

**METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA**

263



METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO



PUNKAHARJUN METSÄNJALOSTUSPÄIVÄ 1986

Kansi: Solukkoviljelyn avulla tehtyjä koivun versoja kasvatusalustallaan.

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 263

PUNKAHARJUN METSÄNJALOSTUSPÄIVÄ 1986

SISÄLLYS

Lukijalle.....	3
Jouni Mikola: Jälkeläistestaus siemenviljelyksien kehittämisen perustana.....	5 - 42
Pirkko Velling: Laatuominaisuuksien ottaminen huomioon siemenviljelyksien harventamisessa.....	43 - 53
Teijo Nikkanen: Siemenviljelyksen harvennussuunnitelman teko atk:n avulla.....	54 - 67
Max. Hagman: Kuusen pakkasvauriot talvella 1984-85 koetulosten valossa.....	68 - 89
Leena Ryynänen: Solukkoviljely, keino visakoivun suvuttomaan lisäämiseen.....	90 - 96

ISBN 951-40-0847-2
ISSN 0358-4283

LUKIJALLE

Punkaharjun jalostuskoeaseman toinen metsänjalostuspäivä järjestettiin aseman tiloissa 19.2.1986. Tilaisuus oli suunnattu Itä-Savon metsäammattimiehille, keräten tosin erikoisalojen kuulijoita aina Helsinkiä ja Joensuuta myöten.

Tähän tiedonantoon on kerätty kaikki jalostuspäivän esitelmät, joita on vielä muokattu ja viimeistelty.

Kaikkien esitelmien käsikirjoitukset on tarkastanut prof. Max. Hagman. Punkaharjun jalostuskoeaseman puolesta kiitän prof. Hagmania samoin kuin kaikkia jalostuspäivän järjestelyihin ja tiedonannon valmisteluihin osallistuneita.

Punkaharjulla 7.10.1986


Leena Ryyänen

Jouni Mikola

JÄLKELÄISTESTAUS SIEMENVILJELYKSIEN KEHITTÄMISEN PERUSTANA

VALINTAJALOSTUS JA SIEMENVILJELY

Metsäpuiden jalostuksen päämenetelmä Suomessa on valintajalostus. Siinä etsitään ja kootaan yhteen puuyksilöitä, jotka ominaisuuksiltaan vastaavat parhaiten ihmisen puuntuotannollisia toiveita ja tavoitteita. Perimmäisenä pyrkimyksenä on löytää ja ottaa käyttöön ne puut, joiden hyvät ominaisuudet johtuvat edullisista perintötekijöistä ja siirtyvät mahdollisimman samanlaisina niiden siemenestä syntyviin jälkeläisiin.

Valintatyön tulokset hyödynnetään siemenviljelyn avulla. Siemenviljelykset ovat keinotekoisia metsiköitä, joiden tarkoitus on saattaa valitut puut lisääntymään keskenään ja tuottamaan suuria määriä siementä käytännön metsänviljelyn tarpeisiin. Siemenviljelysten perustaminen edellyttää, että niihin sisällytettävät puuyksilöt monistetaan kasvullisesti klooneiksi, ts. suuriksi joukoiksi taimiyksilöitä, jotka ovat perintötekijöiltään samankaltaisia toistensa ja emopuun kanssa. Monistus tapahtuu yleensä varttamalla eli ympärämällä valittujen puiden oksankärkiä tavallisiin siementaimiin.

VALINTAJALOSTUKSEN ETENEMINEN (kuva 1)

Puuyksilöiden valinta metsänjalostuksen perusmateriaaliksi alkaa luonnonmetsien puiden näkyviin ominaisuuksiin eli fenotyyppiin kohdistuvalla valinnalla. Näin

on silmävaraisesti valittu ns. fenotyypiset pluspuut ja niiden vartteista on perustettu ensivaiheen eli 1. sukupolven siemenviljelykset.

Pluspuiden paremmuus naapuripuihinsa nähden ei välttämättä johdu perintötekijöistä. Usein se on enemmänkin seurausta siitä, että pluspuut ovat sattuneet syntymään ja kehittymään edullisemmassa kasvuympäristössä. Niiden käyttökelpoisuus valintajalostuksessa määräytyy sen mukaan, miten niiden hyvät ominaisuudet periytyvät. Tämän selvittäminen on mahdollista vain pluspuiden siemensyntyisiä jälkeläisiä kasvattamalla ja vertailemalla.

Jälkeläiskokeita perustetaan siemenviljelyksistä saatavasta pluspuukloonien vapaan pölyttymisen kautta syntyvästä siemenestä ja yksittäisten kloonien kesken tehtävistä valvotuista risteytyksistä saatavasta siemenestä. Vapaapölytyksestä syntyneet jälkeläisperheet, joiden vanhemmista vain äiti tunnetaan, antavat yleensä hyvän kuvan emopuiden jalostusarvoista eli siitä, mitä kukin klooni keskimäärin saa aikaan jälkeläisissään.

Vapaapölytysperheistä saatavan tiedon pohjalta tehdään ns. toistuva valinta taaksepäin: palataan emopuuaineistoon, fenotyypisiin pluspuihin, ja erotetaan niistä parhaita jälkeläisiä tuottaneet ja siten todella hyvät perintötekijät omaavat kloonit genotyypisiksi pluspuiksi.

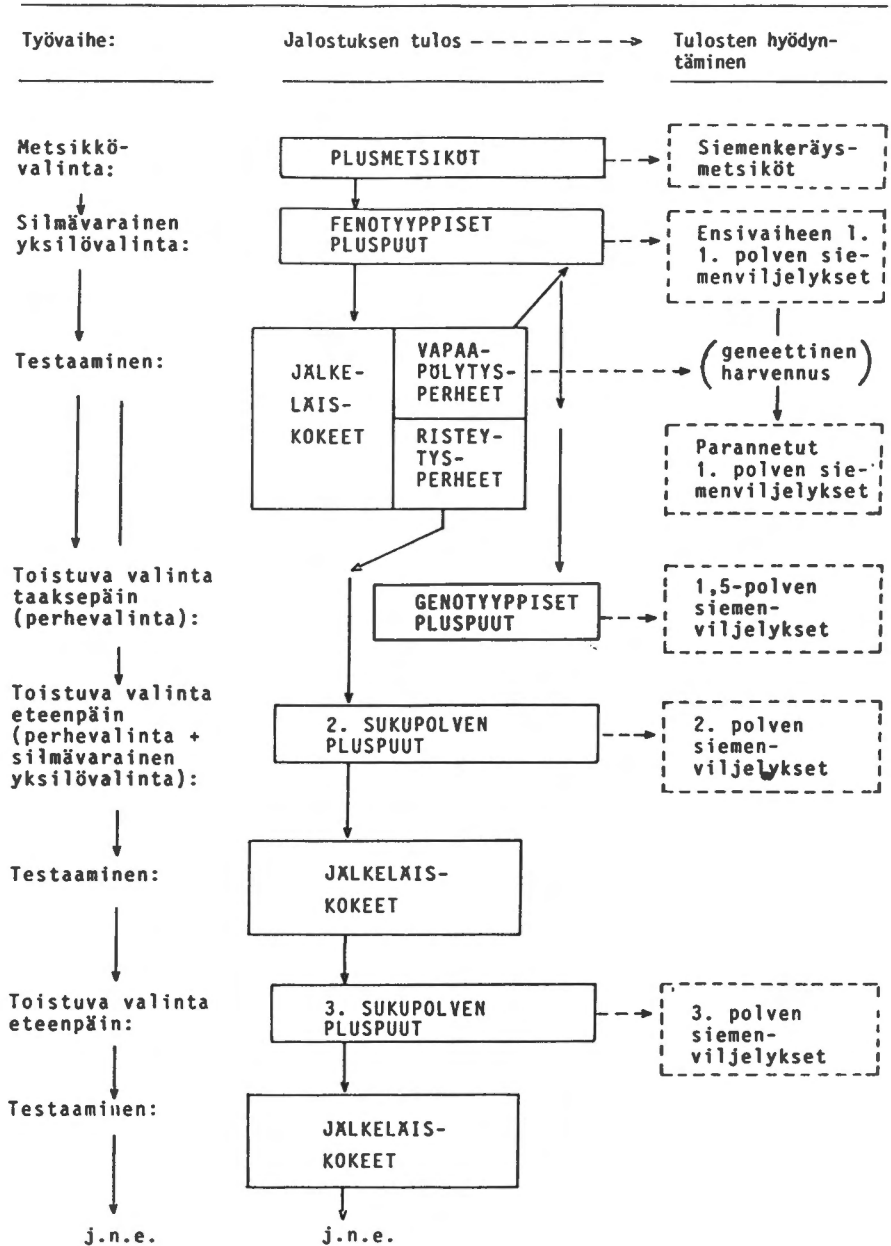
Ensivaiheen siemenviljelyksiä voidaan parantaa jälkeläiskoetuloksiin perustuvien geneettisten harvennusten avulla, poistamalla niistä jalostusarvoltaan huonoiksi osoittautuneita klooneja. Parannus jää tosin melko vaatimattomaksi, sillä harvennuksissa ei voida soveltaa kovin ankaraa valintaa. Todella hyvien puiden ohella joudutaan säästämään monia jalostusarvoltaan keskinker-

taisten ja heikompienkin kloonien vartteita, jotta viljelysten siementuotanto pysyisi määrältään tyydyttävänä.

Jälkeläiskokeiden tulokset saadaan hyödynnettyä monin verroin tehokkaammin, kun perustetaan kokonaan uudet siemenviljelykset pelkästään genotyyppisistä pluspuista. Nämä ovat edelleen samoja puuyksilöitä (kloonveja), jotka alunperin otettiin fenotyyppisinä pluspuina jalostuksen lähtömateriaaliksi. Toisen vaiheen siemenviljelysten perustamiseen ei liity mitään sukupolven vaihdosta. Erotukseksi ensimmäisistä viljelyksistä ja varsinaisista 2. polven viljelyksistä niistä käytetään teennäistä nimitystä 1,5-polven siemenviljelykset.

Seuraava vaihe pyrkimyksissä kohti yhä parempia siemenviljelyksiä on toistuva valinta eteenpäin. Jälkeläiskokeiden hyväksi osoittautuneista perheistä valintaan parhaita yksilöitä toisen polven pluspuiksi ja näistä perustetaan varsinaiset 2. sukupolven siemenviljelykset.

Toisen polven pluspuiden valinta kohdistuu perintötekijöiltään arvokkaiksi todettujen puiden jälkeläistöihin. Perheet valitaan siis geneettisin perustein. Yksilövalinta jälkeläisperheiden sisällä tehdään kuitenkin vain puuyksilöiden ulkoasun perusteella ja siihen liittyy samantapaisia virhemahdollisuuksia kuin ensipolven fenotyyppisten pluspuiden valintaan. Siksi myös toisen polven pluspuut on testattava jälkeläiskokein, jos jalostusta aiotaan jatkaa niiden kesken tehtävällä valinnalla.



Kuva 1. Valintajalostuksen etenemiskaavio.

Toisen polven pluspuiden jälkeläiskokeissa parhaista perheistä voidaan edelleen valita 3. polven pluspuita, joista perustetaan 3. polven siemenviljelykset, ja niin edelleen, niin pitkään kuin perinnöllistä vaihtelua riittää. Aina sukupolvien vaihtuessa tapahtuu vanhemmaispuiden perintötekijöiden uudelleenjärjestyminen. Sen tuloksena jälkeläisperheistä voidaan odottaa löytyvän entistä parempia yksilöitä, joissa yhdistyvät aikaisemmin monissa eri puissa esiintyneet edulliset perintötekijät ja ominaisuudet.

Aika näyttää, onko toisessa ja myöhemmissä sukupolvissa syytä tehdä myös taaksepäin valintaa ja mm. siemenviljelysten geneettistä harvennusta, ja miten monta sukupolvea valintajalostusta ylipäätään kannattaa metsäpuilla harjoittaa. Alkuvaiheissa on muualla maailmassa esim. kasvunopeuden jalostuksessa yleisesti päästy 10-20 %:n parannuksiin sukupolvea kohti (esim. Nikles 1981). Pitkäaikaiset kokeet monilla maatalouskasveilla viittaavat siihen, että pelkällä valinnalla voidaan saavuttaa jatkuvaa ja tasaista edistystä kymmenissä peräkkäisissä sukupolvissa.

Vapaapölytysjälkeläistöt soveltuvat periaatteessa hyvin emopuiden jalostusarvojen testaukseen ja taaksepäin valintaan. Eteenpäin suuntautuva valinta puolestaan olisi aina perustettava risteytysjälkeläistöihin. Muutoin on vaarana, että eri emopuiden jälkeläistöistä valitaan yksilöitä, joilla on yhteinen tuntematon isä. Toisen ja myöhempien polvien siemenviljelyksissä tämä voisi johtaa sisäsiitokseen eli lähisukulaisten keskinäiseen lisääntymiseen. Tästä seuraavat sukurasitusilmiöt saattaisivat kumota kaikki tarkalla valintatyöllä aikaansaadut parannukset.

Mitä useampia sukupolvia valintajalostusta jatketaan, sitä tärkeämmäksi tulee jokaisen valitun puuyksilön

polveutumisen tarkka tunteminen. Aineiston perinnöllinen tausta suppenee väistämättä sukupolvi sukupolvelta, sitä nopeammin mitä ankarampaa valintaa sovelletaan. Ennenpitkää ilmenee joka tapauksessa vaikeuksia löytää uusiin siemenviljelyspolviin riittävästi sellaisia puita, joilla ei olisi yhteisiä esivanhempia aikaisemmissa pluspuupölvissä.

JÄLKELÄISTESTAUKSEN ONGELMIA

Jälkeläistestauksen ensimmäinen tehtävä metsäpuiden jalostuksessa on siemenviljelyksiin sisällytetyn aineiston lajittelu, ts. fenotyyppisten pluspuiden asettaminen paremmuusjärjestykseen jalostusarvon perusteella. Päämääränä on siis vanhemmaispuiden arvostelu ja toistuva valinta taaksepäin. Tämä tehdään jälkeläiskokeissa tapahtuvan perhevalinnan avulla.

Eteenpäin suuntautuvassa valinnassa jälkeläiskokeiden tarkoitus on perhevalinnan ohella tuottaa uutta ja entistä parempaa, perinnölliseltä taustaltaan tarkoin tunnettua yksilöaineistoa seuraavan valintakierroksen raaka-aineeksi. Tämä esitys keskittyy jatkossa tarkastelemaan jälkeläiskoetoimintaa vain taaksepäin valinnan osalta, ts. siltä kannalta miten puuyksilöiden perinnölliset erilaisuudet saadaan esiin niiden siemensyntyyisiä jälkeläisiä tutkimalla.

Jälkeläiskoetoimintaan liittyy monia ongelmia, jotka rajoittavat taaksepäin valinnan tehokkuutta ja tarkkuutta. Seuraavassa esitellään viisi ajankohtaista ongelmakokonaisuutta ja jäljempänä tässä esityksessä pyritään valaisemaan niiden merkitystä ja ratkaisumahdollisuuksia.

Aika- ja ikäongelma

Metsäpuiden jalostus etenisi toivottoman hitaasti, jos jälkeläiskokeiden tuloksia odotettaisiin koko kiertoaika. Testauspäätelmät joudutaan käytännössä tekemään paljon ennen kuin puiden ominaisuudet ovat muotoutuneet lopulliseen arvoonsa. Suuret ajanvoitot puoltavat epätarkankin tiedon nopeaa hankintaa ja hyväksikäyttöä. Avainkysymykseksi jää se, miten nuorissa taimissa ja millaisissa olosuhteissa sellaisia geneettisiä eroja saadaan esiin, joiden avulla puiden eri ominaisuuksien myöhempi kehitys voidaan ennakoida edes jonkinlaisella tarkkuudella ja luotettavuudella. Jonkinasteinen nuoruus-aikuisvaihekorrelaatio eli taimivaiheessa ilmenevien yksilöerojen pysyminen samantapaisina päätehakkuuikään asti on ehdoton edellytys varhaisvalinnan onnistumiselle.

Ympäristötekijöiden vaihtelevuus ja geneettisten erojen pienuus

Normaalissa metsämaastossa maaperän viljavuuden, vesitalouden, pienilmaston ym. ympäristötekijöiden vaihtelevuus vaikeuttaa suuresti geneettisten erojen havaitsemista. Ympäristövirheitä voidaan vähentää koealuiden huolellisen valinnan ja valmistuksen avulla. Lisäksi tarvitaan sitä työläämpiä ja monimutkaisempia koejärjestelyjä mitä tarkemmin geneettiset vaikutukset halutaan selvittää. Pluspuiden paremmuusjärjestykseen asettaminen vaatisi erityisen tarkkaa ja tehokasta koe-tekniikkaa, sillä lajiteltava aineisto on laaja ja siitä etsittävät geneettiset erot enimmäkseen hyvin pieniä.

Esiin saatujen geneettisten erojen merkitys

Provenienssitutkimusten perusteella tiedetään, että puiden hyvä menestyminen edellyttää eri ilmastoalueilla aivan erilaisia perintötekijöitä. Geenien suhteellinen edullisuus vaihtelee varmasti jossakin määrin myös esim. maaperän viljävyyden ja vesitalouden puitteissa. Jälkeläiskokeista saatava tieto geneettisistä kestävyyseroista voi olla samaan tapaan hyvin vaihtelevaa, sen mukaan millaisia tuhoja eri koepaikoille sattuu osu-
maan.

Tällaiset ns. genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutukset voivat (kokeiden sisäisten ympäristövirheiden ohella) aiheuttaa sen, että eri kokeet antavat erilaisen kuvan yhden ja saman aineiston paremmuusjärjestyksestä ja erojen suuruudesta. Siksi tarvitaan keinoja eri kokeiden geneettisen erottelukyvyn arvioimiseksi ja sen pääättelemiseksi, ovatko esiinsaadut geneettiset vaikutukset yleispäteviä vai onko niillä merkitystä vain joissakin poikkeuksellisissa kasvuolosuhteissa.

Tulosten yhdistäminen eri kokeista

Jalostuksessa työskennellään aina hyvin suurten aineistojen kanssa. Yhdessä kokeessa, samanaikaisesti samoissa ympäristöoloissa voidaan kuitenkin vertailla vain rajoitettua määrää jälkeläisperheitä kerrallaan. Käytännössä esim. pluspuujälkeläistöjä paremmuusjärjestykseen asetettaessa tuloksia joudutaan kokoamaan kymmenistä tai sadoista eri koeviljelyksistä.

Koska eri kokeiden aineistot ovat vaihtelevan ikäisiä, enemmän tai vähemmän erilaisilla kasvupaikoilla kehittyneitä ja erilaisia ilmasto- ja tuhovaikutuksia kokeineita, niiden mittaustulokset eivät ole sellaisenaan

vertailukelpoisia. Eri kokeiden antamat tulokset on siis jotenkin muunnettava yhteismitallisiksi ominaisuuksien geneettisten arvojen vertailua silmälläpitäen.

Testattavan aineiston laatu ja saatavuus

Kontrolloiduin risteyksin aikaansaavat jälkeläisperheet antavat luonnollisesti enemmän ja luotettavampaa tietoa vanhemmaispuista kuin luonnonpölytyksestä syntyneet, joista vain emopuu tunnetaan. Risteyttäminen on kuitenkin erittäin työlästä ja aikaa vievää puuhaa. Toisaalta vapaapölytysjälkeläistöt sopivat teoriassa erinomaisesti emopuiden jalostusarvojen selvittämiseen, edellyttäen että isäjoukko on kaikille vertailtaville jälkeläistöille suurin piirtein yhteinen tai geneettisesti samanarvoinen.

Siemenviljelyksistä vapaapölytyssiementä saadaan nopeasti ja suhteellisen pienellä vaivannäöllä. Nuorissa siemenviljelyksissä siemen saa alkunsa kokonaan tai valtaosaltaan viljelyksien ulkopuolisista metsistä tulevasta taustapölytyksestä, joka edustaa hyvin suurta määrää isäyksilöitä. Mutta onko isäjoukko sittenkään samanarvoinen kaikilla jälkeläistöillä? Miten ympäröivien luonnonmetsien alkuperä (ts. siemenviljelyksen sijainti) vaikuttaa emokloonien geneettisten vaikutusten esilletuloon?

ONGELMIEN RATKAISUMAHDOLLISUUKSIA

Edellä luetellut ongelmat ovat pääpiirteiltään olleet aina jalostajien tiedossa ja niihin on pyritty varautumaan jälkeläiskokeita perustettaessa. Monet vaikeudet ovat kuitenkin korostuneet koetoiminnan myötä. Saadut tulokset ovat paljastaneet uusia ongelmia ja entisiinkin on jouduttu etsimään parempia ratkaisuja.

Rinnakkaiset testausmenetelmät

Aikaongelmaa ei voida sivuuttaa ennen kuin geneettisten erojen kehittymistä eri puulajien ominaisuuksissa on seurattu läpi koko kiertoajan. Meillä Suomessa tätä saadaan odottaa vielä pitkään, sillä esim. mäntypluspuiden vanhimmat jälkeläiskokeet ovat vasta 20-30-vuotiaita. Mahdollisimman nopeasti saatavan alustavan ja epätarkankin testaustiedon hyväksikäyttö saattaa kuitenkin jalostuksessa olla kaikkein kannattavinta, varsinkin jos valinnan tulokset pystytään tarkistamaan myöhemmin. Siksi Suomessa on päädytty soveltamaan rinnan kolmea koeviljelymenetelmää: kenttäkokeita, varhaistestejä ja testaustarhakokeita (Metsänjalostusohjelma... 1975, Mikola 1986).

Kenttäkokeet ovat tavanomaista metsänviljelyä vastaaviin olosuhteisiin ja vastaavin menetelmin perustettavia koeviljelyksiä. Niitä seurataan niin pitkään kunnes halutut tulokset on saatu, tarvittaessa vaikka koko kiertoajan. Aikatekijän ohella tulosten hyödyntämistä rajoittaa se, että suuri osa etsittävästä geneettisestä eroista häviää laajoissa metsikkökokeissa ympäristön vaihtelevuuteen. Toisaalta ne erot, joita lopulta esiin saadaan, ovat varmasti arvokkaita ja käytökelpoisia.

Varhaistestit ovat taimitarhoilla, kasvihuoneissa tai erityisissä kasvatuskammioissa toteutettavia lyhytaikaisia kokeita. Niiden keinollisesti säädellyssä ympäristössä saadaan nuorten taimien kehitykseen vaikuttavat geneettiset erot selvitettyä varsin tehokkaasti. Aivan eri asia onkin sitten se, mikä merkitys esiin saaduilla eroilla on puiden elinikäisen kehityksen kannalta todellisissa metsikköolosuhteissa.

Testaustarhamenetelmä otettiin käyttöön 1970-luvun puolivälissä eräänlaisena kompromissina kenttäkokeiden ja varhaistestien välillä. Sen tarkoituksena on yhdistää molempien muiden menetelmien hyviä puolia ja väistää niiden vakavimpia heikkouksia (ks. lähemmin esim. Mikola 1986). Testaustarhat perustetaan huolellisesti valituille ja valmistetuille tasalaatuisille maa-alueille. Ne hoidetaan ja suojataan tehokkaasti ympäristövirheiden minimointia silmälläpitäen, mutta koeyhteistöt joutuvat niissä alttiiksi normaaleja metsänviljelyolosuhteita vastaaville ilmastovaikutuksille. Johdopäätökset geneettisistä eroista tehdään vakiintuneessa taimistovaiheessa 10-15 vuoden iällä, siis myöhemmin kuin varhaistesteissä, mutta paljon ennen kuin puiden lopullinen arvo on nähtävissä.

Testiaineistojen iän ja kasvuympäristön luonnonmukaisuuden puolesta testaustarhakokeiden täytyy antaa paljon luotettavampia tuloksia kuin varhaistestien. Ikäongelma rasittaa tietenkin testaustarhatulostenkin käyttökelpoisuutta, mutta ympäristövirheiden kannalta ne ovat varmasti parempia kuin vastaavanikäisistä kenttäkokeista saatavat.

Kokeiden rakenne

Tilastollisen testauksen mahdollistavien koejärjestelyiden käyttö on ehdoton vaatimus kaikessa koetoiminnassa. Ilman niitä ei yksittäisissä kokeissa esiin saatujen erojen käyttökelpoisuutta voida puolueettomasti arvioida eikä voida päätellä, että yksi koe olisi tehokkaampi ja arvokkaampi kuin jokin toinen.

Tilastollinen testaus edellyttää ennen muuta sitä, että tutkittava aineisto hajautetaan sattumanvaraisesti koalueelle. Tämä tapahtuu toistoja apuna käyttäen.

