesta ja siementuholaisen esiintymisestä. Lehtikuusi saavuttaa tuotantovaiheen hieman nopeammin kuin mänty tai kuusi. Jo kymmenvuotiaat viljelykset tuottavat hyvinä siemenvuosina kohtalaisen sadon. Lehtikuusen siemenviljelykset ovat tuottaneet merkittäviä siemensatoja 1980-luvun alusta lähtien. Yhteensä lehtikuusiviljelykset ovat tuottaneet vuoden 1995 loppuun mennessä siementä 3 310 kg. Lehtikuusen siemenviljelyssiementä on saatu yli oman maan tarpeen ja sitä on viety merkittäviä määriä Islantiin.

Siemenviljelyssiemenen geneettisen laadun kohottaminen

Metsäpuiden siemenviljelykset on koostettu fenotyypillisesti valittujen pluspuiden klooneista. Siemenviljelysten perustamiseen ja jalostetun metsänviljelymateriaalin tuottamiseen lähdettiin heti suuren valintasavotan jälkeen. Valittujen pluspuiden todellinen jalostusarvon testaus jälke-

läiskokeissa aloitettiin laajassa mitassa vasta siemenviljelysten perustamisen jälkeen. Jos olisi menetelty päinvastaisessa järjestyksessä ja testattu pluspuut ensin, olisi siemenviljelysten perustaminen vasta alkamassa ja jalostettua siementä saataisiin odotella vielä pitkään. Pluspuiden jälkeläistestaus on nyt kuitenkin jo niin pitkällä, että siemenviljelyksillä olevista klooneista jälkeläistesteissä ovat Etelä-Suomessa lähes kaikki ja Pohjois-Suomessakin suurin osa klooneista. Tuloksia ei kuitenkaan kokeiden nuoruuden vuoksi ole niin kattavasti.

Siemenviljelysten harventamisen yhteydessä on jälkeläistestauksessa kertynyttä tietoa pluspuiden todellisista geneettisistä eroista ensimmäistä kertaa mahdollista käyttää hyväksi. Huonoja klooneja poistamalla ja hyviä suosimalla voidaan viljelyksen tuottaman siemenen geneettistä laatua kohottaa. Edellytykset jalostusasteen kohottamiseen geneettisen harvennuksen avulla eivät kuitenkaan ole samaa suuruusluokkaa kuin perustettaessa uusia, ns. 1,5-polven siemenviljelyksiä. Harvennuksen tehokkuutta rajoittaa jo se, että harvennuksessa poistetaan korkeintaan puolet vartteista ja niistäkin geneettisin perustein vain osa. Uusien viljelysten perustamisen yhteydessä 20-30% parhaista klooneista otetaan mukaan.

Männyllä uusien 1,5-polven eli valiosiemenviljelysten perustamiseen alkaa olla hyvät edellytykset. Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että saavutettavissa oleva lisäkasvu olisi 12 % ja laadullinen lisä 8 % ensimmäisen polven siemenviljelyksiin verrattuna. Tarkoituksena on saattaa nämä jälkeläistestauksen avulla saavutetut tulokset käytännön metsänviljelyssä hyödynnettäviksi. Uudet siemenviljelykset suunnitellaan siten, että niiltä saadaan entistä nopeammin, entistä suurempia ja helposti kerättäviä siemensatoja, jotka ovat käyttöalueillaan viljelyvarmoja. Kun viljelysten tuottaman siemenen jalostushyötyä lisätään, on varmistettava myös siemensadon geneettinen monimuotoisuus.

Uusiin valiosiemenviljelyksiin valitaan ensimmäisen polven siemenviljelyksissä esiintyvistä klooneista jalostusarvoltaan parhaat. Valinta tapahtuu jälkeläistestien perusteella ja perustuu Etelä- ja Keski-Suomessa kasvuun ja laatuun ja Pohjois-Suomea kohti mentäessä yhä suuremmalla painoarvolla viljelyvarmuuteen. Klooniin valinnassa on otettava huomioon myös kukintataipumukset. Jalostusarvoltaan hyviäkin klooneja voidaan heikon kukinnan takia joutua hylkäämään, koska ne alentaisivat viljelyksen siemensatoa eikä niiden vaikutus siemensadon geneettiseen koostumukseen olisi huonon siementuoton takia suuri. Sen jälkeen kun myös kukintaominaisuudet on otettu valinnassa huomioon, kelpuutetaan valiosiemenviljelyksiin noin 20 % jalostusarvoltaan parhaimmista klooneista.

Uusien siemenviljelysten perustamisen tärkeimmät tavoitteet voidaan tiivistää seuraavasti:

- * Turvataan jalostetun metsänviljelyaineiston keskeytymätön saanti
- * Kohotetaan siemenviljelysten tuottaman siemenen geneettistä laatua
- * Varmistetaan viljelysten tuottaman siemenen geneettisen monimuotoisuuden säilyminen
- * Huolehditaan tietyllä käyttöalueella tarkoitetun metsänviljelyaineiston viljelyvarmuudesta
- * Tehostetaan siementuotantoa

Uusien kuusen siemenviljelysten perustamisessa ei olla vielä yhtä pitkällä. Kattavia kuusen jälkeläiskoetuloksia ei vielä lähivuosina ole käytettävissä eikä tehokasta 1,5-polven siemenviljelysten perustamista siksi vielä voida aloittaa. Siemenviljelysten jalostusasteen kohottamisen sijasta on uusien kuusen siemenviljelysten perustamisessa toistaiseksi syytä keskittyä viljelysten siementuotannon lisäämiseen. Tätä varten meillä on runsaasti tietoa kloonien siementuottokyvystä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö kaikkea saatavissa olevaa tietoa kloonien jalostusarvosta olisi syytä käyttää hyväksi ja pyrkiä perustamaan myös geneettiseltä laadultaan entistä parempia siemenviljelyksiä myös kuusella.

Uusia koivun siemenviljelyksiä perustetaan kaiken aikaa eikä koivulla voida puhua uuden siemenviljelyssukupolven perustamisesta samaan tapaan kuin männyllä ja kuusella. Koivulla jälkeläistestaus on jo pitkällä ja viljelysten nopean kehityksen ansiosta testauksen tulokset voidaan hyödyntää siemenviljelyssä nopeasti. Koivulla kaikkien siementuotannossa olevien viljelysten voidaan katsoa olevan valiosiemenviljelyksiä. On arvioitu, että nyt käytössä olevilta rauduskoivun siemenviljelyksiltä saadaan 15 – 20 % jalostushyöty tilavuuskasvussa laatuominaisuuksien säilyessä ennallaan.

Uusia männyn siemenviljelyksiä on suunniteltu perustettavaksi Etelä- ja Keski-Suomea varten noin 400 ha ja Pohjois-Suomea varten 250 ha. Näillä siemenviljelyspinta-aloilla on tämän hetken viljelymäärien perusteella laskettu voitavan tuottaa kaikki taimitarhasiemen ja puolet metsäkylvösiemenestä. Uusien männyn siemenviljelysten suunnittelu ja perustaminen on jo alkanut. Myös kuusella uusien siemenviljelysten suunnittelu on käynnissä ja lähimmän kymmenen vuoden aikana niitä on suunniteltu perustaa 140 ha.

Kloonimetsätalous ja jalostushyödyn lisääminen

Jalostetun metsänviljelyaineiston tuottaminen siemenen sijasta suvuttomasti pistokkaina tai solukkoviljelyn kautta luo uusia mahdollisuuksia jalostushyödyn lisäämiseen. Jos mitä tahansa ainutkertaista genotyyppiä voidaan kasvullisesti lisätä lähes rajattomasti, on jalostuksella saavutettava hyöty tietysti toista luokkaa kuin mihin suvullisella lisäämisellä päästään. Kasvullisen lisäämisen ja kloonimetsätalouden käyttöön soveltamisessa on kuitenkin vielä monia ongelmia. Kantamateriaalin vanhenemisesta johtuvat ongelmat ovat keskeisimpiä. Toinen tärkeä ja monin tavoin kloonimetsätalouden harjoittamiseen vaikuttava tekijä on se, kuinka laaja geneettinen vaihtelu eli kuinka suuri kloonien määrä katsotaan tarpeelliseksi. Koska metsänviljelymateriaalin tuottaminen kasvullisesti on kalliimpaa kuin siemenen kautta, on saavutettavan jalostushyödyn oltava merkittävästi suurempi ja sen pitää olla toteen näytetty, ennen kuin kasvulliseen lisäämiseen kannattaa siirtyä. Laajemmassa mittakaavassa suvuton lisääminen on ollut käytössä kuusella, koivulla ja haavalla. Kuusta on lisätty pistokkaista ja koivua sekä haapaa mikrolisäämällä. Muutoin sitä on käytetty lähinnä koriste- ja erikoispuiden sekä puiden erikoismuotojen taimituotannossa. Kasvullista lisäämistä käsitellään tarkemmin luvussa Biotekniikasta tietoa ja tehoa metsänjalostukseen.

