

Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta

Metsäntutkimuspäivä Olavinlinnassa 1993

Juhani Häggman ja Esko Oksa (toim.)



Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
1993

Kannen kuva: Jouko Lehto

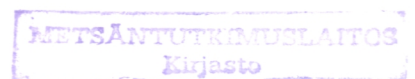
Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta

Metsäntutkimuspäivä Olavinlinnassa 1993

Juhani Häggman ja Esko Oksa (toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun tutkimusasema 1994

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525



Häggman, J. & Oksa, E. (toim.). 1994. Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta. Metsäntutkimuspäivä Olavinlinnassa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525. 103 s. ISBN 951-40-1392-1, ISSN 0358-4283.

Toimittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun tutkimusasema, Finlandiantie 18, 58450 Punkaharju 2 (puh. 957-644241, telefax 644333).

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun tutkimusasema. Hyväksynyt: Juhani Häggman, tutkimusaseman johtaja, 2.11.1994.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun tutkimusasema, Finlandiantie 18, 58450 Punkaharju 2.

Hinta: 50,00 mk

Sisällys

Lukijalle	5
Eljas Pohtila	
Tutkimuspäivien avaus	7
Veikko Koski	
Punkaharjun tutkimusmetsät ja perinteet - lahja jalostustutkimukselle	13
Tapani Pöykkö	
Onko Kanervan mänty ihannepuu?	17
Teijo Nikkanen	
Heinämäen kuusen siemenviljelys - kaikki ongelmat samalla paikalla	25
Seppo Ruotsalainen	
Perimä vai ympäristö: mikä ratkaisee siemenviljelysjälkeläistön kestävyuden?	35
Outi Savolainen	
DNA-merkit jalostuksen käytössä	47
Matti Rousi	
Koivun kasvu ja viljelyvarmuus	51
Egbert Beuker	
Suomen metsät ilmastonmuutoksen jälkeen: havupuut luonnossa vai Lustossa? .	59
Juhani Häggman	
Stressin kemiaa: polyamiinit metsäpuiden sopeutumisen mittareina	69
Leena Ryyänen ja Anneli Viherä-Aarnio	
Mikrolisätyt koivut - siemenviljelysten tulevaisuus?	75
Hely Häggman	
Geeninsiirrot metsäpuihin - "Jurassic Park" Punkaharjulla?	85
Tuija Aronen	
Puita ammutaan - panoksena DNA	93

Lukijalle

Punkaharjun tutkimusaseman tutkimuspäivät pidettiin 2.11.1993 varsin juhlavissa puitteissa yli 500 vuotta vanhan Olavinlinnan tiloissa. Tilaisuudessa esiteltiin tavalla tai toisella Punkaharjuun liittyviä metsänjalostustutkimuksia. Tutkimuspäivät olivat samalla yksi Metsäntutkimuslaitoksen 75-vuotisjuhlatahtumista. Punkaharjun tutkimusaseman tutkijoiden lisäksi tilaisuudessa esittelivät tutkimuksiaan apul.prof. Outi Muona (Oulun yliopisto), MMT Tapani Pöykkö (Metsänjalostussäätiö), prof. Veikko Koski (METLA/Vantaa), MML Anneli Viherä-Aarnio (METLA/Vantaa) ja MMK Seppo Ruotsalainen (Kolarin tutkimusasema). Tilaisuuden avasi ylijohtaja Eljas Pohtila. Paikalla oli vajaa 100 kuulijaa, joista ilahduttavan moni edusti käytännön metsäorganisaatioita, joille tämäntyyppiset tilaisuudet ovat etupäässä tarkoitettukin. Taukojen aikana osaanottajilla oli tilaisuus tutustua Punkaharjun puulajipuistoa esittelevään tietokoneohjelmaan ja Punkaharju-aiheiseen valokuvänäyttelyyn.

Punkaharjulla on tehty metsägeneettistä tutkimusta ja metsänjalostusta jo 70 vuoden ajan. Professori Risto Sarvaksen mukaan Punkaharju on ollut Suomen metsägeneettisen tutkimuksen keskuksia siitä asti kun Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun kokeilualue (nykyinen tutkimusalue) perustettiin vuonna 1924. Jo tuolloin Punkaharjulle istutettiin eri puulajien alkuperäkokeita Metsäntutkimuslaitoksen ensimmäisen johtajan, professori Olli Heikinheimon aloitteesta. Professori Heikinheimon kaukonäköisyyden johdosta nämä jo tukkipuuikään varttuneet kokeet tarjoavat tänä päivänäkin oivallisen tutkimusmateriaalin metsänjalostuksen uusimpien ongelmien selvittämiseksi.

Itse asiassa Punkaharjulla on ollut metsänjalostukseen liittyvää toimintaa jo paljon aikaisemmin kuin Metsäntutkimuslaitos perustettiin. Jo 1800-luvulla alettiin kiinnostua ulkomaisista puulajeista ja haluttiin selvittää löytyisikö niistä Suomessa hyvin menestyviä ja taloudellisesti merkityksellisiä vaihtoehtoja kotimaisten lajien rinnalle. Punkaharjun Laukansaareen perustettiin tällaisia viljelmiä jo 1870-luvulla. Tutkimusalueesta löytyy tosin vieläkin vanhempia puulajikokeita. Tunnetun teollisuusmiehen ja sahanomistajan Nils Ludvig Arppen istututtama Puhoksen lehtikuusikko on maamme vanhin. Punkaharjun tutkimusalueen ulkomaisten puulajien viljelmät ovat laajimmat Suomessa. Noin 150 ha kokonaisala pitää sisällään lähes 60 havupuuta ja yli 20 lehtipuulajia.

Metsänjalostustutkimus laajeni huomattavasti 1950-luvun vaihteessa. Tällöin alettiin valita koko Suomen alueelta ns. pluspuita jalostuksen perusmateriaaliksi. Ensimmäiset pluspuut valittiin Punkaharjulta. Tätä toimintaa johti silloinen Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston päällikkö, prof. Risto Sarvas. Punkaharju olikin prof. Sarvaksen intensiivisen tutkimuksen keskuspaikka. Hänen perustamansa kukkimis- ja siemensatotutkimukset johtivat mm. kuuluisan lämpösummateorian julkaisemiseen.

Professorien Heikinheimon ja Sarvaksen aloittaman tutkimusperinteen innoittamana on Punkaharjun tutkimusaseman metsägeneettinen tutkimus kehittynyt kansainvälisestikin ajatellen korkeatasoiseksi. Uusia haastavia aiheita on myöskin otettu tutkimuksen kohteeksi. Tällaisia ovat mm. biotekniikan hyväksikäyttö metsänjalostuksessa ja kuinka metsäpuumme ovat sopeutuneet ennustetun kasvihuoneilmion toteutuessa. Muita tutkittavia aihepiirejä ovat kestävyysjalostus, siementuotantotutkimukset ja jalostetun materiaalin testaaminen. Näitä tutkimuksia tehdään konkreettisellakin tasolla laajassa yhteistyössä sekä koti- että ulkomaisten tutkimuslaitosten kanssa. Ulkomaisia yhteistyökumppaneita on yli kymmenestä eri maasta. Tämän hetken "pop-aiheen" biodiversiteetin merkityksen metsänjalostajat ovat huomioineet jo vuosikymmenien ajan. Näitä ja muitakin Punkaharjuun tavalla tai toisella liittyviä tutkimusaiheita on esitelty tässä tutkimuspäiväjulkaisussa.

Juhani Häggman, tutkimusaseman johtaja

Tutkimuspäivien avaus

Eljas Pohtila

Toivotan teidät lämpimästi tervetulleeksi Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun tutkimusaseman tutkimuspäiville, jotka pidetään tänä vuonna poikkeuksellisen juhlassa ympäristössä. Ensimmäisenä päivänä heinäkuuta tuli kuluneeksi 75 vuotta siitä, kun METLA aloitti toimintansa. Olemme juhlistaneet merkkivuotta erilaisilla tapahtumilla, joista tämä tutkimuspäivä on yksi.

Ei liene yleisessä tiedossa, että merkittävän sysäyksen Metsäntutkimuslaitoksen perustamiselle antoivat suuret nälkävuodet 1867-68 ja niistä virinnyt kuolemanvakava kiinnostus hallailmiöön. Evon metsäopiston johtaja Bernhard Ericsson teki esityksen Metsäntutkimuslaitoksen perustamisesta meteorologian laitoksen yhteyteen metsän ja ilmaston välisen vuorosuhteen selvittämiseksi. Se kaatui kuitenkin senaatin vastustukseen. Varsinkin talonpoikaissäädyn edustajat suhtautuivat hankkeeseen epäluuloisesti: "Miksi metsää pitäisi tutkia, kun puut ovat tähänkin asti Luojan luomina itsekseen kasvaneet", he kysyivät. Valtiomies Snellmankin katsoi, että mitä metsistä tulee tietää, sen tietää jokainen suomalainen talonpoika luontojaan. - Taitaapa joku jakaa tuon käsityksen nykypäivänkin Suomessa.

Tunnettua on, että metsäntutkimuksen tieteellistä perustaa etsittiin sittemmin maaperätekiäjöiden vaikutuksesta metsien kehitykseen ilmastotekijöiden jäädessä vähemmälle huomiolle. A.K. Cajanderin metsätyyppiteoria oli se perusta, jolle metsäntutkimuksen instituutioita ryhdyttiin lopulta rakentamaan. Hänen ja A. Osw. Kairamon aloitteesta metsätieteellinen opetus siirrettiin vuonna 1908 Evolta Keisarilliseen Aleksanterin yliopistoon. Samaan aikaan Cajander laati myös muistion, jonka pohjalta oli tarkoitus perustaa metsähallituksen alaisuuteen Metsäntutkimuslaitos. Suunnitelma toteutui sortokauden ja maailmansodan vuoksi vasta vuoden 1917 lopulla. METLA pääsi aloittamaan toimintansa 1.7.1918, kun olot itsenäistyneessä Suomessa rauhoittuivat. Se oli aluksi metsähallituksen alaisuudessa, mutta irrotettiin pian omaksi, suoraan maa- ja metsätalousministeriön alaiseksi yksikökseen.

METLAn historia kietoutuu tiiviisti yhteen itsenäisen Suomen vaiheisiin, yhtäläillä nousu- kuin laskukausiinkin. Metsäntutkimus on osaltaan auttanut maamme nousemaan köyhyydestä siihen hyvinvointiin, josta olemme pitkään, aivan viime aikoihin asti, saaneet nauttia. Metsätaloutemme pääperiaatteet ovat - päinvastoin kuin ehkä yleensä kuvitellaan - tutkijoiden hahmottelemia. Sanottu pätee myös

maassa harjoitettuun metsäpolitiikkaan. Tuloksekas, vaikuttava toiminta koko valtakunnan kannalta tärkeällä alalla on tehnyt mahdolliseksi, että alunperin pienestä, kolmen professorin "Metsätieteellisestä koelaitoksesta" on kehittynyt nykyinen suuri, noin 800 hengen Metsäntutkimuslaitos, joka on tietääkseni alansa suurin koko Euroopassa. Sellaisena se edustaa ainutlaatuista osaamisen ja asiantuntemuksen keskittymää paitsi meidän omissa kotinurkissamme myös maailmalla.

Nykyisin kiinnitetään päähuomio tutkimuksessakin taloudellisiin seikkoihin. Toiminnan henkisiä ulottuvuuksia ja merkitystä ei pitäisi kuitenkaan vähätellä. Pienen kansan voima ja koko olemassaolon oikeutus on sivistyksessä ja kulttuurissa sanoin, J.W. Snellman. Uskon, että hänkin olisi lopulta myöntänyt, että metsäntutkimuksella on ollut kansakuntamme menestymiselle hyvin monitahoinen merkitys. Ajattelen tässä vaikkapa valtakunnan metsien inventointia. Kuva inventointiryhmästä, joka hellittämättä samoa mittalaitteineen loputtomia metsiä valtakunnan rajalta toiselle, on syöpynt lähtemättömästi suomalaisten mieliin. Sillä on, niin väitän, pysyvä sija kansallisten symboliemme joukossa.

Tätä juhluvuotta on voitu viettää siinä mielessä turvallisella mielellä, että METLAN loppu ei ole näköpiirissä, mitä samaa ei voida sanoa kaikista valtion laitoksista. Suora valtion rahoitus on kuitenkin meilläkin supistumassa, mikä pakottaa entistä suurempaan säästäväisyyteen ja selvittämään rahoitus pohjan laajentamismahdollisuuksia. Laitosta on välttämätöntä uudistaa. Yleistavoite on saada voimavarojen liikuttelu ja uudelleen suuntaaminen entistä joustavammaksi. Olemme luopuneet tieteenalakohtaisesta hallinnosta ja siirtyneet väljempiin toiminnallisiin puitteisiin, joissa ongelmakeskeinen projektityöskentely on paremmin mahdollista. Tieteestä ei ole tarkoitus luopua, mutta on lähdetty siitä, että tiede syntyy käytännön toiminnasta eikä hallinnollisista säädöksistä. Toiminta-ajatuksiksi on kiteytynt: "METLA ratkaisee metsiä koskevia ongelmia tutkimuksen keinoin".

METLALLA on nykyisin kahdeksan maakunnallista tutkimusasemaa. Vanhin, Parkanon tutkimusasema, perustettiin vuonna 1961 ja nuorin, Punkaharjun tutkimusasema 1987. Muut tutkimusasemat ovat ikäjärjestyksessä: Kolari (1964), Muhos (1969), Rovaniemi (1970), Suonenjoki (1981), Joensuu (1981) ja Kannus (1987). Tutkimusasemainstituutio hahmoteltiin aikoinaan Yrjö Ilvessalon johtamassa metsäntutkimuskomiteassa, joka jätti mietintönsä vuonna 1960.

Useimmilla tutkimusasemilla on monivaiheinen syntyhistoriansa, joka yleensä liittyy valtionmaiden käyttöön tutkimustarkoituksiin. Esimerkiksi Kolarin tutkimusasema on perua valtion koetilasta, jolla viljeltiin heinää hevosille. Kun hevoset loppuivat Suomesta, mietittiin mikä laitos olisi sopiva jatkamaan toimintaa ja keksittiin, että se on METLA. Parkanon tutkimusaseman synty liittyy Karvian varavankilan toiminnan

laantumiseen. Kun mietittiin, mikä olisi sopiva laitos jatkamaan toimintaa vankilan jälkeen, keksittiin, että METLAn se on. Tutkimusasemista vain muutama on perustettu laitoksen oman tahdon ja suunnittelun mukaisesti. Punkaharjun tutkimusasema kuuluu niihin.

Tutkimusasemia on usein edeltänyt "koeasema", joka aluksi saattoi tarkoittaa miltei mitä tahansa laitoksen pienehköä toimipistettä, mutta jolla nimellä sittemmin alettiin kutsua tiettyyn tutkimussuuntaan erikoistunutta alueellista toimipistettä. Sellainen oli mm. "Punkaharjun jalostuskoeasema", joka perustettiin virallisesti vuonna 1965. Sittemmin "koeasema"-nimikkeestä on luovuttu ja koeasemat korotettu "tutkimusasemiksi".

Metsäntutkimuslaitoksen 220 tutkijasta kolmannes on sijoitettu nykyisin tutkimusasemille. Koko henkilökunnasta runsas puolet työskentelee maakunnissa. Metsäntutkimuslaitoksella on hallinnassaan tutkimusalueita eri puolilla Suomea yhteensä 140 000 hehtaaria, jotka on nykyisin liitetty hallinnollisesti tutkimusasemiin. Koko maan kattava tutkimusasema- ja tutkimusmetsäverkko helpottavat valtakunnallisten tutkimusotteiden aikaansaamista, mikä on ollut METLAn vahvuus. Tutkimusmetissä tehdyillä pitkäaikaisilla kokeilla ja seurantatutkimuksilla on ollut ja on tulevaisuudessakin suuri merkitys niin tutkimuksen kuin käytännön metsätaloudenkin edistymiselle. Pelättyjen ympäristömuutosten mahdollisesti toteutuessa tutkimusmetsiin perustetuista puulaji-, alkuperä- ym. kokeista saadaan suunta uudelle metsänhoidolle. Hakkuumahdollisuuksien jatkuva vajaakäyttö ja luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen vaativat ilmeisesti uudenlaisia metsänkäsittelytapoja, jotka on paras kokeilla ensin tutkimusmetsissä. Luonnonsuojelualueista saadaan vertailu talousmetsille.

Tutkimusasemien perustamiseen suhtauduttiin aikoinaan niin laitoksen sisällä kuin ulkopuolellakin suurin epäilyksin. Pelättiin tutkimusten tieteellisyyden kärsivän, kun ne tehdään kaukana tieteen metropoleista. Pelättiin myös asemilla työskentelevien tutkijoiden joutuvan henkisesti kohtalokkaalla tavalla eristyksiin muusta tiedeyhteisöstä. Sen estämiseksi asemista haluttiin suuria, ja mallina pidettiin silloin eräitä pohjoisamerikkalaisia yksiköitä. Rovaniemeä, Joensuuta ja Suonenjokea lukuunottamatta tutkimusasemat ovat tutkijamäärältään edelleenkin suhteellisen pieniä.

Kokonaisuutena tarkastellen tutkimusasemat ovat olleet METLAlle suuri menestys. Asemainstituution rakentaminen on ilmeisen sopivasti rikkonut vanhaa järjestystä ja synnyttänyt tervettä kilpailua. Se osaltaan on ollut murtamassa "tieteen monopoleja", jotka yhteen aikaan koettiin suureksi ongelmaksi. Tutkimuksia ilmestyy asemilta suhteellisesti enemmän kuin keskusyksiköstä. Merkille pantavaa on ollut nimenomaan väitöskirjojen ja muiden opinnäytetöiden runsaus asemilla.

Tutkimusasemia perustettaessa ajateltiin, että niissä työskentelevät tutkijat ovat "lähempänä metsää" kuin keskusyksikössä työskentelevät tutkijat ja että aseman tutkijat joutuvat väkisinkin tekemisiin käytännön metsätalouden ongelmien kanssa. Sen pitäisi synnyttää ongelmakeskeisiä, poikkitieteellisiä tutkimushankkeita. Tutkimusten käytännön läheisyys on aina jonkin verran tulkinnanvarainen asia. "Käytännönläheisyys" on mielestäni kuitenkin kohtuullisesti toteutunut. Tiedän, että käytännön metsätalouden edustajat eivät välttämättä ole kanssani samaa mieltä, mutta tutkimukselle tulee sallia myös oma itseisarvonsa ja motivaationsa.

METLAn ulkoiseen kuvaan tutkimusasemilla on ollut etupäässä myönteinen vaikutus. Tuo kuva ei liene kovin hyvä nykyisin, mutta ilman tutkimusasemia se olisi todennäköisesti vielä huonompi. Tutkimusasemien olemassaolo ilmeisesti pelasti laitoksen keskusyksikön hajasijoitukselta, mistä helsinkiläiset metsäntutkijat saavat olla asemille kiitollisia.

Tutkimusasemien vaikutus ympäristöönsä on luultavasti paljon suurempi kuin mitä voi suoraan päätellä valmistuvista tutkimuksista ja niiden tulosten soveltamisesta käytäntöön. Asemat ovat lisänneet yleistä mielenkiintoa koko metsäalaa kohtaan ja ehkä sijaintipaikkakunnillaan myös hillinneet "aivovuotoa" maakunnista pääkaupunkiseudulle ja ulkomaille, mikä yhdentyvässä Euroopassa voi nopeastikin köyhdyttää syrjäseutujen elämän.

Tutkimusasemille asetetut tavoitteet on mielestäni ainakin kohtuullisesti saavutettu. Jänteviä, ongelmakeskeisiä poikkitieteellisiä projekteja saisi kernaasti olla enemmän. Niissä on pohjimmiltaan kysymys tutkijoiden yhteistyökyvystä ja -halusta. Tutkimustyön ydin on yleensä henkistä laatua eikä ketään voida pakottaa yhteistyöhön. Hallinnolliset esteet yhteistyöltä pitäisi kuitenkin raivata tarkkaan pois. Kun METLAn uudistamista ja kehittämistä jatketaan, tutkimusasemien itsenäisyyttä, toimivaltaa ja samalla tulost vastuuta tullaan entisestään vahvistamaan.

Joudumme jatkuvasti mukauttamaan toimintaamme ympärillämme tapahtuviin muutoksiin. Oikeutettuna pidän vaatimusta METLAn jatkuvasta osallistumisesta metsäpolitiikan muotoiluun - tietenkin tutkimuksen keinoin. Nyt kun jälleen ikäänkuin seisomme uuden ja vanhan rajalla, jossa vanha metsäpolitiikka on menettänyt voimansa, mutta uudesta ei ole tietoa tai se ei vielä vaikuta, tuo tehtävä saa erityistä merkitystä. Yleismetsähallinnon keskeinen haaste kaikesta päätellen on entistä ympäristötietoisemmän metsäpolitiikan toteuttaminen. Tarvitaan metsäekosysteemin toiminnan ymmärtämistä sekä "vihertyneestä" metsänomistajakunnasta ja samoin "vihertyneistä" metsätuotteiden koti- ja ulkomaisista asiakkaista lähtevää toimintaa.

Kenties suurin haaste tänä päivänä tulee meille metsäalan kansainvälistymisen lisääntymisestä. Tarvitsisimme Euroopan metsistä ja pian kai koko maailman metsistä yhtä hyvät tiedot kuin mitä meillä on omista metsistämme. Metsäalan kansainvälistä toimintaa kehitetään parhaillaan monella tasolla. Mitä nimenomaan tutkimukseen tulee, kansallinen etumme mielestäni vaatii, että saamme ainakin osan ETA-sopimuksen perusteella maksettavaksi lankeavista tutkimusrahoista takaisin suomalaisten käyttöön. Kyse on kaikkiaan noin miljardista markasta. Olemme tehneet laitoksessa järjestelyjä, jotka tähtäävät nimenomaan tähän, ja uskon, että meillä on tässäkin menestymisen mahdollisuuksia. Kuten professori Risto Sarvas jo 25 vuotta sitten laitoksen viettäessä 50-vuotisjuhliansa totesi, pieni maa ei voi ponnistaa kansainvälisesti merkittäviin saavutuksiin kaikilla tieteen aloilla. Metsätieteiden alalla Suomi on kansainvälisesti jo tunnettu ja asemaamme tulee tässä suhteessa määrätietoisesti kehittää.

METLAn kohtalo on sidoksissa koko toimialan, metsäsektorin kehitykseen, joka taas vaikuttaa ratkaisevasti koko Suomen menestymiseen. Nämä kytkennät motivoivat, niin uskon, meitä kaikkia ponnistelemaan näinä aikoina entistä lujemmin metsäntutkimuksen, metsätalouden ja koko isänmaamme parhaaksi. Tässä uskossa avaan nämä tutkimuspäivät.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
 Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Punkaharjun tutkimusmetsät ja perinteet - lahja jalostustutkimukselle

Veikko Koski

Punkaharju tuo monille mieleen vain kauniin kansallismaiseman, jossa karu ja kapea kulkureitti johtaa järvien poikki. Metsäntutkijoille Punkaharju on kuitenkin nimenomaan Laukansaari, jossa maat ovat suureksi osaksi tasaisia ja viljavia. Maantieteellinen sijainti lämpimän kesän alueella sekä ympäröivistä järvistä aiheutuva suotuista pienilmasto edistävät metsäpuiden menestymistä. Kokonaan ei pidä sulkea pois sitäkään mahdollisuutta, että kaunis elinympäristö kannustaa myös tutkijoita hyviin suorituksiin.

Suomalaisessa metsäntutkimuksessa on ollut kaksi keskeistä aihepiiriä, joihin on suunnattu mielenkiintoa jo 1800-luvulta alkaen. Ne ovat ensiksi metsien uudistuminen ja erityisesti siemensadon vaihtelu, ja toiseksi ulkomaiset puulajit.

Kukkiminen ja siemensato ovat olleet siitä syystä tärkeitä tutkimuskohteita, että hyviä siemensatoja ei ole läheskään joka vuosi. Erityisesti Pohjois-Suomessa siemensatojen harvinaisuus hidastaa ja rajoittaa sekä luontaista että keinollista uudistamista. Kiinnostus ulkomaisiin puulajeihin johtuu mm. siitä, että luonnonvaraisia havupuita on meillä kovin vähän eikä lehtipuidenkaan lukumäärä kovin korkealle nouse. Joku muualta siirretty puulaji saattaisi hyvinkin osoittautua edulliseksi myös puuntuotannossa. Eksoottien viljelyssä on tietysti aina oma viehätöksensä dendrologian ja lajiston monipuolistamisen vuoksi. Puulajien siensiirtokokeet eli proveniensiikkokeet tai maantieteellisten alkuperien vertailukokeet, ovat perusteiltaan hyvin lähellä puulajikokeita. Voisiko kuitenkin olla niin, että "vieras rotu" olisikin parempi puuntuotaja kuin paikallinen "maatiainen".

Punkaharjulla on ollut niin puulaji- ja proveniensiikkokeissa kuin siemensatotutkimussissakin edelläkävijän asema maassamme. Ensimmäiset laajat ja onnistuneet viljelyt vieraila puulajeilla, siperianlehtikuusella ja euroopanlehtikuusella tehtiin täällä. Kiteen lehtikuusimetsä vuodelta 1843 kuuluu Punkaharjun tutkimusalueeseen.

Laukansaaren vanhat lehtikuusikot 1870-luvulta, erityisesti Montellin lehtikuusikko, ovatkin yleisesti tunnettuja. Valtaosa Punkaharjulla olevista puulaji- ja provenienssikoikeista on perustettu pian sen jälkeen, kun alue siirtyi Metsäntutkimuslaitoksen hallintaan v. 1924.

Metsäpuiden siemensadon järjestelmällinen mittaaminen alkoi Suomessa v. 1924. Tällöin Olli Heikinheimo perusti Punkaharjulle, lähelle Valtionhotellia, männikköön koealan numero I. Mittaus tuolla paikalla jatkui 50 vuotta ja sen jälkeenkin mittausarja jatkuu Punkaharjulla toisessa männikössä. Meillä on siis 70 vuoden aikasarja siemensatojen vaihtelusta. Tästä Punahussilan koealasta nro I kehittyi vuosikymmenten mittaan suuri ja monihaarainen tiedonpuu. Punkaharjulla on tietysti ollut paljon muutakin, jolla on ollut suuri merkitys tutkimuksen edistymiselle. Tässä tilaisuudessa rajoitun tähän kehityskulkuun, jossa olen itsekin saanut olla osallisena.

Heikinheimo julkaisi tuloksia metsäpuiden siemensatojen määristä ja vaihteluista vuosina 1932, 1937 ja 1948. Heikinheimon jäätyä eläkkeelle v. 1952 hänen työtään jatkoi Risto Sarvas. Kuten Heikinheimo aikoinaan Sarvas oli metsänhoidon professorin lisäksi koko laitoksen johtaja vuosina 1956-62. Tältä paikalta hänelle oli mahdollista aikojen ja taloudellisten edellytysten vähitellen parantuessa laajentaa siemensatotutkimukset sellaisiin mittasuhteisiin, joita näinä aikoina on vaikea enää todeksi uskoa. Koealoja oli kautta Suomen ja lisäksi joukko vielä ulkomailla. Mukana oli myös ulkomaisten puulajien metsiköitä, eniten Punkaharjulla. Muutenkin Punkaharjulla oli ylivoimaisesti koealoja sekä näytteitä tutkivaa henkilökuntaa. Jonkun kuvan tutkimuksen laajuudesta antaa se tieto, että siinä parhaimmillaan oli samanaikaisesti yli sata henkilöä töissä.

Sarvas ei tyytynyt vain rekisteröimään kukinnan ja siemensadon vaihteluita, vaan hän halusi selvittää vaihtelun syitä. Yhtenä avaintekijänä hän piti siitepölyn ja pölytyksen mittaamista. Mänty, kuusi ja koivut ovat tuulipölytteisiä ja niiden kukinta tapahtuu muutaman päivän jaksossa kevään kuluessa. Pölytyksen määrän mittaamisessa tuli todellinen ongelma siitä, milloin mittaus pitää panna alulle. Mittarit sijoitettiin suurten puiden latvoihin, joskus jopa yli 30 metrin korkeuteen ja niitä piti päivystää ympäri vuorokauden. Jos jonain vuonna myöhästyttiin, niin seuraavana piti odottaa kuukausi. Kukkuminen ei nimittäin tapahdu almanakan mukaan, vaan vaihtelee kovasti vuodesta toiseen.

Sarvas totesi, että puiden kukkimisessa pätee lämpösummakalenteri paljon paremmin kuin tavallinen kalenteri. Tästä havainnosta koko tutkimus sai uuden suunnan. Kohteeksi tuli nyt puiden vuosirytytmi ja niiden sopeutuminen ilmastoon. Tuloksena olivat vuosina 1965-1974 julkaistut vuosisyklimalit. Sarvas yritti selittää koko ilmiön pelkästään lämpötekijän avulla, mikä oli ristiriidassa silloin vallinneen päivänpituus-

teorian kanssa. Sarvaksen pysyvä ansio ja opetus ovat metodiikassa. Empirisen havainnon pohjalta hän kehitti mallin, jota sitten testattiin kokeellisesti. Laitteet ja varusteet olivat tuolloin hyvin alkeellisia, mutta kekseliäisyydellä ja tinkimättömällä työllä saatiin ihmeitä aikaan. Sarvaksen syklimalli, jossa ovat osina aktiivivaihe, syys-horros ja talvihorros, on jatkuvasti antanut aineksia uusiin kehitelmiin.

Yksi tarina on kuinka 1970-luvulla käytiin kokeilemaan kasvihuonekokeilla, onko Sarvaksen lämpösummamalli oikeassa, vai ns. päivänpituusmalli. Kokeiden tulos oli varsin riemastuttava - kumpikaan malli ei yksin ole oikeassa, vaan ne pitää yhdistää. Loppukesällä kasvun päätyminen ja sen jälkeen talveen valmistautuminen säätyvät lämpösumman ja yön piteuden yhteisvaikutuksesta. Tästä havainnosta voi tehdä kaksi tärkeää päätelmää: 1. puut eivät ole yhden ympäristötekijän varassa vuosirytmien säätelyssä ja 2. puilla on joustoa tai sopeutuneisuutta vuosien väliseen vaihteluun. Tällä joustolla tuntuukin olevan tästä eteenpäin todella suuri merkitys. Ennen tämän asian tarkempaa selvittämistä eräs sivuhaara. Kokeissa kasvatettiin ja mitattiin koi-vun taimia kasvihuoneissa. Talvilevon ajaksi taimet siirrettiin ulos kasvihuoneen pi-halle. Keväällä kuitenkin nähtiin, että myyrät olivat tehneet hävityksen taimilaati-koissa, eikä alkuperäistä koetta enää voitu jatkaa. Matti Rousi kuitenkin pani merkil-le, että myyrät olivat valinneet syötävänsä alkuperän perusteella. Tästä tuli virikettä ajatukselle tutkia puiden ja kasvin syöjien suhteita ja mahdollisuuksia torjua myyrrien ja jänisten tuhoja jalostuksen keinoilla.

Vuosirytmikokeiden tulos osoitti selvästi joustavuutta puiden ilmastoon sopeutu-misessa. Tämä jousto selvittää sen, että puut sietävät melkoisia siirtoja, joskaan ei nyt mitä tahansa. Vanhoissa provenienssikokeissa puut ovat kasvaneet vuosikym-meniä niille vieräessä ilmastossa. Kun puheet ilmaston muuttumisesta kasvihuone-ilmion voimistumisen seurauksena alkoivat, tuli markkinoille heti ennustajia, jotka manasivat tuhoa Suomen metsille. Meillä on onneksi mahdollisuus testata tämä väite analysoimalla vanhoista kokeista saatuja tuloksia.

Tämä lyhyt historia kertoo, miten arvokasta on olla valmiiden aineistojen ja kouliin-tuneen henkilöstön avulla tutkimassa metsänjalostuksen perusteita. Punkaharjulla on tietysti uudempia kerrostumia, jotka ovat luomassa omaa kehityskulkuaan. Esim. biotekniikka lähti edistymään Punkaharjun erikoisuudesta Olli-visasta, jota triploidian takia ei voida siemenistä lisätä. Vanhoissa puulaji- ja provenienssikokeissa koejä-senet kasvavat yleensä suurina ruutuina, joissakin tapauksissa oikeastaan metsikköinä. Näissä puitteissa on mahdollista tutkia yksilöitten välisiä geneettisiä eroja uusilla tutkimusmenetelmillä. Monessa muussa maassa vastaavat kokeet on järjestetty pie-nillä ruuduilla tai rivikokeina, joista heikommin menestyvät alkuperät ovat säännön mukaan eliminoituneet vuosien mittaan. Punkaharjulla olevat laajat pluspuuko-

koelmat ja jälkeläiskokeet sisältävät sukupuultaan tunnettua materiaalia, joka sopii esim. ominaisuuksien periytymismekanismeja selvittäviin tutkimuksiin.

Erityismaininnan ansaitsee myös ns. Kanervan mänty, joka valittiin erikoispuuna 22.6.1955 kantapuiden joukkoon erityisen kapean ja sopusuhtaisen latvuksensa takia. Puun merkitsi silloinen Metsäntutkimuslaitoksen aluemetsänhoitaja Yrjö Kanerva, jonka ansiot Punkaharjun ulkolaispuiden ja provenienssikokeiden hoitamisessa ja kasvattamisessa ovat suuret. E 1101 on jälkeläistensä kautta tullut "Kaikkien Ideotyyppien Isäksi" ja tunnetuksi monessa maassa. Melko lailla sattuman kautta se kerran valittiin yhdeksi niistä neljästä isäpuusta, joita käytettiin laajoissa risteytysarjoissa.

Punkaharjulla olevat aineistot ja siellä tehdyt työt ovat tuottaneet useita tunnustettuja ja tunnettuja julkaisuja. Olen edellä varsin laajasti käsitellyt professori Sarvaksen siemensatotutkimusta ja siitä myöhemmin versoneita uusia haaroja. Olen tehnyt tämän siitä syystä, että juuri tuo, nykyaikaisella nimellä "tutkimusohjelma", 1960-luvulla toi ympärivuotisen tutkimustyön Punkaharjulle ja oli suurelta osin vaikuttamassa siihen, että myöhemmin perustettiin tutkimusasema. Nämä aineelliset ja henkiset perintökalleudet tekevät todellakin Punkaharjusta aarreaitan metsägeneettiselle tutkimustyölle.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
 Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Onko Kanervan mänty ihannepuu?

