

Kutsumuksena metsätiede

Risto Sarvaksen 100-vuotisjuhlakirja

Seppo Ruotsalainen & Juhani Häggman (toim.)

Kutsumuksena metsätiede
Risto Sarvaksen 100-vuotisjuhlakirja

Kutsumuksena metsätiede
Risto Sarvaksen 100-vuotisjuhlakirja

Toimittajat: Seppo Ruotsalainen, Juhani Häggman

Ulkoasu: Mirja Vuopio, Jouni Hyvärinen
Taitto: Mirja Vuopio, kuvankäsittely Jari Hietanen
Kansi: Jouni Hyvärinen
Kannen kuvat: Reino Saarnio/Metlan arkisto (mikroskopointi, suppilo)
Sarvasten perhealbumi (Risto Sarvas opiskelijana)

Asiasanat: metsähistoria, metsänhoito, metsänjalostus, siementuotanto, vuosirytmi

ISBN 978-951-40-2179-4

Kustantaja: Metsäntutkimuslaitos, METLA
Tilaukset: Metla/Kirjasto, +358 010 211 2200, tietopalvelu@metla.fi

Paino: Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2009

Kutsumuksena metsätiede

Risto Sarvaksen 100-vuotisjuhlakirja

Seppo Ruotsalainen, Juhani Häggman (toim.)

Metsäntutkimuslaitos • Punkaharju

Sisällys

Alkusanat, Juhani Häggman 6

Professori Sarvaksen tieteellinen perintö

Muistelmia yhteistyöstä Risto Sarvaksen kanssa 10
Peitsa Mikola, professori, emeritus

Risto Sarvas metsänhoidon tutkijana 19
Matti Leikola, professori, emeritus

Sarvas ja pohjoinen ulottuvuus 30
Eljas Pohtila, professori, emeritus

Risto Sarvas metsänjalostajana 36
Peter M.A. Tigerstedt, professori, emeritus

Siemensadosta vuosisyklimalliin 43
Veikko Koski, professori, emeritus

Sarvaksen vuosisyklimalli 53
Heikki Hänninen, professori

Sarvaksen teoria metsäpuiden vuosisyklistä fysiologin näkökulmasta 61
Olavi Junttila, professori

Risto Sarvaksen kirjallinen tuotanto 70
Seppo Ruotsalainen, MMT

Sarvaksen perinnöllä muuttuvaan maailmaan

Männyn ilmastoon sopeutumisen geneettinen perustan tutkiminen 84
Outi Savolainen, professori – Sonja Kujala, FM – Katri Kärkkäinen, professori

Mikroskooppimenetelmä vuosirytmin tutkimisessa 94
Sirkka Sutinen, FT – Jouni Partanen, MMT –
Anneli Viherä-Aarnio, MML – Risto Häkkinen, MMT

Roudan vaikutus kuusen fenologiaan 99
Tapani Repo, FT – Markku Manner, MMM – Pekka Nöjd, MMT –
Harri Mäkinen, MMT

Vuosirytmin säätymisen kokeellinen tutkimus 106
Jouni Partanen, MMT

Pääpuulajiemme siementen vuosirytmi ja siemenlepo 112
Markku Nygren, MMT

Taimituotanto ja metsänviljely 118
Jaana Luoranen, MMT

Historialliset fenologiset aikasarjat ja puiden vuosirytmin tutkimus 124
Risto Häkkinen, MMT

Puuntuotanto ja ilmaston muutos 129
Kari Mielikäinen, professori

Ilmastonmuutos ja siemensadot 137
Veikko Koski, professori, emeritus

Tuholaiskestävyys muuttuvassa ilmastossa 143
Erkki Annila, professori, emeritus

Metsätaudit muuttuvassa ilmastossa 150
Jarkko Hantula, professori

Risto Sarvas ja määrämittaharsinta: esittelykohde elämäntyön muistoksi 156
Kari Mielikäinen, professori

Henkilökohtaisia muistelmia Risto Sarvaksesta

Tarinoita professori Risto Sarvaksesta 166
Veikko Silander

Muistelmia professori Risto Sarvaksesta Punkaharjulla 175
Pentti Manninen

Tutkija perheenisänä 184
Matti Sarvas

Isän tytär 195
Eeva Heikkilä

Liitteet

Risto Sarvaksen julkaisut 200

Kuvaliite 210

Alkusanat

Professori Risto Sarvas oli yksi maamme merkittävimpiä metsävaikuttajia ja kansainvälisestikin arvostettu metsäalan tiedemies. Hänen tieteellinen tuotantonsa oli laaja-alainen. Professori Sarvaksen tutkimukset käsittelivät metsänhoitoa, metsäpuiden genetiikkaa ja metsänjalostusta sekä dendrologiaa. Erityisesti hänen viimeisten elinvuosien aikaiset metsäpuiden vuosirytmitutkimuksensa ovat uraa uurtavia maailmassa. Hänen harsintahakkuisiin kohdistuneet tutkimuksensa ovat vaikuttaneet merkittävästi nykyisinkin voimassa olevaan metsänkäsittelyohjeistoon.

Professori Risto Sarvas valmistui metsänhoitajaksi vuonna 1931, jonka jälkeen hänen työuransa alkoi Lapissa Metsähallituksen avustavana metsänhoitajana. Nuorta miestä kiinnosti kuitenkin enemmän tutkijan ura, ja niinpä hän siirtyi 1930-luvun puolivälissä hoitamaan Helsingin yliopiston assistentin virkaa. Sen jälkeen Sarvas siirtyi Metsäntutkimuslaitoksen palvelukseen, ensin assistenttina ja vuodesta 1952 alkaen professorina ja metsänhoidon tutkimusosaston päällikkönä. Sen jälkeen hänet nimitettiin laitoksen johtajaksi vuonna 1956 professori Olli Heikinheimon jäädessä eläkkeelle. Tämän jälkeen hän jatkoi vuodesta 1962 lähtien metsänhoidon professorina ja Helsingin yliopiston dosenttina kuolemaansa asti. Merkittävä virstanpylväs professori Risto Sarvaksen uralla oli myös metsänjalostustoiminnan aloittaminen Suomessa. Hän oli keskeinen toimija perustettaessa Metsäpuiden rodunjalostussäätiötä (nykyinen Metsänjalostussäätiö) 1950-luvulla. Hän toimi säätiön ensimmäisenä toiminnanjohtajana oman toimensa ohella vuosina 1947–53.

Koska professori Risto Sarvaksen syntymästä oli vuonna 2008 kulunut 100 vuotta, niin joukko vuosirytmitutkijoita esitti järjestettäväksi juhlaseminaaria hänen elämäntyönsä kunnioittamiseksi. Seminaari päätettiinkin järjestää Metsäntutkimus-

laitoksen toimesta Punkaharjulla. Punkaharjun valinta seminaarin pitopaikaksi oli selviö, sillä juuri Punkaharju oli professori Sarvakselle lempipaikka työskennellä, ja juuri Punkaharjulla hän ideoi muun muassa kuuluisat vuosirytmiteoriansa. Seminaari pidettiin kaksipäiväisenä 15.–16.10.2008 metsämuseo ja metsätietokeskus Lustossa.

Jotta professori Risto Sarvaksen elämäntyö säilyisi mielessä myös tuleville sukupolville, päätettiin julkaista tämä juhlakirja, jonka perustana ovat juhlaseminaarissa pidetyt esitykset. Koska kirjan artikkelit ovat varsin eri tyylisiä käsittäen tieteenhistoriaa, nykyhetken tutkimusta ja henkilökohtaisia muistelmia professori Risto Sarvaksesta, päätettiin ettei kirja ole perinteinen tieteellinen julkaisu. Siksi kirjoitusten yhteydessä on lueteltu vain keskeisintä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Professori Sarvaksen omien julkaisujen luettelo on kirjan lopussa. Kirjaan on sisällytetty melko laajasti valokuvia Risto Sarvaksen elämän eri vaiheista. Niitä on sekä yksittäisten artikkelien yhteydessä että kuvaliitteessä.

Metsäntutkimuslaitos kiittää kaikkia kirjan julkaisemiseen osallistuneita tahoja. Kiitokset kaikille kirjoittajille ja erityisesti Risto Sarvaksen lapsille Eevalle, Matille, Heikille ja Jukalle, jotka ovat olleet vaalimassa isänsä perintöä. Kiitos myös tutkimusmestari Eija Matikaiselle, joka on avustanut juhlakirjan työstämisessä. Metsämiesten säätiötä ja Metsänjalostussäätiötä kiitämme taloudellisesta tuesta juhlaseminaarin ja tämän juhlakirjan osalta.

Juhani Häggman
Toimintayksikön johtaja
Metla/Punkaharju



Professori Sarvaksen tieteellinen perintö

Peitsa Mikola, Professori, emeritus

Muistelmia yhteistyöstä Risto Sarvaksen kanssa

Yhteistyömme alkoi kesäkuun alussa vuonna 1938. Metsäntutkimuslaitos (silloin vielä Metsätieteellinen tutkimuslaitos) oli saanut määrärahan hävitettyjen yksityismetsien kunnostamista koskevaa tutkimusta varten. Tutkimus oli suunniteltu kaksivuotiseksi ja sen tekijöiksi kaksi tutkijaa, vanhempi ja nuorempi, sekä kenttäapulaisiksi kaksi metsätieteen opiskelijaa. Professori Olli Heikinheimo oli jo pestannut Risto Sarvaksen vanhemmaksi tutkijaksi, ja opettajani Martti Tertti tiedusteli, olisiko minulla kiinnostusta nuoremman tutkijan tehtävään. Tämähän oli minulle kuin lottovoitto. Olin suorittanut metsänhoitajan tutkinnon huhtikuussa ja etsin työpaikkaa, jossa olisi tilaisuus jatkaa opintoja tutkijan uralla. Kesän 1938 kenttäapulaisina olivat metsätieteen ylioppilaat Ilmari Huupponen ja Matti Kauttula (kuva 1). Heistä Matti Kauttula kaatui sodassa kesäkuussa 1944, kun taas Ilmari Huupponen teki pitkän päivätyön metsänhoitajana työvoimahallinnon palveluksessa Turussa.

Työryhmälle oli myös saatava kulkuneuvo. Sellaiseksi vuokrattiin taksimies Nenoselta Chevrolet. Vuokrasopimusta tehtäessä Nenonen mietiskeli: *"Tämä auto on lämpöisempi kuin se minun uudempi."* Autossa oli nimittäin plyysiverhoilu, kun taas Nenosen uudessa oli nahkapäällysteiset istuimet. Niinpä kulkuneuvomme sai lempinimen "Nenosen lämpöisempi." (Kuva 2.) Ristolla ja minulla ei kummallakaan ollut ajokorttia, mutta Matilla ja Ilmarilla oli, joten he toimivat myös autonkuljettajina. Syksyllä 1938 Risto ja minä suoritimme kumpikin autokoulun, joten seuraavana kesänä saatoimme itsekin ajaa. Kesän 1939 ajoneuvoksi ostettiin laitokselle käyttöömme oma auto. Metsäntutkimuslaitoksessa puunkäyttötutkimuksessa työskentelevän Ennu Erkkilän isä, Perniön kirkkoherra, oli kuollut ja hänen autonsa oli myytävänä. Tutkimuslaitos osti sen ja kävin sen Perniöstä noutamassa.



Kuva 1. Työryhmämme kesällä 1938. Vasemmalta: Matti Kauttula, Peitsa Mikola, Ilmari Huuppo-nen ja Risto Sarvas. Kuva: Peitsa Mikolan kokoelma.

Tutkimukseen soveltuvia metsiä oli tiedusteltu metsänhoitolautakunnilta, joilla oli tarjottavana runsas valikoima rauhoitettuja metsiä. Käsite "hyvä metsä" saikin ryhmässämme uudenlaisen merkityksen. "Hyvä" oli sellainen metsä, joka sopi hyvin tutkimuskohteeksi, tavallisesti siis hävitetty ja metsälautakunnan



Kuva 2. "Nenosen lämpöisempi auto" lakkoilee. Ilmari ohjaa ja muut työntävät. Kuva: Peitsa Mikolan kokoelma.

rauhoittama metsä. Kesän 1938 aikana liikuimme Länsi-Suomessa. Aloitimme Hauholta ja jatkoimme sitten reittiä Pälkäne–Koijärvi–Forssa–Kylmäkoski–Loimaa–Kauvatsa–Pori–Turku–Tarvasjoki–Halikko–Somerniemi–Kiikala–Nurmijärvi. Kaikkiaan mittasimme ja tutkimme noin 80 neljänneshehtaarin suuruista metsikkökoealaa. Mitä kaikkea metsästä mittasimme, se käy ilmi Riston väitöskirjasta. Kukin koeala vaati ryhmältämme noin päivän työn. Metsien aikaisemmista vaiheista saimme tietoja omistajilta sekä paikallisilta metsäammattimiehiltä. Lisäksi luimme ja mittasimme koealoilta kannot ja arvioimme niiden perusteella aiemmat hakkuut.

Sisätöitä varten saimme työpaikan Yliopiston metsänhoitotieteen laitoksesta, Kirkkokatu 4:n neljännestä kerroksesta. Naapurihuoneessa oli tohtori Albin Backmanin laboratorio, ja siellä maisteri Kyllikki Leskinen analysoi koealoiltamme otetut

maanäytteet. Jonkin aikaa oli myös Paavo Yli-Vakkuri tutkimusapulaisena sisätöissä.

Eräänä aamuna maaliskuussa 1939 töihin tullessani oli työpöydälläni lappu:
"Olen Heikinheimon luvalla poissa töistä. Risto". Ihmettelin vähän lapun sanomaa, sillä yhden päivän poissaoloa varten ei olisi tarvittu Heikinheimon lupaa. Myöhemmin asia selvisi, sillä Risto oli tuona päivänä mennyt naimisiin. Nuori vaimo Aira oli ryhmämme mukana elokuussa Pohjois-Suomessa, joten työmatkamme oli samalla Airan ja Riston häämatka.

Kesän 1939 aikana kenttäapulaisina olivat metsäylioppilaat Olavi Helenius ja Pentti Siltala. Myöhemmin Pentti menehtyi sodassa saamaansa sairauteen, kun taas Olavi teki pitkän työuran Riston apulaisena Metsäntutkimuslaitoksessa. Kesän kenttätyöt aloitimme Kivennavalta, Karjalan Kannakselta ja juhannukseen mennessä ennätimme Imatralle. Kannaksella tuli nähdyksi mm. Raivolan lehtikuusikko. Heinäkuun ajan olin reservin kertausharjoituksissa, ja sinä aikana ryhmä oli edennyt Savon kautta Lappiin, joten kertausharjoitusten päätyttyä tavoitin työryhmän Muoniossa. Sieltä etenimme Kittilään ja Pelkosenniemelle, mistä palasimme Kainuun ja Pohjois-Karjalan kautta etelään. Viimeiset koealat mittasimme Heinolassa lokakuun alussa levottoman ja pelokkaan tunnelman vallitessa. Suursota oli syttynyt Euroopassa syyskuun 1. päivänä. Helsinkiin palatessamme maantiet olivat täynnä evakkoon matkaavia autoja.

Helsingissä oli Metsätalo juuri valmistunut, ja siellä oli varattuna työhuoneet sekä Ristoa että minua varten. Tutkimuksen sisätöitä emme kuitenkaan ennättäneet aloittaakaan, sillä päätyönä Metsätalossa oli varustautuminen sodan varalle, mm. autotallia vahvistettiin pommisuojaksi. Minulle tuli kutsu ylimääräisiin kertausharjoituksiin (YH) lokakuun 15. päivänä – sattui olemaan 24-vuotissyntymäpäiväni – ja Ristolle pian sen jälkeen.

Seuraavat muistot Riston kanssa ovat kesältä 1943. Rintamilla oli silloin hiljainen vaihe, ja siksi opiskelijoille myönnettiin

opintolomia, ja tarvittaessa lomautettiin myös yliopiston opettajia. Risto toimi silloin yliopiston metsänhoitajana ja minä olin metsänarvioimisen ylimääräinen opettaja, ja molemmat olimme sinä kesänä rintamalta lomautettuina Hyytiälässä. Risto johti metsänhoidon kurssia, joka kesällä 1941 oli jäänyt kesken, ja minulla oli johdettavana metsänarvioimisen kenttäkurssi, joka sinä kesänä järjestettiin poikkeuksellisesti Hyytiälässä. Sarvaksen perhe, johon kuului jo kaksi pikku poikaa, asusti Pilvilinnassa. Minä olin mennyt naimisiin huhtikuussa, ja nuoripari Mikola asui ruokalarakennuksen yläkerrassa. Sinä kesänä Hyytiälässä alkoi vuosikymmeniä kestänyt läheinen perheystävyytemme.

Hyytiälässä Risto viimeisteli väitöskirjaansa, ja itse väitöstilaisuus oli 1.4.1944. Olin ensi kertaa mukana myös tohtorinkaronkassa, ja siitä on jäänyt mieleen pari hauskaa muistoa. Vastaväittäjänä ollut professori Erkki Laitakari kertoi puheessaan nähneensä unen, jossa oli samantapaisia nousevia käyriä kuin Riston väitöskirjassa, ja niiden hän selitti kuvaavan Riston tulevaa tieteellistä uraa. Professori O. J. Lukkala kysyi silloin: *"Onko sinulla tapana usein nähdä tuollaisia unia?"* Tähän Laitakari vastasi: *"Aina tarpeen vaatiessa."* Riston veli Jarl taas leikkisessä puheessaan moitiskeli, että Risto on varastanut toisten tutkijain tuloksia ja vielä tunnustaa, mitä hän on keneltäkin varastanut.

Riston väitöskirja *"Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin"* antoi tieteellisen pohjan vuonna 1948 annetulle ns. harsintajulkilausumalle, josta tuli suuntaa näyttävä koko Suomessa harjoitettavalle metsänhoidolle. Suomen metsiä vuosikymmeniä rasittaneet määrämittahakkuut saatiin loppumaan. Itse en julkilausuman valmisteluun juurikaan osallistunut, koska niihin aikoihin valmistelin omaa väitöskirjaani, lähes vuoden ajan, 1946–47, Ruotsissa. Kuten Riston väitöskirjan nimestä näkyy, hän keskittyi siinä eteläiseen Suomeen. Pohjois-Suomesta keräämämme aineiston pohjalta Risto julkaisi vuonna 1950 erillisen tutkimuksen *"Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta"*.



Kuva 3. Metsähallituksen suojametsäretkeilyn osanottajia Inarin Sotajoella 9.7.1958. Vasemmalta Peitsa Mikola ja Gustaf Sirén, viides vasemmalta Risto Sarvas. Kuva: Kuva:Olavi Linnamies/ Lusto/Metsähallituksen kokoelma.

Myöhemmistä yhteyksistä ovat erityisesti jääneet mieleen monet yhteiset retkemme ja niiden varrella käydyt keskustelut. Parhaiten muistuvat mieleen monet yhteiset Lapin matkamme. Meillä oli molemmilla sekä kiinnostusta Lappia kohtaan että melkoisesti Lapin tuntemusta ja kokemusta, ja siksipä yhteisillä retkillämme, sekä kesällä että talvella, pohdimme mm. suojametsä- ja metsänrajakysymyksiä, jotka nimenomaan 1950-luvulla olivat sangen ajankohtaisia. (Kuva 3.) Tutuiksi tulivat myös monet Lapin metsäviranomaiset, esimerkiksi mainio jutunkertoja, Utsjoen hoitoalueen aluemetsänhoitaja Aki Castrén, jonka kanssa kesällä 1957 retkeilimme viikon verran Inarinjärven rannoilla ja Lemmenjoella suojametsien hoitoa ja käyttöä pohtien. Tällä retkellä oli mukana myös 13-vuotias Jukka Sarvas.

Talvisia hiihtovaelluksia teimme kolme. Keväällä 1959 hiihdimme Pallasjärveltä Pallas- ja Ounastunturien yli Hettaan. Viljo Holopainen oli ryhmässä kolmantena. Sama joukko hiihti vuonna 1961 Sevettijärveltä Nuorgamiin. Tällä retkellä oli mukana myös koltta Vasko Mosnikoff neljän poron kanssa, joten reppumme kulkivat ahkioissa. Retkellä tapahtui pikku seikkailujakin. Niinpä kerran sakeassa lumipyryssä Vasko poroineen eksyi muusta joukosta, ja saimme Kolmisjärven porokämpällä odotella parisen tuntia, ennen kuin Vasko osasi perille. Pulmankijoen puolelle tullessamme hanki oli niin paksu ja pehmeä, että porot vajosivat siihen mahaansa myöten ja porojen matka loppui siihen. Vasko joutui lähtemään poroineen paluumatkalle, ja meidän oli otettava reput selkään ja jatkettava matkaa kohti Nuorgamia. Kun matkalta Laanilaan palattuamme Anna-emäntä kysyi, millainen oli pääsiäisemme ollut tunturissa, niin siihen Mylly-Antti, Laanilan toimipaikan esimies Antti Myllymäki, virkahti: *"Eipä se mahtanut rapia olla."* Pääsiäispäiväksi sattui juuri tuo lumimyräkkä, jolloin Vaskokin poroineen eksyi joukostamme.

Kolmas yhteinen hiihtovaelluksemme tapahtui vuonna 1964, jolloin kolmisin hiihdimme Raja-Joosepista Luirojärven ja Suomujoen kautta Laanilaan (kuva 4). Matti Sarvas oli silloin



Kuva 4. Risto Sarvas ja Peitsa Mikola Sokostin huipulla. Kuva: Matti Sarvas/Peitsa Mikolan kokoelma.

kolmantena hiihtomiehenä. Tältäkin matkalta on jäänyt hauskoja muistoja. Niinpä yöpymispaikkaamme Luirojärven kämpälle saapui yllättäen iltamyöhällä joukko helsinkiläisiä partiolaisia, joiden joukosta tunnistin luennoiltani tutun oppilaani Kim von Weissenbergin. Yksi pojista oli sairaana, korkeassa kuumeessa, mutta onneksi lääketieteen kandidaatti Matti Sarvaksella oli mukanaan hyvä lääkevarasto, josta saatiin apu ja partiopoika jälleen hiihtokuntoon.

Yhteisillä Lapin matkoilla – samaten kuin jo yksityismetsien tutkimuksen kesinä – riitti majapaikoissa juttua niin metsänhoidosta kuin muustakin maailman menosta. Myös Helsingissä meillä oli tapana tehdä yhdessä pitkiäkin kävelymatkoja. Niinpä

kun 1940-luvulla asuimme molemmat Käpylässä, kävelimme useasti yhdessä Metsätalolta Käpylään. Myöhemmin taas, kun Risto asui Kulosaaressa ja minä Herttoniemessä, niin välistä sunnuntaisin sovimme kohtaamisesta Naurissalmen sillalla ja sitten kävelimme Laajasaloon, missä Ristolla oli rintamamiespalsta ja pieni mökki. Tästä paikasta käytettiin Sarvasten perheessä nimeä "Tekru" – johtuu kai nimestä Degerö – mutta Riston ammattiveljien piirissä se tunnettiin nimellä "Konklaavi". Erikoinen nimitys johtui siitä, että kun Ristolla oli jokin tärkeä tehtävä suoritettavana, esimerkiksi asiantuntijalausunnon kirjoittaminen tai tutkimusjulkaisun viimeistely, niin hän vetäytyi konklaaviinsa, eli siellä kahvilla ja kaurapuurolla eikä tullut ulos, ennen kuin työ oli tehtynä.

Risto oli parhaimmillaan keskustelijana. Hän perusteli hyvin mielipiteensä, ja hyvät perustelut myös tarvittiin, jotta hän olisi mielipidettään vaihtanut tai muuttanut. Metsänhoidon kysymyksissä olimme yleensä jokseenkin samaa mieltä, varsinaista väittelyä en muista koskaan välillämme esiintyneen, mutta keskusteltavaahan silti riitti. Työskentely Riston seurassa vuosina 1938–39 oli mitä parhainta oppikoulua nuorelle tieteentekijälle, ja myöhempinä vuosina, kun tunsimme olevamme jokseenkin tasavertaisia, keskustelumme olivat varmaan yhtä antoisia meille molemmille. Väitöskirjansa alkulauseessa Risto kirjoittaa: *"Kiitollisuudella ajattelen yhteisessä työssä käytettyä aikaa."* Omalta osaltani voin nyt, yli 60 vuotta myöhemmin, täysin yhtyä näihin sanoihin.

Matti Leikola, Professori, emeritus

Risto Sarvas metsänhoidon tutkijana

Huhtikuussa 1944, suursodan vielä riehuessa, tarkastettiin Helsingin yliopistossa 36-vuotiaan Risto Sarvaksen väitöskirja tukkipuun harsintojen vaikutuksesta Etelä-Suomen yksityismetsiin; teos johon käsityksemme määrämittahakkuiden metsänhoidollisista seurauksista vieläkin pääosin perustuu. Jo ennen sotia aloitettu, mutta poikkeusolojen useaan otteeseen keskeyttämä laaja tutkimus oli nyt valmis.

Väittelijällä oli jo tuolloin osoittaa useitakin metsäpuiden luontaista uudistamista valaisevia selvityksiä. Metsänhoitotieteen opinnäytteenä oli valmistunut vuonna 1937 perusteellinen tutkimus kuloalojen luontaisesta metsittymisestä Pohjois-Suomessa, jota seurasi kasvitieteellinen selvitys muun pintakasvillisuuden kehittymisestä metsäpalon jälkeen. Kun eduskunta oli Keskusmetsäseura Tapion aloitteesta myöntänyt Metsäntutkimuslaitokselle vuonna 1938 erityismäärärahan harsintahakkuilla käsiteltyjen metsien perusteelliseksi tutkimiseksi, työ aloitettiin tuota pikaa Sarvaksen johdolla.



Kuva 1. Sarvaksen tutkimukseen sisältyvä harsintakohde. Nousiainen 1.9.1938. Kuva: Peitsa Mikola.

Aineistoa kertyi runsaasti, yhteensä 159 kohdetta, kaikki suunnilleen Pori–Pieksämäki–Joensuu linjan eteläpuolelta. On ilmeistä, että koemetsiköt edustivat 1930-luvun normaaleja harsintametsiä tyypillisimmillään. (Kuva 1.) Rajatut koealat olivat kooltaan neljänneshehtaarin suuruisia ja niiltä tutkittiin puusto, kannot, taimet ja pintakasvillisuus. Lisäksi Sarvas teki erillisiä mittauksia harsintametsien siemensadosta käyttäen Olli Heikinheimon kehittämää siemenlaatikkomenetelmää.

Harsituissa männiköissä esiintyi varsinkin niiden nuorella iällä selvää monijaksoisuutta, mutta vanhemmille metsiköille oli yksijaksoisuus ominaista. Minkäänlaisesta ns. harsintarakenteesta ei meikäläisissä oloissa ollut puhettakaan. Vain jäkälätyypin männiköissä esiintyi jonkinlaista taipumusta lievään rungoittaiseen monijaksoisuuteen, Sarvas totesi. Kun hakkuut olivat kohdistuneet säännöllisesti metsiköiden järeimpään puustoon, jäljelle jäänyt puusto oli tilavuudeltaan ja myös tuotokseltaan vaatimatonta. Oksikkuudeltaan harsintamänniköt olivat tyydyttäviä, mutta jääneiden puiden rungot olivat perin lenkoja.

Yhteisenä piirteenä kaikille harsintametsille oli siemensadon niukkuus. Taimia oli kuitenkin alkanut ilmestyä harsittuihin männiköihin heti riukuvaiheen jälkeen, mutta uudistusvaihe venyi usein kohtuuttoman pitkäksi. Koivun niukkuus nousseissa taimikoissa johtui suureksi osaksi karjan tuhoista. Vanhana harsittujen männiköiden taimiaines oli yleensä runsaampaa kuin nuorena harsittujen. Sen sijaan edellisten puusto oli usein aivan surkeata: tupsulatvaista jätemetsää, jonka elpymiskyvyttömyys oli silmiinpistävä.

Tuoreiden kankaiden harsintakuusikoiden uudistuminen osoittautui paljon suotuisammaksi kuin männiköiden. Taimikot olivat Sarvaksen asettamien normien mukaan – 4000 tainta hehtaaria kohden – keskimäärin välttäviä ja uudistusaikakin oli kohtuullinen, vain kymmenen vuotta. Vanhojen kuusikoiden uudistuminen osoittautui heikommaksi kuin nuorten, mikä johtui ennen kaikkea hakkuun jälkeen rehevöityneestä pintakasvillisuudesta.

Sarvas pohti myös yksityiskohtaisesti harsittujen metsien kunnostamista tuonaikaisten metsänhoidollisten keinojen avulla. Nuorena harsittujen kuusikoiden ja kuusi-koivu sekametsien muuttaminen täystiheiksi kuusivaltaisiksi taimikoiksi oli yksinkertaista, mutta mäntyvaltaisten harsintajätemetsien uudistaminen vaatisi ainakin maan valmistuksen, ellei jouduttaisi turvautumaan kylvöön tai istutukseen.

Eräänlaisena lisäyksenä tukkipuun harsintoja käsittelevälle tutkimukselle Sarvas julkaisi kaksi vuotta myöhemmin tulokset kaivospuun ja paperipuun määrämittahakkuilla käsitellyistä metsiköistä. Näkymät olivat yleensä vieläkin epätyydyttävämmät, sillä männiköt oli todella hakattu kesken niiden parhaimman kasvun. Sanottavaa elpymistä ei jätemetsissä voitu havaita ja taimiainestakin oli niukalti: vain 2000–8000 tainta hehtaaria kohden epätyydyttävästi ryhmittyneinä.

Alun perin Sarvaksella oli ollut tarkoitus ulottaa harsintatutkimuksensa saman tien myös Pohjois-Suomeen, mutta kenttätyöt keskeytyivät alkuunsa ja niitä päästiin jatkamaan vasta

sotien jälkeen, vuonna 1948. Lapin harsintamänniköiden siemensatoa Sarvas selvitti vanhaan tapaan Heikinheimon kehittämällä siemenlaatikkomenetelmällä. Vaikka harsintametsien siemensato oli yleensä melko heikko, koealoilta mitattujen kehityskelpoisten taimien määrät osoittautuivat täysin tyydyttäviksi. Vaikean kysymyksen, olisiko sellaiset uudistuskypsää puustoa poistavat harsintahakkuut, joiden seurauksena metsikköön syntyi arvokasta puulajia kasvava täystiheä taimikko, katsottava yksityismetsälain vastaisiksi, Sarvas jätti auki. Sen sijaan hän suositteli varsinkin kuivilla karukkokankailla joustavia emopuuston poistomenetelmiä painottaen, että Pohjois-Suomessa ekologiset olot olivat toisenlaiset kuin Etelä-Suomessa.

"Harsinnan ajatus on kitkettävä ammattikunnastamme"

Sarvaksen väitöskirjan antamat tulokset olivat vahvistaneet sen jo Erik Lönnrothin (1925) tutkimusten perusteella tiedetyn seikan, että harsinta ei varsinkaan männiköissä ollut vain kooltaan suurimpien vaan myös elinkelpoisimpien ja kasvuisimpien puiden poistoa. Määrämittahakkuiden negatiivinen vaikutus korostui, kun ajateltiin niiden merkitystä metsien rodulliseen koostumukseen. *"On selvää että ne (harsintahakkaukset) merkitsevät järjestelmällistä negatiivista valintaa, joka ajan mittaan johtaa puurodun huononemiseen metsissämme"*, kirjoitti Sarvas vuonna 1948. Elettiin voimakasta metsänjalostuksen innostuksen kautta. Metsäpuiden rodunjalostussäätiö oli perustettu juuri edellisenä vuonna ja taistelu harsintaa vastaan nähtiin yhtenä keinona parantaa kaikkien metsien geneettistä tasoa.

Harsinnan vastaisen taistelun huipentumana kuusi johtavaa metsänhoitomiestä allekirjoitti marraskuun 13. päivänä 1948 julkilausuman, missä harsinnan luonteiset poimintahakkuut todettiin oloihimme sopimattomiksi. Näiden sijasta suositeltiin käytettäväksi luontaiseen uudistamiseen soveltuvia siemenpuuhakkuuta ja suojuspuuhakkuuta, mikä nimitys korvasi vanhan

"lohkoharsinnan". Myös erilaiset harsintaharvennukset, joita myös kutsuttiin yläharvennusten nimikkeellä, tuomittiin jyrkästi. Pyrkimyksenä oli tällä tavoin välttää kasvatusmetsien liian aikaista hakkuuta vajaapuustoisiksi.

Yhdelläkään julkilausumalla ei ole metsätaloudessamme ollut yhtä suurta merkitystä kuin tällä myöhemmin "harsintajulkilausumaksi" kutsutulla kannanotolla. Julkilausuman epävirallista asemaa tosin korvasivat sen allekirjoittajina olleiden Olli Heikinheimon kiistaton arvovalta ja molempien "nuorten miesten" Erkki K. Kalelan ja Risto Sarvaksen tarmokkuus ja taitavuus. Kun Kalela muutaman vuoden kuluttua siirtyi Keskusmetsäseura Tapion toimitusjohtajaksi ja Sarvas nimitettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston päälliköksi, oli arvovaltaisen tuen jatkuminen taattu. Sotien jälkeen valmistuneet metsänhoitajapolvet kasvatettiin jo Hyytiälästä alkaen vuosikymmeniä täysin harsintajulkilausuman hengessä.

Miten mäntyä ja koivua tulee uudistaa luontaisesti

Siemenpuumenetelmää oli käytetty Suomessakin vuosikymmenet lähes samanlaisena. Luottamus tähän menetelmään olikin vankka. Kun hakkuut oli kaiken lisäksi helppo suorittaa ja valvoa ja kun maisemaan tällä keinoin saatiin avaruutta ja syvyyttä, siemenpuualat myös miellyttivät metsämiesten ja maallikkojen silmää. Toisaalta epäiltiin varsinkin viljavien moreenimaiden siemenpuuhakkuiden mielekkyyttä, kun taimiainesta ei ollut ilmaantunut uudistusalalle vuosikymmeniin. (Kuva 2.)

Vuonna 1949 Risto Sarvas julkaisi käänteentekevän selvityksen siitä, millaisia tuloksia malliksi kelpaavat ja ohjeiden mukaan tehdyt siemenpuuhakkuut olivat antaneet Suomen eteläpuoliskossa. Kooltaan aineistoksi valitut siemenpuualat olivat noin 1,5 hehtaaria vain kahden uudistusalan ylittäessä 3 hehtaarin koon. Siemenpuiden lukumäärä vaihteli 12 rungosta 132 runkoon hehtaaria kohden. Niinpä siemensadon määrä oli Sarvaksen mielestä uudistamista ajatellen riittävä, vaikka se oli usein välittömästi



Kuva 2. Siemenpuuasentoon vuonna 1923 hakattu tuoreen kankaan männikkö Evolla, Lammilla, kuvattuna seuraavana vuonna. Kuva: Lusto/Metsähallituksen kokoelma.

hakkuun jälkeen melko vähäinen. Sitä mukaa kuin emopuuston siemensato parani, maan taimettumiskunto vuorostaan heikkeni ja tuloksena oli usein uudistumisen epäonnistuminen. Kun Sarvaksen mukaan yli 10 cm mittaisia taimia tarvittiin hehtaarilla yli 4000 kpl, hän päätyy selväpiirteisesti suosittelemaan joko maan valmistusta tai varsinkin puolukkatyypillä huomattavan tiheätä emopuustoa.