ILMASTONKESTÄVYYS JA SOPEUTUMINEN

Useat maapallon ilmakehää ja ilmastoa kuvaavat tieteelliset mallit ennustavat, että vuotuinen keskilämpö nousee 2-5° C lähimmän sadan vuoden aikana ns. kasvihuonekaasupäästöjen ansiosta (hiilidioksidi, freonit, metaani yms.). Luvut eivät sinänsä vaikuta ehkä suurilta, mutta kun tiedetään, että viimeisen jääkauden ollessa laajimmillaan lämpötila oli "vain" 2-5° C nykyistä alhaisempi, on ehkä syytä suhtautua asiaan vakavammin. Jo 2° C nousu seuraavan puolivuosisadan aikana olisi nopein viimeisen jääkauden jälkeen. Vuotuisten sademäärien arvellaan myös lisääntyvän 5-16%. Edellä kuvattua ennustetta voisi havainnollistaa siten, että jos se toteutuu, niin Etelä-Suomen lämpöilmasto vastaisi Puolan tai Baltian maiden nykyistä ilmastoa ja Oulun korkeudella vallitsisi Etelä-Suomen nykyinen lämpöilmasto. Vuodenaikojen ja vuosien välinen vaihtelu tulisivat säilymään, joskin mallit ennustavat talvien huomattavaa leutonemista.

Edellä esitetyn perusteella on välttämätöntä selvittää mahdollisten ilmastomuutosten vaikutus Suomen metsien kasvuun ja rakenteeseen. Uskotaan nimittäin, että kasvihuoneilmiö johtaa uusien puulajien, lähinnä lehtipuiden, leviämiseen etelästäpäin Suomeen. Samalla metsänraja siirtyisi nykyistä pohjoisemmaksi. Lisäksi on myös tärkeä tietää kuinka nykyiset metsät ovat sopeutuneet ennakoituun ilmaston muutokseen, koska haluamme säilyttää optimaalisen puuntuotoksen tulevaisuudessakin. Laaja sopeutumiskyky toisaalta saattaa, tutkimustietoon perustuen, johtaa kasvun vähenemiseen.

Koska puut ovat pitkäikäisiä ja kasvavat ympäristössä, jossa sekä vuotuiset että vuodenaikaiset vaihtelut ilmastotekijöissä ovat suuria, täytyy puilla olla luontainen kyky sopeutua. Fysiologista sopeutumista tapahtuu koko puun elinajan. Toisaalta tiedetään, että taimet ovat erittäin herkkiä lämpötila- ja valojaksoisuusmuutoksille. Kun lämpötila nousee valojaksoisuuden pysyessä samana, muodostuu tästä uusi valintavoima sopeutuneisuuden suhteen. Jotta jalostuksella voitaisiin nopeuttaa tätä evoluutio-prosessia on välttämätöntä selvittää ensin asian geneettinen tausta.

Ilmastonmuutos ja kasvu



Vanhat alkuperäkokeet ovat arvokas tutkimusmateriaali ilmastonmuutostutkimuksissa. Kuvassa prof. Heikinheimon vuonna 1932 perustama kuusen proveniensiikkoe Kivalolla.

Kahden kaupallisesti tärkeimmän puulajimme, männyn ja kuusen, proveniensi- eli alkuperäkokeita on perustettu eri puolille Suomea jo tämän vuosisadan alusta lähtien. Näissä kokeissa siementä tai taimimateriaalia siirretään eri maantieteellisiltä leveysiltä koepaikalle. Kokeiden alkuperäinen idea oli löytää sopivimmat ja tuottavimmat siemenalkuperät koepaikkakuntaa ajatellen. Samoja maantieteellisiä alkuperiä käyttäen perustettiin koesarjoja eri paikkakunnille, joissa ympäristöolosuhteet olivat erilaiset. Tällaiset alkuperäkoesarjat tarjoavat erinomaisen mahdollisuuden tutkia provenienssien joustavuutta. Vanhimmat elossa olevat alkuperäkokeet ovat jo yli 70 vuoden ikäisiä. Näissä kokeissa puut ovat kokeneet oudon ilmaston vaikutukset, sen kaikkine vaihteluineen, taimista tukkipuiksi. Alkuperäkokeet tarjoavatkin ainutlaatuisen materiaalin kun tutkitaan ilmastomuutosten vaikutuksia metsäpuihimme pitkällä aikavälillä. Koetulokset ovat jo nyt osoittaneet, että molemmat pääpuulajimme kykenevät sopeutumaan suuriinkin ympäristömuutoksiin.

Tutkimukset osoittavat, että Lapista Etelä-Suomeen siirretyt alkuperät tuottavat etelässä jopa kolme kertaa enemmän puuta kuin pohjoisessa. Kuitenkaan tuotos ei yllä samalle tasolle kuin paikalliset eteläiset alkuperät. Puuntuotoksesta saadusta aineistosta on laadittu regressiomalleja, joiden perusteella voidaan ennustaa mikä on tuotos millä tahansa paikkakunnalla Suomessa jos vuotuinen keskilämpötila nousee 0-6°C. Nämä mallit osoittavat, että sekä kuusen että männyn puuntuotos saattavat lisääntyä dramaattisesti, Pohjois-Suomessa jopa 300% kuusella ja 40% männyllä, jos korkein lämpötilaennuste toteutuu. Vaikka nämä luvut näyttävätkin erittäin vaikuttavilta, täytyy kuitenkin muistaa, että nykyisin puunkasvu Lapissa on erittäin alhainen, joten kasvihuoneilmion toteutuessakin, ei pohjoisessa päästä läheskään samoihin lukuihin kuin Etelä-Suomessa nykyisin. Etelä-Suomessa kasvumuutokset tulevat olemaan paljon vähäisempiä. Näillä alueilla saattaa puuntuotos jopa laskea lievästi.

On olemassa riski, että vuosirytmihäiriöt johtavat alentuneeseen kylmänkestävyyteen, josta seuraa lisääntynyt kuolleisuus. Jos vuotuinen keskilämpötila kohoaa, on odotettavissa, että sydäntalvella esiintyy normaalia lämpimämpiä jaksoja. Tällöin etenkin kuusen silmujen kylmänkestävyys alenee. Tämä voi johtaa lisääntyneisiin pakkasvaurioihin, jos lämpötila laskee äkillisesti. Kukkasilmujen ja eri kehitysvaiheissa olevien siementen alttiudesta oikukkaiden talvien aiheuttamille vaurioille on hyvin niukasti tietoa. Lisääntymisprosessien häiriöt vaikuttaisivat haitallisesti metsien uudistamiseen. Tätä asiaa on kuitenkin alettu tutkia vuonna 1998 aloitetussa tutkimushankkeessa.



Kuusen kasvaimet ovat erittäin herkkiä keväthalloille.

Tuhonaiheuttajat ja kasvihuoneilmiö

Useiden lehtiä ja neulasia syövien tuhohyönteisten elinehto on se, että vastakuoriutuneet toukat voivat aloittaa syöntinsä keväällä juuri puun silmujen auetessa. Heti silmunpukkeamisen jälkeen lehtien ravinnepitoisuus on korkea, mutta kuitu- ja haitta-ainepitoisuus pieni. Ehkä puolet pohjoisten metsien tuhohyönteisistä on riippuvaisia siitä, että toukat pysyvät ennakoimaan puiden silmujen pukkeamisajankohdan.

Nykyistä epävakaimmat keväsäät voivat kuitenkin aiheuttaa epäsäännöllisyyttä lehtienpukkeamisessa ja heikentää tuhohyönteisten mahdollisuuksia. Metsikön eri puiden silmut pukkeavat eri aikaan ja ilmastossa mahdollisesti tapahtuvat muutokset lisännevät tätä vaihtelua entisestään. Yksinkertaisen valintajalostuksen keinoin voidaan aikaistaa tai myöhentää silmun pukkeamista ja vaikkapa lisätä vaihtelua metsikön sisällä ja siten heikentää hyönteisten mahdollisuuksia.

Häiriöt metsäpuiden talveentumisessa johtavat pahimmillaan neulasten ja versojen paleltumiseen. Vaikkei ulkoisia vaurioita esiintyisikään, altistuvat puutteellisesti sopeutuneet puulajit ja alkuperät talvisten kasvinsyöjien tuhoille. Useiden havupuulajien kohdalla eteläisten puiden myyrätuhonalttius on ollut moninkertainen verrattuna paikallisiin, ilmastoon

sopeutuneisiin lajeihin ja alkuperiin. On ilmeistä, että havupuiden talveutumisen häiriöistä seuraa lisääntynyt alttius hirvi-, jänis- ja myyrävahingoille. Lehtipuiden kohdalla ei ole havaittu vastaavaa riippuvuutta.



Myös mänty kelpaa jäniksen ravinnoksi.