Tapani Pöykkö

Kanervan mänty

Kanervan mänty, kantapuu E 1101, on parhaiten tunnettuja puuyksilöitä. Kun metsänjalostuksesta on haluttu tiedottaa, se on yleensä ollut näyttävästi esillä. Syynä tähän on, että sen jälkeläisten joukosta löytyy helposti selkeitä ja suureen yleisöön meneviä esimerkkejä, mm. vertailupareja, joilla voidaan oivallisesti havainnollistaa metsänjalostuksen tuloksia ja mahdollisuuksia. Tämä erikoinen piirre johtuu siitä, että Kanervan männyn jälkeläiset muodostavat usein laajan kirjon hyvälaatuisista huonolaatuisiin puihin. Poikkeuksellisten ominaisuuksiensa vuoksi Kanervan männystä on kirjoitettu artikkeleita (Kärki 1983, 1984, 1985), siitä on tehty tutkimuksia (Mikola 1985, Rusanen & Velling 1986, Kuuluvainen et al. 1988, Kuuluvainen & Kanninen 1992, Pöykkö 1993, Pöykkö & Velling 1993) ja siihen on viitattu suoraan tieteellisissä julkaisuissa (Kärki & Tigerstedt 1985, Mikola 1985, Dickmann 1985, Velling 1988, Pulkkinen et al. 1989). Puuta ja sen jälkeläisiä on myös valokuvattu enemmän kuin yhtäkään muuta kantapuuta ja kuvat ovat levinneet laajalle, jopa kansainväliseen metsäjalostuksen oppikirjaan (Zobel & Talbert 1984). Puun tutkimus on synnyttänyt uusia metsänjalostuksen käsitteitä, joilla kuvataan männyn kasvu- muotoja ja erityisesti männyn latvuksen erilaisia muotoja (mm. Kanerva-tyyppi (kanerva, kanerva-type) ja villi-tyyppi (wild, wild-type ym.) (Kärki 1983, Pöykkö 1993).

Kanervan mänty on myös kiistelty puu. Se on ollut kiistelyn kohteena lähes koko metsänjalostuksen historian ajan jakaen metsänjalostajat kannattajiinsa ja vastustajiinsa. Puun merkitystä ja asemaa metsänjalostusaineistossa on arvoitu aika ajoin jopa varsin voimakkain äänenpainoin. Lausuntoja on annettu puolesta ja vastaan. Tuskin kukaan jalostustyössä mukana ollut on voinut jäädä kylmäksi asialle tai välttää mielipiteen antamista. Tähän astinen keskustelu voitaneen tiivistää ehkä seuraavasti: Kannattajat liittävät sen läheisesti viljelypuun ideotyyppi-käsitteeseen. Sen runkopuuvaltaista puutyyppiä pidetään jopa niin ihanteellisena puuntuotantoon, että sen ympärille on laadittu korkeita tavoitteleva jalostusohjelma (Pöykkö 1987). Toisaalla epäillään voimakkaasti sen kelvollisuutta pluspuiden joukkoon ja siten sen

käyttöä jalostustyössä. Ristiriitaisuutta osoittaa myös se, että Kanervan mäntyä ei ole mm. hyväksytty siemenviljelyyn, mutta siitä huolimatta Metsäntutkimuslaitoksen kantapuu-rekisterissä, joka muodostuu pääasiassa pluspuista ja erikoispuista, se on kuitenkin luetteloitu pluspuuksi.

Itse kantapuu kasvaa, aiheuttamastaan kohusta tietämättömänä, Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun tutkimusalueessa Laukansaaressa lähellä dendrologista puistoa Kokkonniemeen menevän tien varressa. Kantapuukortin mukaan sen on merkinnyt metsäjalostusaineistoon aluemetsänhoitaja Yrjö Kanerva vuonna 1955, mutta merkintätyössä hänen kanssaan on ollut myös metsänhoitaja Lauri Kärki, joka jalostajana lienee tehnyt lopullisen valintapäätöksen. Kärjen mukanaolo ei käy ilmi suoraan E 1101 kantapuukortista, mutta paljastuu samanaikaisesti valitun kantapuu E 1102:n kortista. Tosin tähän korttiin on merkitsijäksi kirjattu yksinkertaisesti vain Kärki, mutta ilman epäilyksen häivääkään kysessä on Lauri Kärki, suuri jalostuspersoonana ja vaikuttaja, joka jo tuolloin palveli Metsänjalostussäätiötä eli sen aikaista Metsäpuiden rodunjalostussäätiötä.

Kummankaan puun löytöhistoriaa ei ole sen tarkemmin selvitetty. Liekö Kanerva alueella liikkueensa kiinnittänyt huomiota erikoiseen puuhun ja kertonut havainnoistaan sopivassa tilaisuudessa Kärjelle? Yhteisellä merkintämatkalla on löydetty myös poikkeuksellisen näköinen nuorempi puu, E 1102. Sen lisäksi, että E 1102 kasvaa aivan E 1101:n vieressä, ne ovat hyvin samannäköisiä, kuin sukulaisia suoraan alenevassa polvessa. Kärki oletti, että E 1102 on Kanervan männyn jälkeläinen. Epäilyksensä hän kirjasi myös molempien puiden kantapuukortteihin. Merkillistä kyllä, sukulaisuussuhdetta ei ole myöhemmin asetettu kyseenalaiseksi eikä tarkemmin selvitetty, vaikka sen luulisi olevan mielenkiintoinen haaste metsägeneetikoille.

Kärjen huomiota herättävän suuri kiinnostus Kanervan mäntyä kohtaan juontanee juurensa jo tältä merkintämatkalta. Hän lienee ensimmäisenä jalostajana, Yrjö Kanervan opastuksella, pannut merkille puun erikoisen latvusmuodon sekä sen hämmästyttävän yhdennäköisyyden E 1102 kanssa. Latvuksen kapeus ja puiden yhdennäköisyys tekivät häneen lähtemättömän vaikutuksen. Tähän viittaa mm. kantapuukortissa oleva maininta Kanervan männyn latvuksen "erityisestä kapeudesta, vaikka puu on kasvanut 20 vuotta vapaassa tilassa aukon laidassa". Sen tyylillä viittaa selvästi Kärkeen. Puut yhdessä osoittivat hänelle konkreettisella tavalla geenien tehon ja mahdollisuudet. Pitkän jalostajan uransa aikana Kärki puhui usein "solakasta puusta ja sen sutjakoista lapsista" ja toi esille niiden erikoisia ominaisuuksia aina kun vain sai siihen tilaisuuden. Nämä tarkastelut hioituivat myöhemmin viljelypuun ideotyyppiksi (Kärki 1984, 1985, Kärki & Tigerstedt 1985).

Kärjen voimakas persoona, luottamus intuitioon ja intensiivinen esiintyminen johti herkästi ristiriitoihin muiden jalostajien kanssa aiheuttaen ajoittain hyvinkin värikkäitä keskusteluja, joiden myönteisenä puolena oli toisaalta, että ne pitivät jalostajat aktiivisina ja hereillä. Erityisen vilkasta keskustelu oli 1980-luvun alkupuoliskolla, jolloin metsänjalostus eli voimakkaan kehityksen ja innovaation aikaa. Tämä näkyi erityisesti Kanervan mäntyyn perustuvan viljelymännyn ideotyypin edelleen kehittämisessä, johon osallistuivat useat merkittävät metsänjalostajat ja fysiologit (Dickmann 1985, 1992, Mikola 1985, Kellomäki 1986, Kellomäki et al. 1986, Tigerstedt & Velling 1986, Velling 1988, Pulkkinen et al. 1989).

Kanervan männyn kapea, mutta syvä ja elinvoimainen latvus sekä pitkä, täyteläinen ja erittäin vähän kapeneva runko ovat ominaisuuksia, jotka ovat viehättäneet kaikkia jalostajia. Oksat lähtevät rungosta suorassa kulmassa ja ovat yllättävän ohuita ja lyhyitä. Puun jykevä runko muodostaa voimakkaan kontrastin kapean lavuksen kanssa. Pahaksi onneksi keskellä runkoa on kuitenkin voimakas mutka. Mutka on niin hallitseva, että sen perusteella jokin muu, normaalimpi pluspuu-ehdokas olisi varmasti tullut hylätyksi. Mutka onkin ollut eräs tärkeä peruste vaadittaessa Kanervan männyn siirtämistä pluspluiden joukosta erikoispuiden joukkoon. Vaatimukset voimistuvat entisestään, kun kävi ilmi että tämä mutkarunkoisuus on voimakkaasti periytyvä, tullen ilmi lähes puolessa jälkeläistä (Mikola 1985). Se on myös voimakkaasti kytkeytynyt Kanervan männyn "hyvien ominaisuuksien" periytymiseen.

Padasjoen männyt

Kanervan mäntyä on käytetty jo vuosia runsaasti risteytystyössä pääasiassa isäpuuna ja sen jälkeläisiä kasvaa sankkoina joukkoina eri puolilla Suomea. Varsin pian koeviljelysten istutusten alettua näistä jälkeläistöstä havaittiin, että ne jakautuvat selkeästi kahteen ryhmään: kapea- ja leveälatvaisiin yksilöihin (Kärki 1983). Erityisen tunnettuja ovat eräät Metsäntutkimuslaitoksen kenttäkokeessa No: 396/2 Padasjoella kasvavat yksilöt. Niiden kuvat ovat levinneet laajalle (Kärki 1983, Zobel & Talbert 1984, Pöykkö 1993). Kuvissa voidaan nähdä erittäin sopusuhtaisia puita, joiden runko, päinvastoin kuin isänsä runko, on suora. Ne lähentelevät ulkoisilta ominaisuuksiltaan jalostajan ihannepuuta.

Erikoista on lisäksi, että Kanervan männyn jälkeläistöt näyttävät jakaantuvat näihin kapea- ja leveälatvaisiin yksilöihin suhteessa 1:1 eli molempia tyyppisiä syntyy jälkeläisten joukkoon yhtä paljon (Mikola 1985, Pöykkö & Velling 1993). Tulosten perusteella onkin esitetty, että Kanervan mänty periyttää latvusmuotoaan monogeenisesti. Yksi geeni määräisi tämän mukaan jälkeläisten latvusmuodon.

Samanaikaisesti kun näiden kapealatvaisten yksilöiden joukosta löydettiin muutamia ilmiänsuhtaan ihanteellisia ja tasapainoisia puita, heräsi metsänjalostajien parissa kiinnostus maatalouskasvien jalostajien kehittämää ideotyyppiä kohtaan ja metsäpuillekin ryhdyttiin määrittämään ideotyyppiä. Seurauksena oli, että Suomessa viljelymännyn ideotyyppiksi määriteltiin puutyyppi, joka hyvin pitkälle muistuttaa Kanervan mäntyä ja erityisesti näitä muutamaa hyvin tarkasti kuvattua jälkeläistä (Kärki 1985). Tämä lisäsi Kanervan mäntyä kohtaan tunnettua kiinnostusta entisestään. Ryhdyttiin kuumeisesti etsimään tehokkaita keinoja Kanervan männyn jälkeläisten tuottamiseksi ja näiden poikkeuksellisen hyvälaatuisten yksilöiden lisäämiseksi metsänviljelijöiden käyttöön (esim. Pöykkö 1987).

Kanervan mänty mallikasvina

Ideotyyppi on määritelmän mukaan biologinen malli, jonka odotetaan käyttäytyvän ennustetulla tavalla määritellyssä ympäristössä (Donald 1968). Viljely-ideotyyppi tuottaa enemmän hyödyllistä fytomassaa kuin villit kumppanit. Viljelypuu-ideotyyppi on näin ollen mallikasvi, joka tuottaa runsaasti arvokasta (=hyvälaatuista) runkopuuta. Käytännössä tämä on merkinnyt sellaisten mallipuiden kehittämistä, joiden runkomassan suhde kokonaisuutensa, satoindeksi, on suuri. Mallipuun kehityksessä on pyritty myös siihen, että yksilötuotoksen sijasta metsikön kokonaisrunkopuuntuotos parane: pyritään löytämään sellaiset yksilöt, jotka parhaiten tuottavat runkopuuta tiheinä metsikköinä. Teoreettisten laskelmien ja tutkimustulosten perusteella on esitetty, että Kanervan männyn kapealatvaiset jälkeläiset ovat ihanteellisia puuntuotantoon (Kärki 1983, Kärki & Tigerstedt 1985). Niillä on korkea satoindeksi, ohuet oksat (Kuuluvainen et. al 1988, Velling 1988, Pöykkö 1993) ja voimakas pituuskasvu (Mikola 1985).

Ideotyyppimallin hyödyntäminen ei kuitenkaan ole niin yksioikoista kuin alussa luultiin. Mallin käytöksen ennustaminen on varsin monimutkaista käytännössä. Jotta biologisen mallin käyttäytyminen olisi ennustettavissa, täytyy mallin olla geneettiseltä rakenteeltaan vakaa ja muuttumaton. Puhtaaksi linjoiksi jalostetuilla tai kasvullisesti lisättävillä lajikkeilla genettisen rakenteen muuntumisen mahdollisuus on pienempi kuin ristisiitteisesti lisääntyvillä puilla. Puiden siemenestä syntyvän taimen perimä poikkeaa aina muiden taimien perimästä, vaikka taimet olisivat sisaruksia keskenään. Puut eivät siis poikkeaa tässä suhteessa esimerkiksi ihmistä. Siksi siemenen perusteella ei voida ennustaa syntyvän puun ilmiänsuhteen kuin hyvin karkeasti, ei edes tarkoin säädelyissä laboratorio-olosuhteissa, metsäympäristöstä puhumattakaan. Mallipuun kasvullinen lisääminen parantaa ilmiänsuhteen ennustettavuutta, koska kasvullisella lisäyksellä voidaan puun perimä säilyttää muuttumattomana tietyissä rajoissa.

Jos puulla on voimakkaasti periytyviä, vain muutaman geenin säätelemiä ominaisuuksia, joiden tuottamat ilmiöt voidaan ryhmitellä vain muutamaiin harvoihin luokkiin, on tulevan kehityksen ennustaminen yksinkertaisempaa kuin muiden, monen geenin säätelemien ominaisuuksien kohdalla. Näin on Kanervan männyn tapauksessa. Voidaan olettaa, että jos kylvetään pieni joukko Kanervan männyn siemeniä, niin osa, teoriassa puolet, syntyvistä jälkeläisistä on kapealatvaisia kanervatyypisiä. Periaatteessa kaksi siementä riittää. Näin ollen voidaan sanoa, että Kanervan männyn siemen sisältää biologisen mallin, joka tuottaa kapealatvaisen puuyksilön viljelyolosuhteissa 50 % todennäköisyydellä. Jo varsin nuoresta Kanervan männyn jälkeläisestä voidaan puutyyppi nähdä, sillä kokemuksen mukaan puun saavutettua 1 - 1.5 m korkeuden, voidaan jo yleensä sanoa, tuleeko puusta kapea kanerva- vai leveä villi-tyyppi.

Lisäämällä kasvullisesti tunnettua kanerva-tyyppin yksilöä päästään parempaan tulokseen, sillä pistokas tai varte on tarkasti emopuunsa kopio ja siitä kehittyi emokasvinsa kaltainen kapea yksilö. Ympäristöolosuhteet voivat kuitenkin muokata kasvullisesti lisätyn jälkeläisen ilmiötä niin, että siitä on vaikea tunnistaa alkuperäisen yksilön piirteitä myöhemmin uudestaan. Lyhytikäisillä viljelykasveilla tunnistamismahdollisuudet ovat paremmat kuin monivuotisilla ja pitkäikäisillä kasveilla. Maatalouden viljelykasvien tulee selviytyä viljelyolosuhteissa yleensä korkeintaan muutamia kasvukausia, puiden useimmissa tapauksissa vuosikymmeniä. Lisäksi maatalouskasvien ympäristöolosuhteet ovat tasaisemmat kuin metsäpuiden. Puilta edellytetäänkin vuosikymmeniä kestävästä sopeutumisesta, mitä erilaisimpiin kasvuolosuhteisiin, erityisesti ilmastoon. Jos sopeutuminen ei ole riittävä, syntyy helposti kasvuhäiriöitä ja ilmiö voi muuttua ympäristötekijöiden takia hyvinkin jyrkästi.

Kanerva-tyyppi on normaaliolosuhteissa morfologisesti vakiintunut, mutta poikkeavat olosuhteet aiheuttavat herkästi muutoksia. Kanervan männyn jälkeläisissä ilmenee herkästi erilaisia kasvuhäiriöitä, jotka näkyvät usein ranganvaihdoksina, poikaoksina ja rungon äärimmäisen voimakkaana mutkitteluna. Huolimatta hyvästä nuoruus- tai lapsuusiän ilmiöstä jälkeläiset saattavat rujoutua myöhemmin mitä kauheimmiksi yksilöiksi, joiden ilmiö on kaukana ihannepuusta. Tuhot osoittavat, että puu ei ole ollut fysiologisesti sopeutunut tapahtuneisiin kasvuolosuhteiden muutoksiin. Pahinta asiassa on se, että useinkaan morfologisten ominaisuuksien avulla puun sopeutumiskykyä ei voida ennustaa, ennenkuin vahinko on jo tapahtunut. Tämän on saanut jalostaja varsin usein surukseen myöntää tarkastellessaan rujoutunutta jälkeläispuuta, joka joitain vuosia sitten poikkesi muista ympäristöään parempana. Tällaisia puita ei voida parhaallakaan tahdolla pitää ihannepuuna.

Päätelmiä

Kriittisesti arvostellen Kanervan mäntyä ei valitettavasti voida pitää ihannepuuna useastakaan syystä. Jo itse puun ilmiössä on selviä puutteita. Keskellä runkoa oleva paha mutka lienee syntynyt ranganvaihdoksen seurauksena ja on mitä ilmeisemmin voimakkaasti periytyvä, kuten havainnot jälkeläisistä osoittavat (Mikola 1985, Velling 1988). Lisäksi tämä jälkeläisille tyypillinen äärimmäinen rungon mutkittelu sekä taipumus ranganvaihdoksiin ja poikaoksiin viittaavat huonoon sopeutuneisuuteen.

Kanerva-yksilöiden hyvyys voi johtua lopulta myös siitä, minkä puun kanssa Kanervan mänty on risteytetty. Saattaa jopa olla niin, että Kanervan männyn periyttämät ominaisuudet toimivat pääasiassa huomion vangitsijoina, ensi merkkeinä mahdollisesta hyvästä jälkeläistöstä, jonka joukosta varsinaiset ihannepuut löytyvät, jos toinen vanhemmista on ollut riittävän hyvä kumoamaan Kanervan männyn huonot puolet. Kun tarkastellaan eri risteytysyhdistelmiä, voidaan havaita, että kanerva-tyypisten puiden perusmorfologia (oksakulma, oksanpaksuus, voimakas pituuskasvu ja rungon kapeus) on hyvin saman kaltainen eri yhdistelmissä. Yhdistelmien välillä näyttäisi kuitenkin olevan eroja mm. ranganvaihdosten määrässä. Tämä antaa aiheen olettaa, että emopuiden merkitys tärkeissä puun laatuunkin vaikuttavissa fysiologisissa ominaisuuksissa voi olla merkittävä. Voidaan jopa kysyä, mistä loppujen lopuksi kanervajälkeläisten hyvät ominaisuudet tulevat. Vaikka morfologiset ominaisuudet periytyvät Kanervan männyltä, periytyvätkö todelliset hyvät ominaisuudet, jotka varmistavat jälkeläisen terveen kehityksen, toiselta osapuolelta, ei-Kanervan männyltä? Jalostajalle tämän pitäisi herättää toivoa: Kunhan opitaan lukemaan myös muita vähemmän huomiota herättäviä "markkereita", niin ihanteellisia puita löydetään myös muista kuin Kanervan männyn jälkeläistöistä. Tästäkin on olemassa jo havaintoja.

Ihannepuu-oletuksen sulkee pois myös itse ihannepuun (ideotyypin) määritelmä, jossa edellytetään, että tuleva kehitys on ennustettavissa (Dickmann 1985). Kanervan männyn jälkeläisten ominaisuuksien perusteella ei voida etukäteen ennustaa jälkeläisen tulevaa kehitystä. Puun tyyppi eli kapealatvainen Kanerva tai normaali Villi, on kylläkin jollakin tarkkuudella ennustettavissa, mutta kanerva-tyypisten puiden runkokuun tuottokykyä voidaan vain huonolla todennäköisyydellä arvailla. Näin on siinäkin tapauksessa, että ulkoisten ominaisuuksien (morfologian) perusteella valittua yksilöä lisättäisiin kasvullisesti. Jotta ihannepuuta voitaisiin kehittää käytännössä, tarvitaan morfologisten ominaisuuksien lisäksi tietoa fysiologisista ominaisuuksista, sopeutumisesta ja kestävydestä ympäristötekijöitä, erityisesti ilmastoa, vastaan. Metsänjalostuksen kannalta tämä merkitsee sitä, että kasvun ja laadun lisäksi puiden sopeutuneisuuteen ja kestävyteen tulee kiinnittää entistä

enemmän huomiota. Vaikuttaa siltä, että puun morfologiaan ja kasvaimien kasvutapaan perustuva laatuluokitus ei riitä, sillä tuhot muuttavat kasvutapaa joskus varsin radikaalistikin.

On tosiasia, että Kanervan männyn arvo käytännön metsänviljelijälle on vähäisempi kuin mitä on annettua ymmärtää. Metsänjalostuksen kokeet osoittavat kuitenkin, että sillä on monia mielenkiintoisia piirteitä. On hyvä kuitenkin muistaa, että parempia ja kestävämpi puita on olemassa, vaikkakaan niiden ilmiasu ei ehkä ole yhtä dramaattisen erilainen kuin Kanervan männyn. Jo nykyiset siemenviljelykset tuottavat metsänviljelymateriaalia, josta hyvän metsänhoidon avulla voidaan muodostaa tuottoisia ja hyvälaatuinen viljelymetsä, joka on monessa suhteessa ja erityisesti runkokuuntuotannoltaan yliverlainen luonnon metsiin verrattuna. Siemenviljelysiemen yhdessä laatuksavatusperiaatteen kanssa (suositaan puita, jotka ovat hyviä runkokuuntuottajia tiheissä metsiköissä) antaa hyvän pohjan kestäväälle puuntuotannolle. Monessa suhteessa E 1101 on tästä mainio, mutta äärimmäinen esimerkki.

Vaikka käytännön jalostuksen kannalta Kanervan männyllä on puutteensa, on sillä kuitenkin ollut ja on yhä suuri tieteellinen ja informatiivinen merkitys metsänjalostukselle. Kanervan männyn arvoa jalostusteorian muodostuksessa ei varmasti kukaan halua kiistää. Se on ollut verraton väline ideotyyppi-mallin kehitystyössä, mutta myös monen ominaisuuden yhtäaikaisen valinnan mallittamisessa (Pöykkö 1993). Kanervan männyn avulla Suomen metsänjalostus on saavuttanut laajaa kansainvälistäkin huomiota ja lisännyt arvostustaan. Tulevaisuuden kannalta tarkasteltuna Kanervan mänty antaa ensimakua siitä, mitä metsäpuiden jalostuksella voidaan saada aikaan. Sen jälkeläisistä löytyy esimerkkejä siitä, millaisiin päämääriin jalostustyöllä suotuissa olosuhteissa voidaan päästä, vaikkakaan näiden jälkeläisten varaan ei koko tulevaa metsänviljelyä voida rakentaa.

Kirjallisuus

- Dickmann, D.I. 1985. The ideotype concept applied to forest trees. In: *Attributes of Trees as Crop Plants*. Eds. Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. Inst. Terr. Ecol. Monks Wood, Abbots Ripton, Hunts, U.K. s. 89-101.
- 1992. Role of physiology in forest tree improvement. In: *Biological Systems in Tree Breeding*. Joint meeting of IUFRO working parties in Tuusula, Finland. Ed. Koski, V. *Silva Fennica* 25(4):248-256.
- Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17:385-403.
- Kärki, L. 1983. Forest tree breeding combines the highest timber quality and the highest stemwood production per hectare. *The Foundation for Forest Tree Breeding in Finland, Information* 1:16 s.
- 1984. Crop tree ideotype and harvest index should be the basis of selection in cultivated trees. *Ann. Rep. Found for Forest Tree Breed. Finland* 1983. s. 26-27.

- Kärki, L. 1985. Genetically narrow-crowned trees combine high timber quality and high stemwood production at low cost. In: *Crop Physiology of Forest Trees*. Eds. Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. Helsinki. s. 245-256.
- & Tigerstedt, P.M.A. 1985. Definition and exploitation of forest ideotypes in Finland. In: *Attributes of Trees as Crop Plants*. Eds. Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. Inst. Terr. Ecol. Monks Wood, Abbots Ripton, Hunts, U.K. s. 102-109.
- Kellomäki, S. 1986. A model for the relationship between branch number and biomass in *Pinus sylvestris* crowns and the effect of crown shape and stand density on branch and stem biomass. *Scand. J. For. Res.* 1:445-472.
- , Kuuluvainen, T. & Kurttio, O. 1986. Effect of crown shape, crown structure and stand density on the light absorption in a tree stand. In: *Crown and Canopy Structure in Relation to Productivity*. Eds. Fujimori, T. & Whitehead, D. s. 339-358.
- Kuuluvainen, T., Kanninen, M. & Salmi, J-P. 1988. Tree architecture in young Scots pines: properties, spatial distribution, and relationships of components of tree architecture. *Silva Fennica* 22(2):147-161.
- & Kanninen, M. 1992. Patterns in aboveground carbon allocation and tree architecture that favor stem growth in young Scots pine from high latitudes. *Tree Physiol.* 10:69-80.
- Mikola, J. 1985. Relationships between height growth differences of Scots pine full-sib families and variation in seed size, annual growth rhythm and some foliage characteristics. In: *Crop Physiology of Forest Trees*. Eds. Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. Helsinki. pp. 233-243.
- Pöykkö, T. 1987. Viljelypuujalosteita kehitetään puutuottajille. *Ann. Rep. Found. Forest Tree Breed. Finland* 1986:22-25.
- 1993. Selection criteria in Scots pine breeding with special reference to ideotype. *Rep. Found. Forest Tree Breed.* 6. 66 s.
- & Velling, P. 1993. The inheritance pattern of the special tree form type E 1101, "kanerva" pine. A manuscript submitted to *Silva Fennica*.
- Pukkinen, P., Pöykkö, T., Tigerstedt, P.M.A. & Velling, P. 1989. Harvest index in northern temperate cultivated conifers. *Tree Physiol.* 5:83-98.
- Rusanen, M. & Velling, P. 1988. Satoindeksin vaihtelu ja korrelointi kasvu- ja laatuominaisuuksien kanssa nuorissa männyn jälkeläiskokeissa. Summary: Harvest index in young Scots pine progeny tests, variation and correlation with growth and quality traits. *Folia Forestalia* 708:19 s.
- Tigerstedt, P.M.A. & Velling, P. 1986. The genetic anatomy of harvest index in Scots pine and some suggestions for applications in breeding and silviculture. In: *Crown and Canopy Structure in Relation to Productivity*. Eds. Fujimori, T. and Whitehead, D. s. 49-69.
- Velling, P. 1988. The relationships between yield components in the breeding of Scots pine. Dr. thesis. Department of Plant Breeding. University of Helsinki. 59 s.
- Zobel, B. & Talbert, J. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley & Sons, New York. 505 s.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Heinämäen kuusen siemenviljelys - kaikki ongelmat samalla paikalla

Teijo Nikkanen

Siemenen tuotanto kuusen siemenviljelyksillä

Viljelysiementä siemenviljelyksiltä

Kuusi on pääpuulajina 27 %:lla maamme metsäpinta-alasta. Metsiemme puuston kuutiotilavuudesta kuusta on 38 %. Karkeasti arvioiden kuusta viljellään yhtä laajalla alalla kuin sitä uudistetaan tai se uudistuu luontaisesti. Kuusen viljely tapahtuu käytännössä yksinomaan istuttamalla. Kuusen osuus metsänviljelyalasta on viime vuosina kasvanut samalla kun männyn osuus on pienentynyt. Muutama vuosi sitten siemenviljelytyöryhmä arvioi, että 1990-luvulla kuusen vuotuinen viljelyala olisi 50 000 ha. Tällöin siementarve olisi 1660 kg vuodessa (Metsäpuiden... 1989). Myöhemmin metsänviljelyaineistotyöryhmä (1994) arvioi sekä kuusen että männyn taimitarpeeksi vuonna 1994 vähän yli 70 milj. tainta. Lähivuosina kuusen taimitarpeen arvioidaan säilyvän nykyisellä tasolla, mutta männyn laskevan noin 50 milj. taimeen vuoteen 2000 mennessä. Kuusen siementarve olisi työryhmän muistion mukaan 1200 kg vuodessa (Metsänviljelyaineistotyöryhmän muistio 1994) Metsänviljelyaineistotyöryhmä on arvioinut kuusen siementarpeen selvästi alhaisemmaksi kuin siemenviljelytyöryhmä aikanaan. Tämä johtuu osaksi aikaisempaa hieman pienemmistä viljelyala-arvioista ja osaksi taimitarhojen parantuneesta taimisaannosta.

Rekisteröityjä kuusen siemenviljelyksiä on Suomessa 23 kappaletta, pinta-alaltaan 265 hehtaaria (Pajamäki & Karvinen 1994). Viljelykset on perustettu vuosina 1964 - 1972 Etelä- ja Keski-Suomeen. Vaikka kuusen viljelykset sijaitsevat maamme eteläosissa, jalostusvyöhykkeillä 1 ja 2, ovat viljelyksiin vartetut pluspuut kotoisin koko maasta, Pohjois-Lappia myöten. Alkuperien painopiste on kuitenkin etelässä. Jalostusvyöhykkeiltä 1 ja 2 on peräisin kaksi kolmasosaa siemenviljelysten 605 kloonista (Metsäpuiden... 1989, Nikkanen 1992).

Siemenen tuotannon ongelmat kuusen siemenviljelyksillä

Kuusen siemenviljelykset ovat kehittyneet tuotantovaiheeseen hitaasti. Kuusivartteiden odotettua pitemmän nuoruusvaiheen ohella siemensatojen viivästymisen syynä voidaan pitää kuusen kukintabiologiaan kuuluvaa kukinnan voimakasta vuosivaihtelua. Etelä-Suomessa kuusi kukkii runsaasti vain pari kolme kertaa vuosikymmenessä ja Pohjois-Suomessa ei välttämättä kertaakaan (Koski & Tallqvist 1978). Kuusen siementuotannossa on otettava huomioon se, ettei parhaintakaan siemenviljelyksiltä siementä voida kerätä joka vuosi.

Kuusen kukinnan ja käpysadon suureen vuosien väliseen vaihteluun on kiinnitetty huomiota jo kauan. Siemensadon vaihtelua on seurattu tarkoin mittauksin ja siitä on olemassa runsaasti tietoa (Heikinheimo 1932, Sarvas 1968, Koski & Tallqvist 1978 sekä kukintahavainnot ja kävynkeruutilastot). Hyviä tai kohtalaisia kukintavuosia Etelä-Suomessa 1960 luvulta lähtien ovat olleet 1960, 1964, 1967, 1973, 1978, 1983, 1987, 1989, 1992 ja 1993. Erityisen runsaasti kuusi kukki vuonna 1989 ainakin koko Fennoskandiassa ja Baltian maissa. Kukinta ei kuitenkaan aina ole runsasta laajoilla alueilla yhtä aikaa. Pohjois-Suomessa hyviä kukintavuosia on harvemmin kuin Etelä-Suomessa.

Kuusi tuottaa runsaan kukinnan vuosina geneettisesti parempaa siementä kuin silloin kun se kukkii niukemmin. Hyvänä kukintavuonna valtaosa metsikön puista tai siemenviljelyksen vartteista kukkii. Huonona vuonna kukkivia puita on vain siellä täällä. Yhteenvetona laajoista kuusen kukkimista ja siemensadon geneettistä rakennetta koskevista tutkimuksista Sarvas (1968) esittää, että nimenomaan kuusella siemenen keruu on syytä keskittää huippusatoisiin vuosiin.

Hyvä kukintavuosi ei kuitenkaan aina johda hyvään siemensatoon. Siementuotannon ongelmia kuusella lisäävät erilaiset käpy- ja siementuhot. Tuhoa aiheuttavat useat hyönteislajit ja sienitaudit (Rummukainen 1960). Vuonna 1992 kuusen kukinta oli melko hyvä ja joiltakin viljelyksiltä kerättiin runsas ja hyvälaatuinen siemensato. Myös seuraavana vuonna kuusi kukki monin paikoin hyvin, mutta tuholaiten takia siemensadosta tuli huono eikä siemenviljelyksiltä voitu kerätä siementä lainkaan. Siemenviljelyksillä tuhojen torjuntaan onkin kiinnitettävä erityistä huomiota.

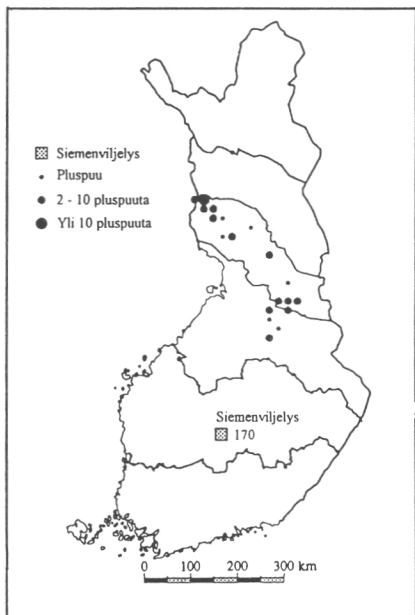
Kuusen siemenviljelyksiltä kerättiin ensimmäinen merkittävä siemensato vuonna 1989, lähes 2000 kg. Tällöin viljelykset olivat keskimäärin vähän yli 20 vuoden ikäisiä (18 - 26 vuotta). Ennen vuotta 1989 viljelyksiltä oli kerätty siementä yhteensä vain vähän yli 200 kg. Seuraavaan asetelmaan on koottu kuusiviljelyksiltä vuosittain kerättyjä siemensatoja:

1973	1978	1980	1983	1987	1989	1992
25 kg	8 kg	12 kg	137 kg	18 kg	1948 kg	905 kg

Siemenviljelyksillä kukintaa on pyritty lisäämään ja aikaistamaan erilaisilla käsittelyillä. Yleisesti voidaan sanoa, että kukintaa lisäävät ne toimenpiteet, jotka parantavat puiden hyvinvointia. Toisaalta tiedetään, että monet stressitekijät, kuten rungon kuristaminen ja kaulaaminen, juurten leikkaaminen, kuivuus-, valo- ja lämpökäsittelyt, voivat laukaista runsaan kukinnan. Vartteiden kukintaa on voitu lisätä myös hormoniruiskutuksilla (Sweet 1975).