Meillä Suomessa on jälkeläiskoetoinnassa tähän asti käytetty lähes yksinomaan suhteellisen yksinkertaista ns. täydellisten arvottujen lohkojen menetelmää. Siinä jokaista testattavaa jälkeläistöä kasvatetaan pieninä metsiköinä useissa perheruuduissa eri puolilla koekenttää. Tähänastisten kokemusten mukaan ainakin kenttäkokeissa vain melko suuret, usein vasta 20-30 %:n luokkaa olevat erot koejäsenten keskiarvojen välillä saadaan tällä menetelmällä osoitettua tilastollisesti merkitseviksi.

Yleisen käytännön mukaan merkitsevinä pidetään sellaisia koe-erien välisiä eroja, jotka 95 %:n varmuudella (tai 5 %:n erehtymisriskillä) johtuvat koe-eristä itsestään eivätkä siis niiden ulkoisten kasvuedellytysten erilaisuuksista. Vaikka jalostustyössä tyydyttäisiin paljon vähäisempään tulosten luotettavuuteen, on selvää että hyvinkin suuria ja arvokkaita geneettisiä eroja jää perinteisissä kenttäkokeissa löytämättä tai toteennäyttämättä.

Testauksen tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan lisätä koeolosuhteiden tasalaatuisuutta parantamalla (mm. testaustarhamenetelmällä) sekä käyttämällä entistä tehokkaampia koejärjestelyjä. Aivan uusia, nimenomaan metsäpuiden geneettiseen koetointaan kehitettyjä ratkaisujakin olisi saatavilla (esim. Libby ja Cockerham 1980, Lambeth ja Gladstone 1983). Niiden soveltaminen laajaan käytännön koetointaan saattaa kuitenkin osoittautua hyvin vaikeaksi. Se edellyttäisi kymmenien tuhansien taimien yksilökohtaista merkintää ja paikan-tamista kokeiden perustamisessa, mittauksissa ja tulosten käsittelyssä.

Rinnakkaiskokeiden käyttö

Jos genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutusta esiintyy, yksittäinen koe ei kerro koko totuutta geneettisistä vaikutuksista, olipa koetekniikka ja tilastollinen testaus miten tehokasta ja tarkkaa tahansa. Todellisten geneettisten erojenkin merkitys voidaan arvioida vain toistamalla kokeet samalla aineistolla useilla eri paikoilla, vaihtelevissa maaperä- ja ilmasto-oloissa. Vasta tulosten samanlaisuus kahdessa tai useammassa kokeessa osoittaa, että erot ovat yleispäteviä ja jalostustyössä helposti ja laajalti hyödynnettäviä.

Useiden samasta aineistosta koostuvien rinnakkaiskokeiden sarjat lisäävät testauksen tehokkuutta muillakin tavoin, varsinkin silloin kun yksittäisten kokeiden tilastollinen erotuskyky on heikko. Tulosten samansuuntaisuus (ts. positiivinen korrelaatio) eri kokeissa osoittaa vakuuttavasti, että koejäsenten paremmuusjärjestys on suurelta osalta geneettisten tekijöiden määräämä. Tulosten erilaisuuskaan ei välttämättä osoita, ettei geneettisiä eroja esiintyisi, mutta niiden samanlaisuus on selvä todiste erojen olemassaolosta silloinkin, kun niitä ei yksittäisissä kokeissa voida osoittaa tilastollisesti merkitseviksi.

Jos kahdesta kokeesta saadaan erilaiset tulokset, on hyvin vaikeaa arvioida, kummat ovat käyttökelpoisempia. Jos rinnakkaiskokeita on kolme tai useampia, edellytykset yksittäisten kokeiden geneettisen erotuskyvyn ja tulosten käytännöllisen merkityksen arviointiin ovat monin verroin paremmat. Yleistämiskelpoisimmat ja jalostuksen kannalta arvokkaimmat tulokset saadaan epäilemättä niistä kahdesta kokeesta, joissa koejäsenten paremmuusjärjestys on yhdenmukaisin.

Vertailuerien käyttö

Metsänjalostuksen koeviljelyksiin on aina ollut tapana liittää mittari- eli vertailueriksi valikoimatonta luonnonmetsikköaineistoa. Sen avulla pyritään ensisijassa osoittamaan millaisia parannuksia jalostuksella on saatu aikaan. Kun useissa kokeissa käytetään mittarierinä samoja metsikköalkuperiä, ne saattavat myös tarjota kiintopisteitä eri kokeiden tulosten vertailulle ja yhdistämiselle.

Meillä Suomessa on metsänjalostuksen koetoimintaa varten luotu ns. standardimetsikköiden verkosto (Hagman 1971). Pääpuulajeistamme on eri puolilta maata merkitty 10...30 metsikköä. Ne on valittu edustamaan paikkakuntansa luonnonmetsien keskimääräistä geneettistä tasoa.

Jälkeläiskokeisiin on viime aikoina pyritty sisällyttämään 5...10 standardimetsikköalkuperää, erityisesti siinä toivossa, että yhteiset standardierät tekisivät tulevaisuudessa tulosten yhdistämisen useista eri kokeista mahdolliseksi. Genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutuksista johtuen standardierienkin käyttäytyminen saattaa esim. erilaisissa ilmasto-oloissa olla hyvin vaihtelevaa. Siksi joka kokeeseen on pyritty ottamaan vertailueriksi ainakin koemateriaalin synnyinseutuja sekä koepaikan sijaintia mahdollisimman läheisesti edustavat standardialkuperät.

Vertailu- tai mittarierinä voidaan luonnollisesti käyttää muutakin geneettiseltä alkuperältään tarkoin tunnettua aineistoa, esim. risteytysjälkeläistöjä. Jos mittarierien geneettiset ominaisuudet on kokeellisesti selvitetty tai jos ne ovat ennakoitavissa esim. alkuperän ja luontaisen ilmastoonsopeutuneisuuden perusteella, vertailuaineiston menestymisestä saatetaan

tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä yksittäisten kokeiden geneettisestä erotuskyvystä ja tulosten käytännöllisestä merkityksestä.

Koetulosten muuntaminen yhteismitallisiksi

Pluspuiden jalostusarvojen määrittämiseen tarvittava testaustieto joudutaan käytännössä kokoamaan sadoista kenttäkoesarjoista ja kymmenistä testustarhakokeista. Edessä on todella vaikea palapeli: satoja tai tuhansia pluspuita olisi asetettava jonkinlaiseen paremmuusjärjestykseen siten, että kaikki olemassaolevat jälkeläiskokeet tulevat rehellisesti ja puolueettomasti huomioonotetuiksi.

Kasvupaikka- ja ikäeroista johtuen eri kokeissa mitatut jälkeläistöjen ominaisuuksien arvot eivät ole sellaisenaan vertailukelpoisia. Yksinkertaisin tapa saada eri kokeiden tulokset geneettisten erojen kannalta yhteismitallisiksi on muuttaa ne suhdeluvuiksi. Esimerkiksi koejäsenten keskipituudet eri kokeissa voidaan kuvata prosentteina kunkin kokeen keskiarvosta tai sopivalla tavalla valitun mittarierän arvosta.

Suhdelukujen käytöllä on rajoituksensa. Jos mitatut arvot ovat jo suhdelukuja (elävyysprosentteja tms.), niiden suhteuttaminen esim. kokeen keskiarvoon ei enää ole mielekäästä. Koejäsenten suhteellinen paremmuus tai huonomuus vertailukohtaan nähden muotoutuu silloin enemmänkin vertailuarvon suuruuden kuin itse poikkeamien suuruuden mukaan.

Yksittäisten jälkeläistöjen suhdelukukeskiarvot määräytyvät paljolti niiden kokeiden mukaan, joissa %-poikkeamat kokeen keskiarvosta tms. vertailukohdasta ovat suurimmat. Ne kokeet, joissa koejäsenten välillä

esiintyy suuria suhteellisia eroja, painavat yhdiste-tyissä tuloksissa paljon enemmän kuin pieniä eroja antaneet kokeet. Tämä olisi ehkä vain eduksi, jos vaihtelun laajuus kuvaisi suoraan kokeen geneettistä erotelukykyä. Käytännössä on kuitenkin päinvastoin varauduttava siihen, että samalle jälkeläistölle eri kokeista saaduista tulöksista poikkeavin on varmasti ympäristövirheiden tms. satunnaistekijöiden vääristämä.

Yhdysvalloissa on kehitetty käyttökelpoisempi menetelmä eri kokeiden tulosten yhdistämiseksi (Hatcher ym. 1981). Eri kokeiden aineistot tehdään yhteismitallisiksi jakamalla joka koe-erän poikkeama koko kokeen keskiarvosta ao. aineiston keskihajonnalla. Saadut standardisoidut poikkeamat ovat yksiköttömiä lukuja, jotka osoittavat monenko keskihajonnan verran kukin koejäsen poikkeaa keskiarvosta. Erinäisten muunnosten jälkeen päädytään ns. menestystasolukuihin, jotka voivat saada arvoja välillä 0...100. Yleensä kunkin kokeen heikoin erä saa arvon 0 ja paras arvon 100. Täsmälleen kokeen keskiarvoa vastaavan erän menestystasoksi tulee aina 50.

Menestystasoluvuillakin on heikkoutensa. Saatavat arvot vaihtelevat joka kokeessa 0:sta 100:aan. Kaikki kokeet vaikuttavat siten menestystaso-keskiarvoihin yhtä paljon, riippumatta siitä miten suurta mitattu vaihtelu on ja miten paljon geneettisiä eroja todellisuudessa esiintyy.

Jälkeläiskoetulosten yhdistämiseksi useista kokeista tarvittaisiin menetelmä, joka painottaisi suhteelliset tms. yhteismitallisiksi muunnetut ominaisuuksien arvot kunkin kokeen geneettisellä erotuskyvyllä tai tilastollisella tehokkuudella. Tällainen menetelmä odottaa vielä kehittämistään.

METSÄNJALOSTUSOHJELMIEN TAVOITTEITA

Valtakunnallinen metsänjalostusohjelma vuosiksi 1976-85 (Metsänjalostustoimikunta 1975) sekä sen täydennykseksi laadittu testausohjelma (Metsäntutkimuslaitos... 1978) antoivat selvät suuntaviivat jälkeläiskoetoinnalle ja siemenviljelysten edelleen kehittämiseksi. Ohjelmien laajin tehtäväkokonaisuus oli kokeiden aloittaminen kaikista männyn siemenviljelyksiin sisältyvistä Etelä- ja Keski-Suomen pluspuista (E- ja K-klooneista) vuoteen 1986 mennessä, siemenviljelyksissä vapaapölytyksestä syntyneitä jälkeläistöjä käyttäen. Joka puun tai kloonin jälkeläistö piti sijoittaa vähintään kahteen kenttäkokeeseen ja kahteen testustarhaan sekä taimitarhavarhaistestiin.

Metsänjalostusohjelman 1976-85 mukaan ensivaiheen siemenviljelysten edelleen kehittäminen tuli perustaa testustarhakokeissa n. 10 vuoden ikäisissä taimiaineistoissa todettaviin geneettisiin kasvunopeuseroihin. Varhaistesti- ja kenttäkoetuloksia oli tarkoitus käyttää mahdollisuuksien mukaan päätelmien teon tukena. Valintapäätelmät oli määrä tarkistaa ja korjata myöhemmin kenttäkokeista saatavien pitempiäikaisten kasvu-, laatu- ja kestävyystulosten perusteella.

Ohjelmaa laadittaessa tähdättiin siihen, että vertailukelpoiset tulokset koko Etelä- ja Keski-Suomen plusmännetyaineistosta olisivat käytettävissä 1990-luvun puolivälissä ja niiden pohjalta ryhdyttäisiin tehokkaasti parantamaan nykyisiä viljelyksiä geneettisin harvennuksin sekä perustamaan korkeampaa jalostusastetta edustavia 1,5-polven viljelyksiä. Alustavasti kaavailtiin 1,5-polven viljelysten perustamisaineistoksi valittavan 10-20 % fenotyyppisen pluspuuaineiston jalostusarvoltaan parhaita klooneja.

Suomessa tällä hetkellä toteutettava metsänjalostusohjelma (Metsänviljelyaineiston... 1985) kattaa kymmenvuotiskauden 1985-94. Sen tavoitteet painottuvat voimakkaasti jälkeläiskokeiden tulostamiseen. Ohjelmasta voidaan poimia mm. seuraavat männyn siemenviljelysten kehittämiseen tähtäävät ehdotukset:

- testaustulosten kokoaminen Etelä- ja Keski-Suomen plusmäntyjen jälkeläiskokeista; erityisesti edellisellä ohjelmakaudella perustettujen testaustarhakokeiden tulostaminen
- jälkeläiskokeiden aloittaminen kaikilla siemenviljelyksiin sisältyvillä Pohjois-Suomen plusmänyillä (P-klooneilla, yht. 4 500 kpl), erityisesti ilmastokestävyyttä silmälläpitäen
- ensivaiheen siemenviljelysten (yht. n. 3 000 ha) harventaminen saatavilla olevaa testaustietoa soveltaen
- edellytysten luominen 2. sukupolven pluspuiden valinnalle; risteytysjälkeläisaineistojen laajamittainen tuottaminen ja koeviljely
- uusien 1,5- ja 2. polven siemenviljelysten perustamisen aloittaminen (yht. n. 300 ha).

SIEMENVILJELYKSIEN KEHITTÄMISEN EDELLYTYKSISTÄ

Männyn siemenviljelyskloonien jälkeläiskokeiden perustaminen on edennyt lähes jalostusohjelman 1976-85 tavoitteiden mukaisesti. Metsäntutkimuslaitoksen metsänjalostuksen tutkimusosaston suunnitteleminen kenttä- ja testaustarhakokeiden osalta toteutustilanne esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Metsäntutkimuslaitoksen vuosina 1977-86 suunnittelemiin jälkeläiskokeisiin emopuina sisältyvät männyn siemenviljelyskloonit. Mukana ovat keväällä 1986 taimitarhoille kylvettäviksi suunnitellut aineistot.

Alkuperä-ryhmä	Klooneja siemenviljelyksissä yht. kpl	Vähintään 2 kenttäkokeessa ja 2 testaustarhakokeessa edustettuja klooneja kpl	%
E-puut	660	560	85
K-puut	810	780	96
P-puut	4 530	670	15

Noin 4/5 näistä kokeista on perustanut metsähallitus, joka myös vastaa niiden ylläpidosta. Varsinkin testaustarhakokeiden toteutuksessa myös Keskusmetsälautakunta Tapion panos on ollut merkittävä. Kaikki kokeet mitataan ja tulostetaan METLA:n toimesta. Lisänä taulukon 1 saavutuksiin todettakoon, että jokseenkin kaikkien E- ja K-plusmäntyjen jälkeläistöt sisältyvät myös vähintään yhteen Metsänjalostussäätiön suunnittelemaan ja toteuttamaan varhaistesti- tai testaustarhatyyppiin kokeeseen.

Kokeista puuttuvat E- ja K-puut ovat pääasiassa nuorimissa, 1970-luvulla perustetuissa siemenviljelyksissä esiintyviä klooneja, joista siementä ei ole saatu tarpeeksi vartteiden pienen koon takia. P-puista kokeissa on vasta vajaa viidesosa, mutta niiden laajempaan mukaan saantiin ei vielä edellisen ohjelman puitteissa pyrittykään.

Kokeiden perustamisessa tavoitteet on siis pystytty toteuttamaan lähes täysin, mutta tulosten saannin suhteen odotuksia jouduttaneen tarkistamaan. Jalostusohjelman 1976-85 laatimisen jälkeen virinnyt laaja huolestuminen viljelymetsien puun laadusta vaatii siemenviljelysten kehittämistavoitteiden tarkistamista. Kasvunopeuden ohella on pyrittävä entistä enemmän parantamaan runkopuun laatuominaisuuksia.

Päätulokset testaustarhakokeista oli alunperin tarkoitus hankkia n. 10 vuoden iällä, puiden ollessa 2-3 metrin pituisia. Kokemus on kuitenkin jo selvästi osoittanut, että geneettiset laatuerot eivät useinkaan näy vielä tämänikäisissä tai -kokoisissa taimissa. Testaustarhakokeiden seuranta-aika on venytettävä ainakin 15 vuoteen, jotta voitaisiin tehdä luotettavia päätelmiä esim. oksaisuuden ja runkomuodon vaihtelusta. Näillä näkymin jälkeläiskokeisiin perustuva, jokseenkin kaikki Etelä- ja Keski-Suomen siemenviljelyskloonit kattava vertailukelpoinen tulostusaineisto olisi käytettävissä heti vuoden 2000 jälkeen.

Siemenviljelyksiä voidaan ja luonnollisesti pitääkin kehittää jo epätäydellisten testaustulosten pohjalta. Siemenviljelysten harvennukset on tehtävä ajallaan, riippumatta siitä miten tehokkaaseen geneettiseen harvennukseen koetulokset tarjoavat edellytyksiä. Uusia 1,5-polven siemenviljelyksiä voidaan perustaa heti kun kokeet ovat paljastaneet riittävän määrän yhteensopivia, jalostusarvoltaan selvästi keskimääräistä parempia pluspuuklooneja. Ensimmäisiä 2. polven viljelyksiäkin voitaneen ryhtyä pienessä mitassa perustamaan jo lähivuosina.

Täydellinen vertailukelpoinen tieto koko E- ja K-puuai-
neistosta on joka tapauksessa käytettävissä aikaisintaan 15 vuoden kuluttua, P-puista puhumattakaan. Ny-

kyisten siemenviljelysten harvennukset joudutaan auttamatta tekemään enemmän tai vähemmän puutteellisin tiedoin. Onkin turhaa kuvitella, että tässä yhteydessä voitaisiin soveltaa tehokasta geneettistä valintaa. Uusia 1,5-polven siemenviljelyksiäkin päästään todentamalla perustamaan vasta vuoden 2000 tienoilla, tai ainaakaan toimintaa ei voida tätä aikaisemmin saattaa päätökseen. Toisen polven viljelysten perustaminen siirtyy pakostakin valtaosaltaan ensi vuosituhannen puolelle.

ESIMERKKEJÄ JÄLKELÄISKOKEIDEN TULOISTA

Kasvunopeuserojen suuruus ja pysyvyys

Kuvassa 2 esitetään 15 eteläsuomalaisen männyn vapaapölytysjälkeläistön pituuskasvutuloksia METLA:n jalostusosaston vanhimmasta testaustarhakokeesta. Koe perustettiin 1974 keväällä 1-vuotiailla turveruukkutaimilla hietamultaiselle peltomaalle Punkaharjulla.

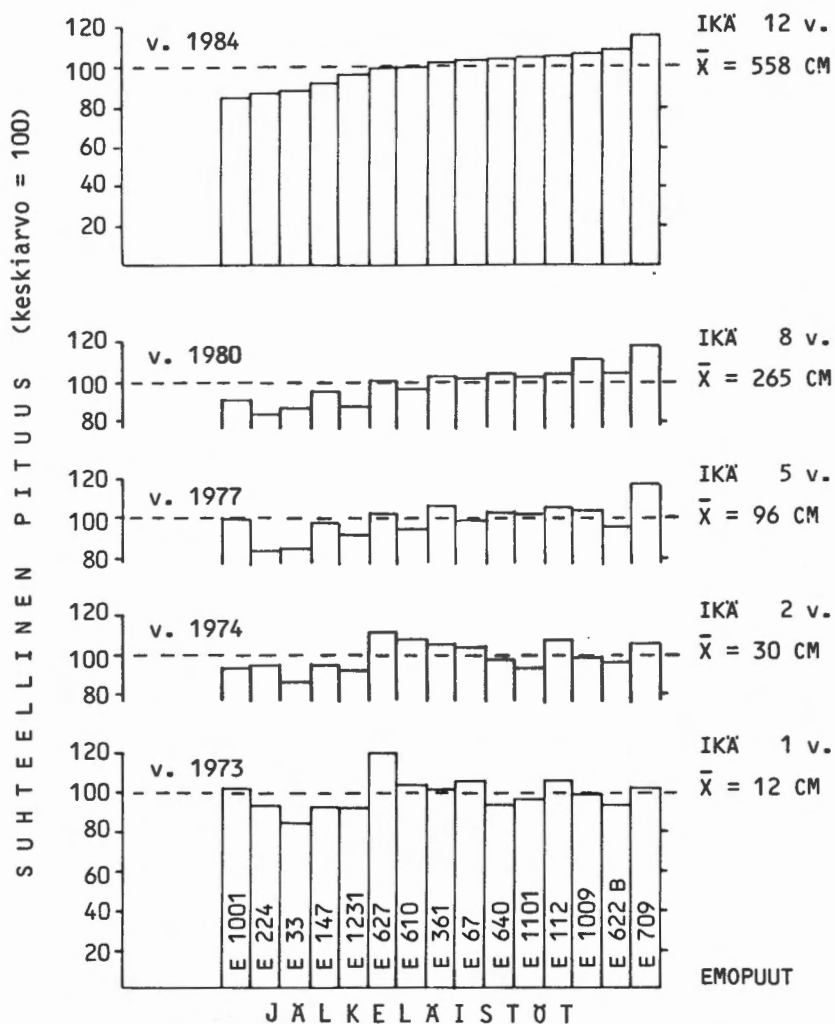
Taimien pituuskehitystä on seurattu vuosittain taimitarhasta 12 vuoden ikään (1984) asti. Kuvaan 2 on otettu eri ikävaiheiden pituusjakaumia havainnollistamaan jälkeläistöjen välisten erojen suuruutta ja muuttumista. Pituudet esitetään suhteellisina (%:na keskiarvosta), koska eri ikä- ja kokovaiheiden todellisia eroja olisi vaikeaa vertailla samassa mittakaavassa. Jälkeläistöt on kuvassa asetettu paremmuusjärjestykseen vasemmalta oikealle vuoden 1984 keskipituuksien mukaan.

Pituuden suhteellinen vaihtelu koko aineistossa on ollut varsin samanlaista eri ikävaiheissa, ääriarvojen pysytellessä 15...20 % rajoissa keskiarvosta. Yksittäisten koe-erien väliset erot ovat kuitenkin muuttuneet hyvinkin paljon. Esimerkiksi 12 vuoden ikäisenä

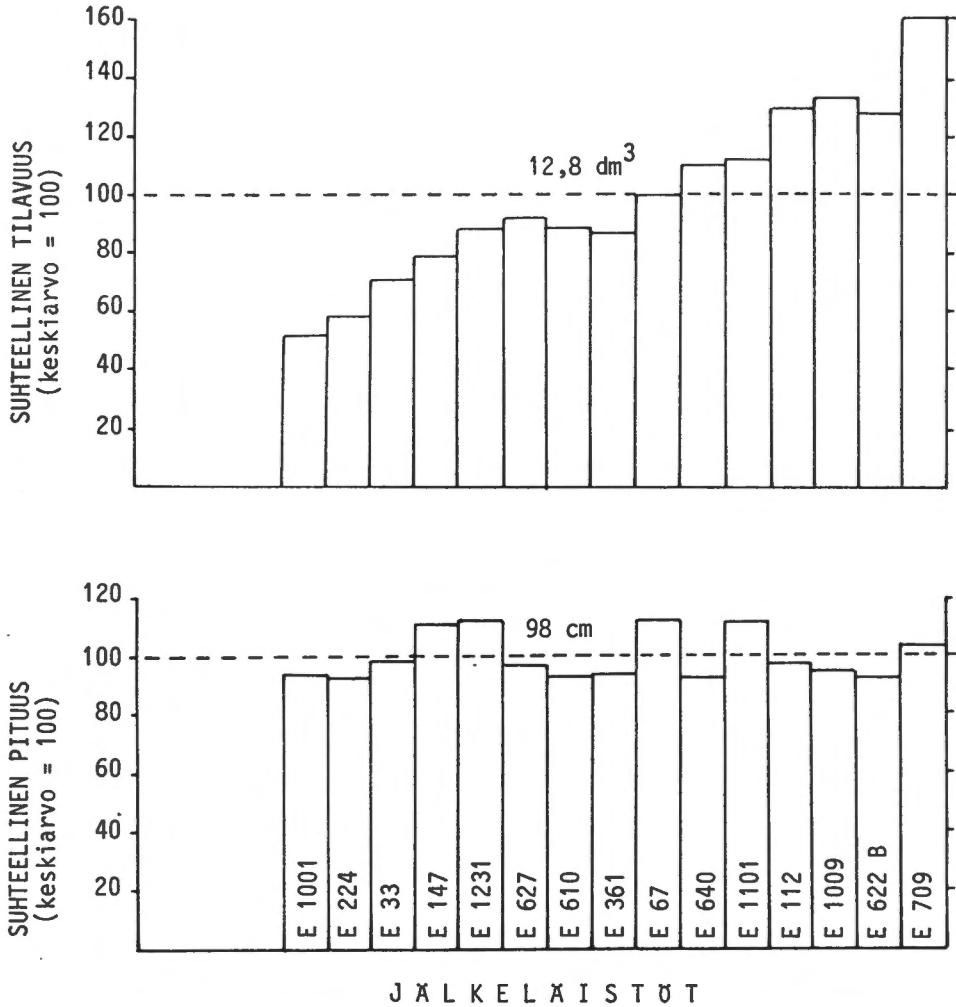
(1984) heikoin jälkeläistö oli 5-vuotiaana (1977) vielä keskinkertainen, ja silloin 2. paras jälkeläistö taas on jatkossa osoittautunut keskinkertaiseksi. Mentäessä ajassa taaksepäin ensimmäiseen vuoteen (1973) asti havaitaan, että taimitarhavaiheen pituusjakaumalla ei ole juuri mitään yhteyttä viimeksi todetun (1984) paremmuusjärjestyksen kanssa. Nykyiset paras ja heikoin jälkeläistö olivat 1-vuotiaina tasapäisen keskinkertaisia, aluksi paras erä on menettänyt nopeasti etumatkansa ja pudonnut keskinkertaiseksi, jne. Oikeastaan yhden ainoan jälkeläistön (3. heikoin v. 1984) suhteellinen kasvunopeus on pysynyt koko ajan samanlaisena.