Sarvaksen tutkimustulokset aiheuttivat selvän muutoksen männyn luontaisen uudistamisen menetelmissä. Nyt alettiin myös mäntyä uudistaa käyttäen tiheitä siemenpuuasentoja eli "tukkipuuasentoja". Vasta kun koneellinen maanmuokkaus 1960-luvulla yleistyi, palattiin uudelleen jo 1800-luvulla

annettuihin ohjeisiin: muokatuille siemenpuualoille jätettiin vain 30–50 emopuuta hehtaarille.

Maamme kolmannen pääpuulajin, koivun, luontaiseen uudistamiseen ei metsänhoidon tutkijain piirissä juuri kiinnitetty huomiota, vaikka hyvälaatuisen vanerikoivun kasvatuksesta puhuttiin 1930-luvulla paljon. Vasta sotien päätyttyä ryhdyttiin Koivukeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä laatimaan tutkimusohjelmaa koivun uudistamisen ja kasvattamisen tehostamiseksi. Uudistumiskysymykset annettiin vasta väitelleelle tri Risto Sarvakselle, jonka perusteellinen tutkimus koivun luontaisesta uudistamisesta ilmestyi painosta vuonna 1948.

Tutkimusaineisto käsitti kaikkiaan 135 koealaa pääasiassa Pohjois-Hämeestä. Lähes kaikki kasvupaikat kanervakankaista lehtoihin olivat aineistossa edustettuina. Erityistä huolta Sarvas piti siitä, että laidunnettuja uudistusaloja ei hyväksytty mukaan tutkimukseen. Koivulle sattui hyviä siemenvuosia joka kolmas vuosi, jolloin siemeniä saattoi kertyä toista sataa kiloa hehtaarille. Siementen runsaus ei Sarvaksen mukaan ollut koivikoiden uudistamisen ongelma, vaan näiden pieni koko ja vararavinnon vähyys. Vain sellaisiin maastokohteisiin, missä maan kosteus oli taattu koko kesän ajan, ilmestyi koivun taimia. Koivun luontaiseen uudistumiseen ei kivennäismailla siten ollut luottamista, ellei maanpintaa poltettu tai muuten muokattu. Jos kulotukseen vielä lisättiin kevyt maanpinnan rikkominen, tulos oli suorastaan erinomainen.

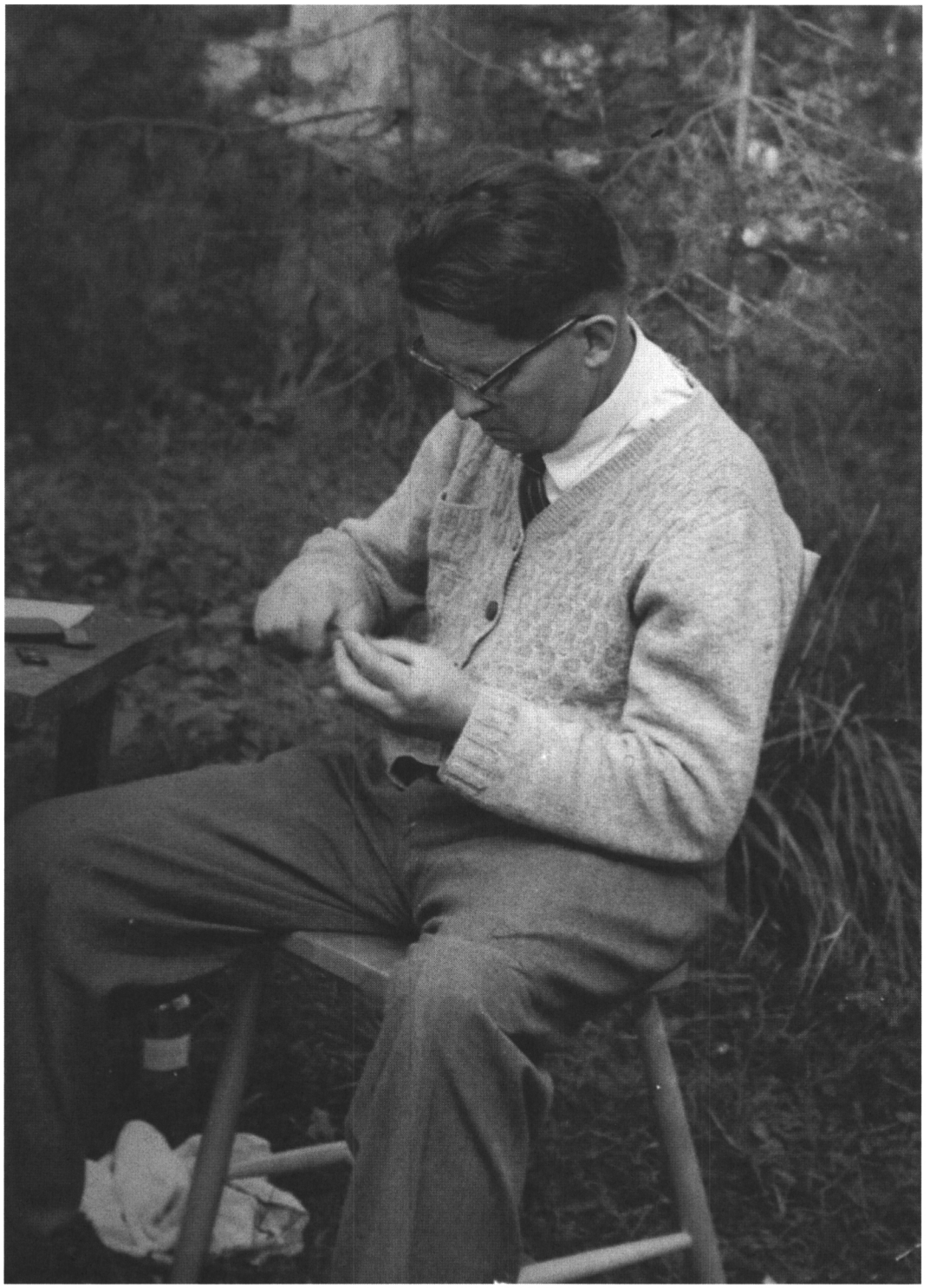
Sarvaksen esittämät tulokset innostivat omalta osaltaan kulottamaan ja lisäsivät koivun kasvatuksen suosiota. Koivun suosio heikkeni kuitenkin 1950-luvun jälkipuoliskolla eikä koivikoiden perustamiseen palattu ennen 1970-lukua, tällä kertaa hyvälaatuisen rauduksen istuttamisen merkeissä. Vasta myöhemmin on uudelleen innostuttu koivun luontaiseen uudistamiseen, edelleen Sarvaksen esittämien tutkimustulosten ohjaamilla poluilla.

Puolukkatyypin kuusikot – metsätyyppijärjestelmän ongelmatapaus

Moreenimaiden kuusettuneet puolukkatyypin kankaat olivat askarruttaneet jo A. K. Cajanderin mieltä, kun hän täydensi ja viimeisteli metsätyyppijärjestelmäänsä 1910-luvun lopulla. Vallitsevan puulajin aiheuttamat pintakasvillisuuden muutokset olivat osoittautuneet juuri tällä metsätyypillä selkeämmiksi kuin muilla tyypeillä. Kerätessään aineistoa harsintatutkimustaan varten Sarvas oli kiinnittänyt huomiota moreenimaiden metsiköiden muuttumiseen hakkuiden jälkeen mäntyvaltaisista kuusivaltaisiksi, joka näytti ilmentävän eräänlaista puulajikehityksen loppuvaihetta. Hän täydensi puolukkatyypin kuusikoista keräämäänsä koeala-aineistoa sotien jälkeen ja tarkasteli tätä metsänkasvupaikkojemme hyvyysluokituksen erityiskysymystä vuonna 1951 julkaisemassaan tutkimuksessa.

Vertaillessaan puolukkatyypin männiköiden ja kuusikoiden tuotosta Sarvas totesi kuusikon tuotoksen olevan vain noin 40–50 % männikön tuotoksesta. Myös pintakasvillisuudessa ilmeni olennaisia eroja, jotka Sarvas selitti pääosin kuusikon suuremman varjostuksen aiheuttamaksi. Tämän mittaamiseksi hän kehitti Werner Cajanuksen jo 1910-luvulla konstruoiman ns. "Cajanuksen putken" avulla tehtävän metsikön latvuspeittävyyden yksinkertaisen ja tarkan mittausmenetelmän. Sarvas kuitenkin pidättäytyi ottamasta kovin kiivaasti kantaa itse metsätyyppijärjestelmän hyvyyteen, vaan tyytyi toteamaan kysymyksen olevan erityisesti puolukkatyypillä ongelmallisen. Sen sijaan metsänhoidollisesti Sarvaksen ohjeet olivat selkeät: koska kuusi valtasi halukkaasti puolukkatyypin kasvupaikkoja mutta uudistui ja tuotti puuta näillä mailla selvästi mäntyä heikommin, ilmiötä oli pidettävä hyvän metsänhoidon vastaisena. "Kuusi pois kuivilta kankailta" vakiintui pian yhdeksi 1950-luvun metsänhoidon johtavista pyrkimyksistä, mikä osaltaan lisäsi tuoreiden ja

Kuva 3. Risto Sarvas valmistelemassa Havupuut-kirjaansa Punkaharjulla noin vuonna 1960. Kuva: Matti Sarvas.



kuivahkojen metsämaiden kulotusta. Sen sijaan kysymys, olisiko puolukkatyyppi jaettava metsänhoidollisista syistä kahteen tai peräti kolmeen alatyyppiin puulajin mukaan, jäi nyt vaille lopullista ratkaisua. Ei kysymys myöhemminkään ratkennut kestävästi, vaikka mm. Teivainen ja Sirén tarkastelivat sitä perusteellisesti muutamaa vuotta myöhemmin.

Sarvas ei kuitenkaan jättänyt metsätyyppien tutkimista sikseen. Vuosikymmenien ajan hän perusti eri puolille Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusalueita pysyviä koealoja, joiden avulla hän pyrki seuraamaan pintakasvillisuuden antaman metsätyyppikuvan muuntumista ajan myötä. Nämä betonipaaluin rajatut koealat osoittautuivat sittemmin erittäin arvokkaiksi, kun ilman saasteet ja maan happamoituminen ja myöhemmin ilmakehän lämpeneminen uhkasivat muuttaa metsäekosysteemien kokonaiskuvaa ennen kokemattomaksi.

"Havupuut"

Risto Sarvas kertoi myöhemmin kiinnostuneensa ulkomaisista puulajeista jo opiskeluaikanaan, erityisesti harjoittaessaan jatko-opintoja kuuluisissa saksalaisissa Tharandtin ja Eberswalden metsäkorkeakouluissa 1930-luvulla. Opettaessaan Helsingin yliopistossa dendrologiaa 1940-luvulla hän syvensi tietojaan mm. eri havupuulajien levinneisyydestä. Uudelleen Sarvas palasi eri puulajien monimuotoiseen maailmaan otettuaan 1950-luvun alussa vastuun Metsäntutkimuslaitoksen vieraspuulajiviljelmistä. Useilla ulkomaanmatkoillaan hän tutustui mm. Pohjois-Amerikan länsiosien rikkaaseen puumaailmaan ja pian hänessä kypsyi ajatus laatia uudenaikainen ja mahdollisimman täydellinen dendrologinen käsikirja. Yli kymmenen vuotta jatkuneen työn tuloksena vuonna 1964 ilmestyi mittava oppi- ja käsikirja "Havupuut". (Kuva 3). Sarvaksen onnistui koota kirjaansa havupuita koskevan tietämyksen olennaisin sisältö. Kirjan kuvitus oli peräisin joko alan ulkomaisista julkaisuista tai Sarvas oli itse

ottanut kuvat. Lukuisat metsäpuiden käpyjä esittävät kuvat oli valokuvattu Helsingin yliopiston kokoelmista. Ulkomaisten puulajien viljelyn ongelmia Sarvas tarkasteli laajasti liittäen esitykseensä mm. päivänpituuden eli fotoperiodin vaikutuksen puiden menestymiseen. Jo kauan loppuunmyydystä Havupuut-kirjasta otettiin vuonna 2002 uusi painos, joka sekin sai innostuneen vastaanoton.

Sarvas metsänhoidon tiennäyttäjänä

Sotien jälkeiset vuosikymmenet olivat metsäpuittemme luontaisen uudistamisen tutkimuksessa ennen kaikkea Sarvaksen aikaa. Hänen panoksensa erityisesti männyn ja koivun luontaisen uudistamisen kehittämisessä olivat siinä määrin kestäviä, että myöhemmät tutkijat toivat 1960-luvulla niihin vain vähän todella uutta. Myös Sarvaksen harsintatutkimus on vieläkin täydellisin ja paras tämän ongelman olennaisimpiin kysymyksiin selvyyttä tuonut tutkimus. Käsityksensä metsien hoidosta Sarvas kiteytti oivallisesti 1950-luvun puolivälissä "Metsäkäsikirjaan" laatimaansa artikkeliin metsänhoidon tekniikasta. Perusteellinen havupuiden dendrologian käsikirja asetti Sarvaksen Max. Hagmanin sanoin *"pysyvästi suomalaisten dendrologien kärkijoukkoon"*.

Kirjallisuutta:

Appelroth, E. 1989. 40 år sedan prof. Olli Heikinheimo utfärdade sin appell mot blädningsartad behandling av skogen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 322: 21–39.

Kalela, E. K. 1949. Luonnonmukainen metsien käsittely. 36 s. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki.

Eljas Pohtila, Professori, emeritus

Sarvas ja pohjoinen ulottuvuus

Risto Sarvaksen tutkimusote oli maantieteellisesti laaja. Hän aloitti, kuten monet viime vuosisadan alun metsäntutkijat uransa Lapista. Yleinen käsitys, että Lappi on metsäntutkimuksessa laiminlyöty alue, ei pidä paikkaansa. Lapin metsätaloudessa koetut vastoinkäymiset on usein kirjattu nimenomaan tutkimuksen puutteen tiliin. Utsjoen aluemetsänhoitajan August Renvallin väitöskirja männyn kukkimis-, käpy-, ja siemenvuosista "polaarisella" metsärajalla oli ensimmäinen suomalainen metsätieteellinen väitöskirja. Se ilmestyi vuonna 1912, pian A.K. Cajanderin kuuluisan *"Ueber Waldtypen"* teoksen jälkeen.

Olli Heikinheimo, syntyjään peräpohjalainen, vaikutti tutkimuksillaan suojametsälain säätämiseen. Metsärajaseutujen eteläpuolelta syntyi tutkimussikermä, jonka aikaansaajia olivat O.J. Lakari, V.T. Aaltonen ja I. Lassila. Lapin kuivien kangasmetsien uudistumisessa ei voitu todeta muuta vaikeutta, kuin että se

tapahtui hitaasti. Sarvaksen ensimmäinen tutkimusjulkaisu oli kuloalojen luontaisesta metsittymisestä Pohjois-Suomessa (1937). Siihen liittyi myös erillinen kasvitieteellinen tarkastelu.

Vaikka Sarvaksen tutkimukset laajenivat sittemmin maailmanlaajuisiksi, "pohjoinen ulottuvuus" ei unohtunut häneltä myöhemmissäkään töissä. Väitöskirjansa rinnakkaistyönä hän julkaisi vuonna 1950 tutkimuksensa Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta. (Kuva 1.) Se osoitti harsittujen metsien uudistumisen pohjoisessa verrattain hyväksi, mikä yllätti monet. Samoin hänen artikkelinsa Pohjois-Suomen kuivien kangasmetsien ekologiasta oli särö "cajanderilaiseen" metsätyyppijärjestelmään. "Kuivat kankaat" eivät lopulta olleetkaan kovin kuivia. Tässä päätelmässä häntä arvatenkin auttoivat mm. Viljo Kujalan tutkimukset. Ilmasto oli lämpötilan alhaisuuden vuoksi pohjoisessa humidinen, kostea.

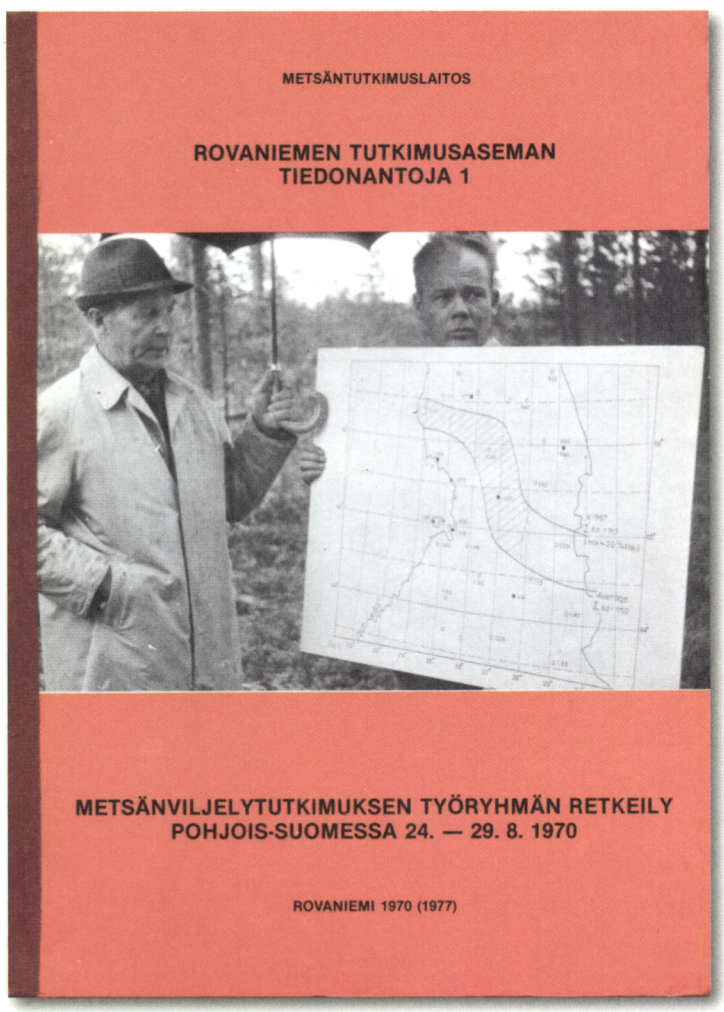


Kuva 1. Harsintakoealan mittaus Pelkosenniemellä 22.8.39. Henkilöt vasemmalta Pentti Siltala, Risto Sarvas ja Peitsa Mikola. Kuva: Olavi Helenius/Peitsa Mikolan kokoelmat.

Sarvas kertoi rekrytoidessaan minut Metlan palvelukseen, että hän oli hyvin kiinnostunut nuorena Lapista ja olleensa valmis jopa jäämään sinne. Tiesin, että hän oli suorittanut nuorena perusteelliset opinnot, mikä ei viitannut aikeeseen hautautua Lappiin. 1960-luvulla oli suuri kohu viljelytaimikoiden tuhoutumisesta pohjoisessa. Maa- ja metsätalousministerinä oli Martti Miettunen, Lapin läänin maaherra, joka vaati Metlalta

toimenpiteitä. Oli puute vapaaehtoisista ja minä syntyperäni vuoksi olin yksi kandidaatti sinne. Olin hiljakkoin armeijan sotakoulut käynyt ja käyttäydyin sen mukaisesti. Sarvas otti kaksi askelta taaksepäin, mittaili minua ja ilmeisesti hyväksyi näkemänsä. – Lähdin perustamaan Rovaniemen metsäntutkimusasemaa.

Sarvas luennoi mielellään alaisilleen kuuluvalla äänellään. Kaikki eivät siitä aina pitäneet. Puhuttiin leikillisesti "Sarvaksen mykkäkoulusta". Ymmärsin pian, että hän halusi sillä tavalla selvittää ajatuksiaan. Kuuntelin häntä mielelläni ja hän taisi huomata sen. Vaikka olin paljon nuorempi, keskustelimme usein. Sain häneltä ohjeita, en ainoastaan tutkimuksen tekoon, vaan yleensä elämään.



Kuva 2. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja nro 1:n kansi, jonka kuvassa Risto Sarvas esittelee lämpösummakarttaa; taulua pitelee Jaakko Rokkonen. Tähän tiedonantoon on kirjattu Sarvaksen vetämän työryhmäretkeilyn keskustelut ja kohteiden esittelyt.

Sarvas jätti 1960-luvulla kokeelliset metsänuudistamistutkimukset nuoremmilleen, kuten hän asian ilmaisi. Jaakko Lehto teki hänen alaisenaan tutkimuksen Pohjois-Suomen männiköiden luontaisesta uudistamisesta (1969), jonka tulokset tukivat aikaisempia päätelmiä. Kullervo Etholén julkaisi (1972) vastaavasti tulokset männyn viljelystä. Siemenen alkuperällä ei voitu havaita mitään vaikutusta tuloksiin, jotka olivat usein kehnoja. Se aiheutti yleistä huolestumista ja joudutti metsän uudistamisen tutkimuksen lisäämistä Pohjois-Suomessa.

Sarvas itse oli siirtynyt metsien uudistumisen perusteisiin ryhtyessään tutkimaan metsäpuiden kukkimista ja siemensatoja. Siitä syntyi komea, käsittääkseni vieläkin maailman huippua edustava tutkimussarja. Pohjoisen pääpuulajin männyn siemensadon huippumäärien ja puuston valtapituuden välillä Sarvas havaitsi seuraavan operationaalisen yhteyden:

$$Y = 4{,}9 \times 1{,}113^{x}$$

missä y = siemeniä kpl/m^2 ja x = metsikön valtapituus, m.

Yhtälön selitysvoima oli hämmästyttävän hyvä. Kaikki alueelliset erot jäävät tasoituksen jälkeen marginaaliin. Jos valtapituus on Pudasjärvellä 20 m, on se esim. Sodankylässä vastaavasti 16 m. Siemensato putoaa Pudasjärveltä Sodankylään siirryttäessä kolmanneksella. Sarvas oli mittauksissaan havainnut, että pohjoisessa oli usein puutetta siitepölystä. Kaikki oli pienen siitepölyhiukkasen varassa, hän kärjisti.

Eräs kollega oli tutkinut siemenpuiden lukumäärän vaikutusta männyn uudistumiseen Lapissa. Siihen aikaan tilastomatemaattiset menetelmät olivat vielä uusia. Hän mittasi taimien lukumäärää etäisyyden funktiona siemenpuusta. Regressioanalyysin tulos oli: mitä pitempi etäisyys siemenpuusta, so. mitä vähemmän siemenpuita, sitä enemmän taimia. Sarvas kuittasi tuloksen kysymällä: *"Oletko tutkinut, tarvitaanko ollenkaan siemeniä?"* Ko. tutkija ei ollut ottanut huomioon siemenpuun kilpailuvaikutusta lähimpään ympäristöönsä.

Sarvas oletti lämpötekijän tärkeimmäksi kasvutekijäksi pohjoisen metsille. Sitä hän kuvasi kasvukauden lämpösummalla, joka saadaan laskemalla yhteen +5 °C ylittävien vuorokausien keskilämpötilat vähennettynä tällä kynnysarvolla. Sarvaksen tutkimusten mukaan männyn runsasta kukkimista edeltävän kesän lämpösumman piti Pohjois-Suomessa olla vähintään 910 päiväastetta (d.d.). Pudasjärvi–Kajaani linjan pohjoispuolella tämä ehto oli laajoilla alueilla sama. Vastaavasti kukkimista seuraavana

kesänä siemenen 50 %:n tuleentuminen, jota voitiin pitää keräysten aloittamisen alarajana, edellytti 845 d.d:n lämpösummaa. (Kuva 2.)

Olettamalla lämpimien kesien vaihtelu satunnaiseksi voitiin säätilastoista laskea, että runsaan kukkimisen todennäköinen frekvenssi oli Pudasjärvellä 0,75 ja esim. Sodankylässä 0,18. Vastaavasti siemenen riittävän tuleentumisen frekvenssi oli Pudasjärvellä 0,87 ja Sodankylässä 0,33. Jotta siemenen keräykseen kannattaa ryhtyä, pitäisi olla sekä riittävästi käpyjä että niissä tuleentunutta siementä. Sellaisten kesien todennäköinen frekvenssi oli Pudasjärvellä 0,75×0,87=0,65 ja Sodankylässä 0,18×0,33=0,06. Tulokset piti ottaa huomioon suunniteltaessa männyn siemenen keräyksiä ja siemenviljelyksien perustamista. Havainnot horjuttivat perinteisiä käsityksiä pohjoisten metsien rodullisesta kokoonpanosta. Pudasjärvi–Kajaani linja näyttäytyi tärkeänä männyn sopeutumisrajana.

Sarvaksen tutkimustulokset herättivät julkista kiistelyä ja polemiikkia, johon itsekin osallistuin. Yritin löytää ennustepohjaa kunnon siemensadoille Lapissa. Se johti minut pitkälle harharetkelle ilmaston vaihtelun viidakkoon, Auringon aktiivisuuden ja gravitaation selvittelyyn. En hevin uskonut, että hyvää siemensatoa ei voi ennustaa. Oli viitteitä, että uudistumisvuodet esiintyivät ikään kuin sikerminä. Kokeilin monenlaista sarjaanalyysiä eli "varvologiaa". Auringonpilkkujakso, so. Auringon aktiivisuuden vaihtelu, antoi joitakin toiveita. Gravitaation vaihteluun minut opasti Ilmatieteen laitoksen ylimeteorologi Väinö Laulaja. Hän käytti sofistikoitua matematiikkaa, josta en saanut selvää. Synodinen Kuu, trooppinen Kuu ja anomalistinen Kuu tulivat kuitenkin tutuiksi ja "sarosjaksot", so. painovoiman vaihtelun jaksot, löytyivät metsärajamännyn vuosilustojen vaihtelusta. Pohjaa siemensatojen ennustamiselle niistä ei ollut.

Yritin pukea painovoiman vaihtelun operationaaliseen muotoon selvittämällä Maan, Kuun ja Auringon vetovoimakombinaatiot. En onnistunut, vaikka tein sen kanssa töitä välillä yökausia. Lopulta soitin Heikki Ojalle, josta tuli sittemmin

almanakantekijä ja "taivaanmekaniikan professori". Hän lohdutti, että kyseessä oli klassinen kolmen kappaleen probleemi eikä kukaan ollut sitä vielä matemaattisesti täysin ratkaissut. Hän neuvoi kuitenkin ottamaan yhteyttä Nasaan, minkä teinkin. Sain melkein paluupostissa Maan, Kuun ja Auringon vuorokautiset koordinaatit vuodesta 1700 vuoteen 2000. Tarkempiakin tietoja luvattiin, jos olisin tarvinnut. Jännityksen vallassa lävistimme tiedot reikäkorteille – se oli sitä aikaa – ja laskimme kollegojeni kanssa Kuun aiheuttamia vetovoimaeroja. Näimme heti, että ne eivät riittäneet selittämään troposfäärin ilmiöitä. Minulla ei ollut sydäntä kertoa tätä epäonnistumista Väinö Laulajalle. Vanha, hieno herra teki kanssani kuitenkin sinunkaupat, ja pidimme yhteyttä hänen kuolemaansa saakka.

Ystäväni professori Pekka Kilkki, joka oli mukana hankkeessa, tapasi sanoa: kun tutkimus epäonnistuu, siitä tehdään julkaisu. Sen tein, eikä siitä huono tullutkaan. Ehkä ilmaston odotettu lämpeneminen ratkaisee tuon minua ja Sarvastakin askarruttaneen ongelman.

Kirjallisuutta:

Leikola, M. 1979. (toim.). Tutkimustoiminta Lapin metsien hoidon ja käytön suuntaajana. Silva Fennica 13:1A. 50 s.

Metsänviljelytutkimuksen työryhmän retkeily Pohjois-Suomessa 24.–29.8.1970. 1970/1977. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 1. 42 s + liitteet.

Pohtila, E. 1980. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holartic Ecology 3: 91–98.

Peter M.A. Tigerstedt, Professori, emeritus

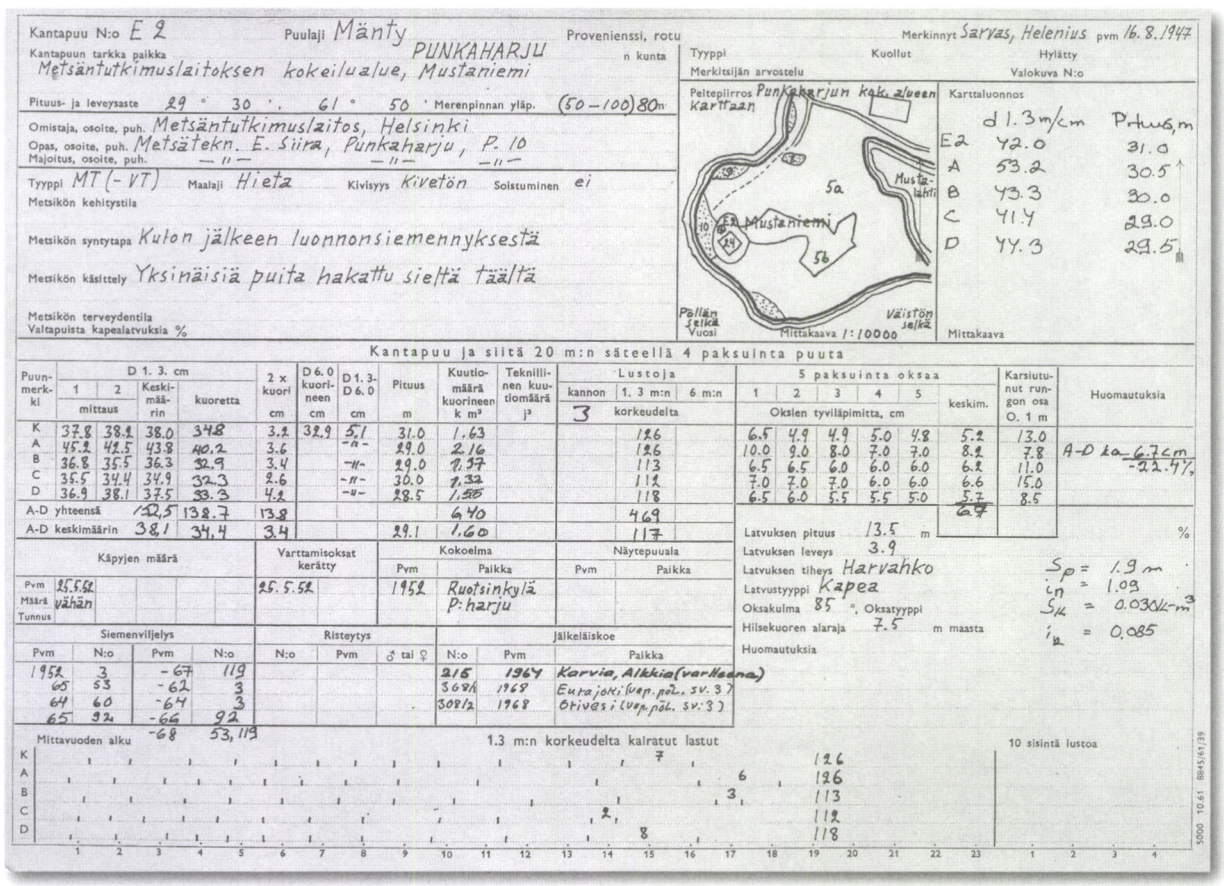
Risto Sarvas metsänjalostajana

Metsäpuiden jalostuksen mahdollisuudet ja tarpeellisuus tunnettiin Suomessa jo maamme itsenäisyyden alkuvuosista lähtien. Muissa Pohjoismaissa metsäpuiden rodunjalostus alkoi jo 1930-luvulla, mutta Suomessa tämä toiminta pääsi alkuun vasta sotavuosien jälkeen. Risto Sarvaksen väitöskirja, Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen metsiin (1944) ja kuuluisa "Harsintajulkilausuma", allekirjoittajina mm. Olli Heikinheimo ja Risto Sarvas, muokkasivat maaperää rodunjalostukselle. Samaan suuntaan vaikuttivat tietysti sotien vuoksi tehdyt laajat hakkuut ja valtakunnan metsäalan pienentyminen. Huoli puuvarojen, erityisesti arvokkaan tukkipuuston riittävyydestä oli suuri.

Hyvin selvä merkkipaalu oli Metsäpuiden Rodunjalostussäätiön (myöhemmin Metsänjalostussäätiö) perustaminen 12.4.1947. Tohtori Risto Sarvas valittiin Säätiön ensimmäiseksi toiminnanjohtajaksi. Hän hoiti tätä tehtävää vuoden 1953 loppuun, jolloin hän sai nimityksen Metsäntutkimuslaitoksen

metsänhoidon professoriksi Olli Heikinheimon jälkeen. Hän ehti kuitenkin aivan alusta lähtien laatia ohjeet ja olla mukana pluspuiden valintatyössä (kuvat 1 ja 2). Kuten tutkimustyössäänkin Risto Sarvas antoi myös jalostustehtävistä seikkaperäiset kirjalliset ohjeet, ja sen lisäksi hän kurssitti työntekijät ennen töihin ryhtymistä. Esimerkiksi ohje *"Metsäpuiden rodunjalostuksen kantapuiden etsiminen"* käsitti 23 sivua.