Tutkimuskenttänä Heinämäen siemenviljelys

Siemenviljelys 170, Heinämäki



Siemenviljelys nro 170 (Heinämäki) perustettiin vuonna 1968 ja se sijaitsee Keski-Suomessa, Korpilahden kunnassa (62°13'N, 25°24'E). Viljelys koostuu 66 Pohjois-Suomesta (64°-67°N) peräisin olevasta kloonista. Siemenviljelyspaikan keskimääräinen vuotuinen lämpösusma on 1090 d.d. ja emokloonien alkuperäalueen vuotuinen lämpösusma vaihtelee 790 - 1030 d.d ollen keskimäärin 900 d.d.

Siemenviljelys sijaitsee entisellä mäkipellolla (160 - 190 m mpy), joka viettää loivasti etelään ja jyrkästi itään ja länteen. Viljelyksen pinta-ala on 12,5 hehtaaria. Vartteet on istutettu 3,5 x 7,0 m:n välein. Vuonna 1987 puolet viljelyksestä (lohkot II ja IV) harvennettiin ja vuonna 1994 loput (I ja III). Harvennus suoritettiin systemaattisesti poistamalla joka kolmas varte. Vartekartta ennen toista harvennusta.

Kaikki ongelmat samalla paikalla

Heinämaen kuusen siemenviljelys valittiin tutkimuskohteeksi 1980-luvun alussa, koska viljelyksen tiedettiin jo silloin kukkivan melko säännöllisesti. Töihin viljelyksellä ryhdyttiin vuonna 1983, jolloin siellä tehtiin ensimmäiset risteytykset. Samana vuonna arvioitiin viljelyksellä myös kukinnan määrä. Ensimmäisenä ongelmana lähdettiin selvittämään itsepölytyksestä syntyvän siemenen osuutta viljelyksen siemensadosta. Syynä itsepölytysosuuden selvittämiseen oli se, että Heinämäen siemenviljelys, kuten kaksi kolmasosaa kuusen siemenviljelyksistä, on perustettu istuttamalla saman kloonin vartteet riviin eikä hajauttamalla niitä niinkuin kaikilla männyn siemenviljelyksillä on tehty. Itsepölytyksen yleisyyttä viljelyksellä lähdettiin selvittämään tekemällä valvottuja itsepölytyksiä, osittais-itsepölytyksiä ja ristipölytyksiä ja vertaamalla risteytyksistä syntyneen siemenen ominaisuuksia vapaapölytys siemenen ominaisuuksiin.

Itsepölytyksen ohella kuusen siemenviljelyksillä yleensä ja Heinämäellä erityisesti on jo pitkään pohdittu taustapölytyksen merkitystä. Koska Heinämäen siemenviljelyksen kloonit ovat peräisin Pohjois-Suomesta ja viljelys sijaitsee Keski-Suomessa, saattaa mahdollinen taustapölytys heikentää viljelyksen tuottaman siemenen viljelyvarmuutta alkuperäalueillaan. Taustapölytysriskiä Heinämäellä on lisännyt vielä se, että viljelystä ympäröi varttunut kuusikko ja Korpilahdella kuusimetsät ovat vallitsevia.

Edellisten, viljelyksen kokoonpanoon, rakenteeseen ja sijaintiin liittyvien kysymysten lisäksi Heinämäki on hyvä tutkimuskenttä yleisten kuusen kukintabiologiaan liittyvien ongelmien selvittämistä varten. Kukinnan vuotuista vaihtelua ja puiden välisiä eroja sekä emi- että hedekukinnassa voidaan viljelyksellä tutkia. Kukinnan ohella viljelyksellä voidaan tietysti selvittää myös siemensadon määrään ja laatuun liittyviä ongelmia.

Heinämäki on otollinen paikka tutkia myös sitä, miten ympäristötekijät vaikuttavat kukintaan ja siemenen määrään ja laatuun. Heinämäen topografia, tasainen alue korkean mäen päällä ja eri suuntiin viettävät rinteet, luo mielenkiintoista vaihtelua viljelyksen eri osiin. Topografian takia lämpö- ja valaistusolot sekä ilmavirtaukset saattavat viljelyksen eri osissa olla hyvinkin erilaisia. Myös maaperätekijöiden vaihtelun merkitys, vanhaa peltomaata mäen päällä ja ylärinteillä ja metsämaata alempana, on selvittämisen arvoinen asia.

Heinämaen siemenviljelystä harvennettiin vuonna 1987. Alunperin harvennus katsottiin tarpeelliseksi itsepölytysriskin vähentämisen takia. Alustavien selvitysten perusteella itsepölytysriskiä ei viljelyksellä kuitenkaan ole. Harvennus päätettiin kuitenkin toteuttaa, mutta niin että harvennuksen vaikutuksia voitaisiin myöhemmin

tutkia. Vartetiheyden vaikutusta kukinnan määrään ja fenologiaan onkin sittemmin selvitetty. Harvennusta varten viljelys jaettiin neljään lohkoon, joista kaksi harvennettiin (katso viljelyksen kartta). Harvennus tehtiin täysin systemaattisesti poistamalla harvennettavista lohkoista joka kolmas varte.

Kukintarunsauden vaihtelu

Ensimmäisen kerran kukinnan määrä arvioitiin Heinämäellä vuonna 1983. Arviointi tehtiin runsausluokittain. Seuraavana vuonna ja siitä eteenpäin on kukkien määrä arvioitu kappalemäärinä. Sekä emi- että hedekukinta on laskettu viljelyksen kaikista klooneista, yleensä kymmenestä vartteesta kustakin kloonista. Vuoden 1987 harvennuksen jälkeen arvioinnin kohteena ovat olleet samat vartteet.

Kukinnan arvioinnissa on pyritty niin suureen tarkkuuteen kuin mahdollista. Emikukkien osalta se on tarkoittanut yhden kukan tarkkuutta. Etenkin viime vuosina, kun vartteet ovat olleet jo melko kookkaita ja latvuksesta on kiikarienkin kanssa ollut vaikea joka kukkaa havaita, on ainakin runsaasti kukkivien vartteiden osalta ollut pakko tyytyä kymmenen kukan tarkkuuteen. Hedekukkien kohdalla, jolloin yhdessä vartteessa voi olla useita tuhansia kukkia, on kukkamäärä arvioitu niin että ensin on kukkien määrä laskettu mahdollisimman tarkasti yhdestä mallioksaasta ja sitten on sen perusteella arvioitu koko vartteen kukkamäärä. Tällöin sadankin kukan tarkkuus on hyvä. Yli 600 vartteen läpikäynti joka vuosi on ollut iso työ. Onneksi siihen kuten moniin muihinkin kenttätöihin viljelyksellä on saatu Metsähallituksen työvoima-apua.

Kun kukinnan vaihtelua Heinämäen siemenviljelyksellä ryhdyttiin selvittämään ei kuusen kukintataipumuksista siemenviljelyksillä tiedetty juuri mitään. Kuusen kukinnan vaihtelusta luonnonmetsissä oli kyllä runsaastikin tietoa (Heikinheimo 1932, Sarvas 1968, Koski & Tallqvist 1978). On selvää, että siemenviljelyksillä vallitsevat pikäلت samat kuusen kukintabiologian lait kuin luonnonmetsissä. Siemenviljelykset eroavat kuitenkin rakenteeltaan luonnonmetsikoista monella tapaa. Kloonit on koottu viljelyksille laajalta alueelta ja ne on tuotu sinne mahdollisesti kaukaakin, niinkuin Heinämäen viljelyksellä on tapahtunut. Lisäksi siemenviljelykset on perustettu vartteina, joissa vanhan puun latvaosista leikattu oksa on liitetty nuoren, usein eri alkuperää olevan taimen runkoon. Kaikki nämä tekijät tuovat lisäpiirteitä kukinnan vaihteluun.

Heinämäen siemenviljelyksellä vartteet ovat viimeksi kuluneiden kymmenen vuoden aikana kukkineet säännöllisemmin kuin kuuset viljelyksen alkuperäalueilla pohjoisessa. Näyttää myös siltä, että viljelyksen vartteet ovat kukkineet tasaisemmin ja

säännöllisemmin kuin ympäröivien metsien puut. Tämä johtuu siitä, että viljelyksellä vartteet kasvavat niiden alkuperäalueita lämpimämmissä ilmasto-oloissa. Havaintojakson aikana (1983 - 1994) kukinta on ollut Heinämäellä kerran (1989) erittäin runsas, neljä kertaa (1983, 1987, 1992 ja 1993) kohtalainen, viisi kertaa (1984, 1985, 1986, 1990 ja 1991) huono ja kaksi kertaa (1988 ja 1994) on ollut täydellinen katoavuosi. Viljelyksellä kloonien kukintataipumuksissa oli suuria eroja. Alustavien selvitysten mukaan erot kloonien kukinnan määrässä säilyvät samansuuntaisina vuodesta toiseen. Jos tarkastellaan vain parhaiten kukkivia klooneja, vuosien välisiä korrelaatioita ei välttämättä ole tai korrelaatiot voivat olla jopa negatiivisia (Ruotsalainen & Nikkanen 1989). Kukinnan jakautumisen osalta voidaan todeta, että hyvänä kukintavuonna 2/3 ja huonona 1/3 viljelyksen klooneista on mukana tuottamassa 90 % emikukista.

Loppuraportin teko kukintarunsauden vaihtelusta ja sen syistä Heinämäen siemenviljelyksellä on työn alla.

Kukinnan ajoittuminen

Heinämäen siemenviljelyksellä kukinnan fenologiaa on havainnointu vuodesta 1987 lähtien silloin kun kukinta viljelyksellä on ollut kohtalainen tai runsas eli vuosina 1987, 1989, 1992 ja 1993. Heinämäellä on selvitetty sitä, mikä merkitys perimällä ja mikä ympäristöllä on kukinnan ajoittumiseen.

Fenologiamittausten työläyden takia viljelyksen kaikkia klooneja ei ole voitu havainnoida, mutta saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että suurin osa klooneista kukkii melko yhtäaikaaisesti. Viljelyksen toimivuuden kannalta pienet kloonien väliset erot eivät ole ratkaisevia. Joissakin tapauksissa näyttää ympäristöllä olevan ratkaiseva vaikutus. Emikukkien aukeamiseen ympäristötekijät eivät juuri näytä vaikuttavan, kun taas siitepölyn vapautumiseen ympäristöllä on vaikutusta. Vartteen sijainti etelärinteellä tai harvennetulla alueella nopeutti hedekukkien kehitystä ja siitepölyn vapautumista (Nikkanen 1993). Selitys emi- ja hedekukkien erilaiseen käyttäytymiseen on yksinkertainen: vartteen latvaosissa sijaitsevat emikukat ovat ainakin aurinгон säteilyyn nähden suunnilleen samanlaisissa oloissa sijaitsivatpa vartteet missä osassa viljelystä tahansa, kun taas hedekukat alempana latvuksessa joutuvat helpommin varjoon ja ovat myös suuremmalle ilmastovirtausten ja ilmastokosteuden vaihtelulle alttiina.

Merkittävä siemenviljelysten toimivuuteen vaikuttava tekijä on se, että vartteissa emikukat ovat auki selvästi ennen kuin pääosa hedekukkien siitepölystä vapautuu. Havainto ei ole uusi eikä rajoitu vain siemenviljeltyihin; jo Sarvas (1968) on

raportoinnut myöhäisheteisyyden (metandria) olevan kuuselle tyypillistä. Siemenviljelyksillä tämän lajin tehokasta geenivaihtoa edistävän ominaisuuden merkitys korostuu, koska se on omiaan lisäämään taustapölytyksestä syntyvän siemenen osuutta viljelyksellä.

Kukinnan ajoittumista vartteissa samoin kuin luonnonpuissa säätelee lämpösumma, ei niinkään päivämäärä. Viljelyksellä kasvavien, Pohjois-Suomesta peräisin olevien vartteiden pitäisi Sarvaksen (1968) lämpösummaan perustuvan teorian mukaan kukkia vähän aikaisemmin kuin ympäröivien kuusikoiden. Vaikka tarkkoja mittauksia fenologiaeroista ei ole pystytty tekemään, voidaan sanoa, että ainakaan sellaista eroa kukinnan ajoittumisessa ei ole, mikä eristäisi pohjoista alkuperää olevan siemenviljelyksen ympäröivistä, vähän eteläisempiin oloihin sopeutuneista metsistä. Edellä mainittu oletus oli kuitenkin yhtenä lähtökohtana, kun pohjoista alkuperää olevia siemenviljelyksiä lähdettiin perustamaan eteläosiin maata (Sarvas 1970).

Siemenviljelyksen toimivuuden ymmärtämisen kannalta kukintafenologian tunteminen on tärkeää. Kukintafenologian vaihtelun luonteessa on vielä selvitettävää. Jo kerätyt aineistot on tarkoin analysoitava ja lisähavaintoja on tarpeen mukaan tehtävä.

Pölytys ja siemenen laatu

Siemenviljelyksen tuottaman siemenen geneettisen laadun kannalta on ratkaisevaa, kuinka pölytys viljelyksellä tapahtuu. Koska kuusi on yksikotinen puulaji (emit ja heteet sijaitsevat samassa puussa) eikä sillä ole varsinaisia itsehedelmöityksen estomekanismeja, on tehokas geenivaihto täytynyt varmistaa muulla tavoin. Kuusella itsepölytyksen todennäköisyyttä vähentää osaltaan se, että emikukat sijaitsevat puun latvaosissa ja heteet latvuksen alemmissa osissa. Itsepölytystä vähentää myös se, että emikukat ovat reseptiivejä ennen kuin saman puun heteiden ponnet aukeavat (Sarvas 1964, 1968). Itsepölytyksen tapahduttua itsehedelmöityksestä syntyneen siemenen osuutta vähentää vielä alkioletaalijärjestelmä (Koski 1971).

Kuusen siitepölyn leviämiskyvystä on esitetty jonkin verran ristiriitaisia näkemyksiä. Sarvas (1964) toteaa, että kuusen siitepölyhiukkasten suuresta koosta ja painosta johtuen sen leviämiskyky on verrattain huono moniin muihin havupuihin (esim. mäntylajeihin) verrattuna. Koski (1970) on tutkimuksissaan sen sijaan todennut, että kuusen siitepöly voi kulkeutua ilmassa pitkiäkin matkoja. Samaan tulokseen ovat myöhemmin tulleet Pulkkinen ym. (1994) tarkastellessaan Suomen aerobiologien eri puolilta maata keräämää aineistoa.

Heinämaellä on ilmassa olevan siitepölyn mittauksia tehty vuodesta 1983 lähtien eli yhtä pitkään kuin kukinnan mittauksia. Siitepölyä on mitattu Sarvas/Vilksa-siitepölynkerääjillä (Sarvas 1968). Viljelyksellä on ollut vähintään kaksi ja viljelyksen ulkopuolella yksi kerääjä. Kerääjien avulla on saatu tietoa pölytyksen ajoittumisesta sekä ilmassa olevan siitepölyn määristä. Vuosina 1992 ja 1993 tehtiin viljelyksellä aiempaa laajempia siitepölyn mittauksia ja arvioitiin siitepölyn määriä myös muilla kuin Sarvas/Vilksa-kerääjillä. Käyttöön otettiin ns. rotorod-kerääjä, joka on kehitetty erilaisten ilmassa lentävien hiukkasten keruuta varten (Raynor 1972). Rotorod-kerääjän avulla on mahdollista saada entistä tarkempaa tietoa ilmassa olevan siitepölypilven tiheydestä.

Siitepölymittauksissa on saatu tärkeää tietoa pölytyksen ajoittumisesta, sen vuorokautisesta vaihtelusta ja pölytysjakson kestosta. Lisäksi viime vuosina on kerätty tarkkoja tietoja siitepölyn määristä viljelyksen eri osissa ja sen ulkopuolella. Tarkastelemalla viljelyksellä tehtyjä tuuli- ym. meteorologisia mittauksia yhdessä siitepölymittausten kanssa voidaan muodostaa käsitys siitepölyn leviämisestä. Lisävalaistusta viljelyksen ulkopuolelta kulkeutuvan siitepölyn merkityksestä saadaan myös vertaamalla ilmassa olevia siitepölypitoisuuksia kukinnan fenologiatietoihin.

Jatkotutkimuksissa on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota itse pölytystapahtumaan. Kuinka siitepölyhiukkanen kulkeutuu emilehdelle; mikä sitä ohjaa? Missä vaiheessa ja minkälaisissa olosuhteissa pölytys tapahtuu? Jos näihin kysymyksiin saadaan vastaus, voidaan vielä kysyä, voidaanko pölytystapahtumaa ohjailla.

Kaikki vastaukset samalta paikalta

Heinämaen siemenviljelys valittiin tutkimuskohteeksi, koska jo 1980-luvun alussa viljelyksen tiedettiin kukkivan melko säännöllisesti. Kun Heinämaellä vielä esiintyi monia kuusen siemenviljelyksiin ja niiden siementuotantoon liittyviä ongelmia, soveltui paikka hyvin kyseisten ongelmien tutkimiseen.

Heinämaen siemenviljelyksen nopeaan alkukehitykseen ja hyvään siementuotantoon on ainakin kaksi syytä: viljelyksen edullinen sijainti ja kloonimateriaalin siirto pohjoisesta etelään. Monissa siemenviljelysten kukintaa ja siementuotantoa käsitelleissä tutkimuksissa (Lindgren ym. 1977, Ilstedt & Eriksson 1982, Skrøppa & Tutturen 1985, Dietrichson 1989) on tuotu esiin niitä tekijöitä, jotka edistävät kukintaa ja siementuotantoa sekä kuvattu niitä ominaisuuksia, joita hyvällä siemenviljelyksellä on. Heinämaelta löytyy paljon näitä hyvän siemenviljelyksen tunnusmerkkejä.

Heinämäen siemenviljelyksellä tehtyjen tutkimusten perusteella on jo nyt voitu antaa vastauksia moniin kuusen siemenviljelyksiä koskeviin kysymyksiin. Kukinnan runsauden ja fenologian vaihtelun luonteesta on saatu kuva. Siitepölyn määrästä ja kulkeutumisesta on alkanut muodostua jonkinlainen käsitys, joskin itse pölytystapahtuma tunnetaan vielä huonosti. Viljelyksen tuottaman siemenen geneettisestä laadusta, tausta- ja itsepölyttyneen siemenen osuuksista ovat tulokset valmistumassa. Lisäksi on jo olemassa varhaistestituloksia siitä, kuinka siemenen syntypaikka (siemenviljelys sijaitsee huomattavasti kloonien alkuperäaluetta etelämpänä) vaikuttaa syntyvän taimen ominaisuuksiin (Ruotsalainen 1994, Skrøppa ym. 1994). Kenttäkoetuloksia taimien menestymisestä emokloonien alkuperäalueilla saadaan sen sijaan vielä odottaa.

Heinämäen siemenviljelyksestä puolet harvennettiin vuonna 1987 ja loput kevättalvella 1994. Heti viimeisen harvennuksen jälkeen hakattiin myös viljelystä ympäröineet varttuneet kuusikot. Nämä toimenpiteet ovat luoneet viljelykselle aivan uudet olosuhteet, joiden vaikutusta viljelyksen taustapölytysosuuteen ja siemenen geneettiseen laatuun on jatkossa mielenkiintoista selvittää.

Kaikkia vastauksia kuusen siemenviljelyksiä koskeviin kysymyksiin ei yksin Heinämäeltä varmasti koskaan saada. Monta vastausta sieltä on kuitenkin jo saatu. Silti moni ongelma on vielä ratkaisematta ja moni kysymys esittämättä, joten työ Heinämäellä jatkuu.

Kirjallisuus

- Dietrichson, J. 1989. Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) seed production in orchards. Julkaisussa: Stener, L-G. & Werner, M. (toim.). Norway Spruce; Provenances, Breeding and Genetic Conservation. Proceedings of the IUFRO working party meeting, S2.02-11, in Sweden 1988. Institutet för Skogsförbättring. Rapport 11: 166-175.
- Heikinheimo, O. 1932. Metsäpuiden siementämiskyvystä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 17(3): 61 s.
- Ilstedt, B. & Eriksson, G. 1982. Fröproduktion i nordiska fröplantager. 1. Orsaker till skillnader i fröproduktion mellan plantager och år. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsgenetik. Rapporter och uppsatser 33: 83 s.
- Koski, V. 1970. A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 70(4): 78 s.
- 1971. Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. Seloste: Alkioleetaalit ja tyhjat siemenet kuusella ja männyllä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75(3): 30 s.
- & Tallqvist, R. 1978. Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. *Folia Forestalia* 364: 60 s.

- Lindgren, K., Ekberg, I. & Eriksson, G. 1977. External factors influencing female flowering in *Picea abies* (L.) Karst. *Studia Forestalia Suecica* 142: 53 s.
- Metsänviljelyaineistotyöryhmän muistio. 1994. Työryhmämuistio MMM 1994:12. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. 17 s.
- Metsäpuiden siemenviljelyohjelma vuosille 1990 - 2025. 1989. Metsähallitus, Helsinki. 52 s.
- Nikkanen, T. 1992. Siemenen tuottaminen kuusen siemenviljelyksillä. Julkaisussa: Smolander, H. & Pulkkinen, M. (toim.). Siemenpäivät Siilinjärvellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426: 35-45.
- 1993. Variation in flowering phenology in a Norway spruce seed orchard. IUFRO Symposium, Section S201-05. August 22-26, 1993, University of Victoria, Victoria, BC, Canada, Final Program and Abstracts. Poster.
- Pajamäki, J. & Karvinen, K. 1994. Suomen metsänjalostuksen yleistilastoa 1.1.1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 514: 31 s.
- Pulkkinen, P., Nikkanen, T. & Pessi, A-M. 1994. Areal and temporal variation of airborne Norway spruce pollen in Finland. Käsikirjoitus.
- Raynor, G. B. 1972. Sampling particulates with rotating arm impaction samplers. Teoksessa: Benninghoff, W.S. & Edmonds, R.L. (toim.). Ecological systems approaches to aerobiology. I Identification of component elements and their functional relationships. US / IBP Aerobiology Program Handbook Number 2, Michigan. s. 82-105.
- Rummukainen, U. 1960. Kuusen siementuhojen runsaudesta ja laadusta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(3): 83 s.
- Ruotsalainen, S. 1994. Perimä vai ympäristö: Mikä ratkaisee siemenviljelysjälkeläistöjen kestävyys. Julkaisussa: Häggman, J. & Oksa, E. (toim.). Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525:35-46
- & Nikkanen, T. 1989. Variation in flowering of north Finnish clones in a Norway spruce seed orchard in central Finland. Julkaisussa: Stener, L-G. & Werner, M. (toim.). Norway Spruce; Provenances, Breeding and Genetic Conservation. Proceedings of the IUFRO working party meeting, S2.02-11, in Sweden 1988. Institutet för Skogsförbättring. Rapport 11: 176-188.
- Sarvas, R. 1964. Havupuut. WSOY, Porvoo-Helsinki. 518 s.
- 1968. Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(5): 84 s.
- 1970. Establishment and registration of seed orchards. *Folia Forestalia* 89: 24 s.
- Skrøppa, T. & Tutturen, R. 1985. Flowering in Norway spruce seed orchards. *Silvae Genetica* 34(2-3): 90-95.
- Nikkanen, T., Ruotsalainen, S. & Johnsen, Ø. 1994. Effects of sexual reproduction at different latitudes on performance of the progeny of *Picea abies*. Käsikirjoitus (hyv. *Silvae Genetica*).
- Sweet, G. B. 1975. Flowering and seed production. Teoksessa: Faulkner, R. (toim.). Seed orchards. Forestry Commission Bulletin 54: 72-82.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
 Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Perimä vai ympäristö: mikä ratkaisee siemenviljelysjälkeläistön kestävyuden?

Seppo Ruotsalainen

Mistä on kysymys ?

Siemenen syntypaikan jälkivaikutuksella (after effect) tarkoitetaan ilmiötä, jossa emon kasvupaikan ympäristötekijät muuttavat enemmän tai vähemmän pysyvästi jälkeläisten ominaisuuksia. Tällöin siis saman puun eri ympäristöissä kasvavat vartteet tuottavat erilaisia jälkeläisiä, vaikka pölytys tapahtuisi samalla siitepölyllä.

Tällainen - ainakin näennäisesti - hankittujen ominaisuuksien periytyminen ei ole ollut sitten Darwinin aikojen kovin uskottava teoria länsimaisen luonnontieteen piirissä. Tähän suuntaan viittaavia kuusen kasvurytmiä koskevia tutkimustuloksia esitettiin kuitenkin 1980-luvun alussa (Bjørnstad 1981). Tulosten mukaan eteläisessä siemenviljelysympäristössä kehittyneistä siemenistä kasvaneiden taimien kasvujakso oli useita viikkoja pitempi kuin pohjoisempaan kasvavista alkuperäisistä pluspuista kerätyistä siemenistä kasvaneilla taimilla. Tästä voidaan epäillä, että myös siemenviljelyksiltä saatavien taimien sopeutuneisuus ja kestävyys alkuperäiselle kasvupaikalleen saattaisi olla huonontunut. Tällaiset tulokset ovat huolestuttavia pohjoisten alueiden siemenhuollon kannalta, sillä varsin yleisesti siemenviljelyksiä on perustettu pluspuiden alkuperäaluetta etelämmäksi (Dietrichson ym. 1982).

Bjørnstadin (1981) tutkimuksen ilmestymisen jälkeen asiaa on tutkittu vaihtelevalla intensiteetillä Norjassa (Johnsen 1989a, 1989b, Johnsen ym. 1989, Skrøppa & Johnsen 1994), Ruotsissa (Lindgren & Wang 1986, Dormling & Johnsen 1992, Lindgren & Wei 1993) ja Suomessakin (Häggman 1987). Tutkimuksissa on pyritty poistamaan mahdollisia virhelähteitä koejärjestelyistä, selvittämään ilmiön merkitystä käytännön metsänviljelylle ja pohtimaan sen syitä.

Suomessa aloitettiin risteytykset sekä männyllä että kuusella siemenen syntypaikan jälkivaikutus -ilmiön selvittämiseksi 1980-luvun puolivälissä. Monivuotisen työn tuloksena materiaalia on saatu jo niin paljon, että ensimmäiset julkaisut sen pohjalta

ovat valmistumassa (Skrøppa ym. 1994, Ruotsalainen ym. 1994). Tässä tehdään yhteenvedoa näistä julkaisuista.

Tutkimusaineistot ja -menetelmät

Jotta pystyttäisiin mahdollisimman pitkälle poistamaan tutkittavasta taimimateriaalista kaikkien muiden tekijöiden paitsi siemenen syntypaikan vaikutus, käytettiin siementen tuottamisessa kontrolloituja risteytyksiä. Risteytyksissä käytettiin emoina Etelä- ja Pohjois-Suomessa kasvavien pluspuiden vartteita. Tietyllä emopuulla käytettiin risteytyksessä samaa siitepölyä molemmissa paikoissa (taulukko 1.) Kuusella risteytyspaikkoja oli Etelä-Suomessa kaksi ja Pohjois-Suomessa yksi. Männyllä risteytyspaikkoja oli sekä etelässä että pohjoisessa kaksi. Erikoiskäsittelynä yhden mäntykloonin siemenet tuleennutettiin Pohjois-Suomessa ulkoilman lisäksi myös muovihuoneessa.

Taulukko 1. Siemenen syntypaikan jälkivaikutusta selvittävien risteytysten taustatietoja.

Risteytyspaikka	Leveysaste	Risteytysyhd., kpl	Tuleentumisvuodet	Materiaalin alkuperä
Mänty				
Etelä-Suomi				
Punkaharju, kloonikok.	61°48'	4	1987, -88, -90	67°03' - 68°40'
Korpilahti, sv nro 140	62°08'	1	1990	66°35' - 67°11'
Pohjois-Suomi				
Rovaniemi mlk, sv nro 57	66°30'	2	1988	68°33' - 68°40'
Kolari, kloonikok.	67°17'	3+1 ¹⁾	1988, -90	66°35' - 67°11'
Kuusi				
Etelä-Suomi				
Joutsa, sv nro 365	61°39'	3	1989	64°43' - 67°44'
Korpilahti, sv nro 170	62°13'	8	1987	60°45' - 66°12'
Pohjois-Suomi				
Tervola, sv nro 131	66°08'	11	1988, -89, -91	60°45' - 67°44'

1) Yksi risteytysyhdistelmä tuleentunut ulkoilman lisäksi muovihuoneessa.

Risteytyksissä käytetyt männyt olivat kotoisin Keski- ja Pohjois-Lapista (taulukko 1). Kaikki emopuut olivat pluspuita, mutta isinä käytettiin myös valitsemattomia luonnonpuita. Sen sijaan kuuset olivat peräisin paljon laajemmalla alueelta Kainuusta

Keski-Lappiin. Lisäksi kuusiristeytyksissä käytettiin isinä kahta eteläsuomalaista pluspuuta.

Risteyttämällä luotu koemateriaali kasvatettiin kasvihuoneessa. Mäntykoe kasvatettiin Punkaharjulla (Ruotsalainen ym. 1994) ja kuusikoe Norjassa Oslon yliopiston fytofonissa (Skrøppa ym. 1994). Saman laatikon toiseen päähän kylvettiin tietyn risteytysyhdistelmän etelässä syntyneitä siemeniä ja toiseen päähän pohjoisia siemeniä. Satunnaisvirheiden välttämiseksi kokeissa oli useita toistoja. Lisäksi kokeissa oli mukana vertailumateriaalina luonnonmetsiköistä kerättyjä siemeniä.

Taimien pituus mitattiin kasvukauden loputtua. Männyllä kasvun päätyttyä havainnointiin silmunmuodostusta.

Puolet mäntymateriaalista pakastustestattiin -5 - -10 °C lämpötilassa elo- syyskuun vaihteessa n. 3 kuukauden kuluttua kylvöstä. Pakastaminen tehtiin Metsänjalostuslaitoksen Pieksämäen taimitarhalla. Kuusimateriaali pakastettiin kokonaisuudessaan -8 - -14 °C lämpötiloissa vajaan 4 kuukauden kuluttua kylvöstä. Pakastusvauriot inventoitiin 2 - 3 viikon kuluttua pakastuksesta. Taimet olivat tämän ajan lämpimässä, jotta vauriot tulisivat selvästi esille. Männyllä käytettiin 7-luokkaista ja kuusella 12-luokkaista asteikkoa. Jokaisen taimen vaurioaste arvioitiin silmävaraisesti pääasiassa neulasten perusteella täysin vauriottomasta (luokka 0) tuhoutuneeseen (männyllä luokka 6 ja kuusella luokka 11). Männyllä vaurioasteet muunnettiin myöhemmin prosenteiksi.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Mänty

Taimien pituudessa siemenen syntypaikan vaikutus näkyi selvästi (taulukko 2). Kaikissa viidessä vertailtavassa risteytysparissa eteläisistä siemenistä kasvoi pitempiä taimia kuin pohjoisista (68 mm vs. 52 mm). Pohjoisista risteytysparista kasvaneet taimet olivat likipitään samanpituisia kuin alkuperältään niitä vastaavat metsikköerät, mutta eteläiset risteytysparit olivat vastaavia metsikköeriä pitempiä.

Etelässä syntyneistä siemenistä kasvaneiden taimien suurempi pituus johtuu siitä, että eteläiset siemenet olivat painavampia kuin pohjoiset (1000-siemenpaino 5,9 g vs 4,1 g). Pohjoisessa syntyneiden risteytysparien heikompa laatua kuvastaa myös niiden hitaampi itäminen (taulukko 2). Nämä riippuvuudet on havaittu lukuisissa tutkimuksissa (Simak & Gustafsson 1954, Perry 1976, Mikola 1980, Sorensen & Campbell 1985).

Taulukko 2. Etelässä ja pohjoisessa tehtyjen mäntyristeytyserien sekä eräiden metsikköerien 1000-siemenpainot, itävyvydet, taimien pituudet ja silmunmuodostukset.

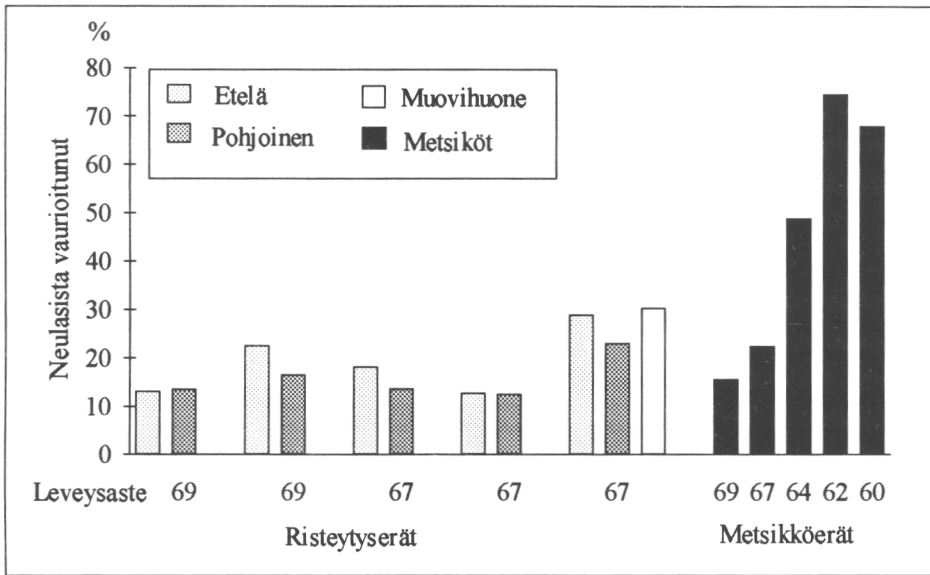
Aineisto	1000-siemen- paino, g	Itävyys (14 vrk), %	Pituus, mm	Silmunmuo- dostus 9.9., %
Risteytyserat				
Etelä	5,9	81	68	81
Pohjoinen	4,1	60	52	80
Pohjoinen, muovih.	7,5	78	76	75
Metsikköerat				
Inari, 69°08' N	3,2	16	36	73
Kolari, 67°11' N	3,9	96	59	83
Pyhäjoki, 64°25' N	3,7	88	59	62
Kerimäki, 61°50' N	4,4	6	47	9
Tammisaari, 60°02' N	4,2	97	66	12

Muovihuoneessa Pohjois-Suomessa kehittynyt siemenenä muistutti sekä painoltaan (7,5 g), itävyydeltään että siitä kehittyvien taimien pituuden (76 mm) ja pakastuskestävyyden suhteen eteläistä risteytyseriä. Myös Johnsen ym. (1994) ovat havainneet, että kuusella kasvihuoneessa tehdyistä risteytyksistä peräisin olevien taimien pakkaskestävyys oli alentunut verrattuna vastaaviin ulkona tehtyihin risteytyksiin. Kysymys ei kuitenkaan ole suoranaisesti samasta ilmiöstä, sillä tässä esitetyt mäntyristeytykset tehtiin ulkona, mutta tuleentumiskesänä vartteet suljettiin muovihuoneeseen. Johnsenin ym. (1994) tutkimuksessa sen sijaan pölytys tehtiin kasvihuoneessa, mutta pian tämän jälkeen vartteet siirrettiin ulos, missä siemenet kehittivät.