Ilmaston lämpeneminen tullenee johtamaan joidenkin hyönteislajien elinolosuhteiden paranemiseen ja ehkä tuhojen lisääntymiseen. Erityisesti lisääntyvät lajit, joiden määrää säätelee enemmänkin ilmasto kuin puiden kestävyys; esimerkiksi hyönteislajit, joiden munat talvehtivat puiden oksilla lumen pinnan yläpuolella. Mäntypistiäisen, tunturimittarin ja hallamittarin munat tuhoutuvat, jos pakkaneen laskee alle -36°C . Pohjoisimassa Lapissa on arvioitu, että nykyisin 85% talvista on riittävän kylmiä tappamaan tunturimittarin munat. Jos ilmasto lämpenee odotusten mukaan, niin sadan vuoden kuluttua riittävän kylmiä talvia on enää 40%. Samasta syystä hallamittarin ja mäntypistiäisen aiheuttamat tuhot tulevat lisääntymään Pohjois- ja Itä-Suomessa. Kuitenkin myös tuholaisia hävittävien petojen elinolosuhteet paranevat samanaikaisesti. Niinpä esimerkiksi muurahaisten merkitys tunturimittarin hävittäjinä lisääntyy. Voidaan myös arvella, että ilmaston lämpeneminen johtaa varpujen ja pensaiden runsastumiseen, tämä puolestaan johtanee tuhohyönteisten koteloiden syövien piennisäkkäiden runsastumiseen ja sitä kautta tuholaisien määrän vähentymiseen. Ilmaston lämpeneminen johtaa myös uusien tuholaislajien leviämiseen Suomeen. Metsäpuidemme kestävyyttä näitä uusia tuholaislajeja vastaan testataan parhaillaan.

Hiilidioksidin vaikutus

Hiilidioksidi on kasvihuonekaasuista merkittävin. Lisääntynyt hiilidioksidipitoisuus parantaa kasvien yhteyttämistehoa. Kuitenkaan hiilidioksidin lisääntymisen vaikutuksista puiden kestävyys ei vielä osata sanoa mitään varmaa. Osittain siksi, että suurin osa nykyisistä kokeista on ollut liian lyhytaikaisia ja toteutettu vain laboratorioissa.

Tiedetään, että ilman hiilidioksidimäärän lisääntyminen johtaa lehtien koon suurentumiseen, mutta samalla lehtien typpi- ja energiapitoisuus vähenee. Lehtien ravinnepitoisuus heikkenee niin paljon, että luultavasti tuholaiset joutuvat syömään enemmän korkeassa hiilidioksidipitoisuudessa kasvaneita puita – lehtien koon suurentumisesta huolimatta tuhoasteen arvellaan nousevan. Koetulokset tukevat tätä, sillä sekä perhostoukat että kirvat ovat syöneet runsaasti korkeassa hiilidioksidipitoisuudessa kasvaneita koivuja. Toisaalta ennakkotulokset jäniksellä ja myyrillä tehdyistä kokeista osoittavat, että hiilidioksidin lisääminen ei vaikuta merkittävästi puiden nisäkästävyys.

Ilmakehän kohonnut hiilidioksidipitoisuus nostaa lämpötiloja. Tämä on joissakin kokeissa johtanut nisäkästuhojen lisääntymiseen. Toisaalta on myös kokeita joissa lämpötilalla ei ole ollut vaikutusta puiden kestävyys. Ilmaston muutoksiin saattaa liittyä myös otsonipitoisuuden muutoksia. Myös otsonikestävydessä on suuria eroja puuyksilöiden välillä. Muuttuva hiilidioksidi- ja otsonipitoisuus sekä lämpötila aiheuttavat epäilemättä monimutkaisia yhdysvaikutuksia puiden tuhonkestävyyteen.

Lainsäädäntö ja viljelymateriaalin vapaa kauppa

Vähemmän esillä ollut syy tutkia puiden sopeutumista on uudistamismateriaalin vapaa kauppa, kun Suomestakin tuli Euroopan Yhteisön jäsenmaa. Ulkomaiset siemenet ja taimet ovat jo tulleet markkinoillemme. Suomella ei ole oikeutta kieltää maahantuontia ellei ole erittäin vahvoja todisteita epäonnistumisen riskeistä jos tätä materiaalia käytetään metsänviljelyssä. Nykyisten provenienssikokeiden alkuperäverkosto ja koepaikat eivät ole riittävän kattavia tämän asian selvittämiseksi. Erityisesti ruotsalaisen viljelymateriaalin menestymisestä Suomessa ei juuri tiedetä, vaikka Ruotsista tuotava materiaali muodostanee jo lähitulevaisuudessa pääosan ulkomailta tulevista taimista ja siemenistä. Ruotsin ja Suomen topografia on kuitenkin täysin erilainen. Tästä johtuen täysin eri leveysasteilla sijaitsevilla paikkakunnilla voi olla sama vuotuinen lämpöolosuhteet, mutta täysin erilainen valoilmasto.

Tähän mennessä tehdyt tutkimukset osoittavat, että mänty ja kuusi kykenevät sopeutumaan suuriinkin lämpötilamuutoksiin, ja kykenevät hyödyntämään mahdollisen kasviuoneilmiön lisääntyvänä puuntuotoksena. Kuitenkaan paikalliset alkuperät eivät tässä tilanteessa ole ehkä enään parhaita. Tämän vuoksi provenienssitutkimuksia tulisi jatkaa, jotta voitaisiin laatia suositukset siemenen käyttöalueista. Näiden suositusten on oltava sellaisia, että ne takaavat optimaalisen elävyyden ja puuntuotoksen minkä tahansa ilmastomuutosennusteen toteutuessa. Tähän saakka on tutkittu vain havupuitamme, mutta jatkossa olisi tärkeää lisätä ainakin koivu tutkimusohjelmiin.

Suomessa on alettu juuri perustaa uusia ns. puolentoista sukupolven siemenviljelyksiä. Näihin istutettavat kloonit on hiljattain valittu. Uudet siemenviljelmät ovat tuottavimmillaan 10-20 vuoden kuluttua ja ovat tuotannossa useita vuosikymmeniä. Kun määritellään uusilta viljelmiltä saadun siemenen käyttöalueita, tulee mahdollinen ilmastomuutos ottaa vakavasti huomioon. Sen vuoksi tulisi perustaa erityisesti valittujen kloonien jälkeläiskokeita useille eri paikkakunnille, joiden ilmastolliset olot poikkeavat toisistaan mahdollisimman paljon. Keskeisintä olisi tutkia jälkeläistöjen vuosirytmien liittyviä tekijöitä.

Sopeutumiskyky on myös tärkeä ominaisuus kun taimitarhoilla kasvatetaan myöhäiskylvöin toista satoa. Kasvun päätyminen ja karaistuminen voidaan indusoida lyhytpäiväkäsittelyllä. Kokeellisesti on voitu osoittaa, että ainakin männyntaimien täytyy kompensoida ensimmäinen tällä tavoin lyhentynyt kasvukausi. Ei kuitenkaan tiedetä kuinka kauan tämä jälkivaikutus itseasiassa säilyy. Epäsuotuisina kasvukausina istuttamisen seurauksena indusoitunut viive karaistumisessa voi aiheuttaa huomattavaa kuolleisuutta kentällä. Tämä seikka tulee korostumaan erityisesti Pohjois-Suomessa.

TUHOT KURIIN KESTÄVYYSJALOSTUKSELLA

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että puuyksilöiden ja alkuperien tuhonalttiudessa on laajaa vaihtelua. Kestävyyssjalostuksen tavoitteena on hyödyntää tätä puiden perinnöllistä vaihtelua puiden viljelyvarmuuden lisäämiseksi. Ennen varsinaisen jalostuksen aloittamista on hyvä ymmärtää kuinka puiden kestävyys, kasvu, laatu ja lisääntyminen liittyvät toisiinsa.

Edellisessä luvussa käsiteltiin ilmaston muutosta ja puiden kestävyttä. Tässä osuudessa esitellään lyhyesti kasvien tuhonkestävyyteen liittyviä tekijöitä. Yleisen kiinnostavuutensa vuoksi kestävyysjalostuksen esimerkkitapaukseksi on valittu eräs koivikoittemme tärkeimmistä tuholaisista, koivun ruskotäpläkärpänen, vaikka joidenkin muiden tuholaisien suhteen kestävyysjalostuksen näkymät ovat lupaavampia.

Viljelyvarmuuden jalostaminen

Tuhosienet, hyönteiset ja nisäkkäät vahingoittavat eri vuodenaikoina puiden eri osia. Puiden tuholaiskestävyys näyttää suurelta osin perustuvan kemiallisiin yhdisteisiin, jotka ovat haitallisia tuholaisille. Nämä yhdisteet ovat usein monimutkaisia ja niiden muodostamisen oletetaan näkyvän kasvussa. Pelkistetysti on väitetty, että kasvit joko puolustautuvat tai kasvavat. Asian tekee hankalaksi mahdollisten kasvituholaisten tavattoman suuri määrä: voiko kasveilla olla suuri määrä ”puolustusjärjestelmiä” useita erilaisia tuholaisia vastaan, varsinkin jos kestävyiden aiheuttavat yhdisteet ovat aineenvaihdunnallisesti ”kalliita”?

Kasvien kasvulla ja kestävyydellä ei oletuksista huolimatta näytä olevan mitään yleistä riippuvuutta. Yksityiskohtaiset selvitykset rauduskoivulla ovat esimerkiksi osoittaneet, että hirvien, jänisten ja myyrien ruoansulatasta heikentävän papyriferihapon muodostaminen on aineenvaihdunnallisesti kallista. Kuitenkin papyriferihappoa on suurimmat määrät nopeakasvuisimmissa koivuissa. Koivut voivat siis kasvaa nopeasti nisäkkäiden ulottumattomiin ja samalla tuottaa enemmän syöntiä ehkäiseviä yhdisteitä. Samantyyppisiä tuloksia kasvunopeuden osalta on saatu vaikkapa tutkittaessa yksityiskohtaisesti männyn versoruostekestävyyttä. Koivun ruskotäpläkärpäskestävyys on esimerkki toisensuuntaisesta riippuvuudesta.