Mistä näin nopeat muutokset jälkeläistöjen välisessä pituusjärjestyksessä sitten johtuvat? Ensinnä sopii kysyä, ovatko saadut pituusjakaumat sattumanvaraisia (mittausvirheet ym.) vai todella geneettisiä vaikutuksia ilmentäviä. Tilastollisten analyysien mukaan jälkeläistöjen välillä oli erittäin merkitseviä pituuseroja kaikissa kuvan 2 ikävaiheissa. Yleensä paras jälkeläistö erosi 95 %:n varmuudella 2-3 heikoimmasta ja heikoin vastaavasti 2-3 parhaasta. Selvimpiä erot olivat 1-vuotiailla taimilla, joilla sekä paras että heikoin jälkeläistö erosivat keskinkertaisista ja vastaavasti kaikista niitä pienemmistä tai suuremmista jälkeläistöistä.

On siis ilmeistä, että jälkeläistöjen väliset kasvuerot ovat kaikissa ikävaiheissa johtuneet suurelta osalta geneettisistä tekijöistä. Yhtä selvää on se, että nämä erot eivät ole pysyviä ja muuttumattomia. Kaksi jälkeläistöä, jotka nuorina taimina eroavat kasvukyvyltään selvästi toisistaan, voivatkin hieman varttuneempina puina olla samanarvoisia, tai päinvastoin.



Kuva 2. Vapaapölytyksestä syntyneiden mäntyjälkeläistöjen keskipituuden vaihtelu eri ikävaiheissa testaustarhakoikeessa nro 490/1 Punkaharjulla. Jälkeläistöjen järjestys vasemmalta oikealle on kaikissa vaiheissa sama, vuoden 1984 keskipituuksien mukainen.



Kuva 3. Mäntyjälkeläistöjen keskimääräinen rungontilavuus 12 vuoden iällä testaustarhakokeessa nro 490/1 Punkaharjulla (ylempi kuva) ja keskipituus 9 vuoden iällä kenttäkokeessa nro 490/2 Jämsänkoskella (alempi kuva). Jälkeläistöjen järjestys vasemmalta oikealle on sama kuin kuvassa 2.

Ydinkysymykseksi jää, milloin sellaiset kasvuerot tulevat näkyviin, joilla on todella kauaskantoista merkitystä. Onko testaustarhakokeille kaavailtu 10-15 vuoden "kiertoaika" riittävä? Ilmeisesti ainakaan 1-5 vuotta kestävät taimitarhavarhaistestit eivät ole kasvunopeuden arvosteluun soveliaita.

Itse asiassa jotkut äkilliset muutokset jälkeläistöjen pituusjärjestyksessä aivan ensimmäisten elinvuosien aikana ovat helposti selitettäviä. Esimerkiksi emopuu E 627, jonka jälkeläistö oli koko kokeen paras 1. vuotena, tunnetaan poikkeuksellisen kookasta siementä tuottavaksi puuksi. 1-vuotiaiden taimien koko määräytyy yleensäkin paljolti siemenen vararavintomäärän mukaan, mutta tästä johtuva vaihtelu tasoittuu nopeasti kehityksen jatkuessa taimien omien geneettisten kykyjen turvin (Mikola 1980). Siemenen koko sinänsä on tärkeä emopuun geneettinen ominaisuus. Taimen kannalta se on kuitenkin katsottava vain ympäristötekijäksi, jonka tuottama etu tai haitta on hyvin lyhytaikainen.

Kuva 3 osoittaa, miten 12-vuotiaiden jälkeläistöjen keskimääräinen rungon tilavuus vastaa kuvassa 2 esitettyä pituusvaihtelua. Prosenttiyksiköinä mitattuna erot ovat 3-4-kertaiset, ts. esim. 15 % etumatka (tai jälkeenjääneisyys) pituuskasvussa merkitsisi noin 50 % suurempaa (tai pienempää) runkopuun määrää. Tämä vertailu perustuu hyvin pieneen ja ehkä poikkeukselliseen aineistoon, mutta osoittanee ainakin sen, että vähäisetkin geneettiset erot pituuskasvunopeudessa voivat olla jalostuksen kannalta hyvin arvokkaita.

Jälkeläistöjen järjestys vasemmalta oikealle on kuvissa 2 ja 3 sama. Pienet erot paremmuusjärjestyksissä johtuvat luonnollisesti jälkeläistöjen runkomuodon vaihtelusta. Toisin sanoen jälkeläistöjen keskinäinen kasvun vaihtelu on suhteellisen samanlaista pituus- ja pak-

suuskasvussa, mutta myös selviä poikkeamia säännöstä esiintyy.

Kuvan 3 alaosassa esitetään pituuskasvutuloksia 5-vuotiaasta kenttäkokeesta Jämsänkoskelta. Jälkeläisöt ovat samat kuin yllä ja kuvassa 2, samassa järjestyksessä vasemmalta oikealle. Mutta miksi paremmuusjärjestys on aivan toisenlainen? Viekö tämä pohjan Punkaharjun testaustarhakokeenkin tulosten uskottavuudelta?

Mahdollisuuksia on monia. Ensinnäkin kenttäkokeen perustamishistoria on aivan erilainen. Taimet kouluttiin taimitarhalla pariin kertaan ja istutettiin 4-vuotiaina. Kuvan 3 tilanteessa ne olivat siis 9-vuotiaita siemenestä, mutta keskimäärin kaksi metriä lyhyempiä kuin vastaavanikäiset taimet testaustarhan edullisissa olosuhteissa. Voidaan olettaa, että geneettiset kasvuerot eivät ole kenttäkokeessa vielä ehtineet tulla näkyviin. Toisaalta pituusvaihtelu kenttäkokeessa ei mitenkään vastaa edes sitä vaihtelua, joka testaustarhalla vastaavankokoisissa taimissa havaittiin (5 vuoden iällä 1977, kuva 2).

Ehkä on lohdullista todeta, että kenttäkoeaineistossa ei esiintynyt tilastollisesti merkitseviä eroja jälkeläistöjen välillä. Tähänastiset paremmuuserot saatavat siten olla täysin sattumanvaraisia, ympäristövirheistä ja taimien käsittelystä johtuvia. Testaustarhakokeen tuloksia voidaan ilman muuta pitää tässä tapauksessa luotettavampina, mutta pieni epäily jää kalvaamaan. Sekoittavatko genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutukset tilannetta? Käykö tulevaisuudessa niin, että jälkeläistöjen geneettinen paremmuusjärjestys todella osoittautuu kenttäkokeen karuissa olosuhteissa aivan toiseksi kuin testaustarhassa?

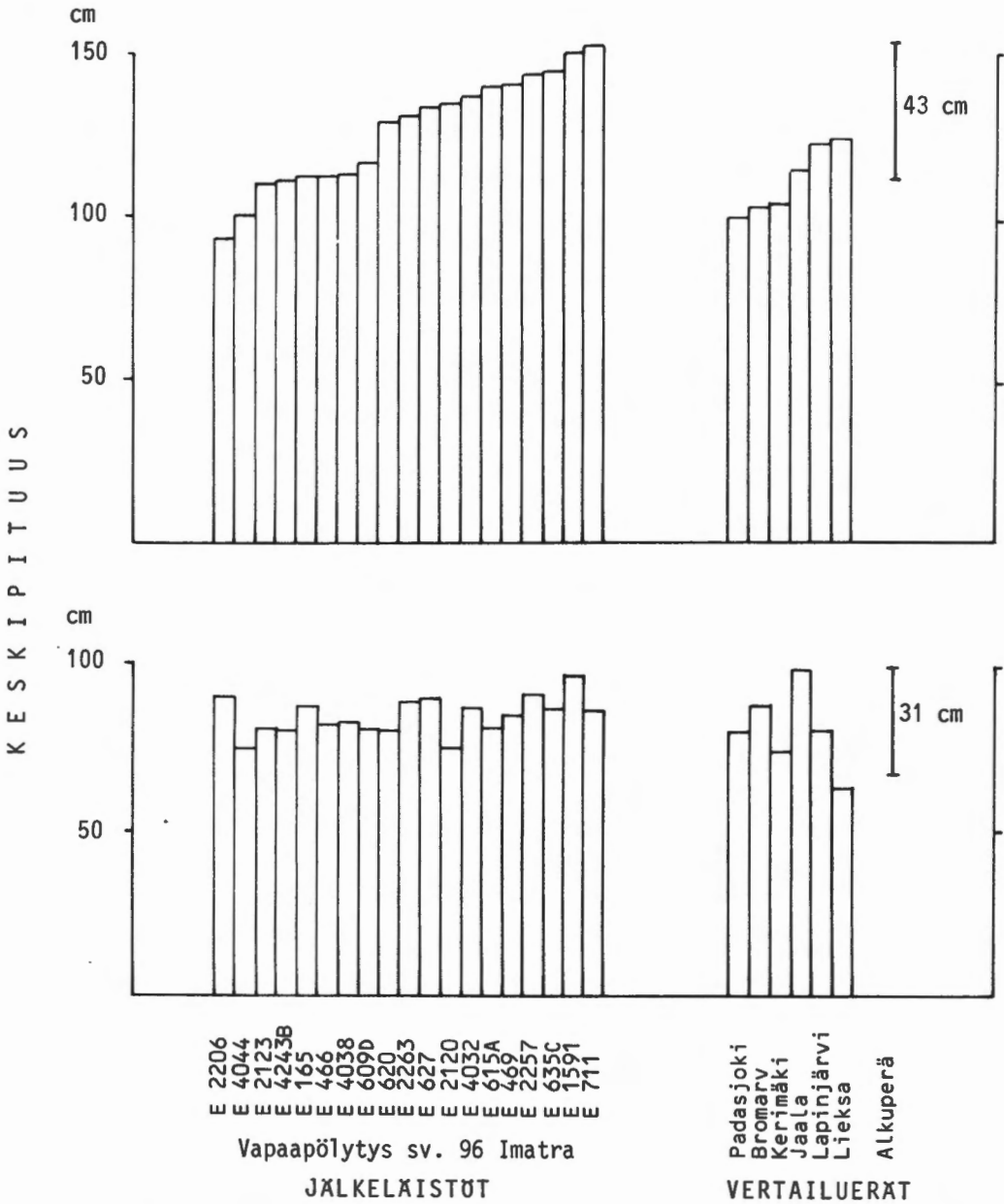
Testaustarha- ja kenttäkoetulosten vertailu

Kuvassa 4 esitetään samantapainen kahden rinnakkaiskokeen tulosten vertailu kuin edellä kokeista 490/1 ja 2 (kuvat 2 ja 3). Vertailuparina on samanaikaisesti 1-vuotiailla taimilla perustetut peltoaan testaustarhakoe (Punkaharju) ja metsämaan kenttäkoe (Hartola). Aineistona on 19 E-kloonin vapaapölytysjälkeläistöt Enso-Gutzeitin siemenviljelyksestä No. 96 Imatralta sekä mittarierinä 6 standardimetsikköalkuperää.

Testaustarhakoe näyttää erotelleen pluspuujälkeläistöt varsin tehokkaasti. Paras ja heikoin erä poikkeavat keskiarvosta noin 20 %. Tilastollisesti merkitseviä eroja tosin on vain aivan äärilaitojen välillä. Huomattakoon erityisesti, että pluspuujälkeläistöt ovat keskimäärin selvästi kookkaampia kuin standardialkuperät.

Kenttäkoe antaa jälleen hyvin toisenlaisen kuvan paremmuseroista. Kokonaiskasvu on pienempi kuten odottaa sopii, mutta myös jälkeläistöjen keskinäinen vaihtelu on selvästi vähäisempää. Tilastollisesti merkitsevät erot rajoittuvat vain parhaan ja heikoimman koejäsenen välille, jotka molemmat ovat standardierä.

Jälleen sopii kysyä, onko pituusjärjestyksen erilaisuus vain sattumaa, lähinnä kenttäkoeympäristön virhevaihtelun synnyttämää, vai eivätkö geneettiset erot ole vielä ehtineet tulla näkyviin kenttäkokeen karummissa olosuhteissa? Toivottavasti vika on kenttäkokeessa, mutta epäilykset on käännettävä myös testaustarhakokeen tulosten pätevyYTEEN. Eikö suotuisassa testaustarhaympäristössä ilmenevillä geneettisillä vaikutuksilla ole merkitystä todellisen metsänviljelyn karummissa olosuhteissa? Vaihteleeko puiden geneettinen kasvukyky hyvinkin pienipiirteisesti ympäristön mukaan?



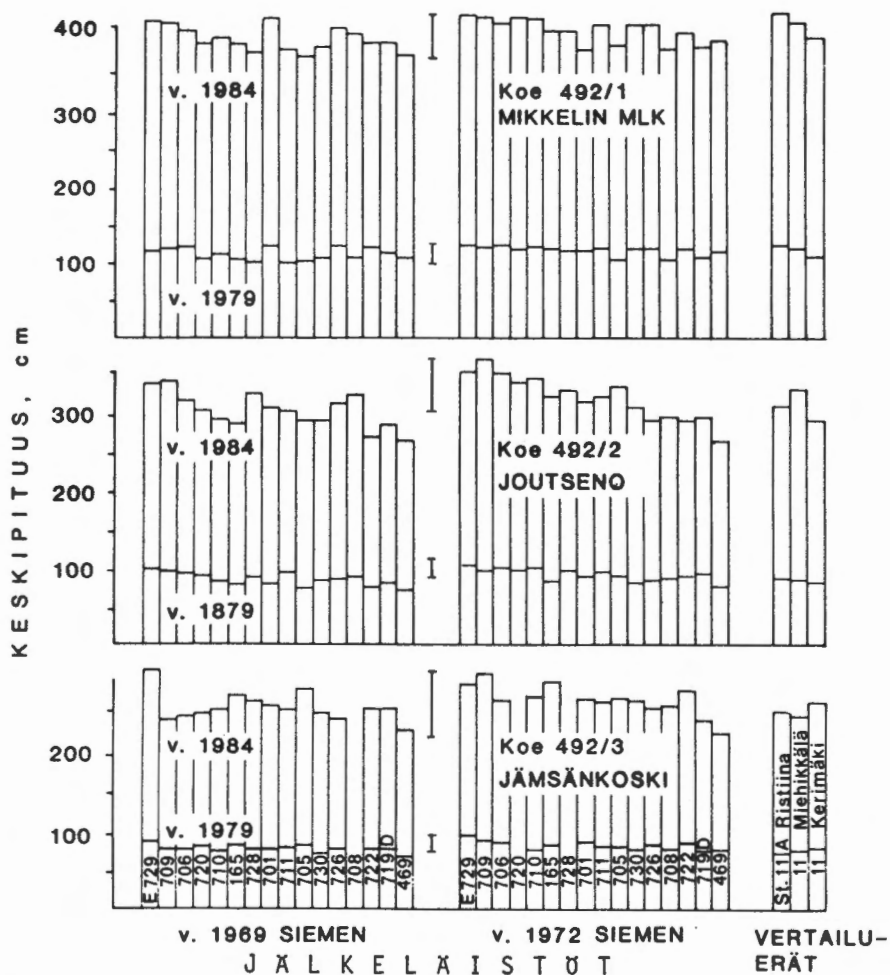
Kuva 4. Männyn siemenviljelysjälkeläistöjen ja metsikköalkuperien pituusvaihtelu testustarhakokeessa nro 698/1 Punkaharjulla (ylempi kuva) ja kenttäkokeessa nro 698/2 Hartolassa (alempi kuva) 5 vuoden kuluttua istutuksesta. Koejäsenten järjestys vasemmalta oikealle on molemmissa kuvissa sama, kokeen nro 698/1 pituusjärjestyksen mukainen. Pystysuorat janat osoittavat vaihteluvälin, jolla koe-eräkeskiarvot eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (Tukeyn testi, riskitaso 5 %).

Standardierien lähes käänteinen käyttäytyminen näissä kahdessa kokeessa viittaa selvästi genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutusten olemassaoloon; niiden osalta ilmaston erilaisuus saattaa riittää selitykseksi. Eriytyisen kiinnostava tässä suhteessa on puun E 2206 jälkeläistön menestys. Se oli heikoin testaustarhako-keessa ja toiseksi paras kenttäkokeessa ja sen kokonaiskasvu oli jokseenkin sama molemmissa kokeissa. Olisiko kyseessä poikkeuksellinen jälkeläistö, joka ei kykene hyötymään testaustarhan edullisista kasvuolosuh-teista?

Kenttäkokeiden erotuskyvyn vertailu

Kuvassa 5 esitetään pituuskasvutuloksia kolmen kenttäkokeen sarjasta. Kokeet on perustettu v. 1975 2-vuotiailla taimilla ja pituudet on mitattu vuosina 1979 ja 1984. Koesarjan alkuperäinen tarkoitus oli tutkia vapaapölytysjälkeläistöistä saatavan geneettisen tiedon tarkkuutta ja luotettavuutta. Ensisijassa haluttiin tarkistaa, antavatko eri vuosien siemenestä syntyneet taimet tyydyttävän yhdenmukaisen kuvan emopuiden paremmuusjärjestyksestä kasvukyvyn suhteen. Kielteisessä tapauksessa olisi jouduttava toteamaan, että vapaapölytyssiemen ei sovellu pluspuiden jalostusarvon testaukseen.

Kuvassa 5 koejäsenet esitetään joka kokeen ja molempien "vuosikertojen" pituusjakaumissa samassa järjestyksessä vasemmalta oikealle. Järjestys vastaa 16 emopuun keskimääräistä menestystasoa vuonna 1984, joka on saatu kaikkien kolmen kokeen jälkeläistöparien standardisoi-tujen pituuslukujen keskiarvona (Libby ja Cockerham 1980). Heti ensisilmäyksellä voidaan todeta, että pi-tuusjakaumissa on selvää yhdenmukaisuutta: kunkin



Kuva 5. Siemenviljelyksessä nro 3 Joroisissa samoista 16 emopuusta kahtena eri vuonna syntyneiden mäntyjälkeläistöjen sekä kolmen metsikköalkuperän pituusvaihtelu kolmessa kenttäkokeessa. Kokeet on perustettu v. 1975 ja mitattu 5 ja 10 vuoden kuluttua istutuksesta. Jälkeläistöjen järjestys vasemmalta oikealle on molemmissa ryhmissä niiden kaikista kokeista lasketun keskimääräisen pituuskasvun paremmuusjärjestyksen mukainen. Pystysuorat janat osoittavat samaa kuin kuvassa 4.

kokeen sisällä eri vuosien siemenestä syntyneiden jälkeläistöjen paremmuusjärjestys on samantapainen ja myös eri kokeet ovat antaneet kohtalaisen samansuuntaiset tulokset. Huomattavia poikkeamiakin yksittäisten puiden jälkeläistöjen menestymisessä eri "vuosikertoina" ja eri kokeissa esiintyy, mutta tämä on luonnollista kenttäkokeiden vaihtelevissa kasvuolosuhteissa. Itse asiassa tulosten yhtäpitävyys on hämmästyttävä, sillä ympäristöstä johtuva virhevaihtelu oli kaikissa kokeissa erittäin suurta. Tilastollisesti merkitseviä eroja koejäsenten keskipituuksissa ilmeni ainoastaan yhdessä kokeessa (nro 492/2, kuva 5).

Mikä tai mitkä näistä kolmesta kokeesta sitten antavat arvokkainta tietoa ao. siemenviljelyksen kloonien paremmuusjärjestykseen asettamiseksi? Ilmeisesti emopuiden todelliset geneettiset vaikutukset ovat tulleet voimakkaimpina esiin siinä kokeessa, jossa eri vuosikertoja edustavat jälkeläistöparit antavat samankaltaisimmat tulokset.

Voimakkain korrelaatio samojen emopuiden jälkeläistöparien välillä vuoden 1984 keskipituuksissa vallitsi Joutsenon kokeessa 492/2 ($r = 0,61^{**}$). Myös kokeessa 492/3 Jämsänkoskella eri vuosikertojen tuloksissa oli selvää yhdenmukaisuutta, mutta korrelaatio ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($r = 0,46$). Heikoin korrelaatio oli kokeessa 492/1 Mikkelin mlk:ssa ($r = 0,23$).

Korrelaatioiden avulla voidaan myös osoittaa ne yksittäiset kokeet tai koeparit, jotka antoivat yleispätevimpiä ja toisaalta poikkeavimpia tuloksia. Osakokeen 2 tulokset olivat varsin yhtäpitävät molempien muiden kokeiden tulosten kanssa ($r_{12} = 0,64^{***}$, $r_{23} = 0,56^{***}$). Kokeiden 1 ja 3 välillä tulosten yhdenmukaisuus oli selvästi heikompi ($r_{13} = 0,37^{*}$). Tämän tarkastelun perusteella koe 2 olisi selvästi arvokkain ja

kokeet 1 ja 3 keskenään jokseenkin samanarvoisia.

Yhteenvetona eri kokeiden tehokkuudesta (ts. vuoden 1984 pituuskasvutulosten luotettavuudesta ja käyttökelpoisuudesta jalostuksen kannalta) voidaan esittää seuraavaa:

Koe 492/1 Mikkelin mlk:ssa on parhaiten kasvanut ja ta-saisimmin kehittynyt koko koesarjassa. Istutetuista taimista oli v. 1984 elossa 77 %. Metsänviljelyksenä tämä kivennäismaan pellolle perustettu koe olisi katsottava erinomaisesti onnistuneeksi, mutta jälkeläisko-keena sitä ei voida pitää erityisen hyvänä. Esiin tulleet pituuserot jälkeläistöjen välillä ovat suurelta osalta sattumanvaraisia, kasvuympäristön vaihtelevuudesta johtuvia.

Kokeessa 492/2 Joutsenossa taimet olivat 10 vuodessa kasvaneet keskimäärin lähes metrin vähemmän kuin edellisessä kokeessa. Elossa oli 59 % istutetusta määrästä. Koeteknisesti tämä koe on ehdottomasti koko koesarjan onnistunein. Tilastollisesti merkitsevien erojen valossa tämäkään koe ei vaikuta kovin tehokkaalta, mutta emopuuvaikutusten samankaltaisuus eri jälkeläistövuosi-kerroissa osoittaa vakuuttavasti, että pituusjärjestys on suurelta osalta geneettisten tekijöiden määräämä. Koe sijaitsee entisellä pellolla turvemaalla. Alkuvaiheissa taimien auttaminen heinän kilpailua vastaan teetti hyvin paljon työtä, mutta nyt nähdään että vavannäkö kannatti. Ilmeisesti maapohjan tasalaatuisuus on perussy siihen, että tämä koe on paljastanut geneettiset kasvuerot muita tehokkaammin.

Koe 492/3 Jämsänkoskella mustikkatyypin metsämaalla oli koko koesarjan hitaimmin kasvanut ja siten metsänviljelyksenä heikoimmin kehittynyt. 10 vuoden kuluttua istutuksesta taimista oli elossa 71 %. Koeteknisesti

se on kuitenkin katsottava kohtalaisen onnistuneeksi ja tehokkaaksi, ilmeisesti hieman paremmaksi kuin nopeimmin ja tasaisimmin kehittynyt osakoe 492/1. Vaikka koejäsenten välillä ei esiintynyt tilastollisesti merkitseviä pituuseroja, eri jälkeläistövuosikertojen emopuuttainen paremmuusjärjestys osoittaa selvästi, että kasvun vaihtelu on osittain geneettisten tekijöiden aiheuttamaa.