Silmunmuodostuksessa etelässä ja pohjoisessa tehtyjien risteytyserien välillä ei ollut eroja (taulukko 2). Risteytyserat eivät myöskään poikenneet alkuperältään vastaavista metsikköeristä.

Pakastuskokeessa havaittiin metsikköerillä hyvin selvä kestävyyden lisääntyminen eteläisistä pohjoisiin alkuperiin siirryttäessä. Risteytyserat olivat kestävyydeltään likipitään alkuperältään vastaavien metsikköerien veroisia. Etelässä syntyneestä risteytysiemeneestä kasvaneet taimet olivat keskimäärin hieman herkempiä vaurioitumaan pakastuksessa kuin vastaavat pohjoiset risteytyserat, mutta yksittäistapauksissa erot saattoivat olla päinvastaisiakin (kuva 1). Tämä ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Vastaavansuuntainen, mutta paljon selvempi ero on havaittu pakastuskokeessa Dormlingin ja Johnsenin (1992) tutkimuksessa. Toisena kasvukautena erot pakkaskestävyydessä olivat kuitenkin jo hävinneet.

Risteytyserien välinen vaihtelu pakastusvaurioissa oli suurempaa kuin siemenen tuleentumispaikasta aiheutuva vaihtelu.



Kuva 1. Männyllä etelässä ja pohjoisessa tehdyistä risteytyksistä kasvatettujen taimien sekä metsikköerien neulasien vaurioituminen syksyllä tehdyssä pakastustestissä. Risteytysierissä kunkin pylväsparin pylväät edustavat geneettisesti samanlaista yhdistelmää, vain risteytyspaikassa on eroa. Leveysasteet ovat emo- ja isäpuiden kotipaikkojen keskiarvoja tai metsiköiden sijaintipaikkojen leveysasteita.

Kuusi

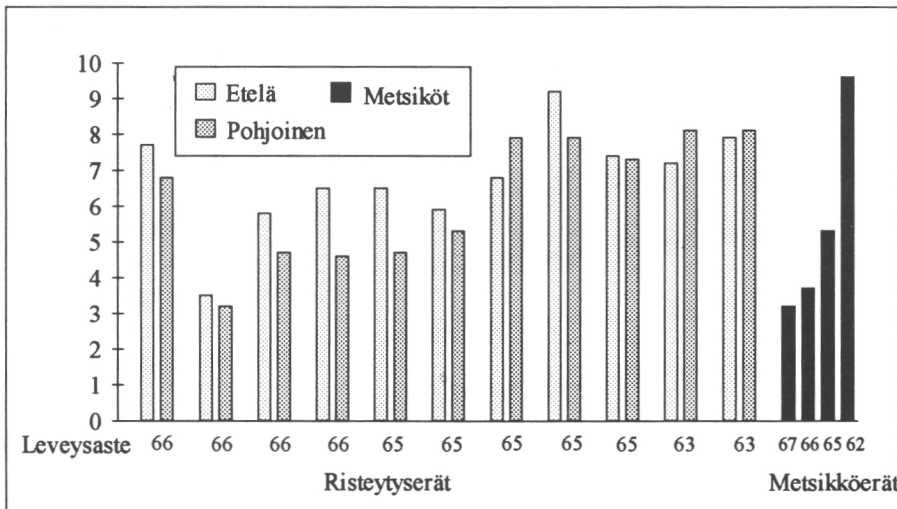
Kuusella pohjoiset risteytyserat olivat männystä poiketen keskimäärin pidempiä kuin vastaavat eteläiset risteytyserat (taulukko 3). Syynä tähän oli, että useimpien eteläisten risteytysyhdistelmien siemenet kehittyivät pohjoisia kylmemmissä olosuhteissa. Pohjoisessa risteytykset tehtiin pääasiassa lämpimänä kesänä 1989 (keskilämpötila Kemissä 14 °C). Eteläiset risteytykset tehtiin puolestaan enimmäkseen kylmänä kesänä 1987 (keskilämpötila Jyväskylässä 12,5 °C). Tämä näkyi selvästi siemenen painossa ja vaikutti taimien pituuteen. Tosin tämä ei pysty selittämään ilmiötä kokonaisuudessaan, sillä pohjoinen risteytysera oli eteläistä pitempi myös sellaisessa tapauksessa, missä eteläinen erä oli tuleentunut lämpimämmässä.

Eteläisimmän metsikköeran lyhyys johtui siemenen vanhuudesta ja siemenen hitaasta itämisestä.

Taulukko 3. Kuusen etelässä ja pohjoisessa tehtyjen risteytyserien sekä metsikköerien 1000-siemenpainot ja taimien kokonaispituudet.

Aineisto	1000-siemenpaino, g	Pituus, mm
Risteytysserät		
Etelä	5,8	109
Pohjoinen	6,8	115
Metsikköerät		
Kolari, 67°17' N	4,8	137
Rovaniemi, 66°24' N	5,0	126
Suomussalmi, 64°51' N	5,6	122
Juva, 61°55' N	4,9	92

Pakastuskestävyydessä siemenen syntypaikan vaikutus näkyi selvästi. Etelässä kehittyneestä siemenistä syntyneet taimet vaurioituivat yleensä vastaavia pohjoisia taimieriä enemmän pakastuksessa (kuva 2). Tulos on yhtäläinen norjalaisten tulosten kanssa (Johnsen 1989a, Johnsen & Østreng 1994). Norjalaisissa tutkimuksissa myös samalta siemenviljelykseltä eri vuosina kerättyjen siemenerien on todettu olevan pakastuskestävyyksiltään erilaisia (Kohmann & Johnsen 1994), kuten männylläkin. Risteytysyhdistelmien välillä oli hyvin suuria eroja kestävyydessä. Tämä vaihtelu oli suurempaa kuin siemenen tuleentumispaikasta johtuva vaihtelu ja myös suurempaa kuin vastaavan alueen metsiköiden välinen vaihtelu. Samat risteytysyhdistelmät tuottivat kestävimmit jälkeläistöt ja toisaalta vastaavasti huonoimmin kestävät yhdistelmät sekä etelässä että pohjoisessa tehdyissä risteytyksissä.



Kuva 2. Kuusella etelässä ja pohjoisessa tehdyistä risteytyksistä kasvatettujen taimien sekä metsikköerien neulasten vaurioituminen (asteikolla 0 - 11) syksyllä tehdyssä pakastustestissä. Selitykset kuten kuvassa 1.

Sekä etelässä että pohjoisessa syntyneet risteytyserät olivat kestävyydeltään keskimäärin hieman huonompia kuin vastaavan alueen metsikköerät. Kuitenkin kestävimät risteytysyhdistelmät olivat jopa kestävämpiä kuin vastaavat metsikköerät.

Päätelmiä

Siemenen syntypaikalla eli tarkemmin sanoen siemenen tuleentumispaikan lämpöoloilla on selvä vaikutus siemenestä kehittyvien taimien pituuteen. Lämpimässä ilmastossa (yleensä etelässä) kehittyneestä siemenestä syntyvät taimet ovat yleensä kylmän ilmanalan sisaruksiaan pitempiä. Tämä johtuu lämpimämmässä kehittyneiden siementen paremmasta vararavintotilanteesta ja tuleentumisesta, mikä näkyy mm. painavampana siemenenä ja nopeampana itämisenä (Kujala 1927, Simak & Gustafsson 1954, Andersson, E. 1965, Sarvas 1970, Ryyänen, M. 1973, Perry 1976, Mikola 1980, Henttonen ym. 1986, Ruotsalainen 1988, Eeronheimo & Ruotsalainen 1991, Dormling & Johnsen 1992). Tämä vaikutus on kuitenkin ohimenevä ja häviää myöhempinä kasvukausina (Mikola 1980, Dormling & Johnsen 1992). Tosin Lindgrenin ja Wein (1993) mukaan ensimmäisenä kesänä havaitut pituuserot olivat säilyneet muuttumattomina 5 - 6 v ikäisillä taimilla.

Pakastustestauksen avulla mitattuun kestävyYTEEN siemenen syntypaikalla oli selvästi vaikutusta kuusella. Männylläkin saatiin viitteitä siihen suuntaan, että etelässä tehdyillä risteytyserillä pakastuskestävyys oli lievästi alentunut pohjoisiin risteytysiin verrattuna. Muut kasvurytmiominaisuudet eivät tukeneet tätä havaintoa. Kuusella etelässä tuleentuneesta siemenestä kasvaneet taimet vaurioituivat pakastuksessa pahemmin kuin pohjoiset sisaruksensa, vaikka eteläinen siemen olikin kevyempää ja siitä kasvaneet taimet lyhyempiä. Syntypaikan vaikutus kestävyYTEEN ei siis johtunut lämpötekijästä riippuvista siemenen ominaisuuksista, vaan kyseessä on jokin muu mekanismi. Myös Johnsen ym. (1994) totesivat, että eri olosuhteissa kehittyneistä risteytysiemeneristä kasvatettujen taimien pakastuskestävyyserot eivät olleet siemenen painosta riippuvaisia. Yleisemminkin on todettu, että kasvurytmiin liittyvissä ominaisuuksissa siemenen painolla ei ole vaikutusta (Mikola 1980, Skrøppa 1988). Tosin B. Andersson (1985) totesi hieman tässä esitetystä poikkeavasti määritellyn jälkivaikutuksen olevan riippuvainen siemenen painosta.

Se, että kuusella siemenen syntypaikan eteläisyys sinällään heikentää kestävyYTEÄ, antaa aiheen epäillä, että fotoperiodismilla on jotain yhteyttä asiaan. Kuusen kasvun ajoittumisessa onkin todettu mäntyä selvempi riippuvuus valojaksosta (Ekberg ym. 1979, Koski & Sievänen 1985). Tarkempaan ilmiön syiden pohdintaan tämä aineisto ei suo mahdollisuuksia.

Siemenen syntypaikan jälkivaikutusta on tutkittu maastokokeissa hyvin vähän. Lindgrenin ja Wein (1993) mukaan kuusivuotiaassa mäntykokeessa pohjoisessa tehdyistä risteytyseriistä kasvatetut taimet olivat vastaavia eteläisten risteytyserien taimia paremmin elossa. Itse asiassa tämä on ainoa tiukan määrittelyn mukainen siemenen syntypaikan jälkivaikutusta tutkiva maastokoe, jonka tuloksia on esitelty tieteellisissä julkaisuissa.

Epäsuoria päätelmiä siemenen syntypaikan vaikutuksesta voidaan tehdä vertaamalla kokeissa olevia risteytyseriä risteytysvanhempien alkuperäalueelta kotoisin oleviin metsikköeriin. Johnsenin ym. (1989) mukaan kuusen kenttäkokeessa istutusta seuraavana keväänä siemenviljelysjälkeläistöissä oli havaittavissa enemmän talvivaurioita kuin vastaavan alueen metsikköerissä. Elossaolossa viiden kasvukauden kuluttua eroja ei kuitenkaan huomattu. Mikolan (1993) mukaan Keski-Suomessa kehittyneistä pohjoissuomalaisen mäntyjen risteytyseriä kasvatetut taimet olivat 10-vuotiaassa kokeessa Kolarissa alkuperältään vastaavia metsikköeriä huomommin elossa. Muutamista pohjoissuomalaisista kokeista saadut elossaolo-tulokset sopivat yhteen em. julkaisujen tulosten kanssa (taulukko 4). Kuusi on niin kestävä ilmastollisten ympäristötekijöiden suhteen, että sellaisetkin jälkeläistöt, joissa isinä ovat eteläsuomalaiset kuuset, ovat lähes yhtä hyvin elossa kuin geenistöltään täysin pohjoiset koe-erät (taulukot 4b ja 4c). Männyllä sen sijaan alkuperältään pohjoiset, etelässä tehdyt risteytykset tuottavat jälkeläistöjä, joiden elossaolo on huomompi kuin paikallisten metsikköerien (taulukko 4a). Risteytysjälkeläistöjen välinen vaihtelu on kuitenkin niin suurta, että jokaisessa kokeessa on löydettävissä jälkeläistöjä, jotka ovat paremmin elossa kuin alkuperältään vastaava metsikköerä.

Vanhoissa kenttäkokeissa olevalla aineistolla tehtävässä epäsuorassa vertailussa jää kuitenkin epävarmaksi johtuuko havaittu kestävyysero siemenen syntypaikasta vai jostain muusta tekijästä. Samoin B. Anderssonin (1985) ja Ahon (1994) pakastustesteissä havaitsema männyn eteläisten siemenviljelys- tai risteytyssemenerien poikkeama alkuperältään vastaavista metsikköeristä voi johtua muista tekijöistä kuin siemenen syntypaikasta. Eräs selitys voi olla pohjoisessa siemenen kypsymisen mukaan tapahtuva valinta, joka jää puuttumaan etelässä suotuisassa siemenviljelysympäristössä (Simak & Gustafsson 1954). Siemenviljelyksellä geneettisesti pitkäkasvujaksoiset kloonit voivat osallistua suuremmalla osuudella siemensadon muodostukseen kuin alkuperäisillä kasvupaikoillaan (Sarvas 1970).

Taulukko 4a. Keskisuomalaisilla siemenviljelyksillä tehtyjen pohjoista alkuperää olevien männyn risteytyserien elossaolo (%) pohjoissuomalaisissa kokeissa verrattuna alkuperältään vastaaviin metsikköeriin.

Koe nro	Paikka	Ikä, v	Eteläiset risteytyserät			Metsiköt
			Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
519/1	Kolari	15	40	24	64	54
519/3	Posio	15	41	24	51	45
520/3	Kittilä	19	36	3	67	45
582/1	Rovaniemi	15	69	55	83	71

Taulukko 4b. Keskisuomalaisilla siemenviljelyksillä taustapölyttyneiden kuusijälkeläistöjen elossaolo (%) pohjoissuomalaisissa kokeissa verrattuna pluspuiden alkuperäalueen metsikköeriin.

Koe nro	Paikka	Ikä, v	Vapaapölytykset Keski-Suomessa			Metsiköt
			Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
754/3	Rovaniemi	10	78	63	89	71
799/2	Pello	10	83	73	93	90

Taulukko 4c. Punkaharjulla alkuperäkokeessa nro 18/1 kasvavissa muoniolaisissa kuusissa tehtyjen risteytysjälkeläistöjen elossaolojen (%) vertailu pohjoissuomalaisissa kokeissa. Risteytyksissä oli käytetty isinä pohjoissuomalaisia (Muonio) ja eteläsuomalaisia (Rautjärvi) kuusia.

Koe nro	Paikka	Ikä, v	Muonio x Muonio		Muonio x Rautjärvi	
			Keskiarvo	Keskiarvo	Keskiarvo	Keskiarvo
278/4	Salla	15	77		74	
366/1	Kolari	15	81		77	

Edellä esitetyt tulokset ovat pitkälle yhtäpitäviä aikaisemmin muissa Pohjoismaissa saatujen tulosten kanssa. Aiemmissä tutkimuksissa ei kuitenkaan on paljoa korostettu sitä seikkaa, että siemenen syntypaikan vaikutus taimien kestävyyyteen on kuitenkin pienempi kuin risteytysyhdistelmien välinen vaihtelu. Niinpä siemenen syntypaikan vaikutusta voidaan pienentää ja jopa kokonaan eliminoida vanhempien valinnan avulla. Varhaistesteissä kuusen eteläisten risteytyserien kestävyys on selvästi alentunut verrattuna geneettisesti vastaaviin pohjoisessa tehtyihin risteytyseriin. Kuusen geneettinen ilmastokestävyys on kuitenkin niin hyvä (taulukot 4b ja 4c), että havaittu siemenen syntypaikasta johtuva ilmeisesti fysiologinen kestävyuden aleneminen ei ole käytännön kannalta merkittävä. Tilanne on sikäli ristiriitainen, että männnyllä ei varhaistesteissä ole saatu esille kovin selviä siemenen syntypaikasta johtuvia kestävyyseroja, mutta maastokokeissa on saatu sekä suoria (Lindgren & Wei 1993) että epäsuoria (Mikola 1993) (taulukko 4a) viitteitä kestävyuden alenemisesta eteläisissä risteytyseriissä. Olipa syynä sitten siemenen syntypaikasta johtuva jälkivaikutus tai joku muu tekijä, kyseessä on siksi merkittävä

asia, että se vaatii tarkempaa tutkimusta. Kokonaisuudessaan siemenviljelyksiin liittyvien ongelmien joukossa (Nikkanen 1994) siemenen syntypaikan jälkivaikutus näyttää olevan niitä pienimpiä käytännön vaikutuksiltaan.

Siemenen syntypaikan jälkivaikutuksella on myös oma tieteellinen mielenkiintonsa. Erityisesti ilmiön syyt ovat mielenkiintoisia tutkimuskohteita, mutta siihen tarvitaan huolellista koesuunnittelua ja kohtalaisen suuria tutkimusresursseja. Siemenen itämiseen ja sitä kautta mahdollisesti myös siitä kehittyvän taimen ominaisuuksiin vaikuttavat monet tällaista tutkimusta häiritsevät tekijät, kuten siemenen paino, tuleentuminen, varastointiaika ja -olot sekä keräysaika (Simak & Gustafsson 1954, Ryyänen, M. 1973, Ryyänen, L. 1980, Nygren 1992, Venäläinen 1992). Siemenen syntypaikan lisäksi myös taimien kasvatusoloilla on havaittu olevan vaikutusta taimien myöhempään kehitykseen (Koski & Sievänen 1985, Melzer & Karge 1991, Eriksson ym 1994). Nämä metsänjalostuksen ja taimituotannon välille asettuvat siemen- ja taimifysiologiset ilmiöt voisivat tarjota mahdollisuuden myös niiden hyödyntämiseen, jos niitä kunnolla ymmärrettäisiin.

Kirjallisuus

- Aho, M-L. 1994. Autumn frost hardening of one-year-old *Pinus sylvestris* (L.) seedlings: Effect of origin and parent trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(1): 17-24.
- Andersson, B. 1985. Frystest av norrländska plantageskördar. Summary: Freezing tests of northern Scots pine seedlings from seed orchards. Julkaisussa: Nilsson, J-E. (toim.) Skogsodlingsmaterial för hårda nordliga lägen. Föredrag från ett seminarium i Umeå 19-20 februari 1985. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi. Rapport 4: 42-56.
- Andersson, E. 1965. Cone and seed studies in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Sammanfattning: Kott- och fröstudier hos gran. *Studia Forestalia Suecica* 23. 214 s. + liitt.
- Bjørnstad, Å. 1981. Photoperiodical after-effects of parent plant environment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 36(6). 30 s.
- Dietrichson, J., Feilberg, L., Hadders, G. & Koski, V. 1982. Fröproduktion i nordiska fröplantager. 2. Fröplantageverksamheten i de nordiska länderna. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsgenetik. Rapporter och uppsatser 34. 35 s.
- Dormling, I. & Johnsen, Ø. 1992. Effects of the parental environment on full-sib families of *Pinus sylvestris*. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 88-100.
- Eeronheimo, H. & Ruotsalainen, S. 1991. Mänty muovihuoneessa - paraneeko siemenen laatu? *Luonnon Tutkija* 95: 127-130.
- Ekberg, I., Eriksson, G. & Dormling, I. 1979. Photoperiodic reactions in conifer species. *Holarctic Ecology* 2: 255-263.
- Eriksson, G., Dormling, I. & Norell, L. 1994. Genetic variation in photoperiodic preconditioning in *Pinus sylvestris* (L.) seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(3): 218-225.

- Henttonen, H., Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of *Pinus sylvestris* seeds in relation to temperature climate in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1(2): 243-249.
- Hägglman, H. 1987. Männyn siemenen syntypaikan jälkivaikutus taimien kehitykseen. Julkaisussa: Saarenmaa, H. & Poikajärvi, H. (toim). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 278: 104-114.
- Johnsen, Ø. 1989a. Phenotypic changes in progenies of northern clones of *Picea abies* (L.) Karst. grown in a southern seed orchard. I. Frost hardiness in a phytotron experiment. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 317-330.
- 1989b. Phenotypic changes in progenies of northern clones of *Picea abies* (L.) Karst. grown in a southern seed orchard. II. Seasonal growth rhythm and height in field trials. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 331-341.
- , Dietrichson, J. & Skaret, G. 1989. Phenotypic changes in progenies of northern clones of *Picea abies* (L.) Karst. grown in a southern seed orchard. III. Climatic damage and growth in a progeny trial. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 343-350.
- , Skrøppa, T., Haug, G., Apeland, I. & Østreg, G. 1994. Sexual reproduction in a greenhouse reduces autumn frost hardiness of *Picea abies* progenies. *Käsikirjoitus*.
- & Østreg, G. 1994. Effects of plus tree selection and seed orchard environment on progenies of *Picea abies*. *Käsikirjoitus*.
- Kohmann, K. & Johnsen, Ø. 1994. Time of flowering in seed orchards of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and the photoperiodic response of the progeny. (*käsikirjoitus*) 16 s. + liitt.
- Koski, V. & Sievänen, R. 1985. Timing of growth cessation in relation to the variations in the growing season. Julkaisussa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.) *Crop Physiology of Forest Trees*. Helsinki University Press. Helsinki. s. 167-193.
- Kujala, V. 1927. Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. *Seloste: Tutkimuksia männyn- ja kuusensiemenen rakenteesta ja itäväisyydestä Suomessa. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae editae* 12. 107 s.
- Lindgren, D. & Wang, Q. 1986. Are genetic results influenced by the environment during seed maturation? Julkaisussa: Weir, R.J. (toim.) *Proceedings of IUFRO Conference on Breeding Theory, Progeny Testing and Seed Orchards*, 13-17 October 1986, Williamsburg, Virginia. North Carolina State University, Raleigh. s. 192-199.
- & Wei, R-P. 1993. Effects of maternal environment on mortality and growth in young *Pinus sylvestris* field trials. *Käsikirjoitus*
- Melzer, E.W. & Karge, A. 1991. Langzeitwirkungen von Adaptationen in Fichtenjungpflanzen. Summary: Long-term effects of adaptational processes in young spruce. *Forstarchiv* 62: 70-73.
- Mikola, J. 1980. The effect of seed size and duration of growth on the height of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances and progenies at the nursery stage. *Seloste: Siemenen koon ja kasvun keston vaikutuksesta männyn (*Pinus sylvestris* L.) ja kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) alkuperien ja jälkeläistöjen pituuskasvuun taimitarhavaiheessa. *Silva Fennica* 14(1): 84-94.*

- Mikola, J. 1993. Provenance and individual variation in climatic hardiness of Scots pine in northern Finland. Julkaisussa: Alden, J., Mastrantonio, J.L. & Ødum, S. (toim.) Forest Development in Cold Climates. Plenum Press. New York. s. 333-342.
- Nikkanen, T. 1994. Heinämäen kuusen siemenviljelys - kaikki ongelmat samalla paikalla. Julkaisussa: Häggman, J. & Oksa, E. (toim.). Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525: 25-34.
- Nygren, M. 1992. Männyn siemenviljelyssiemenen itämistunnukset syys- ja talvikeräyksissä. Julkaisussa: Smolander, H. & Pulkkinen, M. (toim.) Siemenpäivät Siilinjärvellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426: 47-58.
- Perry, T.O. 1976. Maternal Effects on the Early Performance of Tree Progenies. Julkaisussa: Cannel, M.G.R. & Last, F.T. (toim.) Tree Physiology and Yield Improvement. Academic Press. London. s. 471-481.
- Ruotsalainen, S. 1988. Männyn siemen kypsäksi muovin alla Lapissa. Metsä ja Puu nro 5: 10-11.
- , Nikkanen, T. & Haapanen, M. 1994. The effect of maturing conditions of seed on the seedlings of *Pinus sylvestris* during the first growing season. Käsikirjoitus.
- Ryynänen, L. 1980. Männyn siemenen varastointi ja vanheneminen. Abstract: Storage of Scots pine seed and seed ageing. Folia Forestalia 428. 11 s.
- Ryynänen, M. 1973. Vajaasti tuleentuneiden männyn alkioiden luokittelu ja kasvatust. Kolarin tutkimusaseman tiedonantoja 5. 17 s. + liitt.
- Sarvas, R. 1970. Establishment and registration of seed orchards. Folia Forestalia 89. 24 s.
- Simak, M. & Gustafsson, Å. 1954. Fröbeskaffenheten hos moderträd och ympar av tall. Summary: Seed properties in mother trees and grafts of Scots pine. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut. 44(2). 73 s. + liitt.
- Skrøppa, T. 1988. The seed weight did not affect first year's bud-set in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 3(4): 437-439.
- & Johnsen, Ø. 1994. The genetic response of plant populations to a changing environment: the case for non-Mendelian processes. Julkaisussa: Boyle, T.J.B. & Boyle, C.E.B. (toim.). Biodiversity, Temperate Ecosystems, and Global Change. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 183-199.
- , Nikkanen, T., Ruotsalainen, S. & Johnsen, Ø. 1994. Effects of sexual reproduction at different latitudes on performance of the progeny of *Picea abies*. Käsikirjoitus (hyv. Silvae Genetica).
- Sorensen, F.C. & Campbell, R.K. 1985. Effect of seed weight on height growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) seedlings in a nursery. Canadian Journal of Forest Research 15: 1109-1115.
- Venäläinen, M. 1992. Pohjoisten ja eteläisten alkuperien itämistunnukset. Julkaisussa: Smolander, H. & Pulkkinen, M. (toim.) Siemenpäivät Siilinjärvellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426: 19-33.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
 Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

DNA-merkit jalostuksen käytössä

Outi Savolainen

Johdanto

Populaatiogenetiikan merkkigeenit ovat jo pitkään toimineet metsäpuiden jalostuksen apuna (esim. Muona 1989). Merkkiominaisuuksia tarvitaan monissa rutiinitehtävissä. Jalostusohjelman kloonit täytyy tunnistaa, risteytysjälkeläisten oikea alkuperä halutaan varmistaa, ja siemenviljelyksen sadosta on kiinnostavaa määrittää taustapölytyksen osuus. Laajoissa jalostusohjelmissa tapahtuu väistämättä joskus virheitä. On hyvä tietää millä todennäköisyydellä virheitä tapahtuu. Toisaalta joskus täytyy voida olla aivan varma esim. risteytyksen vanhemmista.

Merkkigeenejä käytetään myös monien tieteellisten kysymysten ratkaisemiseen, esim. albino-ominaisuutta on hyödynnetty mutaatiotiheyden arvioimisessa. Entsyymigeenien muuntelu on ollut tärkeä apuneuvo kun on selvitetty kasvipopulaatioiden lisääntymisrakennetta. DNA-merkit ovat mahdollistaneet monien uusien kysymysten lähestymisen merkkigeenien avulla.

Kiitokset: Tämä kirjoitus perustuu tutkimusryhmän yhteistyöhön. Tällä hetkellä Oulussa työskenteleviä jäseniä ovat Elena Baena-Gonzalez, Päivi Hurme, Anne Karjalainen, Päivi Karvonen, Helmi Kuittinen, Katri Kärkkäinen, Rob van Treuren ja Jaana Vuosku. Lisäksi kiitän Metsäntutkimuslaitoksen jalostajia vuosia jatkuneesta hyvästä yhteistyöstä, jota ilman oma työemme ei onnistuisi.

Erilaiset merkit ja niiden käyttö

Perinteisesti merkkeinä on käytetty morfologisia ominaisuuksia, esim. albino-ominaisuutta taimessa tai siemenen kuoren väriä. Paljon on käytetty myös entsyymigeenejä. Niiden etuina ovat kodominantti periytyminen, mikä tarkoittaa sitä, että kahden eri alleelin systeemissä voidaan erottaa kolme erilaista genotyyppiä. Lisäksi voidaan helposti tutkia useita geenejä, esim. 10-20 muuntelevaa systeemiä männyllä.

Viime vuosina on otettu käyttöön suoraan DNA:n muunteluun perustuvat menetelmät. Näitä menetelmiä on runsaasti ja uusia kehitetään koko ajan. Näillä on seuraavia oleellisia eroja verrattuna entsyymigeeneihin. Ensinnäkin DNA-merkit kattavat koko genomien, sekä geenit että niiden väliset alueet. Toiseksi, DNA-merkkejä voidaan löytää lähes rajattomasti. Kolmanneksi, nykyisellä polymeerasiketjureaktiotekniikalla (PCR) voidaan monistaa DNA:ta hyvin pienistä näytteistä, jopa yksittäisistä souluista. Tämä tekniikka on osoittautunut jo lyhyessä ajassa niin tärkeäksi, että sen kehittäjä K. Mullis sai kemian Nobel-palkinnon syksyllä 1993. Näiden ominaisuuksien takia merkkigeenien käyttöalue on laajentunut huomattavasti.

Seuraavassa taulukossa on esitetty eräitä tällä hetkellä käytettyjä merkkejä. DNA-merkeistä ensimmäisenä otettiin käyttöön restriktiofragmenttien pituusmuuntelu. Tämä menetelmä vaatii runsaasti DNA:ta ja on työläs, joten se pyritään korvaamaan PCR-perusteisilla menetelmillä. Ns. RAPD-merkit, jotka perustuvat umpimähkäisten DNA-jaksojen monistamiseen, ovat helppokäyttöisiä. Ongelmana on yleensä dominanssi, ilmiänsun perusteella ei voida päätellä genotyyppiä. Yhdestä puusta löydettyä merkkiä ei suoraan voida käyttää edes muissa puissa, eikä ainakaan muissa populaatioissa. Hyvin lyhyiden DNA-jaksojen kertautumiseen perustuva mikrosatelliittimuuntelu on erinomainen työväline, mutta kehittämisvaihe on kallis ja työläs. Uusi AFLP-tekniikka monistaa kerralla kymmeniä leikattuja DNA-jaksoja. Merkkejä saadaan runsaasti, mutta kunkin näytteen käsittely on työlästä, ja nämäkin merkit ovat yleensä dominoivia (Zabeau 1993). Erilaisia merkkejä ovat verranneet keskenään esim. Rafalski ja Tingey (1993).

Taulukko: Erilaiset DNA-merkit ja niiden ominaisuuksia.

Merkki	Lukumäärä	Muuntelu	Kehitys	Hinta/näyte	Haitta
Entsyymigeeni	alle 50	runsas	kallis	halpa	vähän
RFLP	∞	runsas	kallis	kallis	työläs
RAPD	∞	runsas	halpa	halpa	domin.
Mikrosatelliitti	∞	hyv.run	hyv.kal	halpa	kehitys!
AFLP	∞	runsas	kallis	työläs	domin.

Silloin kun merkkejä on paljon, niillä voidaan kattaa koko kromosomisto varsin tiheästi. Monilla malliorganismeilla tällaisia tiheitä karttoja on jo olemassa, esim. lituruohon kartassa on enemmän kuin yksi merkki yhtä rekombinaatioyksikköä kohti. Myös tärkeimmistä viljelykasveista on tehty karttoja. Ihmisen geenikartoituksessa mikrosatelliittikartat ovat osoittautuneet erinomaisiksi, näitä merkkejä on vasta alettu etsiä kasveista, eikä valmiita karttoja vielä ole.

Uusia kysymyksiä

Runsaat, paljon muuntelevat DNA-merkit auttavat selviämään aikaisemmista tehtävistä entistä paremmin. Tiheässä esiintyvät DNA-merkit mahdollistavat myös monien uusien kysymysten tarkastelun. Keskeinen on esim. havupuiden genomien rakenne. Havupuilla on hyvin runsaasti DNA:ta, ja monet geenit esiintyvät pieninä perheinä. Voimme selvittää tätä genomien rakennetta tarkemmin. Sytologiset tutkimukset ovat osoittaneet, että kromosomievoluutio on hyvin hidasta. Mutta onko kromosomien rakenne lajien välillä samanlainen, jos tarkastelemme tiheitä geenikarttoja: onko geenien järjestys sama ja ovatko etäisyydet samanlaiset? Tämä on tärkeä kysymys: jos rakenne on yleensä samanlainen, voimme helposti hyödyntää yhdestä lajista saatua tietoa toisen lajin tutkimuksessa ja jalostuksessa. Heiniin geenijärjestys (esim. maissi ja riisi) on osoittautunut yllättävän samankaltaiseksi (Ahn & Tanksley 1993).

Kvantitatiivisten ominaisuuksien muuntelu johtuu useista geneistä, mutta emme yleensä voi erottaa yksittäisten geenien vaikutusta. Tiheitä geenikarttoja voidaan kuitenkin käyttää hyväksi, kun tutkitaan tällaisen kvantitatiivisen muuntelun geneettistä perustaa. Kvantitatiiviseen ominaisuuteen vaikuttavia lokuksia voi olla monessa eri paikassa. Kun risteytetään kaksi kvantitatiivisen ominaisuuden suhteen poikkeavaa vanhempaa, ne eroavat myös monien merkkigeenien suhteen. Merkkigeenien ja kvantitatiiviseen ominaisuuteen vaikuttavien lokusten (QTL) kytkeä säilyy pari sukupolvea, kun merkit ovat tiheässä. Tähän perustuu näiden QT-lokusten kartoitus. Näin on jo löydetty esim. tomaatista hedelmän kokoon vaikuttavia genejä (Paterson ym. 1988), lituruohosta kukkimisaikageenejä, ja Eukalyptuksesta laatuominaisuuksiin vaikuttavia genejä. Oulun yliopiston perinnöllisyystieteen laitoksella tutkimme männyn kasvurytmierojen geneettistä taustaa.

Kun kvantitatiivisiin ominaisuuksiin kytkeytyneitä merkkejä löydetään, niitä voidaan tietyissä tilanteissa käyttää jalostuksen apuna. Valintatilanteessa on kuitenkin voitava olettaa, että merkin ja ominaisuuden korrelaatio on säilynyt. Tämä ei suinkaan aina ole mahdollista. Merkkiavusteisen valinnan suunnitteleminen vaatiikin hyvää jalostus- ja populaatiogenetiikan osaamista. Tehtävä on erityisen vaikea kun jalostetaan puiden kaltaisia ristisiittoisia kasveja. Toisaalta hyöty voi olla suuri, jos aikaa voidaan voittaa.

DNA-merkit ovat hyödyllisiä monimuotoisuuden indikaattoreita

Metsänviljelyssä pyritään monin tavoin kestäviin menetelmiin ja halutaan säilyttää sekä metsäpuiden että muun lajiston perinnöllinen monimuotoisuus. Monimuotoisuuden seuraamisessa työssä entsyymigeenit ovat erinomainen työväline. Niiden lisäksi DNA-merkit ovat hyväksi avuksi kun edelleen tutkitaan perinnöllisen muuntelun määrää ja jakautumista (esim. Karvonen & Savolainen 1993, Savolainen 1994).