Entä saman kasvin kestävyys useita erilaisia tuhoniheuttajia vastaan. Onko mahdollista kehittää metsäpuitamme nopeakasvuiseksi ja samalla yleiskestäviksi, viljelyvarmoiksi? Tästä voitaisiin jälleen mainita esimerkkinä myyrien ja jänisten karttama terpeeniyhdiste, papyriferihappo. Jänis valitsee huolellisesti koivuyksilöitä, joiden versoissa on vähän nystyjä (vähän papyriferihappoa). Myyrät taas syövät usein taimen tyviosia, joissa papyriferihapon määrä on niin pieni, että aivan ilmeisesti muut kemialliset yhdisteet vaikuttavat myyrän valintaan tehokkaammin. Hirvi puolestaan syö niin suuret määrät sekalaista ravintoa, että vaikka papyriferihappo heikentää selluloosan sulamista hirven suolistossa, niin suomalainen hirvi ei valitse kovinkaan selvästi eri koivuyksilöiden välillä. Tilanne saattaisi olla erilainen, mikäli koivun osuus hirven ravinnossa olisi suurempi. Tällöin koivun haitta-aineiden merkitys olisi myös merkittävämpi.



Eri myyrälajit ovat taimikoiden pahimpia tuholaista.

Rauduksen sieni-, hyönteis- ja nisäkästuholaisilla tehdyt laajahkot kokeet viittaavat siihen, että koivuyksilön kestävydestä tiettyä tuhoniheuttajaa vastaan ei voida yleisesti päätellä saman yksilön kestävyttä muita tuholaista vastaan. Jotkut koivuyksilöt näyttävät kuitenkin olevan yleisesti alttiita useita erilaisia sieniä, hyönteisiä ja nisäkkäitä vastaan kun taas jotkut yksilöt ovat yleiskestäviä useita erilaisia tuhoniheuttajia vastaan, joka seikka näyttää lupaavalta kestävyysjalostuksen kannalta.

Kokeet ovat jo nyt olleet monimutkaisia ja lisää haastavuutta tuo epäilemättä kasvien erilainen sopeutuminen ilmaston muutokseen ja ilmaston muutoksen ja kestävyuden välinen riippuvuus. Tutkimuksen edessä selviää, menetetäänkö kestävien jalosteiden käyttämisellä mitään silloinkaan, kun tuholaiset eivät iskeydy viljelyksille.

Ruskotäpläkärpänen – esimerkki jalostuksen mahdollisuuksista

Ruskotäpläkärpäsen aiheuttamat ruskeat viirut (toukkakäytävät) ovat hyvin yleisiä koivussa. Ruskotäplättömät koivut ovat harvinaisia ja niistä maksetaan erikoispuun hinta, joka on kolminkertainen tavalliseen koivutukkiin verrattuna. Ruskotäpläkärpänen saattaa siis olla taloudellisesti eräs kaikkein haitallisimmista tuhohyönteisistämme. Siitä huolimatta sen perusbiologia on opittu tuntemaan vasta Punkaharjulla tehtyjen tutkimusten perusteella.



Ruskotäpläkärpäsen syömäkäytävät alentavat vanerin arvon jopa puoleen.

Puuaineen vahingot aiheutuvat toukkakäytävistä. Ruskotäpläkärpäsen toukan etenemisnopeus koivupuussa on lähes käsittämätön: 2,5 kk aikana toukka voi edetä 19 metriä koivun runkoa alaspäin. Torjunnan ongelma on se, että aikuinen kärpänen munii keväällä koivun versoon, kuoren alle.

Syksyllä koivun tyvellä toukka koteloituu maahan melkein heti tultuaan ulos rungosta. Kärpäsien piilottelevasta elintavasta johtuen torjunta perinteisin menetelmin on vaikeaa. Mikäli koivuyksilöiden välillä olisi riittäviä alttiuseroja, saattaisi jalostuksesta löytyä merkittävä apu kärpäsien torjuntaan.

Ruskotäpläkärpäsien toukka kaivertaa käytävänsä vain äskettäin muodostuneeseen puusolukkoon. Vierekkäin kasvavista puista voidaan nähdä 50-60 vuoden aikasarjoja toukkien määristä. Nämä toukkakirjastot osoittavat melkoisia eroja puiden kestävydessä. Huono uutinen on kuitenkin se, että erityisesti nopeakasvuisat puut ovat olleet alttiita ja hidaskasvuiset kestäviä. Tutkittujen koepuiden (joista voidaan tehdä tarkkoja päätelmiä) lukumäärä on toistaiseksi ollut suhteellisen pieni, joten on mahdollista, että nopeakasvuisten koivujen joukosta löydettäisiin myös kestäviä puuta. Ruskotäpläkärpänen on kaiken kaikkiaan hyvin poikkeuksellinen tuholainen: tuokkakäytävät eivät kaiketi aiheuta haittaa kasvavalle puulle; on jopa arveltu, että koivu voi käyttää toukkien avaamia käytäviä varastosolukoina. Ne ovatkin vain esteettinen haitta puutavaran käyttäjälle.

BIOTEKNIIKASTA TIETOA JA TEHOA METSÄNJALOSTUKSEEN

Metsäpuilla biotekniikkaa sovelletaan puiden perinnöllisten ominaisuuksien tutkimiseen, jalostamiseen ja kasvulliseen lisäykseen. Tavallisesti biotekniikkaan luetaan kuuluvaksi erilaiset solukkoviljely- ja geeninsiirtomenetelmät, sekä lajien perintöaineksen kartoittaminen markkereita (merkkigeenejä) etsimällä. Biotekniikan sovellutukset eivät eroa perinteisestä metsänjalostuksesta päämääriltään, ainoastaan käytettävät menetelmät ovat erilaisia. Metsäpuiden biotekniikka on, erityisesti geeninsiirtojen ja geenikartoituksen osalta, vielä alkuvaiheessa moniin maatalouskasveihin verrattuna. Aktiivinen tutkimus tuottaa kuitenkin koko ajan lisätietoa puiden perinnöllisyydestä ja menetelmien soveltamisesta metsänjalostukseen.

Solukkoviljely

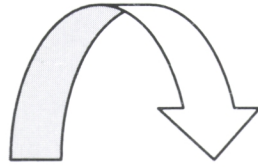
Lehtipuilla solukkoviljely on suhteellisen helppoa. Nuoresta puusta tai vanhan puun vesoista voidaan monistus aloittaa jälsi- tai silmumateriaalia käyttäen. Kun puu on saavuttanut kukkimisiään, onnistuu solukkoviljelylisäys vain silmumateriaalista. Lehtipuilla käytettävässä organogeneesissä eli elinsyntyisessä solukkoviljelyssä tuotetaan ensin verso, joka sitten

juurrutetaan. Syntyvät taimet ovat perinnöllisiltä ominaisuuksiltaan samanlaisia sekä emopuun kanssa että keskenään. Kotimaisten kloonikoivujen ja siementaimien vertailu kenttäkokeissa osoittaa, että kloonattavan aineiston testaus ja huolellinen valinta takaa kloonattujen yksilöiden siementaimia paremman kasvun ja laadun. Taimien kuolleisuudessa tai myyrä- ja hirvituhojen määrässä ei tutkittujen kloonijä siementaimien välillä ole todettu olevan eroa.

Lehtipuiden kloonauus on mahdollista suuressa mittakaavassa. Keski-Euroopan pahimmin saastuneita alueita on metsitetty kloonatuilla haavoilla ja poppeleilla. Suomessa tuotettiin 1990-luvun vaihteessa n. 1 milj. rauduskoivun tainta metsänviljelyn tarpeisiin. Lainsäädännön asettamat vaatimukset yhdessä vähäisen kysynnän ja taloudellisen laman kanssa johtivat kuitenkin siihen, että rauduskoivun mikrolisäys metsänuudistamisen tarpeisiin lopetettiin. Samalla kun koivun kloonauus tutkimus- ja jalostustarkoituksiin jatkuu edelleen on koivun kaupallinen tuotanto keskittynyt erikoismuotoihin. Eri visalajien samoin kuin koristekasveina käytettävien erikoisia lehtimuotoja omaavien koivujen kauppaitimituotanto on jo vakiintunutta. Muista kaupallisesti Suomessa kloonattavista lajeista mainittakoon mm. hybridihaapa ja hybridileppä, tuohituomi sekä jaloista lehtipuista vaikeasti siemenestä lisättävät metsätammi ja metsälehmus. Oman suuren lisäysprojektinsa muodostaa hybridihaavan monistus paperiteollisuuden raaka-aineeksi.



Lehtipuiden solukkoviljely onnistuu helposti. Kuvassa solukkoviljeltyä rauduskoivua.



Punkaharjun tutkimusasemalla on kehitetty männylle somaattiseen embryogeneesiin eli kasvulliseen alkionmuodostukseen perustuva solukkoiljelymenetelmä. Viljely aloitetaan epäkypsistä siemenalkiosta ja kasvulliset alkiot saadaan kehittymään muuttamalla alustan kasvunsäätelyaineita ja sokeripitoisuutta. Juurtuneet taimet koulitaan kasvihuoneoloihin. Menetelmää on vielä kehitettävä, jotta se soveltuisi massamonistukseen ja toistaiseksi sitä on käytetty vain tutkimustarkoituksiin.