Tilastollisesti merkitsevät pituuskorrelaatiot kaikkien kolmen osakokeen välillä osoittavat, että itse asiassa jokainen koe on jossakin määrin paljastanut emopuiden yleispäteviä geneettisiä vaikutuksia. Kuvasta 5 voidaan helposti todeta, että jos joka kokeesta poimittaisiin esim. kaksi parhaiten ja kaksi heikoimmin kasvanutta jälkeläistöä, ainakin toinen valinnoista molemmissa ääripäissä osuisi kaikissa kokeissa yhden ja saman emopuun jälkeläistöön. Koekohtainen tilastollinen tarkkuus ei siis ole ratkaiseva koetulosten käyttökelpoisuuden kannalta, jos vain yksittäisten kokeiden geneettinen erottelukyky pystytään arvostelemaan ja näyttämään toteen muilla keinoin, esim. rinnakkaiskokeiden tai sopivan kokeiden sisäisen vertailuaineiston avulla.

Kuvaan 5 on merkitty koejäsenten pituudet myös viiden vuoden iältä istutuksesta lukien. Yleissilmäyksellä vaikuttaa ehkä siltä, että jälkeläistöjen eriytymistä geneettisen kasvukyvyn suhteen ei olisi ehtinyt paljokaan tapahtua vielä tässä vaiheessa. Itse asiassa korrelaatio jälkeläistöjen vuosien 1979 ja 1984 pituuksien välillä on varsin voimakas ja kaikissa kokeissa hyvin samanlainen ($r = 0,81^{***} \dots 0,84^{***}$).

Mittari- eli vertailueristä ei tässä koesarjassa saada lisäapua tulosten tulkintaan, sillä niiden väliset kasvuerot ovat olleet pieniä ja kokeesta toiseen vaihte-

levia (kuva 5). Nämä kolme eteläsuomalaista standardimetsikköalkuperää ovat joka kokeessa toistaiseksi kasvaneet jokseenkin yhtä hyvin kuin keskimääräiset pluspuujälkeläistöt.

Pohjois-Suomen pluspuiden geneettisten kestävyyserojen testausmahdollisuudet

Pohjois-Suomen mäntypluspuiden siemenviljelykset on kunnan lisäämiseksi ja siemenen tuleentumisen turvaamiseksi perustettu Etelä- ja Keski-Suomeen. Ainakin 20 vuoden ikään asti näiden viljelysten siitepölyn tuotanto on niin vähäistä, että niissä kehittyvä siemen saa alkunsa kokonaan tai pääosin viljelysten ulkopuolelta tulevasta taustapölytyksestä. Tällainen risteytymäsiemen ei eteläisestä isästään johtuen ole kestävä Pohjois-Suomessa eikä siis sovellu viljeltäväksi emopuidensa kotiseuduilla. On perustellusti epäilty, kelpaako se edes jälkeläiskokeissa käytettäväksi, ts. antaa se oikean kuvan emopuiden välillä esiintyvistä geneettisistä eroista.

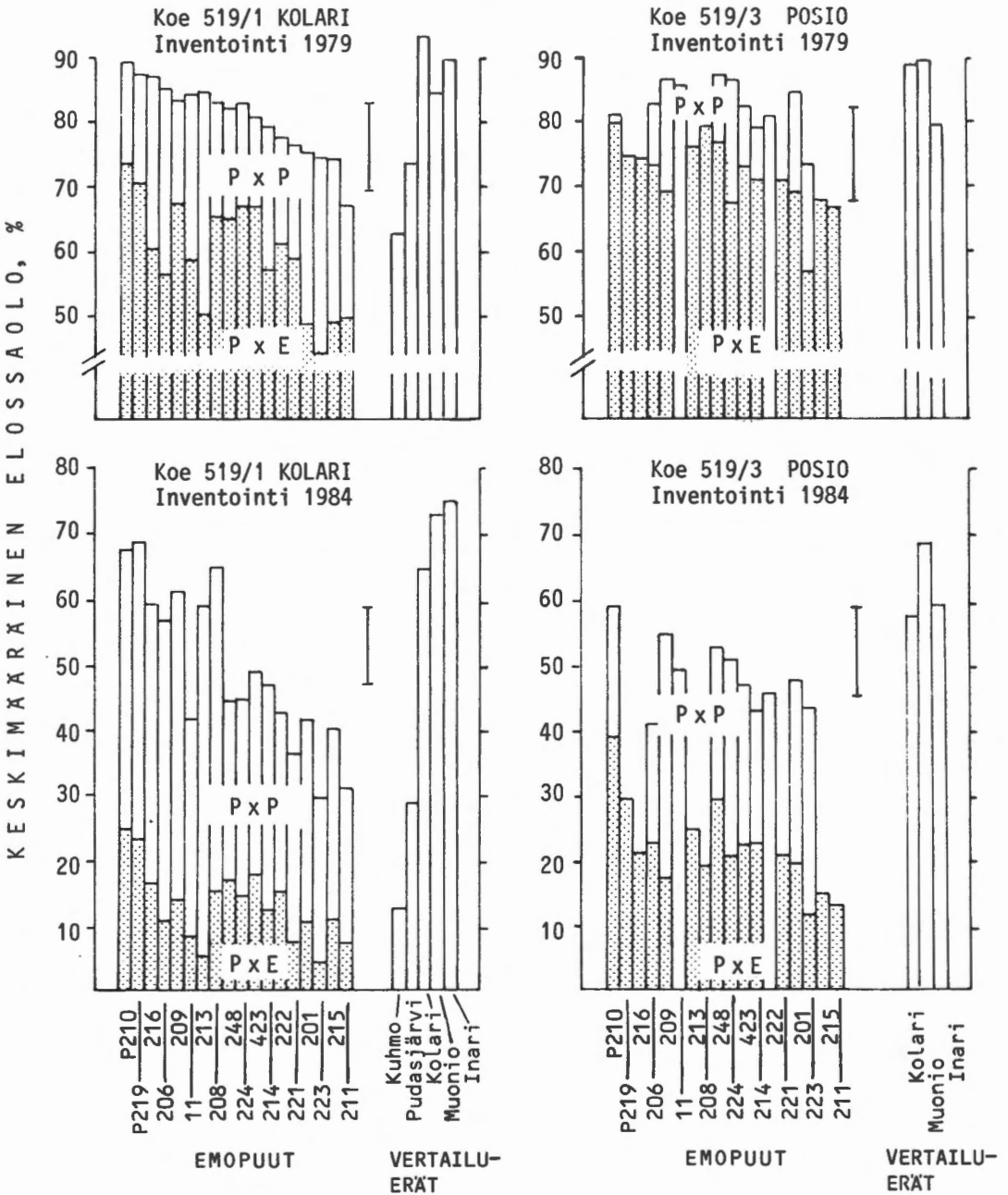
Kuvassa 6 on esimerkki koesarjasta, jonka nimenomaisena tarkoituksena on tutkia, miten pohjoisten emopuiden geneettiset vaikutukset ilmenevät niiden risteytyessä eteläisten ja pohjoisten isäpuiden kanssa. Pohjoinen x etelä -jälkeläisaineisto on kerätty vapaapölytyssiemenenä nuorista siemenviljelyksistä Jyväskylän eteläpuolelta. Pohjoinen x pohjoinen -aineisto on saatu aikaan keinollisesti risteyttämällä samoissa siemenviljelyksissä.

Kokeet perustettiin 1975 keväällä 1-vuotiailla turveruukkutaimilla. Ne on mitattu 1979 ja 1984, viiden ja kymmenen vuoden kuluttua istutuksesta. Tässä rajoitetaan vain elossapysymisen tarkasteluun, sillä sen pa-

rantaminen on ehdottomasti asetettava kasvun jalostamisen edelle Pohjois-Suomen männyn siemenviljelyksiä kehitettäessä. Kuvasta 6 on jätetty pois yksi osakoe (519/2 Simossa) jäljempänä selostettavin perustein. Jälkeläistöjen emopuukohtainen järjestys vasemmalta oikealle on kuvan 6 kaikissa diagrammeissa sama (kokeen 519/1 jälkeläistöparien vuoden 1979 keskimääräisen elävyyksimenestystason mukainen). Vertailuerät esitetään alkuperän mukaisessa järjestyksessä eteläisimmästä pohjoisimpaan.

Päätulos kuvasta 6 on jälkeläistöjen emopuuttaisen elossapysymisen yhdenmukaisuus: molemmissa kokeissa ja ikävaiheissa niin eteläisestä kuin pohjoisestakin pölytyksestä syntyneiden jälkeläistöjen paremmuusjärjestys on hyvin samanlainen. Korrelaatiokertoimilla kuvattuna tilanne on seuraava. Samojen emopuiden eteläisestä ja pohjoisesta pölytyksestä syntyneiden jälkeläistöjen välillä kokeessa 519/1 vuonna 1979 $r = 0,69^{**}$ ja vuonna 1984 $r = 0,67^{**}$; kokeessa 519/3 vuonna 1979 $r = 0,50$ ja vuonna 1984 $r = 0,61^{*}$. Kokeiden 519/1 ja 2 kaikkien yhteisten jälkeläistöjen välillä vuonna 1974 $r = 0,84^{***}$ ja vuonna 1984 $r = 0,95^{***}$.

Kokeessa 519/1 myös vertailuerät osoittavat vakuuttavasti, että geneettiset ilmastoonsopeutuneisuus- tai kestävyyserot ovat tulleet erittäin selvinä näkyviin. Lapin metsikköalkuperät ovat pysyneet hengissä monin verroin Pohjois-Pohjanmaan alkuperiä paremmin, kuten sopii odottaakin siinä tapauksessa, että kuolleisuuden on aiheuttanut ensisijassa ilmaston ankaraus. Kokeesta 519/3 Pohjanmaan vertailuerät ovat jääneet taimien loppumisen takia pois; tässäkin kokeessa taimien kuoleminen johtuu varmasti pääasiassa puuttellisesta ilmastonestävyydestä, mutta vertailuaineisto on liian suppea tätä todistamaan.



Kuva 6. Länsi-Lapin plusmänttyjen erilaisista pölytyksistä syntyneiden jälkeläistöjen elossapysyminen Pohjois-Suomessa. P x E -jälkeläistöillä (varjostetut pylväät) on eteläinen isä, sillä ne ovat syntyneet vapaapölytyksestä Etelä-Suomessa sijaitsevilla nuorissa siemenviljelyksissä. P x P -jälkeläistöt ovat syntyneet keinoristeytyksistä pohjoisten isäpuiden kanssa. Jälkeläistöjen ja vertailuerien järjestys vasemmalta oikealle on kaikissa diagrammeissa sama (lähemmin tekstissä). Pystysuorat janat osoittavat samaa kuin kuvassa 4.

Osakoe 519/2 Simossa, joka on jätetty pois kuvasta 6, on antanut muista kokeista poikkeavia tuloksia. Päinvastoin kuin Kolarin ja Posion kokeissa, eteläisestä ja pohjoisesta pölytyksestä syntyneiden jälkeläistöjen välillä ei ollut selvää eroa elossapysymisessä ja emopuittainen paremmuusjärjestys eri pölytysryhmissä oli erilainen. Vertailuerät (samat kuin kokeessa 519/1) antoivat kuitenkin luonnollisen selityksen Simon tulojen poikkeavuudelle: niiden elossapysymisellä ei ollut yhteyttä alkuperän pohjoisuuden tai eteläisyyden kanssa. Toisin sanoen taimien kuoleminen Simon kokeessa on johtunut pääasiassa aivan muista tekijöistä kuin ilmaston ankaruudesta. Tämä koe ei siis ole paljastanut geneettisiä eroja emopuiden ilmastonkestävyydessä. Koesarjan tarkoituksena kannalta se ei ainkaan toistaiseksi ole antanut arvokasta tietoa, päinvastoin kuin kaksi muuta osakoetta.

KIRJALLISUUS

- Hagman, M. 1971. The Finnish standard stands for forestry research. Paper presented to the Symposium on the Conservation of Forest Genetic Resources, 13th meeting of the Committee on Forest Tree Breeding in Canada, Aug. 24-27, 1971. Prince George, B.C.
- Hatcher, A.V. Bridgwater, F.E. & Weir, R.J. 1981. Performance level - standardized score for progeny test performance. *Silvae Genetica* 30:184-187.
- Lambeth, C.C. & Gladstone, W.T. 1983. Statistical efficiency of row and noncontiguous family plots in genetic tests of Loblolly pine. *Silvae Genetica* 32(1-2): 24-28.
- Libby, W.J. & Cockerham, C.C. 1980. Random non-contiguous plots in interlocking field layouts. *Silvae Genetica* 29(5-6): 183-190.

Metsänjalostustoimikunnan mietintö.

Metsänjalostusohjelma vuosiksi 1976-85.

Komiteanmietintö 1975:25, 209 s.

Metsänviljelyaineiston neuvottelukunta.

Metsänjalostusohjelma vuosiksi 1985-94. Helsinki
1983. 52 s.

Metsäntutkimuslaitos, Metsänjalostuksen tutkimusosasto.

Valtakunnallinen metsänjalostuksen testausohjelma
1978-85. Helsinki 1978. 118 s. (moniste).

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. *Silva Fennica* 14(1):84-94.

- 1986. Methods used for the genetic evaluation of
tree breeding material in Finland. *Crop Physiology
of Forest Trees* (toim. Tigerstedt, P.M.A., Puttonen,
P. ja Koski, V.), *Proceedings of an International
Conference on Managing Forest Trees as Cultivated
Plants held in Finland, July 23-28, 1984.* Helsingin
yliopisto, yliopistopaino. s. 225-231.

Nikles, D.G. 1970. Breeding for growth and yield.
Unasylva 24(2-3):9-22.

Pirkko Velling

LAATUOMINAISUUKSIEN OTTAMINEN HUOMIOON SIEMENVILJELYKSIEN HARVENTAMISESSA

Siemenviljelysten harventamisen eräs tavoite on siemenen geneettisen laadun parantaminen entistä nopeakasvuisemman, korkealaatuisemman ja kestävämmän aineiston tuottamiseksi metsänviljelyyn. Puiden kasvu, laatu ja kestävyys ovat kaikki fysiologisesti sidoksissa toisiinsa. Esimerkiksi huono sopeutuneisuus ilmastoon altistaa puut tuhoille, jotka helposti turmelevat sekä kasvun että laadun. Siksi viljelyvarmuus onkin tuotollisuuden ohella keskeinen tavoite metsänjalostuksessa.

VARTTEIDEN LAATU

Siemenviljelysten vartteet on kasvullisesti monistettu pluspuista, joten ne ovat geneettisesti samanlaisia kuin emopuut. Siksi vartteiden ominaisuuksia mittaamalla on mahdollista tehdä päätelmiä kloonien välisistä kasvu- ja laatueroista. Siemenviljelyksillä ja kloonikokeelmissa on kuitenkin monia tulosten vertailua ja käyttökelpoisuutta haittaavia tekijöitä:

- harva istutusväli, joka aiheuttaa sen, että valoa ja ravinteita on runsaasti saatavilla, jolloin (männyn) vartteet kilpailun puuttuessa helposti rehevöityvät susipuumaisiksi.
- varteoksat on otettu vanhojen puiden latvaosista; latvassa monet ominaisuudet ovat erilaisia ja epä-määräisemmin vaihtelevia kuin alempana rungossa (esim. puuaineen tiheys); toisaalta varttamisoksia

on aikanaan otettu ehkä eri osista latvusta, mikä saattaa vaikuttaa niiden myöhempään fysiologiaan emopuista erotettuinkin.

- vartteiden määrän vaihtelu/klooni ja kloonien epätasainen jakautuminen yli viljelyksen; ensin mainittu aiheuttaa sen, että voi olla vaikeaa saada kaikista klooneista riittävää vartemäärää (10-15 kpl) tutkittavaksi; eri klooneja edustavien vartteiden epätasainen jakautuminen on lohkojen (toistojen, kerranteiden) puuttuessa suuri haitta etenkin sellaisilla viljelyksillä, joilla kasvuolosuhteet ovat eri osissa erilaiset.
- myöhemmin istutetut täydennysvartteet; ne olisi syytä jättää mittausten ulkopuolelle, koska ne ovat nuorempia kuin viljelystä perustettaessa istutetut vartteet.
- leikatut vartteet, jotka eivät tietenkään sovi kasvun ja laadun tutkimiseen.

Näiden haittatekijöiden esittämisen tarkoitus ei ole osoittaa laatuominaisuuksien tutkimista vartteista kannattamattomaksi. Ne on kuitenkin syytä pitää mielessä päätettäessä, minkä kloonien vartteita harvennuksessa poistetaan, minkä jätetään. Vartteen kaataminen on peruuttamaton toimenpide. Poistopäätös tulisi aina perustua jälkeläiskokeista saatuihin tuloksiin tai sitten saman kloonin vartteet olisi tutkittava vähintään kahdelta eri siemenviljelykseltä ja niissä olisi päädyttävä riittävän samansuuntaisiin tuloksiin. Joissakin ominaisuuksissa kahdelta viljelykseltä saadaan jo hyvin luotettava tulos (taulukot 1 ja 2). Samat ominaisuudet ovat yleensä myös jälkeläiskokeissa osoittautuneet hyvin periytyviksi (taulukko 3).

Taulukko 1. Ominaisuuksien korreloituminen siemenviljelyksellä nro 97 Varkaus ja nro 124 Iitti. Tutkittuja klooneja 19, mitattuja vartteita 15/klooni.

OMINAISUUS	KORRELAATIOKERROIN
Pituus	0,428
D1,3-läpimitta	0,159
Latvuksen leveys	0,625**
Suht. latvuksen leveys (=latvuksen leveys/puun pituus)	0,778***
Oksanpaksuus	0,297
Suht. oksanpaksuus (=oksan läpimitta/rungon läpimitta)	0,412
Oksakulma	0,797***
Oksia kpl/oksakiehkura	0,331
Puuaineen tiheys	0,663**

** = kerroin on tilastollisesti merkitsevä
1 %:n riskillä

*** = kerroin on tilastollisesti merkitsevä
0,1 %:n riskillä

Taulukko 2. Ominaisuuksien korreloituminen siemenviljelyksellä nro 124 Iitti ja kloonekokeessa nro 215 Karvia. Tutkittuja klooneja 20, mitattuja vartteita 7-16/klooni.

OMINAISUUS	KORRELAATIO
Pituus	0,652**
D1,3-läpimitta	0,247
Latvuksen leveys	0,582**
Suht. latvuksen leveys (=latvuksen leveys/puun pituus)	0,800***
Oksanpaksuus	0,520*
Suht. oksanpaksuus (=oksan läpimitta/rungon läpimitta)	0,764***
Oksakulma	0,873***

Kertoimien tilastollinen merkitsevyys, kts.
taulukko 1, lisäksi

* = kerroin on tilastollisesti merkitsevä 5 %:n riskillä

Yhteenvetona vartteiden laatuominaisuuksien mittauksesta voidaan sanoa, että se on perusteltua "väliaika-tietojen" saamiseksi jälkeläiskokeiden tuloksia odotettaessa. Erityisen tarpeen vartearvosteluun perustuvat tulokset ovat niistä klooneista, joita on jälkeläiskokeissa hyvin vähän tai jotka ovat vasta hyvin nuorissa kokeissa.

JÄLKELEISTEN LAATU - OMINAISUUKSIEN PERIYTYVYYS

Jälkeläiskokeiden eri koelajeista varhaistestit eivät juuri tule kysymykseen laatuominaisuuksia testattaessa. Niiden käyttökelpoisuutta on kuitenkin tutkittu hyvin vähän ja saattaisi olla mahdollista löytää joitakin epäsuoria varhaistestitunnuksia, jotka ennakoisivat myöhemmin muodostuvia ominaisuuksia. Punkaharjulla testattiin männyn, kuusen ja koivun sirkkataimien valohakuisuutta (fototropismia) rungon suorudessa esiin tulevien erojen ennustamiseksi. Vaikka tutkimus oli ennen muuta menetelmän testausta, saatiin siinä selvät reagointierot puulajien välillä (koivu reagoi voimakkaimmin, mänty heikoimmin) ja puulajin sisällä maantieteellisten alkuperien välillä (keskieurooppalaiset alkuperät reagoivat suomalaisia alkuperiä voimakkaammin). Myös pluspuujälkeläistöjen välillä oli eroja, mutta samalla suuri jälkeläistöjen sisäinen vaihtelu.

Testaustarhoissa on varhaistestejä paremmat mahdollisuudet tutkia laatuominaisuuksia, ja mittauksia on jo tehtykin. Viime kädessä kuitenkin vasta kenttäkokeet ovat varsinaisia laadun testauspaikkoja, joskin erilaiset tuhot ovat niissä usein haittana. Saman kokeen perustaminen sekä testaustarhana että yhtenä tai useampana kenttäkokeena mahdollistaa varhaisvaiheen ja myöhempien tulosten vertailun samasta aineistosta.

Puiden kasvun mittaaminen on yksinkertaisempaa kuin niiden laadun määrittäminen. Laadun hyvyys tai huonous riippuu yleensä puun käyttötarkoituksesta; massan valmistukseen sopiva puu ei välttämättä ole hyvää sahapuuta eikä voimaperin raaka-aine hyvää hienopaperin valmistukseen. Kasvun periytyvyydestä on myös enemmän tuloksia, koska sitä voidaan tutkia jo aivan pienistä taimista. Laadunkin periytymisestä alkaa kuitenkin tulla tuloksia eri maista ja eri puulajeista. Esimerkiksi puuaineen tiheyden periytyvyydestä on julkaistu paljon tietoa, joka lisäksi on hyvin samanlaista eli osoittaa tiheyden periytyvän voimakkaasti. Toisaalta on ominaisuuksia, joita on päästy tutkimaan vasta vähän tai ei lainkaan (oksien karsiutuminen, kuitusaanto, sydänpuun muodostuminen jne.) ja ominaisuuksia, joista saadut tulokset ovat olleet ristiriitaisia (latvuksen leveys, pihkapitoisuus). Jonkinlainen yhteenveto tärkeimpien kasvu- ja laatuominaisuuksien periytymisestä voidaan joka tapauksessa tehdä (taulukko 3). Ohessa on myös pari esimerkkiä yksittäisistä jälkeläiskokeista (taulukot 4 ja 5).

Taulukko 3. Tärkeimpien kasvu- ja laatuominaisuuksien periytyminen.

VOIMAKKAASTI tai ainakin KESKINKERTAISESTI periytyvät:

Rungon suoruus ja kapeneminen
 Oksien karsiutuminen
 Oksakulma
 Puuaineen tiheys ja tilavuuskutistuminen
 Kuidun pituus

HEIKOMMIN periytyvät:

Rungon läpimitta ja pituus
 Latvuksen leveys
 Oksien paksuus ja lukumäärä/oksakiehkura
 Kuitusaanto
 Puun pihkapitoisuus

Taulukko 4. Esimerkki männyn kasvu- ja laatuominaisuuksien periytymisestä kokeessa nro 346 Hausjärvi (Velling & Tigerstedt 1984). Puut ovat pluspuiden risteytysjälkeläisiä, ikä mittaushetkellä 16 vuotta.

OMINAISUUS	PERIYTYVYYS %
Rungon D1,3-läpimitta	37
Puun pituus	14
Solakkuus (=läpimitta/pituus)	26
Latvuksen leveys	26
Suht. latvuksen leveys (=latvuksen leveys/puun pituus)	31
Oksanpaksuus	5
Suht. oksanpaksuus (=oksan läpimitta/rungon läpimitta)	17
Oksakulma	22
Oksia kpl/oksakiehkura	18
Puuaineen tiheys (määritetty epäsuorasti Pilodyn-laitteen avulla)	81
Satoindeksi (runkopuun massa/puun koko maanpäällinen massa)	52

Taulukko 5. Esimerkki rauduskoivun kasvu- ja laatuominaisuuksien periytymisestä kokeessa nro 387/3 Längelmäki (Nepveu & Velling 1983). Puut ovat ns. perusmetsikön puiden risteytysjälkeläisiä, ikä mittaushetkellä 12 vuotta.

OMINAISUUS	PERIYTYVYYS %
D1,3-läpimitta	7
Puun pituus	12
Rungon tilavuus	6
Puuaineen tiheys	30
Tilavuuden kutistuminen	31

OMINAISUUKSIEN VÄLINEN RIIPPUVUUS

Ominaisuuksien välillä on riippuvuuksia, jotka on syytä ottaa huomioon, jotta yhtä ominaisuutta parannettaessa ei samalla ainakaan merkittävästi huononnettaisi jotain toista ominaisuutta. Riippuvuuksia voidaan myös käyttää hyväksi epäsuorassa valinnassa; jonkun helposti mitattavan ominaisuuden avulla arvioidaan sen kanssa korrelaatiossa olevaa, vaikeammin mitattavaa ominaisuutta tai jonkun nuoruusvaiheen tunnuksen avulla myöhemmin ilmenevää ominaisuutta (varhaistestit). Taulukossa 6 on esitetty eräiden keskeisten kasvun ja laadun tunnusten välisiä riippuvuussuhteita, joita on todettu sekä vartteilla että siemensyntyisillä jälkeläisillä. Luetteloon voisi vielä lisätä puun pituuden ja oksakulman välillä usein todetun edullisen positiivisen riippuvuuden sekä pituuden ja rungon suoruuden välillä joskus esiintyvän haitallisen negatiivisen riippuvuuden.