Kirjallisuus

- Ahn, S. & Tanksley, S. D. 1993. Comparative linkage maps of the rice and maize genomes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90:7980-7984.
- Karvonen, P. & Savolainen, O. 1993. Variation and inheritance of ribosomal DNA in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Heredity* 71:614-622.
- Muona, O. 1989. Population genetics in forest tree improvement. Kirjassa: Plant population genetics, breeding, and genetic resources, toim. A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler & B. S. Weir. Sinauer, Sunderland. s. 282-298.
- Paterson, A. H., Lander, E. S., Hewitt, J. D., Peterson, S., Lincoln, S. E. & Tanksley, S. D. 1988. Resolution of quantitative traits into Mendelian factors by using a complete linkage map of restriction fragment length polymorphisms. *Nature* 335:721-726.
- Rafalski, J. A. & Tingey, S. V. 1993. Genetic diagnostics in plant breeding: RAPDs, microsatellites and machines. *Trends in Genetics* 9:275-280.
- Savolainen, O. 1994. Genetic variation and fitness: conservation lessons from pines. Kirjassa Conservation genetics, toim. V. Loeschcke, J. Tomiuk ja S. K. Jain. Birkhäuser Verlag, Basel. s. 27-36.
- Zabeau, M. 1993. Applications of AFLP. Esitelmä kokouksessa Plant Genome II, San Diego.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Koivun kasvu ja viljelyvarmuus

Matti Rousi

Johdanto

Rauduskoivu on tärkeä raaka-aine Suomen metsäteollisuudelle. Korkealaatuisesta koivusta on kuitenkin pulaa. Koivun huono saatavuus johtuu osittain siitä, että raudusta pidetään tuhoalttiina puulajina, jonka viljelyyn liittyvää riskiä ei ole haluttu ottaa.

Koivutaimikot ovat alttiita erityisesti nisäkkäiden mutta myös hyönteisten ja joidenkin sienten aiheuttamille vahingoille. Useilla puulajeilla on havaittu perinnöllistä vaihtelua tuhoalttiudessa. Vaihtelun voisi olettaa olevan erityisen suurta koivulla, joka on kehityshistoriallisesti nuori puulaji ja jonka perinnöllinen muuntelu useissa muissakin ominaisuuksissa on laajaa.

Kasvien on todettu tuottavan kemiallisia yhdisteitä, jotka ovat vahingollisia kasvin-syöjille. Useat näistä aineista ovat kemiallisesti monimutkaisia ja niiden valmistaminen vaatii kasvilta runsaasti voimavaroja. Aiemmin, kun ei tiedetty miksi näitä näennäisen merkityksettömiä yhdisteitä esiintyy kasveissa, puhuttiin kasvien sekundaariaineista, nykyisin kasvin puolustusyhdisteistä. On esitetty, että puolustukseen käytetyt resurssit ovat pois erityisesti kasvusta. Kasvit olisivat siten sopeutuneet perinnöllisesti joko nopeakasvuiseksi ja tuhoalttiiksi tai hitaasti mutta varmasti kasvaviksi.

Perimän lisäksi myös kasvuympäristö saattaa vaikuttaa kasvien tuhonkestävyyteen. Viime aikoina tieteellisessä kirjallisuudessa on käyty kiivasta keskustelua erityisesti lannoituksen ja varjostuksen vaikutuksesta kasvin puolustukseen. Herms ja Mattson (1992) käsittelivät sekä ympäristötekijöiden että kasvin perimän vaikutuksia laajasti huomiota herättäneessä artikkelissaan "Grow or defend, dilemma of plants" (kasvaa vai puolustautua, kasvien ongelma).

Mikäli kasvi "valitsisi" kasvun tai puolustuksen välillä, jouduttaisiin Suomessa vakavasti miettimään kasvunopeutta lisäävän metsänjalostuksen mielekkyyttä. Samoin, mikäli suomalaiset metsäpuut reagoisivat hiili-ravinnehypoteesin mukaan jouduttaisiin taimitarha- ja metsänlannoitusta harkitsemaan uudelleen. Edelläkuvatut hypoteesit ovat laajasti hyväksytyjä, mutta tarkka kirjallisuuden tutkiminen hämentää kriittisen lukijan: teorioita tukevia koetuloksia on vähän eivätkä useimmat kokeet ole lopultakaan tuottaneet kovinkaan selkeitä tuloksia.

Tutkimusryhmämme, Jorma Tahvanainen ja Riitta Julkunen-Tiitto Joensuun yliopiston biologian laitokselta sekä Heikki Henttonen ja Pekka Niemelä Metsäntutkimuslaitoksesta, on usean vuoden ajan selvittänyt koivun tuhonkestävyyteen vaikuttavia tekijöitä. Käytännön tavoitteenamme on ollut selvittää, voidaanko koivun tuhoriskiä vähentää esim. jalostuksen keinoin. Tutkimustulokset on osittain julkaistu, osittain julkaistavana. Tämä esitys kokoaa ulkomaisissa sarjoissa julkaistuja tuloksiamme. Mikäli tässä esityksessä viitataan oman ryhmämme tuloksiin, olen välttänyt kirjallisuusviitteitä. Yksityiskohtaiset viittaukset löytyvät jo julkaistuista artikkeleistamme. Asiasta kiinnostuneille olen kirjannut niiden lisäksi muutaman yleisesityksen tiedot artikkelin loppuun.

Tutkimuksen menetelmät

Pääosa koivun nisäkäskestävyyttä koskevasta työstämme on tehty metsäjäniksellä. Jäniksellä siksi, että jänis valitsee erittäin tarkasti ja vuodesta toiseen samalla lailla. Jäniskokeissa on käytetty hyödyksi Joensuun yliopiston Mekrijärven tutkimus- asemalla kehitettyä pitkälle automatisoitua koemenetelmää.

Myyrät aiheuttavat pahempia vauroita istutuskoivikoillemme kuin jänikset. Koe-eläiminä myyrät ovat jäniksiä hankalampia. Metsäntutkimuslaitoksen Ojajoen koeasemalla ja Punkaharjulla maastossa tehdyillä kokeilla katsomme kuitenkin saaneemme luotettavan kuvan myös myyrän ravinnonvalinnasta.

Hirvi on tutkimuskohteena ehkä kaikkein hankalin nisäkäs. Teimme Korkeasaaren eläintarhassa monta vuotta valintakokeita. Pitkät koesarjat hirven valinnasta antoivat aluksi rohkaisevia tuloksia, mutta loppuyhteenvetojen mukaan hirvi näytti sittenkin syövän eri koivuja satunnaisesti. Tämä siitä huolimatta, että eri koivutyypin sula- vuus hirven pötsissä vaihtelee. Ennakkotietojen mukaan Suomessa opinnäytettään tekevän kiinalaisen Jingbo Jian väitöskirja kuitenkin osoittaa hirvien valitsevan koivugenotyyppien (yksilöiden) välillä. Vaikka tulokset ovat tilastollisesti merkitseviä, saattaa niiden merkitys käytännön metsätaloudelle jäädä kuitenkin vähäiseksi.

Lehtikärsäkkäät aiheuttavat ajoittain koivuntaimikoille kasvutappioita syömällä erityisesti peltoistutuksilla taimikkoja lehdettömiksi. Valintakokeet on tehty Punkaharjulla koivuviljelyksiltä kerätyillä kärsäkkäillä.

Koivun lehtiruoste aiheuttaa ajoittain kasvutappioita. Ruostekokeet teimme laboratoriossa ja inventoimalla maastokokeita yhteistyössä Marja Poterin, Helsingin yliopiston kasvipatologian laitos, kanssa.

Tulokset koivun lehtenpuhkeamisesta on saatu taimitarha- ja maastokokeista Punkaharjulta ja Ruotsinkylästä. Kasvutulokset ovat useista Punkaharjulla sijaitsevista kenttäkokeista.

Kokeissa käytetty taimimateriaali on yleensä yksivuotista. Siemeniä on saatu Japanin metsäntutkimuslaitokselta ja Dow Gardenista Yhdysvalloista. Mikrolisätyt koivut on saatu/ostettu Enso Gutzeitilta.

Kokeiden teossa on saatu suuriarvoista tukea Suomen vaneriyhdistykseltä, Maa- ja metsätalousministeriöltä, Suomen Akatemialta ja Metsämiesten säätiöltä.

Nisäkäskestävyyden mekanismi

Rauduskoivun jäniskestävyys perustuu kuoren pinnalla oleviin nystyihin. Kokeisamme jähikset pystyvät valitsemaan erittäin tarkasti nystyisten ja nystyttömien taimien välillä. Raudusten nystyissä on triterpeenejä, joista tärkein karkoittava yhdiste on papyriferihappo. Nuorissa koivun versoissa sijaitsevista nystyistä saattaa terpeenipitoisuus olla erittäin suuri: esimerkiksi alaskalaisen rauduksen (*B. resinifera*) kasvaimissa on jopa 40 % (kuiva-aineesta) triterpeenejä. Ne koivulajit, jotka eivät tuota nystyjä, ovat yleensä erittäin alttiita nisäkästuhoille (esim. *B. alleghaniensis*, *maximowicziana* ja myös meikäläinen hies).

Nystyt muodostuvat rauduksen kasvaimiin vasta kasvukauden lopulla. Talvella nystyt kuivuvat ja loppupalvesta varisevat osin pois. Nystyjen terpeeneillä ei tiedetä olevan muuta merkitystä kuin nisäkäskestävyyden lisääminen. Kasvi ei pysty kierrättämään nystyjen terpeenejä, näinollen rauduksen puolustus vaatii kasvilta melkoisesti aineenvaihduntatuotteita eli on melko "kallista". [On laskettu, että gramma papyriferihappoa "maksaa" 2.7 g glukoosia. Esimerkiksi alaskalaisen koivun papyriferihapon tuottaminen kuluttaa 307 glukoosigrammaa kasvin solukogrammaa kohden (Reichardt et al. 1984)].

Kestävyyden perinnöllinen vaihtelu

Lajien välillä on vaihtelua, jota voidaan hyödyntää

Koivulajien välillä on tuhonkestävyydessä suurta vaihtelua. Nisäkäskestävyyden suhteen on eniten toiveita herättänyt herättänyt japaninraudus (*B. platyphylla*), joka on poikkeuksellisen kestävä myyriä ja jäniksiä vastaan. Japaninraudus sulaa huonosti hirvieläinten pötsissä ja se saattaa olla jonkin verran raudusta kestävämpi myös hirviä vastaan.

Japaninraudus on geneettisesti hyvin lähellä meikäläistä raudusta. Tämän vuoksi se on helppo risteyttää rauduksen kanssa, ja risteymiä voidaan taas risteyttää jomman kumman vanhemmaislaian kanssa. Laatunsa ja ilmastonkestävyytensä vuoksi japaninraudusta ei kuitenkaan Suomessa kannata viljellä. Paraikaa Punkaharjulla kasvatetaan nopeakasvuisten ja kestävien raudusyksilöiden ja lupaavien japaninrauduksien risteytyksiä (hybridejä). Niiden kasvu on näyttänyt hyvin lupaavalta. Mikäli risteymien tuhonkestävyys on noussut, voidaan ponnistelut suunnata risteymien laatuun.

On mahdollista, että risteyttämällä voidaan yhdistää erityyppisiä puolustusmekanismeja samaan kasviin ja näin saada aikaan erityisen kestäviä kasvityyppejä. Puolustusmekanismien periytyvyyden selvittämiseksi teemme risteytyskokeita myös taloudellisesti vähäarvoisilla koivulajeilla.

Alkuperien välillä ei yleensä vaihtelua

Kasvien tuhonkestävyyden evoluution on ehdotettu olleen erityisen nopeaa pleistoseenian ajan jäätiköitymistien aikana. Siperiassa ja Alaskassa säilyi laajoja alueita jäätöminä refugioina. Näillä alueilla kasvinsyöjien aiheuttama valintapaine oli poikkeuksellisen suuri ja refugioiden on arveltu toimivan resistenssikeskuksina, joista voidaan löytää erityisen kestäviä kasveja. Refugioilta peräisin olevien siperialaisten raudusten voisi siis olettaa olevan erityisen kestäviä.

Teoria on puoleensavetävä. Muttei ehkä tosi, sillä vaikkakin jotkut siperialaiset puut ovat olleet kokeissamme kestäviä, eivät siperialaiset raudukset ole yleisesti sen kestävämpiä kuin suomalaisetkaan. Koivun siitepölyn tehokkaan leviämisen vuoksi ei Suomen sisälläkään liene löydettävissä poikkeuksellisen kestäviä alkuperiä. Toisaalta topografisesti toisenlaisilla alueilla, esim. Japanissa, puulajien eri alkuperien välillä on nisäkäskestävyydessä laajaa vaihtelua.

Koivulla laaja yksilövaihtelu

Nykyiset tekniikat mahdollistavat koivujen kasvullisen lisäämisen. Näin saadaan riittävän suuri taimimäärä, jotta puittaista yksilövaihtelua voidaan luotettavasti selvittää. Vaikka olemme tutkineet perusteellisesti vain kymmenkunta koivukloonaa, on näinkin vähäisessä määrässä laajaa kestävyysvaihtelua. Yksi tai kaksi klooneista on ollut poikkeuksellisen kestävä myyriä, jäniksiä ja lehtituholaisia (hyönteisiä tai sieninä) vastaan, jotkut taas hyvin tuhoalttiita. Tämän lisäksi Kuopion yliopistossa tehdyt kokeet osoittavat selviä yksilöiden välisiä eroja otsoninkestävyydessä.

Koivukloonien välillä on myös laajaa vaihtelua keväisessä kasvuunlähdössä. Nykyisessä ilmastossa tällä vaihtelulla ei ilmeisesti ole merkitystä. Mutta mikäli maapallon ilmasto muuttuu ennusteiden mukaan, saattavat myöhään kasvunsa aloittavat kloonit olla muita kestävämpiä kasvuunlähdön aikaisia ilman lämpötilan jyrkkiä muutoksia vastaan.

Suomessa on koivun laadun ja kasvunopeuden lisäämiseksi jalostettu koivua jo usean puusukupolven ajan. Myös pitkälle jalostettujen raudusperheiden välillä on laajaa vaihtelua myyrä- ja jäniskestävyyydessä.

Ympäristötekijät: monimutkaisia vaikutuksia

Ravinteiden ehtyessä kasvin kasvu vähentyy nopeasti vaikka yhteyttäminen vielä jatkuisikin. Tällöin syntyvän hiilen ylijäämän oletetaan osittain varastoituvan kasviin hiilipohjaisina puolustusyhdisteinä. Ja, oletuksen mukaan, lannoitus siirtää varastoituneet puolustusyhdisteet kasvuun. Ravinteiden siis tulisi lisätä kasvua kestävyyskustannuksella ja ravinteiden puute johtaisi kestävyyslisäntymiseen kasvun kustannuksella (Bryant et al. 1983).

Toisena osana hiili-ravinneteoriaan kuuluu varjostuksen vaikutus. Varjostaminen vähentää kasvien yhteyttämistä, vähäinen yhteyttäminen johtaa kasvin vähentyneeseen hiilivarastoon ja sitä kautta, hypoteesin mukaan, viljelyvarmuuden vähentymiseen. Kavihuonemuovit vähentävät säteilyä 30 - 50 %. Voidaanko siis olettaa kasvihuonetaimien olevan tavallista tuhoalttiimpia?

Yksivuotiailla raudustaimilla tehdyt kokeet osoittavat, että tilanne on monimutkainen. Jänikset syövät taimen latvaosaa lumen päällä ja myyrät tyveä lumen alla. Lannoitus ei vaikuta taimen latvan kelpavuuteen jänikselle, mutta lisää selvästi myyrän syöntiä taimen tyvellä. Varjostettu taimi kelpaa jänikselle varjostamatonta paremmin ja myyrälle huonommin. Oletamme, että tämä päällisin puolin ristiriitainen

tulos johtuu siitä, että jo yksivuotiaan taimen eri osissa kestävyys perustuu eri tekijöihin. Taimen tyviosien puolustusyhdisteet ovat pääosin fenoleita, kun taimen latvasien nisäkäskestävyys perustuu terpeeneihin. Lannoitus ja varjostus eivät vaikuta terpeenien ja fenoleiden muodostumiseen samalla tavalla.

Lannoituksen ja varjostuksen vaikutukset taimen kestävyteen ovat siis hyvin monimutkaisia riippuen tuhonaiheuttajasta, lannoituksen määrästä ja kestosta, kasvilajista, kasvin iästä, kasvin osasta jne. Olemme tutkineet useita koivulajeja eri puolilta maailmaa ja käsityksemme mukaan yleistyksiä ympäristövaikutuksista kasvien, eikä edes koivujen, kestävyteen voida tehdä.

Kasvu ja puolustus eivät ole yhteydessä

On oletettu, että kasvit ovat sopeutuneet jakamaan rajoitettuja resurssejaan vaihtoehtoisten kohteiden välillä niin, että jälkeläistuntuotto kyky maksimoituu. Puolustus on yleensä kasville kallista ja, hypoteesin mukaan, pois kasvusta. Niinpä nopeakasvuiset kasvit olisivat tuhoalttiita ja kasvunopeutta lisäävän metsänjalostuksen pitäisi altistaa kasvit tuhoille (Rhoades 1979).

Kokeidemme mukaan yksi- ja kaksivuotiailla koivuntaimilla kasvu ja kestävyys eivät ole millään tavoin toisiaan poissulkevia. Esimerkiksi erityisen nopeakasvuisen japaninrauduksen taimet ovat aivan poikkeuksellisen kestäviä myyriä ja jäniksiä vastaan ja toisaalta muutama erityisen hidaskasvuinen koivulaji kelpaa jäniksille erityisen hyvin.

Jäniskestävyden osalta tilanne muuttuu, kun tarkastellaan rauduksen sisäistä vaihtelua. Yleisesti ottaen nopeakasvuiset raudusperheet ja -yksilöt ovat myös pystyneet tuottamaan suurimmat määrät jäniksiä karkoittavaa papyrifernihappoa ja ovat hitaasti kehittyviä kestävämpiä. Sen sijaan myyrä-, hyönteis- tai lehtiruostekestävyys eivät ole olleet yhteydessä kasvuun.

Useiden puolustusaineiden, esimerkiksi triterpeenien, muodostaminen on kasville melko lailla kallista. Jää nähtäväksi, voidaanko kasvin puolustuksen ja jonkun taloudellisesti tärkeän ominaisuuden välillä osoittaa negatiivinen riippuvuus. Kokeissamme emme siis kuitenkaan huomanneet merkkejä siitä, että pitkälle jalostettujen taimien tuhoalttius poikkeaisi tavallisista metsikkösiemenistä kasvatetuista taimista.

Käytännön sovellutuksia: klooniviljelykset ja tuhoriski

Suomessa rauduskoivua on useiden vuosien ajan lisätty kasvullisesti käytännön viljelyksille. Vuonna 1993 laadittiin kloonimateriaalin käytöstä säädös, jonka mukaan testaamattomia koivuklooneja saa viljellä vain sekoittamalla kullekin viljelykselle 33 kloonია. Yhden kloonin viljelyksiä voidaan perustaa vasta kun kloonია on testattu vähintään 15 vuotta. Asetuksen yhtenä tarkoituksena on suojata metsänomistajat klooniviljelyksen riskeiltä.

Klooniviljelyn taustalla on koivun suuri yksilövaihtelu. Ylivoimaisia yksilöitä voidaan monistaa viljelyksille. Jatkuvalla jalostuksella puolestaan oli tarkoitus varmistaa yhä parempien genotyyppien saanti monistuksen lähtömateriaaliksi. Mutta mitkä olivat riskit, joilta metsänomistajia haluttiin säädöksen kautta suojella?

Kasvullinen lisääntyminenhan on luonnossa yleistä, esimerkiksi Brittein saarilla kymmenen yleisintä kasvia peittää 20 % saarten pinta-alasta ja ne kaikki lisääntyvät kasvullisesti. Suomessa tunnetaan esim. 1000 ha:n haavikko, joka on syntynyt yhdestä haavasta lähteneistä juurivesoista. Luonnossa kasvullisesti lisääntyvien kasvien ei ole todettu olevan tuhoalttiimpia kuin suvullisesti lisääntyvien.

Entä kokemukset metsäpuiden klooniviljelyksistä? Useiden taloudellisesti tärkeiden puulajien kasvatusta perustuu nykyisin kasvulliseen lisäykseen, esimerkkinä useat poppelit, eukalyptukset, kumipuu, öljypalmu jne. Yleisesti ottaen klooniviljelyksessä on saavutettu huomattavia tuoton lisäyksiä, toisaalta geneettisen vaihtelun vähydestä johtuvia tuhoja on todettu erittäin vähän.

Koivun osalta kokeet osittavat siis suurta yksilövaihtelua, ja kestävyys erilaisia tuhoniheuttajia vastaan perustuu erilaisille mekanismeille, jotka eivät näytä riippuvan toisistaan. Vaikka tutkimuksissamme ei ollut mukana montaa kloonია, saatoimme havaita, että jotkut kloonit olivat erityisen alttiita sekä elollisille että elottomille (ilmasto, otsoni) vaurioille. Toisaalta ainakin yksi testatuista klooneista näytti poikkeuksellisen kestävältä.

Yksittäiset metsänviljelykset ovat Suomessa hyvin pienialaisia, vain muutaman hehtaarin luokkaa ja sijaitsevat hajallaan. On melko pieni mahdollisuus, että klooniviljelyksen tuloksena jostain tuholaisesta kehittyisi kanta, joka erikoistuisi tiettyyn klooniaan. Koivu on tuhoaltis pääosin aivan nuorena. Taimien perinnöllinen tuhoalttius voidaan testata kehittämillämme menetelmillä melko nopeasti. Klooniviljelykseen menevien taimien perinnöllinen vaihtelu tuhoalttiudessa on tavanomaista paljon pienempi ja tämän vuoksi tuhoriski voidaan arvioida varmemmin kuin käytettäessä tavanomaisia taimituotantomenetelmiä.

Kirjallisuus

- Alexander, H. M. 1992. Evolution of disease resistance in natural plant populations. Sivut 326-344 in Fritz, R.S. and Simms, E.L., toim. Plant resistance to herbivores and pathogens. The University of Chicago Press, Chicago.
- Bryant, J. P., Chapin, F.S. III and Klein, D.R. 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos* 40:357-368.
- Bryant, J. P., Tahvanainen, J., Sulkinoja, M., Julkunen-Tiitto, R., Reichardt, P. and Green, T. 1989. Biogeographic evidence for the evolution of chemical defense against mammalian browsing by boreal birch and willow. *The American Naturalist* 134:20-34.
- Chapin, F. S. III, Autumn, K. and Pugnaire, F. 1993. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *The American Naturalist* 142: S78-S92.
- Herms, D. A. and Mattson, W.J. 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. *The Quarterly Review of Biology* 67(3):283-335.
- Poteri, M. and Rousi, M. 1994. Variation in *Melampsorium* resistance among European white birch clones grown in different environments. Submitted.
- Rhoades, D. F. 1979. Evolution of plant chemical defense against herbivores. Sivut 3-54 in Rosenthal, G.A. and Janzen, D.H. toim. *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*. Academic Press, Orlando.
- Rousi, M. 1990. Resistance breeding against voles in birch: possibilities for increasing resistance by provenance transfers. *EPPO (European Plant Protection Organization) Bulletin* 18:257-263.
- , Tahvanainen, J., Henttonen, H. and Uotila, I. 1991. A mechanism of resistance to hare browsing in winter-dormant European white birch (*Betula pendula*). *The American Naturalist* 137:64-82.
- 1993. Effects of shading and fertilization on resistance of winter-dormant birch (*Betula pendula*) to voles and hares. *Ecology* 74(1):30-38.
- , Mattson, W.J. Tahvanainen, J., Henttonen, H., Koike, T. and Uotila, I. 1994. Growth and hare resistance of birches: testing defense theories. *Käsikirjoitus*.
- , Tahvanainen, J., Henttonen, H., Herms, D.A. and Uotila, I. 1994. Clonal variation in phenology and resistance of European white birch (*Betula pendula*) to herbivores. *Käsikirjoitus*.
- Simms, E. L. 1992. Cost of plant resistance to herbivory. Sivut 392- 425 in Fritz R.S. and Simms, E.L. toim. *Plant resistance to herbivores and pathogens*. The University of Chicago Press, Chicago.

Hägman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Suomen metsät ilmastonmuutoksen jälkeen: havupuut luonnossa vai Lustossa?

Egbert Beuker

Johdanto

Metsillä ja metsätaloudella on suuri merkitys Suomelle. Havupuut, mänty (*Pinus sylvestris* L.) ja kuusi (*Picea abies* (L.) Karst.) ovat Suomen tärkeimmät puulajit. Ne kattavat 45 % ja 37 % Suomen metsäpinta-alasta.

Ihmisen toiminnan vuoksi lähitulevaisuudessa on odotettavissa huomattavia ilmastonmuutoksia. Esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käyttö vapauttaa ilmakehään suuria määriä hiilidioksidia (CO₂) ja muita ns. kasvihuonekaasuja, kuten metaania ja halogenoituja hiilivetyjä eli CFC-yhdisteitä. On arvioitu, että seuraavan vuosisadan aikana ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kaksinkertaistuu. Tämä johtaisi keskimääräisen vuotuisen lämpötilan kohoamiseen $3 \pm 1,5$ C-asteella, minkä vuoksi keskimääräinen vuotuinen tehollinen lämpösumma (kynnysarvona +5°C) nousisi Pohjois-Suomessa nykyisestä 700 dd:stä 1200 dd:hen (Kettunen, ym., 1987).

Koska kylmä ilmasto on yksi kasvintuotantoa rajoittavista tekijöistä Suomessa, suurilmaston lämpeneminen saattaisi meillä lisätä metsänkasvua. Pessimistisimmät laskelmat ennustavat kuitenkin ekologista katastrofia; kaikkien nykyisten metsien häviämistä Suomesta ja niiden jäämistä vain kuviksi Luston kokoelmiin.

Metsäntutkimuslaitos aloitti v. 1990 tutkimushankkeen "Metsäpuiden fysiologinen ja geneettinen sopeutuminen ilmastonmuutokseen". Se on osa suomalaisesta ilmakehänmuutosta käsittelevästä tutkimusohjelmasta (SILMU), jonka rahoittaja on Suomen Akatemia. Hankkeen tavoitteena on laatia provenienssikokeiden avulla kvantitatiivisia malleja, joilla ennustetaan ilmastonmuutoksen vaikutusta kuusen ja männyn puuntuotokseen.

Puut kasvavat provenienssikokeissa erilaisessa ilmastossa kuin mihin niiden on oletettu sopeutuvan. Suomen vanhimmissa provenienssikokeissa alkuperät ovat kasvaneet yli 60 vuotta "vieraassa" ympäristössä. Näistä kokeista saadaan tietoa ilmastonmuutoksen pitkäaikaisvaikutuksesta metsäpuupopulaatioon. Tiedot auttavat mallien laatimisessa ja niistä on hyötyä taimien tutkimisessa kontrolloidussa ympäristössä.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa on mukana kaikkiaan viisi provenienssikoesarjaa. Kaksi niistä on perustanut professori Olli Heikinheimo 1930-luvun alussa. Kuusisarjassa on 29 alkuperää Skandinaviasta ja Keski-Euroopasta seitsemällä koepaikalla eri puolilla Suomea. Mäntysarjassa on 14 alkuperää Suomesta ja lähialueilta kolmella koepaikalla Etelä-Suomessa. Koska Heikinheimon mäntysarja rajoittuu ainoastaan Etelä-Suomeen, professori Max. Hagmanin v. 1966 perustama mäntysarja sisällytettiin tutkimukseen. Tässä koesarjassa on 32 suomalaista alkuperää yhdellätoista koepaikalla kaikkialla Suomessa. Nämä kolme koesarjaa on kuvattu yksityiskohdaisesti Beukerin tutkimuksessa (1994a). Jouni Mikolan v. 1976 Punkaharjulle perustama kuusikoe sisällytettiin tutkimukseen, jotta saataisiin selvä käsitys ikääntymisen vaikutuksista. Tässä kuusikokeessa on 24 alkuperää Suomesta ja Keski-Euroopasta. Puiden kasvupaikan muutos etelästä pohjoiseen ei vaikuta vain lämpötilaan vaan myös päivänpituuteen. Ne molemmat säätelevät kasvurytmiä. Koska haluttiin tutkia vain lämpötilan muutoksen vaikutuksia, tutkimukseen otettiin Ruotsista kolme mäntykoetta sijainniltaan eri korkeuksilta, mutta samalta leveysasteelta. Nämä ovat Keski-Ruotsissa sijaitsevia Eiche-sarjan kokeita (kokeet 10, 11 ja 12), jotka on perustettu v. 1953 (Andersson, 1983). Tutkimukseen valittiin 16 ruotsalaista ja yksi norjalainen alkuperä. Tästä sarjasta kerättyjä tietoja ei ole vielä analysoitu.

Mittaukset ja havainnot:

Puuntuotos: Puuston nykytilavuus (m^3/ha) mitattiin kaikissa kokeissa vuosien 1990 ja 1991 aikana (Beuker, 1994a). Lisäksi harvennuksissa poistettu puumäärä laskettiin arkistotietojen perusteella. Kun tämä puumäärä lisätään nykytilavuuteen, saadaan lasketuksi puuston kokonaistuotos.

Silmun puhkeaminen: Lämpötilan kohoaminen keväällä aikaistaa silmunpuhkeamista. Tämä saattaa pidentää kasvujakson pituutta, mikä taas puolestaan voisi lisätä puuntuotosta; toisaalta silmunpuhkeamisen aikaistuminen lisäisi puiden vahingoittumisriskiä myöhäisten kevähallonjen aikana. Silmunpuhkeamishavaintoja tehtiin

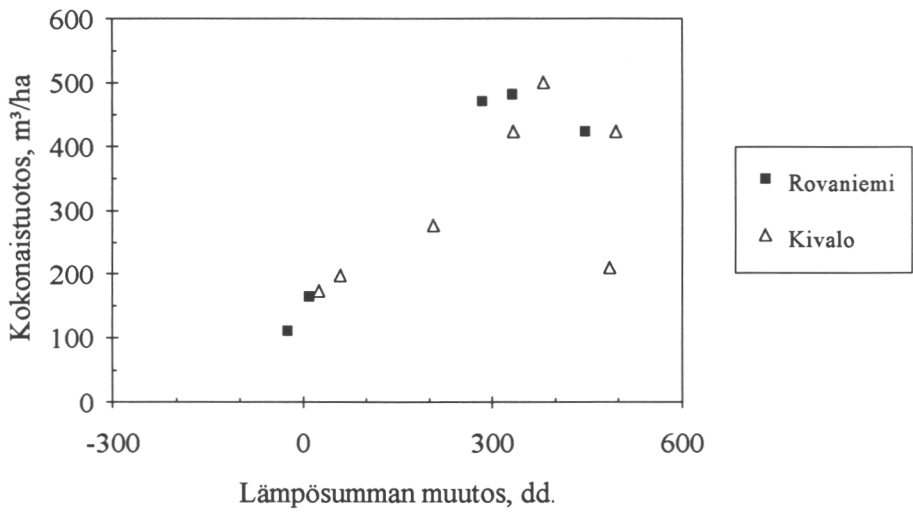
Heikinheimon koesarjassa Punkaharjulla, Tuusulassa ja Kivalossa sekä Mikolan kokeessa Punkaharjulla. Havainnointi aloitettiin keväällä 1990 (Kivalossa keväällä 1991) ja se on jatkunut siitä lähtien.

Pakkaskestävyyden kehittyminen: Oletetaan, että keskitalven lauhojen sääjaksojen aikana havupuiden pakkaskestävyys laskee, minkä vuoksi pakkasvaurioriski kasvaa, kun lämpötila äkillisesti laskee. Punkaharjulla pakkaskestävyyden kehittymistä tutkittiin Heikinheimon neljällä kuusi- ja mäntyalkuperällä (kaksi pohjoista ja kaksi eteläistä skandinavista alkuperää). Jokaisesta alkuperästä on kerätty kymmenen oksaa viikottain joka talvi syksystä 1990 lähtien. Nämä oksat jaettiin kolmeen pakastuskaappiin, joihin asetetaan eri minimilämpötilat. Näytteitä pidettiin minimilämpötilassa useita tunteja. Viikon kuluttua käsittelystä tutkittiin neulasten ja silmujen vaurioitumista. Koska puut kärsivät viikottaisesta näyteoksien keräämisestä, alkuperistä valitaan uudet koepuut vuosittain. Samasta syystä näytteidenkeruuväliä pidennettiin myöhempinä talvina.

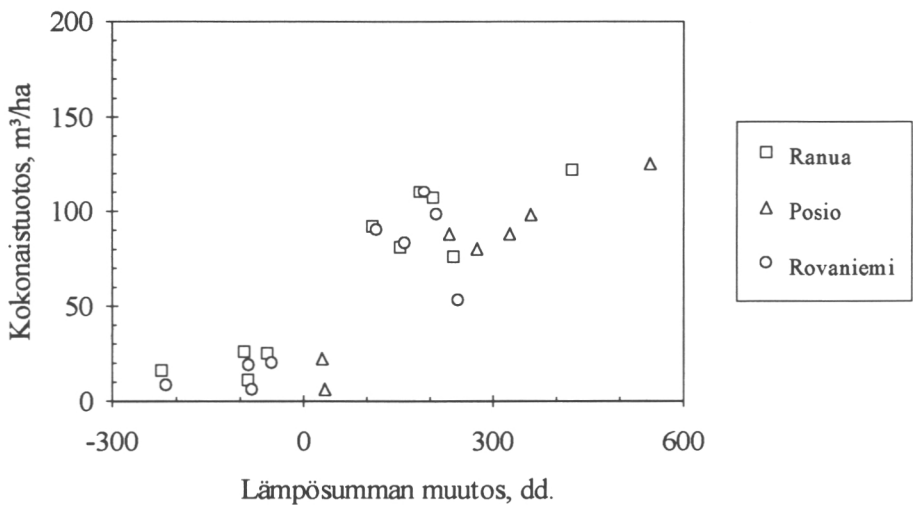
Kemialliset stressi-indikaattorit: Kuusialkuperien polyamiinipitoisuudet mitattiin pakkaskestävyysskoekoiden yhteydessä talven 92/93 aikana. Ne analysoitiin Parkanon tutkimusasemalla.

Lustotutkimukset: Heikinheimon ja Eichen koesarjoista kairattiin lastut 10 puusta per alkuperä. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan opiskelijat mittasivat lustoista vuotuisen kokonaiskasvun sekä kesäpuun osuuden.

Suomessa sijaitsevien koepaikkojen ilmastolliset tiedot laskettiin Ojansuun ja Hentosen tietokoneohjelmalla. Muille koepaikoille tiedot saatiin Ilmatieteenlaitoksen Euroopan tietokannasta (0,5° lev. x 1,0° pit. -verkosto) (Carter ym., 1991). Lämpösummat on ilmaistu keskimääräisinä vuotuisina lämpösummina (+5°C kynnyksarvona), yksikkönä dd (degree days).