Vaikka Sarvas luopui Metsänjalostussäätiön toiminnanjohtajan tehtävästä, hän oli vielä monet vuodet vaikuttamassa metsänjalostukseen Suomessa. Metsänjalostus kuului Metsäntutkimuslaitoksessa hallinnollisesti metsänhoidon tutkimusosastoon vuoteen 1970 asti, ja oli näin ollen Sarvaksen komennossa. Oleellinen muutos tapahtui 1965, kun Sarvaksen aloitteesta jalostuksen



Kantapuu N:o E 2 Puulaji Mänty Provenienssi, rotu Merkinnyt Sarvas, Helenius pvm 16. 8. 1947

Kantapuun tarkka paikka PUNKAHARJU n kunta
Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualue, Mustaniemi

Tyyppi Kuollut Hylätty
Merkitsijän arvostelu Valokuva N:o

Pituus- ja leveysaste 29 ° 30 ' 61 ° 50 ' Merenpinnan yläp. (50–100) 80 m

Omistaja, osoite, puh. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki
Opas, osoite, puh. Metsätekn. E. Siira, Punkaharju, P. 10
Majoitus, osoite, puh. — " — — " — — " —

Tyyppi MT (-VT) Maalaji Hieta Kivisyys Kivetön Soistuminen ei
Metsikön kehitystila
Metsikön syntytapa Kulon jälkeen luonnonsiemennyksestä
Metsikön käsittely Yksinäisiä puita hakattu sieltä täältä
Metsikön terveydentila
Valtapuista kapealatvuksia %

Peitepiirros Punkaharjun kok. alueen karttaan

Mittakaava 1:10000

Karttaluonnos

	d 1.3 m/cm	Pituus, m
E2	42.0	31.0
A	53.2	30.5
B	43.3	30.0
C	41.4	29.0
D	44.3	29.5

Mittakaava

Kantapuu ja siitä 20 m:n säteellä 4 paksuinta puuta

Puunmerkki	D 1. 3. cm 1 mittaus	2 mittaus	Keskimäärin	kuoretta	2 x kuori cm	D 6.0 kuorineen cm	D 1.3-D 6.0 cm	Pituus m	Kuutiomäärä kuorineen k m³	Teknillinen kuutiomäärä j³	Lustoja kannon 3 korkeudelta	1. 3 m:n korkeudelta	6 m:n korkeudelta	5 paksuinta oksaa 1 Oksien tyviläpimitta, cm	2	3	4	5	keskim.	Karsiutunut rungon osa O. 1 m	Huomautuksia
K	37.8	38.2	38.0	34.8	3.2	32.9	5.1	31.0	1.63			126		6.5	4.9	4.9	5.0	4.8	5.2	13.0	
A	45.2	42.5	43.8	40.2	3.6		-"-	29.0	2.16			126		10.0	9.0	8.0	7.0	7.0	8.2	7.8	A-D ka 6.7 cm
B	36.8	35.5	36.3	32.9	3.4		-"-	29.0	1.37			113		6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.2	11.0	-22.4%
C	35.5	34.4	34.9	32.3	2.6		-"-	30.0	1.32			112		7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.6	15.0	
D	36.9	38.1	37.5	33.3	4.2		-"-	28.5	1.50			118		6.5	6.0	5.5	5.5	5.0	5.7	8.5	
A-D yhteensä			152,5	138.7	13.8				6.40			469							6.7		
A-D keskimäärin			38,1	34,4	3.4			29.1	1.60			117									

Latvuksen pituus 13.5 m %
Latvuksen leveys 3.9
Latvuksen tiheys Harvahko
Latvustyyppi Kapea
Oksakulma 85 °, Oksatyyppi
Hilsekuoren alaraja 7.5 m maasta
Huomautuksia

S_p = 1.9 m
i_n = 1.09
S_k = 0.030 k-m³
i_k = 0.085

Käpyjen määrä						Varttamisoksat kerätty		Kokoelma Pvm	Paikka	Näytepuuala Pvm	Paikka
Pvm	25.5.52					25.5.52		1952	Ruotsinkylä P:harju		
Määrä	vähän										
Tunnus											

Siemenviljelys Pvm	N:o	Pvm	N:o	Risteytys N:o	Pvm	♂ tai ♀	Jälkeläiskoe N:o	Pvm	Paikka
1952	3	-67	119				215	1964	Karvia, Alkkia (varlleena)
65	53	-62	3				368/1	1968	Eurajoki (vep. pöl. sv. 3)
64	60	-64	3				308/2	1968	Orivesi (vep. pöl. sv. 3)
65	92	-66	92						
		-68	53,119						

Mittavuoden alku 1.3 m:n korkeudelta kairatut lastut 10 sisintä lustoa

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	1	2	3	4
K																											
A																											
B																											
C																											
D																											

5000 10.61 8845/61/39



Kuva 2. Pluspuu E2 Punkaharjun Mustaniemessä. Kuva: Teijo Nikkanen.

perusmateriaalin valinta ja testaus siirrettiin Metsäntutkimuslaitoksen tehtäväksi. Silloin valinnassa ruvettiin soveltamaan kvantitatiivisen genetiikan periaatteita. Toinen, julkisilta vaikutuksiltaan vielä merkittävämpi asia oli samana vuonna vireille pantu valtakunnallisen metsänjalostuksen kehittämisohjelman koostaminen. Vuonna 1966 valmistunut kehittämisohjelma sai aikaan järjestyneen yhteistyön ja työnjaon eri organisaatioiden kesken, ja ennen kaikkea resurssien erittäin suuren lisääntymisen. Voi jopa katsoa, että metsänjalostuksen tutkimusosaston perustaminen Metsäntutkimuslaitokseen ja kasvinjalostuksen professuurin perustaminen Helsingin yliopistoon vuonna 1970 perustuivat paljolti tähän ohjelmaan.

Todettakoon, että Suomen metsänjalostus oli alusta lähtien vahvasti metsänhoitoon kytkeytynyt; julkilausuman kaikki kuusi

allekirjoittajaa olivat maan johtavia metsänhoidon asiantuntijoita. Ruotsin lähtökohta oli tässä suhteessa toinen; aloitteet lähtivät Svalövin kasvinjalostuslaitoksesta ja aloitteentekijät olivat jokseenkin kaikki maatalouden kasvinjalostajia tai Lundin yliopiston geneetikkoja. Alku tapahtui Ruotsissa 1930-luvun lopussa, meillä vasta sotien jälkeen. Suomessa metsänjalostus sai alusta lähtien vahvat sidokset käytäntöön, erityisesti metsänhoitoon, kun taas Ruotsissa metsänjalostuksella oli alussa selvästi genetiikkaan ja maatalouden kasvinjalostukseen liittyviä vahvoja siteitä. Alusta lähtien maidemme metsänjalostuksen erilaiset lähtökohdat olivat hyödyksi molempien maiden alan kehitykselle; sekä metsägenetiikan että metsänjalostuksen sektoreilla olemme oppineet toisiltamme.

Harsinnan tuomitseminen, ja toisaalta metsien harvennuskäsittelyt alaharvennuksin sekä pluspuiden valinta, myöhemmin myös siemenkeräysmetsiköiden valinta parhaiden metsiköiden joukosta tulevat selvästi esiin Risto Sarvaksen julkaisuissa, varsinkin vuosina 1944–1957. (Kuva 3.) Hänen jo ennen vuotta 1948 tekemänsä tutkimukset ja metsien hoito-ohjeet ovat varmasti olleet pohjana harsintajulkilausumaa laadittaessa.

Kuva 3. Plusmetsikkö Sulkavalla 1950-luvulla. Kuva: Risto Sarvas/ Lusto/Tapion kokoelma.



Olen Sarvaksen koko julkaisutuotannosta, vuodesta 1944 aina hänen kuolemaansa saakka, luokitellut harsintaa vastustavina 7 julkaisua ja jalostusta puoltavina 32 julkaisua. Monet niistä ovat yleistajuisia ja saattavat käsitellä sekä harsinnan (negatiivisen valinnan) haittoja että jalostuksen (positiivisen valinnan) hyötyjä. Hänen kirjallinen kokonaistuotantonsa, joka käsittää 137 julkaisua, on tärkeää metsänhoidon ja metsänjalostuksen kannalta. Sarvaksen siemen- ja kasvurytmitutkimukset luovat pohjaa metsänjalostukselle, esimerkiksi



Kuva 4. Risto Sarvas koivun risteytyskokeiden parissa. Kuva: Perhealbumi.

perustettavien siemenviljelysten koostamiselle ja käyttöalueiden määritykselle lämpösumman ja kasvurytmin perusteella.

Sarvas otti vahvasti kantaa oikeastaan kaikkiin metsänjalostuksen keskeisiin kysymyksiin, ja kannanotot saattoivat joskus aiheuttaa melko kärkevää ajatuksenvaihtoa. Sain hänen kannanotoistaan vaikutelman, että hän pyrki edistämään metsänjalostusta vankan perustutkimuksen avulla. Hän pyrki aina osoittamaan että kaiken taustana oli ominaisuuksien geneettinen säätely. Hän piti kiinni tieteellisistä perusteista ja korosti geneettisten tekijöiden pitkäaikaisia vaikutuksia, mikä ei aina ollut sopusoinnussa nopeisiin käytännön tuloksiin pyrkimisen kanssa.

Sarvaksen panos metsänjalostuksessa on todettavissa myös valtakunnallisten siemenviljelysohjelmien ulkopuolella. Hän oli erikoisen kiinnostunut sekä koivun visamuodostuksesta että koivun ja haavan polyploidiasta. Sarvas arvosti koivua myös metsänjalostuksen mallikasvina, "banaanikärpäsenä". Koivu saatiin Metsänjalostussäätiön tehokkaalla muovihuonekasvatuksella kukkimaan ja tekemään siementä jo parin vuoden ikäisenä, ja lisäksi taimien alkukehitys oli paljon vauhdikkaampi kuin havupuilla. (Kuva 4.)

Luin Sarvaksen Havupuut-kirjasta kappaleen *"Metsäpuiden rodut"*, jossa hän paneutuu puiden populaatiogenetiikkaan ja evoluutioon. Hänen esittämänsä ajatukset perustuvat vahvasti genetiikan perustietoihin ja ovat varmasti pohjana myös hänen metsänjalostusta koskevissa kirjoituksissaan. Muistan Riston neuvottelupäivät Punkaharjulla vuonna 1965, jolloin hän toi esiin ja painotti siemenviljelysten pluspuiden jälkeläiskokeiden



Kuva 5. Metsähallituksen vuonna 1957 perustama siemenviljelys nro 23 Vilhelminmäki Jämsässä syksyllä 1984. Kuva: Teijo Nikkanen.

tärkeyttä. Tämän jälkeen Metsähallitus tehosti huomattavasti siemenviljelysten perustamista, ja vuodesta 1968 lähtien se Metsäntutkimuslaitoksen ohjauksessa aloitti myös suurimittakaavaisen jälkeläiskokeiden perustamisoperaation (ns. "mammuttikokeet"). (Kuvat 5 ja 6.) Nämä kokeet ovat mahdollistaneet parhaiden pluspuiden jatkovalinnan ja ovat edelleen luomassa pohjaa metsänjalostustutkimukselle.

Kiitos Risto Sarvakselle että maamme metsänjalostustoiminta sai alusta lähtien vahvat siteet metsänhoitoon. Metsänhoito ja metsänjalostus liittyvät saumattomasti toisiinsa ja ja tämä kytkentä pitää säilyttää myös metsägenetiikan ja metsänhoidon tutkimuksessa. Tämä tarkoittaa geneettisten aspektien, kuten muuntelun, alkuperän ja jalostuksen huomioonottamista



Kuva 6. Männyn jälkeläiskoe 309/2 Leppävirralla vuonna 2002, yksi lukuisista ns. mammuttikokeista. Kokeen ovat suunnitelleet Risto Sarvas ja Reino Saarnio, ja se on perustettu vuonna 1968. Siinä on jälkeläistestauksessa 140 pluspuuta ja pinta-alaltaan se on 5,4 ha (mittasuhteistaan kokeet saivat lempinimensä). Tästä kokeesta on valittu seuraavan polven pluspuita, ja sitä käytetään edelleen myös aktiivisesti puun ominaisuuksien geneettisessä tutkimuksessa. Kuva: Auvo Silvennoinen.

muun muassa metsänhoidon ja kasvu- ja tuotostutkimuksen hankkeissa. Toisaalta geneetikkojen ja jalostajien pitää tuntea metsänkasvatuksen menetelmät ja ongelmat.

Kirjallisuutta:

Oskarsson, O. 1995. Silmällä tehty savotta. Pluspuiden valinnan historia ja arki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 579. 68 s.

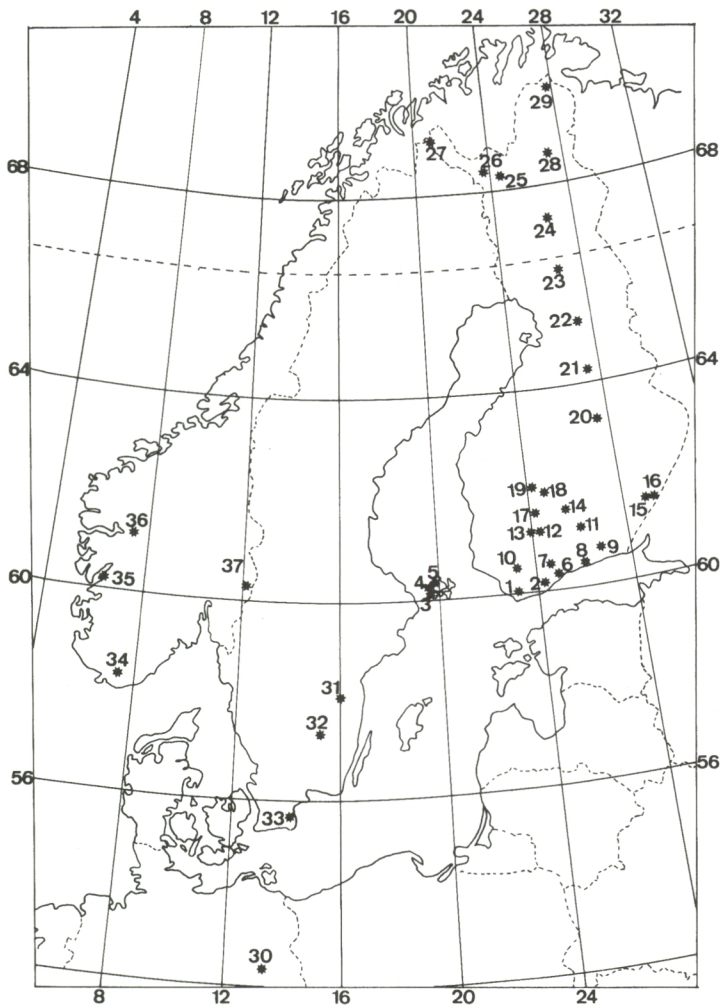
Tyystjärvi, P. 1998. Ei kirveellä vaan geeneillä. Metsänjalostussäätiö 1947–97. Metsänjalostussäätiö, ISBN 951-96623-9-1. 100 s.

Veikko Koski, Professori, emeritus

Siemensadosta vuosisyklimalliin

Suomessa metsäpuiden siemensatojen systemaattinen mittaaminen pysyvillä koealoilla alkoi vuonna 1924 Punkaharjulla. Tuolloin Olli Heikinheimo asetti ensimmäiset näytteenkeruulaatikot harjulla kasvavaan männikköön lähelle sitä rakennusta, joka yhä tunnetaan "Sarvaksen mökkinä". Heikinheimo perusti vastaavia koealoja muihinkin Metsätieteellisen koelaitoksen kokeilualueisiin. Tuloksia siemensatojen vaihtelusta eri puulajeilla julkaistiin Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja -sarjassa vuosina 1932, 1937 ja 1948 otsikolla *"Metsäpuiden siementämiskyvystä"* (I, II ja III).

Risto Sarvas jatkoi 1950-luvulta lähtien Heikinheimon jälkeen siemensatotutkimuksia Metsäntutkimuslaitoksessa. Niille olikin siinä vaiheessa tilaus; sota-ajan, sotakorvausten ja Suomen jälleenrakentamisen tarpeisiin metsien puuvarastoa oli jouduttu raskaasti verottamaan, minkä seurauksena oli suuri määrä uudistettavaa pinta-alaa. Valtiovalta osoitti runsaasti varoja



Kuva 1. Kartta tutkimusmetsiköiden sijainnista. Numerot viittaavat paikkakuntien numerointiin taulukossa 2. Tähdet osoittavat metsiköiden likimääräisen sijainnin.

Figure 1. Location of the research stands. The numbers correspond to those in table 2. The asterices indicate the approximate location of each stand.

Kuva 1. Kartta Sarvaksen siemensatotutkimuksen koealoista (Koski & Tallqvist 1978).

metsien tuoton kohottamistutkimuksiin, joissa siemensatotutkimuksella oli keskeinen osa. Näistä lähtökohdista oli mahdollista ja tarpeellista perustaa ainutlaatuisen laaja koealaverkko ja palkata näytteiden keräämiseen ja käsittelyyn tarvittava apulaisten joukko. Sarvas veikin työn uusiin ulottuvuuksiin. Tutkimuksessa oli mukana 28 puulajia, ja koealoja oli yhteensä 154 kpl. Valtaosa koealoista oli eri osissa Suomea, muutama lisäksi Ruotsissa, Norjassa ja Itä-Saksassa (kuva 1). Jokaisella koealalla oli yleensä 10 karikesuppiloa, joilla kerätyistä näytteistä määritettiin kukinnan ja siemensadon määrät. Lähes kaikilla Suomessa olleilla koealoilla oli myös siitepölyn vapautumisen eli anteesin seuraamista varten kaksi anteesimastoa ja latvusten yläpuolella sääasema. Näillä koealoilla mitattiin lisäksi pölytyksen runsautta ns. pallomittareilla ja sen ajoittumista ns. anteesimittareilla, sekä seurattiin kukinnan kulkua yksityiskohtaisilla havainnoilla. Kun havainnot ja mittaukset tehtiin varttuneissa

pölytysnormaaleissa metsiköissä ja kukintojen korkeudella, usein yli 20 m maanpinnan yläpuolella, tulokset olivat aivan eri tavalla realistisia kuin varhaisemmat "helpoilla" menetelmillä saadut.

Sarvas ei tyytynyt vain kuvaamaan ja tilastoimaan siemensatojen vaihtelua vaan pyrki etsimään selityksiä vaihtelulle ja niiden pohjalta ennustamaan siemensatoja. Edellytyksenä hyvälle siemensadolle on ennen kaikkea runsas ja onnistunut kukinta. Sarvas oivalsi kukinnan ajoittumisen olevan merkityksellinen muutenkin kuin vain siemensadon kannalta. Sen lisäksi, että kukinnan pitää tapahtua sopivaan aikaan kasvukauden alussa, myös kaikkien saman puulajin yksilöiden kukinnan tulee olla samanaikainen eli synkronissa. Tuulipölytys on lyhytkestoinen episodi, ja vain samanaikaisesti kukkivat puut voivat risteytyä keskenään. Kun tuulipölytteisten puiden siitepöly kulkeutuu ilmavirtauksissa sattumanvaraisesti, tehokas pölyttyminen vaatii tiheän siitepölypilven. Sen muodostumiseen tarvitaan sekä runsas hedekukinta että kukinnan synkronointi.

Kukkimishavainnoista, siitepölymittauksista, karikemittauksista, embryologisista kuvauksista ja siementen röntgenkuvauksesta syntyi uudenlainen kokonaiskuva tutkittujen puulajien suvullisesta lisääntymisestä. Metsäpuiden lisääntymisjärjestelmä varmistaa ristisiittoisuuden ja edelleen laajan geneettisen vaihtelun jälkeläistöissä. Tulokset ovat klassisissa ja edelleen usein siteeratuissa julkaisuissa männyn (1962) ja kuusen (1968) kukinnasta ja siemensadosta.

Etsiessään selitystä siemensatojen vaihtelulle Sarvas halusi saada tutkimistaan ilmiöistä objektiivisia ja mahdollisimman tarkkoja lukuarvoja. Metsikön sisäinen vaihtelu saatiin mitattua käyttämällä useita satunnaistettuja mittauspisteitä. Mittaustuloksista voitiin laskea hajonta ja keskiarvon luotettavuusrajat. Vuosien välisen vaihtelun kartoittaminen edellytti pitkiä aikasarjoja; useimmilla koealoilla aineistoa kerättiin vähintään 10 vuotta, muutamilla huomattavasti pidempäänkin. Kun koealoja oli 154 kpl ja niiltä kerättiin monenlaista aineistoa, näytteiden käsittely ja tulosten analysointi työllistivät vuosittain kymmeniä apulaisia.

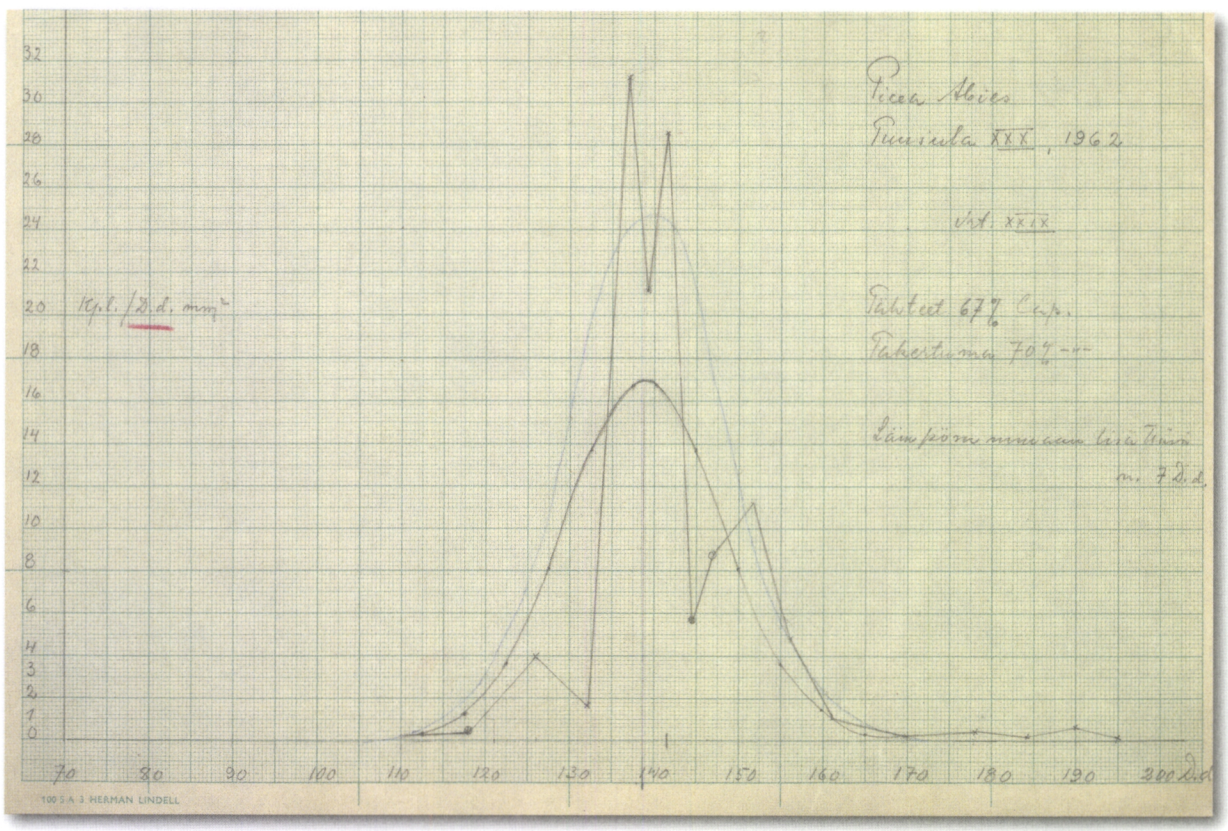


Kuva 2. Siitepölykeräyksen pallomittarin sadehupun viritystä mäntykoealalla, taustalla anteesimittausryhmän leiripaikka. Kuva: Reino Saarnio/ Metlan arkisto.

Maastotöiden organisointi 1950–1960-luvuilla ei ollut aivan helppoa. Silloin ei ollut nykyistä alueellisten tutkimusyksiköiden verkkoa, vaan kaikki varsinainen tutkimushenkilöstö oli Helsingissä. Kulkuyhteydet kokeilualueisiin olivat hankalat ja hitaat. Autoja ei monellakaan ryhmällä ollut käytössä, eikä kaikkien tutkimuskohteiden lähellä ollut edes puhelinta. Kukkimisajan työryhmä asusti teltassa itse koealalla, koska havaintojen teko ja mittareiden päivystys edellyttivät ympärivuorokautista läsnäoloa (kuva 2). Jos sattui huonon sään jakso, leirielämä saattoi olla vähemmän rattoisaa. Maastoon lähdön oikea ajoittaminen oli onnenkauppaa. Vanhastaan tosin tiedettiin, että Etelä-Suomessa kuusi yleensä kukkii toukokuun lopulla ja mänty kesäkuun alussa, mutta ajankohta vaihteli vuodesta toiseen. Kun koko kukinnan määrä ja aikajakautuma piti saada kuvatuksi, mittareiden piti olla toiminnassa kukinnan alusta loppuun. Tarina kertoo, että kun tohtori Eino Oinonen apulaisineen jonain 1960-luvun alkuvuotena tuli normaaliin aikaan kesäkuun alussa Kerimäellä Mäkrän saaressa olevalle koealalle, männyn kukinta oli jo pääosin ohi, ja mittaustulokset jäivät pahasti vajavaisiksi. Seuraavana keväänä komennus alkoikin toukokuun puolivälissä, jotta alkuun varmasti ehdittäisiin. Sinä vuonna männyn kukinta tapahtui vasta juhannuksen aikoihin, joten ryhmä joutui telttailemaan koleassa säässä yli kuukauden. Olipa tarina totta tai hiukan mukailtu, useita tällaisia myöhästymisiä näkyy vanhoissa anteesidiagrammeissa jakautuman alkuosan puuttumisena.

Minun käsitykseni on, että tämä tapahtuma ainakin kiirehti Sarvasta hakemaan selitystä vuosien välisiin aikaeroihin ja kehittämään menetelmää oikean ajankohdan ennakointiin. (Kuva 3.) Erinäisten yritysten jälkeen tuli esiin, että kullakin puulajilla kukinnan maksimin tai yleisemmin sen keskiarvon ajankohtaan mennessä kertynyt lämpösumma (> +5 °C) oli samalla paikkakunnalla jokseenkin yhtä suuri joka vuosi, vaikka päivämäärissä oli usean viikon vaihtelu. (Tämä vaihe saavutettiin muistini mukaan vuonna 1964.) Esimerkkinä oivalluksen merkityksestä olkoon aikasarja männyn anteesin mittauksista Punkaharjulla vuosina 1961–1987. Anteesin mediaanin (vastaa yleensä

Kuva 3. Sarvaksen omakätistä tulosten analysointia millimetripaperilla. Kuusen anteesin l. siitepölyn irtoamisen ajoittuminen Tuusulassa olevassa koemetsikössä vuonna 1962 lämpösumma-asteikolla on merkitty murtoviivalla. Kuvassa oleva matalampi kellokäyrä kuvaa toteutuneen kukinnan mukaista siitepölyn teoreettista irtoamista ja korkeampi vastaavasti ideaalitilanteen mukaista tilannetta (koko kukkimiskapasiteetti on käytetty). Oikean reunan merkintöjen mukaan tässä tapauksessa kukkimiskapasiteetista toteutui noin 2/3.



pölyn leviämisen huippukohtaa) päivämäärien vaihteluväli oli 29 päivää (22.5.–20.6) ja keskihajonta 7 päivää. Lämpösummayksiköissä vaihteluväli oli 62 d.d:tä, mikä vastaa noin 6 päivää, ja keskihajonta 19 d.d:tä, mikä vastaa noin kahta päivää. Kevään lämpösumman kertymän seuraaminen antoi siis varsin luotettavan keinon kukinnan ajankohdan ennakoinnille. (Kuva 4.)

Kun Sarvas vertaili kukinnan lämpösummia samalla puulajilla Suomen eri osissa, ilmeni, että pohjoisessa tarvittiin pienempi lämpösumma kuin etelässä. Jatkotarkastelussa hän totesi, että kukinnan lämpösumma on vakiosuhteessa paikkakunnan koko kasvukauden keskimääräiseen lämpösummaan, mikä kuvaa lajin sopeutumista paikalliseen ilmastoon. Sama säännönmukaisuus esiintyi myös kasvukauden myöhemmissä vaiheissa, joista siemenen tuleentuminen osoittautui erityisen merkittäväksi tunnukseksi. Suomen pohjoisimmassa osassa kukinnan ja siementen tuleentumisen lämpösumma käsitti suuremman osuuden koko kasvukauden lämpösummasta kuin Etelä-Suomessa. Tämä osoitti että männyn ja kuusen kukinnan lämpösummalla on tietty minimivaatimus – kuten myös siemenen tuleentumisella. Tämä selittää sen, ettei siemensato tuleennu keskimääräisen kasvukauden tuloksena, vaan se onnistuu vain poikkeuksellisen lämpiminä kesinä. Sarvas nimesi vajavaisesti sopeutuneen levinneisyysalueen pohjoisosan marginaalipopulaatioksi. Käytännön siemenhuollon kannalta merkittävää oli, että lämpösumman avulla voitiin vuosittain määrittää tuleentumisraja, jonka pohjoispuolelta käpyjä ei ollut syytä kerätä.

Risto Sarvas esitti kehittämänsä mallin metsäpuiden aktiiviperiodin sopeutumisesta kasvupaikan kasvukauden keskimääräiseen lämpösummaan ja levinneisyysalueen puitteissa esiintyvästä rakenteesta Suomalaisen Tiedeakatemian kokouksessa 8.10.1965. Esitelmässään hän puhui "Linsserin mallista" joka oli julkaistu 100 vuotta aikaisemmin, mutta sitten jäänyt unholaan. Sarvas ei siis ollut ensimmäinen, joka yhdisti tietyn kehitysvaiheen lämpösumman vakio-osuudeksi kasvukauden koko kasvukauden lämpösummasta. Ajatus esiintyy jo Reaumurin kirjoituksissa (1735) ja uudelleen edellä mainitun Linsserin julkaisussa

vuodelta 1866. Nämä jäivät kuitenkin vain hypoteesin asteelle, koska varhaiset fenologiset havaintoaineistot olivat hataria ja lämpösummalaskelmat epätarkkoja. Sarvaksella oli uutta "hep-hetken" käsite eli objektiivinen menetelmä sen hetken määrittämiseksi, jolloin yksilön tai populaation keskiarvo saavuttaa tietyn kehitysvaiheen. Merkittävää oli myös, että Ilmatieteen laitokselta oli saatavissa lukuisilta sääasemilta laskettuja lämpösummia 30 vuoden keskiarvoina. Näistä lähtökohdista oli mahdollista täsmällisin luvuin ilmaista kuinka monta prosenttia koko kasvukauden lämpösummasta tarvitaan tietyn kehitysvaiheen saavuttamiseen. Välitön sovellutus tästä oivalluksesta oli työohjeissa annettu lämpösummakertymään perustuva kenttätöiden aikataulu kullekin paikkakunnalle.



Kuva 4. Anteesimittari ja sääkoju männyn latvassa. Kuva: Reino Saarnio/ Metlan arkisto.

Koivujen, kuusen ja männyn kukkimiseen liittyvät työt, kuten risteyttäminen, saatiin uusilla lämpösummaan perustuvilla ohjeilla hyvin aloitetuiksi oikeaan aikaan, mutta varhaiset kukkijat, leppä ja pähkinäpensas, tuottivat joinakin keväinä yllätyksen. Ne alkoivat kukkia ennen kun lämpösummaa (> +5 °C) oli ollenkaan kertynyt. Täytyi siis olla niin, että aktiiviperiodi etenee myös käytettyä kynnyslämpötilaa alemmassa lämpötilassa. Tämä asia selvitettiin Punkaharjulla kokeellisesti. Ideana oli mitata kahden tarkasti määriteltävän kehitysvaiheen välin eli periodivälin etenemiseen kuluva aika eri vakiolämpötiloissa. Todettujen aikamäärien avulla voitiin laskea suhteellinen etenemisnopeus kussakin lämpötilassa. Periaatteessa varsin yksinkertaista, mutta

noin 40 vuotta sitten käytettävissä olleilla välineillä kunnioitusta herättävän innovoinnin ja uurastuksen takana. "Kasvukammioina" käytettiin vanhoja kellaritiloja, joissa nolla-asteen molemmin puolin olevat vakiolämpötilat ylläpidettiin jään ja erilaisten kylmäseosten avulla.

Tutkittavia välietappeja oli myös solutasolla, esimerkiksi siitepölyhiukkasten emosolujen meioosin vaiheita. Sarvas itse mikroskopoi entisen kansakoulun vinttikamarissa valtavan määrän preparaatteja, joita Pentti Manninen ja muut apulaiset valmistivat. Myöhemmässä vaiheessa Alpo Luomajoki teki suuren urakan jatkaessaan preparaattien mikroskopointia. Tuloksena oli kuuluisa sigmoidikäyrä eli p.u.-käyrä aktiiviperiodin etenemisnopeuden lämpötilariippuvuudesta. On syytä korostaa, että lämpösumma oli Sarvakselle vain apukäsite, joka aproksimoi puissa tapahtuvien fysiologisten prosessien etenemistä. Kaikessa yksinkertaisuudessaan lämpösumman kertyminen kuitenkin korreloi hämmästyttävän hyvin kasvukauden tapahtumaketjun etenemisen kanssa. Aktiiviperiodia koskeva julkaisu ilmestyi vuonna 1972.

Aktiiviperiodin eli jokaisen kasvukauden aikana kertautuva tapahtumien ketju oli tullut kiinnitetyksi lämpösummakehikkoon. Tavoitteena oli saada vuosien välinen vaihtelu uuden epälineaariseen lämpötilariippuvuuteen perustuvan "period unit" (p.u.) -muuttujan avulla niin pieneksi, että se selittyisi lämpötilan ja kehitysvaiheiden mittaustarkkuudella. Jostain syntyi kuitenkin selittämätöntä hajontaa. Sarvas alkoi etsiä syytä puiden talvilevosta ja siihen liittyvästä horrosvaiheesta. Puut saattavat olla vielä lepotilassa, kun lämpötila varhain keväällä kohoaa aktiiviperiodia edistävälle lämpötila-alueelle. Jos horros päättyy eri vuosina eri tavoin suhteessa lämpötilan nousuun, mekaaninen lämpösumman laskenta ei alussa toimi tarkasti.

Lepovaihe oli todella haasteellinen tutkimuskohde. Ulkoisesti puut ja silmut pysyvät samannäköisinä, eikä edes mikroskoopilla saada esiin mitään kiinnekohtia. Ainoa menetelmä lähes 40 vuotta sitten, eli 1970-luvun alussa, oli pitää oksanäytteitä eripituisia aikoja rinnakkaisesti useassa vakiolämpötilassa, ja

sitten hyötää oksat kasvatuslämpötilassa. Taas tehtiin suuri työ samoilla yksinkertaisilla välineillä ja vaivoja säästämättä. Havaittujen hyötöaikojen ja viileäkäsittelyn (chilling) lämpötilojen ja keston lukuarvoista oli mahdollista epäsuorasti ja jokseenkin mutkikkailla laskutoimituksilla selvittää horrosvaiheiden etenemisen lämpötilariippuvuudet sekä horrosvaiheiden pituudet tarkoitusta varten kehitetyillä yksiköillä, chilling unit (ch.u.) ja dormancy unit (d.u.). Sarvas ehti vielä yhdistää tulokset horrosvaiheista aikaisemmin aktiiviperiodista saamiinsa tuloksiin ja rakentaa näistä komponenteista koko vuotuisen kierron käsittävän vuosisyklimallin. Sarvaksen viimeinen tieteellinen julkaisu käsitteli horrosvaiheet ja sisälsi yhteenvetona edellä mainitun vuosisyklimallin. Tämä julkaisu oli painossa, kun professori Risto Sarvas täysin odottamatta menehtyi 8. huhtikuuta 1974 rutiinileikkausta seuranneisiin komplikaatioihin.

Vuosisyklimallin kehittäminen lähti liikkeelle tarkan kukkimisajan ennustamisessa ilmenneistä ongelmista, jotka saattavat näyttää vain arkipäiväisiltä käytännön pulmilta. Tiedemies kuitenkin näki tässä ongelman, joka voidaan ratkaista ja siten mahdollisuuden edistää tiedettä. Lopputuloksena olikin varsin teoreettinen malli. Sarvas piti malliaan yleispätevänä niin, että se toimii kaikilla puulajeilla ja myös kasvullisten ilmiöiden kohdalla. Tosin hän korosti, että ns. segmenttitapahtumien (esimerkiksi pituuskasvu- ja sädekasvujakson) sisällä syklimallia ei voi yksioikoisesti soveltaa. Osa palautuvista muutoksista hiilidioksidiaineenvaihdunnassa tai pakkaskestävyydessä selittyy sillä, että segmentin sisällä prosessien nopeus ja suuntakin riippuvat ulkoisista tekijöistä. Kerran kasvuun lähtenyt silmu ei kuitenkaan voi palata takaisin silmuksi. Toisaalta, on kiistattomasti todettu, että vuosisyklin kulkuun vaikuttavat muutkin tekijät kuin lämpötilan ja ajan yhteisvaikutus (thermal time). Tunnetuin tapaus on fotoperiodin vaikutus pituuskasvun päättymiseen. Nämä asiat eivät kuitenkaan kumoa Sarvaksen mallin yleistä ideaa, vaan ne voidaan ja pitääkin lisätä siihen täydennysosina.

Sarvaksen syklimallin keskeinen idea metsäpuiden ilmastoon sopeutumisen tutkimisessa ja ymmärtämisessä on, ettei pelkkä kasvukauden pituuteen ja sen lämpö- ja valotekijöihin keskittyminen riitä, ei vaikka puilla sinänsä olisi riittävä kyky karaistua kestämään talven kylmyys ja kuivuus. Lisäksi tarvitaan kaikkien vaiheiden oikea ajoitus jokaisen vuodenkierron aikana. Lepotilan alkaminen ja karaistumisen nopeus kesän jälkeen, sekä toisaalta horroksen päättyminen ja suveentumisen nopeus talven jälkeen ovat kytköksissä ilmaston mereisyys–mantereisuus-luonteeseen, toisin sanoen vuodenaikojen vaihtelun tyyppiin. Tämä on Sarvaksen syklimallin perusidea, joka pysyy voimassa, vaikka malliin lisätään muita vaikuttavia tekijöitä ja sen rakennetta kehitetään.