Taulukko 6. Ominaisuuksien välinen riippuvuus.

OMINAISUUDET	RIIPPUVUUS	JALOSTUK- SESSA
Puun läpimitta/Pituus	Posit.	Etu
Latvuksen leveys/Rungon läpimitta	Posit.	Haitta
Oksien läpimitta/Rungon läpimitta	Posit.	Haitta
Oksakulma/Oksien läpimitta	Negat.	Etu
Puuaineen tiheys/Luston leveys (kasvunopeus)	Negat.	Haitta

Siemenviljelysten härventämisen kannalta vartteiden kasvun ja kukkimisen välinen yhteys on tärkeä. Punkaharjulla männyn kloonikokoelmassa tehty selvitys osoitti, että kookkaat vartteet kukkivat runsaimmin. Niiden senhetkisen kasvun ja kukinnan välillä ei kuitenkaan näyttänyt olevan yhteyttä. Koska kookkaimmilla vartteilla yleensä myös oli levein latvus, paksuimmat oksat ja eniten oksia, muodostui laadun ja kukinnan välille haitallinen negatiivinen riippuvuus, joka aiheuttaa ongelmia harvennuksen suunnittelussa. Vartteiden huono laatu sinänsä ei ole ongelma, mutta jälkeläiskokeista saatu näyttö laatuominaisuuksien periytymisestä merkitsee sitä, että huono laatu periytyy siinä missä hyväkin.

HYVÄ KASVU JA LAATU SAMANAIKAISESTI

Yleinen käsitys kasvusta ja laadusta puhuttaessa on, että niiden välillä on sovittamaton ristiriita eli että kasvunopeuden paraneminen merkitsee laadun huononemista - ja että hyvään laatuun päästään vain kasvusta tinkimällä. Useissa tapauksissa tämä pitääkin paikkansa, kuten jo edellä ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia tarkasteltaessa kävi ilmi (taulukko 6). Jälkeläiskokeista on kuitenkin saatu tuloksia, jotka osoittavat, että pluspuuvalinnalla on onnistuttu yhdistämään hyvä kasvu ja hyvä laatu (taulukko 7). On kuitenkin huomattava, että yksittäisen ominaisuuden jalostushyöty jää yleensä sitä pienemmäksi, mitä useampia ominaisuuksia kerralla valitaan eli todelliset huiput ovat harvinaisia. Siksi kannattaa keskittyä muutamaankin tärkeimpään ominaisuuteen (kuutiokasvu, oksanpaksuus, rungon suoruus; puuaineen tiheys) kokonaisuuden kannalta edullisimpaan tavoitteeseen pääsemiseksi. Kun siemenviljelysten härventämisessä on kasvun ja laadun lisäksi otettava huomioon muita tekijöitä, ovat kompromissit tarpeen.

Taulukko 7. Esimerkki mäntypluspuiden vapaapölytys-jälkeläisten kasvusta ja laadusta kokeessa nro 377 Iitti. Puiden ikä oli mittaushetkellä 16 vuotta.

	O m i n a i s u u s					
	Puun pituus	Rungon D1,3- läpim.	Suht. oksan- paksuus (oksan läpim./ rungon läpim.)	Oksa- kulma	Oksia kpl/oksa- kiehkura	Puu- aineen tiheys
Vertailu- erä 1)	100	100	100	100	100	100
Pluspuujälke- läisten keskiarvo	111	104	115	100	93	98
Paras jälke- läistö (ei ole sama kaikissa ominaisuuksissa)	122	125	131	108	103	104
Pluspuun nro E 39 jälkeläistö (esimerkki hyvästä yksittäisestä jälkeläistöstä)	122	125	131	107	91	104

1) Vertailuerän arvoja on merkitty 100:lla.
Yli sadan olevat arvot osoittavat jalostetun
aineiston paremmuutta.

KIRJALLISUUS

- Andersson, E. & Hattemer, H.H. 1978. Variation among clones and ortet-ramet relationship in grafted Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Studia Forestalia Suecica* 148:1-31.
- Arnborg, T. & Hadders, G. 1957. Studies of some forestry qualities in clones of *Pinus sylvestris*. *Acta Horti Gothoburgensis, Medd. Göteborgs Botaniska Trädgård*, 21(3):125-157.
- Blomqvist, S. 1976. Relationer mellan tallens plusträd, kloner och avkommor. Summary: The relation between plustrees, clones and progenies of *Pinus sylvestris*. *Fören. Skogsträdsförädling, Inst. för Skogsförbättring, Årsbok* 1975:171-194.

- Eklundh Ehrenberg, C. 1963. Genetic variation in progeny tests of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). *Studia Forestalia Suecica* 10:1-135.
- 1966. Parent-progeny relationship in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). *Studia Forestalia Suecica* 40:1-54.
- Ehrenberg, C. 1970. Breeding for stem quality. *Unasylva* 24(2-3), 97-98:23-31.
- Elliot, G.K. 1970. Wood density in Conifers. Commonwealth Agricultural Bureaux. Technical Communication 8.
- Enescu, V. & Contescu, L. 1980. Variabilité et héritabilité de certaines caractères chez le descendances maternelles de pin sylvestre. Summary: Variability and heritability of certain characters in Scots pine seed parent progenies. *Bull. de l'Académie des Sciences Agricoles et Forestières* (1980) 9:181-199. Inst. Rech. Aménag. For., Bucharest, Romania.
- Ericson, B. 1960. Studies of the genetical wood density variation in Scots pine and Norway spruce. *Statens Skogsforskn. Inst. Avdeln. för Skogsprod. Rapp. nr 4*. 1961. Skogsträdsförädling med sikte på ökat massautbyte. *Tekn. Vetenskaplig Forskning*, 32:194-203. (Statens Skogsforskn. Inst. Ser. Upps. 81).
- Hattermer, H.H. 1963. Estimates of heritability published in forest tree breeding research. *FAO World Consult. For. Genet.*, Stockholm 1963. Vol. 1. 2a/3:1-14.
- Nepveu, G. & Velling, P. 1983. Rauduskoivun puuaineen laadun geneettinen vaihtelu. Abstract: Individual genetic variability of wood quality in *Betula pendula*. *Folia Forestalia* 575.
- Nikkanen T. & Velling, P. On correlation between flowering and some vegetative characteristics of grafts of *Pinus silvestris*. *Proceedings of an IUFRO Symposium on Flowering and Seed Bearing in Forest Seed Orchards*, Sept. 2-7, 1985, Kornik, Poland. *Forest Ecology and Management* (painossa).

- Nilsson, B. 1968. Studier av några kvalitets-
egenskapers genetiska variation hos tall (*Pinus
sylvestris* L.). Summary: Studies of the genetical
variation of some quality characters in Scots pine
(*Pinus sylvestris* L.). Rapp. Uppsats. Inst. för
skogsgenetik. Skogshögsk. Nr 3.
- Palmberg, C. 1971. Heritabiliteteen arvioiminen
eräissä männyn (*Pinus sylvestris* L.) jälkeläis-
kokeessa. Summary: The estimation of heritability
in open-pollinated plus tree progenies of *Pinus
sylvestris* L. *Silva Fennica* 4(3):202-218.
- Persson, A. 1972. Studies on basic density in mother
trees and progenies of pine. *Studia Forestalia
Suecica* 96:1-37.
- Pöykkö, T. 1982. Genetic variation in quality
characteristics of Scots pine. Evaluation by means
of the heritability concept. *Silva Fennica* 16(2):
135-140.
- Velling, P. 1974. Männyn (*Pinus sylvestris* L.)
puuaineen tiheyden fenotyypisistä ja geneettisestä
vaihtelusta. Summary: Phenotypic and genetic
variation in the wood basic density of Scots pine
(*Pinus sylvestris* L.). *Folia Forestalia* 188.
- 1982. Genetic variation in quality characteristics
of Scots pine. *Silva Fennica* 16 (2):129-134.
- & Tigerstedt, P.M.A. 1984. Harvest index in a
progeny test of Scots pine with reference to the
model of selection. Seloste: Satoindeksin
soveltamisesta valintajalostukseen männyn
jälkeläiskokeen tulosten perusteella. *Silva Fennica*
18(1):21-32.
- Werner, M. & Ericson, T. 1979. Virkeskvalitetsstudie
i avkommor från en tallfröplantage. Fören.
Skogsträdsförädling. Inst. för skogsförbättring.
Årsbok 1979.

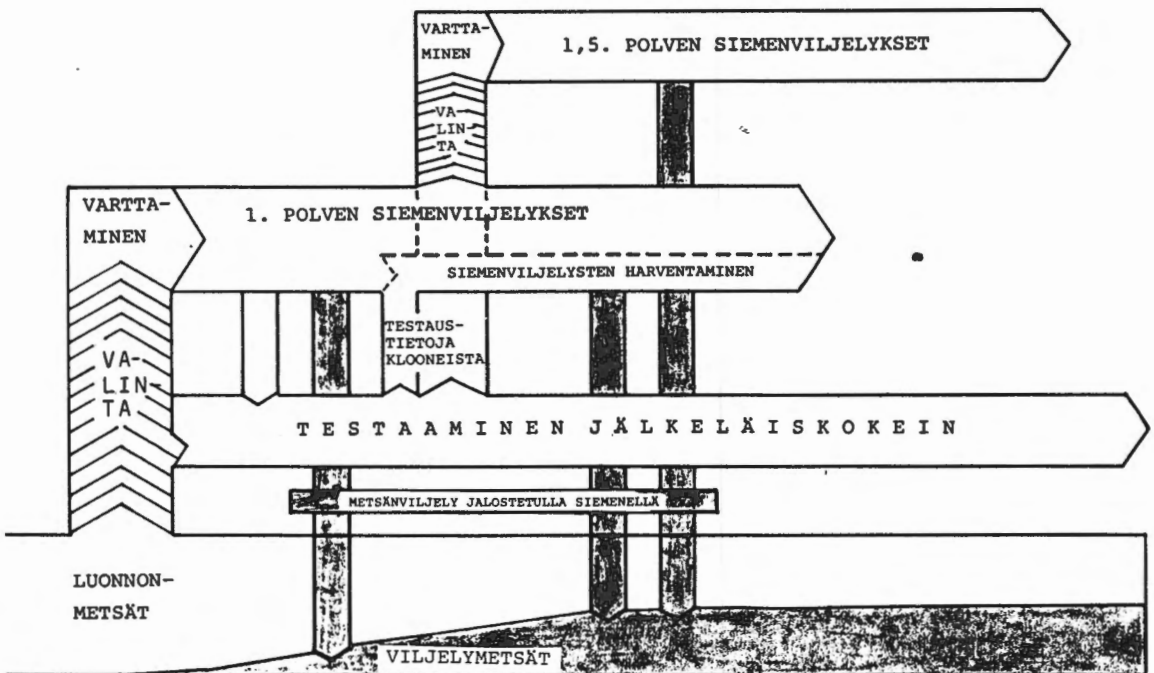
Teijo Nikkanen

SIEMENVILJELYKSEN HARVENNUS- SUUNNITELMAN TEKO ATK:N AVULLA

Metsänjalostuksessa luonnonmetsissä esiintyvistä perinnöllisestä muuntelusta pyritään metsänviljelymateriaaliin rikastamaan puun käyttöä ajatellen toivottuja perintötekijöitä. Metsänjalostus käsittää sarjan toimenpiteitä, joiden avulla kasvu- ja laatuominaisuuksiltaan luonnonmetsien parhaat yksilöt, ns. pluspuut kootaan yhteen tuottamaan jalostettua siementä metsänviljelyä varten. Keskeisimpiä tähän tähtääviä toimenpiteitä ovat pluspuiden valinta, pluspuiden monistaminen varttamalla, siemenviljelysten perustaminen pluspuiden vartteilla sekä siemenen tuotanto siemenviljelyksillä. Metsänjalostuksen eteenpäin viemisen kannalta on lisäksi tärkeää testata valitut puut jälkeläiskokein. Koska pluspuiden valinta on tapahtunut pelkästään ilmiäsuun perusteella, ei valittujen puiden todellisesta geneettisestä paremmuudesta ole varmuutta ennen jälkeläistestausta. Jälkeläiskokeiden tuloksia on tarkoitus käyttää hyväksi perustettaessa korkeamman jalostusasteen omaavia, ns. 1,5. polven siemenviljelyksiä, mutta niitä voidaan hyödyntää jo 1. polven siemenviljelyksiä harvennettaessa (kuva 1).

Tähän mennessä perustettujen, 1. polven siemenviljelysten voidaan arvioida olevan käytössä pitkälle ensi vuosituhatvuoden puolelle. Kävyinkeruun vaikeutuminen vartteiden kasvaessa sekä uusien, suuremman jalostusasteen tuottavien viljelysten perustaminen ja niiden kehittyminen tuotantovaiheeseen aikaansaa lopulta nykyisten viljelysten jäämisen pois käytöstä. Koska

viljelysten tuotantovaihe kestää joka tapauksessa vähintään pari vuosikymmentä, on ne käyttöaikanaan ainakin kertaalleen harvennettava. Harvennus suoritetaan vartteiden kukintakyvyn ja elinvoimaisuuden säilyttämisen takia, mutta harvennusta voidaan käyttää monin tavoin viljelyksen rakenteen ja kokoonpanon säätelyseen.



Kuva 1. Kaavio metsänjalostuksen toimenpiteistä.

HARVENNUKSEN TAVOITTEET

Siemenviljelyksen harventamisen ensisijaisena tavoitteena on saada siementä tuottavan vartteen latvus säilymään elävänä ja kukkivana tyvelle asti mahdollisimman pitkään. Vartteiden välisen kilpailun aiheuttaman oksiston karsiutumisen ja kukinnan vähenemisen ehkäisemiseksi vartteiden kasvutilaa on lisättävä ja sen takia osa vartteista on poistettava. Kasvutilan lisäämisen ohella harvennuksella pyritään mahdollisuuksien mukaan korjaamaan ja parantamaan viljelyksen rakennetta ja kokoonpanoa sekä kohottamaan viljelyksen tuottaman siemenen geneettistä laatua suuntaamalla harvennus jalostusarvoltaan heikoimpiin klooneihin. Siemenviljelyksen harventamisen tavoitteet voidaan jakaa kolmeen osaan: vartteiden kasvutilan järjestely, viljelyksen perusrakenteen parantaminen sekä viljelyksen siemensadon geneettisen laadun kohottaminen.

Vartteiden kasvutilan lisäämisen tarve on katsottu olevan voimakkain viljelyksillä, jotka on perustettu 5 x 5 m:n istutusvälein. Metsäntutkimuslaitoksen jalostusosaston laatimissa männyn siemenviljelysten ensimmäistä harvennusta koskevissa ohjeissa (METLAN lausunto... 1985) esitetään, että tavoiteteiheys ensimmäisen harvennuksen jälkeen olisi puolet perustamistiheydestä. Tähän tavoitteeseen päädyttiin metsähallituksen, Metsänjalostussäätiön ja Metsäntutkimuslaitoksen asiantuntijoiden pohtiessa yhdessä harvennuksen tavoitteita ja periaatteita. Asetettaessa tavoiteteiheydeksi puolet istutetusta vartemäärästä oli mielessä, että myöhemmin viljelys harvennettaisiin vielä toisen kerran. Ensimmäisen harvennuksen jälkeen tulisi 5 x 5 m:n välein (samoin kuin 3,5 x 7,0 m:n välein) perustetuissa viljelyksissä olla jäljellä n. 200 vartetta hehtaarilla.

Yksinkertaisimmin puolet vartteista voitaisiin harventaa poistamalla viljelykseltä joka toinen varterivi.

Kävyinkeruukoneiden kulkua ajatellen tämä olisikin tarkoituksenmukaisin harvennustapa. Yleensä harvennusratkaisuissa on kuitenkin otettava huomioon myös monia muita tekijöitä. Tällöin kasvutilan järjestely toteutetaan niin, että kunkin jäljelle jätettävän vartteen neljästä sivusta kaksi vapautetaan (katso kuva 4).

Siemenviljelyksen rakenteen ja kokoonpanon parantamisella pyritään saattamaan viljelys mahdollisimman hyvin vastaamaan niitä vaatimuksia, joita sen toimivuus ja tehokkuus edellyttää. Siemenviljelystoiminnan perusteisiin kuuluu, että viljelyksen kaikkien kloonien vartemäärissä tai oikeammin eri kloonien kukinnan määrässä ei saisi olla kovin suuria eroja. Myöskään kloonien kukintafenologia ei saisi vaihdella niin paljon, että se vaikeuttaisi kloonien välistä risteytymistä. Viljelys ei toimi täysitehoisesti, jos siinä on kukinnan ajoittumisen tai laajemmin koko kasvurytmin suhteen selvästi erilaisia klooneja. Siemenviljelyksen tulee tämän takia koostua ilmastoltaan rajatulta alueelta peräisin olevista klooneista. Myös siemenen viljelyvarmuus tietyllä käyttöalueella edellyttää rajattua alkuperäkokoonpanoa. Kosken (1980) julkaisemissa männyn siemenviljelysten minimivaatimuksissa tuodaan esiin ne viljelyksen rakennetta ja kokoonpanoa koskevat rajoitukset, joiden on tarkoitus turvata viljelyksen toimivuus ja geneettinen tehokkuus (kuva 2). Viljelyksen on täytettävä nämä vaatimukset siinä vaiheessa, kun se liitetään viralliseen siemenviljelysluetteloon ja tietysti myös myöhemmin erilaisten toimenpiteiden jälkeen. Näitä vaatimuksia täydentävät siemenviljelysten harventamista koskevat ohjeet (METLAN lausunto... 1985).

Siemenviljelysten perustaminen oli suuri, laajaa asiantuntemusta vaatinut tehtävä, joka toteutettiin usean organisaation yhteistyönä, suhteellisen lyhyessä ajassa. On selvää, että näin mittavassa työssä sattuu virheitä. Yhtä selvää on, että nykyisin siemenvilje-

KLOONIEN ALKUPERÄALUE ON KORKEINTAAN \pm 130 D.D.
KLOONIEN LUKUMÄÄRÄ ON VÄHINTÄÄN 30
ITSEPÖLYTYKSEN TODENNÄKÖISYYS EI SAA YLITTÄÄ 20 %
SIITEPÖLYN TUOTANTO ON VÄHINTÄÄN 20 KG/HA/V
TAUSTAPÖLYTYKSEN OSUUS ON ALLE 20 %
VILJELYKSEN PINTA-ALA ON VÄHINTÄÄN 5 HA JA SEN
PIENIN LÄPIMITTA 150 M

Kuva 2. Minimivaatimukset männyn siemenviljelyksille Suomessa (Koski 1980).

lyksistä tiedetään enemmän kuin niiden perustamisen aikaan. Harventamisen yhteydessä voidaan tehtyjä virheitä korjata ja viljelyksen rakennetta nykytietämyksen perusteella parantaa. Klooneittaisia vartemääriä ja kukinnan osuuksia voidaan tasoittaa. Viljelyksen tulevaa käyttöaluetta voidaan myös vielä harvennuksen yhteydessä selventää tarkentamalla klooniin alkuperäkoostumusta.

Harvennuksen kohdistamisella jalostusarvoltaan heikoimpiin klooneihin eli ns. jalostusharvennuksella pyritään kohottamaan viljelyksen tuottaman siemenen geneettistä laatua. Omalta osaltaan jo siemenviljelyksen perusrakenteen parantaminen tähtää tähän samaan. Viljelykseltä voidaan heikoimpia klooneja poistaa joko kokonaan tai niiden vartemääriä voidaan vähentää keskimääräistä enemmän. Jalostusharvennusta toteutettaessa on kuitenkin pidettävä mielessä sitä koskevat rajoitukset (METLAN lausunto... 1985). Poistettavien klooniin osuus saa olla enintään 20 % (klooneista, jotka viljelyksessä ovat jäljellä kun selvät

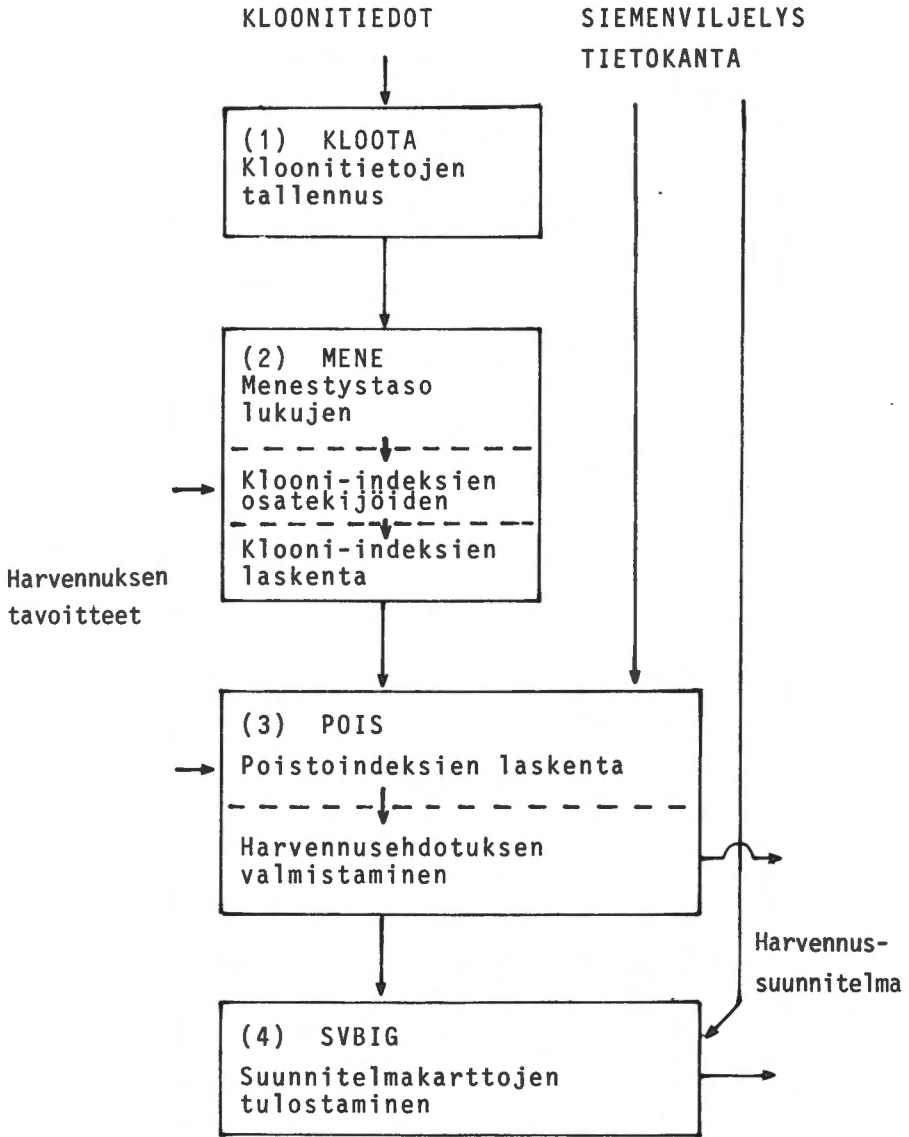
peruskorjaukset on ensin tehty) tai enintään 10 %, jos arvio kloonien jalostusarvosta perustuu vain yhteen ominaisuuteen (esim. jälkeläisten kasvunopeuteen tai vartteiden fenotyyppiseen laatuun). Myös klooneittaisten vartemäärien voimakasta epätasaisuutta rajoitettava vaatimus on pidettävä mielessä. Minkään kloonin osuus viljelyksen koko vartemäärästä ei saa nousta yli 6 %:n tai minkään kloonin geneettinen osuus koko viljelyksen siementuotannosta yli 10 %:n.

HARVENNUSSUUNNITELMA TIETOKONEEN AVULLA

Siemenviljelysten harventamisen tavoitteet ovat niin monitahoisia, että kaikkien tavoitteiden huomioon ottaminen "käsityönä" tehtävässä harvennuksen suunnittelussa on hyvin työlästä. Tietokonepohjaisessa suunnittelussa tämä runsaasti aikaa ja työvoimaa vaativa työvaihe voidaan jättää koneen suoritettavaksi.