Havupuiden mikrolisäys on lehtipuihin verrattuna vaikeaa. Yleisimmin käytetyt solukkoviljelymenetelmät ovat organogeneesi ja somaattinen embryogeneesi eli kasvullinen alkionmuodostus. Kasvullisessa alkionmuodostuksessa syntyy yhtä aikaa sekä varsi että juuret eli alkio. Tällaisia alkioita voidaan tuottaa massamonistukseen tarvittavia määriä bioreaktoreissa (eräänlaisissa kasvukammioissa). Jos alkiot lisäksi voitaisiin sulkea vararavinnon kanssa kapseliin, saataisiin aikaan tekosiemeniä, joiden käsittely olisi lähes samanlaista kuin tavallisilla siemenillä. Valitettavasti havupuilla kasvullinen monistus ei onnistu metsänjalostuksen kannalta toivottavista, vanhoista, ominaisuuksiltaan tunnetuista, puuyksilöistä, vaan solukkoviljelytavasta riippumatta, voidaan lähtömateriaalina käyttää vain joko siemenestä tai nuorista taimista peräisin olevaa solukkoa.

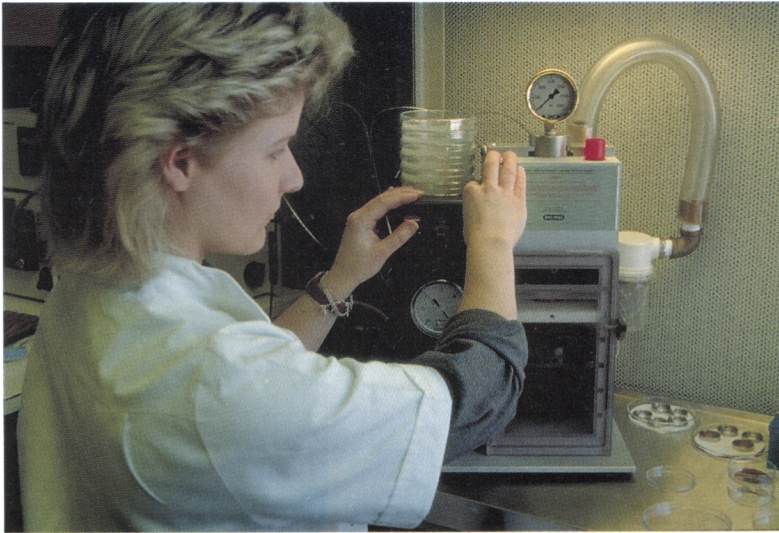
Kasvullisten alkoiden tuotantoon on viime vuosina kiinnitetty paljon toiveita havupuidemme massamonistamiseksi. Kuusen kohdalla menetelmä toimii varsin tehokkaasti, ja ensimmäisiä kenttäkokeita tällaisilla taimilla on jo perustettu. Kokeiden tulokset osoittavat aikanaan menetelmän käyttökelpoisuuden. Myös männyn kohdalla kasvullisten alkoiden tuotanto onnistuu ja menetelmällä tuotettuja taimia on tällä hetkellä kasvihuoneella. Kuuseen verrattuna menetelmä vaatii kuitenkin vielä kehittämistä. Mäntyä voidaan monistaa myös elinsyntyisesti siemenalkion sirkkalehdistä. Kehittyvien taimien erikoisuutena on niiden varhainen kukinta, joka alkaa jo 3 - 4 vuoden iässä. Tutkimuksellisesti ja jalostuksellisesti tästä on hyötyä sukupolvien välin lyhenemisenä, sillä normaali männyn siementaimi kukkii vasta noin 20 vuoden iässä.

Solukkoviljelyyn perustuvat menetelmät havupuiden taimien tuottamiseksi ovat osoittautuneet siementaimituotantoon verrattuna kalliiksi. Uudessa-Seelannissa viljeltävän radiatamännyn kohdalla ollaan tuotantokustannusten alentamiseksi päätyvässä ratkaisuun, jossa kasvullisten alkoiden monistuksella tuotettuja "emotaimia" monistetaan edelleen pistokasoksia juurruttamalla. Myös männyllä ja kuusella on kokeiltu pistokastuotantoa, mutta niillä juurenmuodostus on heikkoa, johtuen ennenkaikkea emotaimen perimästä ja iästä. Männyllä juurtumisprosenttia on saatu parannettua mm. kasvihormoni-, agrobakteeri- ja sienijuurikäsitelyillä.

Geeninsiirrot

Geeninsiirtojen avulla pystytään vaikuttamaan tarkasti määriteltyihin, yksittäisiin perintötekijöihin. Geeninsiirtojen edellytyksenä on, että nämä geenit ja niiden toiminta tunnetaan hyvin, minkä lisäksi käytännön työssä yleensä tarvitaan lajille sopivia solukkoviljelymenetelmiä. Toistaiseksi vain muutamia geenejä voidaan siirtää kerrallaan, eikä niitä pystytä kohdentamaan mihinkään tiettyyn kohtaan puun perimässä. Geeninsiirtoja

puihin tehdään kahdella eri menetelmällä - joko käyttäen agrobakteereja geenien kuljettajina tai biolistisen asean eli "geenipyssyn" avulla. Agrobakteerit ovat yleisiä maabakteereja, joilla on luontainen kyky siirtää genejä kasveihin. Luonnossa bakteerin geenien siirtymisen seurauksena on aitosyöpänä tunnettu kasvitauti, mutta bakteerit saadaan siirtämään omien geeniensä sijasta myös tutkijan valitsemia genejä. Biolistisessa menetelmässä siirrettävät geenit puolestaan saostetaan pienten kultahiukkasten pinnalle ja ammutaan suoraan kasvisoluihin. Lehtipuihin genejä siirretään yleensä agrobakteerien avulla, kun taas havupuilla, jotka eivät ole agrobakteerien luontaisia isäntäkasveja, käytetään biolistista menetelmää.



Genejä voidaan siirtää biolistisen asean eli "geenipyssyn" avulla, jolla siirrettävät geenit ammutaan kultahiukkasten pinnalla kohdesolukoon.

Kaikkiin tärkeimpiin metsäpuihimme on onnistuttu siirtämään genejä solu- tai solukotasolla, mutta siirtogeenisiä taimia on toistaiseksi tuotettu vain koivusta ja kuusesta. Mallilajeina voidaan pitää poppelia ja haapaa, joihin geeninsiirrot onnistuvat jo rutiinisti. Siirtogeenisten havupuiden tuottaminen edellyttää tehokasta kasvullisten alkoiden tuottoa, tai siirtogeenisen siitepölyn käyttöä kontrolloiduissa risteytyksissä, jolloin solukoviljelyvaihetta ei tarvita. Geeninsiirtoja voidaan kuitenkin hyödyntää lajien perintötekijöiden tutkimuksessa vaikkei kokonaisten siirtogeenisten puiden tuottaminen olisikaan mahdollista.

Geeninsiirroilla on sekä tutkimuksellisia että käytännön hyötyihin tähtäviä sovellutuksia. Erityisen hyvin geeninsiirtotekniikka soveltuu perintötekijöiden säätelyn tutkimiseen. Tekniikan avulla yksittäisiä geenejä voidaan joko hiljentää tai ohjata toimimaan tavanomaista vilkkaammin. Jalostettavien ominaisuuksien taustalla olevista geeneistä ja niiden säätelystä saatava tieto edistää sekä perinteistä jalostustyötä että hyötygeenien siirtämistä.

Puiden ominaisuuksia voidaan yrittää parantaa siirtämällä niihin geenejä, joiden tiedetään vaikuttavan jalostettavaan ominaisuuteen. Hyötygeenejä kannattaa siirtää vain perinnöllisesti hyväksi havaittuihin puihin, jotka sitten monistetaan metsänviljelyä tai jalostusta varten. Havupuiden kohdalla ongelmana on, että vanhat, ominaisuutensa jo osoittaneet puut soveltuvat huonosti sekä geeninsiirtojen että kasvullisen lisäyksen kohteeksi. Siirtogeenisten puiden tuottamista suunniteltaessa on syytä ottaa huomioon metsäpuiden erityispiirteet jalostuskohteina. Puut ovat pitkäikäisiä, joten siirrettyjen geenien toiminnan tulisi olla halutunlaista ja muuttumatonta vuosikymmenten ajan. Toisaalta kaikki tärkeimmät metsäpuumme ovat luonnonvaraisia ja tuulipölytteisiä, jolloin siirtogeenit leviävät ympäröiviin luonnonmetsiin, ellei puita tehdä kukkimattomiksi. Pitkä-ikäisten puiden kohdalla onkin harkittava tarkkaan mihin ominaisuuksiin halutaan vaikuttaa.



Selluloosateollisuus hyötyisi taloudellisesti jos puuaineen ligniinipitoisuutta voitaisiin muuntaa tai alentaa geenitekniikan avulla.