Vuosisyklitutkimuksissaan Risto Sarvas tunsi itsensä varmaan usein yksinäiseksi, kun varsin harvat osasivat seurata hänen ajatusrakennelmiaan. Niitä pidettiin aivan liian teoreettisina. Muistan hänen joskus "iltakoulussa" sanoneenkin: *"Minä en näe sitä aikaa, että tämä ymmärretään, mutta sinä näet."* Nyt voimme kunnioituksella todeta, ettei ole pelkästään ymmärretty, vaan hänen työtään jatkamaan on syntynyt kokonainen koulukunta vuosisyklin tutkijoita. Tähän mennessä syklimallin pohjalta on tehty toistakymmentä väitöskirjaa sekä suuri määrä muita tieteellisiä julkaisuja. Lisäksi mallilla on lukuisia käytännön sovellutuksia ainakin metsänjalostuksen, siemen- ja taimituotannon sekä metsänhoidon aloilla. Yhteenvetona voi tiivistää, että siemenestä on syntynyt tiedon puu, joka kasvaa yhä. Sarvaksen vuosisyklimalli tarjoaa vielä jatkossakin teoreettisen lähtökohdan ja tieteellisen lähestymistavan monille tutkijoille.

Kirjallisuutta:

Koski, V. & Tallqvist, R. 1978. Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon mittauksista metsäpuilla. Folia Forestalia 364. 60 s.

Heikki Hänninen, Professori

Sarvaksen vuosisyklimalli

Sarvaksen vuosisyklitutkimusten taustalla olivat käytännön metsätalouteen konkreettisesti liittyvät ongelmat (ks. Veikko Kosken artikkeli). Toisin kuin joskus kuulee väitettävän, käytännön ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan perustutkimusta, ja juuri tämän vuoksi Sarvas päätyi käytännön ongelmia ratkaistessaan tekemään varsin syvällistä puiden anatomian, ekofysiologian ja genetiikan perustutkimusta. Sarvaksen tutkimalla puiden vuosisyklillä on suuri merkitys puiden sopeutumisessa vuodenaikojen vaihteluun pohjoisissa olosuhteissa, joten Sarvaksen tutkima ilmiö on keskeinen myös puiden biologian perustutkimuksen kannalta.

Olemassaolon taistelun vuoksi puiden kasvun täytyy alkaa riittävän aikaisin keväällä ja jatkua riittävän pitkään syksyllä. Tällä tavoin puu käyttää kasvupaikan resurssit mahdollisimman tehokkaasti hyväkseen ja menestyy kilpailussa naapuripuiden kanssa. Liian aikainen kasvun aloittaminen ja sen liian

myöhäinen lopettaminen puolestaan altistaa puun pakkasvaurioille. Kasvun alun ja lopun ajankohtiin kohdistuu näin ollen tasapainottava valinta, jolloin kasvun ajoittuminen määräytyy vastakkaisiin suuntaan vaikuttavien valintapaineiden kompromissina. Ilmaston suuri vuosien välinen vaihtelu vaikeuttaa osaltaan merkittävästi puiden sopeutumista.

Puiden vuodenkiertoon kuuluu hyvin monenlaisia fysiologisia ja morfologisia muutoksia, joista osa on erityisesti lehtensä talveksi varistavien kausivihantien lajien kohdalla niin silmiinpistäviä, että ne luonnehtivat koko metsämaisemaa. Sarvas rajasi vuosisykliteoriansa koskemaan ainoastaan puiden rakenteellista l. ontogeneettistä kehitystä, jolle on tunnusomaista sen palautumattomuus. Monet fysiologisen sopeutumisen l. akklimaation ilmiöt ovat osittain palautuvia. Puiden pakkaskestävyys esimerkiksi voi lisääntyä aikaisin keväällä kylmän kauden aikana sen jälkeen, kun se oli edeltävän leudon kauden aikana ensin vähentynyt. Tällaiset, sinänsä hyvin merkittävät puiden vuodenkierron ilmiöt Sarvas rajasi vuosisykliteoriansa ulkopuolelle.

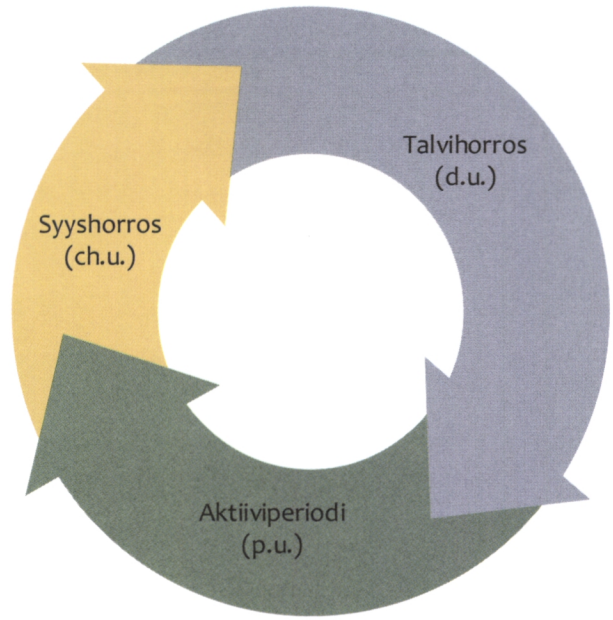
Sarvas korosti, että hänen vuosisykliteoriansa on se aikataulu, jonka puitteissa tietyt puiden ontogeneettisessä kehityksessä erotettavissa olevat lyhytkestoiset ilmiöt l. pistetapahtumat saavutetaan. Tyypillisiä esimerkkejä keväisistä pistetapahtumista ovat kasvullisten silmujen puhkeaminen ja anteesi l. siitepölyn vapautuminen hedekukista. Sarvas itse tutki lähinnä puiden generatiivisten meristeemien, eli kukintoja muodostavien kasvusolukoiden ('kukkasilmujen'), kehitystä, mutta hän yleisti teoriansa koskemaan myös kasvullisten meristeemien kehitystä.

Sarvas esitti boreaalisen ja temperaattisen vyöhykkeen puiden vuosisyklimallinsa kahdessa 1970-luvun alkupuolella Metsäntutkimuslaitoksen *Communicationes*-sarjassa ilmestyneessä julkaisussa. Puiden ja muiden kasvien vuosisyklin tapahtumia oli mallinnettu jo kauan ennen Sarvasta, mutta hänen mallinsa on ensimmäinen, jossa puiden koko vuosisyklin säätyminen

selitetään kvantitatiivisesti. Puiden vuosisykli jakautuu mallin mukaan kolmeen vaiheeseen. Mallia voidaan havainnollistaa kuvitteellisena ympyränmuotoisena tienä, jota pitkin meristeemin kehitys kulkee vuodesta toiseen (kuva 1). Meristeemin kehitysnopeus, eli sen etenemisnopeus tällä kuvitteellisella tiellä, riippuu lämpötilasta siten, että kehitysnopeuden lämpötilavaste vaihtuu aina syklivaiheen vaihtuessa.

Puiden kehitystä kuvataan Sarvaksen mallissa perinteisten lämpösummamallien tavoin erityisten kehitysyksiköiden kertymisellä, jotka siis ovat eräänlaisia puun kuvitteellisen tien kilometripylväitä. Toisin kuin perinteisissä malleissa, Sarvaksen mallissa kehitysnopeuden (l. kehitysyksiköiden kertymisnopeuden) lämpötilavaste perustuu huolellisiin kokeellisiin mittauksiin. Sarvas sovelsi kokeissaan erilaisia tekniikoita, joista monet perustuivat siitepölyn emosolujen mikroskooppiseen havainnointiin. Kokeiden periaate oli aina samankaltainen siitä riippumatta, minkälaisia havaintoja kokeessa tehtiin. Kokeessa määritettiin se kehitysaika, joka kului keskimäärin meristeemin siirtyessä yhdestä kehitysvaiheesta l. pistetapahtumasta (esimerkiksi meioosin metafaasi I) seuraavaan (esimerkiksi metafaasi II). Kehitysnopeus saatiin määritelmän mukaan havaitun kehitysajan käänteislukuna. Koe tehtiin samanaikaisesti useassa eri lämpötilassa, joten sen lopputulokseksi saatiin kyseistä syklivaihetta vastaava kehitysnopeuden lämpötilavaste.

Sarvas osoitti tällä tavoin kokeellisesti, että puiden kukkasilmujen meioosi etenee lämpötilan nollapisteessä, kun perinteisissä lämpösummamalleissa (day degree, d.d.) oletetaan vuosisyklin etenemiselle huomattavasti korkeampi kynnyslämpötila. Näin sai selityksensä myös Sarvaksen koetoiminnan lähtökohtana aikoinaan ollut hämmentävä ilmiö. Sarvashan sovelsi varhaisissa puiden vuosisyklin tutkimuksissaan perinteistä +5°C kynnysarvoa käyttävää lämpösummamallia, kunnes hän eräänä keväänä havaitsi lepän kukkivan ennen kuin lämpösummaa oli kertynyt lainkaan.



Kuva 1. Sarvaksen syklimalli. Sykli voidaan ajatella ympyränmuotoiseksi tieksi, jota pitkin puun meristeemin kehitys kulkee vuodesta toiseen. Kilometripylväinä ovat kutakin kehitysjaksoa varten määritellyt kehitysyksiköt: Aktiiviperiodin periodiyksikkö (period unit, p.u.), syyshorroksen kylmäyksikkö (chilling unit, ch.u.) ja talvihorroksen dormanssiyksikkö (dormancy unit, d.u.). Yksiköiden kertymisnopeus l. meristeemin kehitysnopeus kuvastaa meristeemin etenemisnopeutta. Talvihorroksen ja aktiiviperiodin aikana kehitysnopeus kasvaa lämpötilan kasvaessa, kun taas syyshorroksen aikana kehitys on nopeimmillaan lämpötilan ollessa 3,5 °C. Vaiheiden ajoittuminen vaihtelee vuosittain. Syyshorros vallitsee tyypillisesti syys–lokakuussa, talvihorros marras–huhtikuussa ja aktiiviperiodi touko–elokuussa.

Varhain syksyllä vallitsevaan syklivaiheeseen Sarvas viittaa käsitteillä "syyshorros", tai "dormanssi I" (kuva 1). Tässä vaiheessa meristeemin ontogeneettinen kehitys kohti silmunpuhkeamista tai kukkimista on estynyt meristeemin sisäisten fysiologisten syiden vuoksi. Jo 1920-luvulta lähtien on tiedetty, että altistus viileille, hieman nollapisteen yläpuolisille lämpötiloille poistaa meristeemien fysiologisen lepotilan. Sarvas määritti kokeellisesti lepotilan purkautumisen lämpötilavasteen hieskoivun taimilla ja siemenillä. Siementen syyshorroksella tiedetään olevan monia yhtäläisyyksiä meristeemien syyshorroksen kanssa, joten Sarvas saattoi täydentää taimiaineistoaan siemenaineistolla, jonka kerääminen on menetelmällisesti huomattavasti taimiaineistojen keräämistä helpompaa.

Sarvaksen havaintojen mukaan lepotilan purkautumisnopeus on suurimmillaan lämpötilan ollessa 3,5 °C. Tällöin siis lepotilan purkautumista kuvaavien kylmäyksiköiden (chilling units, ch.u.) kertymisnopeus on suurimmillaan, eli meristeemin liikkumisnopeus kuvitteellisella tiellä on suurimmillaan (kuva 1). Kehitysnopeus pienenee jokseenkin lineaarisesti sekä lämpötilan noustessa optimiarvon yläpuolelle että sen laskiessa optimiarvon alapuolelle. Lämpötiloissa -3,5 °C ja 10,5 °C kehitysnopeus saa arvon nolla, joten tämän vaihteluvälin ulkopuolella silmujen syyshorros ei purkaudu. Ajatus erilaisten kylmäyksiköiden kertymisestä syyshorroksen purkautumisen ajavana voimana ei ollut sinänsä uusi, mutta Sarvaksen julkaisema vaste on lajissaan ensimmäinen kokeelliseen näyttöön perustuva. Tällaisia kokeellisesti määritettyjä vasteita ei ole julkaistu kovin monia tämän jälkeenkään.

Kun lepotilaa purkavia kylmäyksiköitä on kertynyt tietty kriittinen määrä, meristeemi siirtyy automaattisesti seuraavaan syklivaiheeseen, johon Sarvas viittasi käsitteellä "talvihorros" tai "dormanssi II" (Kuva 1). Syyshorroksen purkautumiseen vaadittava kylmäyksiköiden kriittinen määrä vaihtelee puugenotyypistä toiseen. Kunkin puugenotyypin kilometripylväässä on siis syys- ja talvihorroksen rajakohdassa tietty, juuri tuolle genotyypille ominainen kertyneiden kylmäyksiköiden lukema. Siirryttäessä talvihorrosvaiheeseen kilometripylvään lukema nollataan ja aloitetaan dormanssiyksiköiden (dormancy units, d.u.) kertyminen. Kehitysnopeus riippuu edelleen lämpötilasta, mutta kehitysnopeuden lämpötilavaste noudattaa nyt edeltävän vaiheen optimikäyrän sijasta sigmoidaalista käyrää.

Tämän vaiheen vasteen Sarvas määritti kokeellisesti tutkimalla meioosin etenemistä siperianlehtikuusen ja harmaalepän siitepölyn emosoluissa. Vastetta voi approksimoida muuten suhteellisen hyvin perinteisillä lämpösummamalleilla, mutta olennaisena erona on vasteen epälineaarisuus matalissa lämpötiloissa. Sarvas osoitti siis kokeellisesti, että kehitysnopeuden epälineaarista vastetta ei voida approksimoida riittävän hyvin olettamalla tietty kynnyslämpötila, ja sen yläpuolella lämpötilan nousun

mukaan lineaarisesti kasvava kehitysnopeus. Tämä havainto on osoittautunut myöhemmin erityisen merkittäväksi ilmastonmuutostutkimuksen yhteydessä, koska ilmastonmuutoksen seurauksena noita kriittisiä, hieman nollan yläpuolella olevia lämpötiloja esiintyy talvella huomattavasti nykyistä enemmän.

Aivan kuten syyshorroskin, talvihorros saadaan päätökseen, kun sitä vastaavia kehitysyksiköitä (talvihorroksen tapauksessa dormanssiyksiköitä) on kertynyt tietty, kullekin genotyypille ominainen määrä. Tämän seurauksena meristeemi siirtyy automaattisesti seuraavaan vaiheeseen, johon Sarvas viittasi käsitteellä *"aktiivi periodi"* (kuva 1). Kilometripylvään lukema nollataan jälleen, ja aloitetaan periodiyksiköiden (period unit, p.u.) kertyminen.

Tätä syklivaihetta vastaavan lämpötilavasteen Sarvas määritti tutkimalla meioosin etenemistä ja hedekukintaa useilla eri lajeilla. Tämän syklivaiheen aineisto oli huomattavasti laajempi kuin edeltävän talvihorrosvaiheen aineisto. Aktiiviperiodin kehitysnopeuden lämpötilavaste osoittautui jokseenkin samankaltaiseksi talvihorroksen vasteen kanssa. Lämpötilavaste noudattaa kummassakin tapauksessa sigmoidaalista käyrää, mutta talvihorroksen käyrä saturoituu alemmassa lämpötilassa (n. 16 °C) kuin aktiiviperiodin käyrä (> 30 °C). Aikaisempien syklivaiheiden tavoin aktiiviperiodi saadaan päätökseen, kun sitä vastaavien kehitysyksiköiden (aktiiviperiodin tapauksessa periodiyksiköiden) kertymä saavuttaa tietyn, genotyypille ominaisen kriittisen arvon. Tämän seurauksena meristeemi siirtyy automaattisesti uudelleen syyshorrokseen, ja uusi vuosisykli alkaa (kuva 1).

Sarvas korosti, että puiden vuosisykliä on tarkasteltava kokonaisuutena, vaikka ensisijaisena kiinnostuksen kohteena olisikin jokin tietty vuosisyklin vaihe. Esimerkiksi kukkimisen ajoittumiseen keväällä eivät vaikuta Sarvaksen mukaan pelkästään kevään lämpötilat, vaan myös syksyn lämpötiloilla on oma vaikutuksensa. Syyshorros on Sarvaksen mukaan keskeinen tekijä, joka synkronisoi puun kehityksen kasvupaikalla vallitsevan lämpötilan vuodenaikaisvaihtelun kanssa (kuva 1). Syyshorros

takaa, että meristeemien kehitys kohti silmunpuhkeamista tai kukkimista alkaa vasta sitten, kun puu on kokenut aktiiviperiodin päättymisen jälkeen riittävän kylmäaltistuksen. Näin puu ei harhaudu lähtemään kasvuun syksyllä usein esiintyvien pitkienkään lämpimien kausien aikana. Tämä olisikin puun kannalta tuhoisaa, koska aktiivissa vaiheessa ollessaan meristeemit eivät kestä juuri ollenkaan pakkasta.

Sarvaksen malli on mielenkiintoinen yhdistelmä empiriaa ja teoriaa. Kuten edellä todettiin, kutakin kolmea syklivaihetta vastaavat kehitysnopeuden lämpötilavasteet perustuvat poikkeuksellisen vankkaan empiiriseen aineistoon. Näiden vasteiden arvo korostuu erityisesti siksi, että kokeellisesti määritettyjä vasteita on julkaisu Sarvaksen jälkeenkin hyvin niukalti. Sarvas oli kuitenkin myös teoreettinen ajattelija sen lisäksi, että hän oli perusteellista työtä tekevä kokeellinen tutkija. Sarvaksen malliin kuuluu lukuisia teoreettisia oletuksia ja yksinkertaistuksia. Ajatus kolmen vaiheen muodostamasta kehitystiestä on jo sinänsä hyvin pitkälle teoreettinen rakennelma. Myöhemmin on mm. kyseenalaistettu, kuuluuko syyshorros osana meristeemin vuotuiseen kehitykseen Sarvaksen esittämässä, ontogeneettisessä kehitystie-merkityksessä. Lisäksi Sarvas ei ottanut mallissaan yönpituuden vaikutusta lainkaan huomioon, vaikka jo hänen aikanaan oli kertynyt merkittävää näyttöä yönpituuden vaikutuksesta kasvullisten meristeemien aktiiviperiodin päättymiseen.

Sarvas testasi koetoiminnan avulla kehittämäänsä mallia luonnossa tehtyjen kukkimishavaintojen avulla, joiden keräämisessä noudatettiin samankaltaista perusteellisuutta kuin koetoiminnassakin. Aktiivivaiheen lämpötilavasteen testi tuotti mallia varsin vakuuttavasti tukevia tuloksia, kun taas koko syklimallin testaus jätti monia avoimia kysymyksiä.

Toisin kuin saattaisi kuvitella, Sarvaksen mallin teoreettisuus on sen empiirisen pohjan lisäksi mallin toinen suuri vahvuus, ei heikkous. Sarvaksen malli on ajatuksellisesti kirkas looginen rakenne, joka suorastaan yllyttää malliin tutustuneen alan tutkijan sen testaamiseen ja kehittämiseen. Sarvas oli tästä myös

itse varsin hyvin tietoinen. Hänen mallinsa onkin tarjonnut erinomaisen pohjan alan jatkotutkimuksille sekä Suomessa että ulkomailla. Sarvaksen malli jäi hänen omana aikanaan varsin vähälle huomiolle kansainvälisen tiedeyhteisön piirissä, mutta malliin liittyvä tutkimustoiminta vilkastui merkittävästi 1990-luvun alussa ilmastomuutosta koskevien ennusteiden noustua yleiseen tietoisuuteen. Näin Sarvaksen vuosisyklimallista tuli metsäpuiden ekofysiologian tutkimuksen kansainvälinen klassikko jo vuosia ennen Punkaharjulla syksyllä 2008 pidettyä juhlaseminaaria.

Kirjallisuutta:

Hänninen, H. 1986. Metsäpuiden vuosirytmitutkimuksen käsitteistä ja teorioista. Summary: Conceptual remarks about the study of the annual rhythm of forest trees. Silva Fennica 20: 9–22.

Hänninen, H. 1990. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. Acta Forestalia Fennica 213. 47 p.

Hänninen, H. & Kramer, K. 2007. A framework for modelling the annual cycle of trees in boreal and temperate regions. Silva Fennica 41: 167–205.

Olavi Junttila, Professori

Sarvaksen teoria metsäpuiden vuosisyklistä fysiologin näkökulmasta

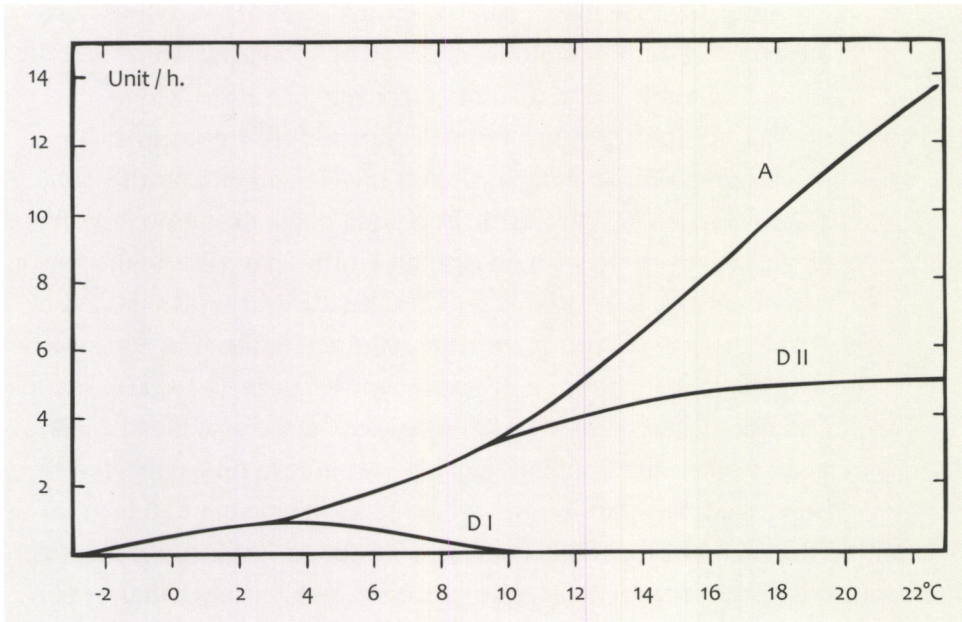
Heikki Hännisen kirjoittamassa luvussa on esitetty Sarvaksen syklimalli ja sen ominaisuudet. Tuosta luvusta käy myös selville se, kuinka uskomattoman laajaan koe- ja havaintomateriaaliin Sarvaksen malli perustuu. Saaduista tuloksista olisi tiivistettynä saattanut muokata tuona ajankohtana varsin valovoimaisen artikkelin parhaimpiin kansainvälisiin sarjoihin. Sarvas käytti kokeissaan useita eri puulajeja ja niistä sekä generatiivisia (suvullisia) että vegetatiivisia (kasvullisia) meristeemejä l. kasvusolukoita (sekä kehitystapahtumia, joihin ei varsinaisesti liity meristeemiaktiivisuutta) ja lähtökohtana oli ajatus, että kehitetty malli on yleispätevä ja selittää kaikkien pohjoisten puulajien vuosisyklin niiden erilaisissa meristeemeissä. Myöhempi tutkimus on keskittynyt lähinnä vegetatiivisten meristeemien tutkimiseen harvoilla puulajeilla. Mallin yleispätevyydestä eri meristeemien ja eri puulajien suhteen ei ole perusteellista näyttöä. Tässä on vielä varsin runsaasti tilaa tutkimuksille.

Sarvaksen tavoitteena ei ollut vuosisyklin fysiologisten mekanismien selvittäminen ja siitä syystä, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, hän käsittelee fysiologista kirjallisuutta varsin rajoitetusti. Tekstistä käy kuitenkin hyvin ilmi, että Sarvas on tuntenut puiden fysiologiaa varsin hyvin. Sarvaksen vuosisyklimalli rakentuu pistetapahtumista ja niiden välisistä jaksoista. Siinä mielessä malli on staattinen eikä välttämättä heijasta sitä, että vuosisykli on dynaaminen prosessi, jolle on tyypillistä asteittainen siirtyminen vaiheesta toiseen vaikka joitakin tapahtumia voidaan käsitellä pistetapahtumina. Sarvaksen vuosirytmikäsitteeseen sisältyy myös ajatus fysiologisesta kellosta, joka on puiden sisäinen ominaisuus ja jota lämpötila ja aika säätelevät. Kasveilla, kuten myös muilla organismeilla, on vuorokausirytmiä säätelevä sisäinen biologinen kello, joka tunnetaan jo jossain määrin myös molekyylitasolla. Mahdollisesta vuosirytmiin liittyvästä (sisäisestä) fysiologisesta kellosta ei ole uudempia tutkimuksia eikä sen olemassaolosta ole pitävää näyttöä. Ennalta määrätyn kasvutavan omaavilla puilla, ja yleensäkin vanhoilla, täysikasvuisilla puilla saattaa olla sisäinen kasvun vuosirytmi, mutta sellaista ei ole kokeellisesti vielä osoitettu.

Esitän seuraavassa joitakin lyhyitä kommentteja sekä vuosisyklistä (aktiivivaihe, syyshorros, talvihorros) että talveentumisesta, joka liittyy keskeisesti pohjoisten puiden vuosisykliin. Annan lisäksi joitakin esimerkkejä vuosisyklin säätelyyn kohdistuvasta uusimmasta fysiologisesta tutkimuksesta.

Aktiiviperiodin päättymisen säätely, syyshorros

Sarvaksen malli selittää aktiivisen kasvujakson päättymisen lämpötilan funktiona. Tutkimuksen aikana päivän pituuden vaikutus kasvun päättymisen säätelijänä, kuten myös fotoperiodisten ekotyyppien olemassaolo, oli jo tunnettu asia, myös Sarvakselle. Sarvas käytti tutkimuksissaan paikalliseen valoilmastoon sopeutuneita populaatioita ja sen lisäksi hän tutki osaksi kehitystapahtumia, joihin päivän pituudella ei ilmeisesti ole



Kuva 1. Lämpötilan vaikutus eri vaiheiden kehitysnopeuteen. (A) aktiivi-periodi; (DI) syyshorros; (DII) talvihorros (Sarvas 1972).

vaikutusta (mm. mikrosporien l. siitepölyhiukkasten emosolujen kehittyminen). Näistä seikoista johtuen päivänpituus ei ollut merkittävä tekijä hänen tutkimuksissaan. Niinpä hän kirjoittikin dormanssijulkaisussaan vuonna 1974: *"Tässä tutkimuksessa valon, erityisesti päivän pituuden vaikutus on jäänyt avoimeksi; toistaiseksi ei kuitenkaan ole näyttänyt tarpeelliselta, tai edes hyödylliseltä, liittää päivän pituutta syklin toimintaperiaatetta koskevaan malliin."* Myöhempi fysiologinen tutkimus on keskittynyt ennen kaikkea juuri päivänpituusreaktioiden mekanismien selvittämiseen ja tässä tutkimuksessa on edistytty merkittävästi. Pohjoisilla, vapaan kasvutavan omaavilla puulajeilla päivän pituus on keskeisin ulkoinen signaali, joka indusoi pituuskasvun päättymisen. Päivän pituuden keskeinen vaikutus tulee erittäin selvästi esille kun vapaan kasvutavan omaavia puita siirretään leveysasteelta toiselle. Myös sellaisissa tapauksissa, joissa päivän pituus ei säätele itse kasvun päättymistä, se saattaa indusoida karaistumisen alkamisen. Puissa on luonnollisesti myös useita

kasvutapahtumia, joihin päivän pituudella ei ole säätelevää vaikutusta. Joillakin puulajeilla myös pituuskasvun päättyminen on alhaisen lämpötilan indusoima tapahtuma.

Kasvun päättymisen yhteydessä on myös huomioitava se, että versojen kasvutapa riippuu sekä lajista että puun iästä. Täysin vapaan kasvun (esim. koivun ja poppelin siementaimien pituuskasvut) päättyminen riippuu lähinnä ympäristötekijöistä (päivänpituus, lämpötila, jne.). Ennalta määrätyn pituuskasvun (esim. mänty) päättyminen riippuu ennen kaikkea kasvin sisäisistä tekijöistä ja ympäristötekijöiden vaikutus on vähäisempi. Ennalta määrätyn kasvun fysiologisesta säätelystä ei vieläkään tiedetä oikeastaan mitään. Vapaan kasvutavan omaavien versojen kasvu saattaa päättyä nopeasti myös kuivuuden ja tiettyjen ravinteiden puutteen takia vaikka sekä lämpö- että valo-olosuhteet olisivatkin edelleen kasvulle suotuisia. Sitä, kuinka tällaiset olosuhteet vaikuttavat itse lepotilan kehittymiseen ei ole tietääkseni tutkittu pohjoisilla puulajeilla. Kasvun päättymiseen johtavat fysiologiset mekanismit ovat ilmeisesti erilaisia riippuen siitä, mikä ulkoinen signaali johtaa kasvun päättymiseen.

Itse kasvun päättyminen ja osaksi myös päätesilmun muodostuminen voidaan käsittää pistetapahtumiksi, mutta lepotilan, syyshorroksen kehittyminen tapahtuu asteittain. Koivulla lepotilan muodostuminen saattaa kestää kasvun päättymisestä kuusikin viikkoa, melkein yhtä pitkä ajan kuin varsinainen syyshorros. Sarvas esittää runsaasti aineistoa, joka osoittaa, että syyshorroksen pituus vaihtelee suuresti eri puulajien kesken; hän selvitti tutkimuksissaan 25 puulajin syyshorroksen pituutta. Syyshorroksen pituus saattaa vaihdella myös provenienssien kesken. Tämän lisäksi on huomattava, että horroksen kehittymisnopeus ja pituus riippuvat suuresti myös ulkoisista olosuhteista. Lepotilan purkaantumiseen vaadittavan kylmäjakson pituus (syyshorroksen pituus) riippuu paitsi kylmäjakson lämpötilasta, myös sekä kylmäkäsittelyä edeltävistä että sitä seuraavista lämpötiloista. Korkea lämpötila horroksen indusoitumisen aikana lisää tarvittavan kylmäkäsittelyn pituutta, mutta korkea lämpötila kylmäkäsittelyn jälkeen saattaa lyhentää tarvittavaa

kylmäkäsittelyä. Horrostilan kehittymisen ja purkaantumisen aikana kehityksen riippuvuus lämpötilasta muuttuu jatkuvasti. Sarvas oli tietoinen Vegisin (1964) näkemyksestä horroksen ja lämpötilan välisestä suhteesta, mutta minun nähdäkseni hänen tulkintansa poikkesi Vegisin ajattelusta. Omissa syyshorroksen pituutta selvittävissä tutkimuksissaan Sarvas käytti vain yhtä hyötölämpötilaa (17°C). Vegisin mallin mukaan syyshorroksen pituudeksi voidaan saada hyvin erilaisia arvoja riippuen siitä, missä lämpötilassa hyötö tehdään. Vegisin kehittämää mallia ei ole kuitenkaan testattu kovin yksityiskohtaisesti puiden silmulevon suhteen.

Talvihorros

Kun lepotilan purkautumiseen tarvittava kylmäkäsittely on täyttynyt, meristeemi siirtyy Sarvaksen mukaan talvihorrokseen. Talvihorros on Sarvaksen mukaan keskeinen vaihe; puut viettävät suurimman osan talvea tässä tilassa. Hän esittää myös, että talvihorroksen alkaminen on syklin luonnollisempi nollapiste kuin aktiiviperiodin alkaminen. Lepotilan jakaminen erilaisiin vaiheisiin ei ole ollenkaan yksinkertainen asia, ja Sarvaskin toteaa että syys- ja talvihorros muodostavat integroidun kokonaisuuden. Lepotilaan liittyvä terminologia on varsin monimuotoinen ja Sarvas tarkastelee aika perusteellisesti sekä terminologiaa että juuri talvihorroksen luonnetta. Hänen mukaansa talvihorros ei ole pelkästään ulkoisista tekijöistä riippuva tila, vaan siihen vaikuttaa myös kasvin sisäinen kehitysrytmi. Näin määriteltynä Sarvaksen talvihorros ei ole identtinen nykyisin yleisesti käytetyn termin "ekohorros" ("ecodormancy", pelkästään ulkoisista olosuhteista johtuva lepotila) kanssa.

Sarvas tutki talvihorroksen etenemistä lehtikuusen (*Larix sibirica*) mikrosporisoluilla (meioosin edistyminen) ja lepän (*Alnus incana*) hededekukinnoilla (hedenorkkojen aukeaminen). Näiden tutkimusten perusteella hän päätteli, että talvihorroksen ja aktiiviperiodin eteneminen on samanlaista alhaisissa

lämpötiloissa (alle 8–10°C), mutta että korkeammat lämpötilat eivät edistä horroksen etenemistä yhtä tehokkaasti kuin aktiivista kasvua. Sarvaksen mukaan talvihorroksen etenemiseen liittyy siten kehitystapahtumia, jotka selvästi poikkeavat aktiivisesta kasvusta ja joiden optimilämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin aktiivisen kasvun optimi (kuva 1). Minulla ei ole tiedossa tutkimuksia, joissa olisi osoitettu tällainen ero kasvullisten silmujen puhkeamisen suhteen. Yleensä korkeat lämpötilat edistävät silmujen puhkeamista varsin tehokkaasti sen jälkeen, kun silmut ovat saaneet riittävän kylmäkäsittelyn (syyshorros on purkaantunut). Mikäli talvihorros jatkuu silmujen puhkeamiseen asti, Sarvaksen mallin mukaan korkeilla lämpötiloilla olisi suhteellisen vähäinen vaikutus silmujen puhkeamisen ajankohtaan. Lämpötilaoptimin muuttumisesta kasvullisten silmujen talvihorroksen edetessä ei ole kokeellista näyttöä. Yksi merkittävä ongelma on se, että tällä hetkellä meillä ei ole tiedossa anatomisia, fysiologisia tai molekyylibiologisia tunnusmerkkejä, joiden avulla horroksen eri vaiheet voitaisiin ajoittaa. Onko talvihorros sitten todella erillinen kehitysvaihe, koska se päättyy esimerkiksi kasvullisten silmujen kohdalla, ja mitä kehitystapahtumia se sisältää? Kas siinäpä taas haasteita tutkijoille.

Vuosisykli ja kylmänkestävyys

Sarvas ei tutkinut varsinaisesti kylmänkestävyyttä, mutta hän käsitteli aiheeseen liittyvää kirjallisuutta varsin perusteellisesti ja tarkasteli kylmänkestävyyttä vuosisyklin valossa. Hän tutki talveentumista mm. seuraamalla lehtien ja siementen varisemista sekä tärkkelyksen kertymistä ja hajoamista mikrosporeissa. Sarvas jakoi karaistumistapahtuman kahteen vaiheeseen, karaistuminen ("hardening") ja suuren kylmänkestävyyden kehittyminen ("development of resistance to (very) low temperatures"). Sarvaksen mukaan karaistumisnopeus (ensimmäinen vaihe) lisääntyy lämpötilan noustessa ja lämpötilan vaikutus karaistumisen etenemiseen olisi samankaltainen kuin

aktiiviperiodin kohdalla. Aktiiviperiodia koskevassa julkaisussaan vuonna 1972 hän kirjoitti:

> "Talveentumisilmiöille on kuitenkin ominaista, että ne ensimmäisessä vaiheessaan, ennen kuin lämpötila on laskenut 0°C alapuolelle, edistyvät nopeimmin korkeissa kuin alhaisissa lämpötiloissa. Etenemisnopeus näyttää riippuvan lämpötilasta likimäärin samalla tavalla kuin aktiivissa periodissa."