Harvennusohjelmisto käyttää hyväkseen erilaisia siemenviljelyksen rakennetta ja kloonien ominaisuuksia kuvaavia tietoja. Tärkeitä kloonitietoja ovat mm. jälkeläisten kasvunopeus, vartteiden tai jälkeläisten laatu, jälkeläisten kestävyys sekä vartteiden kukinta. Kloonitiedot on erikseen kerättävä ja tallennettava ohjelmiston käyttöön ennen varsinaista harvennussuunnitelman tekoa. Siemenviljelystiedot, siemenviljelyskartta ja klooniluettelo sen sijaan saadaan suoraan METLAN atk:lla olevasta siemenviljelysrekisteristä. Harvennussuunnitelma tehdään käytettävissä olevin tiedoin neljän erillisen ohjelman avulla (kuva 3).

Ensiksi kloonien ominaisuuksia kuvaavat tiedot tallennetaan sitä varten tehdyn tallennusohjelman avulla.



Kuva 3. Siemenviljelysten harvennusohjelmiston rakenne ja toiminta. Tarkempi selvitys harvennusohjelmistosta käsikirjoitusvaiheessa olevassa Folia Forestaliassa.

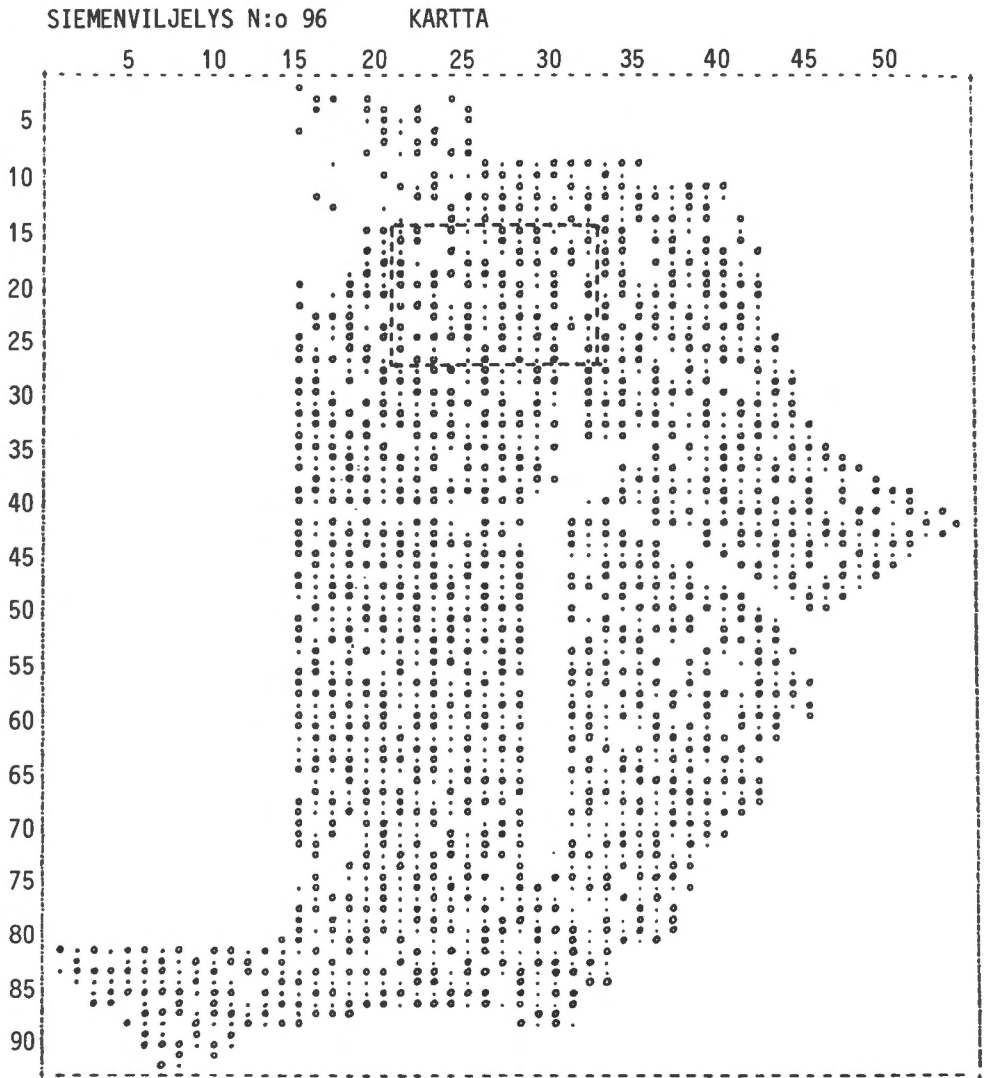
Toisessa ohjelmassa edellä tallennetut kloonien ominaisuudet muutetaan ohjelman käyttäjän antamien painotusohjeiden mukaan klooni-indeksin osatekijöiksi. Kertomalla nämä osatekijät keskenään saadaan laskettua kaikista tarkastelun kohteina olleista ominaisuuksista koostuva kloonin jalostusarvoa kuvaava klooni-indeksi.

Kolmannen ohjelman avulla tehdään itse harvennussuunnitelma. Siinä syöttötietoina käytetään edellä laskettuja klooni-indeksejä sekä siemenviljelysrekisteristä saatavaa viljelyksen karttaa ja siihen liittyviä tietoja. Tässä vaiheessa ohjelma tiedustelee vartejakau-
man ja eräiden lisätekiöiden painokertoimia. Niiden avulla voidaan esimerkiksi klooneittaista vartejakau-
maa tasoittaa tai muodostaa viljelykselle kulku-uria keruukoneita varten. Kaikkien viljelyksen harvennuk-
seen vaikuttavien tekijöiden perusteella saadaan varte-
teelle ns. poistoindeksi. Harvennusratkaisut tehdään kasvutilan järjestelyn periaatteet lähtökohtana varte-
vartteelta niiden poistoindeksejä vertailemalla. Oh-
jelma tulostaa harvennussuunnitelman, joka sisältää joukon erilaisia karttoja, taulukoita ja jakaumakuvia.

Neljäs ohjelma tuottaa lopullisen suunnitelmakartan. Siinä siemenviljelysrekisterissä oleviin kloonikart-
toihin siirretään harvennusehdotus ja klooni-indeksit (kuvat 4 ja 5).

TEHOKKAAN HARVENNUKSEN EDELLYTYKSET

Harvennusohjelmistoa suunniteltaessa ovat lähtökohtana olleet ne periaatteet ja ohjeet, joita Metsäntutkimus-
laitoksen jalostusosastolla siemenviljelysten harven-
tamisesta on kehitetty. Niissä katsotaan, että siemen-
viljelysten harvennuksessa pitäisi vartteiden kasvu-



Kuva 4. Kartta siemenviljelyksen nro 96 harvennussuunnitelmasta. Viljelys on pinta-alaltaan 5,6 ha ja vartteet on istutettu siihen 5 x 5 m:n välein. Poistettavat vartteet on merkitty pisteellä (·) ja jäljelle jäävät ympyrällä (o). Katkoviivalla rajatusta osasta on yksityiskohtaisempi esitys kuvassa 5.

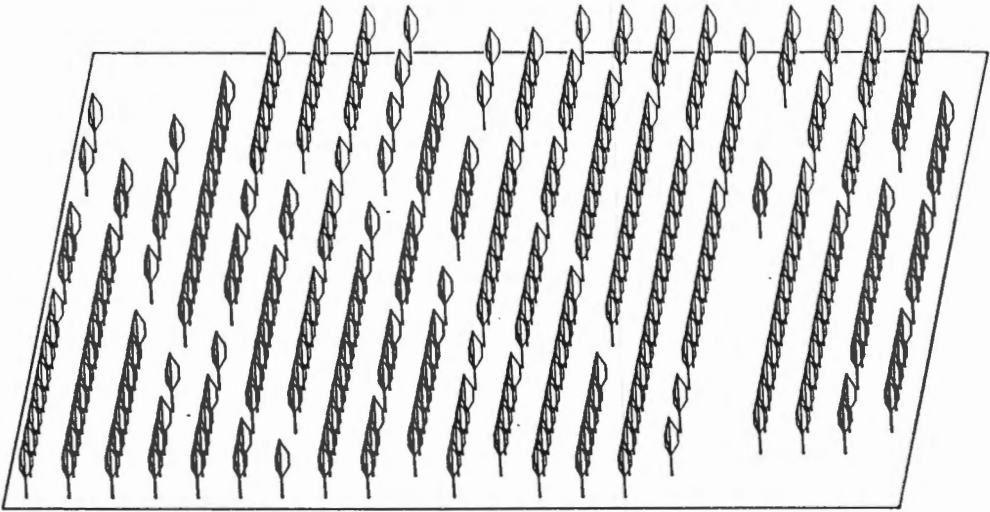
SIEMENVILJELYS N:O 96		KARTTA		OSA		5						
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
14	E! 730! 467! *0.3! 0.4!	E!	E! 609C! 1.1!	E! 609D! *0.1!	E! 609C! *1.1!	E! 702! 1.2!	E! 616D! 1.0!	E! 627! 2.4!	E! 2206! *0.3!	E!	E! 2206! *0.3!	
15	E! 702! 243B! 1.2! 0.8!	E!	E!	E!	E! 467! *0.4!	E! 726! 1.1!	E! 640! *0.5!	E! 4243! 1.0!	E!	E! 2123! *0.3!	E! 165! 1.3!	
16	E! 616D! *1.0!	E!	E! 730! 0.3!	E! 609D! *0.1!	E!	E! 610! *0.3!	E! 617! 0.4!	E! 732! *0.2!	E! 1029! 1.0!	E! 609C! 1.1!	E! 730! *0.3!	
17	E! 4039! 1.7!	E! 635C! *0.7!	E!	E! 615A! 0.8!	E! 2123! 0.3!	E!	E! 165! 1.3!	E! 2123! 0.3!	E!	E! 2205! 1.7!	E!	
18	E! 4243! 1.0!	E!	E! 467! 0.4!	E! 4030! 1.0!	E! 165! *1.3!	E! 2205! 1.7!	E! 2263! 0.6!	E!	E! 609D! *0.1!	E! 1029! 1.0!	E! 1866! *0.4!	
19	E! 609C! 1.1!	E! 615A! 0.8!	E! 640! 0.5!	E!	E! 635C! 0.7!	E! 469! *0.2!	E! 627! 2.4!	E! 2257! 2.4!	E! 2207! *1.0!	E! 4243! 1.0!	E! 635C! 0.7!	
20	E!	E!	E! 2123! *0.3!	E!	E!	E!	E! 730! *0.3!	E! 702! 1.2!	E!	E! 467! 0.4!	E!	E! 466! 0.8!
21	E! 4044! 0.6!	E! 2263! 0.6!	E! 4030! 1.0!	E! 469! *0.2!	E! 4044! 0.6!	E! 609D! *0.1!	E! 2120! 1.5!	E! 2206! *0.3!	E! 2123! *0.3!	E! 2257! 2.4!	E!	E!
22	E!	E!	E! 635C! 0.7!	E! 732! *0.2!	E! 1591! 1.0!	E! 635C! *0.7!	E! 467! *0.4!	E! 713! 0.8!	E! 730! 0.3!	E!	E! 732! *0.2!	E! 467! 0.4!
23	E! 1591! 1.0!	E!	E! 609D! *0.1!	E! 713! 0.8!	E! 610! *0.3!	E! 2257! 2.4!	E! 466! *0.8!	E! 617! *0.4!	E! 1463! 1.0!	E! 165! 1.3!	E! 2123! *0.3!	
24	E! 730! *0.3!	E! 4243! 1.0!	E! 466! 0.8!	E! 1591! 1.0!	E! 726! 1.1!	E!	E! 615A! 0.8!	E! 640! *0.5!	E! 726! 1.1!	E! 616D! *1.0!	E!	E! 635C! *0.7!
25	E! 4039! 1.7!	E!	E! 609C! *1.1!	E!	E! 617! *0.4!	E! 609C! 1.1!	E! 2257! 2.4!	E! 2206! *0.3!	E! 609C! *1.1!	E! 1463! 1.0!	E!	E! 713! 0.8!
26	E!	E! 165! 1.3!	E! 4039! 1.7!	E!	E! 732! *0.2!	E! 713! 0.8!	E!	E! 2205! 1.7!	E! 732! *0.2!	E! 615A! 0.8!	E!	E! 467! *0.4!

Kuva 5. Tulostusta lopullisesta suunnitelmakartasta. Kussakin ruudussa on kloonin numero sekä kloonin arvoa kuvaava kloonin indeksi. Tähti (*) kloonin indeksin edessä osoittaa, että kyseinen varte poistetaan.

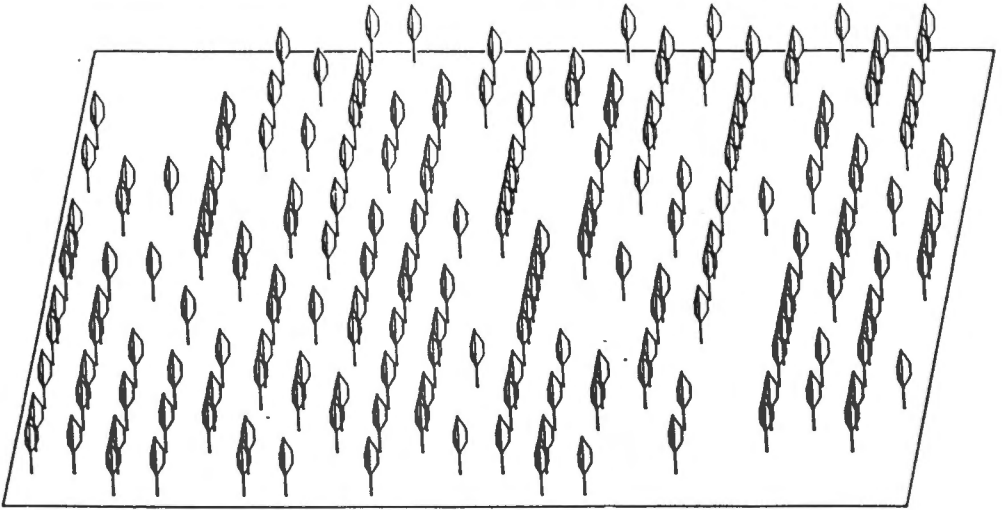
tilan järjestelyn ohella keskittyä viljelysten geneettisen perusrakenteen tarkentamiseen ja kehittämiseen siten, että viljelykset palvelisivat mahdollisimman hyvin alkuperäistä tarkoitustaan tuottaa korkealaatuisia ja käyttövarmaa siementä tietyn alueen metsänviljelyyn. Samalla tulee suorittaa geneettistä harvennusta siemenviljelysten jalostushyödyn varmistamiseksi ja kohottamiseksi kloonien ominaisuuksista saatavilla olevan tiedon pohjalta.

Siemenviljelysten harvennuksen tavoitteiden toteuttamista rajoittaa monin tavoin tietojen puutteellisuus. Edellytykset tehokkaalle jalostusharvennukselle ovat vähäiset, koska kaikista klooneista testaustuloksia ei vielä ole käytettävissä. Myös suoraan vartteista mitattavia kloonitietoja on toistaiseksi vähän. Pelkien mittaustietojen ohella harvennuspäätösten tueksi tarvitaan lisää tietoa myös eri klooniominaisuuksien riippuvuuksista ja niiden vaikutuksista kloonin jalostusarvoon. Siemenviljelys nro 96:n harvennussuunnitelman teossa esimerkiksi tuli eteen kysymys, olisiko viljelyksen harventamisessa tähdättävä siementuotannon säilyttämiseen mahdollisimman korkeana vai pitäisikö harvennus mahdollisen jalostushyödyn toivossa suunnata eniten kukkiviin klooneihin ja alentaa näin siemensatoa ehkä huomattavastikin. Viljelyksen harvennussuunnitelmassa päädyttiin siihen, että kaikkein runsaimmin kukkivien kloonien vartemääriä pyritään vähentämään muita enemmän. Alustavien selvitysten mukaan eniten kukkia tuottavat nimittäin leveälatvuksiset ja runsasoksaiset, siis kaikkein huonolaatuisimmat kloonit (Nikkanen ja Velling 1986).

Siemenviljelysten harventamisessa erilaisten vaihtoehtojen määrä on suuri. Kussakin harvennustapauksessa



Kuva 6. Ensimmäinen harvennussuunnitelma atk-ohjelmiston avulla tehtiin Enso-Gutzeitin siemenviljelykselle nro 96. Ennen harvennusta viljelyksellä oli 1 850 vartetta 55 kloonista. Keskimäärin viljelyksellä oli 330 vartetta hehtaarilla.



Kuva 7. Siemenviljelyksen nro 96 harvennussuunnitelma valmistui syksyllä 1985 ja viljelys harvennettiin talvella 1985-86. Harvennuksessa viljelykseltä poistettiin kaikkiaan 781 vartetta, 14 kloonin vartteet poistettiin kokonaan. Viljelykselle jäi keskimäärin 191 vartetta hehtaarille.

on erikseen päätettävä yksityiskohtaisista tavoitteista ja eri tekijöiden painotuksista. Viljelysten erilaisuus ja viljelysten omistajien erilaiset toiveet viljelyksen käytön ja kehittämisen suhteen on otettava huomioon.

KIRJALLISUUS

Metsäntutkimuslaitoksen lausunto siemenviljelysten harventamisesta 14.3.1985.

Koski, V. 1980. Minimivaatimukset männyn siemenviljelyksille Suomessa. *Silva Fennica* 14(2):136-149.

Nikkanen, T. & Pukkala, T. 1986. Siemenviljelysten harventaminen. Harvennusohjelmiston toiminta ja käyttö. *Folia Forestalia* (käsikirjoitus).

Nikkanen, T. & Velling, P. 1986. Correlations between flowering and some vegetative characteristics of grafts of *Pinus sylvestris* L. *Forest Ecology and Management* (painossa).

Max. Hagman

KUUSEN PAKKASVAURIOT TALVELLA 1984-85

KOETULOSTEN VALOSSA

Jo varhain kevättalvella 1985 oli laajoilla alueilla Etelä-Suomessa havaittavissa, että kuusen neulaset olivat enemmän tai vähemmän ruskettuneet, minkä epäiltiin olevan seuraus poikkeuksellisen kovasta talvesta. Varsinkin Punkaharjulla oli lisäksi nähtävissä, että eri maantieteellistä alkuperää olevissa kuusissa vauriot esiintyivät eriasteisina. Kun metsänjalostuksen tutkimusosastolla on käytettävissään laajoja kuusen proveniensiikkoesarjoja, katsottiin tarpeelliseksi suorittaa niissä hieman tarkempia havaintoja talvi-vaurioista.

Ennen kuin tätä selvitystä lähdetään tarkemmin selostamaan on ehkä tarpeen luoda lyhyt yleiskatsaus puiden talvenkestävyyteen.

MITEN PUUT PALELTUVAT TAI VÄLTTÄVÄT PALELTUMISEN

Kylmyys ja pakkanen ovat kaikille kasveille tärkeitä elintoimintoja ja levinneisyyttä rajoittavia tekijöitä. Miten hyvin kasvit kestävät kylmyyttä ja pakkasta riippuu toisaalta rasituksen luonteesta ja ankaruudesta, toisaalta kasvien herkkyydestä ja sopeutuneisuudesta.

Pakkasenkestävyydellä ymmärretään tässä kasvin kykyä selviytyä vaurioitta alle 0 °C:n lämpötiloissa.

Kun lämpötila laskee kasvissa nollan alapuolelle, alkaa sen soluissa oleva vesi jäätyä. Kestävyys riippuu paljolti siitä miten solun sisällä oleva elävä protoplasma kestää veden jäätymisestä aiheutuvat rasitukset. Asiaan vaikuttavat myös ne kasvin keinot, joilla jäätymistä voidaan ajallisesti siirtää tai muuttaa alhaisemmissa lämpötiloissa tapahtuvaksi. Tässä ei ole mahdollista yksityiskohtaisemmin selostaa näiden mekanismien luonnetta, mutta kiinnostuneella lukijalla on käytettävissään useita yleiskatsauksia, joista tässä mainittakoon vain Larcher, Häckel & Sakai (1985) ja Sakai & Eiga (1985).

Yleisin tapa millä kasvi välttää solusisältönsä vaurioitumisen on solussa olevan veden siirtäminen soluväleihin, joissa se voi häiritsemättä jäätyä. Koska tällainen veden siirtyminen jatkuu jäätyamisen edistyessä, tästä seuraa, että solun sisällä tulee ennemmin tai myöhemmin veden puute. Mitä me kutsumme pakkasvaurioksi onkin paljolti solukojen kuivumisesta. On selvää, että jos maa on syvässä rou-dassa, tai jos kasvi joutuu esimerkiksi metsän reunassa auringon ja tuulen vaikutuksen alaiseksi, rasitus suurenee.

Jäätymisen nopeus on monelle kasville varsin ratkaiseva. Jos jäätyminen tapahtuu hitaasti, on veden liikkumisnopeus solun sisältä soluväliin riittävä ja kestävyys säilyy. Jos taas lämpötila laskee hyvin nopeasti vesi ei ehdi solusta ulos vaan jäätyy soluun, jolloin solun sisältö tuhoutuu.

Kestävät havupuut ovat pystyneet leviämään kylmään ilmas-toomme siksi, että ne ovat pienentäneet rakenneosiansa kokoa, nopeuttaneet veden kulkua sen jäätymispaikkoihin ja kehittäneet toleranssia talvikuivuutta vastaan.

On itsestään selvää, että puiden pakkasenkestävyys on erilainen eri vuodenaikoina. Aktiivisesti kasvava puu on paljon herkempi alhaisille lämpötiloille kuin syvässä talvilevossa oleva yksilö. Talvilevon syvyys ja pituus ovat taas

riippuvaisia puulajista, alkuperästä ja talveentumisolosuhteista.

Talvilevon indusoinnin päätekijöinä ovat yön pituus kasvukauden lopulla sekä alhainen lämpötila. Talvilevon syvyys ja sen pituus riippuu todennäköisesti sisäisistä tekijöistä, joiden luonnetta ei vielä tarkemmin tiedetä. Talvilevosta herääminen sen jälkeen, kun levon syvyyttä ja pituutta säätelevät tekijät ovat purkautuneet, on ilmeisesti paljolti riippuvainen lämpötilasta.

Puiden neulasten kestävyys vaihtelee suuresti vuodenajan mukaan. Siten esimerkiksi männyn neulanen kestää marras-joulukuussa alle -40°C :n pakkasen vaurioitumatta, kun se touko-kesäkuussa vaurioituu jo hieman alle 0° :ssa.

Puiden normaalia talvilepoa häiritsevät sellaiset tekijät kuin päivän piteneminen, alhaisten lämpötilojen puute syksyllä ja ylisuuri tyypilannoitus. Päivän pituus muuttuu maantieteellisen leveyden mukaan. Myöskin lämpötilan taso ja kasvukauden pituus muuttuvat leveysasteelta toiselle, mutta nämä tekijät ovat vuoristoseuduilla lisäksi riippuvaisia korkeudesta merenpinnasta.

On täysi syy olettaa, että laajalle levinneet puulajit, kuten esimerkiksi kuusi ja mänty ovat eri puolilla maapalloa sopeutuneet paikalliseen vuosirytmiiin mahdollisimman tarkasti. Tästä seuraa, että jos puulajit, rodut ja genotyytit siirretään toisiin olosuhteisiin, ne käyttäytyvät eri tavoin, mikä ilmenee mm. kovien pakkasten sattuessa.

Käytännön metsätalouden kannalta on tärkeätä määrittää alkuperien kestävyys ja toleranssiraja, koska eräissä tapauksissa alkuperien siirroilla on etunsa.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että pohjoiset puulajit ja rodut osaavat ennakoida talven tuloa ja ovat kehittäneet keinot vesitalouden toimimiseksi stressitilanteessa. Ete-

läisten alkuperien talveentumisjärjestelmä voi häiriintyä meidän oloissamme ja niiden absoluuttinen kestävyystasokin voi olla erilainen. Tämän ei tarvitse merkitä sitä, ettei silloin tällöin sattuisi niin ankaria vuosia, että kotimaisetkin alkuperät vahingoittuvat. Historiastamme tiedetään hyvin, että talvivaurioita on sattunut aikaisemminkin, esimerkiksi jo 1700-luvulla, 1800-luvun nälkävuosina, 1939-42, 1946-47 ja 1955-56.