Metsänjalostuksen kannalta kysymykseen tulisivat lähinnä puun laatuominaisuuksiin vaikuttaviin tekijöihin, kuten latvuksen rakenteeseen tai puuaineen ligniinipitoisuuden säätelyyn kohdistuvat geeninsiirrot. Esimerkkinä edellisistä on kuusesta kartoitettu kapealatvaisuutta aiheuttava *pendula*-geeni. Puuaineen ligniinipitoisuuden vähentäminen muutamilla prosenteilla alentaisi ligniinin poistosta aiheutuvia selluntuotannon kustannuksia ja ympäristöhaittoja merkittävästi. Muita siirrettäviä geenejä voisivat olla esimerkiksi puiden lisääntymiskykyyn vaikuttavat geenit. Kukkimattomien puiden tuottamisella pyritään ensisijaisesti estämään siirrettyjen geenien leviäminen luonnonmetsiin siitepölyn ja siementen kautta, mutta samalla voisi myös puiden kasvu lisääntyä.

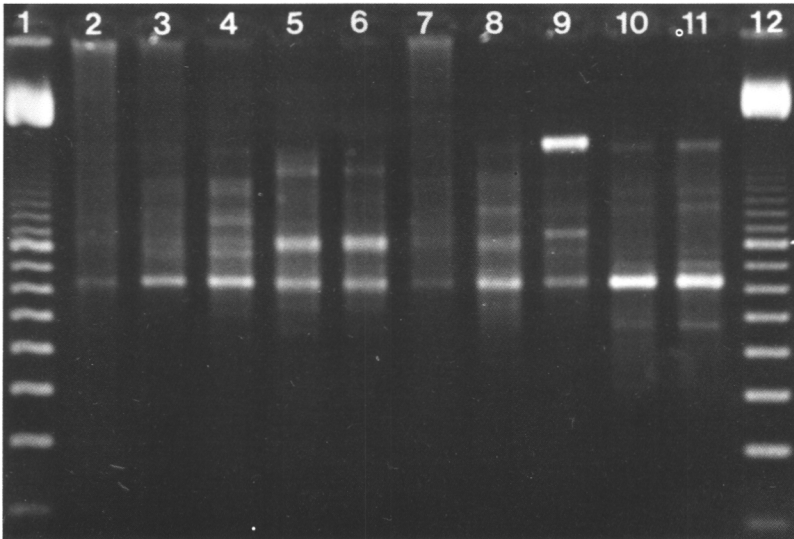
Markkeritekniikat ja geenikartoitus

Markkeriksi sanotaan mitä tahansa havaittavissa olevaa tekijää, joka voidaan yhdistää tiettyyn yksilöön, genotyyppiin. Puiden perinnöllisyystutkimuksessa markkereina on perinteisesti käytetty biokemiallisia merkkejä, kuten isoentsyymejä ja terpeeniyhdisteitä. Molekyylibiologian uudet tekniikat ovat mahdollistaneet monien erityyppisten DNA-tason markkerien eli merkkigeenien etsimisen perustuen kasveista eristetyn DNA:n pilkkomiseen ja monistamiseen. DNA-markkereilla on monia etuja biokemiallisiin merkkeihin verrattuna. Niitä voidaan löytää lähes rajattomasti ja koska ne perustuvat suoraan perintöaineuksen emäsjärjestykseen, ne eivät muuntele puun eri solukoissa, eri ikäkausina, tai ympäristötekijöiden vaikutuksesta. Lisäksi DNA-markkereita voidaan löytää myös soluorganellien, kuten viherhiukkasten ja mitokondrioiden perintöaineuksesta, joten myös ei-mendelistisen periytymisen seuraaminen on mahdollista.

Markkereita käytetään paljon tutkittaessa populaatioiden välistä ja sisäistä perinnöllistä muuntelua. Näin saatua tietoa voidaan hyödyntää koostettaessa jalostuspopulaatioita ja puiden geenivarantojen säilyttämisessä. Edelleen markkerit soveltuvat hyvin populaatorakenteeseen vaikuttavien tekijöiden, lähinnä pölytyssuhteiden tutkimiseen. Metsäpuiden kohdalla erityisesti siemenviljelyksiin liittyvät sovellutukset, kuten taustapölytyssuuden, suku- ja itsesiitoksen määrän, sekä hoitotoimenpiteiden vaikutuksen arviointi ovat tärkeitä. Suomessa markkereita, lähinnä isoentsyymimerkkejä, on käytetty menestyksellisesti mm. havupuiden siemenviljelysten taustapölytyssuoksien ja perinnöllisen monimuotoisuuden arviointiin sekä jalojen lehtipuiden perinnöllisen muuntelun tutkimiseen.

Markkereiden avulla saadaan myös tietoa puiden perimän rakenteesta. Pystytään esimerkiksi arvioimaan tutkittavan geenin kopioiden lukumäärää, ja tutkimaan lajien evoluutiota vertailemalla merkkigeenien perus-

teella rakennettuja geenikarttoja toisiinsa. Geenikartoitukseen liittyy myös tärkeä metsänjalostuksellinen sovellutus eli kvantitatiivisesti periytyviin ominaisuuksiin vaikuttavien geenien (QTL) etsiminen. Tavoitteena on löytää merkkigeenejä, jotka ovat kytkeytyneet tiukasti yhteen halutun ominaisuuden kanssa, ja käyttää näitä markkereita apuna jalostusaineiston valinnassa. Monet ominaisuudet ilmenevät vasta pitkän ajan kuluttua, mutta merkkigeenien avulla valintaa voitaisiin tehdä jo taimimateriaalista, mikä tehostaisi jalostusta. Tärkeimmistä puulajeistamme männylle, kuuselle ja rauduskoivulle on harvakseltaan merkkejä sisältäviä geenikarttoja olemassa, mutta täydellinen kartta on vielä todella kaukana tulevaisuudessa. Taloudellisesti tärkeisiin, kvantitatiivisiin ominaisuuksiin kytkeytyneitä merkkigeenejäkin ollaan vasta etsimässä.



Merkkigeenejä on käytetty mm. eri pihtalajien ja risteymien tunnistamisessa.

Eräs merkittävä markkereiden käytön sovellutus on puuyksilöiden tai lajien tunnistaminen niiden avulla. Merkkigeenien avulla voidaan esimerkiksi varmistaa kloonatun materiaalin tai risteytysten oikeellisuus. Suomessa menetelmää on jo käytetty mm. rauduskoivun risteytysjälkeläisten vanhempien ja pihtalajien tunnistamiseen.

Tulevaisuuden näkymiä

Varsinaisen viljelyaineiston tuottamisen lisäksi on puiden solukkoviljelyn osaaminen mahdollistanut muiden biotekniikkaan perustuvien tutkimus- ja jalostusmenetelmien soveltamisen metsäpuihin. Lehtipuilla nämä tekniikat ovat jo käytäntöön sovellettavissa, mutta esimerkiksi männyllä geeninsiirtojen hyödyntäminen edellyttää vielä solukkoviljelymenetelmien kehittämistä. Haluttuja ominaisuuksia omaavien siirtogeenisten puiden tuottaminen puolestaan voisi tarjota arvokasta materiaalia metsänjalostuksen käyttöön nopeammin kuin perinteiset jalostusmenetelmät. Merkki-geenitekniikat voivat tarjota jo nyt metsänjalostuksessa sovellettavaa tietoa, ja lajeillamme tehtävän lisätutkimuksen myötä myös yhä enemmän käytännön hyötyä.

METSÄNJALOSTUS JA GENEETTINEN MONIMUOTOISUUS

Metsänjalostus vaikuttaa puupopulaation geneettiseen monimuotoisuuteen usealla tavalla. Ensinnäkin jalostustyö muuttaa viljelyaineiston geneettistä koostumusta jo määritelmänkin mukaan ja toiseksi jalostetun materiaalin käyttö johtaa aina siihen, että metsä uudistetaan viljellen. Viljely menetelmänä ei kavenna geneettistä monimuotoisuutta, jos uudistamisessa käytetään kasvupaikalle sopivaa alkuperää, ja viljelyn annetaan vielä täydentyä luontaisesti syntyneillä taimilla. Sen sijaan viljelyaineiston kapea geneettinen pohja saattaa joskus muodostua ongelmaksi; ääritapauksissahan metsiköitä on perustettu jopa yhdestä puusta kerätyillä siemenillä.

Usein kuuluu kysyttävän, onko jalostettu aineisto vähemmän monimuotoista kuin jalostamaton aineisto? Jalostuksen tarkoituksena on aina muuttaa populaation geneettistä koostumusta siten, että halutut ominaisuudet ilmiasussa yleistyvät. Useimmiten tämä tarkoittaa suomalaisessa metsänjalostuksessa sitä, että hyvää kasvua ja hyvää ulkoista laatua aiheuttavien alleelien frekvenssejä on pyritty kasvattamaan muiden alleelien kustannuksella. Tautiresistenssiä jalostettaessa karsitaan pois tautialttiutta lisääviä geenejä. On selvää, että jalostuspopulaation alleelifrekvenssit poikkeavat, ja niiden tuleekin poiketa, luonnonpopulaation alleelifrekvensseistä. Tehokas jalostus voi kuitenkin keskittyä vain muutamaaan ominaisuuteen kerrallaan, eikä pyri tietoisesti manipuloimaan muiden geenien alleelifrekvenssejä. Muiden ominaisuuksien kohtalo riippuu toi-

saalta niiden kytkennästä jalostettaviin ominaisuuksiin ja toisaalta sattuman vaikutuksesta jalostuspopulaatioissa.