Tämä pitänee paikkansa esimerkiksi kasvun päättymisen suhteen; niissäkin tapauksissa, joissa päivän pituus indusoi kasvun päättymisen, se tapahtuu nopeammin korkeassa kuin alhaisessa lämpötilassa. Yleensä pituuskasvun päättyminen on edellytys varsinaisen karaistumisen etenemiselle, Sarvaskin ilmaisi tämän riippuvuuden varsin selvästi. Itse karaistuminen riippuu ennen kaikkea alhaisista lämpötiloista, aluksi alhaisista positiivisista lämpötiloista, mutta maksimaalisen kylmänkestävyyden saavuttaminen edellyttää usein, joskaan ei ehkä aina, pakkasjaksoja. Sarvaksen mukaan maksimaalinen karaistumisaste voidaan saavuttaa vain talvihorroksen aikana. Luonnon olosuhteissa maksimaalinen kylmänkestävyys sattuu yleensä talvihorroksen ajalle, mutta keinotekoisten käsittelyjen avulla suuri kylmänkestävyys voidaan saada jo syyshorroksen aikana. Kirjallisuudessa näkee usein toteamuksen, että lepotila (syyshorros) on edellytys kylmänkestävyydelle. Sarvas oli kuitenkin hyvin selvillä siitä, että varsinainen kylmäkäsittelyä vaativa lepotila ei ole edellytys kylmänkestävyydelle.

Vuosisyklin fysiologia ja molekyylibiologia

Kuten edellä jo todettiin, Sarvas ei keskittynyt tutkimuksessaan fysiologisten mekanismien selvittelyyn. Ennen Sarvaksen tutkimuksen ajankohtaa vuosisyklin kannalta merkittävä fysiologinen tutkimus oli kohdistunut itse lepotilaan ja sen purkaantumiseen. Huomattava osa tästä tutkimuksesta oli kohdistunut kasvihormonien merkitykseen ja Sarvaskin mainitsee

artikkeleissaan abskissihapon, vaikka hän ei muuten pohdikaan lepotilaan liittyviä fysiologisia mekanismeja. Sekä kasvua estävät (abskissihappo, etyleeni) että edistävät (gibberelliini, sytokiniini) kasvihormonit osallistuvat lepotilan säätelyyn, mutta varsinaisista säätelymekanismeista tiedetään edelleenkin varsin vähän. Tietääkseni mikrosporien lepotilasta ei ole tehty hormonifysiologisia tutkimuksia.

Puiden kasvurytmiin liittyvä fysiologinen tutkimus on viime vuosina keskittynyt selvittämään ennen kaikkea päivänpituuden vaikutusta kasvun päättymiseen. Tässä tutkimuksessa on mielenkiinto kohdistunut suurelta osalta valoreseptoreihin, jotka rekisteröivät valosignaalit, kasvihormonien vaikutuksiin ja aivan viime aikoina kasvun päättymiseen liittyvien geenien tutkimiseen. Kasvuhormoneista huomio on keskittynyt gibberelliineihin, joilla on keskeinen merkitys versojen pituuskasvun säätelyssä, sekä abskissihappoon, joka osallistuu sekä silmun muodostukseen että ilmeisesti myös lepotilan säätelyyn. Böhlenius kollegoineen on esittänyt molekyylibiologisen mallin päivänpituuden vaikutuksesta kasvun päättymiseen. Tämä malli näyttäisi selittävän myös provenienssien välisiä eroja kriittisen päivänpituuden suhteen, mutta nähdäkseni nämä tulokset vaativat vielä varmistusta.

Viime vuosina on myös julkaistu suhteellisen laajoja molekyylibiologisia tutkimuksia sekä jällen että silmujen lepotilan kehittymisestä. On luonnollista ajatella, että solutasolla lepotilan säätely olisi samantapainen eri solukoissa (siementen alkio, jälsi, päätemeristeemit silmuissa), mutta mahdollisista yhtäläisyyksistä ja eroista ei ole vielä riittävästi tietoa molekyylitasolla. Verrattuna päivänpituuteen kohdistuviin tutkimuksiin, lämpötilan vaikutusmekanismeja kasvu- ja kehitystapahtumiin on tutkittu molekyylitasolla huomattavasti vähemmän, vernalisointia (kukinnan indusoiminen alhaisella lämpötilalla) lukuun ottamatta. Poppelin perimä on pääpiirtein kartoitettu ja sillä perusteella poppeli sopii hyvin mallikasviksi myös vuosirytmin mekanismien tutkimiselle. Kun käytettävissä on lisäksi kaikki uudet, tehokkaat tutkimusmenetelmät, lähiaikoina on varmasti

odotettavissa uusien tuloksien tulva. Toivottavasti tuosta tulosten runsaudesta muotoutuu vähitellen myös parempi ymmärrys puiden vuosisyklin säätelymekanismeista.

Kirjallisuutta:

Böhlenius, H., Huang, T., Charbonnel-Campaa, L., Brunner, A. M., Jansson, S., Strauss, S. H. & Nilsson, O. 2006. CO/FT regulatory module controls timing of flowering and seasonal growth cessation in trees. Science 312:1040–1043.

Heide, O. M. & Prestrud, A. K. 2005. Low temperature, but not photoperiod controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. Tree Physiol. 35:109–114.

Junttila, O. 2007. Regulation of annual growth cycle in northern tree species. In: Physiology of Northern Plants under Changing Environment (eds. Taulavuori, E. and Taulavuori, K.), pp. 177–210. Research Signpost, Kerala.

Junttila, O., Nilsen, J. & Igeland, B. 2003. Effect of temperature on the induction of bud dormancy in ecotypes of Betula pubescens and Betula pendula. Scand. J. For. Res. 18:208–217.

Rohde, A. & Bhalerao, R. P. 2007. Plant dormancy in perennial context. Trends Plant Sci. 12:217–223.

Ruttink, T., Arend, M., Morreel, K., Storme, V., Rombauts, S., Fromm, J., Bhalerao, R. P., Boerjan, W. & Rohde, A. 2007. A molecular timetable for apical bud formation and dormancy induction in poplar. Plant Cell 19:2370–2390.

Ruonala, R. 2008. Time to rest – Signals in shoot apex developmental transitions underlying dormancy. PhD Thesis, Faculty of Biosciences, University of Helsinki, 18/2008.

Vegis, A. 1964. Dormancy in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 15:185–224.

Seppo Ruotsalainen, MMT

Risto Sarvaksen kirjallinen tuotanto

Risto Sarvaksen tuottelias ja monia merkittäviä tieteellisiä havaintoja tuottanut tutkijanura kesti lähes 40 vuotta; hänen ensimmäinen tieteellinen julkaisunsa on vuodelta 1937 ja viimeinen vuodelta 1974. Laajasti ottaen hänen tutkimustoimintansa keskittyi metsänhoitotieteeseen, mutta tähän yleiskuvaan sisältyy monia vivahteita ja kehityskulkuja, jotka perusteellisempi tarkastelu paljastaa. Tässä katsauksessa tarkastellaan Risto Sarvaksen julkaisutoimintaa yleisellä tasolla. Siinä perehdytään siihen, mitä aiheita hän on tutkinut ja millaisia julkaisuja hän on tuottanut, sekä mikä on näiden julkaisujen vaikutus tieteen maailmassa. Yksittäisten julkaisujen sisältöön tässä yhteydessä ei ole juuri mahdollisuutta paneutua, vaikka joitakin hänen merkittävimpiä julkaisujaan tarkastelun yhteydessä mainitaankin. Samoin nostetaan esiin myös eräitä hänen vähemmän tunnettuja, mutta jollakin tavalla mielenkiintoisia kirjoituksia. Eräissä muissa tämän teoksen artikkeleissa käsitellään monia hänen keskeisimpiä julkaisujaan myös sisällön osalta.

Aineiston rungon muodostaa Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja -sarjassa vuonna 1974 julkaistu Sarvaksen bibliografia. Tätä tarkastelua varten julkaisut on luokiteltu tieteenalan, julkaisutyypin ja kielen mukaan sekä niistä on laskettu sivumäärä. Luokittelu on tehty lähinnä julkaisuluettelossa olleiden tietojen perusteella. Aineistoon on lisätty julkaisuluettelosta puuttuvat viisi julkaisua. Mukaan ei ole kuitenkaan otettu julkaisuluettelosta puuttuvia monistetason kirjoituksia, vaikka muutamia sellaisia on arkistoista löytynytkin. Aineistoon sisältyy todennäköisesti joitakin kahteen kertaan julkaistuja artikkeleita, mutta ne on kelpuutettu mukaan, jos ne ovat olleet erillisinä julkaisuina myös bibliografiassa. Risto Sarvaksen täydennetty, kaikki tiedossa olevat julkaisut käsittävä, julkaisuluettelo on tämän kirjan liitteenä. Sarvaksen julkaisujen tieteellistä vaikuttavuutta tarkasteltiin ISI:n Web of Sciencen avulla tehdyllä viittausanalyysillä.

Yli kolmen tuhannen sivun mies

Risto Sarvaksen kirjallinen tuotanto käsittää kaikkiaan 137 julkaisua (taulukko 1). Vuosien välinen määrällinen vaihtelu oli suurta: nollasta yhdeksään. Julkaisumäärän perusteella aktiivisinta kautta näyttää olleen 1940- ja 1950-lukujen vaihde ja hiljaisinta ymmärrettävästi sotavuodet. Tosin sotakaan ei pystynyt täysin lannistamaan Sarvaksen tutkijanintoa, vaan lukuun ottamatta vuotta 1943 hän julkaisi myös kaikkina sotavuosina, ja hänen harsintahakkuita käsittelevä väitöskirjansa valmistui vuonna 1944.

Vuotta kohti laskien Risto Sarvaksen julkaisumäärä on hieman alle neljä julkaisua vuodessa. Tämä ei välttämättä tunnu nykyisenä pakkotahtisen julkaisutehtailun aikakautena kovin suurelta määrältä, mutta kun tarkastellaan sivumääriä, tilanne muuttuu. Sarvaksen julkaisut käsittävät yhteensä yli 3000 sivua, eli julkaisun keskimääräinen sivumäärä on 22 ja vuosituotanto reilut 80 sivua (taulukko 1). On lisäksi otettava huomioon, että nykytilanteesta poiketen hän oli, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, julkaisujensa ainoa kirjoittaja.

Taulukko 1. Risto Sarvaksen julkaisut tieteenalan ja julkaisutyypin mukaan ryhmiteltyinä.

Julkaisujen lukumäärä
Julkaisutyyppi

Tieteenala	Tieteellinen	Yleistajuinen	Hallinto ja opetus	Kaikki yhteensä	Kaikki yhteensä, %
Metsänhoito	12	44	1	57	42
Siementuotanto	8	11	1	20	15
Metsänjalostus	6	25	1	32	23
Vuosirytmi	6	4		10	7
Dendrologia		6	1	7	5
Muu	1	9	1	11	8
Kaikki yhteensä	33	99	5	137	100
Kaikki yhteensä, %	24	72	4	100	

Julkaisujen sivumäärä
Julkaisutyyppi

Tieteenala	Tieteellinen	Yleistajuinen	Hallinto ja opetus	Kaikki yhteensä	Kaikki yhteensä, %
Metsänhoito	881	286	23	1190	39
Siementuotanto	415	52	13	480	16
Metsänjalostus	102	123	20	245	8
Vuosirytmi	264	38		302	10
Dendrologia		553	31	584	19
Muu	64	113	83	260	8
Kaikki yhteensä	1726	1165	170	3061	100
Kaikki yhteensä, %	56	38	6	100	

Selvästi suurimman ryhmän Sarvaksen julkaisuista muodostavat metsänhoidon perusteita (metsien uudistaminen, hakkuutavat, pintakasvillisuuden kehitys jne.) käsittelevät julkaisut, noin 40 % julkaisujen määrästä (taulukko 1). Metsänhoitoon läheisesti liittyvä metsäpuiden siementuotanto käsittää 15 % julkaisuista. Metsänjalostusta koskevia julkaisuja on lukumäärästä lähes neljännes (23 %), mutta sivumäärästä vain 8 %. On ehkä yllätys, että tieteellisesti syvimmälle puiden fysiologiaan porautuva ja kansainvälisestikin hyvin tunnettu vuosirytmitutkimus käsittää vain kymmenkunta prosenttia Sarvaksen

tutkimustoiminnasta (lukumäärästä 7 % ja sivumäärästä 10 %). Dendrologisia julkaisuja on vain 5 % Sarvaksen tuotannosta, mutta kokonaissivumäärästä peräti 19 %. Tämä epäsuhta selittyy yhdellä ainoalla julkaisulla: vuonna 1964 ilmestyneellä 518-sivuisella Havupuut-kirjalla. Viimeinen luokka, muita aiheita käsittelevät julkaisut käsittää 8 % Sarvaksen tuotannosta.

Tiedettä ja tiedottamista

Valtaosa, yli 70 %, Risto Sarvaksen julkaisuista on luokiteltavissa yleistajuisiksi kirjoituksiksi ja vain noin neljännes on tieteellisiä alkuperäisjulkaisuja (taulukko 1). Muutama julkaisu kuuluu myös hallinnon ja opetuksen piiriin. Sivumääriä tarkasteltaessa tieteellisten julkaisujen merkitys nousee kuitenkin huomattavasti suuremmaksi, 56 %:in. Tämä johtuu siitä, että tieteelliset julkaisut ovat yleensä kohtuullisen paksuja ja perusteellisia monografioita (keskimäärin 52 sivua), kun taas yleistajuiset julkaisut ovat muutaman sivun mittaisia (keskimäärin 7 sivua ilman Havupuut-teosta) tutkimustulosten tiivistelmiä tai muita metsänomistajien ja metsäammattilaisten valistamiseen tarkoitettuja kirjoituksia.

Risto Sarvaksen tyypillinen tieteellisten töiden julkaisufoorumi oli Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja -sarja, jossa ilmestyivät kaikki hänen keskeisimmät tutkimuksensa. Hänen ensimmäiset julkaisunsa, jotka hän teki ollessaan Helsingin yliopiston palveluksessa ja jotka perustuivat hänen metsänhoitotieteen ja kasvitieteen laudaturtöihinsä, ilmestyivät Suomen Metsätieteellisen Seuran sarjoissa (Acta Forestalia Fennica ja Silva Fennica). Uran loppupuolella Sarvakselta ilmestyi tieteellisiä artikkeleita myös erilaisten tieteellisten kokousten julkaisuissa, mutta hänen aikanaan ei ainakaan Metsäntutkimuslaitoksessa ollut vielä käytäntönä julkaista ulkomaisissa vertaisarviointia käyttävissä tieteellisissä sarjoissa. Itse asiassa suorastaan edellytettiin, että Metsäntutkimuslaitoksen tutkijat julkaisivat työnsä laitoksen

omassa sarjassa. Ainoastaan kolme hänen artikkeliaan ilmestyi ulkomaisissa tieteellisissä sarjoissa.

Risto Sarvaksen yleistajuisilla julkaisuilla ei ollut yhtä selvää "kotijulkaisusarjaa" kuin tieteellisillä julkaisuilla. Yleisimmin Sarvas käytti tiedonlevityskanivanaan Metsätaloudellista aikakauslehteä, Metsälehteä ja Skogsbruketia. Näissä ilmestyi suunnilleen puolet hänen yleistajuisista julkaisuistaan. Itse asiassa usein sama kirjoitus ilmestyi sekä Metsätaloudellisessa aikakauslehdessä että Metsälehdessä. Samoin samasta aiheesta saattoi ilmestyä sekä suomen- että ruotsinkielinen versio. Hän kirjoitti myös yleistajuisia lukuja metsätalouden peruskysymyksistä tai ajankohtaisista teemoista moniin metsäalan kirjoihin ja hyvinkin monenlaisiin sarjajulkaisuihin. Tätä kirjoa kuvaavat seuraavat sarjajulkaisut, joissa hänen kirjoituksiaan on ilmestynyt: Luonnon Ystävä, Suomen Luonto, Metsäylioppilas, Metsämies ja Talouselämä. Vaikka Sarvas tutkijantyössään selvästi pyrkikin edistämään tehokasta puuntuotantoa, ei häneltä silti puuttunut myöskään luonnon aineettomia arvoja ymmärtävää näkemystä. Tästä olkoon esimerkkinä hänen kirjoituksensa pohjoismaisista ikimetsistä sveitsiläisessä metsäalan lehdessä vuonna 1959.

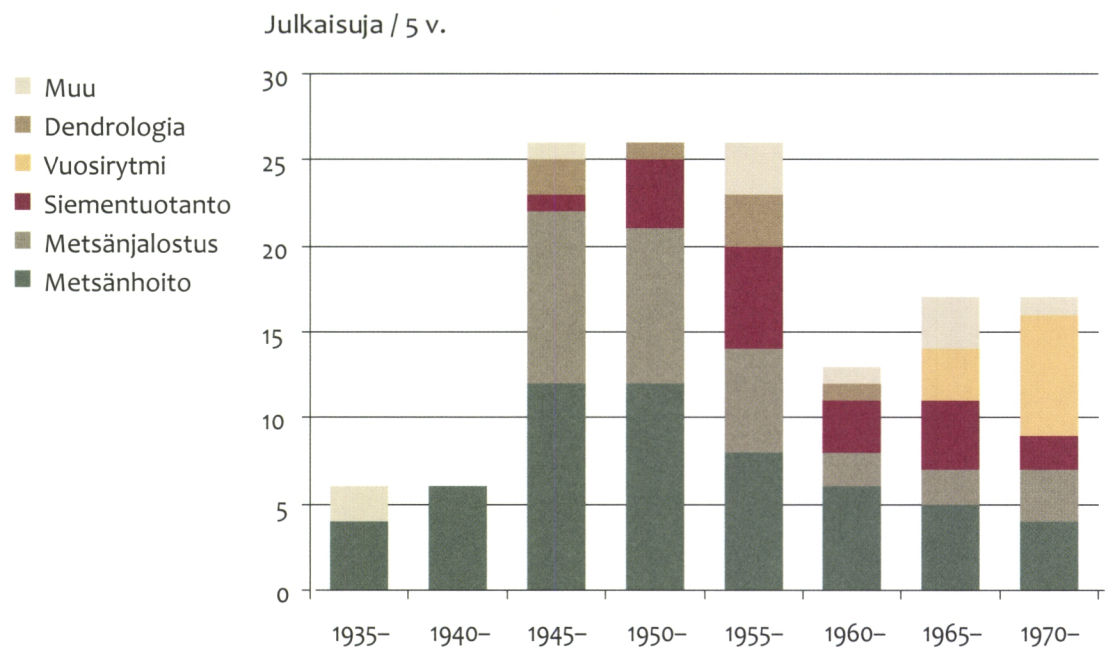
Metsänhoitotiede kaiken pohjana

Metsänhoitotieteelliset julkaisut muodostavat myös ajallisessa tarkastelussa Risto Sarvaksen työn perustan. Hänen ensimmäinen julkaisunsa oli metsänhoitotieteen alaan luettava ja tämän aihepiirin osuus hänen tuotannostaan säilyi vankkana kaikkina aikoina (kuva 1). Varsin huomattava osa (77 %) tämän aihepiirin julkaisuista on yleistajuisia, metsäammattilaisille suunnattuja kirjoituksia (taulukko 1). Risto Sarvasta voikin pitää esimerkillisenä tutkimustiedon popularisoijana. Hän esimerkiksi kirjoitti harsintahakkuita koskevien kolmen tieteellisen julkaisunsa lisäksi yhteensä kuusi aihetta käsittelevää yleistajuista artikkelia.

Metsänjalostusta koskevan julkaisutoiminnan Risto Sarvas aloitti vuonna 1946, eli vuotta ennen kuin käytännön metsänjalostus alkoi Suomessa. Tähän aihepiiriin liittyvä kirjallinen aktiviteetti oli vilkkaimmillaan 1940-luvun loppupuolella ja seuraavan vuosikymmenen alussa, jolloin hän toimi Metsänjalostussäätiön toiminnanjohtajana, mutta jatkui jossain mitassa hänen uransa loppuun saakka (kuva 1). Myös metsänjalostuksen julkaisuissa painopiste on selvästi yleistajuisten julkaisujen puolella, erityisesti jos tarkastellaan julkaisujen sivumääriä (taulukko 1). Metsänhoitotieteestä poiketen metsänjalostuksen yleistajuiset artikkelit eivät niinkään ole yhteenvetoja tieteellisten julkaisujen sisällöstä, vaan niillä pyrittiin tiedottamaan uuden metsätaloudellisen toiminnan periaatteista, menetelmistä ja käsitteistä sekä innostamaan alan ammattilaisia toimittamaan tietoja mahdollisista pluspuista metsänjalostajille. Tämän alan tieteelliset julkaisut ovatkin usein lyhyehköjä raportteja tieteellisten kokousten esitelmäjulkaisuissa Sarvaksen uran loppupuolella. Onkin ymmärrettävää, että metsänjalostustoiminnan alkuvaiheissa ei juuri voitukaan tehdä tieteellistä tutkimusta, koska työhön tarvittavaa aineistoa oltiin vasta luomassa.

Metsäpuiden siementuotantoa koskevaan tutkimukseen Risto Sarvas sai kosketuksen jo harsintahakkuututkimustensa yhteydessä, ja myös se jatkui vaihtelevassa laajuudessa koko hänen uransa ajan (kuva 1). Tässä tutkimusaiheessa hänen julkaisunsa painottuvat suhteellisesti ottaen enemmän tieteellisten julkaisujen puolelle (40 %) verrattuna kahteen aiemmin esiteltyyn tieteenalaan (taulukko 1).

Risto Sarvaksen dendrologiset julkaisut poikkeavat monessa suhteessa muista hänen julkaisuistaan. Ensinnäkin hän on julkaissut tähän tieteenalaan liittyviä kirjoituksia vain uransa keskivaiheilla vuosien 1947–1964 välillä. Hän ei julkaissut yhtään tieteelliseksi luokiteltua dendrologista julkaisua, ja kaikki hänen dendrologiset julkaisunsa ovat suomenkielisiä. Tätä osaa hänen työstään voisi ehkä kuvata velvollisuusvetoiseksi, sillä hänen ensimmäinen dendrologinen julkaisunsa oli metsäopiskelijoiden



Kuva 1. Risto Sarvaksen julkaisujen jakautuminen eri tieteenaloille 5-vuotiskausittain.

kurssin dendrologian harjoitustyövihko ja viimeinen Havupuut-kirja, joka myös suurelta osalta pohjautuu hänen yli 20 vuoden aikana pitämiinsä dendrologian luentoihin. Tämä kirja oli tarkoitettu korvaamaan yli 40 vuotta aiemmin ilmestynyt, jo loppuunmyyty Cajanderin dendrologian käsikirja. Toisaalta juuri Havupuut-kirjan koostaminen osoittaa, että Sarvaksella oli myös aitoa mielenkiintoa ja innostusta dendrologiaan.

Risto Sarvaksen uran loppupuolella muiden tieteenalan julkaisujen määrän vähetessä uusi tutkimusaihe, vuosirytmi, otti vapautuvan tilan (kuva 1). Tai varmaankin on oikeampi sanoa, että muut aiheet jäivät vähemmälle, kun vuosirytmitutkimus vei yhä enemmän hänen aikaansa ja kiinnostustaan. Julkaisut kertovat myös siitä, että 1960-luvulla Sarvas alkoi osallistua kansainvälisiin konferensseihin, joissa hän esitteli vuosirytmiteorioitaan. Monet tämän tieteenalan tieteelliset julkaisut ovatkin ilmestyneet juuri konferenssijulkaisuina. Vuosirytmiteorian perusteet ja syklimallinsa hän kuitenkin julkaisi Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja -sarjassa vuosina 1972 ja 1974. Viimeksi mainittu tuli ulos kirjapainosta vasta hänen kuolemansa jälkeen.

Vaikeasti luokiteltavien julkaisujen jäännöskategoriassa "muut" on julkaisuja satunnaisesti pitkin Risto Sarvaksen uraa. Ne ovat pääasiassa erilaisia historiikkeja, muistokirjoituksia tai komiteamietintöjä. Pari poikkeustakin tämän ryhmän sisältä löytyy. Uransa alkuvaiheissa Sarvas tutustui opintomatkallaan Saksaan ilmakuvauksen käyttöön metsätaloudessa, ja tämän pohjalta hän kirjoitti julkaisun *"Ilmavalokuvauksen merkityksestä metsätaloudessamme"* joka ilmestyi vuonna 1938. Tämä on ainoa muut-luokan tieteellinen julkaisu. Hän käsitteli ilmavalokuvausta myös parissa myöhemmässä yleistajuisessa julkaisussaan. Hän tunsi kuitenkin suurempaa kutsumusta metsänhoitotieteelliseen tutkimukseen, ja niin metsien ilmakuvatekniikka jäi muiden kehitettäväksi. Toisen poikkeuksen muodostavat pari vuonna 1956 ilmestynyttä kirjoitusta, missä hän esittelee kasvukairan käyttöön liittyviä havaintojaan.

Risto Sarvaksen tuotannon puulajeittainen tarkastelu tuottaa yllättävän tuloksen, ainakin jos lähtökohtana pitää puulajien yleisyyttä ja taloudellista merkitystä. Noin kolmessakymmenessä julkaisussa on kohteena jokin yksittäinen puulaji. Näistä peräti puolet käsittelee koivua (mukaan lukien visakoivu). Koivututkimus alkoi heti sodan jälkeen teollisuuden pelätessä koivuvarojen hupenemista. Koivun käyttäjät osittain rahoittivatkin tutkimuksen. Huoli koivuvarojen riittävyydestä näkyy siinäkin, että myös metsänjalostuksen mahdollisuuksia ongelman ratkaisemiseksi selvitettiin. Sarvaksen ensimmäinen metsänjalostusjulkaisu käsitteli juuri koivua. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että näiden taloudellisten seikkojen lisäksi koivu viehätti Sarvasta, ja yleistajuisissa julkaisuissaan hän kirjoittaakin koivusta suomalaisena puulajina.

Julkaisuja monilla kielillä

Valtaosassa Risto Sarvaksen julkaisuja pääkieli on suomi (74 % julkaisujen lukumäärästä ja 71 % sivumäärästä). Englanninkielisiä julkaisuja on seuraavaksi eniten (18 % ja 26 %) ruotsinkielisiä kolmanneksi eniten (7 % ja 2 %). Saksankielisiä julkaisujakin on kaksi kappaletta. Englanninkieliset julkaisut ovat valtaosin verrattain laajoja tieteellisiä kirjoituksia, mikä selittää sen, että niiden osuus sivumäärästä on lukumääräosuutta suurempi. Vastaavasti kaikki ruotsinkieliset julkaisut ovat lyhyehköjä yleistajuisia kirjoituksia, mistä johtuen niiden osuus julkaisujen kokonaissivumäärästä on hyvin pieni. Julkaisuissa on nähtävissä selvä ajallinen kehitys englannin kielen suuntaan, niin että 1960-luvun puolivälin jälkeen yli puolet Sarvaksen julkaisemasta sivumäärästä on englanninkielistä. Uran alkupuolella kaikissa hänen julkaisuissaan pääkielenä oli suomi.

Julkaisun pääkielen tarkastelu ei kuitenkaan anna täyttä kuvaa Risto Sarvaksen tuotannon kielellisestä ulottuvuudesta, sillä valtaosassa hänen tieteellisistä julkaisuistaan on tulosten tiivistelmä toisella kielellä. Myös yllättävän monessa yleistajuisessa artikkelissa on toiskielinen tiivistelmä. Suomenkielisissä julkaisuissa tiivistelmän kieli on alkuvuosina saksa mutta myöhemmin englanti. Tiivistelmän kielen vaihto ajoittuu vuoteen 1944, jopa niin, että hänen tuolloin ilmestyneessä väitöskirjassaan on saksankielinen tiivistelmä, mutta saman vuoden Metsätaloudellisen aikakauslehden artikkelissa tiivistelmä onkin jo englanniksi. Vastaavasti englanninkielisissä tieteellisissä artikkeleissa tiivistelmä on usein suomeksi.

Taulukko 2. Risto Sarvaksen julkaisuihin tehdyt viittaukset tieteellisessä kirjallisuudessa Web of Science -tietokannan mukaan. Tilanne syyskuussa 2008.

Tieteenala	Kaikki julkaisut		Tieteelliset julkaisut		Viittauksia yhteensä, kpl
	Julkaisuja, kpl	Viitattu, %	Julkaisuja, kpl	Viitattu, %	
Metsänhoito	57	26	12	75	151
Metsänjalostus	32	12	6	67	30
Siementuotanto	20	35	8	88	324
Vuosirytmi	10	60	6	83	200
Dendrologia	7	14	0	-	4
Muu	11	9	1	100	2
Kaikki yhteensä	137	25	33	79	721

Sarvaksen julkaisujen vaikutus

Web of Science -tietokannan mukaan vuoden 2008 syksyyn mennessä Risto Sarvaksen julkaisuihin oli viitattu kansainvälisissä tieteellisissä julkaisuissa yhteensä lähes 750 kertaa. Näistä viittauksista 721 pystyttiin kohdistamaan tiettyyn julkaisuun, loput jäivät tietojen epämääräisyyden vuoksi epäselviksi (taulukko 2). Neljäsosaan kaikista julkaisuista oli viitattu ainakin kerran. Tieteellisistä julkaisuista vastaavasti 79 %:in oli viitattu.

Tieteenalojen välillä oli suuria eroja siinä kuinka niiden julkaisuja siteerattiin kansainvälisessä tieteellisessä kirjallisuudessa. Selvästi eniten oli viitattu siementuotantoa koskeviin julkaisuihin, vaikka ne muodostivat vasta kolmanneksi suurimman julkaisuryhmän. Viittausten perusteella ylivoimaisesti arvostetuin Sarvaksen julkaisu onkin männyn kukintaa ja siemensatoa koskeva perusteellinen tutkimus vuodelta 1962, johon oli viitattu peräti 186 kertaa, miltei kaksinkertaisesti verrattuna seuraavaksi suosituimpaan julkaisuun. Tämän julkaisun suosiota kuvastaa konkreettisesti sekin, että siitä jouduttiin runsaan kysynnän vuoksi ottamaan uusintapainos. Tieteelliset siementuotantojulkaisut oli kaiken kaikkiaankin noteerattu korkealle viittauspörssissä sillä yhtä vaille kaikkiin (88 %) niistä oli viitattu ainakin kerran tieteellisessä kirjallisuudessa.

Risto Sarvaksen vuosirytmitutkimukset olivat viittausten perusteella toiseksi suosituin tieteenala 200:lla viittauksellaan ja 83 %:lla viitattuja tieteellisiä julkaisuja (taulukko 2). Puiden lepotilaa ja aktiiviperiodia käsittelevät julkaisut olivatkin toisella ja kolmannella tilalla yksittäisten julkaisujen viittaustilastossa.

Tieteenalana Sarvaksen metsänhoitotieteelliset julkaisut tulivat viittausten perusteella kolmanneksi. Tämän aiheen piirissä ei ollut mitään huippusuosittua yksittäistä julkaisua, vaan sen 151 viittausta kertyivät suuresta tieteellisten julkaisujen määrästä (12) ja niiden tasaisesta suosiosta (75 %:in viitattu). Metsänjalostusta käsittelevät julkaisut saivat jo selvästi vähemmän viittauksia (30), mikä johtuu pitkälle siitä, että tämän aiheen julkaisut olivat valtaosin suomenkielisiä yleistajuisia kirjoituksia.

Kuten olettaa sopii, suomalaiset tutkijat ovat ahkerimpia Risto Sarvaksen töiden siteeraajia, mutta viittausten perusteella hänen työnsä tunnetaan ympäri maailman; siteeraajia on Japania ja Uutta Seelantia myöten. Suomalaisten jälkeen eniten Sarvaksen julkaisuihin viittaavat ruotsalaiset, yhdysvaltalaiset ja kanadalaiset tutkijat. Sarvaksen julkaisut ovat edelleenkin ajankohtaisia; niihin viitataan yhä parikymmentä kertaa vuodessa ja määrä näyttää pysyneen viime vuosina suhteellisen muuttumattomana. Verrattuna muihin oman aikansa suomalaisiin metsäntutkijoihin Risto Sarvas on selvästi eniten siteerattu tutkija.

Risto Sarvaksen kirjallisen tuotannon valtaosa, suomenkieliset yleistajuiset julkaisut, eivät myöskään ole olleet vailla vaikuttavuutta, vaikka niitä ei muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta olekaan siteerattu kansainvälisissä tieteellisissä julkaisuissa. Jossain määrin ne ovat vaikuttaneet kotimaiseen tieteelliseen työhön, mutta ennen kaikkea ne ovat edistäneet suomalaisen metsänhoidon ja metsätalouden menetelmien kehittymistä. Varmaankin merkittävin julkaisu tässä mielessä on vuoden 1948 ns. harsintajulkilausuma, jossa Sarvas yhdessä muiden johtavien metsäalan vaikuttajien kanssa tuomitsi silloin yleisesti käytössä olleen metsän parhaita puita poimivan hakkuumenetelmän johtavan vajaatuottoisuuteen. Sarvaksen yleistajuisten julkaisujen

ja myös julkaisemattomien, pienilevikkisten ohjemonisteiden merkitys Suomen metsänjalostuksen kehitykselle on ollut täysin korvaamaton.

Viljo Holopainen kirjoitti Risto Sarvaksen muistosanoissa seuraavaa: *"Kaikesta päättäen näiden suurtutkimusten hyödyntäminen on vielä aivan alkuvaiheissaan... Ne ovat suomalaisen metsätieteen arvokkaita pysyviä saavutuksia."* Tämän kirjallisuustarkastelun perusteella voi todeta, että osuvampaa arviota ja ennustusta Risto Sarvaksen työn merkityksestä tuskin olisi voitu antaa.

Kirjallisuutta:

Holopainen, V. 1974. Risto Olavi Sarvas, In memoriam. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 84: 1–10.

Lukkala, A. 1974. Risto Sarvaksen kirjallinen tuotanto. List of publications. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 84: 11–17.

Oskarsson, O. 1995. Silmällä tehty savotta. Pluspuiden valinnan historia ja arki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 579. 67 s.