Kuva 1. Rovaniemen ja Kivalon alkuperien kokonaistuotos eri koelohjoilla Heikinheimon kuusisarjassa. Tulos esitetään koepaikan ja alkuperän kotipaikan lämpösummaerojen funktiona. (Beuker, 1994a)



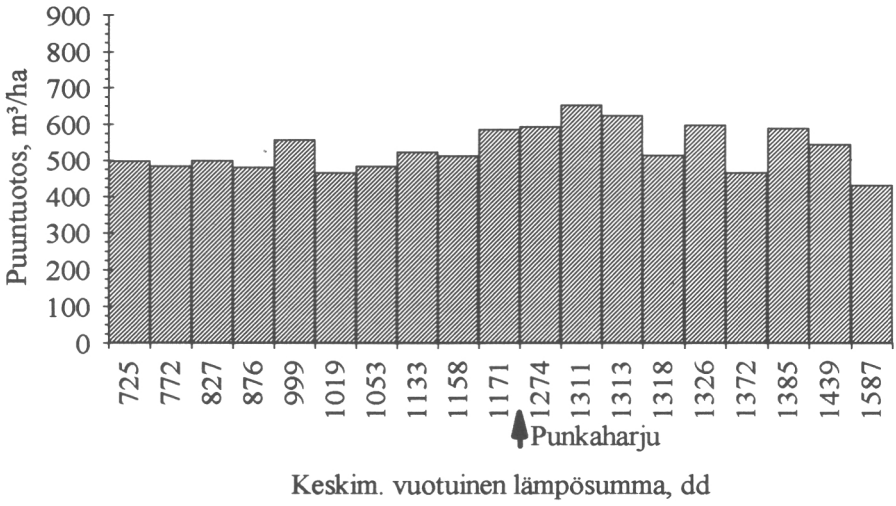
Kuva 2. Posion, Ranuan ja Rovaniemen alkuperien kokonaistuotos eri koelohjoilla Hagmanin mäntysarjassa. Tulos esitetään koepaikan ja alkuperän kotipaikan lämpösummaerojen funktiona. (Beuker, 1994a)

Tulokset

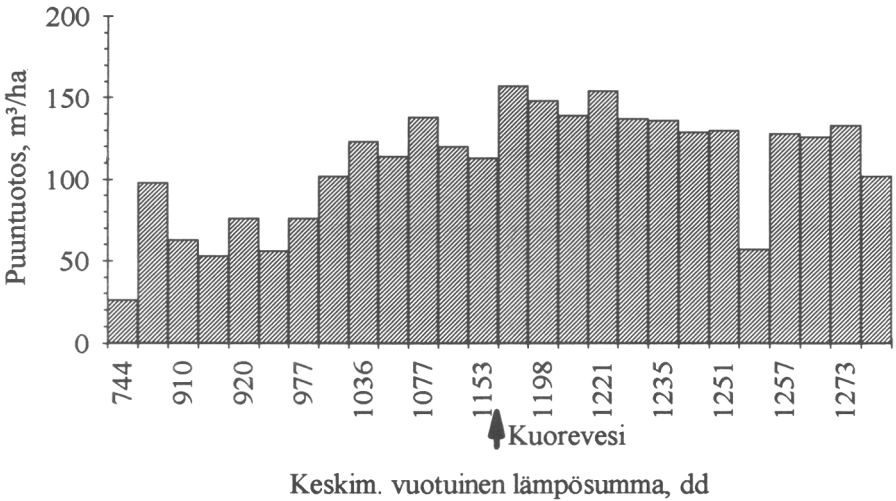
Puuston kokonaistuotos (m^3/ha) vaihtelee suuresti alkuperittäin kokeiden sisällä ja koepaikkojen välillä. Mielenkiintoista ilmastomuutostutkimuksessa on se, kuinka pohjoiset alkuperät kasvavat lämpimämmässä Etelä-Suomen olosuhteissa. Kuva 1 osoittaa, että kaksi pohjoista alkuperää (Rovaniemi ja Kivalo) Heikinheimon kuusikoesarjasta lisäsivät kasvua enemmän kuin 100 % niillä koepaikoilla, joiden lämpösumma on 250-500 dd:tä suurempi kuin alkuperien kotipaikkojen lämpösumma. Samankaltainen kuva voitaisiin piirtää Hagmanin mäntykoesarjasta (kuva 2). Siinä kolme pohjoista alkuperää (Posio, Ranua ja Rovaniemi) ovat kaksinkertaisesti puuntuotoksen jo silloin, kun lämpösumma nousee vain 100 dd:llä. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty Heikinheimon kuusikoesarjan ja Hagmanin mäntykoesarjan eteläisten koepaikkojen alkuperien kokonaistilavuudet alkuperien ollessa vasemmalta oikealle pohjois-etelä -suunnassa. Molemmat kuvat osoittavat, että vaikka pohjoiset alkuperät tuottavat hyvin eteläisillä koepaikoilla, ne tuottavat silti vähemmän kuin paikalliset eteläsuomalaiset alkuperät.

Puuntuotostietoja käytettiin hyväksi, kun laadittiin malleja, jotka ennustavat ilmastolämpenemisen aiheuttamia muutoksia puuntuotoksessa. Heikinheimon kuusisarjaan perustuvat mallit ennustavat 64-vuotiaalle kuusimetsikölle puuntuotoksen lisääntyvän Pohjois-Suomessa 300 %:lla, jos vuotuinen lämpösumma kasvaa 500 dd:tä. Mitä etelämpään siirrytään, sitä merkityksettömämmäksi puuntuotoksen lisäys tulee; Etelä-Suomessa ilmaston lämpeneminen voi jopa vähentää puuntuotosta. Männyllä mallin kuvio on suunnilleen sama, mutta vaikutus on paljon pienempi. Hagmanin mäntysarjaan perustuva malli ennustaa 27 vuotta vanhaan mäntymetsikköön 40 % puuntuotoksen kasvua Pohjois-Suomessa, jos lämpösumma kohoaa 500 dd:tä vuodessa. Myös tämä malli ennustaa puuntuotoksen pienenevän Etelä-Suomessa lämpösumman kohottua vastaavalla määrällä (Beuker, 1994a).

Silmunpuhkeamishavaintoja on nyt tehty neljän vuoden aikana. Kaikissa kokeissa pohjoisten alkuperien silmut ovat puhjenneet aikaisemmin kuin eteläisten, mikä on yhdenmukaista niiden tutkimusten kanssa, joissa oletetaan, että viilempiin olosuhteisiin sopeutuneet pohjoiset alkuperät tarvitsevat vähemmän lämpöä kuin eteläiset aloittakseen kasvunsa. Kuitenkin tekemisämme kokeissa silmunpuhkeamisajankohta näyttää olevan enemmän riippuvainen alkuperän leveysasteesta kuin alkuperäpaikan lämpösummasta.

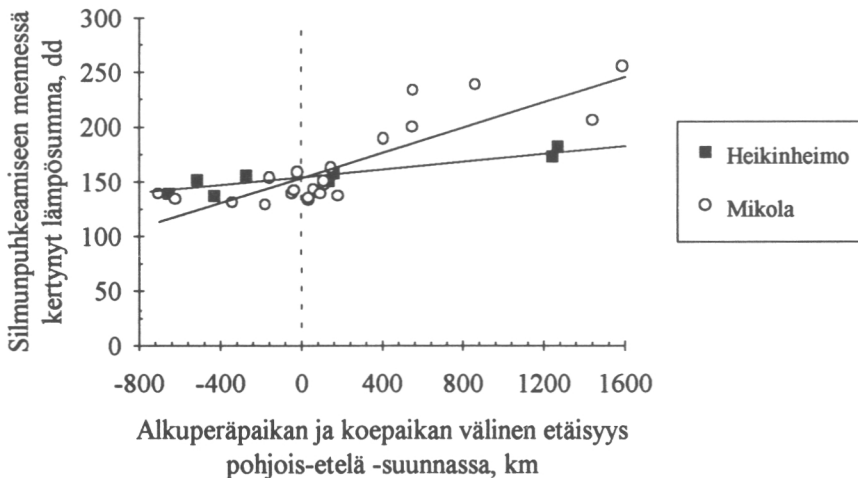


Kuva 3. Eri alkuperien puuntuotos Heikinheimon kuusen provenienssikokeiden sarjan Punkaharjun osakokeessa. Alkuperät ovat niiden kotipaikkojen lämpösummien mukaisessa järjestyksessä.



Kuva 4. Eri alkuperien puuntuotos Hagmanin männyn provenienssikokeiden sarjan Kuoreveden osakokeessa. Alkuperät ovat niiden kotipaikkojen lämpösummien mukaisessa järjestyksessä.

Verrattaessa silmunpukkeamisajankohdan vaihteluja Punkaharjulla kasvavien noin 65-vuotiaan Heikinheimon kokeen ja noin 15-vuotiaan Mikolan kokeen alkuperien välillä, havaittiin, että nuoremmassa kokeessa oli enemmän vaihtelua pohjoisten ja eteläisten alkuperien välillä (kuva 5). Heikinheimon kokeessa silmunpukkeaminen tapahtui pohjoisilla alkuperillä myöhemmin ja eteläisillä aikaisemmin kuin Mikolan kokeessa. Paikalliset alkuperät puhkesivat molemmissa kokeissa lähes samanaikaisesti. Vaikka Heikinheimon kokeen eri alkuperien välillä onkin vielä merkittäviä eroja silmunpukkeamisajassa, niin kaikki alkuperät puhkeavat kuitenkin melko samanaikaisesti paikallisen alkuperän kanssa. Tämän siirtymän on ajateltu olevan populaatiotason sopeutumista. Heikinheimon koesarjassa tehdyissä harvennuksissa on suosittu sopeutuneimpia puita (Beuker, 1994a).



Kuva 5. Silmun pukkeamisajankohdan lämpösomman ja pohjois-etelä -suuntaisen siirron välinen riippuvuus Heikinheimon ja Mikolan kokeissa Punkaharjulla. (Beuker, 1994b)

Pakkaskestävyyskokeita on tehty kolmen peräkkäisen, melko lauhan talven aikana. Näiden talvien aikana lämpötila nousi useita kertoja nollan yläpuolelle useiksi päiviksi. Huomattiin, että kuuset purkavat horrostaan tällaisten lämpimien jaksojen aikana. Ne kykenevät, kuitenkin karaistumaan uudelleen hyvin nopeasti lämpötilan laskiessa. Talvilevon purkaminen ja siihen uudelleen vaipuminen voi toistua useita kertoja yhden talven aikana, jopa melko myöhään keväällä. Kaikki mäntyalkuperät pysyivät horroksessa ja kestivät vaurioitumatta lämpötilan -38°C , mikä on minimilämpötila Punkaharjun pakastusvälineillä.

Tähän mennessä kaikkia lustoja ei ole vielä mitattu eikä niitä ole analysoitu. Ensi silmäyksellä eri alkuperien ja eri koepaikkojen kasvurytmien välillä näyttäisi olevan eroja.

Tulosten tarkastelua

Jo tähän mennessä nämä provenienssikokeet ovat antaneet hyödyllistä tietoa ilmastonmuutoksen mahdollisista vaikutuksista metsäpuihin. Laadittujen mallien enustamat tulokset puuntuotokseen ovat yhdenmukaisia prof. Seppo Kellomäen Joensuu-yliopistossa laatimien mallien kanssa. Provenienssikokeiden mittaustulokset on suunniteltu sisällyttää Kellomäen malleihin. Myös ruotsalaisen koesarjan tiedot analysoidaan, jotta nähdään fotoperiodin muutoksen vaikutukset. Näyttää kuitenkin siltä, että ilmaston lämpeneminen vaikuttaa eniten pohjoisessa. Nykyisin näillä alueilla kasvintuotannon rajoittavana tekijänä on lämpötila; Etelä-Suomessa kasvua rajoittavat muut tekijät, kuten maaperän hedelmällisyys ja kosteus. (Beuker, 1994a).

Silmunpuhkeamishavaintojen tulokset osoittavat, että ilmastonmuutosta voi seurata puupopulaation nopea sopeutuminen uuteen ilmastoon. Tämä oletus täytyy silti vielä testata populaatiogeneettisiä menetelmiä hyväksikäyttäen. Tiedetään myös, että puiden ikääntyminen aiheuttaa fysiologisia muutoksia. Näitäkin muutoksia pitäisi tutkia enemmän.

Pakkaskestävyyskokeiden alustavat tulokset ovat lupaavia. Keskitalven leudot sääjaksot eivät juurikaan näytä lisäävän puiden pakkasvaurioiden vaaraa. Vaikuttaa jopa siltä, että jos horros purkautuu, kuten kuusella on tapahtunut, niin puilla on kuitenkin noin 20 lämpöasteen puskuri ulkolämpötilan ja sen lämpötilan välillä, minkä puut kestävät vaurioitumatta. Lisäksi puut kykenevät lämpötilan laskiessa vaipumaan hyvin nopeasti uudelleen syvempään horrokseen. Tällaista karaistumista voi tapahtua vielä keväälläkin.

Silmunpuhkeamisfenologian ja pakkaskestävyyden suuren vaihtelun takia havainnointia jatketaan edelleen. Jotta tutkimus olisi luotettava, sitä on tehtävä vähintään viiden vuoden ajan.

Tässä esitettyjen tulosten perusteella näyttää ilmeiseltä, että ympäristönmuutoksiin sopeutuminen on mahdollista sekä yksilö- että populaatiotasolla. Siispä Suomesta voidaan löytää ilmastonlämpenemisen jälkeenkin suuria kuusi- ja mäntymetsiä, eikä ainoastaan muistona Luston kokoelmista!

Kiitokset

Tätä tutkimusta ovat rahoittaneet Suomen Akatemia osana SILMU-projektia, SNS sekä Maa- ja metsätalousministeriö.

Tutkimuksessa on käytetty Metsäntutkimuslaitoksen resursseja ja henkilökuntaa, mukana ovat olleet erityisesti Pentti Manninen, Juhani Mäkinen, Tiina Tuononen ja Pauli Värtinen. Heikki Hänninen Joensuun yliopistolta ja Timothy Carter Ilmatieteenlaitokselta ansaitsevat kiitokset hedelmällisestä yhteistyöstä.

Kirjallisuus

- Andersson, S. 1983. Dokumentation av Eiche-serien 1. Sveriges Landbruksuniversitet, Institutionen för Skoglig Genetik och Växtfysiologi, Arbetsrapport nr. 4.
- Beuker, E. 1994a. Long-term effects of temperature on the wood production of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. in old provenance experiments. *Scand. J. For. Res.* 9: 34-45.
- 1994b. Adaptation to climatic changes of the timing of bud burst in populations of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. *Tree Physiology* 14: 961-970.
- & Koski, V. 1992. Metsäpuiden fysiologinen ja geneettinen sopeutuminen ilmaston muutokseen. Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.), Suomalainen ilmavehänmuutoksen tutkimusohjelma. Tutkimusten väliraportti. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92: 162-166.
- Carter, T.R., Parry, M.L. & Porter, J.H. 1991. Climatic change and future agroclimatic potential in Europe. *International Journal of Climatology* 11: 251-269.
- Kettunen, L., Mukula, J., Pohjainen, V., Rantanen, O. & Vario, U. 1987. The effect of climatic variations on agriculture in Finland. Parry, M.L., Carter, T.L. & Konijn, N.T. (toim.) *The impacts of climatic variations on agriculture. Vol. 1. Assessments in cool temperature and cold regions.* International Institute for Applied Systems Analyses, s. 515-614. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteenlaitoksen mittatiedoista. *Silva Fennica* 17: 143-160.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
 Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Stressin kemiaa: polyamiinit metsäpuiden sopeutumisen mittareina

Juhani Häggman

Johdanto

Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun tutkimusasemalla on meneillään v. 1990 aloitettu tutkimushanke, jossa selvitetään kuusen ja männyn fysiologista ja geneettistä sopeutuneisuutta mahdollisiin ilmastomuutoksiin. Toisin sanoen, mitä tapahtuu kotimaisille havupuulajeillemme, mikäli vuoden keskilämpötila nousee esim. + 3°C jos ennustettu kasvihuoneilmiö toteutuu? Lisäksi on odotettavissa, että talvilämpötilat nousevat keskimäärin vieläkin enemmän, jolloin äkillinen lämpötilan lasku koettelee puiden ilmastollista sietokykyä.

Tälle tutkimukselle tarjoaa oivallisen materiaalin Metsäntutkimuslaitoksen ensimmäisen johtajan, prof. Olli Heikinheimon 1930-luvun alussa perustamat männyn ja kuusen alkuperäkokeet. Näissä kokeissa, joita on perustettu Punkaharjun, Ruotsinkylän, Solbölen ja Kivalon tutkimusalueille, ovat eri alkuperät l. provenienssit Suomen Lapista Keski-Eurooppaan kasvaneet alkuperäpaikkakunnalle vieraassa ilmastossa lähes 70 vuoden ajan. Em. kokeista on tehty havaintoja mm. puuntuotoksesta, fenologiasta ja pakkaskestävyydestä (Beuker 1993, 1994, Beuker ym. 1994).

Tämän lisäksi päädyttiin selvittämään löytyisikö joitakin kemiallisia tunnuksia, joiden perusteella voitaisiin tehdä johtopäätöksiä puiden sopeutumisesta vieraisiin ilmastoloihin. Koska näytteenkeruu ja kemialliset analyysit vaativat runsaasti resursseja, päädyttiin tässä vaiheessa analysoimaan liukoisia polyamiineja, joiden tiedetään toimivan stressi-indikaattoreina mitä erilaisimmissa tilanteissa (esim. Smith 1985, Sarjala 1993). Puulajiksi valittiin kuusi (*Picea abies* (L.) Karst.).

Polyamiinit ja niiden kasvifysiologinen merkitys

Polyamiinit ovat tyypipitoisia kemiallisia yhdisteitä, joita esiintyy kasvisoluissa pitoisuuksien vaihdella mikromolaarisesta millimolaariseen (Sarjala 1993). Polyamiinitutkimuksen historia ulottuu aina 1600-luvulle saakka, jolloin mikrokooppitutkimuksen isänä pidetty hollantilainen tutkija Antoni van Leeuwenhoek havaitsi v. 1678 siemennestettä tutkiessaan kideäistä ainetta. Hän antoi aineelle nimeksi spermiini. Spermiini onkin yksi yleisimmistä kasvisoluissa esiintyvistä polyamiineista, jonka kemiallinen rakenne selvitettiin tosin vasta 1920-luvulla, yli 200 vuotta myöhemmin van Leeuwenhoekin löydöstä (Galston & Sawhney 1990).

Tärkeimmät kasvisoluissa esiintyvät polyamiinit ovat putreskiini, spermiini ja spermiidiini. Ne esiintyvät joko vapaina kationeina tai fenolihappoihin ja joihinkin makromolekyyleihin sitoutuneina (DNA, RNA, fosfolipidit, valkuaisaineet). Polyamiinien biosynteesi tapahtuu arginiini- tai ornitiini-aminohapoista. Polyamiinien tärkeimmät fysiologiset merkitykset kasveille ovat mm. kasvun säätely, vanhenemisreaktioiden estäminen ja suojaaminen erilaisia stressiolosuhteita vastaan (Smith 1985).

Polyamiinien, varsinkin putreskiinin, pitoisuus kohoaa kasvin altistuttua epänormaaleihin kasvuolosuhteisiin (Flores ym. 1985, Smith 1985, Nadeau ym. 1987, Galston & Sawhney 1990, Sarjala & Kaunisto 1993). Tällaisia stressitilanteita, joissa putreskiinipitoisuus kohoaa ovat mm.:

1. Kaliumin puutos
2. Häiriintynyt ammoniummetabolia
3. Kuivuus
4. Maaperän suolaisuus
5. Happamuus (pH)
6. Osmoottinen stressi
7. Ilmansaasteet (mm. otsoni)
8. Korkeat lämpötilat
9. Alhaiset lämpötilat

Polyamiinien toimintamekanismista tiedetään toistaiseksi varsin vähän. Niiden tiedetään kuitenkin edistävän nukleiinihappojen ja valkuaisaineiden synteesiä. Kasvua ne luultavasti säätelevät sitoutumalla nukleiinihappoihin. Stressivaikutuksia polyamiinien on arveltu ehkäisevän stabiloimalla solukalvoja. Ne sitoutuvat solujen kalvorakenteisiin ja vaikuttavat täten solukalvojen läpäisevyyteen (Smith 1985).

Materiaali ja menetelmät

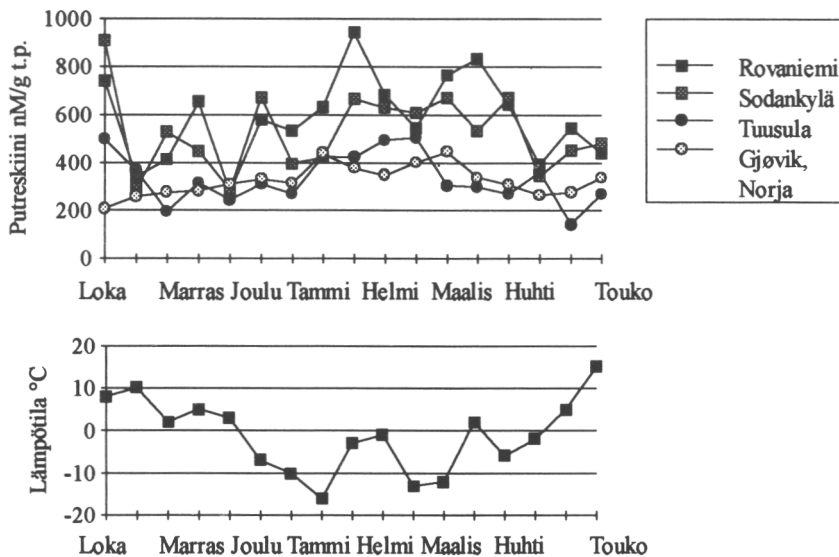
Tutkimusaineistoksi valittiin prof. Olli Heikinheimon v. 1931 Punkaharjulle perustama kuusen proveniessikoe. Tarkastelun kohteeksi valittiin neljä eri alkuperää, kaksi eteläistä (Tuusula 60° 21' N, 25° 01' E ja Gjøvik (Norja) 60° 35' N, 10° 30' E) ja kaksi pohjoista (Rovaniemi 67° 30' N, 26° 26' E ja Sodankylä 67° 30' N, 26° 30' E). Alkuperäpaikkakuntien pitkäaikaiset lämpösummakeskiarvot ja korkeudet merenpinnasta ovat: Tuusula 1313 d.d., 55 m; Gjøvik 1053 d.d., 250 m; Rovaniemi 876 d.d., 180 m ja Sodankylä 772 d.d., 200 m.

Kustakin alkuperästä kerättiin 10 puusta silmuja kahden viikon välein syyskuusta toukokuuhun talven 1991/1992 aikana. Silmut kerättiin puiden latvasta tasaisesti eri puolilta puuta. Silmuista uutettiin liukoiset polyamiinit ja määrittäminen suoritettiin HPLC-menetelmää käyttäen. HPLC-analyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasemalla FT Tytti Sarjalan johdolla. Silmuista määritettiin putreskiini, spermiini ja spermidiini. Tulokset laskettiin nM/g t.p.

Tulokset ja johtopäätökset

Kaikkien mitattujen polyamiinien määrä silmuissa vaihteli suuresti kaikissa tutkituissa kuusialkuperissä talven kuluessa. Vaihtelu oli kuitenkin voimakkainta putreskiinin osalta (kuva 1.). Kun putreskiinipitoisuuksia tarkasteltiin ulkoisen lämpötilan suhteen, havaittiin selvähkö korrelaatio. Lämpötilojen laskiessa äkillisesti, nousivat putreskiinipitoisuudet silmuissa voimakkaasti. Pohjoiset alkuperät (Rovaniemi ja Sodankylä) reagoivat nopeammin ja voimakkaammin lämpötilamuutoksiin kuin eteläiset (Tuusula ja Gjøvik). Näyttääkin siltä, että polyamiinipitoisuudet ilmaisevat tässä yhteydessä eri alkuperien kylmänkestävyyttä. Pohjoiset alkuperät ovat lähes 70 vuotta Punkaharjullakin, huolimatta alkuperäpaikkakunnan ilmastoa lauhkeammista oloista, sopeutuneempia kestämään kylmiä talvia ja äkillisiä lämpötilavaihteluita kuin eteläiset. Tosin eteläisetkin alkuperät reagoivat lämpötilavaihteluihin syntetisoimalla putreskiinia, joka osoittaa niilläkin olevan toleranssia äkillisiä lämpötilamuutoksia kohtaan.

Mielenkiintoista tuloksissa on se, että silmujen kylmänkestävyys voi purkaantua ja jälleen lisääntyä ulkoisten lämpötilojen mukaan, toisin kuin aikaisemmin on uskottu. Näitä tuloksia tukevat myöskin tutkija Egbert Beukerin tekemät pakkastestikokeet samalla materiaalilla. Tulosten perusteella voitaisiin olettaa, että ainakin kuusi tulee sopeutumaan lämpeneviin talviin, joiden aikana saattaisi esiintyä äkillisiä, lyhyitä pakkasjaksoja. Alhaisten lämpötilojen vaikutusta polyamiinipitoisuuksiin on havaittu muillakin kasveilla (Nadeau ym. 1987).



Kuva 1. Tutkittujen kuusialkuperien putreskiinipitoisuudet ja ulkoilman lämpötila talvella 1991 / 92.

Polyamiinimittauksia voitaneen tulevaisuudessa käyttää kylmänkestävyyden mittarina vaihtoehtona pakkastesteille, jotka vaativat erittäin kalliin laitteiston. Tutkimusta täytyy kuitenkin jatkaa tulosten luotettavuuden testaamiseksi. Jatkossa on tarkoitus analysoida muitakin stressi-indikaattoreita, kuten kasvihormoneja (sytokiniinit, abscissihappo).

Kirjallisuus

- Beuker, E. 1993. The use of old provenance experiments in climatic change research. Proceedings of Mustila Arboretum jubilee symposium "The Arboretum as a Center for Introducing and breeding Shrubs and Trees": 114-116.
- 1994. Long-term effects of temperature on the wood production of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. in old provenance experiments. Scand. J. For. Res. 9: 34-45.
- , Häggman, J. & Koski, V. 1994. Physiological and genetical adaptation of forest trees to climatic changes. In: Kanninen, M. & Heikinheimo, P. (eds.), The Finnish Programme on Climatic Change. Second progress report. Publications of the Academy of Finland 1/94: 198-202.
- Flores, H., Young, N. & Galston, A. 1985. Polyamine Metabolism and Plant Stress. In: Cellular and Molecular Biology of Plant Stress: 93-114.
- Galston, A. & Sawhney, R. 1990. Polyamines in Plant Physiology. Plant Physiol. 94: 406-410.

- Nadeau, P., Delaney, S. & Chouinard, L. 1987. Effects of Cold Hardening on the Regulation of Polyamine Levels in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Physiol.* 84: 73-77.
- Sarjala, T. 1993. Polyamiinit puiden stressimittarina. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 470: 50-53.
- & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine. *Tree Physiology* 13: 87-96.
- Smith, T. 1985. Polyamines. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36: 117-143.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
 Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
 Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Mikrolisätyt koivut - siemenviljelysten tulevaisuus?

Leena Ryyänen
 Anneli Viherä-Aarnio

Johdanto

Koivun viljely on lisääntynyt maassamme voimakkaasti viime vuosina. Vuonna 1991 käytettiin metsänviljelyyn n. 24 miljoonaa koivuntainta (Aarne 1992), mikä vastasi yli 15 % vuotuisesta metsänviljelyalasta. Metsänviljelyyn tarvittavan taimimateriaalin tuottamiseksi käytetään taimitarhakylvöihin Etelä-Suomessa nykyisin 45 - 50 kg rauduskoivun ja 10 - 15 kg hieskoivun siementä vuosittain. Keski-Suomessa vastaavat luvut ovat 60 - 70 kg ja 25 kg (Hagqvist 1991).

Koivun taimitarhakylvöihin tarvittava siemen saadaan pääosin muovihuonesiemenviljelyksistä. Niissä voidaan tuottaa fysiologisesti hyvälaatuista siementä sekä soveltaa käytäntöön jalostuksen tuloksia. Tällä hetkellä tuotantovaiheessa olevia koivun siemenviljelyksiä on 15, joista 12 on rauduskoivun siemenviljelyksiä. Hieskoivulla on kaksi siemenviljelystä. Visakoivun siementuotantoa varten on yksi siemenviljelys (Pajamäki & Karvinen 1993).

Koivun siemenviljelysten perustamiseen voidaan käyttää vartteita tai siementaimia. Kaikki nykyiset koivun siemenviljelykset on perustettu vartteilla. Vain vartteita käyttämällä voidaan perustaa ns. kahden kloonin siemenviljelyksiä tietyn jälkeläiskokeiden perusteella valitun risteytysyhdistelmän tuottamiseksi .

Vartteiden lisäksi siemenviljelyksissä voidaan käyttää myös hyvien jälkeläistöjen siementaimia sekaisin vartteiden kanssa, kuten on tehty esim. kolmessa jo lopetetussa rauduskoivun siemenviljelyksessä. Siementaimien etuna vartteisiin verrattuna on voimakkaampi kasvu ja runsaampi siementuotto. Toisaalta siementaimet eivät edusta tarkalleen haluttua kantapuun genotyyppiä, joten niitä ei voida käyttää esim. kahden kloonin siemenviljelyksessä.

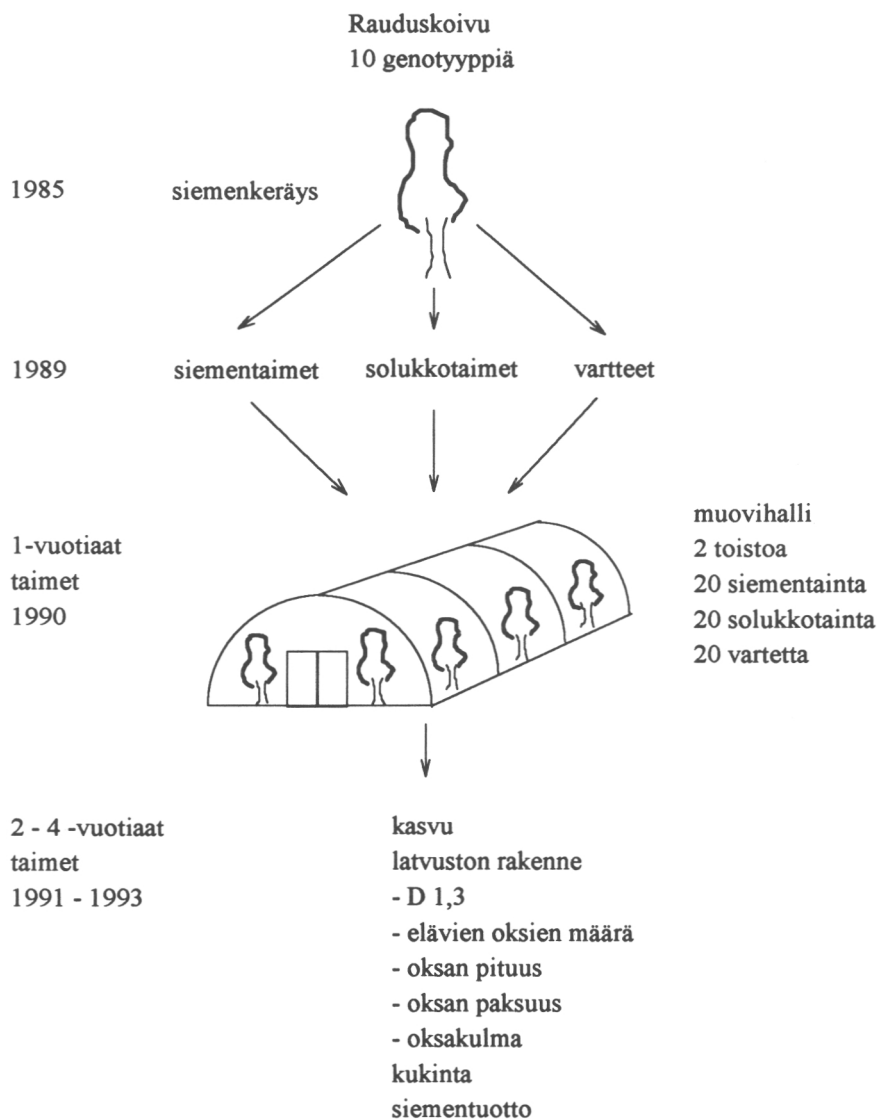
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko koivun siemenviljelykset perustaa vartteiden sijasta solukkotaimilla ja ovatko solukkotaimet parempia nimenomaan siementuoton kannalta. Tutkimuksessa verrattiin rauduskoivun vartteiden, solukkotaimien ja siementaimien kukintaa ja siementuottoa sekä näihin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä, kuten kasvua ja oksiston rakennetta.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineisto kerättiin Punkaharjulla kasvavasta Kokonniemen viljelykoivikosta, joka on perustettu paikallista alkuperää olevilla taimilla vuonna 1932. Koivikon kantapuista kerättiin vapaapölytyssiementä vuonna 1985, ja maaliskuussa 1989 kerättiin lisäksi kymmenestä satunnaisesta kantapuusta oksia solukkoviljelyä sekä varttamista varten. Myöhemmin samana keväänä tehtiin solukkotaimien mikrolisäys (Ryynänen & Ryynänen 1986), varttaminen ja siementen kylvö siementaimien tuottamiseksi Punkaharjun tutkimusasemalla. Aineistoa kasvatettiin yhtäläisissä olosuhteissa kasvihuoneessa vuoden ajan, ja varsinainen siemenviljelyskoe perustettiin muovihuoneeseen keväällä 1990 (Kuva 1).

Kokeessa kutakin kymmentä kloonია (kantapuuta) edusti kaksi solukkotainta, kaksi vartetta ja kaksi vapaapölytyksestä syntynyttä siementaimijälkeläistä. Muovihuone jaettiin pituussuunnassa kahteen lohkoon, ja lohkon sisälle taimityypit istutettiin kukin omaan ruutuunsa satunnaisesti. Muovihuone, johon koe perustettiin, on 50 m pitkä, 16 m leveä ja 6 m korkea. Kooltaan se vastaa uusimmassa rauduskoivun siemenviljelyksessä Oitissa (sv 390) käytössä olevaa kasvihuonetta. Koeolosuhteet pyrittiin järjestämään mahdollisimman tarkoin siemenviljelysten perustamis- ja hoitostandardien mukaisiksi (Pirttilä & Saarela 1989).