Evoluutiivista voimaa, joka muuttaa populaation alleelifrekvenssejä puhtaasti todennäköisyyslaskennan lakien mukaisesti, kutsutaan satunnaisajautumiseksi. Satunnaisajautumisella on merkitystä erityisesti pienissä populaatioissa, olivatpa nämä sitten eristäytyneitä luontaisia populaatioita tai ihmisen luomia siementuotantopopulaatioita. Joidenkin jalojen lehtipuidemme pienet ja hajanaiset esiintymät saattavat kärsiä satunnaisajautumisen aiheuttamasta geneettisestä köyhtymisestä, tutkituista lajeista lähinnä kynäjalava on tässä mielessä uhattu.



Haavikot ovat usein jopa yhden kloonin muodostamia, luontaisia kloonimetsiköitä.

Metsänviljelyssä eniten käytetty jalostettu aineisto on peräisin siemenviljelyksiltä, joille on vartettu ulkomuodoltaan ja kasvultaan hyviä, luonnosta valittuja puita. Viljelyksen tuottaman aineiston monimuotoisuuteen vaikuttaa yksittäisen viljelyksen geneettisen pohjan laajuus. Käytännössä tärkeimmät vaikuttavat tekijät ovat viljelyksen kloonimäärä ja kloonien vartemäärien jakautuminen, joskin myös kukkimisrunsaus, painottuminen emi- tai hedekukintaan, kloonien väliset erot kukkimisajankohdassa sekä ilmasto-olosuhteet (tuulen suunta kukkimisen aikana) vaikuttavat syntyvän sadon geneettiseen koostumukseen. Klooni- ja vartemäärille on asetettu rajoitukset metsänviljelyaineiston kauppaa koskevissa sääöksissä

siten, että männyllä ja kuusella tulee kullakin siemenviljelyksellä olla vähintään 30 eri kloonia, joiden vartemäärät eivät saa poiketa kloonien vartemäärien keskiarvosta enempää kuin 30 %. Koivulla on hyväksytty myös kahden kloonin siemenviljelyksiä, jos tuotettu risteytysyhdistelmä on osoittautunut testaukskoikeissa erityisen edulliseksi. Kahden kloonin siemenviljelysten tapauksessa on monimuotoisuutta vaalittu alueellisella tasolla siten, että yhden tietyn risteytysyhdistelmän tuotannon kokonaisu-määrille on asetettu rajoituksia. Käytännössä tämä tapahtuu kontrolloi-malla samaa yhdistelmää tuottavien siemenviljelysten määrää.

Kloonimetsätalous kaventaa aina paikallisesti geneettistä monimuotoi-suutta, koska metsikössä on useita saman yksilön identtisiä kopioita. Kotimaisista puulajeista lähinnä haapa ja lehmus lisääntyvät luonnostaan kasvullisesti ja leviävät klooneina. Kasvullisen lisäämisen tekniikkaa on kehitetty Suomessa pisimmälle kuusella (pistokaslisäys) ja koivulla (mik-rolisäys) sekä haavalla (mikrolisäys). Kuusen ja koivun kasvullinen lisäys ei ole taloudellisesti kannattavaa eikä klooniaineistoilla ole merkitystä käytännön metsänviljelyssä. Kuusella on virallisiin luetteloihin hyväksytty yksi kloonyhdistelmä, mutta toistaiseksi kaikki tuotetut pistokkaat on käytetty koetarkoituksiin. Sen jälkeen kun paperiteollisuus kiinnostui hybridihaavasta tuli tarve lisätä haapaa myös kasvullisesti. Metsänjalos-tussäätiössä kehitetyn mikrolisäysmenetelmän avulla tuotettiin 170 000 tainta vuonna 1998. Tuotannon uskotaan lisääntyvän lähivuosina.

Suomessa metsänviljelyaineiston kauppaa kontrolloidaan lain ja sitä soveltavan Maa- ja metsätalousministeriön päätöksen avulla sekä Met-säntutkimuslaitoksen pitämien viljelyaineistojen virallisten luetteloiden avulla. Monimuotoisuusnäkökohdat on näissä säädöksissä otettu selvim-min huomioon kuusen ja koivun klooniaalkuperäluokkien kohdalla. Lisäk-si viljelyaineiston monimuotoisuutta kontrolloidaan siemenviljelysten minimivaatimuksissa, kuten jo edellä on esitetty. Klooniaineistojen osalta kontrolloidaan sekä yhdistelmään kuuluvien kloonien määrää että tietyn taimen kopioiden enimmäismäärää. Yhdistelmään kuuluvien kloonien vähimmäismäärä riippuu siitä, kuinka pitkäaikaisista kokeista hyvät tes-taustulokset on saatu. Myös yksittäinen klooni voidaan hyväksyä myyn-tiin, jos se on osoittautunut (5 % riskillä) vertailuerien keskiarvoa paremmaksi vähintään kolmessa 15-vuotiaassa kokeessa. Tällöinkään kloonin kokonaislisäysmäärä ei saa ylittää 2 000 000 kappaletta. Haavan viljelyssä ei käytetä kloonyhdistelmiä, vaan puhtaita klooneja siten että yhdellä kloonilla perustetun ruudun maksimikoko on 500 yksilöä. Tällöin esimerkiksi kahden hehtaarin viljelyalalla tulisi käytettäväksi 4-5 eri kloonia.

Geneettisen pohjan laajuus jalostusohjelmissa

Kestävän perinnöllisen edistymisen ja adaptiivisen valmiuden turvaaminen ennustamattomien ympäristömuutosten varalta edellyttävät, että jalostuspopulaatioissa on riittävästi geneettistä muuntelua. Geneettisen pohjan laajuus varmistetaan yksinkertaisimmin koostamalla populaatio suuresta määrästä yksilöitä. Päätös jalostuspopulaation koosta on yksi jalostusohjelman kauaskantoisimpia strategisia ratkaisuja. Kaikkea peruspopulaation muuntelua on mahdotonta sisällyttää jalostuspopulaatioon, koska lähes kaikkien puiden perimässä on todennäköisesti yksi tai useampia ainutkertaisia alleeleja. Kysymys on itse asiassa otantaongelmasta, jossa optimaaliseen otoskokoan vaikuttavat geneettisen vaihtelun määrä, joka jalostuspopulaatioon halutaan sisällyttää, populaation uudistamisessa käytetyt valinta ja risteytysmenetelmät sekä tarkasteltava aikajänne. Kirjallisuudessa esitetyt ehdotukset jalostuspopulaation kooksi vaihtelevat jopa 50 - 2000 yksilön välillä. Konservatiivisimmat arviot perustuvat näkemykseen harvinaisten alleelien tärkeydestä populaation adaptiivisen joustavuuden kannalta. Tällaisten alleelien kumulatiivinen todennäköisyys säilyä populaatioissa useampia sukupolvia on kuitenkin hyvin pieni. Niinpä jos ne halutaan säilyttää jalostuksen piirissä, jalostuspopulaatio on koostettava yleensä useista sadoista yksilöistä. Tarvittava otoskoko kasvaa eksponentiaalisesti alleelifrekvenssin pientyessä, jolloin jalostuspopulaatioista tulee helposti epäkäytännöllisen suuria. Koska alhaisella taajuudella esiintyvien alleelien evolutiivinen merkitys on epäselvä ja rajanveto jonkin tietyn alleelifrekvenssin kohdalle on hankalaa, jalostuspopulaatioiden perustamista suurilla yksilömäärillä on vaikea perustella.

Modernit jalostuspopulaatiot koostuvatkin usein vain muutamasta kymmenestä yksilöstä. Tämä voi tuntua uskalletulta, koska populaation geneettinen pohja kapenee jokaisessa sukupolvessa jo pelkän satunnaisajautumisen vuoksi. Populaation koon lisäksi sen geneettisen pohjan laajuuteen vaikuttaa pitkällä aikavälillä kuitenkin myös valittu uudistamisstrategia. Pienen yksilömäärän vastapainoksi sukulaisuussuhteiden kontrollin on oltava tehokasta ja valinnan harkittua. Pitkántähtäyksen jalostusohjelmissa valintaa tehdäänkin tyypillisesti sukulaisryhmien sisällä ja risteytyksillä hillitään sukulaisuussuhteiden lisääntymistä, jotta populaation efektiivinen koko säilyisi korkeana mahdollisimman pitkään. Kun populaation geneettisen rakenteen käsittely on hallittua, voidaan osoittaa, että jo 40 - 50 yksilön kokoisessa populaatioissa additiivinen geneettinen vaihtelu kyetään säilyttämään hyväksyttävällä tasolla kymmeniä sukupolvia. Näin pieni populaatiokoko on riittävä myös sisäsiitoksen pysyttämiseksi alhaisella tasolla pitkällä aikavälillä. Tyypillinen ratkaisu sisäsiitosasteen kasvun patoamiseksi ja geneettisen pohjan pitämiseksi laajana on jalostuspopulaation jakaminen osapopulaatioihin, joita

jalostetaan toisistaan erillään ja joiden keskinäinen geenivaihto on kontrolloitua. Tämä on mm. Suomessa sovellettavan ydinpopulaatiojalostuksen lähtökohtana. Kotimaisten pääpuulajien maantieteellisten jalostuspopulaatioiden kooksi on määritelty 300 puuta. Tämä määrä turvaa riittävän geneettisen vaihtelun säilymisen samalla kun varsinainen intensiivinen jalostustyö kohdistuu kunkin jalostuspopulaation 50 parhaan puun muodostamaan ns. ydinjoukkoon.