Sarvaksen perinnöllä muuttuvaan maailmaan

Outi Savolainen, Professori
Sonja Kujala, FM
Katri Kärkkäinen, Professori

Männyn ilmastoon sopeutumisen geneettisen perustan tutkiminen

Metsäntutkijat ovat jo kauan sitten provenienssien siirtokokeissaan osoittaneet, että useimpien lajien eri alkuperät (provenienssit tai populaatiot) menestyvät parhaiten alkuperäalueellaan tai sen lähellä ja huonosti kauas pohjoiseen tai etelään siirrettynä. Metsäpuiden populaatiot ovatkin voimakkaasti perinnöllisesti erilaistuneet monien tärkeiden sopeutumisominaisuuksien, esimerkiksi kasvun ajoituksen tai kylmänkestävyyden suhteen. Äskettäin olemme mitanneet, että tämä runsaasta geenivirrasta huolimatta tapahtunut erilaistuminen on vaatinut aivan poikkeuksellisen voimakasta luonnonvalintaa. Erilaistuminen otetaan huomioon käytännön metsänviljelyssä ja jalostuksessa monin tavoin. Meneillään oleva ilmastonmuutos tuo metsäpuille ja niiden jalostajille uusia haasteita – miten tuo pitkän historian aikana syntynyt sopeutuneisuus voidaan jatkossakin nopeasti muuttuvassa ympäristössä saavuttaa ja pitää yllä ja kuinka sopeuttaa metsänviljelyaineistoa mahdollisimman hyvin muuttuviin olosuhteisiin? Tällä hetkellä

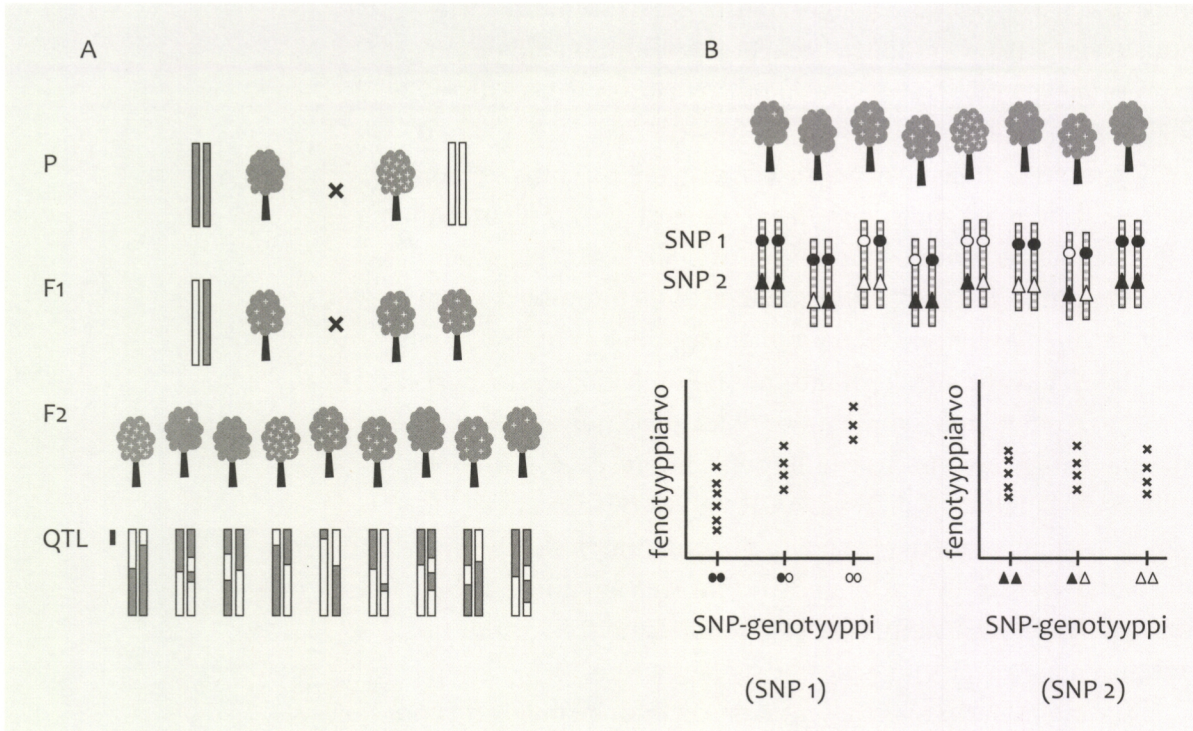
suurin osa kasvipopulaatioita koskevista ilmastonmuutoksen ennusteista jättää perinnölliset tekijät ja evoluution kokonaan huomiotta; perinnöllisyyden tutkijoilla ja jalostajilla on siis työtä tälläkin saralla.

Sopeutuneisuuden perinnöllisen perustan tutkimisen tuomaa tietoa voidaan hyödyntää lajin historian ja nykyisen tilanteen ymmärtämisessä, tulevaisuuden ennusteiden laatimisessa ja myös metsänjalostuksen suunnittelussa. Sopeutumiseen vaikuttavien geenien löytämisestä on monenlaista iloa ja hyötyä. Vielä tällä hetkellä kvantitatiivisen muuntelun molekulaarinen perusta on melko tuntematon, emme esimerkiksi tiedä muunteluun vaikuttavien geenien mutaatiotiheyksiä. Emme myöskään tiedä kuinka suuria fenotyyppisiä vaikutuksia yksittäisillä alleeleilla voi olla, tai kuinka monta geeniä osallistuu kunkin sopeutumisominaisuuden säätelyyn. Kun geenit tunnistetaan, niiden evoluutiota, ja siten myös kvantitatiivisten ominaisuuksien evoluutiota, voidaan ymmärtää ja ennustaa entistä paremmin.

Saamme myös parempaa ymmärrystä ominaisuuksien fysiologisista kehittymismekanismeista – millaiset geneettiset reitit säätelevät niitä. Jalostuksen menetelmiä voidaan suunnitella aikaisempaa tarkemman tiedon varassa. Geenitiedon avulla jalostustyötä pystytään nopeuttamaan esimerkiksi myöhään ilmenevien ominaisuuksien varhaisen merkkigeeniavusteisen valinnan avulla. Yhdessä kasvullisen lisäyksen mahdollisuuden kanssa tämä lisää tulevaisuuden jalostushyötyjä huomattavasti.

Sopeutumisominaisuuksilla on korkea periytyvyysaste

Tarkastelemme tässä kirjoituksessa esimerkkiominaisuuksina männyn (*Pinus sylvestris*) kasvun ajoittumista (leposilmun muodostusta kasvukauden lopulla) ja kylmänkestävyyttä, jotka ovat perinteisiä suomalaisen metsäntutkimuksen kohteita. Samat periaatteet pätevät kuitenkin pitkälti myös muihin metsäpuihin ja kvantitatiivisiin ominaisuuksiin.



Kuva 1. QTL-kartoituksessa (a) risteytetään (x) valikoidut vanhemmaispuut. Ensimmäisen sukupolven (F1) jälkeläiset ovat kaikki heterotsygoottisia. Tutkittava ominaisuus ja geenimerkit tutkitaan toisen polven jälkeläistöstä (F2). Tämä asetelma aiheuttaa runsasta kytkentäepätasapainoa F2-jälkeläistössä, jonka vuoksi havaittu QTL-alue on hyvin laaja ja voi sisältää satoja geenejä. Assosiaatiotutkimuksessa (b) käytetään populaatioita, joissa rekombinaatio on historian aikana purkanut kytkentäepätasapainoa hyvinkin pieniin genomin alueisiin. Siksi assosiaatiotutkimuksilla voidaan parhaimmillaan löytää jopa itse ominaisuuden aiheuttava muutos. Kuvassa SNP 1 -merkin kohdalla genotyyppien välillä havaitaan selvä ero fenotyyppijakaumassa.

Olemme mitanneet männyn silmunmuodostuksen periytyvyysastetta useissa eurooppalaisissa populaatioissa. Suuri osa muuntelusta on populaatioiden välillä, mutta myös yksittäisissä populaatioissa useimmiten noin puolet yksilöiden välisistä eroista on perinnöllisiä. Geenitutkijalle riittää siis etsittävää. Osa eroista johtuu ympäristöstä. Varsinkin kuusella norjalaiset tutkijat ovat todenneet, että jo siemenen tuleentumisympäristö voi vaikuttaa taimen kylmänkestävyysominaisuuksiin, mutta

Suomessa ja Ruotsissa on havaittu, että männyllä tällaiset jälkivaikutukset (after effect) ovat vähäisempiä. Kvantitatiivisen genetiikan perinteiset menetelmät ovat olleet käytössä vuosikymmeniä – mainioita työkaluja, mutta itse geenejä ei niiden avulla löydetä.

Sopeutumisgeenejä kartoitetaan risteytysten avulla

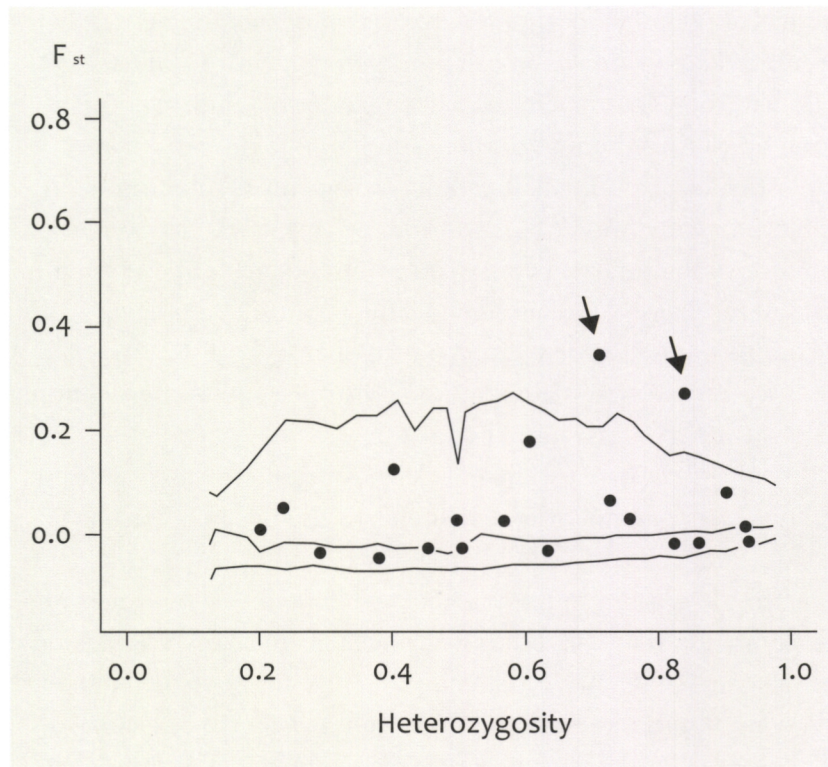
Geneetikon perusmenetelmiä ovat risteytykset. Jo parinkymmenen vuoden ajan on voitu etsiä kvantitatiivisiin ominaisuuksiin vaikuttavia geenejä ns. QTL-kartoituksen (quantitative trait locus mapping) avulla (kuva 1a). Esimerkkitapauksena voitaisiin risteyttää pohjoinen ja eteläinen puu. Risteytyksen jälkeläisillä olisi siten kummankin vanhemman, eteläisen ja pohjoisen puun alleeleja kussakin sopeutumisgeenissään (jotka ovat tuntemattomia). Nämä kaksi vanhempaispuuta eroavat myös monien neutraalien geenimerkkien suhteen, ja ensimmäisen polven (F1) jälkeläiset ovat heterotsygoottisia myös näissä genomin kohdissa. Tämän puun F1-puun sukupuolisolujen, siitepölyn ja munasolujen, syntyessä tapahtuu tekijäinvaihduntaa, geenit rekombinoituvat. Pohjoisen vanhemman sopeutumisalleelit ja lähellä sijaitsevat samasta vanhemmasta peräisin olevat merkkigeenit periytyvät kuitenkin yhdessä, koska niiden välillä tapahtuu vain vähän rekombinaatiota. Niiden välillä on siis seuraavassa (F2) jälkeläistössä kytkentäepätasapainoa, eli ne esiintyvät yhdessä useammin kuin sattumanvaraisesti odotettaisiin.

Kun jälkeläisistä tutkitaan sekä sopeutumisfenotyyppi (esim. kylmänkestävyys) ja määritetään merkkigenotyypit, voidaan havaita, että esim. hyvä kylmänkestävyys esiintyy yhdessä tiettyjen merkkigeenin muotojen kanssa. Näin voidaan arvioida, että itse kylmänkestävyyseroihin vaikuttava geeni sijaitsee tällaisten merkkigeenien lähellä. Pitkäikäisen männyn risteytyssukupolvet edistyvät hitaasti, mutta onneksi valmiita risteytysaineistoja on ollut saatavissa Metsäntutkimuslaitoksen kokeissa. Esimerkiksi puiden E1101 ja P304 risteytysjälkeläisistä on kartoitettu monia

tällaisia alueita. QTL-kartoituksella on kuitenkin rajoituksia. Kartoitettavat alueet ovat hyvin suuria, eikä niiden avulla päästä käsiksi itse geeneihin. Lisäksi niissä voidaan havaita vain ne geenit, jotka eroavat näiden vanhemmaispuiden välillä.

Sopeutumisgeenien DNA-sekvenssin muuntelu voi paljastaa valinnan

Geenien DNA-sekvenssin muuntelu kertoo evolutiivisesta historiasta. Erilaiset demografiset tapahtumat, kuten populaatiokoon muutokset, pullonkaulat, niiden jälkeinen populaation kasvu ja migraatio, jättävät kaikki jälkensä geenisekvensseihin. Esimerkiksi männyn genomissa näkyy selvästi satoja tuhansia vuosia



Kuva 2. Sekvenssimuuntelua voidaan käyttää valinnan havaitsemiseksi esimerkiksi etsimällä sellaisia nukleotidikohtia, jotka ovat voimakkaasti erilaistuneet populaatioiden välillä (korkea F_{st}-arvo). Kuvassa 95 % luottamusvälin ulkopuolella olevat nukleotidikohdat (nuoli) ovat satunnaista voimakkaammin erilaistuneet suhteessa kohdan muunteluun (heterozygosity).

vanhan pullonkaulan jälkeinen populaation kasvu, kuten tuoreessa tutkimuksessa on osoitettu. Toisaalta myös luonnonvalinta jättää merkkejä genomiin. Suuntaava valinta saa aikaan sen, että lähilajien välillä erot valitussa geenissä ovat suuremmat kuin muissa geeneissä, ja toisaalta lajin sisällä suuntaava valinta hävittää muuntelua itse valitusta geenistä ja sen lähialueilta. Tällaisilla menetelmillä olemme löytäneet merkkejä valinnasta monissa geeneissä, esimerkiksi kylmänkestävyyteen liittyvässä dehydriinigeenissä. Populaatioita erilaistava valinta, joka voisi hyvin tulla kyseeseen paikalliseen sopeutumiseen vaikuttavissa geeneissä, johtaa geenisekvenssien tavallista korkeampaan erilaistumiseen populaatioiden välillä (kuva 2). Tällainen valinta on ollut yleistä ihmispopulaatioissakin ja viitteitä sellaisesta on löydetty myös eri mäntylajeista.

Assosiaatiokartoitus

Ihmisen tautien tutkijat ovat kehittäneet geenien löytämiseksi menetelmiä, joissa lähtöaineistona eivät olekaan kontrolloidut risteytykset, vaan ilmiasua (tauteja) ja geenimerkkejä tutkitaan populaationäytteistä, esimerkiksi tietyn populaation tuhansista ihmisistä. Mahdollisen tautigeenien ja merkkien välinen yhteys, assosiaatio, löytyy vain, jos merkki on joko itse tautigeenissä tai hyvin lähellä tautigeeniä (kytkentäepätasapainossa tautialleelin kanssa). Samanlaisia menetelmiä voidaan mainiosti soveltaa myös metsäpuiden tutkimisessa (kuva 1b). Esimerkiksi männyn populaatiot ovat suuria ja umpimähkäisesti pariutuvia. Tästä johtuen lajilla ei havaita voimakasta populaatiorakennetta, mikä on suuri etu tämänkaltaiselle tutkimukselle. Mäntytutkijan kannalta erityisen ilahduttava piirre assosiaatiotutkimuksessa on se, että monen sukupolven risteytysaineistoja ei tarvita, vaan aineisto voidaan kerätä suoraan tällä hetkellä esiintyvästä populaatiosta.

Assosiaatiotutkimuksia voidaan tehdä useammalla eri lähestymistavalla. Ns. ehdokasgeenilähtöinen tapa saa nimensä siitä,

että vain ennalta, muun tiedon varassa valittuja geenejä tutkitaan. Ehdokasgeenien toiminnan tiedetään liittyvän tutkittavaan ominaisuuteen, assosiaatiotutkimuksessa selvitetään onko niissä havaittavalla muuntelulla yhteys tutkittavan fenotyypin muunteluun. Ehdokasgeenit valitaan esimerkiksi fysiologisen tiedon tai geenien ilmenemiseen liittyvän tiedon perusteella. Vaikka esimerkiksi silmunmuodostuksen ajoitukseen vaikuttavat tietysti hyvin monet geenit, populaatioiden välisiä eroja ei ole kaikissa näissä geeneissä – vain osa geeneistä aiheuttaa populaatioiden välistä muuntelua ilmiasussa. Esimerkiksi männyllä fytokromi P liittyy moniin ajoitukseen kytkeytyviin toimintoihin, mutta eteläisten ja pohjoisten populaatioiden välillä on vain hyvin vähäisiä eroja tämän geenin sekvenssissä. Tämän geenin muuntelu siis tuskin selittää mäntypopulaatioiden välisiä eroja. Sen sijaan haavasta ruotsalaiset tutkijat ovat löytäneet merkkejä mäntyä vastaavan geenin fytokromi B:n osuudesta kasvun ajoitukseen sekä geenisekvenssien muuntelua tutkimalla että assosiaatiotutkimuksen avulla.

Ehdokasgeeneistä etsitään muuntelevia nukleotidikohtia, ja tutkitaan näiden SNP-merkkien (single nucleotide polymorphism) yhteyttä ominaisuuteen. Tutkittavat merkit eivät välttämättä ole juuri niitä muutoksia (SNP-muutos, insertio, deleetio), jotka ominaisuuteen vaikuttavat, mutta on melko todennäköistä, että tutkittujen SNP-merkkien ja varsinaisen ilmiasuun vaikuttavan geneettisen muutoksen välillä on riittävä tilastollinen yhteys assosiaation havaitsemiseksi. Ehdokasgeeniasetelmassa jäävät kuitenkin tutkimatta kaikki muut geenit, siis varsinaisia yllätyksiä ei saada selville. Lisäksi usein jäävät tutkimatta geeneihin liittyvät säätelyalueet.

Ihmisgenetiikan tulokset ovat osoittaneet että monet ominaisuuteen vaikuttavat geenimuutokset saattavat näin jäädä löytymättä. Tämän asetelman hyvä puoli kuitenkin on se, että lähestymistapaan tarvitaan vain ehdokasgeenien sekvenssejä, ei koko genomin tuntemusta. Männyn tutkimuksessa on meneillään

tämä vaihe. Tässä vaiheessa käytössämme on lähes 1000 SNP-merkkiä, joista suuri osa sijoittuu silmunmuodostuksen ja kylmänkestävyyden ehdokasgeeneihin. Näiden merkkien yhteyttä kylmänkestävyyteen ja silmunmuodostukseen selvitämme sekä laajasta eurooppalaisesta aineistosta että punkaharjulaisesta metsiköstä kerätystä aineistosta. Tällaisen suuren aineiston genotyypityksen hinta on aivan viime vuosina alentunut voimakkaasti, vielä muutama vuosi sitten ei tällaisia hankkeita olisi voitu edes kuvitella. Toistaiseksi myös kaikkien muiden kasvilajien tutkimus, lituruohoa lukuun ottamatta, on tässä vaiheessa; koko genomin kattavia assosiaatiotutkimuksia ei vielä muista kasvilajeista ole tehty.

Ehdokasgeenien tutkimista intensiivisempi vaihtoehto on koko genomin kattava assosiaatiotutkimus. Tämä edellyttää että käytössä on erittäin tiheään geenikarttaan perustuvia merkkejä ympäri genomia, koska vain hyvin läheiset merkit ovat korreloituneita varsinaisten ominaisuuteen vaikuttavien tekijöiden kanssa. Ihmisgenomissa tämä tarkoittaa satojen tuhansien SNP-merkkien genotyypitystä. Tämän lähestymistavan avulla on viimeisten parin vuoden aikana löydetty kymmeniä tekijöitä, jotka vaikuttavat kansantauteihin, esimerkiksi sydän- ja verisuonitauteihin ja sokeritautiin. Metsäpuiden tapauksessa koko genomin sekvenssejä ei vielä tunneta (poppelia lukuun ottamatta), joten käytössä ei myöskään ole riittävästi SNP-merkkejä. Männyn genomi on lisäksi on ainakin 7 kertaa ihmisen genomia suurempi, mikä kasvattaa tarvittavien SNP-merkkien lukumäärää. Myös kytkentäepätasapaino on vähäisempää kuin ihmisellä, minkä vuoksi merkkejä pitäisi tutkia muutaman sadan emäsparin välein. Tämä tarkoittaa sitä, että männylle eivät riittäisi sadat tuhannet merkit, vaan niitä olisi tutkittava miljoonittain. Toistaiseksi tavoitteena on, että kaikista männyn geeneistä löydettäisiin testattavaksi SNP-merkkejä – tällöin tutkittavien merkkien määrä saattaisi olla sadan tuhannen luokkaa.

Evoluutio, ihmisgenetiikka, teknologian kehitys ja yhteistyö tutkijan apuna

Edellä kuvaillut sekvensointi- ja assosiaatiotutkimukset ovat siis tuoneet aivan uuden lähestymistavan kvantitatiivisen genetiikan ja siten myös jalostuksen tutkimukseen. Vaikka ominaisuuksiin vaikuttavien geenien tunnistaminen on haastavaa, kasvava tietämys mallilajien ominaisuuksien geneettisestä säätelystä ja ominaisuuksiin vaikuttavista geeneistä on työssä suuri apu. Geeni- ja genomitutkimus on osoittanut ominaisuuksiin vaikuttavien biosynteesiverkkojen samankaltaisuuden eri lajeissa ja tunnistanut samoja avaingeenejä ominaisuuksien fenotyyppisen muuntelun aiheuttajiksi fylogeneettisesti hyvinkin kaukaisissa eliöissä. Evoluutio voi siis ominaisuuksien muuntelussa toistaa itseään geenimekanismin osalta, mikä helpottaa suuresti suurigenomisten lajien, kuten havupuiden geenitutkimusta.

Ihmisgenetiikka on ollut tiennäyttäjänä kun on kehitetty uusia populaationäytteisiin perustuvia geenikartoitusmenetelmiä. Metsägeneetikkojen onneksi männyillä ja ihmisillä on monia yhteisiä piirteitä, esim. umpimähkäinen pariutuminen, suuret populaatiot ja pitkät sukupolven välit. Tämän ansiosta voidaan jo olemassa olevia lähestymistapoja osittain hyödyntää, samalla kun kehitetään metsäpuille sopivia sovelluksia.

Juuri tällä hetkellä sekvensointi- ja genotyypitysmenetelmät kehittyvät niin voimakkaasti, että kukaan ei voi ennustaa mitkä menetelmät ovat parhaita edes parin vuoden päästä ja miten vähän ne silloin maksavat. Voi olla, että lähitulevaisuudessa tutkimusaineistojen ilmiasun tutkiminen on jo kalliimpaa kuin genotyypitys. Tällä hetkellä työ on kuitenkin edelleen kohtalaisen kallista ja teknisesti monenlaista osaamista vaativaa.

Euroopan eri havupuulajien tutkijat kohtaavat työssään kaikki samanlaisia ongelmia. Ranskalaiset ja espanjalaiset tutkivat rannikkomäntyä (*Pinus pinaster*), suomalaiset omaa mäntyään, italialaiset enimmäkseen kuusia. Nämä lajit ovat kuitenkin melko läheisiä sukulaisia keskenään. Siksipä monikansalliset

metsägenetiikan (TREESNIPS, EVOLTREE) ja metsänjalostuksen (NOVELTREE) EU-projektit tarjoavat hyvän työympäristön tämänkaltaisille tutkimuksille. Samalla kuitenkin Risto Sarvaksen ja muiden suomalaisten metsäntutkijoiden tuottama mainio biologinen perustieto on välttämätön edellytys näille tutkimuksille.

Kirjallisuutta:

Neale, D. B., & Savolainen, O. 2004. Association genetics of complex traits in conifers. Trends Plant Sci. 9:325–330.

Nordborg, M., & Weigel, D. 2008. Next-generation genetics in plants. Nature 456:720–723.

Pyhäjärvi, T., García-Gil, M. R., Knürr, T., Mikkonen, M., Wachowiak, W. & Savolainen, O. 2007. Demographic history has influenced nucleotide diversity in European *Pinus sylvestris* populations. Genetics 177:1713–1724.

Savolainen, O., Pyhäjärvi, T. & Knürr, T. 2007. Gene flow and local adaptation in forest trees. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 37:595–619.

Sirkka Sutinen, FT
Jouni Partanen, MMT
Anneli Viherä-Aarnio, MML
Risto Häkkinen, MMT

Mikroskooppimenetelmä vuosirytmin tutkimisessa

Silmunpuhkeamisen ajoittumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu eri puulajeilla sekä maastossa että koeolosuhteissa. Silmämääräisiin silmuhavaintoihin perustuvia malleja on käytetty mm. tutkittaessa ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia silmunpuhkeamisajankohtiin. Vegetatiivisen eli kasvusilmun kehityksen alku, joka ei näy paljain silmin, perustuu näissä malleissa teoreettiseen tai laskennalliseen ajankohtaan, joten kehityksen alkuvaiheiden mikroskooppinen määrittäminen voisi auttaa mallien tarkentamisessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin ollut selvittää, i) milloin ja miten kasvusilmun kehitys näkyy mikroskooppisella tasolla suhteessa lämpökertymään ja silmun ulkoiseen muutokseen, sekä ii) voitaisiinko jokin/jotkin mikroskooppisista muutoksista ottaa käyttöön kenttä- tai laboratoriokokeissa. Tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi mallien evaluoinnissa ja kehittämisessä.

Aineisto ja menetelmät

Tammikuun 17. päivänä vuonna 2007 tutkimusta varten kerättiin 16-vuotiaasta, jälkeläiskokeella kasvavasta kuusesta (*Picea abies*) elävän latvuksen yläosasta oksia totuttelun (viikko +4 °C:ssa pimeässä) kautta hyötöolosuhteisiin (lämpötila vakio +20 °C ja valojakso 12 h). Oksista otettiin silmunäytteitä yhteensä 20 kertaa, ensimmäisen kerran suoraan luonnosta 17. tammikuuta ja seuraavan kerran totutteluolosuhteesta. Ensimmäisestä hyötöpäivästä alkaen silmunäytteitä otettiin kerran päivässä 16 peräkkäisenä päivänä ja lopuksi viimeiset kaksi näytettä hyötöpäivinä 20 ja 21. Kunakin näytteenottokertana valittiin satunnaisesti yksi oksa ja sen viidestä ylimmästä haarasta katkaistiin 2.5 cm pätkä, jossa oli oksan päätesilmu sekä sitä ympäröivät sivusilmut (ns. ruususilmut).

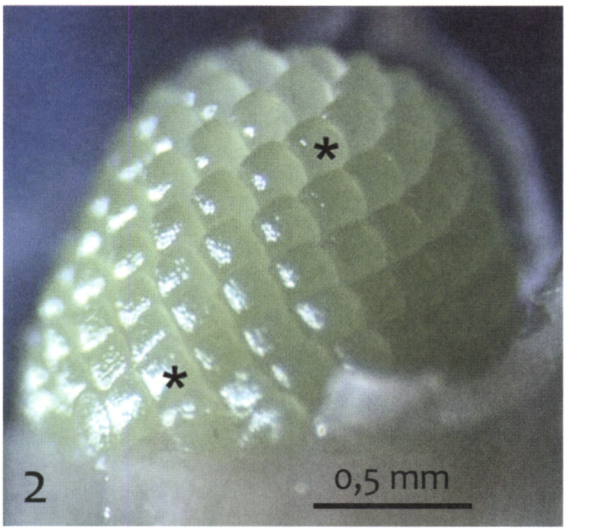
Silmujen eri osia kuvattiin digitaalisesti stereomikroskoopilla pitkittäin kahtia leikatuista silmuista sekä valomikroskoopilla kemiallisesti kiinnitetyistä ja tuoreleikkeistä. Digitaalikuvista mitattiin mm. vegetatiivisen verson aiheen pituuskasvua suhteessa koko silmun pituuteen, tutkittiin neulasaiheiden kehittymistä sekä analysoitiin solu- ja solukkotasoisia kehitysvaiheita. Stereo- ja valomikroskooppisia havaintoja verrattiin hyötöolosuhteissa mitattuihin lämpösummiin sekä aikaisemmin silmämääräisesti kuvattuihin silmunpuhkeamisen vaiheisiin, kuten silmun turpoamiseen ja silmusuomujen muutoksiin.

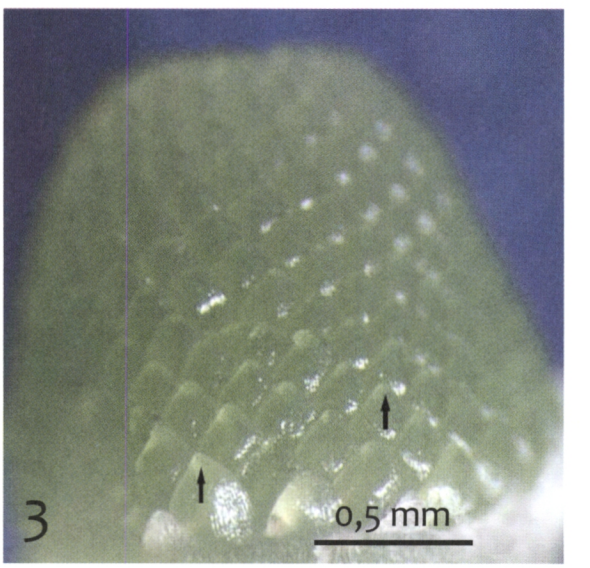
Tulokset ja tulosten tulkinta

Tammikuun 17. päivänä kerätyt silmut olivat rakenteellisesti talvitilassaan: silmusuomut olivat tiukasti kiinni toisissaan (kuva 1), verson aihe oli noin kolmannes koko silmun pituudesta ja neulasaiheet olivat tylppä- tai pyöreäpäisiä (kuva 2). Valomikroskooppisesti tarkasteltuna kaikki solut silmun neulasaiheissa ja suuressa osaa varren aihetta olivat erilaistumatonta, meristemaattista solukkoa.



Kuva 1. Kuusen silmu talvitilassaan, jolloin silmusuomut (ss) ovat tiukasti kiinni toisissaan ja verson aihe (tähti) on keskimäärin kolmannes koko silmun pituudesta.





Kuvat 2–3. Talvitilaisen kuusen silmun neulasaiheet (tähdet) ovat tylppä- tai pyöreäpäisiä koko verson aiheen pituudelta. Ensimmäinen morfologinen muutos silmunkehityksessä näkyy verson aiheen alaosan neulasaiheiden terävöitymisenä (nuolet). Kuvat: Sirkka Sutinen.

Ensimmäiset solutasoiset muutokset näkyivät rasvojen määrän nousuna jo ensimmäisenä hyötöpäivänä, jolloin vuorokautisista keskilämpötiloista +5 °C:n kynnysarvolla laskettu lämpösumma oli 0 d.d. ja tunneittain laskettu period unit -kertymä 233 p.u. Rasvat toimivat silmunkehityksen alkuvaiheen energianlähteenä. Tämä ilmiö on aikaisemmissakin tutkimuksissa



Kuva 4. Silmunkehityksen edetessä neulasaiheet terävöityvät verson aiheen kärkeen asti ja verson aihe on kasvanut pituutta. Tässä vaiheessa silmu on vielä ulkoisesti talvimuodossaan.



Kuva 5. Silmämääräisesti selkeät ulkoiset muutokset, kuten silmusuomujen harottaminen alkaa näkyä siinä vaiheessa, kun neulasaiheet ovat selkeästi kasvaneet pituutta ja verson aihe on yli puolet koko silmun pituudesta.
Kuvat: Sirkka Sutinen.

todettu talviaikaisissa silmunäytteissä. Ensimmäiset solukkotasoiset muutokset näkyivät viidentenä hyötöpäivänä trakeidien kehittymisenä verson aiheen alaosaan. Trakeidit ovat vedenkuljetussoluja ja niiden kehittyminen on edellytys muulle silmun kehitykselle. Kuudentena päivänä havaittiinkin ensimmäiset morfologiset muutokset neulasaiheiden kärkien terävöitymisenä verson aiheen alaosassa (kuva 3). Tästä eteenpäin trakeidien kehitys ja neulasaiheiden terävöityminen tapahtuivat lähes samanaikaisesti. Yhdeksäntenä hyötöpäivänä neulasaiheet olivat terävöityneet verson aiheen kärkialueeseen asti (kuva 4). Samana

päivänä verson aiheen pituus oli jo puolet koko silmun pituudesta, mutta silmämääräisesti selkeät muutokset, kuten silmusuomujen harottaminen (kuva 5) nähtiin vasta 13 hyötöpäivästä alkaen. Silmu oli lähes puhjennut 21. hyötöpäivänä (313 d.d. ja. 8354 p.u.).

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kasvullisen silmun solu- ja solukkotasoinen kehitys alkaa varsin alhaisissa lämpötiloissa, ennen kuin verson aiheessa tapahtuu mitään ulkoisia muodonmuutoksia. Neulasaiheiden muodonmuutos puolestaan tapahtuu koko verson aiheen pituudelta, ennen kuin silmun ulkonäkö alkaa muuttua, joten tämä kehitysvaihe tai jokin sen osa näyttäisi soveltuvan parhaiten käytettäväksi kenttä- ja laboratoriokokeissa tai mallien evaluoinnissa ja kehittämisessä. Käytetyssä hyötölämpötilassa lämpöä meni hukkaan eli silmut kehittyivät maksimaalisella biologisella nopeudellaan ja havaitut lämpösummat ovat yliarvioita todellisille silmun kehitysvaiheita vastaaville kynnyslämpösummille.

Kirjallisuutta:

de Faÿ, E., Vacher, V. & Humbert, F. 2000. Water-related phenomena in winter buds and twigs of *Picea abies* L. (Karst.) until bud-burst: a biological, histological and NMR study. Ann. Bot. 86:1097–1107.

Hejnowicz, A. & Obarska, E. 1995. Structure and development of vegetative buds, from the lower crown of *Picea abies*. Ann. Sci. For. 52:433–447.

Partanen, J., Koski, V. & Hänninen, H. 1998. Effects of photoperiod and temperature on the timing of bud burst in Norway spruce (*Picea abies*). Tree Physiol. 18:811–816.

Slaney, M., Wallin, G., Medhurst, J. & Linder, S. 2007. Impact of elevated carbon dioxide concentration and temperature on bud burst and shoot growth of boreal Norway spruce. Tree Physiol. 27:301–312.

Sutinen, S., Vuorinen, M. & Rikala, R. 2006. Developmental disorders in buds and needles of mature Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst., in relation to boron concentrations. Trees 20: 559–570.