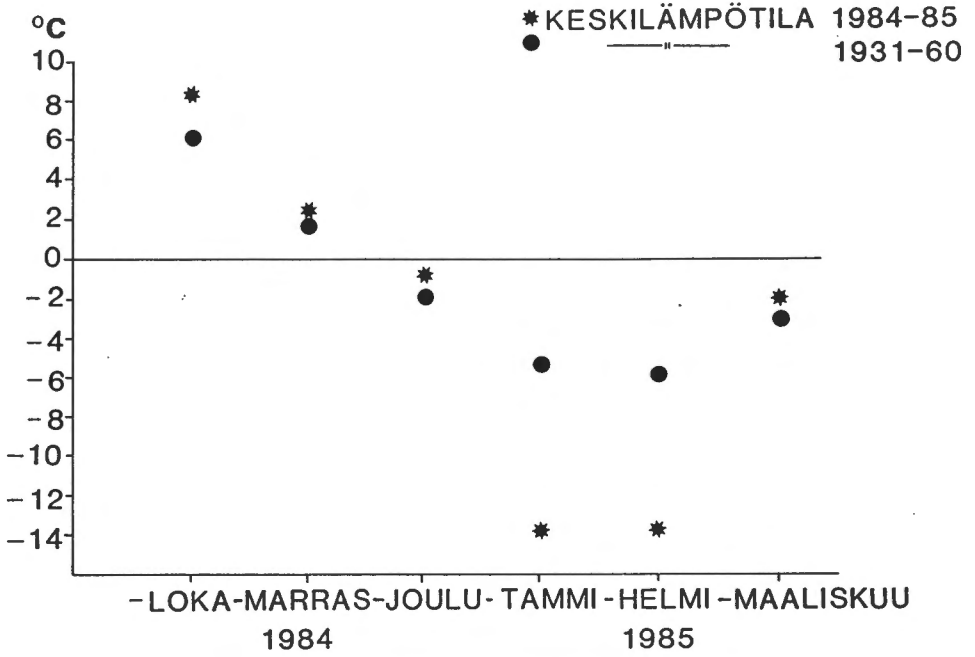
Edellä selostetun talvilevon merkityksen valossa on ilmeistä, että talven absoluuttisen ankaruuden lisäksi on suuri merkitys sillä, miten ja koska epäedullinen sää syntyy.

TALVEN 1984 - 1985 SÄÄKUVA

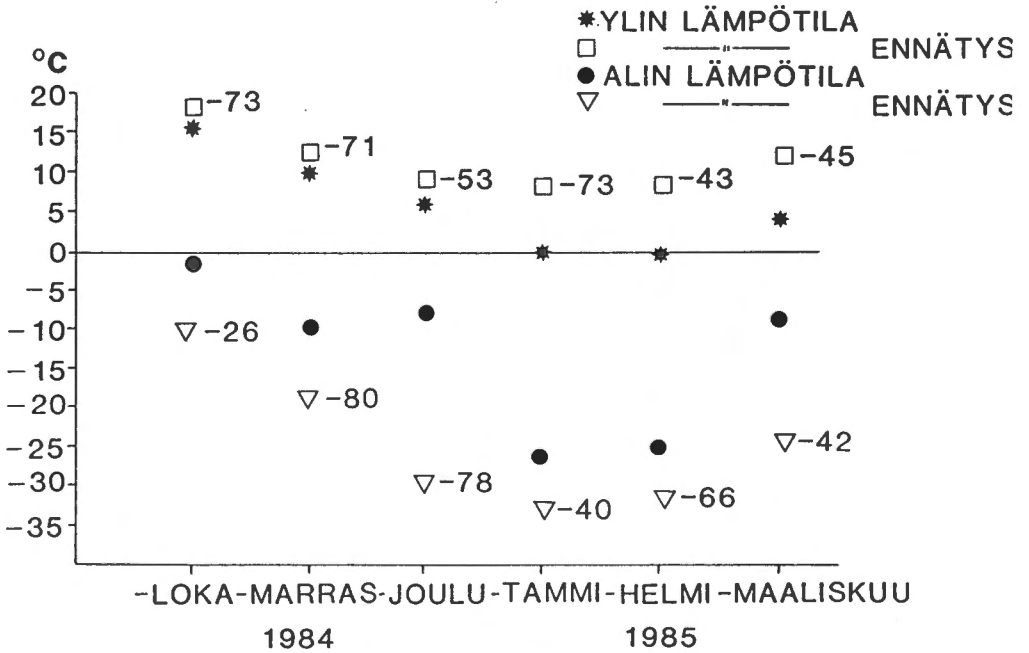
Syksy 1984 oli huomattavan lämmin. Lokakuun keskilämpötila oli Etelä-Suomessa monella paikkakunnalla selvästi normaalia korkeampi ja alhaisia lämpötiloja saavutettiin vasta kuun jälkipuoliskolla. Myös marraskuu jäi keskilämpötiloiltaan normaalia lämpöisemmäksi ja näin oli asian laita myös joulukuussa (kuva 1). Tammikuussa laski keskilämpötila erittäin nopeasti jääden selvästi alle normaalitason. Tätä olotilaa kesti maaliskuulle asti.

Kuten Helsingistä otetusta esimerkistä (kuva 2) näkyy, oli säätyypille tunnusomaista vielä se, että ylimmät lämpötilat niin loka-, marras- kuin joulukuussakin olivat hyvin lähellä ennätysarvoja. Tammi- ja helmikuussa taasen alimmat lämpötilat lähentelivät näinä kuukausina mitattuja ennätysisiä.

Kun tiedetään, että talvilevon saavuttamisen edellytyksenä ovat tietyt alhaiset lämpötilat syksyllä, ja että syvimmän talvilevon säätömekanismi alkaa joulukuussa jo purkautua, voidaan olettaa, että poikkeuksellinen sää on kahdella tavalla vaikuttanut puiden talvilepoon ja siihen liittyvään pakkasenkestävyyteen.



Kuva 1. Lämpötila, Helsinki-Kaisaniemi



Kuva 2. Lämpötila, Helsinki-Kaisaniemi

Lämmin syksy on voinut estää täydellisen talvilevon saavuttamisen ja korkeat lämpötilat joulukuussa ovat jo edistäneet talvilevon purkautumista. Kun hyvin alhaiset lämpötilat sitten sattuivat heti tammikuun alussa ja kestivät yhtämittaa pitkään, oli tilanne puiden kannalta mahdollisimman epäedullinen.

Puiden vuosirytmiiin on voinut sen lisäksi vaikuttaa kesällä 1984 sattunut poikkeuksellisen myöhäinen ja ankara halla, joka on ehkä siirtänyt talvilevon indusoinnin normaalia ajankohtaa myöhäisemmäksi.

TUTKIMUSAINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ

Kuten alussa mainittiin, on metsänjalostuksen tutkimusosaston seurannassa suuri määrä kuusen proveniensiikokeita, joihin kuuluvat sekä 1920-30-luvuilla perustetut professori Olli Heikinheimon kokeet (Heikinheimo 1949) että kirjoittajan 1950-70-luvuilla perustamat edellisiä täydentävät koesarjat. Kun Heikinheimon kokeet sisältävät suhteellisen vähän Keski-Euroopasta olevia alkuperiä, pyrittiin täydentäviin sarjoihin ottamaan runsaasti alkuperiä Keski-Euroopan itäosista sekä Balttiasta. Oman sarjansa muodostavat ne kuusialkuperät, jotka kerättiin Romaniasta vuonna 1962 tehdyn tutkimusmatkan perusteella.

Vaurioiden inventointi tehtiin kesällä 1985 Etelä- ja Keski-Suomessa sijaitsevilla kokeilla otantamenetelmällä siten, että jokaisen kokeen jokaisesta koeruudusta tutkittiin joka viides taimi. Otantaprosentti oli siten 20. Vauriot arvioitiin silmävaraisesti käyttäen luokitusta, joka mahdollisimman hyvin vastasi Heikinheimon, talven 1939-40 jälkeen suorittaman arvion luokitusta (Heikinheimo 1949).

Luokitus oli seuraava:

(Roomalaiset numerot ovat Heikinheimon käyttämän luokituksen tunnuksia).

0. Puu täysin vaurioitta (I).
1. Vähäinen osa neulasista ruskettunut tai karissut, kärkisilmu terve (II).
2. Neulasia ruskettunut tai karissut. Vain viimeinen vuosikasvain kuivunut (III).
3. Kuten 2, mutta kuivuminen ulottunut pitemmälle, noin neljänneen vuosikasvaimen (IV).
4. Yksilöt, joista elossa vain lumipeitteen pinnan alla ollut osa oksistoa ja runkoa (V).
5. Täysin kuolleet yksilöt (VI).

Tässä esitettävissä tuloksissa on jokaisen alkuperän osalta laskettu puiden jakautuminen vahinkoluokkiin prosentteina kokonaishavaintomäärästä yli toistojen. Vanhimmissa kokeissa ei yleensä ole toistoja, mikä tekee niiden tulokset hieman epävarmemmiksi. Myöhemmin tullaan suorittamaan aineiston tarkempi tilastollinen analyysi eroavaisuuksien luotettavuuden testaamiseksi.

Jokainen havaintopuu on merkitty kokeen mittauskarttaan, mikä mahdollistaa vaurioiden vaikutuksen seurannan myöhemmin. Tarkoitus on seurata toipumista, sekä tulevissa mittauksissa selvittää, onko lievemmilläkin vaurioilla vaikutusta kasvuun. Kaikkiaaan tutkimusaineisto käsittää havainnot n. 17 000:sta puusta.

TULOKSET

Vanha provenienssisarja

Vanhinta kuusen provenienssisarjaa on tutkittu Punkaharjun, Solbölen (Bromarv) ja Vilppulan tutkimusalueissa. Koska puut tässä sarjassa jo ovat kookkaita, on luokat 4 ja 5 tässä yhdistetty. Eri alkuperien jakautuminen vaurioluokkiin ilmenee taulukosta 1.

Tuloksista ilmenee, että suhteellisesti eniten vaurioita on esiintynyt kotimaisissa alkuperissä Solbölen kokeessa (nro 10), jossa jopa kaikkein pohjoisimmat alkuperät ovat lievästi vaurioituneet. Eteläisimmät alkuperät ovat Punkaharjulla (koe nro 18) kärsineet enemmän kuin Solbölessä. Hieman yllättävää on, että Vilppulassa (koe nro 19) vauriot ovat Punkaharjua pienemmät.

Eestiläinen alkuperä on suomalaisia hieman heikompi. Norjalainen on sen sijaan tasaveroinen eteläsuomalaisen alkupe-
rän kanssa. Keski-Euroopasta kotoisin olevat alkuperät ovat selvästi heikompia ja niissä vaurioiden laatu on myös vakavampi.

Taulukko 1. Puiden prosentuaalinen jakautuminen pakkasvaurioluokkiin vanhassa kuusen provenienssikoesarjassa eri paikkakunnilla talven 1984-85 jälkeen. Vaurioluokat 0-5 on selitetty tekstissä. P = Punkaharju, S = Solböle ja V = Vilppula.

Alkuperäluokka	Vaurioluokka														
	0			1			2			3			4 + 5		
	P	S	V	P	S	V	P	S	V	P	S	V	P	S	V
Muonio	100	93	100	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sodankylä	100	95	100	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rovaniemi, Kivalo	100	91	100	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rovaniemi, Kemi-jokivarsi	100	99	100	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Simo	100	93	100	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kajaani ?	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pieksämäki	89	98	97	11	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elimäki	73	93	100	20	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
NL, Eesti, Peravalla	60	73	80	33	24	20	0	3	0	7	0	0	0	0	0
Norja, Gjøvik	78	99	-	22	2	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-
DDR, Schmiedefeld	27	32	48	53	62	52	0	5	0	20	0	0	0	2	0
DDR, Schilbach	17	51	-	58	32	-	8	12	-	17	5	-	0	0	-
DDR, Carlsfeld	23	37	59	23	57	41	23	2	0	7	5	0	23	0	0
DDR, Carlsfeld	23	35	26	46	59	71	0	5	0	15	2	0	15	0	3
BRD, Spiegelau	23	18	38	23	66	53	23	13	0	23	2	6	7	2	3
Sveitsi, korkealta	8	57	-	75	43	-	0	0	-	8	0	-	8	0	-
Sveitsi, keskikork.	-	49	47	-	49	53	-	2	0	-	0	0	-	0	0
NL, Voľovec	-	35	22	-	49	67	-	10	-	-	6	9	-	0	3
Unkari, Köszeg	-	27	-	-	48	-	-	18	-	-	7	-	-	0	-
Koko koe 1)	75	67	73	17	28	25	2	4	0	4	1	1	2	0,2	1

1) Kokonaisjakautumat eivät ole paikkakuntien välillä vertailukelpoisia, koska provenienssien määrä vaihtelee.

Kansainvälinen IUFRO:n koe vuodelta 1938

Ruotsinkylän tutkimusalueessa Tuusulassa sijaitsee ainoana Suomessa eräs vanhimmista kansainvälisistä kuusikokeista (nro 27). Se on istutettu vuonna 1944, 6-vuotiailla taimilla. Eräistä alkuperistä on kokeessa kaksi toistoa, toisista alkuperistä vain yksi koeruutu. Kokeen standardina oleva paikallinen alkuperä esiintyy useampana toistona. Tämän kokeen tulokset on esitetty taulukossa 2.

Kokeen laajuus on suurempi kuin edellinen ja siihen sisältyy jo alkuperiä Italiasta, Jugoslaviasta ja Romaniasta. Tulokset osoittavat kuitenkin, ettei näistä maista näytä löytyvän oikein kestäviä alkuperiä. Myös Itävallasta tuodut alkuperät ovat heikkoja. Niiden huonoa sopeutuneisuutta kuvaa myös seuraava nuorempi koesarja (taulukko 3).

Taulukko 2. Puiden prosentuaalinen jakautuminen pakkasvaurioluokkiin kuusen kansainvälisessä proveniessikokeessa IUFRO 1938, Tuusulassa talven 1984-85 jälkeen. Vaurioluokat 0-5 on selitetty tekstissä.

Alkuperä	Vaurioluokka					
	0	1	2	3	4	5
Tuusula	78,4	16,3	2,7	1,6	1,0	0
Rovaniemi	100,0	0	0	0	0	0
Vilppula	93,8	5,2	1,0	0	0	0
Norja, Tyldal	82,2	17,8	0	0	0	0
Norja, Foldsfors	92,9	7,1	0	0	0	0
Ruotsi, Drängsered	90,8	9,2	0	0	0	0
NL, Latvia, Vecmoka	66,7	33,3	0	0	0	0
Puola, Pforthen	33,3	55,6	4,4	4,4	1,1	1,1
NL, Stolpce	46,0	48,0	4,0	2,0	0	0
Puola, Istebna	63,4	32,3	3,2	1,1	0	0
Belgia, Bullange	33,3	60,0	0	6,7	0	0
Ranska, Murat	24,7	51,6	8,6	5,4	6,5	3,2
Sveitsi, Winterthur	30,6	56,5	12,9	0	0	0
Italia, Val di Fiemme	21,8	65,5	3,6	1,8	3,6	3,6
SR, Planice	37,3	52,0	2,9	5,9	1,0	1,0
Itävalta, Lankowitz	17,0	44,7	10,6	10,6	8,5	8,5
Itävalta, Obervellach	30,0	58,3	5,0	4,2	0,8	1,7
Itävalta, Obervellach	20,0	66,0	6,0	6,0	0	2,0
Jugoslavia, Sarajevo	24,5	62,3	5,7	7,5	0	0
Romania, Crucea	36,1	52,8	2,8	5,6	2,8	0
Romania, Vadul Rau	16,7	45,8	16,7	12,5	8,3	0
Koko koe	60,0	32,3	3,4	2,5	1,1	0,7

Itävallan - Saksan - Puolan sarja

1950-luvun lopulla oli saatu Suomeen muutamia kaupallisia siemeneriä alueilta, joita ei aikaisemmin ollut kokeissamme. Näistä perustettiin muutamia kokeita, joista kuitenkin osa tuhoutui myyrien aiheuttamiin vaurioihin.

Taulukossa 3 esitetään tulokset kahdesta kokeesta, joista toinen (nro 90) Tenholassa ja toinen (nro 194) Kerimäellä. Edellinen on perustettu v. 1959 ja jälkimmäinen 1962.

Taulukko 3. Puiden prosentuaalinen jakautuminen pakkasvaurioluokkiin kenttäkokeissa No 90 Tenhola (T) ja No 194 Kerimäki (K) talven 1984-85 jälkeen. Vaurioluokat 0-5 on selitetty tekstissä.

Alkuperä		Vaurioluokka					
		0	1	2	3	4	5
BRD, Niedersachsen	T	4,4	28,0	37,5	9,9	4,2	16,0
	K	-	-	-	-	-	-
BRD, Fichtelgebirge	T	2,4	33,4	22,8	11,6	6,5	23,2
	K	34,0	44,7	10,6	7,4	3,2	0
Itävalta, Altenburg	T	1,6	27,5	25,3	11,4	7,9	26,2
	K	33,3	46,7	8,0	8,0	4,0	0
Itävalta, Weyer an der Enns	T	3,3	24,2	31,4	10,0	8,5	22,7
	K	29,5	42,3	20,5	3,8	3,8	0
Puola, Istebna	T	14,2	37,1	31,5	5,9	5,6	5,6
	K	57,4	25,5	10,6	6,4	0	0
Puola, Białystok	T	29,3	48,5	15,9	4,3	0,5	1,6
	K	70,9	25,3	3,8	0	0	0
Suomi, Tenhola	T	92,3	6,1	1,5	0	0	0
Suomi, Urjala	K	90,7	7,2	1,0	0	1,0	0
Koko koe yhteensä	T	22,9	29,0	23,1	7,4	4,4	13,1
	K	57,2	30,0	7,3	4,0	1,4	0,1

Tenholan kokeessa ovat pakkasen aiheuttamat vauriot varsin suuret, etenkin saksalaisissa ja itävaltalaisissa alkuperissä. Puolalaiset alkuperät ovat hieman parempia ja niiden kestävyys paranee pohjoiseen siirryttäessä: eteläisessä Istebnan alkuperässä on enemmän vaurioita kuin pohjoisemmassa Białystokin alkuperässä.

Tenholan olosuhteet ovat - niinkuin lähellä olevassa Solbölessäkin - olleet varsin epäedulliset sillä paikallisrotukin on selvästi kärsinyt. Kerimäen kokeessa vertailuna ollut Urjalan alkuperä on sekin jonkun verran kärsinyt. Yleisesti ottaen vauriot Kerimäellä ovat kuitenkin pienemmät kuin Tenholassa.

Tässä koesarjassa puolalaisten alkuperien osuus rajoittui kahteen alkuperään. Rohkaisevat tulokset mm. Ruotsissa ja Norjassa antoivat virikkeen puolalaisten alkuperien laajemmalle kokeilemiselle, johon tarjoutui tilaisuus 1970-luvun alussa.

Puolan - Eestin sarja

Tämän koesarjan aineisto saatiin Puolan metsäntutkimuslaitoksen kautta ja se käsittää useita alkuperältään hyvin tarkasti tunnettuja eriä. Samaan sarjaan yhdistettiin, laajentaen aineistoa pohjoiseen, kahdeksan eestiläistä alkuperää, jotka edustavat maahamme kaupallisesti hankittuja ja melko yleisesti viljeltyjä provenienssejä. Koesarjaan oli mahdollista liittää myös enemmän kotimaisia alkuperiä kuin aikaisemmin. Tätä koesarjaa edustavina esitetään taulukossa 4a ja 4b tulokset kahdesta osakokeesta, joista toinen Pernajassa (nro 270/4 ja toinen Ahvenanmaan Getassa (nro 270/5).

Molemmat kokeet ovat varsin hyvin onnistuneita ja vauriot ovat suhteellisen vähäisiä. Niin kuin saattoi odottaa, on

Taulukko 4a. Puiden prosentuaalinen jakautuminen pakkasvaurioluokkiin kenttäkokeessa No 270/4 Pernaja talven 1984-85 jälkeen. Vaurioluokat 0-5 on selitetty tekstissä.

Alkuperä	Vaurioluokat					
	0	1	2	3	4	5
Ahvenanmaa, Sund	91,5	8,5	0	0	0	0
Vehkalahti	95,3	4,7	0	0	0	0
Tenhola	94,1	5,9	0	0	0	0
Jokioinen	98,3	1,7	0	0	0	0
Mellilä	94,0	6,0	0	0	0	0
Tuusula	91,0	9,0	0	0	0	0
Puola, Białowieza	47,4	50,9	0	1,8	0	0
Puola, Zwierzyniec	45,3	50,0	4,7	0	0	0
Puola, Ptaska	65,3	32,7	0	0	0	0
Puola, Augustow	53,1	46,9	2,0	0	0	0
Puola, Borki	68,1	25,5	4,3	2,1	0	0
Puola, Przerwanki	68,1	31,9	0	0	0	0
Puola, Gorowo	60,4	35,4	2,1	2,1	0	0
Puola, Mestwinowo	38,0	48,0	8,0	6,0	0	0
ČSR, Tatra	62,3	31,1	4,4	0	2,2	0
NL, Simerpalu	77,4	22,6	0	0	0	0
NL, Veriora	91,7	8,3	0	0	0	0
NL, Tallinna	78,8	17,3	3,8	0	0	0
NL, Kohila	88,5	9,6	1,9	0	0	0
NL, Tartu, 1963	78,8	21,2	0	0	0	0
NL, Rakvere	92,6	5,6	1,9	0	0	0
NL, Killingi-Nõmme	79,2	20,8	0	0	0	0
NL, Võru	80,4	15,7	3,9	0	0	0
NL, Tartu, 1965	79,2	16,7	4,2	0	0	0
Koko koe yhteensä	76,7	21,2	1,6	0,5	0,1	0

Taulukko 4b. Puiden prosentuaalinen jakautuminen pakkasvaurioluokkiin kenttäkoeksessa No 270/5 Geta talven 1984-85 jälkeen. Vaurioluokat 0-5 on selitetty tekstissä.

Alkuperä	Vaurioluokka					
	0	1	2	3	4	5
Ahvenanmaa, Sund	100,0	0	0	0	0	0
Vehkalahti	92,7	2,4	4,9	0	0	0
Tenhola	94,9	2,6	2,6	0	0	0
Jokioinen	92,3	7,7	0	0	0	0
Mellilä	93,5	6,5	0	0	0	0
Tuusula	91,2	5,9	2,9	0	0	0
Puola, Białowieza	88,9	11,1	0	0	0	0
Puola, Zwierzyniec	86,3	11,8	0	2,0	0	0
Puola, Ptaska	72,3	21,3	4,3	0	2,1	0
Puola, Augustow	68,6	28,6	2,9	0	0	0
Puola, Borki	91,1	8,9	0	0	0	0
Puola, Przerwanki	88,9	11,1	0	0	0	0
Puola, Gorowo	68,7	27,1	4,2	0	0	0
Puola, Mestwinowo	72,3	19,1	4,3	4,3	0	0
CSR, Tatra	81,1	18,9	0	0	0	0
NL, Simerpalu	78,1	21,9	0	0	0	0
NL, Veriora	97,7	0	0	2,3	0	0
NL, Tallinna	87,9	9,1	0	0	0	3,0
NL, Kohila	90,2	9,8	0	0	0	0
NL, Tartu, 1963	90,7	4,7	4,7	0	0	0
NL, Rakvere	97,7	0	2,3	0	0	0
NL, Killingi-Nõmme	97,4	0	2,6	0	0	0
NL, Võru	94,3	2,9	2,9	0	0	0
NL, Tartu, 1965	97,7	2,3	0	0	0	0
Koko koe yhteensä	88,0	9,8	1,6	0,4	0,1	0,1

Ahvenanmaalla sijaitseva koe hieman paremmin selviytynyt kuin rinnakkaiskoe Pernajassa.

Näissä kokeissa kiinnittyy huomio siihen seikkaan, että jokseenkin kaikissa kotimaisissakin alkuperissä esiintyy jonkun verran talven aiheuttamia vaurioita. Alkuperät ovat kaikki Etelä-Suomesta eikä niiden välillä ole sanottavaa eroa. Ahvenanmaalla ovat vauriot näissä alkuperissä hieman suurempaa luokkaa kuin Pernajassa.

Puolalaiset alkuperät ovat selvinneet kohtuullisen hyvin varsinkin Ahvenanmaalla, jossa paras, pohjoinen Borki, on verrattavissa suomalaisiin alkuperiin.

Kuten odottaa saattaa, ovat eestiläiset alkuperät puolalaisia parempia ja varsinkin Ahvenanmaalla ne nousevat kotimaisten alkuperien rinnalle. Rakvere ja Veriora näyttävät hieman paremmilta, mutta erot eri alkuperien välillä ovat vähäiset.

Eestiläisten alkuperien käyttökelpoisuuden testaamiseksi on myöhemmin perustettu laajempi koesarja, mutta tämän kokeen taimet eivät vielä talvella 1984-85 olleet lumen pinnan yläpuolella, joten niiden pakkasenkestävyyttä ei ole toistaiseksi voitu arvostella.