Monimuotoisuuden säilyttäminen

Siitä huolimatta, että viljelymenetelmät tai metsänviljelyaineiston tuotanto eivät tällä hetkellä vähennä oleellisesti metsäpuiden geneettistä monimuotoisuutta, on monimuotoisuuden säilyminen haluttu varmistaa erityisten suojeluohjelmien avulla. Pääpuulajiemme geneettisestä suojelusta huolehditaan varaamalla geenireservimetsiä, jotka ovat luontaisesti syntyneitä ja jotka uudistetaan joko luontaisesti tai viljellen metsikön omasta siemenestä kasvatetuilla taimilla. Näiden metsiköiden minimikooksi on asetettu 100 ha, jotta turvataan riittävä metsikön sisäinen pölytys. Kullakin puulajilla pyritään luomaan noin kymmenen geenireservimetsän maantieteellisesti kattava verkosto, joka yhteensä turvaa myös ilmastollisen sopeutumisen ja adaptiivisen muuntelun säilyttämisen. Strategia sopii lajeille, joilla on voimakas geenivirta ja laaja, yhtenäinen levinneisyysalue.



Maamme ensimmäinen geenireservimetsä perustettiin vuonna 1991 Punkaharjun tutkimusalueeseen kuuluvaan Patasalon saareen.

Jalosen lehtipuiden esiintymät Suomessa sijaitsevat maantieteellisesti paljon rajoitetummalla alueella. Populaatiot ovat lisäksi hyvinkin pieniä ja toisistaan eristäytyneitä. Näyttää myös siltä, että nämä populaatiot ovat geneettisesti toisistaan erilaistuneita paljon enemmän kuin pääpuulajeillemme. Vaahteralla ja lehmuksella on valittu joitakin geenireservimetsiä, joissa pieniä esiintymiä koetetaan metsänhoitotoimenpitein auttaa laajenemaan. Jalosen lehtipuiden geneettisen suojelemisen päästrategia on kuitenkin toisen tyyppinen. Kullekin lajille perustetaan joko vartteilla tai siementaimilla kokoelmia, joihin kerätään yksilöitä useasta eri populaatiosta. Kokoelmat suojataan ja taimia hoidetaan intensiivisesti. Tuomalla yhteen eri populaatioiden sisältämää muuntelua laajennetaan geneettistä pohjaa, mikä palvelee myöhemmin myös siementuotantotarkoitusta.

Bioteknologisten menetelmien kehittyminen, lähinnä solukko viljelyn soveltaminen puiden monistamiseen, mahdollistaa kryopreservaaation käytön geneettisen monimuotoisuuden säilyttämisessä. Kryopreservaaatio on materiaalin varastointia hyvin alhaisissa lämpötiloissa, yleensä nestetyössä -196°C . Esimerkki tutusta kryopreservaaatiosta, syväjäädtyksestä, on siemennesteen syväjäädtyksistä keinosiemennystä varten.



Kryopreservaaation avulla voidaan mm. solukko viljelyyn soveltuvaa materiaalia säilöä pitkiäkin aikoja lähes -200°C lämpötilassa.

Kryopreservaatioissa käytettävät lämpötilat ovat niin alhaisia, että solujen aineenvaihdunta ja jakautuminen ovat pysähdyksissä, joten säilymisaika on teoriassa rajoittamaton. Kryopreservaation etuna muihin monimuotoisuuden säilyttämismenetelmiin nähden, pitkän säilyttämisaajan lisäksi, on varastoinnin aikainen vähäinen tila- ja työtarve, minkä lisäksi perintöaines on suojattuna ulkoisten olosuhteiden muutoksilta. Toisaalta kryopreservaation käytön edellytyksenä on lajin mikrolisäysmenetelmän hallitseminen.

Kryopreservaatiomenetelmä koivun perinnöllisen monimuotoisuuden säilyttämiseksi on jo kokeiluvaiheessa. Säilytettävänä materiaalina on koivun silmut, jotka suljetaan pieniin ampulleihin ja upotetaan nestetypeen. Kolmenkymmenenviiden litran vetoiseen säiliön voidaan varastoida 15 000 silmua. Kun säilötty perintöaines halutaan ottaa käyttöön, sulatetaan silmut ja viljellään koivun mikrolisäysmenetelmän mukaisesti. Silmujen kasvutulos viiden nestetyypessä säilytetyn vuoden jälkeen ei poikkea pakastamattomien silmujen kasvusta.

AIHEESEEN LIITTYVÄÄ KIRJALLISUUTTA

Annala, E. 1998 (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 705. 335 s.

Brown, A.H.D., Clegg, M.T., Kahler, A.L: ja Weir, B.S. 1990. Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources. Sinauer Associates Inc. 449 s.

Muona, O. ja Kärkkäinen, K. 1992. Effect of forest management on gene pools. *New Forests* 5:123-139.

Adams, W.T., Strauss, S.H., Copes, D.K. ja Griffin, A.R. (toim.). 1992. Population Genetics of Forest Trees. *Forestry Sciences Vol 42*. Kluwer Academic Publishers. 420 s.

Aronen, T. 1994. Puita ammutaan - panoksena DNA. Julkaisussa: Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta. Metsäntutkimuspäivä Olavinlinnassa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525: 93-103.

Haapala, T. ja Niskanen, A.-M. 1992. Pohjoisten puuvartisten kasvien mikrolisäys. VAPK-kustannus, Opetushallitus, Valtion painatuskeskus, Helsinki. 93 s.

Oksa, E. (toim.) 1995. Metsäntutkimus uusissa puissa: monistusta ja molekyylijä. Puuvartisten kasvien bioteknologia -kokous Punkaharjulla 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 574. 126 s.

Ryynänen, L. ja Viherä-Aarnio, A. 1994. Mikrolisätyt koivut - siemenviljelysten tulevaisuus? Julkaisussa: Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta. Metsäntutkimuspäivä Olavinlinnassa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525:75-83.

SANASTO

Adaptiivinen, sopeutuneisuuteen vaikuttava.

Additiivinen, samaan ominaisuuteen vaikuttava.

Alleeli, kromosomissa samaan lokukseen (sijaintipaikkaan) liittyvän geeniparin tai –sarjan jäsen.

Alleelifrekvenssi, tietyn alleelin (geenin) esiintymisrunsaus populaatiossa.

DNA, deoksiribonukleiinihappo eli perintöaines.

Hybridi, kahden toisilleen läheistä sukua olevan lajin risteymä.

Klooni, samasta yksilöstä peräisin oleva, perinnöllisesti identtinen yksilöjoukko.

Populaatio, ryhmä yhteistä alkuperää olevia yksilöitä.

QTL (quantitative trait loci), kvantitatiivisesti periytyvään ominaisuuteen vaikuttavat yksittäiset perintötekijät.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja sarjassa julkaistut Punkaharjun tutkimusaseman tiedonannot:

- Nro 263. Punkaharjun metsänjalostuspäivä 1986.
- Nro 372. Teijo Nikkanen. 1991. Punkaharjun puulajipuiston kehittäminen.
- Nro 525 Juhani Häggman ja Esko Oksa (toim.). Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta. Metsäntutkimuspäivä Olavinlinnassa 1993
- Nro 574 Oksa E (toim.). Metsäntutkimus uusissa puissa: monistusta ja molekyylijä. Puuvartisten kasvien bioteknologiakokous Punkaharjulla 1995.
- Nro 579 Oskarsson Ole. 1995. Silmällä tehty savotta. Pluspuiden valinnan historia ja arki.
- Nro 595 Aronen T. 1996. Genetic transformation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)
- Nro 641 Venäläinen Martti ja Koponen Matti. 1997. Metsää halutaan viljellä jalostetuilla siemenillä ja taimilla, kyselytutkimuksen tulokset.
- Nro 670 Oskarsson Ole ja Nikkanen Teijo. 1998. Metsäpuiden erikoismuotoja kultakuusesta luutakoivuun.
- Nro 709 Ruotsalainen Seppo ja Nikkanen Teijo. 1998. Kuusen siemenviljelyaineiston menestyminen Pohjois-Suomessa.
- Nro 728 Ryytänen Leena. 1999. Gryopreservation of buds and in vitro shoot tips of *Betula pendula*.
- Nro 730 Nikkanen Teijo, Karvinen Kaarlo, Koski Veikko, Rusanen Mari & Yrjänä-Ketola Leena. 1999. Kuusen ja männyn siemenviljelystä ja niiden käyttöalueet.
- Nro 740 Oskarsson Ole ja Nikkanen Teijo. 1999. Säreigna former av skogsträd från guldgran till kvastbjörk.

Muita saatavilla olevia Punkaharjun tutkimusasemaan ja alueeseen liittyviä painotuotteita:

Punkaharjun tutkimusalue. 1992.

Montellin reitti - kohdeselosteet. 1992

Punkaharjun luonnonsuojelualue ja tutkimuspuisto. 1994.

ISBN 951-40-1708-0
ISSN 0358-4283
Punkaharju 1999, KT-paino