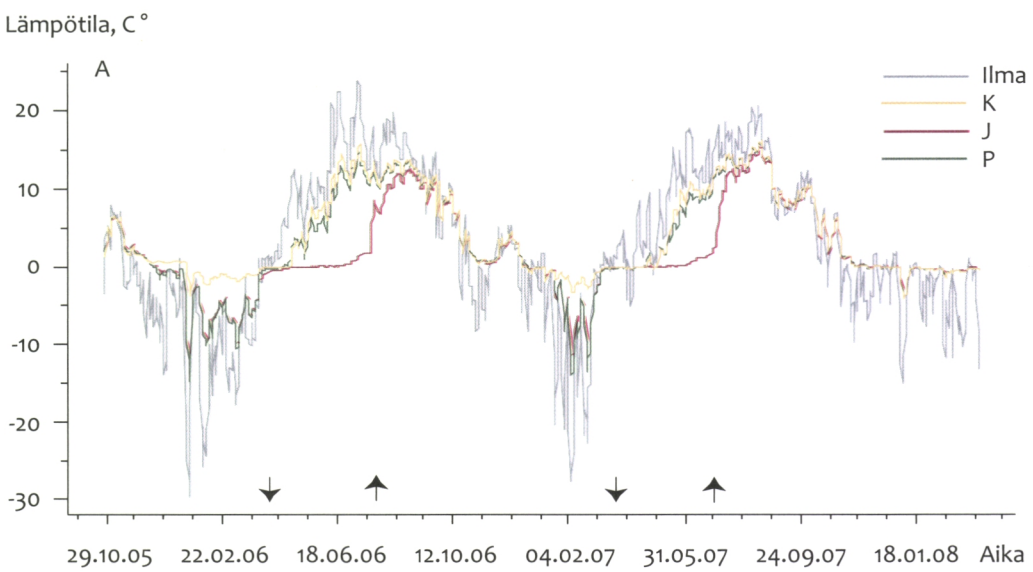
Tapani Repo, FT
Markku Manner, MMM
Tuula Jyske, MMT
Pekka Nöjd, MMT
Harri Mäkinen, MMT

Roudan vaikutus kuusen fenologiaan

Routaa esiintyy vuosittain keskimäärin 55 % pohjoisen pallonpuoliskon maa-alasta, josta ikiroudan esiintymisalue kattaa noin 24 %. Routajakson pituus voi vuosittain vaihdella muutamasta viikosta useisiin kuukausiin. Jos lumipeite on ohut, maa routaantuu syvemmälle, mutta paksun lumipeitteen suojassa maa voi säilyä jäätymättä talven yli. Suomessa roudan syvyys vaihtelee metsämaassa 0–200 cm välillä. Länsi-Suomessa routaa on tyypillisesti enemmän kuin Itä-Suomessa, missä paksumpi lumipeite on suojana. Roudan voidaan olettaa vaikuttavan puiden kasvuun. Solantie on esittänyt, että routa olisi ilman tehollisen lämpösumman jälkeen merkittävin puiden vuotuisen kasvun vaihtelua selittävä tekijä. Kokeellista tietoa juurten kasvuympäristön ja erityisesti roudan vaikutuksista puiden vuosirytmiin ja kasvuun on kuitenkin niukasti. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka routa ja sen sulamisnopeus keväällä vaikuttavat kuusen pituus- ja paksuuskasvun käynnistymiseen ja rungon paksuuskasvun etenemiseen kesän aikana.

Koejärjestely ja mittaukset

Tutkimus tehtiin Jaamankankaalla, 10 km Joensuusta pohjoiseen sijaitsevassa 47-vuotiaassa kuusikossa vuosina 2005–2007. Koealueen maalaji oli hietamoreeni ja maannostyyppi rautapodsoli. Metsikön puuston keskipituus oli 17 m, runkoluku 864 runkoa/ha, puuston tilavuus 211 m^3/ha ja pohjapinta-ala 25,4 m^2/ha. Kokeessa oli 3 käsittelyä, joista kustakin oli 3 toistoa. Yksittäisen koealan koko oli 12 × 12 m. Lumimanipulaatioiden avulla tehtiin kolme erilaista routakäsittelyä, jotka olivat: 1) Kontrollikäsittely (K), jossa lumen kertyminen ja sulaminen tapahtui luontaisesti. 2) Lumeton käsittely (P), jossa lumi poistettiin talven aikana ja maanpinta jätettiin keväällä avoimeksi. 3) Routakäsittely (J), josta lumi poistettiin talven aikana, ja keväällä maanpinta eristettiin muovipressujen väliin laitetulla, 15 cm paksulla pehkukerroksella roudan sulamisen hidastamiseksi. Eristeet poistettiin heinäkuussa, kun maan lämpötila nousi 0°C yläpuolelle. Käsittelyt toistettiin kahtena talvena 2005–2006 ja 2006–2007. Routakäsittelyn koealoille asennettiin eristeet maalis-huhtikuun vaihteessa. Maan lämpötilaa ja kosteutta seurattiin eri syvyyksiltä sekä ilman lämpötilaa 2 m korkeudelta.



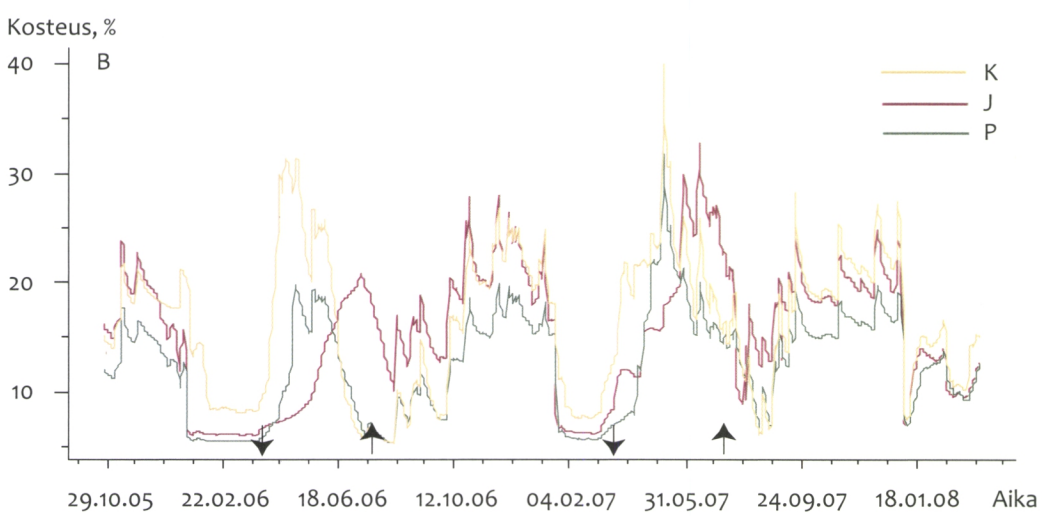
Kuva 1 A. Ilman lämpötila ja humuskerroksen päivittäinen keskilämpötila 5 cm syvyydellä eri routakäsittelyissä: Kontrolli (K), aurattu (P) ja aurattu + eristetty (J). Nuoli alaspäin osoittaa ajankohdan, jolloin J-käsittelyssä maanpinta eristettiin ja nuoli ylöspäin ajankohdan, jolloin eristeet poistettiin.

Kultakin koealalta valittiin kolme puuta, joista seurattiin latvaosan oksien päätesilmujen puhkeamista. Silmun kehitysvaihe arvioitiin kolmeen luokkaan: Ei muutosta (0), silmu pullistunut ja ensimmäiset uudet neulaset näkyvissä (1) ja uudet neulaset selvästi näkyvissä ja uusi verso aloittanut kasvunsa (2). Kahdesta koepuusta koealaa kohden seurattiin rungon paksuuskasvua minikairausmenetelmän avulla. Kairanäytteet otettiin rinnankorkeudelta kasvukauden alussa kahdesti viikossa ja kasvukauden lopulla kerran viikossa. Runkoon muodostuneiden solujen läpimitta ja lukumäärä määritettiin mikroskoopin avulla joko suoraan puunäytteen poikkileikkauspinnasta (2006) tai ohutleikkeestä (2007).

Routakäsittelyjen vaikutus maan lämpö- ja kosteusoloihin

Lumipeitteellä oli huomattava vaikutus maan lämpötilaan (kuva 1A) ja kosteuteen (kuva 1B). Auraamattomilla kontrollikoealoilla maan lämpötila ei laskenut talven aikana juurikaan 0°C alapuolelle. Sen sijaan auratuilla koealoilla (P ja J) humuskerroksen lämpötila oli molempina talvina alhaisimmillaan noin -15°C

Kuva 1 B. Mineraalimaan kosteus 15 cm syvyydellä (B) eri routakäsittelyissä: Kontrolli (K), aurattu (P) ja aurattu + eristetty (J). Nuoli alaspäin osoittaa ajankohdan, jolloin J-käsittelyssä maanpinta eristettiin ja nuoli ylöspäin ajankohdan, jolloin eristeet poistettiin.



(kuva 1A). Talvella 2006 auratun alueen maa jäätyi jopa 100 cm syvyyteen. P- ja J-käsittelyjen lämpötiloissa ei ollut talven aikana eroja. Erot syntyivät keväällä, jolloin maanpinnan eristäminen hidasti maan lämpenemistä. J-käsittelyssä sulaminen jatkui heinäkuun alkupuolelle saakka, kun taas kontrolli- ja P-käsittelyssä lämpötila nousi 0°C yläpuolelle jo ennen toukokuun puoliväliä (kuva 1A ja B). Talven 2006 pakkasjakso oli pidempi ja sen seurauksena maan jäätyminen oli voimakkaampaa kuin 2007. Tämä näkyi myös J-käsittelyn maan hitaampana sulamisena keväällä 2006 kuin 2007.

Kontrollikäsittelyssä mineraalimaan kosteus oli talviaikana korkeampi kuin J- ja P- käsittelyissä, joista lumi oli poistettu (kuva 1B). Maan sulamisen seurauksena kosteuspitoisuus lähti kohoamaan selvästi ennen kuin maan lämpötila nousi 0°C yläpuolelle. Varsinkin keväällä 2006 maan eristäminen (J-käsittely) hidasti maan kosteuspitoisuuden nousua. Kesän 2006 kuivuusjakson aikana kosteuspitoisuus laski K- ja P-käsittelyissä 6 prosenttiin, kun taas J-käsittelyssä se oli samoihin aikoihin 20 % tienoissa.

Routakäsittelyjen vaikutus silmun puhkeamiseen

Maan routaantuminen talven aikana ja roudan hidas sulaminen keväällä viivästyttivät silmun puhkeamista (taulukko 1). Vaikutus oli erityisen selvä 2006, jolloin eristetyillä alueilla silmun puhkeaminen tapahtui keskimäärin kaksi viikkoa myöhemmin kuin kontrollialueilla. Vaikutus näkyi silmun kehitysvaiheen 1 osalta myös vuonna 2007.

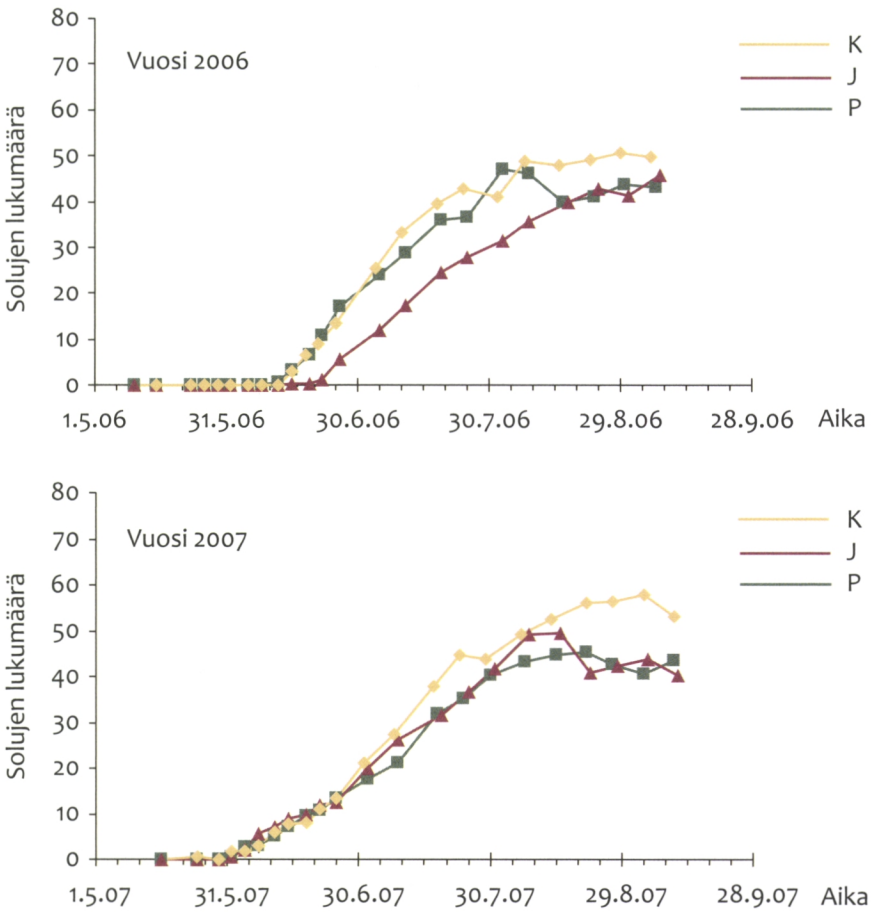
Taulukko 1. Kuusen silmujen keskimääräinen puhkeamisajankohta eri routakäsittelyissä vuosina 2006 ja 2007 (n=3). Vaiheessa 1 silmu on pullistunut ja ensimmäiset uudet neulaset ovat näkyvissä. Vaiheessa 2 uudet neulaset ovat selvästi näkyvissä ja uusi verso on aloittanut kasvunsa.

Käsittely	2006		2007	
	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 1	Vaihe 2
Kontrolli (K)	28.05	01.06	29.05	04.06
Aurattu (P)	29.05	03.06	01.06	05.06
Aurattu + eristetty (J)	10.06	15.06	02.06	06.06
Merkitsevyystaso (p-arvo)	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p=0.15

Routakäsittelyjen vaikutus rungon paksuuskasvuun

Routakäsittelyjen välillä oli vuonna 2006 eroja ajankohdassa, jolloin solujen muodostuminen alkoi. Eroja ei kuitenkaan havaittu 2007 mittauksissa (kuva 2). Vuonna 2006 uusien solujen muodostuminen alkoi K- ja P-käsittelyissä samaan aikaan 12.–13. kesäkuuta, mutta J-käsittelyssä vasta keskimäärin 20. kesäkuuta. Samansuuntainen, joskaan ei merkitsevä, ero näkyi myös solujen muodostumisen päättymisajankohdassa: K- ja P-käsittelyissä kasvu päättyi heinäkuun lopulla (28.–30.7), mutta J-käsittelyssä vasta 11. elokuuta. Soluja muodostui keskimäärin 48 vrk ajan. Vuonna 2007 ensimmäiset kuidut muodostuivat eri käsittelyissä 6.–9. kesäkuuta. Solujen muodostuminen päättyi heinäkuun 31. ja elokuun 9. päivän välillä. Paksuuskasvujakso oli keskimäärin 60 vrk.

Kuva 2. Routakäsittelyn vaikutus runkopuun solujen muodostumiseen vuosina 2006 ja 2007. Keltainen käyrä on kontrolli (K-käsittely), vihreä on aurattu (P-käsittely) ja punainen on aurattu + eristetty (J-käsittely).



Yhteenveto

Tulosten perusteella routaoloilla on vaikutusta kuusen silmun puhkeamiseen ja paksuuskasvun alkamiseen. Vaikutus näkyi kuitenkin vain siinä käsittelyssä, jossa maanpinta eristettiin keväällä sulamisen hidastamiseksi, ei kontrollikäsittelyn ja auratun (talvella lumettoman) käsittelyn välillä. Vaikutus näihin fenologisiin tunnuksiin oli samankaltainen: jos silmun puhkeaminen viivästyi, myös paksuuskasvun alkaminen viivästyi. Vuosien välillä oli huomattavat erot. Ensimmäisenä mittausvuonna, jolloin maan routaantuminen oli voimakkaampaa, roudan sulamisviive viivästytti myös kasvun alkamista. Sen sijaan toisen, edellistä lauhemman talven jälkeen vastaavanlaista vaikutusta ei havaittu.

Kirjallisuus:

Huttunen, L. & Soveri, J. 1993. Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 139:1–74.

Mäkinen, H., Seo, J-W., Nöjd, P., Schmitt, U. & Jalkanen, R. 2008. Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, micro-coring and dendrometer measurements. European Journal of Forest Research 127: 235–245.

Repo, T., Sutinen, S., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2007. Implications of delayed soil frost thawing on the physiology and growth of Norway spruce. Scandinavian Journal of Forest Research 22: 118–127.

Repo, T., Lehto, T. & Finér, L. 2008. Delayed soil thawing affects root and shoot functioning and growth in Scots pine. Tree Physiology 28: 1583–1591.

Rossi, S., Anfodillo, T. & Menardi, R. 2006. Trephor: A new tool for sampling microcores from tree stems. IAWA Journal. Vol. 27. (1): 89–97.

Solantie, R. 2003. On definition of ecoclimatic zones in Finland. Finnish Meteorological Institute, Reports 2003/2: 1–44.

Solantie, R. 2005. Productivity of boreal forests in relation to climate and vegetation zones. Boreal Environment Research 10: 275–297.

Zhang, T. 2005. Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. Reviews of Geophysics 43, RG4002: 1–23.

Jouni Partanen, MMT

Vuosirytmin säätymisen kokeellinen tutkimus

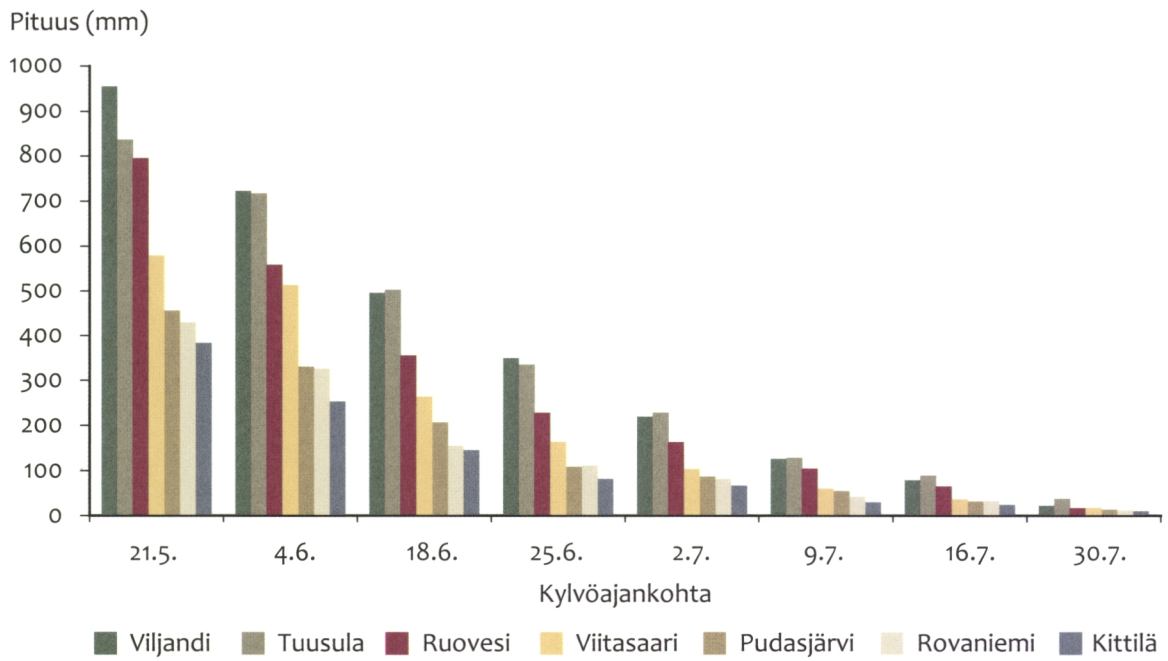
Puiden sopeutumisen edellytyksenä on niiden vuosirytmin tahdistaminen ilmaston vuosikierron kanssa. Vuosirytmi säätyy perinnöllisten ja ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksesta. Vuosirytmi koostuu kasvun päättymisestä loppukesällä ja kasvun alkamisesta seuraavana keväänä sekä niiden välisistä lepo- ja kasvuvaiheesta. Viileän ja lauhkean vyöhykkeen puiden vuosirytmiä säätelevistä ympäristötekijöistä tärkeimmät ovat lämpö ja valo.

Kasvun alkamiseen keväällä ilman lämpötilalla on suurempi merkitys kuin valo-olosuhteilla. Kokeellisten tutkimusten perusteella on kuitenkin osoitettu valo-olosuhteilla olevan merkitystä myös kasvun alkamiseen, ja kasvun päättymisen ajoittumista taas voidaan kuvata yönpituuden ja lämpösummakertymän yhteisvaikutuksena.

Kasvun päättyminen loppukesällä perustuu vapaassa kasvutavassa kriittisen yönpituuden antamaan signaaliin, joka käynnistää sekä siihen että sen jälkeiseen karaistumiseen johtavan kehityksen. Kasvun päättymisen jälkeinen kasvusilmujen lepotila purkautuu viileäaltistuksen (-5–+10°C) täytyttyä. Lepotilan purkautumisen seurauksena on kasvukompetenssin eli kasvukyvyn saavuttaminen. Kasvu alkaa kuitenkin vasta lämpösummavaatimuksen täytyttyä. Kasvun alkamisen edellytyksenä seuraavana keväänä ovat korkeat (> +5 °C) lämpötilat.

Lämpökertymän vaikutus kasvun päättymiseen

Mikäli kasvun päättymisen ajoittuminen riippuisi pelkästään yönpituudesta, kasvu päättyisi vapaassa kasvutavassa vuosittain tietyllä kalenteripäivämäärällä. Taimien kasvun päättymisen ajoittumiseen on kuitenkin havaittu olevan vaikutusta myös kasvukauden aikana vallitsevilla lämpöoloilla. Yönpituuden ja taimien kehitysvaiheen välisiä yhdistelmiä voidaan luoda kasvihuoneessa luonnonvalossa tasaisin väliajoin toistettujen kylvöjen avulla. Lämpökertymä vakioidaan pitämällä vuorokauden keskilämpötila samana. Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun ja Ruotsinkyläkylän kasvihuoneissa vuosina 1995 ja 1996 tehdyssä koesarjassa kasvukauden aikana kertynyt lämpösumma vaikutti ensimmäisenä kasvukautena männyn siementaimien kasvun päättymisen kriittiseen yönpituuteen: ensimmäisten kylvöerien taimien pituuskasvu päättyi suuremmalla lämpösummalla ja lyhyemmällä yönpituudella kuin viimeisten kylvöerien taimien. Metsäntutkimuslaitoksen Haapastensyrjän jalostusasemalla vuonna 2001 tehdyssä kokeessa rauduskoivun siementaimien loppupituus ensimmäisen vuoden jälkeen pieneni kaikilla alkuperillä ensimmäisestä kylvöerästä myöhempiin mentäessä. Kussakin kylvöerässä taas taimien loppupituus pieneni alkuperittäin etelästä pohjoista kohti siirryttäessä (kuva 1).



Kuva 1. Kahdeksalta kylvöajankohdalta peräisin olevien seitsemän rauduskoivualkuperän taimien keskimääräinen pituus kasvun päättyessä Haapastensyrjässä.

Valo-olosuhteiden ja iän vaikutus kasvun alkamiseen

Silmujen kasvukyvyn palautumiseen vaikuttavat vaihtoehtoisen käsityksen mukaan viileäaltistuksen lisäksi valo-olosuhteet. Valo-olosuhteiden vaikutusta silmujen puhkeamisen ajoittumiseen on testattu kuusen siementaimilla, oksilla, pistokastaimilla ja vartetaimilla. Muina vaihtelevina tekijöinä on käytetty kasvatuslämpötilaa, materiaalin ikää ja alkuperää sekä siirtoajankohtaa ulkoa kasvatusolosuhteisiin.

Lyhenevä päivä viivästytti 1994–1995 Ruotsinkylässä tehdyssä kasvihuonekokeessa kuusen pistokastaimien kasvusilmujen puhkeamista. Joensuussa 1997–1998 kasvukammioissa tehdyn kokeen perusteella kuusen pistokas- ja siementaimien kasvusilmujen puhkeamisen ajoittumiseen vaikuttavat lämpösummakertymän ohella myös kertyneet valotunnit siten, että valokertymä pienentää kasvun alkamisen lämpösummavaatimusta.

Valtaosa aikaisemmista kasvusilmujen puhkeamiseen ja sen ajoittumiseen vaikuttavia tekijöitä selvittäneistä kokeista on

tehty nuorilla siementaimilla. Kaksivuotiailla siementaimilla 2007–2008 Punkaharjulla tehdyn kokeen perusteella juuriyhteyden katkaisulla ei näytä olevan vaikutusta puhjenneiden silmujen määrään. Kuusen siementaimien silmulepo purkautuu Suomen olosuhteissa marraskuun loppuun mennessä. Punkaharjulla vuosina 1992–1993 sekä 2005–2006 oksilla tehtyjen kasvihuonekokeiden mukaan nuorten kuusten kasvusilmujen puhkeamisprosentti vaihtelee talven aikana riippumatta valojakson pituudesta. Vanhojen kuusten silmujen puhkeamisprosentti taas pysyy koko talven ajan alhaisena.

Kuusen ja rauduskoivun silmun sisäisten muutosten säätyminen

Edellä esitellyt tutkimukset perustuvat silmunpuhkeamisen silmävaraiseen seurantaan. Viileäaltistusvaatimuksen täyttymistä seuraavan kasvukyvyn saavuttamisen jälkeen kasvusilmujen sisällä tapahtuu kuitenkin jo paljon ennen havaittavissa olevaa puhkeamista rakenteellisia muutoksia, jotka voidaan havaita selvästi vain mikroskoopilla. Näihin kuuluu esimerkiksi vedenkuljetussolukoiden kehittyminen, sillä silmujen vesipitoisuuden lisääntyminen keväällä vaikuttaa olennaisesti niiden silmulevon purkautumiseen ja sitä seuraavaan silmujen puhkeamiseen.

Tässä esiteltävän, Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun ja Joensuun toimintayksiköissä tehtävän, tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena on selvittää mikroskoopilla kuusen ja rauduskoivun silmulevon purkautumiseen ja kasvun alkamiseen liittyviä silmun sisäisiä muutoksia. Toisena tavoitteena on löytää ja määritellä sellaiset silmun sisäisen kehityksen vaiheet, jotka voidaan havaita kenttäolosuhteissa halkaistusta / kuoritusta silmusta paljaalla silmällä tai suurennuslasia apuna käyttäen. Kolmantena tavoitteena on tutkia silmun kehitysvaiheiden ajallista riippuvuutta ympäristötekijöistä, etenkin lämmöstä. Neljäntenä tavoitteena on silmulevon purkautumiseen ja kasvusilmujen puhkeamiseen liittyvien merkkigeenien etsintä.



Kuva 2. Kuusesta otettu silmunäyte pinseteissä valmiina upotettavaksi fiksatiivinesteeseen. Kuva: Jouni Partanen.

Tutkimusmateriaalina käytetään 15-, 30- ja 80-vuotiaista kuusista tuotettuja vartetaimia sekä 15- ja 80-vuotiaiden kuusten ja 15- ja 45-vuotiaiden rauduskoivujen oksia. Tutkimuksessa käytetään kolmea tutkimusmenetelmää. (1) Silmukehityksen anatomiaa ja morfologiaa tutkitaan viemällä kasvukyvyn omaavia materiaaleja samalla kertaa kontrolloituihin valo- ja lämpöolosuhteisiin kasvihuoneeseen, jossa niistä otetaan päivittäin silmunäytteitä myöhempää mikroskooppista tarkastelua varten. (2) Silmunpuhkeamiseen johtavan kehityksen ajoittumista luonnonolosuhteissa tutkitaan ottamalla kevään kuluessa puista silmunäytteitä mikroskooppista sekä silmävaraista tarkastelua varten. (3) Silmulevon purkautumisen ajoittumista tutkitaan siirtämällä materiaaleja syksyn kuluessa luonnonolosuhteista määrävälein kontrolloituihin valo- ja lämpöolosuhteisiin kasvihuoneeseen, jossa silmunäytteitä otetaan mikroskooppista ja silmävaraista tarkastelua sekä biokemiallisia analyysejä varten (kuva 2).

Edellä esitelty tutkimus tuo uutta tietoa, jota voidaan soveltaa kasvusilmujen puhkeamisen silmävaraisen havainnoinnin tarkentamiseen sekä fenologisten silmukehityksen mallien testaamiseen ja kehittämiseen. Tutkimuksessa kehitetään menetelmiä, joilla silmujen sisäistä kehitystä voidaan havainnoida kenttäolosuhteissa preparoiduista silmuista paljaalla silmällä tai suurennuslasilla ilman tarkempaa tutkimusta laboratoriossa. Lisäksi tutkimuksessa voidaan kehittää uusia menetelmiä ilmastonmuutoksen metsävaikutusten ennakoimiseksi.

Kirjallisuutta:

Partanen, J. & Beuker, E. 1999. Effects of photoperiod and thermal time on the growth rhythm of *Pinus sylvestris* seedlings. Scandinavian Journal of Forest Research 14(6): 487–497.

Partanen, J., Koski, V. & Hänninen, H. 1998. Effects of photoperiod and temperature on the timing of bud burst in Norway spruce (*Picea abies*). Tree Physiology 18(12): 811–816.

Partanen, J., Leinonen, I. & Repo, T. 2001. Effect of accumulated duration of the light period on bud burst in Norway spruce (*Picea abies*) of varying ages. Silva Fennica 35(1): 111–117.

Partanen, J., Hänninen, H. & Häkkinen, R. 2005. Bud burst in Norway spruce (*Picea abies*): preliminary evidence for age-specific rest patterns. Trees 19: 66–72.

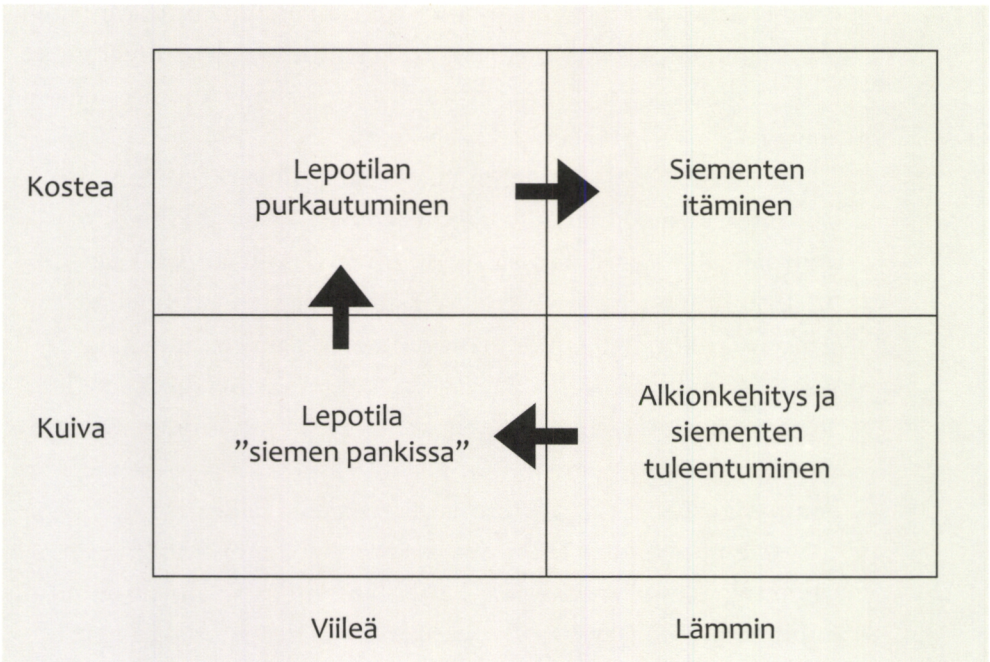
Viherä-Aarnio, A., Häkkinen, R., Partanen, J., Luomajoki, A. & Koski, V. 2005. Effects of seed origin and sowing time on timing of height growth cessation of *Betula pendula* seedlings. Tree Physiology 25 (1): 101–108.

Markku Nygren, MMT

Pääpuulajiemme siementen vuosirytmi ja siemenlepo

Tarkastelen seuraavassa pääpuulajiemme siementen vuosirytmin säätymistä ympäristötekijöiden ohjaamana. Siemenaiheen hedelmöityksen jälkeen siementen vuosisykli säätyy ympäristön lämpötilan, fotoperiodin ja siementen vesipitoisuuden mukaan. Sykli on jaettavissa neljään toisiaan seuraavaan vaiheeseen: (1) alkionkehitys ja siementen tuleentuminen kasvukauden aikana, (2) siemenlepo "siemenpankissa" talvehtimisen aikana, (3) siemenlevon purkautuminen keväällä ja (4) siementen itäminen alkukesällä. Vaiheesta toiseen siirrytään vähitellen nopeudella, joka riippuu ympäristöstä ja perimästä (kuva 1).

Uuden kasviyksilön kehitys alkaa siemenaiheen hedelmöittymisestä, mikä kaikilla pääpuulajeillamme osuu alkukesään ja tapahtuu pian pölytyksen jälkeen (paitsi männyllä vasta yli vuoden kuluttua kukinnasta). Alkionkehityksen loppuvaiheessa siemenet tuleentuessaan vähitellen kuivuvat ja siirtyvät samalla lepotilaan. Lepovaiheessa pääpuulajiemme siemenet talvehtivat;



Kuva 1. Periaatekuva siementen vuosisyklistä alkionkehityksestä itämiseen (Nygren 1986). Akselit luonnehtivat yleisesti lämpö- ja vesitalousolosuhteiden suotuisuutta kullekin syklin vaiheelle.

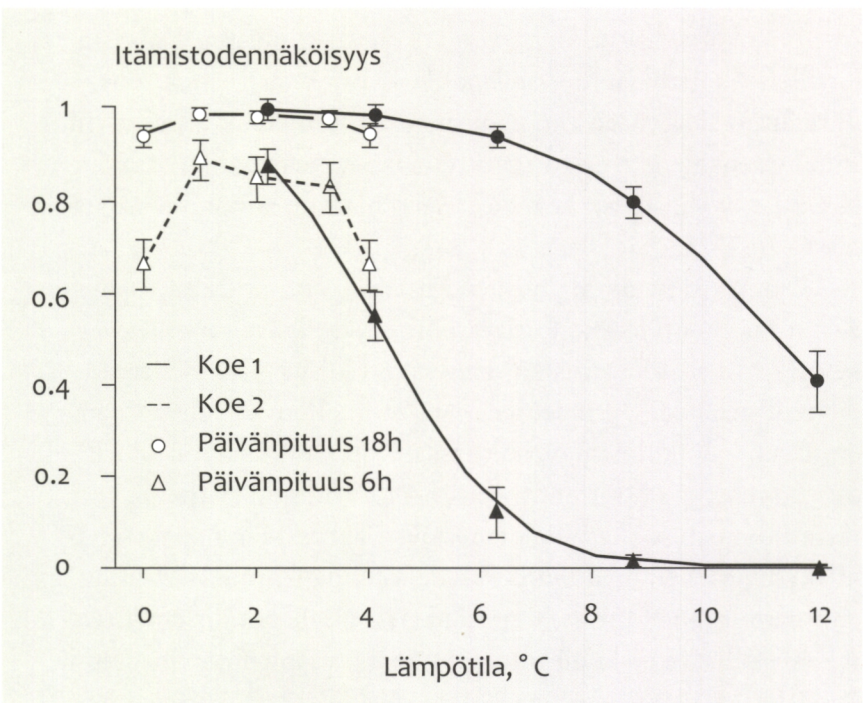
mänty ja kuusi kävyissä, puussa ja koivulajit maassa. Kuivissa ja viileissä talviolosuhteissa lepotila säilyy kevääseen, kunnes se purkautuu siementen varisemisen jälkeen niiden joutuessa viileään, lumensulamisvesien kostuttamaan metsämaahan. Itäminen käynnistyy vähitellen kevätkosteassa maassa, lämpötilan noustessa.