Romanian koesarja

Kansainvälisissä kokeissa olivat romanialaiset kuusialkuperät vielä 1960-luvulla osoittautuneet lupaaviksi. Myöhemmin on ruotsalaisissa ja norjalaisissa kokeissa esiintynyt näissä alkuperissä runkojen halkeamisia rehevillä kasvupaikoilla ja Tanskassa on samoissa alkuperissä esiintynyt neulaskatoa.

Alkutulosten tarkistamiseksi lähetettiin 1962 Romaniaan pohjoismaainen retkikunta, joka valitsi maan eri osista

alkuperäisiä metsiköitä, joista myöhemmin kerättiin siementä kansainvälistä koesarjaa varten. Suomeen otettiin 13 alkuperää, joihin liitettiin yhteisenä standardina Tanskassa ja Norjassa yleisesti viljelty länsisaksalainen alkuperä Westerhof.

Tästä koesarjasta perustettiin seitsemän osakoetta, joista kuitenkin pohjoisin, Muhokselle istutettu tuhoutui pian perustamisen jälkeen kokonaan.

Taulukkoon 5 on koesarjasta koottu tulokset taimien jakautumisesta vaurioluokkiin 0 ja 1, koska nämä luokat yhdistämällä näyttää saatavan paras käsitys vaurioiden tasosta.

Pakkasvaurioiden myöhempi tarkastelu kesällä 1986 on osoittanut, että mainittu vaurioluokka 1 on jokseenkin täydellisesti toipunut, eikä luokkien 0 ja 1 välillä voida enää havaita ulkonaisia eroja.

Koesarjan osakokeista Getan koe sijaitsee aivan edellä mainitun kokeen nro 270/5 vieressä. Muut koepaikkakunnat ovat Tammela, Miehikkälä, Hauho, Kullaa ja Pernaja. Viimeksi mainittu ei kuitenkaan ole aivan lähellä koetta nro 270/4.

Ahvenanmaalla kaikki alkuperät ovat menestyneet jokseenkin yhtä hyvin, eivätkä erot kotimaisiin ole kovin suuria. Länsi-saksalainen Westerhof on sielläkin jonkun verran heikompi. Mantereella sijaitsevissa kokeissa olosuhteet ovat, vertailuerien vaurioista päätellen, olleet ankarimmat Tammelassa ja Hauholla. Tammelassa on jopa niin pohjoinen alkuperä kuin Pyhäjärvi Oulun läänistä hieman vahingoittunut. Ankarissakin olosuhteissa löytyy romanialaisia alkupeiriä, jotka ovat kestäneet jokseenkin yhtä hyvin kuin kotimaiset.

Laajan sarjan koetulokset osoittavat kuitenkin, kuinka vaikeata on arvostella sellaisia ominaisuuksia, joiden ilmene-

minen voi olla hyvin riippuvainen paikallisista olosuhteista. Pakkasvaurioita arvosteltaessa näyttää nimenomaan koe-ruudun paikka vaikuttavan paljon. Suojainen sijainti kokeen keskellä antaa paremman tuloksen kuin kokeen reunalla. Käytettyjen toistojen määrä (4-6) ei näytä vielä riittävän poistamaan tätä epäkohtaa.

Taulukko 5. Pakkasvaurioluokkien 0 + 1 prosentuaalinen osuus puiden lukumäärästä kenttäkoesarjassa No 237 kuudella eri koepaikkakunnalla talven 1984-85 jälkeen.

Alkuperä	Koeapaikkakunta						
	Geta	Tammela	Miehik- kälä	Hauho	Kullaa	Pernaja	
Romania, Toplita	3	98,2	65,2	-	73,1	52,8	60,0
Romania, Toplita	4	93,4	66,9	69,0	93,2	90,0	90,0
Romania, Galu	5	98,3	86,0	82,1	70,7	79,6	77,8
Romania, Borca	6	96,4	84,2	78,7	83,6	80,0	80,0
Romania, Brosteni	7	94,7	68,3	68,9	78,2	60,8	77,8
Romania, Cosna	8	98,2	85,9	-	85,4	68,3	68,8
Romania, Dorna-Cindreni	9	98,3	75,4	82,6	76,3	78,3	64,6
Romania, Frasin	12	100,0	83,9	-	79,3	77,1	71,4
Romania, Moldovita	14	91,2	81,3	-	77,2	76,0	94,8
Romania, Cimpeni	31	91,5	57,7	70,4	61,0	62,8	55,0
Romania, Brasov	32	100,0	80,7	88,9	68,5	80,9	50,8
Romania, Toplita	33	88,3	71,1	-	63,6	77,4	60,0
Romania, Dorna-Cindreni	34	95,7	63,8	53,1	73,2	81,6	100,0
BRD, Westerhof		83,9	71,4	-	57,2	61,6	31,0
Pyhäjärvi, Oulun lääni		-	96,0	-	100,0	-	-
Padasjoki		100,0	86,0	100,0	92,5	-	-
Tuusula		100,0	86,0	90,0	90,9	91,4	-

Suomessa kannattaa ilmeisesti romanialaisia alkuperiä vielä tutkia, varsinkin kun Tuusulan kansainvälisessä kokeessa yksi romanialainen alkuperä on vieläkin tuotoksessa paras. Runkovahinkoja ei ole toistaiseksi sanottavasti havaittu.

Tulosten tarkastelu

Kokeista saadut tulokset ovat vahvistaneet aikaisempia käsityksiä eri alkuperien talvenkestävyydestä. Ne ovat myös samansuuntaisia uudempien kansainvälisten kokeiden kanssa, joissa äskettäin on suoritettu vastaavia havaintoja (Skrøppa & Dietrichson 1986).

Kun Punkaharjulla verrattiin vuoden 1939-40 havaintoja talven 1984-85 havaintoihin samoissa alkuperissä, voitiin todeta, että vauriot talvella 1939-40 olivat suuremmat siten, että vaurioluokkaa 1 esiintyi selvästi enemmän. Saksalaisissa alkuperissä oli kuitenkin talven 1984-85 jälkeen enemmän puita vaurioluokissa 2-5 kuin vuoden 1940 mittauksissa. Tähän ei ole vielä löytynyt selitystä.

Kaikki koetulokset osoittavat myös, että paikalliset vaihtelut mikroilmastossa voivat olla suuret ja että luotettavien tulosten saamiseksi tarvitaan sekä lukuisia osakokeita että runsaasti toistoja. On mahdollista, että tällaisia kokeita täydentämään tarvitaan vielä kokeellisia pakastamistestejä, kuten hiljakkoin on menestyksellisesti sovellettu mäntyalkuperien tutkimisessa (Nilsson & Eriksson 1986).

Jos kestävyys kuivumista vastaan näyttelee merkittävää osaa alkuperän talvenkestävyydessä, saattaisi kuivuusresistenssin testaamistekniikan kehittämistä myös löytyä lisätietoa. Saadut tulokset osoittavat, paikallisvaihtelujen li-

säksi, ettei eteläinen sijainti sellaisenaan merkitse edullisempia olosuhteita. Nyt tehdyt havainnot vahingoista ovat tässä suhteessa yhdenmukaisia Kubinin ja Raition (1985) keräämien havaintojen kanssa: vauriot olivat talven 1984-85 jälkeen ankarimmat eteläisimmässä osassa Suomea.

Mitään selvää näyttöä siitä, että ilman saastuminen olisi lisännyt talvivaurioita ei voida tästä koemateriaalista saada. Jos saastevauriot olisivat vaikuttaneet, voisi otaksua, että Punkaharjullakin kotimaisten alkuperien vauriot olisivat lisääntyneet verrattuna vuosiin 1939-40. Tätä ei kuitenkaan havaittu. Erilaisten vahinkotekijöiden yhteisvaikutusten selvittämiseksi tarvitaan ilmeisesti varta vasten suunniteltuja koesarjoja ja hyvin pitkäaikaista tarkkailua.

Käytännön johtopäätöksiä

Poikkeuksellisen ankara talvi 1984-85 osoitti jälleen, että alkuperä on hyvin tärkeä tekijä metsänviljelyn onnistumisessa. Alkuperän valinta on suoritettava kaikki tarpeet huomioon ottaen. Vieraan alkuperän tuomat riskit on punnittava sen tarjoamia etuja vastaan. Kuten jo Heikinheimo (1954) osoitti, tuo kuusen siirto etelästä pohjoiseen jonkun verran lisää tuotosta. Talvipakkaset ja niiden aiheuttamat vauriot ovat Etelä-Suomessa, varsinkin rannikkoseudulla, harvinaisempia kuin kevähallan aiheuttamat vauriot. Kun eteläiset alkuperät Balttian maista ja Pohjois-Puolasta lähtevät myöhemmin kasvamaan kuin suomalaiset alkuperät, voivat ne tuoda mukanaan hallankestävyysedun, joka on talvivaurioriskiä suurempi.

Metsänhoidolliset päätökset on tehtävä paikalliset olosuhteet huomioon ottaen. Kuusiviljelykset on pyrittävä sijoittamaan tuulelta ja kevätauringolta suojaan. Suojuspuuston käyttöä on harkittava eikä hallakuopissa pidä viljellä

kuusta. Kuusiviljelyksiä ei pidä myöskään lannoittaa typellä myöhään.

Tähän asti käytetyistä alkuperistä katsoisin, että balttilaisia alkuperiä (Eesti, Latvia, Liettua) voidaan viljellä Etelä-Suomessa Salpausselän korkeudelle ja edullisissa olosuhteissa hieman pohjoisempanakin. Alkuperiä Pohjois-Puolasta voidaan käyttää, niitä huolellisesti valiten, eteläisimmässä Suomessa. Etelä-Puolan alkuperät sopivat mielestäni vielä Lounais-Suomeen ja romanialaisia kuusia kannattaa kokeilla Ahvenanmaalla.

Vanhemmissa kokeissa ei juuri ole Valkovenäjältä ja Venäjän Federaation länsiosista hankittuja alkuperiä. Tulokset nuorista kokeista näyttävät, että nämä alkuperät ovat varsin myöhään kasvunsa aloittavia. Tällaisten alkuperien kokeilemistä on siksi jatkettava ja laajennettava.

Ulkomaisilla kuusialkuperillä suoritettuja käytännön viljelyksiä on syytä jatkuvasti tarkkailla ja tehdä kehityshavainnoista muistiinpanoja. Vanhetessaan metsiköt voivat muodostaa tärkeän lähteen tuleville siemenkeräyksille.

KIRJALLISUUS

Heikinheimo, O. 1949. Tutkimuksia kuusen ja männyn maantieteellisillä roduilla suoritetuista kokeista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(2):1-44.

- 1954. Taimitarhan maantieteellinen sijainti, siemenen alkuperä ja istutuskaudet. *Acta Forestalia Fennica* 61(9):1-28.

Kubin, E. & Raitio, H. 1985. Puustovauriot keväällä 1985 Suomessa. Metsäammattimiehille osoitetun kyselyn tulokset. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 198:1-30.

- Larcher, W., Häckel, H. & Sakai, A. 1985. Meteorologische Pflanzenpathologie, Witterung und Klima als Umweltfaktoren. Kälte und Frost. Handbuch der Pflanzenkrankheiten Bd 1, Teil 5. Berlin & Hamburg, Paul Parey Verlag. 328 pp.
- Nilsson, J.-E. & Eriksson, G. 1986. Freeze testing and field mortality of *Pinus silvestris* (L.) in northern Sweden. *Scand. J. Forest Research* 1:205-218.
- Sakai, A. & Eiga, S. 1985. Physiological and ecological aspects of cold adaptation of boreal conifers. In Kaurin, Å., Junntila, O. & Nilsen, J., editors, *Plant Production in the North*: 157-170. Tromsø, Norwegian University Press.
- Skrøppa, T. & Dietrichson, J. 1986. Winter damage in the IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Medd. Norsk Inst. Skogforsk.* 39 (in press).

Leena Ryyänen

SOLUKKOVILJELY, KEINO VISAKOIVUN SUVUTTOMAAN LISÄÄMISEEN

TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Visakoivu on eräs arvokkaimmista puistamme. Onhan se ainoa puumme, joka myydään ja hinnoitellan kiloittain. Runkovisan eli sorvivisan (läpimitta yli 15 cm) kilohinta lienee nykyisin 4-6 mk ja oksavisa 1-2 mk.

Visaa on Suomessa 4 puhdasta tyyppiä; paukura-, kaula-, juomu- ja rengasvisaa, lisäksi näiden välisiä sekamuotoja esiintyy runsaasti. Edellä mainituista visamuodoista on visautunutta puuta eniten paukuravisassa ja runkomaista paukuravisaa pidetäänkin muotona, jota jalostuksessa tulisi suosia (Raulo 1980, Jevdokimov 1984).

Suvullisen lisäämisen kannalta on hankalaa, että visa on vahvasti itsesteriili. Valvotuissa risteytyksissä kahden visan kesken ei myöskään koskaan saavuteta 100 %:n visautumisastetta jälkeläistöissä, korkeimmillaan voi visautumisaste olla n. 80 % (Sarvas 1966, Jevdokimov 1984). Hoidetusta visametsiköstä kerätty vapaapölytyssiemen tuottaa jälkeläistöjä, joista vain n. 50 % visautuu (Raulo 1980). Kun visautuminen lisäksi havaitaan vasta n. 10 vuoden iässä, on ruvettu tutkimaan mahdollisuuksia visakoivun suvuttomaan lisäämiseen.

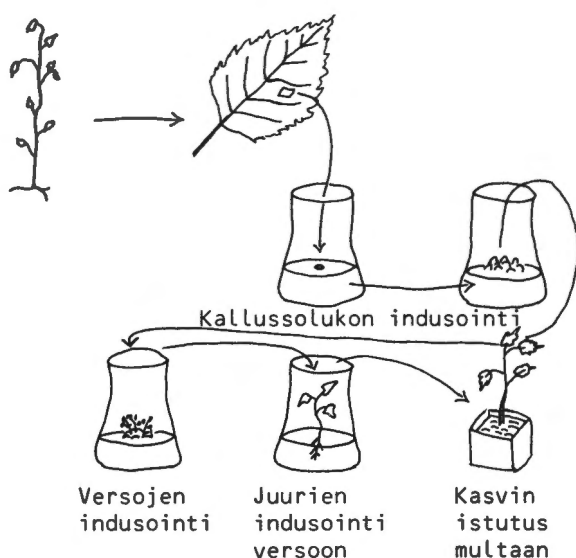
SUVUTON LISÄÄMINEN PISTOKKAIDEN AVULLA

Visakoivun lisäämistä pistokkaista on kokeiltu Suomessa ensimmäistä kertaa 1940-luvulla. Tulokset eivät olleet

erikoisen rohkaisevia, tästä ensimmäisestä pistokasera-
rästä oli vuoden kuluttua elossa 3 % (Pohjanheimo
1980). Varsin merkittävä haitta pistokastuotannossa on
pistokkaiden heikko talvenkestävyys. Toisaalta par-
haiten juurtuvat pistokasoksas saadaan visan pensasmai-
sista ja lyhytrunkoisista muodoista (Jevdokimov 1984),
kun taas jalostuksen vaatimusten mukaisesti tulisi
suosia runkomaisia muotoja.

SUVUTON LISÄÄMINEN SOLUKKOVILJELYN AVULLA

Toinen modernimpi "tämän vuosikymmenen menetelmä"
puiden lisäämiseksi suvuttomasti, on solukkoviljely.
Tässä on periaatteena, että kasvista otetaan kasvuso-
lukkoa, jota lisätään keinotekoisella alustalla ja
jossa saadaan aikaan kasvinelinten (juuri, varsi,
lehdet) erilaistumista, niin että tuloksena on uusi tai
uusia kasviyksilöitä (kuva 1).



Kuva 1. Kasvin lisääminen solukkoviljelyn avulla.

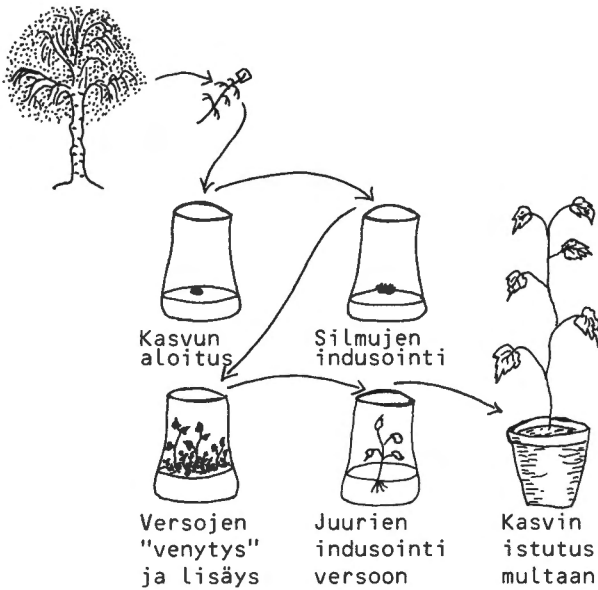
Myöskin rauduskoivun lisäämisestä solukkoviljelyn avulla löytyy pari tutkimusta. Yhteistä näille menetelmille on ollut se, että viljely on aloitettu varsin nuorista puuyksilöistä joko varren kärjen jälsisolukosta (Huhtinen ja Yahyaoglu 1974) tai lehtilavan solukosta (Simola 1985). Toinen yhteinen tekijä näissä aikaisemmissa tutkimuksissa on se, että niissä ensin on pyritty tuottamaan runsaasti kallussolukkoa, jota sitten on erilaistettu. Jos ajatellaan niitä tarpeita, joissa Punkaharjulla on ryhdytty kokeilemaan solukkoviljelyä, on lähtökohta erilainen. Kuten aikaisemmin mainittiin, niin alle 10 vuotiaasta visan siementaimesta ei voi varmuudella sanoa onko se visautunut vai ei. Lähtömateriaalina tässä tutkimuksessa ovat kokoelmien runkomuodoltaan parhaat aikuiset visat, joista neljä on iältään 25 vuotiaasta sekä yksi 53-vuotias, kromosomistoltaan triploidinen Olli-visa (taulukko 1).

Taulukko 1. Solukkoviljelyn tutkimusmateriaali.

Kanta- puu	Visan laatu	Alkuperä	Istutus- vuosi	Kokoelma
E 8469	juomu	Punkaharju	1960	E 5
E 8999	kaula	"	1960	E 5
E 9000	paukura	"	1960	E 5
E 9141	"	"	1960	E 5
E 1092	Ollivisa (tripl.)	Aulanko	1932	B 4

Kasvusolukkona, josta viljely aloitetaan käytetään oksan kärki- tai sivusilmun kasvusolukkoa. Mahdollisesti juuri lähtömateriaalin, siis itse puun iästä johtuu, että yritys edetä samoin kuin edellä maini-

tuissa tutkimuksissa ei tuottanut tulosta. Kallusta kehittyi runsaasti, mutta solukkoa ei saatu erilaistumaan. Kokeilemalla löydettiin lopulta sopiva menetelmä (Ryynänen, L. ja Ryynänen, M. 1986). Nykyisellään visakoivun lisääminen solukkoviljelyllä käsittää neljä eri vaihetta ja myöskin neljä erilaista alustaa (kuva 2).



Kuva 2. Visakoivun lisääminen solukkoviljelyn avulla.

1. Aloitusvaihe

Oksan kärki- tai sivusilmun kasvusolukko siirretään alustalle, jolla sen elinkyky ja erilaistumiskyky säilyy, mutta kallussolukkoa syntyy tuskin ollenkaan. Voidaan sanoa, että kyseessä on solukon "sopeuttaminen" uusiin in vitro-olosuhteisiin.

2. Indusoitumisvaihe

Jos aloitusalustalla kasvupiste säilyy elinkykyisenä ja voimakkaana, siirretään se indusoitumisalustalle. Tällä alustalla kasvupisteessä syntyy silmuaiheita.

3. Venytysvaihe

Edelleen kasvupiste silmuaiheineen siirretään ns. venytysalustalle. Tällä alustalla silmuaiheet pitenevät versoiksi. Samalla kun pidentyneet versot siirretään juurtumisalustalle voidaan solukko jakaa ja loput pikkuversot ja silmut/silmuaiheet siirtää tuoreelle venytysalustalle. Tällä tavoin saadaan versojen lisäys jatkumaan.

4. Juurtumisvaihe

3-5 cm pitkät versot siirretään juurtumisalustalle, jossa versoon kehittyy hyvin voimakas juuristo. Kun juuri on riittävän voimakas, 2-5 cm, on syntynyt solukkotaimi valmis siirrettäväksi multa.

Kasvatusalustojen perustana on modifioitu Murashige-Skoogin (Murashige ja Skoog 1962) alusta. Erilaistumisprosessia ohjataan makro- ja mikroravinteiden konsentraation vaihtelulla sekä hormooneilla. Kasvatus tapahtuu huoneen lämmössä ja 16 h:n päivässä n. $300-350 \text{ mEm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Ensimmäiset solukkotaimet tuotettiin Punkaharjulla keväällä 1985 kantapuista E 8999 ja E 9141. Syksyllä jäi lumen alle talvehtimaan yli 300 solukkotainta samoista klooneista. Taimimäärän rajoittuminen muutama sataan ei ole välitön seuraus indusoitujen silmujen määrästä, vaan työkapasiteetin vähyydestä sekä siitä, että suuren taimimäärän tuottamista ei katsottu tarpeelliseksi. Esim E 8999:stä tuotettiin useampia tuhansia silmuja.

Vuoden 1985 loppupuolella aloitettiin työt visakoi-
vuilla uudelleen. Yhteenvedo tähänastisista tulok-
sista, käsittäen edellä mainitut taimet sekä inventoin-
tipäivänä 28.1.1986 eri kehitysvaiheissa olevat vil-
jelyt, ilmenee taulukosta 2.

Taulukko 2. Visakoivun lisääminen solukkoviljelyyn avulla, tilanne 28.1.1986.

Kanta- puu	Aloitettut viljelyt	Taimi- vaihe	Vaihe 2 - 4	Bakt. inf.	Kuollut
E 8469	30	-	-	14 48 %	16 53 %
E 8999	23	10 44 %	-	2 9 %	11 47 %
E 9000	53	-	32 60 %	11 21 %	10 19 %
E 9141	57	1 2 %	22 39 %	8 14 %	26 45 %
E 1092	60	-	28 47 %	10 17 %	22 36 %

Solukkotaimen käyttö

Jos ajatellaan yleisemmin solukkoviljelyyn mahdollisuuksia metsänjalostuksessa ja -viljelyssä, olisi solukkotaimella kaksi merkittävää käyttöaluetta. Ensinnäkin tutkimustarpeisiin saadaan tällä menetelmällä tuotettua täysin homogeenista, kloonattua materiaalia. Tämä on jo käytännön todellisuutta mm. Punkaharjulla. Toisaalta metsänviljelyn tuotantolinjalla tuotettaessa testatuista aineistoista saatuja ns. "superpuita", on solukkoviljely-menetelmä, jolla saadaan monistettua täydellisesti emopuun kaltaisia yksilöitä. Siementaimessa on aina vain puolet emopuun perimästä. Tässä suhteessa näyttäisivät solukkoviljelyn käyttömahdollisuudet samantapaisilta kuin nykyään puutarhapuolella tiettyjen erikoismuotojen tuotannossa. Toisaalta niin kuin puutarhapuolellakaan, ei solukkoviljely metsäpuolella tule koskaan poistamaan käytännöstä perinte-

sempiä vastaavia tuotantomenetelmiä, kuten pistokastuotantoa.

KIRJALLISUUS

- Huhtinen, O. & Yahyaoglu, Z. 1974. Das frühe Blühen von aus Kalluskulturen herangezogenen Pflänzchen bei der Birke (*Betula pendula* Roth). *Silva Genetica* 23(1-3): 32-34.
- Jevdokimov, A. 1984. Visakoivun kasvatatus Neuvostoliiton luoteisosissa. Summary: Experiences of curly birch growing in northwestern Russia. *Silva Fennica* 18(3): 303-311.
- Murashige, T. & Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15:493-497.
- Pohjanheimo, O. 1980. Visakoivun lisäämisestä pistokasversoista - Puutarhantutkimuslaitoksella Piikkiössä suoritetuista kokeista ja tutkimuksista. Puutarhantutkimuslaitoksen tiedote 24:1-10.
- 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.
- Sarvas, R. 1966. Visakoivikon perustaminen ja hoito. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 8:1-3.
- Simola, L.K. 1985. Propagation of plantlets from leaf callus of *Betula pendula* f. *purpurea*. *Scientia Horticulture* 26(1):77-86.
- Visakoivu sen kasvatatus ja hoito. 1980. Ympäristövuoden julkaisu. Suomen Luonnonsuojeluliitto, Dendrologian Seura, Visa Seura. 8 s.

ISBN 951-40-0847-2
ISSN 0358-4283

HAKAPAINO OY, HELSINKI 1987