Taimista mitattiin pituus keväällä 1991. Taimien latvat katkaistiin elokuussa 1991 niiden kasvettua kiinni kasvihuoneen kattoon. Kaikki taimet, jotka olivat saavuttaneet yli 3,5 m pituuden lyhennettiin 3,5 metriin. Kaksi- ja nelivuotisista taimista mitattiin vuosina 1991 ja 1993 seuraavat tunnuksat: Rungon läpimitta mitattiin rinnankorkeudelta (1,3 m) ja laskettiin oksien määrä. Samoin mitattiin oksan pituus, paksuus ja oksakulma kolmesta oksasta kahdelta eri korkeudelta. Ennen taimien leikkausta oksat mitattiin rungon puolivälistä ja 75 %:n suhteelliselta korkeudelta. Taimien leikkauksen jälkeen ylempien oksien mittaukset tehtiin kolmen metrin korkeudelta. Kukinnan alkamisesta lähtien laskettiin hede- ja eminorkkojen määrä sekä mitattiin siementuotto grammoina. Taimityyppien välisten erojen merkitsevyys testattiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä, ja merkitsevät erot paikannettiin Tukeyn testillä.



Kuva 1. Siemenviljelyskokeen toteutus.

Tulokset

Kasvu ja latvuksen rakenne

Kahden vuoden iässä siementaimet olivat selvästi kookkaimpia ja rehevempiä, vartteet heikoimpia ja solukkotaimet näiden välimuotoja, kuitenkin niin, että latvuksen rakenteen suhteen solukkotaimet muistuttivat enemmän siementaimia kuin vartteita. Ero rungon läpimitassa ja oksien lukumäärässä oli merkitsevä kaikkien

kolmen eri taimityypin välillä. Oksien pituudessa ja paksuudessa solukkotaimet ja siementaimet eivät sen sijaan eronneet toisistaan. Näissä ominaisuuksissa molemmat ryhmät erosivat kuitenkin merkitsevästi vartteista, joiden oksat olivat lyhyempiä ja ohuempia. Oksakulma oli suurin vartteissa ja pienin siementaimissa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Koivun siementaimien, solukkotaimien ja vartteiden latvuksen rakenne kahden vuoden iässä. Taimityypit, jotka eivät eroa toisistaan merkitsevästi, on merkitty samalla kirjaimella (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

Ominaisuus	siementaimi	solukkotaimi	varte
Pituus cm	286 a	261 ab	244 b
D 1,3, mm	16,1 a	11,4 b	7,8 c
Elävien oksien lukumäärä kpl	30,3 a	20,3 b	14,6 c
Oksan pituus, cm	66,5 a	66,9 a	33,3 b
Oksan paksuus, mm	5,5 a	5,2 a	2,9 b
Oksakulma, °	54 a	56 ab	61 b

Neljän kasvukauden jälkeen ero rungon läpimitassa kaikkien taimityyppien välillä oli edelleen tilastollisesti merkitsevä. Elävien oksien lukumäärä oli nyt lähes sama kaikissa taimityypeissä. Tämän muutoksen syynä voi olla taimien leikkauksesta johtuva apikaalidominanssin purkautuminen, jolloin rungon jälkisilmut kehittyivät oksiksi. Oksien koon ja oksakulman suhteen solukko- ja siementaimet erosivat merkitsevästi vartteista, mutta eivät toisistaan. Neljän kasvukauden jälkeen sekä siementettä solukkotaimet olivat hyvin toistensa kaltaisia ja reheviä. Niiden oksat olivat pitkiä ja runsashaaraisia. Vartteet olivat kapeita, oksat vähähaaraisia ja vartteiden ympärillä oli reilusti enemmän ilmatilaa, joten vartteet saivat alaoksia myöten enemmän valoa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Koivun siementaimien, solukkotaimien ja vartteiden latvuksen rakenne neljän vuoden iässä. Taimityypit, jotka eivät eroa toisistaan merkitsevästi, on merkitty samalla kirjaimella (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

Ominaisuus	siemen- taimi	solukko- taimi	varte
D 1,3, mm	63,3 a	54,9 b	39,5 c
Elävien oksien lukumäärä	45,0 a	44,1 a	41,7 a
Oksan pituus, cm	163,1 a	164,4 a	143,8 b
Oksan paksuus, mm	11,3 a	11,2 a	8,7 b
Oksakulma, °	85 a	86 a	84 a

Kukinta ja siemensato

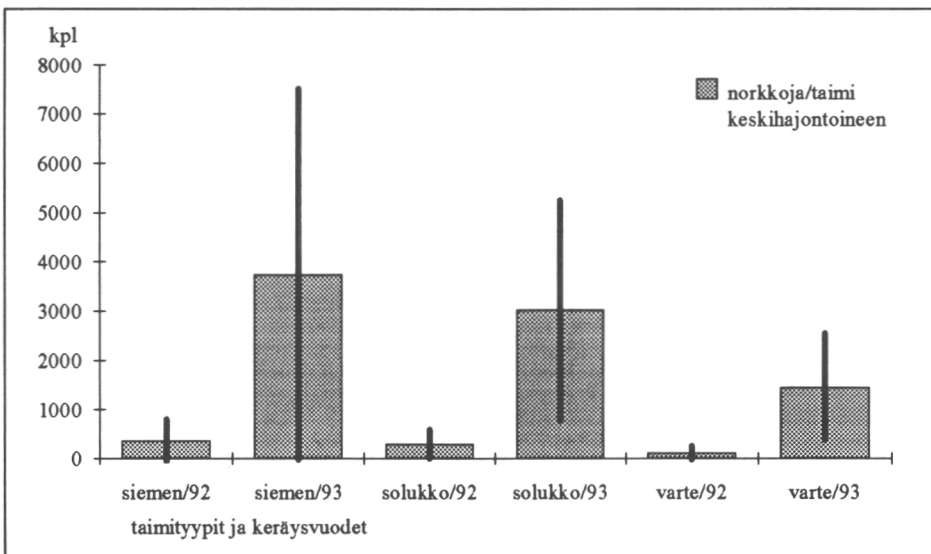
Kukinta alkoi vartteissa kahden vuoden iällä vuonna 1991, vuotta aikaisemmin kuin siemen- ja solukkotaimissa. Hedenorkkoja esiintyi 8 kloonissa, yhteensä 110 kpl, enimmillään 35 kpl/varte. Samoista klooneista kahdessa oli siemennorkkoja, 1 - 34 kpl/varte.

Kolmen vuoden iällä, vuonna 1992 oli kaikissa taimityypeissä hedenorkkoja, vartteissa ja solukkotaimissa yhtä paljon, siementaimissa vajaa puolet edellisten määrästä (Taulukko 3). Neljän vuoden iällä, vuonna 1993, oli hedenorkkoja eniten solukkotaimissa, vähiten siementaimissa.

Siemennorkkoja oli kolmen vuoden iässä, vuonna 1992, kaikissa taimityypeissä, mutta vartteissa niitä oli huomattavasti vähemmän kuin siemen- ja solukkotaimissa (Taulukko 3, kuva 2). Vuonna 1993 oli kukinta todella runsas, n. kymmenkertainen edelliseen vuoteen verrattuna. Siemennorkkojen keskisaanto oli siementaimilla 2,5-kertainen ja solukkotaimilla kaksinkertainen vartteisiin verrattuna. Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero siemennorkkojen määrässä oli siementaimien ja vartteiden välillä.

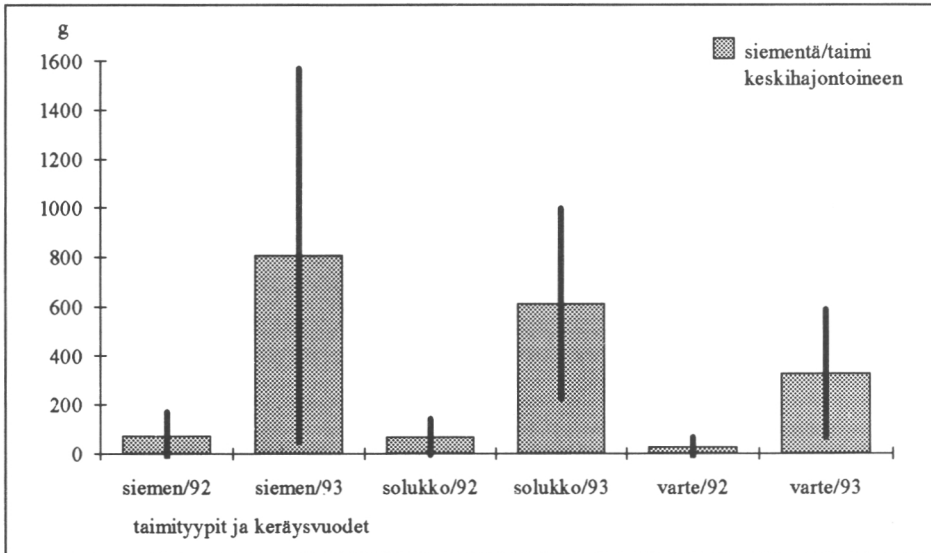
Taulukko 3. Hede- ja siemennorkkojen sekä siementen määrät eri taimityypeissä. Taimityypit, jotka eivät eroa toisistaan merkitsevästi, on merkitty samalla kirjaimella (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

kukinnot	siemen- taimi	solukko- taimi	varte
Hedenorkot,			
1992 kpl/taimi	52 a	127 a	127 a
1993 kpl/oksa	48 a	81 b	62 ab
Siemennorkkot, kpl/taimi			
1992	341 a	287 a	105 a
1993	3739 a	3016 ab	1454 b
Siemenet, g/taimi			
1992	72 a	67 a	26 a
1993	808 a	610 ab	326 b



Kuva 2. Siemennorkkojen määrä taimityypeittäin

Siementen grammamääräisinä saantoina laskettuna oli ero eri taimityyppien välillä samanlainen kuin norkkoina mitattuna. Vartteiden siementuotto oli merkittävästi heikompi kuin siemen- ja solukkotaimien siementuotto neljän vuoden iällä, vuonna 1993 (Taulukko 3, kuva 3).



Kuva 3. Siemenmäärät taimityypeittäin

Tulosten tarkastelu

Nämä koetulokset osoittavat, että solukkotaimet muistuttavat sekä latvuksen rakenteeltaan että siementuotoltaan enemmän siementaimia kuin vartteita.

Solukkotaimien ja siementaimien välinen suurempi samankaltaisuus vartteisiin verrattuna perustuu ilmiöön nimeltä rejuvenaatio i. nuorentuminen.

Rejuvenaatio on kasvullisesta lisäysmenetelmästä johtuva eriasteinen vanhan puun ikään liittyvien ominaisuuksien väheneminen taimessa. Aikuisesta puusta otetussa solukossa on jäljellä monia kyseisen vanhan puun toimintaohjelmia. Mitä pienempi on siirrettävä solukko, sitä vähemmän vanhaa "muistia" siirtyy uuteen taimeen (Bonga 1987). Koivun solukkoviljelyn aloituksessa käytettävä silmu on pieni, kun taas varttamisessa siirrettävä oksa on n. 5 cm. Tästä syystä solukkotaimien rejuvenaatio on voimakkaampaa kuin vartteilla, ja ne muistuttavat enemmän siementaimia. Vartteet puolestaan säilyttävät enemmän vanhan puun ominaisuuksia.

Verrattaessa solukkotaimia ja vartteita keskenään siementuoton kannalta on rejuvenaatiosta etua. Mitä rehevämpi taimi on, ts. mitä pidemmät ja haaraisemmat oksat sillä on, sitä enemmän sillä on paikkoja, joissa tuottaa siemennorkkoja ja siten runsaammin siemeniä.

Solukkotaimet alkoivat kukkia vuotta myöhemmin kuin vartteet. Tässä suhteessa ne käyttäytyivät samoin kuin siementaimet. Kukinnan viivästyminen vuodella ei kuitenkaan ole suuri haitta, koska vartteiden aikaisempi kukinta oli vähäistä ja kloonien välinen vaihtelu suuri.

Kukkiakseen koivu tarvitsee runsaasti valoa. Rehevät solukkotaimet kurkottavat pian oksansa viereisten taimien oksien sekaan. Latvuston varhainen sulkeutuminen vähentää valoisuutta ja saattaa heikentää kukintaa ja siemenen tuottoa.

Nykyisistä tuloksista ei voida päätellä, onko solukkotainten runsaampi varjostus mahdollisesti jo nyt aiheuttanut saannon hävikkiä. Mikäli koivun siemenviljelykset perustetaan tulevaisuudessa solukkotaimilla, niiden istutusväliä vartteisiin verrattuna on harvennettava, tai solukkotaimien oksia joudutaan valaistusolojen parantamiseksi leikkaamaan aikaisemmin kuin vartteiden.

Päätelmät

Tähän mennessä saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että solukkotainten käyttö koivun siemenviljelyksissä näyttää lupaavalta. Jo kolmen - neljän vuoden iällä solukkotainten siementuotto on noin kaksinkertaista vartteisiin nähden. Seuraamalla koetaimien kehitystä tulevina vuosina saadaan selville eri taimityyppien siementuoton kehittyminen taimien ikääntyessä, tuotantoajan pituus ja kokonaissiemenisaanto.

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.) 1992. Metsätalastollinen vuosikirja 1990-91. Yearbook of forest statistics. *Folia Forestalia* 790:1-81.
- Bonga, J. M. 1987. Clonal propagation of mature trees: Problems and possible solutions. Teoksessa: Cell and tissue culture in forestry. Volume 1. General principles and biotechnology. Toim. Bonga, J. M. ja Durzan, D. J. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. s. 249-271.
- Hagqvist, R. 1991. Jalostetun koivunsiemenen tuotanto ja saatavuus. *Metsänjalostussäätiön vuosijulkaisu* 1991:12-17.
- Pajamäki, J. & Karvinen, K. 1993. Suomen metsänjalostuksen yleistilastoa 1.1.1993. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 466:1-27.
- Pirttilä, V. & Saarela, S. 1989. Koivun muovihuonesiemenviljelyksen perustaminen ja hoito. *Metsänjalostussäätiö, Tiedote* 2/1989:1-6.

Ryynänen, L. & Ryynänen, M. 1986. Propagation of adult curly-birch succeeds with tissue culture. Tiivistelmä: Visakoivun lisäys solukkoviljelyn avulla. *Silva Fennica* 20(2):139-147.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim) 1994
Metsänjalostusta Punkaharjulla jo 70 vuotta
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 525

Geenisiirrot metsäpuihin - "Jurassic Park" Punkaharjulla?

Hely Häggman

Johdanto

Steven Spielbergin science fiction -tyyppistä elokuvaa "Jurassic Park" on tänä syksynä esitetty elokuvateattereissa eri puolilla maata runsaalle katsojamäärälle ja se on samalla herättänyt kiinnostusta ja vilkasta keskustelua eri tiedotusvälineissä biotekniikan oikeutuksesta. Lehtien palstoilla, televisio- ja radio-ohjelmissa on pohdittu geenitekniikan aiheuttamia riskejä, kuten sitä voidaanko geenitekniikalla aiheuttaa peruuttamattomia biologisia muutoksia luonnossa. Toisaalta keskustelu on lähtenyt myös puhtaasti eettiseltä pohjalta; onko ihmisellä oikeus puuttua perimään, onko olemassa rajaa ja jos on, niin missä se kulkee.

Biotekniikka-alan tutkijana on ollut yllättävää havaita ihmisten mielessä oleva huoli ja pelko alan aiheuttamien mahdollisten riskien johdosta. Biotekniikan menetelmähän on perinteisesti käytetty esimerkiksi leipomisessa, oluen panemisessa ja viinanpoltossa. Toisaalta uuden geenitekniikan historian aikana ei ole tapahtunut yhtään vaaraa aiheuttanutta onnettomuutta. Syynä näihin pelkoihin lieneekin ainakin osittain se, että ei tunneta käytössä olevia uusia biotekniikan menetelmiä, tutkimuksen tavoitteita tai tutkimustulosten hyödyntämismahdollisuuksia. Eettisten kysymysten pohdinta puolestaan on koko yhteiskunnan kannalta tarpeellista. Merkittävät tieteelliset tulokset vaikuttavat koko yhteiskunnan arvoihin. Menestyksekkästä biotekniikka-alan tutkimusta voidaan tehdä vain sellaisessa yhteiskunnassa, jossa sen merkitys ja hyväksyntä on saavutettu kriittisen pohdinnan tuloksena.

Miksi geenejä siirretään ?

Geeninsiirtojen tavoitteena on useimmiten geenien rakenteen ja toiminnan tutkiminen. Tekniikka soveltuu myös ns. hyötygeenien siirtämiseen. Tällaisia geenejä ovat mm. taudin- ja tuholaiskestävyysgeenit sekä puuaineksen ligniinipitoisuuteen vaikut

tavat geenit. Metsäpuiden kohdalla perinnöllisestä rakenteesta ja geenitoiminnan säätelystä on toistaiseksi olemassa vain vähän tietoa. Geenitason tietoa tarvittaisiin mm. vanhenemisilmiöistä, hormoniaineenvaihdunnasta, kestävyysominaisuuksista sekä puuaineen laatuun liittyvistä tekijöistä.

Geeninsiirtojen on toivottu myös metsäpuiden kohdalla nopeuttavan jalostusta, kuten maatalouskasveilla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu. Useat taloudellisesti merkittävät puiden ominaisuudet ovat kuitenkin luonteeltaan kvantitatiivisia ja nykytietämyksen tasolla geeninsiirrot onnistuvat vain sellaisten ominaisuuksien kohdalla, jotka ovat yhden tai muutaman geenin määräämiä ja joihin vaikuttavat geenit tunnetaan. Puuvartisilla kasveilla geenitekniikkatutkimusta on kuitenkin tehty huomattavasti lyhyemmän aikaa ja pienemmällä resursseilla kuin maatalouskasveilla. Käytännön sovellutukset metsäpuiden osalta tullaankin näkemään vasta tulevaisuudessa.

Mitä geenejä siirretään ?

Geenejä on siirretty kasveihin 1980-luvun alusta lähtien, jolloin opittiin tekemään kasveissa toimivia geeniyhdistelmiä. Eräs merkkipaaluista oli Herrera-Estrella'n työtovereineen (1983) julkaisema tutkimus, jossa tupakkaan siirrettiin nopaliini-syntaasisäätelyalueen alaisena toimiva neomysiinifosfotransferaasigeeni, joka saa aikaan solukoiden kestävyuden kanamysiini-antibiootille. Puiden kohdalla geeninsiirtotutkimuksia on tehty 1980-luvun lopulta lähtien. Jo Anne Fillatti työryhmineen (1987) siirsi vesakontorjunta-aine glyfosaatille kestävyuden antavan geenin (5-enolpyruvylshikimaatti 3-fosfaattisyntaasi) hybridipoppeliin (*Populus alba x grandidentata*). Tällä hetkellä geeninsiirtotutkimusta tehdään aktiivisesti eri puolilla maailmaa. Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun tutkimusaseman biotekniikka-hankeessa tutkitaan eri geeninsiirtotekniikoiden soveltuvuutta tärkeimmille metsäpuillemme ja menetelmiä hyödynnetään lajien geenitoiminnan ja sen säätelyn tutkimisessa.

Toistaiseksi puihin on siirretty etupäässä erilaisia merkkigeenejä, joista suurin osa on peräisin bakteereista. Merkkigeenit voidaan jakaa reportterigeeneihin ja selektiivisiin merkkigeeneihin. Reportterigeenien toiminta solukossa on helppo havaita esimerkiksi värin muodostumisena. Selektiivisten merkkigeenien avulla puolestaan valitaan siirtogeeniset solut tai solukot muiden joukosta. Merkkigeenejä käytetään menetelmiä kehitettäessä, geneettisen rakenteen ja säätelyn tutkimuksessa sekä apuna ns. hyötygeenien siirrossa. Säätelyä tutkittaessa erilaiset säätelyalueet eli promoottorit voidaan liittää merkkigeeniin, jolloin helposti havainnoitavan merkkigeenin toiminta kuvaa säätelyalueen toimintaa. Ns. hyötygeenejä siirrettäessä on tavallista, että

hyötygeeniin liitetään merkkigeeni, jolloin merkkigeenin avulla voidaan saada tietoa siirron onnistumisesta ja toisaalta tehokkaasti valita siirtogeenisiä solukoita.

Erityistä keskustelua on herättänyt herbisidikestävyysgeenien siirto kasveihin. Onko kyseessä kasvin itsensä vai ihmisen kannalta katsoen hyödyllinen geeni? Onko tällaisen geenin siirto kasviin eettisesti hyväksyttävää? Näistä ns. hyötygeeneistä puihin on siirretty herbisidikestävyysgeenien lisäksi myös geenejä, jotka lisäävät hyönteiskestävyyttä. Tulevaisuudessa siirrettäväksi soveltuvien geenien määrä tulee lisääntymään, sillä useiden puulajien geenejä ollaan kartoittamassa, ja eristettyjen ja karakterisoitujen geenien määrä lisääntyy kaiken aikaa. Esimerkkinä puista eristetyistä geeneistä mainittakoon useat ligniini-biosynteesireittiä katalysoivia entsyymejä koodaavat geenit. Tunnettujen geenien määrän lisääntyessä myös geeninsiirrot puulajien (esim. inkompatibiliteetti ongelmat) ja yksilöiden (esim. kestävästä alttiisiin) välillä mahdollistuvat.

Miten geenejä siirretään ?

Geeninsiirtomenetelmiä on olemassa lukuisia, joista kaikilla on omat rajoituksensa ja etunsa. Metsäpuiden kyseessä ollen geenejä siirretään lähinnä joko agrobakteerin välityksellä tai biolistisella aseella. Bakteerien transformoinnissa eli geeninsiirrossa yleistä elektroporaatiota on käytetty lähinnä vain transientin eli ohimenevän geenitoiminnan tutkimisessa (Taurus ym. 1989), koska useimmissa tapauksissa kohdesolukkona käytetyt metsäpuiden protoplastit ovat huonosti regeneroitavissa. Agrobakteerin käyttö geeninsiirrossa perustuu niiden kykyyn siirtää osa perintöaineestaan osaksi kasvin perimää. Agrobakteerista taudinaiheuttajana (Clare 1990) ja geeninsiirtäjänä (Häggman & Aronen 1994, Aronen & Häggman 1993, van Woudagen & Dons 1992) löytyy useita artikkeleita viime vuosilta. Menetelmä soveltuu paremmin lehtipuille kuin havupuille, koska monet lehtipuut ovat agrobakteerin luontaisia isäntäkasveja. Havupuiden geeninsiirrossa taas käytetään yleisimmin biolistista menetelmää. Menetelmässä siirrettävät geenit kiinnitetään kulta- tai wolframihukkasten pinnalle ja hiukkaset ammutaan kohdesolukkaan esimerkiksi kaasunpaineen avulla.

Tutkimuksen nykytila

Siirtogeenisiä lehtipuiden taimia on onnistuttu tuottamaan useista eri lajeista. Näitä lajeja ovat etenkin eri *Populus*-hybridit, koivu ja useat hedelmäpuut. Siirrettävinä geeneinä ovat olleet lähinnä erilaiset merkkigeenit, sekä herbisidi- ja hyönteiskestävyyttä aikaansaavat geenit. Suomessa tutkimus on kohdistunut lähinnä talou-

dellisesti merkittävimpään koivulajiimme rauduskoivuun. Kemira Oy on testannut merkkigeenejä sisältäviä siirtogeenisia rauduskoivun taimia maastokokeissa vuodesta 1990 alkaen (Jokinen et al. 1991), Joensuun yliopistossa siirretään hyönteiskestävyysgeenejä (Keinonen-Mettälä et al. 1993) ja Punkaharjun tutkimusasemalla testataan erilaisten geeninsiirtotekniikoiden soveltuvuutta rauduskoivulle (Häggman ja Aronen 1993).

Siirtogeenisia havupuun taimia on toistaiseksi onnistuttu tuottamaan vain euroopanlehtikuusesta (*Larix decidua*) ja valkokuusesta (*Picea glauca*). Euroopanlehtikuuseen Yinghua Huang työtovereineen (1991) siirsi *Agrobacterium rhizogeneksen* T-DNA:n geenejä käyttäen agrobakteeri-välitteistä menetelmää. Valkokuusen geeninsiirron puolestaan julkaisi vuonna 1993 David Ellisin työryhmä, joka oli käyttänyt siirtotekniikkana biolistista asetta ja siirrettävinä geeneinä merkkigeenien lisäksi *Bacillus thuringiensis*-bakteerista peräisin olevaa hyönteiskestävyyttä lisäävää endotoksiinigeeniä. Lähivuosina lienee odotettavissa raportteja onnistuneista geeninsiirroista myös muihin havupuulajeihin, koska alan tutkimus on vilkasta eri puolilla maailmaa. Punkaharjun tutkimusasemalla eräs tärkeimmistä tutkimuskohteista on mänty (*Pinus sylvestris* L.). Tutkimuksessa on keskitytty eri säätelyalueiden tutkimiseen transienttia geenitoimintaa tarkastelemalla ja kokeet siirtogeenisten taimien tuottamiseksi ovat parhaillaan käynnissä.

Onko geenitekniikka vaarallista ?

Geenitekniikan mahdolliset riskit ovat huolestuttaneet ihmisiä myös Suomessa. Tällaisina riskeinä on nähty lähinnä terveydelliset vaarat ja toisaalta pelot peruuttamattomista muutoksista ympäristössä. Geenitekniikan käyttö Suomessa ei toistaiseksi ole ollut lailla säädeltyä, mutta työskentelyssä on alusta alkaen noudatettu tarpeellisia turvatoimia ja rajoituksia Biotekniikan neuvottelukunnan antamien ohjeiden mukaisesti. Turvatoimet ovat yleensä aluksi olleet ylimitoitettuja, vaikkei geenitekniikan historian aikana ole sattunut yhtään vaaraa aiheuttanutta onnettomuutta. Turvallisuuden perustana on ollut geenitekniikalla muokattujen eliöiden eristäminen luonnosta ja ihmisistä.

Uuden tekniikan myötä on herännyt myös kansainvälisiä kysymyksiä alkuperäisten geenivarojen hyödyntämisen oikeudesta. Kysymys on pitkälti geneettisesti muunneltujen organismien patentoimisesta, joka antaa niiden tuottajille yksinoikeuden tietyn ajaksi (tavallisesti 17-20 vuodeksi). Tällaisten ongelmien ratkaisemiseksi on solmittu kansainvälisiä sopimuksia, kuten Rion ympäristösopimus, jossa pyritään turvaamaan myös geneettisten voimavarojen luovuttajamaiden oikeudet.

Erityisesti metsäpuiden kohdalla on keskusteltu siirtogeenisten puiden vaikutuksista metsäekosysteemiin ja siirrettyjen geenien leviämisvaarasta ympäristönlajeihin. Perintöaineksen siirtäminen on kuitenkin kuulunut metsänjalostuksen ja metsänviljelyn perusteisiin kautta aikojen. Eksoottisten puulajien viljely ja provenienssi siirrot ovat tuoneet vierasta perintöainesta uuteen ympäristöön. Risteytysten kautta perintöainesta on taas muokattu haluttuun suuntaan. Uuden geenitekniikan avulla pystytään perintöainesta muokkaamaan tarkemmin ja siirrettyjen geenien rakenne ja vaikutukset ovat tunnettuja ja huolellisesti testattuja ennen valvottuja maastokokeita.

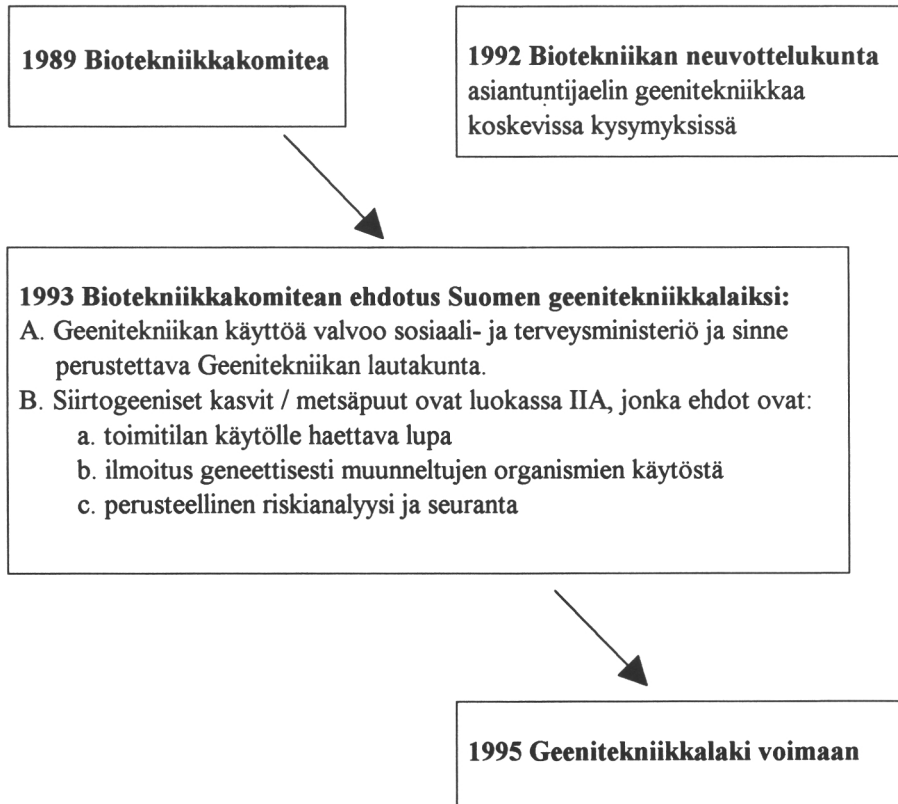
Geenitekniikkatutkimusta säädellään

Ympäristöministeriön aloitteesta perustettiin vuonna 1989 biotekniikkakomitea, jonka tehtävänä oli ottaa selvää eri maiden sekä tärkeimpien kansainvälisten järjestöjen biotekniikkaa koskevista säännöksistä, määräyksistä ja suosituksista. Työryhmän tuli esittää selvityksen perusteella arvio Suomen lainsäädännön kehittämistarpeesta. Vuodesta 1992 lähtien valtioneuvoston asettama biotekniikan neuvottelukunta on toiminut asiantuntijaelimenä biotekniikkaa, erityisesti geenitekniikkaa, koskevissa asioissa (Kuva 1.).

Lakiin perustuvaa valvontaa tarvitaan useista eri syistä. Euroopan talousaluetta koskeva, Suomen allekirjoittama ETA-sopimus edellyttää, että EU:n geneettisesti muunnettujen organismien käyttöä ja levitystä koskevat direktiivit saatetaan voimaan myös Suomessa. Lakiin perustuvan valvonnan tarvetta ovat lisänneet myös geenitekniikan käytön lisääntyminen, ennakoitavissa olevat mittavat, erityisesti lääketieteelliset ja teolliset sovellukset sekä suuren yleisön kiinnostus ja pelot tekniikan aiheuttamia mahdollisia vaaroja kohtaan. Myös biotekniikka-alan tutkijan kannalta on hyvä, että alalle saadaan yhteiset, kriittisen pohdinnan tuloksena aikaansaadut "pelisäännöt".

Ehdotus tulevaksi geenitekniikkalaki on parhaillaan asiantuntijoiden arvioitavana ja sen pitäisi tulla voimaan vuoden 1995 alusta. Lain tavoitteena on edistää geenitekniikan turvallista käyttöä ja kehittymistä eettisesti hyväksyttävällä tavalla sekä ehkäistä geenitekniikalla muunnettujen organismien käytöstä ympäristölle ja ihmisen terveydelle mahdollisesti aiheutuvia haittoja. Lakiesityksen mukaan geenitekniikan käyttöä valvoo tulevaisuudessa sosiaali- ja terveysministeriöön perustettava geenitekniikan lautakunta. Lain rikkomisen seurauksena voi olla jopa neljän vuoden vankeustuomio. Siirtogeeniset metsäpuut samoin kuin muutkin siirtogeeniset kasvit kuuluvat luokkaan IIA. Luokan työskentelyn ehtona on, että toimitilan käyttöön otolle haetaan lupa geenitekniikan lautakunnalta sekä tehdään ilmoitus geneettisesti

muunneltujen organismien käytöstä. Lisäksi edellytetään työskentelyn perusteellista riskianalyysiä ja seuranta.



Kuva 1. Geenitekniiikatutkimusta säädellään Suomessa.

"Jurassic Park" Punkaharjulla ?

1840-luvulla Keisarillinen Senaatti julisti jo tuolloin kuuluisana nähtävyytenä tunnetun Punkaharjun harjualueen luonnonsuojelualueeksi, Kruununpuistoksi. Viime vuosikymmeninä taas eräänä paikkakunnan yleisömaagneettina on toiminut eri puulajeja esittelevä puulajipuisto. Nyt 1990-luvulla ei kuitenkaan ole tarkoitus perustaa Punkaharjulle uutta "Jurassic"-puistoa. Sen sijaan alueella osittain jo 1800-luvulla perustetut kenttäkokeet, kloonikokeet sekä tutkimusasemalla jo pitkään jatkunut metsägeneettinen tutkimus luovat hyvän pohjan myös uudelle biotekniikatutkimukselle. Paras hyöty uudesta tekniikasta saadaan, kun sitä sovelletaan rinta rinnan perinteisten menetelmien kanssa.

Kirjallisuus

- Aronen, T. & Häggman, H. 1993. Geeninsiirto metsäpuihin agrobakteerien avulla. Luonnontutkija 97:88-92.
- Clare, B.G. 1990. *Agrobacterium* in plant disease, biological disease control and plant genetic engineering. Sci. Progress Oxford 74:1-13.
- Ellis, D.D., McCabe, D.E., McInnis, S., Ramachandran, R., Russell, D.R., Wallace, K.M., Martinell, B.J., Roberts, D.R., Raffa, K.F. & McCown, B.H. 1993. Stable transformation of *Picea glauca* by particle acceleration. Bio/Technology 11:84-89.
- Fillatti, J., Sellmer, J., McCown, B., Haissig, B. & Comai, L. 1987. *Agrobacterium* mediated transformation and regeneration of *Populus*. Mol. Gen. Genet. 206:192-199.
- Geenitekniikka - Ehdotus geenitekniikkalaiksi. Biotekniikkakomitean mietintö 1993:32.
- Herrera-Estrella, L., Depicker, A., Van Montagu, M. & Schell, J. 1983. Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. Nature 303: 209-213.
- Huang, Y., Diner, A.M., Karnosky, D.F. 1991. *Agrobacterium rhizogenes*-mediated transformation and regeneration of a conifer, *Larix decidua*. In Vitro Cell Dev. Biol. 27P:201-207.
- Häggman, H. & Aronen, T. 1995. *Agrobacterium* mediated diseases and genetic transformation in forest trees. Ks. Raychaudhuri (toim.): Diseases of Forest Trees. The Oxford IBH, painossa.
- Jokinen, K.J., Honkanen, J., Seppänen, P. & Törmälä, T. 1991. Biotechnology of the silver birch (*Betula pendula* Roth.). Agro-Industry Hi-Tech 4:23-26.
- Keinonen-Mettälä, K., Susi, A., Pappinen, A. & von Weissenberg, K. 1993. Gene technology and resistance of trees to insects and diseases. Abstract in the Fifth International Workshop of the IUFRO Working party S2.04-07 Somatic Cell Genetics. Icona-Cenean 18-22.10.1993.
- Tautorus, T.E., Bekkaoui, F., Pilon, M., Datla, R.R.S., Crosby, W.L., Fowke, L.C. & Dunstan, D.I. 1989. Factors affecting transient gene expression in electroporated black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) protoplasts. Theor. Appl. Genet. 78:531-536.
- Wordragen, M.F. van & Dons, H.J.M. 1992. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of recalcitrant crops. Plant Mol. Biol. Reporter 10:12-36.

Puita ammutaan - panoksena DNA

Tuija Aronen

Johdanto

Molekyylibiologian ja biotekniikan kehittyminen on tuonut mukanaan monia menetelmiä, kuten geeninsiirrot, jotka on otettu käyttöön myös metsäpuiden tutkimuksessa. Geeninsiirtotekniikat antavat uusia mahdollisuuksia puiden geenitoiminnan ja sen säätelyn tutkimiseen, ja niitä voidaan käyttää hyötygeenien siirrossa. Suorat geeninsiirrot voisivat nopeuttaa metsänjalostusta tapauksissa, joissa haluttuun ominaisuuteen vaikuttaa vain yksi tai muutamia genejä, ja nämä geenit tunnetaan. Jalostuksen kannalta hyödyllistä on myös se, että perintöainesta voidaan siirtää keskenään risteytymättömien yksilöiden tai lajien välillä.

Geenien siirtämiseksi on olemassa useita sekä suoria että vektorivälitteisiä menetelmiä. Geeninsiirtovektoreista eniten on käytetty agrobakteereja, mutta menetelmään liittyy myös haittapuolia. Näitä ovat esimerkiksi bakteerikantojen isäntäkasvispesifisyys ja antibioottien kestävyys, mikä hankaloittaa kasvimateriaalin puhdistamista bakteereista geeninsiirron jälkeen. Monia lehtipuulajeja on menestyksellisesti transformoitu agrobakteeri-välitteisellä tekniikalla (Häggman & Aronen 1995), mutta ongelmana ovat havupuut, jotka eivät ole agrobakteerien luontaisia isäntäkasveja. Suorista geeninsiirtomenetelmistä yleisimmät puolestaan ovat protoplastien transformointi joko polyetyleeniglykolin (PEG) tai elektroporaation avulla, ja biolistisen asean eli "geenipyssyn" käyttö. Protoplastit ovat yksittäisiä, eristettyjä kasvisoluja, joiden soluseinä on entsymaattisesti poistettu. Protoplastien eristys ja erityisesti niiden regenerointi on kuitenkin osoittautunut ongelmalliseksi monilla puulajeilla, varsinkin havupuilla. Biolistisen asean käytössä ei vastaavaa ongelmaa ole, sillä kohdemateriaalina voivat olla hyvin erilaiset solut tai solukot.

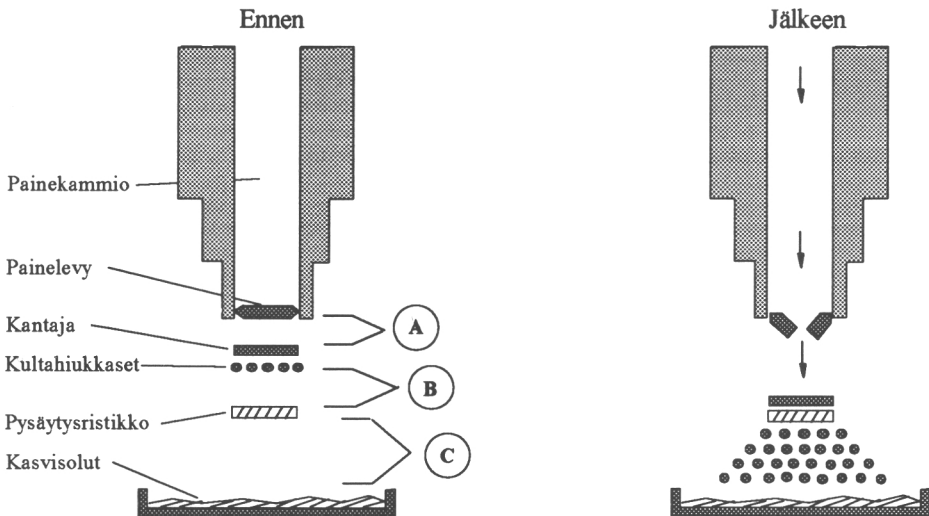
Biolistisen geeninsiirtomenetelmän hyviä puolia ovat monipuolisuus, nopeus ja helppokäyttöisyys, haittapuolena lähinnä kalleus. Tekniikka on uusi, mutta sen avulla on jo onnistuttu tuottamaan siirtogeenisiä kasveja lajeista, joilla perinteisemmät tekniikat, kuten agrobakteeri-välitteinen menetelmä eivät ole toimineet. Yksi-

sirkkaisista viljakasveista biolistisella menetelmällä on onnistuttu transformoimaan mm. maissi (Vain ym. 1993) ja vehnä (Vasil ym. 1992) sekä havupuista valkokuusi, (*Picea glauca*) (Ellis ym. 1993). Tulevaisuus tuonee mukanaan sovellutuksia myös muilla aiemmin vaikeina pidetyillä lajeilla. Omista metsäpuistamme tällainen laji on erityisesti mänty, (*Pinus sylvestris*). Pünkaharjun tutkimusaseman biotekniikka-hankkeessa onkin aloitettu geeninsiirtokokeet biolistisella aseella käyttäen sekä rauduskoivua että mäntyä kohdelajina.

Biolistisen asean toiminta

Geeninsiirrossa käytettäviä aseita on olemassa monia erilaisia, mutta useimpien mallien toiminta pohjautuu samaan perusideaan: siirrettävä DNA saostetaan pienten kulta- tai volframihukkasten pinnalle ja nämä hiukkaset ammutaan kasvisolukkaan. Hiukkasten kiihdyttämiseen voidaan käyttää ruutia, sähkövarauksen purkausta tai äkillistä kaasunpaineen purkausta. Useimmiten hiukkasten ampumisessa käytetään lisäksi apuna ns. kantajaa, johon hiukkaset aluksi kiinnitetään. On olemassa myös aseita, joilla voidaan ampua hiukkaset tarkasti rajatulle, hyvin pienelle kohdealueelle (Klein ym. 1992). Eri asetyypeistä hellävaraisimmaksi ja tehokkaimmaksi on todettu helium-käyttöinen ase (Russell ym. 1992), jollainen on käytössä myös Pünkaharjun tutkimusasemalla. Helium-aseen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.

Biolistisen asean käyttöön ja ampumistulokseen liittyy useita teknisiä tekijöitä, jotka täytyy optimoida aina erikseen kohteena olevan kasvimateriaalin mukaan. Tärkeimpiä geeninsiirron onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä helium-aseella työskenneltäessä ovat kaasunpaine, kultahiukkasten koko ja DNA:n määrä. Myös etäisyydet kasvisolujen ja kultahiukkasten kiihtyvyyteen vaikuttavien aseiden osien, kuten kantajan ja pysäytysristikon välillä, ovat säädettävissä ja vaikuttavat hiukkasten tunkeutumiseen soluihin. Ihannetapauksessa ammutut hiukkaset jakautuvat tasaisesti kohteena oleviin soluihin niitä vahingoittamatta. Tupakalla on havaittu, että lähes aina kun biolistinen geeninsiirto on johtanut vieraan geenin ilmenemiseen solussa, voidaan sen tumasta löytää yksittäinen kultahiukkanen. Hiukkasten päätymiseen solujen tumiin voidaan vaikuttaa, muttei niinkään teknisiä tekijöitä säätämällä, vaan valitsemalla geeninsiirron kohteeksi mitosisivaiheen soluja eli soluja, joiden tumat ovat juuri jakautumassa (Yamashita ym. 1991).



Kuva 1. Biolistisen asean PDS-1000/He (Bio-Rad) toimintamalli. Siirrettävä DNA ammutaan soluihin pienten kultahiukkasten pinnalla. Hiukkaset ovat aluksi kantajan alapintaan kiinnitettynä. Kantaja lähtee liikkeelle, kun kaasunpaine rikkoo painelevyn ja kaasu purkautuu äkillisesti. Kantaja pysähtyy törmätessään pysäytysristikkoon, mutta kultahiukkaset jatkavat matkaansa ristikon läpi kasvisoluihin. A, B ja C ovat säädettäviä etäisyyksiä eri osien välillä, ja nuolet kuvaavat kaasunpurkausta.

Geeninsiirrot puihin biolistisella aseella

Biolistista menetelmää on käytetty geenien siirtämiseksi sekä havu- että lehtipuihin. Lehtipuiden transformoinnista biolistisella aseella on vain muutamia raportteja, mikä kuvastaa perinteisen agrobakteeri-välitteisen tekniikan toimivuutta näillä lajeilla. Esimerkkinä biolistisesta geeninsiirrosta lehtipuhun voidaan mainita poppelin hyönteiskestävyuden parantaminen. Brent McCown työryhmineen (1991) siirsi poppeliin (*Populus alba* x *P. grandidentata*) endotoksiinigeenin *Bacillus thuringiensis* -bakteerista. Kasvihuonekokeissa toksiinigeenin sisältävien siirtogeenisten taimien todettiin maistuvan kontrollipuita huomattavasti vähemmän perhostoukille ja vähentävän selvästi niiden kasvua ja eloonjäämistä. Siirtogeenisiä taimia ei ole kuitenkaan toistaiseksi käytetty metsänviljelyssä. Poppelin lisäksi biolistista menetelmää on sovellettu ainakin tulppaanipuun (*Liriodendron tulipifera*) (Wilde ym. 1992) ja papaijan (*Carica papaya*) (Fitch ym. 1990) tutkimuksessa.

Havupuiden kohdalla biolistinen menetelmä on tuottanut runsaasti tutkimustietoa aivan viime vuosien aikana. Yhteenveto tähänastisista geeninsiirtokokeiden tuloksista on esitetty taulukossa 1. Yhteistä eri havupuulajeilla tehdyille tutkimuksille on, että siirrettävinä geeneinä ovat olleet ns. merkkigeenit ja että kohdesolut ovat olleet nuoria, useimmiten alkion solukoita. Merkkigeenejä käytetään geeninsiirtotekniikoita

kehittäessä, koska niiden toiminta solussa voidaan helposti havaita ja toisaalta niiden avulla voidaan valita siirtogeenisiä soluja. Kohdesolukot taas ovat yleensä nuoria, sillä useimpien havupuiden tapauksessa ei ole olemassa solukkoviljelymenetelmiä taimien regeneroimiseksi vanhojen puiden solukoista (Bonga & von Aderkas 1992). Toistaiseksi geeninsiirron tuloksena on suurimmassa osassa havupuututkimuksia ollut siirretyn geenin transientti ekspressio, eli geeni on todistettavasti toiminut soluissa vuorokauden tai kahden kuluttua geeninsiirrosta. Kuitenkin vain osa transientista ekspressiosta muuttuu pysyväksi siirretyn geenin liittyessä vakituisesti osaksi kasvin perimää.

Taulukko 1. Geeninsiirrot havupuihin biolistisella aseella.

Laji	Tulos
Lehtikuusi (<i>Larix spp.</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota embryogeenisissä solukoissa (Charest ym. 1993; Duchesne ym. 1993)
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota alkioidissa, suspensioissa, kalluksessa (Newton ym. 1992); Pysyvää GUS/NPT-ekspressiota alkioidista aloitetuissa solukoissa (Robertson ym. 1992)
Valkokuusi (<i>Picea glauca</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota embryogeenisissä solukoissa (Charest ym. 1993; Ellis ym. 1991); Siirtogeenisiä taimia, joissa GUS-, NPT- ja Bt-endotoksiinigeenin ekspressiota (Ellis ym. 1993)
Mustakuusi (<i>Picea mariana</i>) Punakuusi (<i>P. rubens</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota embryogeenisissä solukoissa (Charest ym. 1993)
Radiatamänty (<i>Pinus radiata</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota suspensioissa (Campbell ym. 1992)
Loblollymänty (<i>Pinus taeda</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota ksyleemissä, alkion sirkkalehdissä (Loopstra ym. 1992; Stomp ym. 1991)
Douglaskuusi (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	→ Transienttia GUS-ekspressiota sirkkalehdissä (Goldfarb ym. 1991)

GUS = β -glukuronidaasi; NPT = neomysiini fosfotransferaasi

Siirtogeenisä havupuun taimia on tähän mennessä onnistuttu tuottamaan biolistisella menetelmällä vain valkokuusesta (*Picea glauca*) (Ellis ym. 1993). Toisaalta kauemmin käytössä olleella agrobakteeri-välitteisellä tekniikallakaan ei ole saatu aikaan siirtogeenisä taimia kuin yhdellä lajilla, euroopanlehtikuusella (*Larix decidua*) (Huang ym. 1991). Valkokuusen geeninsiirrossa siirrettävänä geeninä oli merkki-geenien lisäksi toksiinigeeni *Bacillus thuringiensis* -bakteerista. Kohdemateriaalina David Ellisin työryhmällä olivat valkokuusen somaattiset alkio, joista he onnistuivat regeneroimaan siirtogeenisä taimia. Syöttökokeissa näiden siirtogeenisten taimien todettiin hidastavan merkittävästi tärkeän pohjoisamerikkalaisen metsätuholaisen, kuusen silmutoukan (*Choristoneura fumiferana*) kasvua.

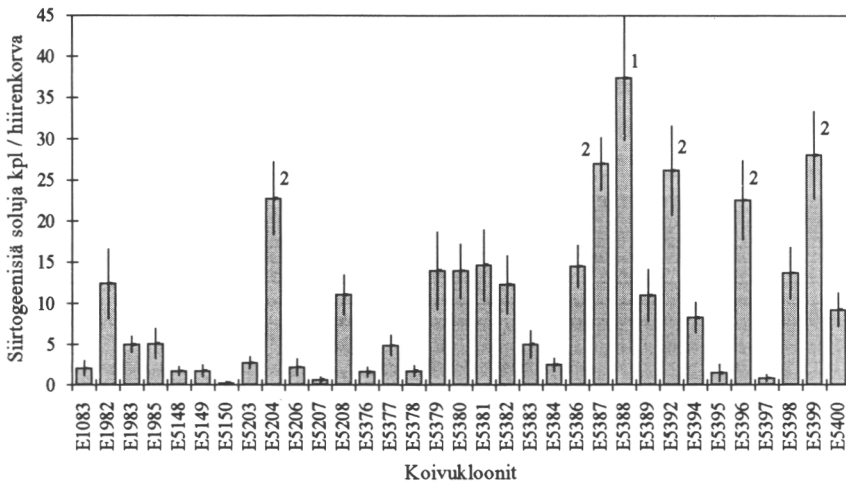
Kokemuksia geeninsiirrosta rauduskoivuun

Punkaharjun tutkimusasemalla biolistista geeninsiirtomenetelmää on testattu rauduskoivun (*Betula pendula*) hiirenkorvilla sekä kallus- ja solususpensioviljelmillä. Lähtömateriaaliksi valittiin 29 - 67 -vuotiaita kantapuita kaikkiaan 52 kpl. Klooneista 33 tuotti kallusta solukkoviljelyssä ja 13 kloonilla saatiin kalluksesta aloitettua myös suspensioviljelmiä. Hyvin kallustaneista klooneista kerättiin oksia hyötöön ja hiirenkorvat otettiin silmuista, jotka olivat juuri avautumassa.

Siirrettävinä geeneinä on toistaiseksi käytetty merkkigeenejä β -glukuronidaasi (GUS) ja neomysiinifosfotransferaasi (NPT). GUS-geenin toiminta voidaan havaita sinisenä värinä solussa ja NPT-geeni aiheuttaa kanamysiini-antibiootin kestävyuden. Molemmilla geeneillä on siirrettävässä ollut säätelyalueenaan 35S CaMV -promootori, joka on tavallisin geeninsiirtokokeissa käytetty säätelyalue. 35S CaMV -promootori on alunperin eristetty kukkakaalin mosaiikkiviruksesta ja sen alaisena geenin pitäisi periaatteessa toimia jatkuvasti kaikentyypisissä kasvisoluissa.

Tarkasteltaessa GUS-geenin transienttia ekspressiota on havaittu, että koivukloonien välinen vaihtelu vieraan geenin ilmentämisessä on suurta. Hiirenkorvilla ja kalluksilla tehtyjen kokeiden perusteella voidaan erottaa neljästä kuuteen muita parempaa kloonista (Kuva 2., esimerkki hiirenkorvamateriaalista), mutta suspensioissa erot eri kloonien välillä eivät olleet tilastollisesti merkittäviä. Transientin GUS-ekspression määrä parhaissa klooneissa oli suuri: GUS-geeniä ilmentäviä soluja oli yhdessä hiirenkorvassa jopa 169 kpl ja kallusmateriaalissa 10 kpl /1 mg solukkoa, jolloin liki koko solukon pinta on ekspressoivien solujen peitossa. Suspensioissa puolestaan oli enimmillään noin 250 ekspressoivaa solua miljoonaa elävää solua kohti.

Koivuklooneista transientin GUS-ekspression suhteen parhaiksi osoittautuneilla on jatkettu geeninsiirtokokeita tavoitteena tuottaa siirtogeenisiä taimia. Kohdemateriaalina on käytetty kallusta, jota on jatkuvasti saatavilla ja jota on helppo käsitellä. Tähän mennessä on onnistuttu tuottamaan GUS- ja NPT-geenin suhteen pysyvästi siirtogeenisiä kalluksia, ja versojen indusointi näistä kalluksista on aloitettu. Versojen muodostusta saattaa vaikeuttaa kalluksen alkuperä, sillä vanhoilla puilla jälsolukosta tuotettu kallus on todettu silmusta aloitettua hankalammin regeneroitavaksi (Ryynänen 1993).



Kuva 2. GUS-reportterigeenin transientti ekspressio koivun hiirenkorvissa. Hiirenkorvat otettiin puhkeamassa olevista silmuista ja ammuttiin 650 psi:n kaasunpaineella ja 1.0 μm kultahiukkasilla. GUS-geenin ilmeneminen todettiin histokemiallisella testillä 1 vrk ampumisen jälkeen. Pylväät kuvaavat 25 hiirenkorvan keskiarvoja (\pm keskivirhe). 1, 2 Koivukloonit, joissa havaittiin tilastollisesti merkitsevästi ($p=0.05$) muita enemmän GUS-geenin ekspressiota.

Kokemuksia geeninsiirrosta mäntyyn

Geeninsiirtokokeissa mänyllä (*Pinus sylvestris*) kohdemateriaalina on käytetty erikäisten (5-, 15-, 25-, ja 50-v.) puiden silmuja, niistä aloitettuja kallus- ja solususpensioviljelmiä sekä alkioista irrotettuja sirkkalehtiä. Siirrettävinä geneinä ovat olleet GUS ja NPT yhdistettynä seuraaviin säätelyalueisiin: 35S CaMV; 35S CaMV ja AMV-tehostajasekvenssi; 35S CaMV-35S CaMV; 35S CaMV-35S CaMV-AMV sekä EmP, joka on abskisiinihapolla indusoituva promoottori.

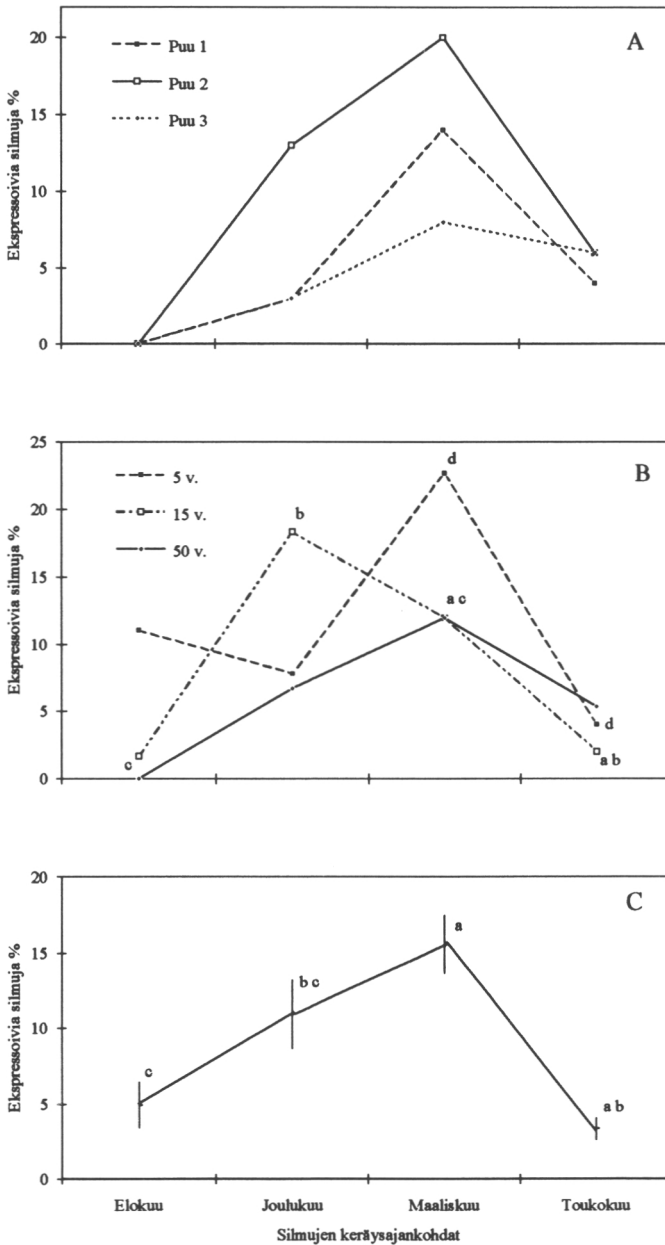
Eri mäntymateriaaleista eniten GUS-geenin transienttia ekspressiota on suspensioviljelmissä sekä alkioiden sirkkalehdissä. Parhaimmillaan ammutuissa suspensioissa

on havaittu noin 1200 ekspressoivaa solua miljoonaa elävää solua kohti (Aronen ym. 1994b), mikä on moninkertaisesti esimerkiksi koivulla aikaansaatu määrä. Alkioiden sirkkalehdissä puolestaan on enimmillään ekspressoivia soluja ollut yli 30 per sirkkalehti. Geeninsiirron onnistumisfrekvenssi silmu- ja kallusmateriaalilla on pienempi, keskimäärin 1-2 ekspressoivaa solua / soluryhmää silmua kohti. Ekspresion määrää voidaan kuitenkin merkittävästi lisätä sopivalla esikäsittelyllä, kuten pitämällä silmuja viikon ajan ennen ampumista kasvunsääteitä (2,4-D; BAP) sisältävällä solukkoviljelyalustalla (Aronen ym. 1994b).

Erialaisten säätelyalueiden merkitystä siirrettyjen geenien ilmenemisessä on tutkittu käyttämällä kohdesolukkona mäntyalkioista irrotettuja sirkkalehtiä. Eniten GUS-geeniä transientisti ekspressoivia soluja per sirkkalehti saadaan, kun geenin säätelyalueena on 35S CaMV-AMV. Toisaalta ekspresio solua kohti on voimakkainta, kun säätelyalueena käytetään joko 35S CaMV-35S CaMV- tai 35S CaMV-35S CaMV-AMV -promootoria, eli kaksinkertaisen 35S CaMV säätelyalueen läsnäolo lisää lähetti-RNA:n transkriptiota reportterigeenistä. Tällaisissa tapauksissa geenin koodaaman entsyymin valmistus on usein niin voimakasta, että koko sirkkalehti värjäytyy siniseksi histokemiallisessa testissä.

Säätelyalueen oikealla valinnalla on merkitystä geeninsiirtojen onnistumiseen, erityisesti pyrittäessä tuottamaan siirtogeenisiä taimia. Punkaharjun tutkimusasemalla on kehitetty männyllä solukkoviljelymenetelmä, jossa lähtömateriaalina käytetään juuri alkioiden sirkkalehtiä (Häggman ja Stomp 1990). Kehitetty regenerointimenetelmä yhdessä saavutetun hyvän transientin ekspresiotason kanssa luovat mahdollisuuden siirtogeenisten männynntaimien tuottamiseksi. Kokeet tämän päämäärän saavuttamiseksi on aloitettu.

Tarkasteltaessa siirretyn 35S CaMV-GUS -geenikonstruktiin ilmenemistä eri-ikäisistä puista kerätyssä silmumateriaalissa on havaittu transientin ekspresion määrän vaihtelevan silmujen keräysajankohdan mukaan (Kuva 3.) (Aronen ym. 1994a). Silmuja kerättiin ja ammuttiin elo-, joul-, maal- ja toukokuussa. Eniten ekspresiota oli maaliskuussa kerätyissä silmuissa, ja vähiten kasvukauden alussa ja lopussa kerätyssä materiaalissa. Ekspressoivien silmujen osuus eri keräysajankohtina vaihteli eri ikäryhmissä samansuuntaisesti, joskin 15-vuotiaiden puiden silmuissa huippu osui joulukuulle. Ero maaliskuuhun ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. 5- ja 15-vuotiaista puista riitti silmuja vain yhteen keräykseen, joten näissä ikäryhmissä eri keräysten silmut olivat peräisin eri puista, mikä osaltaan lisäsi vaihtelua.



Kuva 3. GUS-reportterigeenin transientin ekspression vaihtelu eri vuodenaikoina kerätyissä mäännysilmuissa. A) Ekspressoivien silmujen (=silmujen, joissa havaittiin GUS-geeniä ilmentäviä soluja / soluryhmiä) osuus eri keräysajankohtina kolmesta 50-vuotiaasta puusta kerätyissä näytteissä, 10 laukauksen keskiarvot. B) Ekspressoivien silmujen osuus eri keräysajankohtina eri ikäryhmissä, 30 laukauksen keskiarvot. C) Ekspressoivien silmujen osuus koko materiaalissa (5-, 15- ja 50-v. puiden silmut) eri vuodenaikoina, 90 laukauksen keskiarvot (\pm keskivirhe). B)- ja C)-kohdissa samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi ($p=0.05$).

Mäntysilmuilla tehtyjen geeninsiirtokokeiden perusteella näyttäisi siltä, että siirrettyjen vieraiden geenien toiminta on lajin oman vuodenaikassäätelyn alaista. Siirretyllä reportterigeenillä oli ns. jatkuvatoiminen säätelyalue, mutta silti ekspression määrä vaihteli vuodenajan mukaan. Myös männyn oman geenitoiminnan aktiivisuuden on havaittu riippuvan vuodenajasta (Nuotio ym. 1990). Omissa kokeissamme eniten reportterigeenin ekspressiota havaittiin maaliskuussa, jolloin mäntysilmujen aineenvaihdunta on aktivoitumassa talviajan jälkeen (Kupila-Ahvenniemi 1985). Siirtymävaiheessa solutasolla mm. ribosomien lukumäärä (Häggman 1987) ja niiden *in vitro* translaatiokyky (Kupila-Ahvenniemi ym. 1987) lisääntyvät, eli solut valmistautuvat valkuaisaineiden valmistukseen geneettisen koodin mukaan. Nyt saatujen tulosten perusteella geeninsiirtotekniikkaa voitaneen soveltaa mm. männyn vuodenaikassäätelyn tutkimiseen.

Kirjallisuus

- Aronen, T., Hohtola, A., Laukkanen, H. & Häggman, H. 1994a. Seasonal changes in the transient expression of a 35S CaMV-GUS gene construct introduced into Scots pine buds. *Tree Physiology*. Painossa.
- , Häggman, H. & Hohtola, A. 1994b. Transient β -glucuronidase expression in Scots pine tissues derived from mature trees. *Can. J. For. Res.* 24:
- Bonga, J. & von Aderkas, P. 1992. *In Vitro Culture of Trees*. 236 s. Kluwer Academic Publishers, London.
- Campbell, M., Kinlaw, C. & Neale, D. B. 1992. Expression of luciferase and β -glucuronidase in *Pinus radiata* suspension cells using electroporation and particle bombardment. *Can. J. For. Res.* 22:2014-2018.
- Charest, P., Calero, N., Lachance, D., Datla, R., Duchesne, L. & Tsang, E. 1993. Microprojectile DNA delivery in conifer species: factors affecting assessment of transient gene expression using β -glucuronidase reporter gene. *Plant Cell Reports* 12:189-193.
- Duchesne, L., Lelu, M-A., von Aderkas, P. & Charest, P. 1993. Microprojectile mediated DNA delivery in haploid and diploid embryogenic cells of *Larix* spp. *Can. J. For. Res.* 23:312-316.
- Ellis, D., McCabe, D., Russell, D., Martinell, B. & McCown, B. 1991. Expression of inducible angiosperm promoters in a gymnosperm, *Picea glauca* (white spruce). *Plant Molecular Biology* 17:19-27.
- , McCabe, D., McInnis, S., Ramachandran, R., Russell, D., Wallace, K., Martinell, B., Roberts, D., Raffa, K. & McCown, B. 1993. Stable transformation of *Picea glauca* by particle acceleration. *Bio/Technology* 11:84-89.
- Fitch, M., Manshardt, R., Gonsalves, D., Slightom, J. & Sanford, J. 1990. Stable transformation of papaya via microprojectile bombardment. *Plant Cell Reports* 9:189-194.
- Goldfarb, B., Strauss, S., Howe, G. & Zaerr, J. 1991. Transient gene expression of microprojectile introduced DNA in Douglas fir cotyledons. *Plant Cell Reports* 10:517-521.
- Huang, Y., Diner, A. & Karnosky, D. 1991. *Agrobacterium rhizogenes* mediated genetic transformation and regeneration of a conifer: *Larix decidua*. *In Vitro Cell Dev. Biol.* 27P: 201-207.

- Hägman, H. 1987. Seasonal variations in the ribosome assemblies and *in vitro* translations in the buds of Scots pine. *Acta Univ. Ouluensis*, ser. A 193:1-39.
- & Aronen, T. 1994. *Agrobacterium* mediated diseases and genetic transformation in forest trees. Ks. Raychaudhuri (toim.): Diseases of Forest Trees. The Oxford IBH, India. Painossa.
- & Stomp, A-M. 1990. Development of *Pinus sylvestris* tissue culture system for DNA transfer studies. -Abstractst. The VII International Congress on Plant Tissue and Cell Culture, Amsterdam, The Netherlands, 24.-29.6. 1990, p. 16.
- Klein, T., Arentzen, R., Lewis, P. & Fitzpatrick-McElligott, S. 1992. Transformation of microbes, plants and animals by particle bombardment. *Bio/Technology* 10:286-291.
- Kupila-Ahvenniemi, S. 1985. Wintertime changes in the fine structure and the ribosome content of the buds of Scots pine. Ks. Kaurin, Å., Junttila, O. & Nilsen, J. (toim.): Plant Production in the North. Norwegian Univ. Press, Oslo, s. 171-180.
- , Lindfors, A. & Häggman, H. 1987. Seasonal variations in the properties of ribosome assemblies from vegetative buds of Scots pine. *Physiol. Plant.* 71:55-60.
- McCown, B., McCabe, D., Russell, D., Robison, D., Barton, K. & Raffa, K. 1991. Stable transformation of *Populus* and incorporation of pest resistance by electric discharge particle acceleration. *Plant cell Reports* 9:590-594.
- Newton, R., Yibrah, H., Dong, N., Clapham, D. & von Arnold, S. 1992. Expression of an abscisic acid responsive promoter in *Picea abies* (L.) Karst. following bombardment from an electric discharge particle accelerator. *Plant cell Reports* 11:188-191.
- Nuotio, S., Häggman, H. & Kupila-Ahvenniemi, S. 1990. Changes in gene expression of Scots pine buds during the winter and under experimentally altered light and temperature conditions. *Physiol. Plant.* 78:511-518.
- Loopstra, C., Weissinger, A. & Sederoff, R. 1992. Transient gene expression in differentiating pine wood using microprojectile bombardment. *Can. J. For. Res.* 22:993-996.
- Robertson, D., Weissinger, A., Ackley, R., Glover, S. & Sederoff, R. 1992. Genetic transformation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) using somatic embryo explants by microprojectile bombardment. *Plant molecular Biology* 19: 925-935.
- Russell, J., Roy, M. & Sanford, J. 1992. Physical trauma and tungsten toxicity reduce the efficiency of biolistic transformation. *Plant Physiol.* 98:1050-1056.
- Ryynänen, L. 1993. *Betula pendula*, myöskin var. *carelicana* ja *Betula pubescens*in mikrolisäys ja sen merkitys koivunjalostukseen Suomessa. Lisensiaattitutkielma. Helsingin yliopisto, Kasvitieteen laitos, 94 s.
- Stomp, A-M., Weissinger, A. & Sederoff, R. 1991. Transient expression from microprojectile mediated DNA transfer in *Pinus taeda*. *Plant Cell Reports* 10:187-190.
- Vain, P., McMullen, M. & Finer, J. 1993. Osmotic treatment enhances particle bombardment mediated transient and stable transformation of maize. *Plant Cell Reports* 12:84-88.
- Vasil, V., Castillo, A., Fromm, M. & Vasil, I. 1992. Herbicide resistant fertile transgenic wheat plants obtained by microprojectile bombardment of regenerable embryogenic callus. *Bio/Technology* 10:667-674.
- Wilde, H., Meagher, R. & Merkle, S. 1992. Expression of foreign genes in transgenic yellow-poplar plants. *Plant physiol.* 98: 114-120.

Yamashita, T., Iida, A. & Morikawa, H. 1991. Evidence that more than 90 % of β -glucuronidase-expressing cells after particle bombardment directly receive the foreign gene in their nucleus. *Plant Physiol.* 97:829-831.

**Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja sarjassa julkaistut Punkaharjun
tutkimusaseman tiedonannot:**

Nro 263. Punkaharjun metsänjalostuspäivä 1986.

Nro 372. Teijo Nikkanen. Punkaharjun puulajipuiston kehittäminen. 1991.

**Muita saatavilla olevia Punkaharjun tutkimusasemaan ja alueeseen liittyviä
painotuotteita:**

Punkaharjun tutkimusalue. 1992.

Montellin reitti - kohdeselosteet. 1992

Punkaharjun luonnonsuojelualue ja tutkimuspuisto. 1994.

KT-Paino, Punkaharju 1994

ISBN 951-40-1392-1

ISSN 0358-4283