Esitetty siementen vuosisyklin määräytyminen antaa aiheen pariin huomautukseen. Ensiksi: poikkeuksellisen kuivina syksyinä kuusi saattaa varistaa siemenensä jo syksyllä, ja siemen talvehtii maassa. On todennäköistä, että tällöin talvehtiminen onnistuu vain kuivissa olosuhteissa. Kuten norjalainen Mork on vuonna 1951 osoittanut, vettyneet havupuun siemenet sietävät huonosti pakkasta ja menettävät jäätyessään nopeasti itämiskykynsä. Mihin sitten perustuu koivulajiemme siementen onnistunut talvehtiminen metsämaassa? Selitys on siementen rakenteessa. Ne eivät ole aitoja siemeniä, vaan pähkylähedelmiä, joissa herkästi vaurioituvaa alkiota suojaavat sekä varsinainen

siemenkuori että hedelmänkuori. Morkin aiempien tutkimusten mukaan näiden kahden kuorikerroksen välissä oleva ilmaontelo suojaa tehokkaasti sisäosia vettymiseltä; kuivina koivun siemenet sietävät jopa -50 °C:een pakkaslukemia.

Esittämässäni siementen vuosisyklimallissa lepotilan purkautumisvaihe on pitkälle identtinen Sarvaksen syklimallin dormansi I-vaiheen kanssa. Se on myös kirjallisuudessa täsmällisimmin kvantifioitu syklin osa. Siementen käsittelyssä tarkoituksellinen lepotilan poistaminen on tunnettu jo kauan ns. stratifiointina. Myös Sarvaksen tutkimuksissa dormansi I:n etenemisnopeuden empiirinen, kellokäyrän muotoinen kuvaaja perustui koivun siementen (oik. pähkylöiden) itävyyteen, eri lämpötiloissa tehtyjen "vilutuskäsittelyjen" jälkeen.

Olemme omissa tutkimuksissamme todenneet vastaavan riippuvuuden olemassaolon, kuitenkin niin että valojakson pituus vilutusta seuraavan idätyksen aikana säätelee voimakkaasti riippuvuuden muotoa (kuva 2).



Kuva 2. Rauduskoivun siementen itämistodennäköisyys kolmen viikon pituisen stratifioinnin jälkeen kahdessa eri kokeessa. Stratifiointilämpötila vaihteli välillä 0...+12 °C. Idätys tehty stratifoinnin jälkeen +12 °C:een lämpötilassa, 18 h ja 6 h päivänpituudessa. Vanhatalon ym. (1996) mukaan.

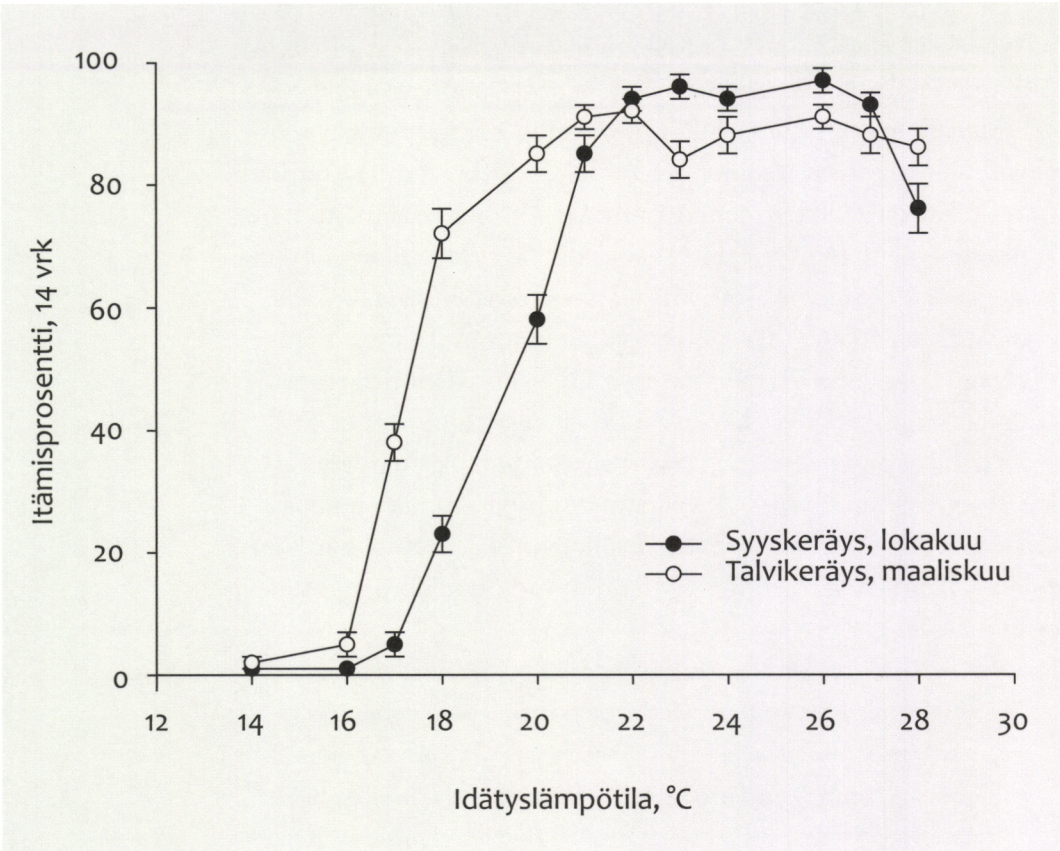
Siementen lepotilan syveneminen ja purkautuminen voidaan toistaiseksi todeta vain ja ainoastaan idätystestein. Testitulosten tulkinta on mutkikasta, koska kukin genotyyppi reagoi idätysolosuhteisiin spesifisellä tavalla syklin vaiheesta riippuen ja testiolosuhteet vaikuttavat siihen, voimmeko todeta lepotilan purkautuneen. Kuten edellä on todettu, ainakin kotimaisella männyllä ja rauduskoivulla erityisesti fotoperiodi idätyksen aikana näyttää purkavan siemenlevon. Toisaalta tietyissä olosuhteissa lepotila voi idätyksen aikana myös syventyä, jolloin sanotaan siementen siirtyvän ns. sekundäärihorrokseen. Tällaisia epäedullisia olosuhteita ovat mm. pitkä yö, hapen puute tai vesitalousstressi.

Edellä esitetyt seikat viittaavat siemenhorroksen dynaamiseen luonteeseen. Sarvas oli epäilemättä hyvin tietoinen tästä seikasta ja kirjoittaessaan *"true-dormancy"*-käsitteestä hän toteaakin Rovaniemellä vuonna 1971 tutkimuspäivillä pitämässään esitelmässä:

> "On heti syytä puuttua...mainittuun "true"-termiin...ekologis-fysiologisesti katsoen, true-termi on erittäin epäonnistunut, sillä dormansi I ei suinkaan ole mikään syvä lepotila, päin vastoin, siihen keskittyy suuressa määrin ns. talveentuminen ja vasta sen jälkeen alkaa varsinainen talvihorros, dormansi II, mikäli nyt on lainkaan tarkoituksenmukaista puhua horroksesta, levosta tai dormansista, koska kaikki korostavat liiaksi fysiologista staattisuutta."

Sarvaksen ajattelumalli on siten lähellä ruotsalaisen Vegisin vuonna 1963 esittämää siemenhorroksen mallia, jonka mukaan horroksessa on kyse itämiselle suotuisan lämpötila-alueen vähittäisestä kaventumisesta horroksen indusoituessa ja alueen laajenemisesta horroksen purkautuessa.

Mielenkiintoinen väittämä Sarvaksella on siitä, että syklin vaiheiden tulisi toteutua "täysimääräisenä" jotta kasvien kehitys olisi normaalia. Hän mainitsee kirjoituksessaan riskit, joita vuosirytmin luontaisten tapahtumien sivuuttaminen voi tuoda mukanaan. Edelleen Sarvas viittaa maatalouskasveilla saatuihin tuloksiin, joiden mukaan dormansivaiheen sivuuttaminen voi johtaa elinvoimaisuudeltaan normaalia heikompiin kasveihin



Kuva 3. Itämisen lämpötilavasteen muutos männyllä talvehtimisen aikana. Lokakuussa ja maaliskuussa, viidestä puusta kerätyn satunnaisnäytteen (n=150) itämisprosentti (±keskivirhe) eri lämpötiloissa kahden viikon inkuboinnin jälkeen (Nygren ym., julkaisematon).

(ei vain taimiin, vaan varttuneempiinkin kasveihin). Metsäpuilla tällainen potentiaalinen riski on olemassa, kun siemeniä kerätään talouskäyttöön syksyllä, ennen luontaista lepovaihetta.

Tiedämme, että siemenissä tapahtuu lepovaiheen aikana fysiologisia muutoksia. Ainakin itämisen lämpötilavaste muuttuu; koivulla tämä muutos on erityisen silmiinpistävä. Varisemishetkellä loppukesällä rauduskoivun siemen itää vain korkeassa, yli +25 °C:een lämpötilassa, mutta talvehtimisen jälkeen

itäminen käynnistyy jo + 10 °C:ssa. Viimeaikaisten tutkimustemme perusteella mänty näyttää käyttäytyvän samaan tapaan (kuva 3). Alustavien tulosten mukaan itämisen lämpötila-alue laajenee talven aikana erityisesti matalien lämpötilojen suuntaan.

On epäselvää, voiko siementen luontaisen lepovaiheen sivuuttaminen metsäpuilla aiheuttaa ongelmia taimien myöhemmässä kehityksessä. Todennäköistä on, että siemenet kuitenkin altistuvat luonnossa tapahtuvaa lepotilan purkautumista vastaavalle jaksolle kylmävarastoinnin aikana. Kysymys voi tulla ajankohtaiseksi, jos varastointiaika on lyhyt ja siemenet kylvetään lämpimiin olosuhteisiin, jolloin ne eivät saa riittävästi "vilutusta" ennen itämisvaihetta. Toistaiseksi tietomme metsäpuiden siementen täsmällisistä fysiologisista reaktioista po. käsittelyihin ovat puutteelliset. Varmaa kuitenkin on, että talvehtimiseen liittyville ilmiöille on luontevaa etsiä selityksiä ja uusia tulkintoja Sarvaksen vuosirytmimalliin tukeutuvalla tutkimuksella.

Kirjallisuutta:

Mork, E. 1951. Faktorer som virker på spireevnen hos furu-, gran- og björkefrö. Medd. Norske Skogforsöksves. 38:163–173.

Nygren, M. 1990. Tree seed production response to climate. Paper presented in BLECSCO Workshop, 12–13 December, 1990, 3 s. Helsinki. Finland.

Vanhatalo, V., Leinonen, K., Rita, H. & Nygren, M. 1996. Effect of prechilling on the dormancy of Betula pendula seeds. Can. J. For. Res. 26:1203–1208.

Vegis, A. 1963. Climatic control of germination, bud break and dormancy. Teoksessa: Evans, L.T.(toim.): Control of Plant Growth, ss. 265–287. New York and London.

Venäläinen, M. 1992. Pohjoisten ja eteläisten alkuperien itämistunnukset. Siemenpäivät Siilinjärvellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426:19–33.

Jaana Luoranen, MMT

Taimituotanto ja metsänviljely

Vuosisyklin merkitys on suuri metsäpuiden taimituotannossa, jossa laadukkaita taimia pyritään tuottamaan mahdollisimman tehokkaasti. Viime vuosina vuosisyklin ja sen vaiheiden merkitys on tullut yhä tärkeämmäksi myös metsänviljelyssä, kun istutuskausi on koneellisen istutuksen ja työvoimapulan vuoksi pidentynyt perinteisestä keväästä jopa koko kasvukauden läpi jatkuvaksi. Sekä taimituotannossa että metsänviljelyssä taimien luontainen vuosisykli asettaa rajat sille, miten ja milloin taimia voidaan kasvattaa ja milloin niitä voidaan istuttaa. Seuraavassa kuvataan lyhyesti muutamia taimituotannossa ja metsänviljelyssä käytettyjä menetelmiä tai toimintatapoja, joissa on hyödynnetty professori Risto Sarvaksen oppeja joko suoraan tai epäsuorasti.

Taimituotannon tehostaminen

Taimituotannossa tehokkuus merkitsee sitä, että taimituotantoa on keskitetty isoille taimitarhoille, joissa voidaan hyödyntää monipuolisesti uusinta teknologiaa. Näillä isoilla taimitarhoilla tuotetaan taimia laajalle maantieteelliselle alueelle, jolloin taimia ei kasvateta niiden luontaisen kasvupaikan ilmasto-oloissa. Taimituotannossa on siis huomioitava se, että esimerkiksi keskisuomalaisella taimitarhalla Etelä-Suomeen tuotettavat taimet jatkavat kasvuaan eli niiden aktiiviperiodi jatkuu pitempään syksyllä kuin paikallisella tai taimitarhaa pohjoisempaa olevalla taimialkuperällä. Tämä taas merkitsee sitä, että myös taimien karaistumiskehitys viivästyy taimitarhan luontaisissa lämpö- ja päivänpituusolosuhteissa. Toisaalta keväällä taimien alkuperä vaikuttaa taimien silmunpuhkeamisaikatauluihin niin, että taimitarhaa pohjoisemmilla alkuperillä silmut voivat puhjeta paikallisia ja eteläisiä alkuperiä aiemmin.

Taimituotannon tehokkuutta on lisätty myös niin, että yhden kasvukauden aikana pyritään aloittamaan mahdollisimman monen taimisadon kasvatus samassa muovihuoneessa. Siispä luontaisesta vuosirytmistä poiketen osa taimista on kylvettävä jo kevättalvella, jolloin luontaiset lämpö- ja valo-olosuhteet eivät vielä normaalisti riitä kasvuun. Tällöin apuun otetaan lisä- ja/tai häirintävalot ja kasvihuoneiden lämmitys. Kun taimien normaalia vuosirytmiä on näin muutettu, ihan ilman ongelmia ei aina selvitä. Taimiin voi muodostua silmut, jos lisä- tai häirintävaloa ei ole annettu riittävästi. Valtaosa keväällä silmuuntuneista taimista kyllä jatkaa kasvuaan, mutta kun vain osa taimista silmuuntuu, taimierästä ei kasva enää tasakokoista. Toisaalta osa taimista kylvetään vasta kesällä. Myöhäisimpien kylvöjen ajoitusta päätettäessä on muistettava, että jäljellä olevan kasvukauden on oltava riittävän pitkä, jotta taimet ehtivät lopettaa pituuskasvunsa ennen talventuloa.

Tuotettaessa taimia laajemmalle maantieteelliselle alueelle ja tuotettaessa useampia taimisatoja samalla tuotantoalalla taimien karaistumiskehitys voi osalla taimieristä viivästyä. Taimien karaistumiskehitykseen vaikuttaa myös taimitarhan luonnonoloja optimaalisemmat kasvatusolosuhteet. Karaistumisen viivästyminen aiheuttaa taimitarhoilla ongelmia, sillä ensimmäisiä syyshalloja voi esiintyä jo elokuun lopulla tai syyskuun alussa taimitarhan sijainnista ja vuodesta riippuen. Aktiivivaiheessa olevien taimien pakkaskestävyys on noin -3 °C. Taimien karaistumiskehitystä voidaan aikaistaa lyhytpäivä(LP)-käsittelemällä taimia loppukesällä. Sarvaksen vuosisyklimallin mukaisesti karaistumiskehitys ei voi alkaa ennen kuin taimien pituuskasvu on päättynyt. Pituuskasvun päättymisen taas saa aikaan alkuperälle tyypillinen kriittinen yönpituus, eli kun yön pituus ylittää tuon kriittisen rajan, taimet saavat signaalin lopettaa pituuskasvunsa. Tätä hyödynnetään LP-käsittelyssä, jossa yön pituus pidennetään yleensä noin 10–12 tuntiin vuorokaudessa. Lyhytpäiväkäsittelyäkään ei voida kuitenkaan aloittaa koska tahansa. Kun LP-käsittelyä käytetään karaistumiskehityksen aikaistamiseen, taimien on oltava riittävän pitkällä kehityksessään, jotta ne eivät käsittelyn jälkeen enää aloittaisi kasvuaan uudelleen. Männyllä LP-käsittelyä voidaan käyttää myös alkukesällä, jolloin tavoitteena on tuottaa "2-vuotiaita" taimia yhdessä kasvukaudessa. Niillä siis toivotaankin, että käsittelyn jälkeen taimien kasvu alkaa uudelleen ja taimi tekee kaksoisneulasia jo ensimmäisenä kesänä.

Tutkimusten mukaan kuusen 1- ja 2-vuotiailla taimilla LP-käsittely voidaan aloittaa turvallisesti heinäkuun alussa. Silloin taimet pysäyttävät pituuskasvun, muodostavat päätesilmut ja karaistuvat riittävästi ennen ensimmäisiä syyshalloja. Luontaisesti pituuskasvu päättyy yksivuotiaillakin taimilla viimeistään elokuun loppupuolella, joten sen jälkeen käsittelyä ei enää kannata aloittaa. Vaikutukset voivat olla jopa negatiivisia, kun yhteyttämiseen käytettävissä oleva valoisa aika jää liian lyhyeksi, jolloin taimet eivät saa karaistumiseensa riittävästi yhteyttämistuotteita. Pidennettyyn istutuskauteen liittyen on Metlan

Suonenjoen yksikössä tutkittu myös LP-käsittelyn aloittamista jo kesäkuussa. Tulokset osoittavat, että kun lämpösummaa on kertynyt vähintään 300 d.d. ennen LP-käsittelyn alkamista ja käsittelyn jälkeen ennen elokuun puoliväliä lämpösummaa kertyy enintään 450 d.d., taimien jälkikasvuriski on pieni. Varhaiset LP-käsittelyt aikaistavat taimien karaistumiskehitystä, mutta syyskuun lopulla niiden pakkaskestävyys on samanlainen kuin käsittelemättömien taimien. Verrattuna heinäkuussa aloitettuun LP-käsittelyyn, varhain lyhytpäiväkäsitellyt taimet eivät ole yhtä kestäviä syyskuussa, mutta kestävyys on kuitenkin riittävä syyshalloja vastaan.

Metsänviljely

Perinteisesti istutuskausi on ajoittunut taimien lepokauden loppuun tai talveentumisen alkuvaiheisiin syksyllä. Nykyisin istutuskautta on pidennetty käyttämällä taimien pakkasvarastointia. Sekä syksyllä varastoinnin aloituksessa että keväällä tai alkukesällä varastoinnin päättämisessä pitää huomioida taimien vuosisykli. Syksyllä taimia ei voida laittaa pakkaseen ennen kuin talveentumisprosessi on riittävän pitkällä. Kriittisintä on juurten pakkaskestävyys, sillä verson pakkaskestävyyskehitys alkaa pitenevän yön vaikutuksesta, mutta juurilla karaistumiseen vaikuttaa vain aleneva lämpötila. Näin esim. LP-käsittelyllä voidaan aikaistaa vain verson karaistumista, mutta juuristoon sillä ei voida vaikuttaa. Taimia ei voi viedä pakkasvarastoon yleensä ennen lokakuun puoliväliä.

Alkukesällä taimien pakkasvarastointi on lopetettava niin aikaisin, että jäljellä oleva kasvukausi on riittävä taimien aktiiviperiodiin ja uudelleen talveentumiseen. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että taimet on otettava pakkasvarastosta viimeistään kesäkuun puoliväliin mennessä, jotta lämpösummaa ehtii kertyä riittävästi ennen ensimmäisiä syyshalloja. Jos taimet otetaan myöhemmin, kasvukausi jää liian lyhyeksi ja taimilla on riski vaurioitua alkusyksyn halloissa.



Kuva 1. Kesäistutus on osoittautunut sekä tutkimusten että käytännön kokemusten perusteella hyväksi keinoksi laajentaa koivun paakkutaimien istutuskautta keväästä myös heinäkuulle. Kuva: Erkki Oksanen/Metla.

Ollakseen kannattavaa koneellinen istutus edellyttää, että sen käyttökausi olisi mahdollisimman pitkä. Taimet ja istutusolot asettavat kuitenkin istutuskaudelle rajat. Keväällä istutusta ei voida aloittaa ennen kuin routa on sulanut ja toisaalta syksyllä istutusta ei voida enää jatkaa maan routaantumisen jälkeen. Taimet ja niiden vuosirytmi lyhentävät tätä maksimaalista istutuskautta etenkin syksyllä. Keväällä taimien kannalta optimaalisinta olisi, jos ne istutettaisiin vasta, kun maan lämpötila on riittävän korkea veden ja ravinteiden otolle sekä juurten kasvulle. Tämä edellyttäisi, että istutus aloitettaisiin vasta, kun maan lämpötila on yli 8 °C. Taimien menestymisen kannalta vielä tärkeämpää on se, että loppusyksyllä taimia ei istuteta liian myöhään. Istutuksen jälkeen taimien olisi hyvä juurtua ja mukautua kasvupaikalle ennen talvea, jotta ne kestäisivät pakkasta ja kevättalven ahavaa. Juurten kasvu, joka on oleellinen osa kasvupaikalle mukautumisessa, on riippuvainen maan lämpötilasta. Periaatteessa juuret voivat kasvaa niin pitkään kuin lämpötila on riittävän korkea ja valon määrä yhteyttämistä varten on riittävä. Syksyllä päivän pituus lyhenee ja samalla se aika, jonka taimet pystyvät yhteyttämään, lyhenee, jolloin myös yhteyttämistuotteiden määrä vähenee. Niitä ei riitä ylläpitohengityksen ja karaistumiskehityksen vaatimien hiilihydraattien jälkeen enää juurten kasvuun. Näin ollen istutuskautta ei voi jatkaa enää syyskuun lopun – lokakuun alun jälkeen, ilman että istutuksen epäonnistumisriski kasvaa liian suureksi. (Kuva 1).

Käytännön koneistutusaloilta tehdyn selvityksen mukaan kuusen paakkutaimia voidaan turvallisesti istuttaa toukokuun alun ja syyskuun lopun välisenä aikana. Tämä kuitenkin edellyttää, että eri istutusajankohtina käytetään niihin soveltuvia, tarvittaessa edellä kuvattuja taimien vuosirytmiä muuttavia menetelmiä hyödyntäen tuotettuja taimia. Keväällä ja alkukesällä voidaan istuttaa joko pakkasvarastoituja, lepotilaisia taimia tai ulkona varastoituja, kevätistutukseen kasvatettuja, kesäkuussa jo kasvussa olevia taimia. Molemmilla taimimateriaalityypeillä istutuskausi on lopetettava viimeistään juhannukseen mennessä. Juhannuksen jälkeen kevätistutukseen tarkoitetut taimet ovat kasvatustiheyteensä ja käytettyyn paakun tilavuuteen nähden kasvaneet liian kookkaiksi, jolloin sekä taimien elävyys että pituuskasvu istutuksen jälkeisinä vuosina heikkenevät. Kesäistutukseen on tuotettava 1½-vuotiaita taimia niin, että taimien kylvöaika edellisenä vuonna ajoitetaan sen mukaan, että taimet ovat juuri oikean kokoisia aiottuna istutusajankohtana. Heinäkuun puolivälin jälkeisiin istutuksiin kannattaa tuottaa LP-käsiteltyjä taimia, jotka kestävät paremmin käsittelyä, kuivuutta ja syyshalloja. Syyskuun puolivälin jälkeen voidaan istuttaa myös ilman LP-käsittelyä kasvatettuja taimia.

Kirjallisuutta:

Konttinen, K. & Rikala, R. 2006. Kuusen taimia kesäistutuksiin – kylvö kevättalvella ja istutus heinäkuussa? Taimiuutiset 2/2006: 5–8.

Luoranen, J. & Kiljunen, N. 2006. Kuusen viljelyopas. Metsäntutkimuslaitos. 108 s.

Luoranen, J., Rikala, R., Konttinen, K. & Smolander, H. 2005. Extending the planting period of dormant and growing Norway spruce container seedlings to early summer. Silva Fennica 39(4): 481–496.

Luoranen, J., Rikala, R., Konttinen, K. & Smolander, H. 2006. Summer planting of Picea abies container-grown seedlings: Effects of planting date on survival, height growth and root egress. Forest Ecology and Management 237: 534–544.

Risto Häkkinen, MMT

Historialliset fenologiset aikasarjat ja puiden vuosirytmin tutkimus

Fenologia on tieteenala, joka tutkii eläinten ja kasvien elämänkaaressa vuosittain toistuvien tapahtumien ajoitusta ja niiden suhdetta ilmastollisiin tekijöihin, kuten lämpötilaan ja valon määrään. Ongelma on vanha ja se on ollut myös käytännön toimeentulon kannalta tärkeä. Esimerkiksi keväiset kylvöajankohdat on määritelty kokemuksen pohjalta kevään merkkeihin perustuvien peukalosääntöjen avulla.

Ilmastonmuutos on lisännyt fenologisen tutkimustiedon ja mallien tarvetta. Jos puiden vuosirytmi muuttuu esimerkiksi niin, että silmut puhkeavat liian aikaisin, seuraamuksena on pakkasvaurioita ja niistä aiheutuvia kasvu- ja lisääntymistappioita (kuva 1). Jotta voidaan ennustaa, miten puut käyttäytyvät muuttuvassa ilmastossa, tarvitaan malleja, jotka kuvaavat, miten puiden toiminnot säätyvät ja ajoittuvat muuttuvien ympäristötekijöiden funktiona. Mittaamalla fenologisia tapahtumia luonnonolosuhteissa ja järjestämällä kontrolloituja kokeita saadaan aineistoa, jonka avulla voidaan kehittää ja testata fenologisia malleja.



Kuva 1. Pihlaja kukkii Helsingin Käpylässä lokakuussa 1995. Syksyn poikkeuksellisten sääolojen vuoksi silmulepo on purkautunut liian aikaisin. Pihlajan kukat tuhoutuvat ja normaalin vuosirytmin mukainen seuraavan kesän lisääntyminen jää toteutumatta. Kuva: Risto Häkkinen.

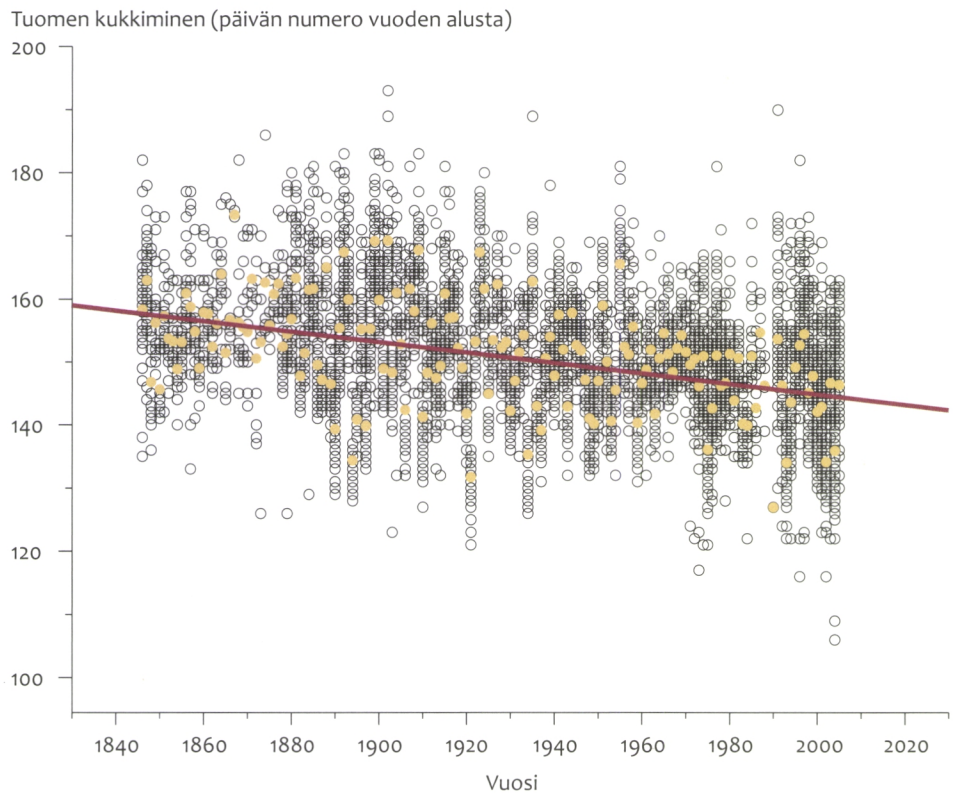
Pisin suomalainen, aikalaishavaintoihin perustuva luontoa koskeva aikasarja on vuodesta 1693 alkava Tornionjoen jäidenlähtö, joka kuvaa välillisesti talven ja kevättalven sääoloja. Sarjan huolellisen keräämisen motivaationa oli se, että Torniossa järjestettiin vuosittain vedonlyönti jäiden lähdön ajankohdasta. Mutta myös tieteen innoittamien fenologisten havaintojen keräämisen perinne on Suomessa pitkä. Ruotsinvallan aikaisten tieteen suurmiesten Carl von Linnéen ja Anders Celciuksen vaikutuksesta myös Suomessa alettiin tehdä systemaattisesti havaintoja lämpötilasta ja fenologisista tapahtumista jo 1700-luvun alkupuoliskolla. Niinpä tiedämme esimerkiksi, että Turussa koivut olivat hiirenkorvalla toukokuun 9. päivä 1751 ja käki kukkui vuonna 1752 ensi kerran 13. toukokuuta.

Tieteellisesti pätevä lämpötilan mittaus alkoi Helsingin Kaisaniemessä vuonna 1844 Ilmatieteen laitoksen edeltäjän, Keisarillisen Aleksanterin yliopiston yhteydessä toimineen Magneettisen

observatorion toimesta. Hyvin ohjeistettu, maallikoiden tekemä fenologinen havainnointi alkoi Suomen Tiedeseuran toimesta jo vuonna 1846 ja jatkuu edelleen, nykyisin Luonnontieteellisen Keskusmuseon (Eläinmuseo) organisoimana. Havaintosarjoissa on melkoisia tietomääriä. Vuosittain noin 160 havainnoitsijalta kertyy noin 6300 havaintoa, joista 35 % on eläin- ja 65 % kasvihavaintoja. Maallikkojen tekemiin mittauksiin liittyy epätarkkuuksia, mutta toisaalta aineiston massiivisuus edesauttaa säännönmukaisuuksien löytymistä.

Historiallisesti tärkeä oivallus mallittamisessa oli ranskalaisen de Reaumurin jo vuonna 1735 esittämä lämpösumman käsite, johon Sarvaksenkin puiden vuosirytmin mallit pitkälti perustuvat. de Reaumur havaitsi, että kun hän summasi yhteen huhti-touko-kesäkuun päivittäiset keskilämpötilat, niin sadonkorjuun ajankohdat sattuivat vuodesta toiseen jokseenkin samalle lämpösummalle, kun taas aika-asteikolla sadonkorjuuajan vaihtelu vuodesta toiseen oli yli kuukausi. Näin de Reaumur tuli laatineeksi ensimmäisen matemaattisen mallin, joka kuvasi syvällisesti biologisen tapahtuman (sadon kypsymisen) ja ympäristötekijän (lämpötilan) välisen riippuvuuden. Sadon kypsymiselle rinnasteisia puiden vuosirytmin tapahtumia ovat esimerkiksi kukkiminen, kasvun päättyminen ja silmun muodostuminen.

Suomen Tiedeseuran keräämiä aikasarjoja hyödynnettiin aluksi, ja hyödynnetään edelleen, tekemällä vuosittaisia karttoja siitä, milloin erilaiset fenologiset ilmiöt missäkin päin Suomea sattuvat, sekä tutkimalla tapahtumien vuosien välistä vaihtelua ja laskemalla vuosikeskiarvoja. Kuitenkin jo 1800-luvulla tehtiin myös syvällistä ja metodisesti haastavaa tutkimusta. Esimerkiksi regressioanalyysillä tutkittiin, miten fenologisten tapahtumien ajoitus riippuu leveysasteesta ja päivän pituudesta. Sittemmin fenologisen tutkimuksen metodologinen ote taantui pelkäksi tilastoinniksi. Vasta Sarvaksen puiden vuosirytmitutkimusten myötä 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa tutkimukseen tuli jälleen teoreettista ja mallintavaa otetta. Samoihin aikoihin Pertti Hari otti käyttöön kehitysvaiheen ja kehitysnopeuden



Kuva 2. Tuomen kukkimisajankohta napapiirin eteläpuolisessa Suomessa vuosina 1846–2005. Pystyakselilla on kukkimispäivän järjestysnumero vuoden alusta laskien. Kuvassa on yhteensä 7463 kukkimishavaintoa, jotka on merkitty avoimilla mustilla ympyröillä. Vuosikeskiarvot on merkitty keltaisilla palloilla. Tuomen kukkimisen ajoittumista kuvaavan tasoitussuoran mukaan aikaistumisnopeus oli tutkimusjaksolla 8,5 vrk / 100 vuotta. Havaintoaineisto: Suomen Tiedeseura/Luonnontieteellinen Keskusmuseo (Eläinmuseo).

(= ympäristötekijöistä riippuva kehitysvaiheen aikaderivaatta) käsitteet, jotka olivat käyttökelpoisia työkaluja matemaattisessa mallittamisessa.

Suurin osa fenologisista kokeista on tehty maastossa tai kasvihuoneessa käyttäen koemateriaalina pieniä taimia tai isoista puista kerättyjä oksia. Useimmiten on havainnoitu puiden ulkoisia tunnusmerkkejä kuten silmun puhkeamista. Toisaalta Sarvaksen kehittämät puiden vuosirytmin dormanssin ja aktiivin periodin mallit perustuivat kokeellisiin, mikroskoopin avulla tehtyihin mittauksiin. Suomen Tiedeseuran 150 vuotta pitkät fenologiset aikasarjat ja lähes yhtä pitkät Ilmatieteen laitoksen lämpötilasarjat ymmärrettiin ottaa käyttöön puiden vuosirytmitutkimuksessa vasta 1980-luvulla. Tämä mahdollisti puiden vuosirytmin tutkimisen aikuisista puista luonnon oloissa tehdyillä havainnoilla. Pitkien aikasarjojen avulla voitiin

testata ja kehittää vaihtoehtoisia fenologisia malleja ja soveltaa niitä pakkasvaurioriskien analyysiin. Lähtökohtana olivat Sarvaksen vuosirytmimallit ja Harin kehitysvaiheen mallit.

Suomen Tiedeseuran aikasarjojen hyödyntämistä havainnollistetaan lopuksi Linkosalon ym. ilmastonmuutosta koskevilla tutkimustuloksilla, jotka on saatu analysoimalla fenologisten mallien avulla lämpötilamittauksia ja puitten lehteen tulon ja kukkimisen aikasarjoja. Kuvassa 2 on esitetty tuomen kukkimisajankohdan aikaistuminen vuosina 1846–2005. Havaintojen vuosikeskiarvojen vaihteluväli ja vuosien sisäinen vaihteluväli olivat kumpikin enemmän kuin kuukausi. Puitten kukkimisen ja lehteen tulon aikaistumisnopeus noin 150 vuoden pituisena tutkimusajanjaksona oli keskimäärin 8,1 vrk / 100 vuotta ja vaihteli puulajista riippuen 3,3–12,1 vrk / 100 vuotta. Lämpötilasarjojen perusteella napapiirin eteläpuolisen Suomen maalis-huhti-toukokuun lämpötila oli tutkimusajanjaksona noussut nopeudella 1,5 °C / 100 vuotta. Fenologisten sarjojen aikaistumisesta ja fenologisista malleista saatu keskimääräinen lämpenemisnopeus puolestaan oli 1,8 °C / 100 vuotta. Toisin sanoen, tavallisella lämpömittarilla ja "biologisella lämpömittarilla" saatiin hyvin yhteensopivat lämpenemisnopeudet.

Kirjallisuutta:

Häkkinen, R. 1999. Analysis of bud-development theories based on long-term phenological and air temperature time series: application to Betula sp. leaves (väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 754. 59 s. + 5 osajulk.

Linkosalo, T. 2000. Analyses on the spring phenology of boreal trees and its response to climate change (väitöskirja). University of Helsinki, Department of Forest Ecology Publications 22. 55 s. + 5 osajulk.

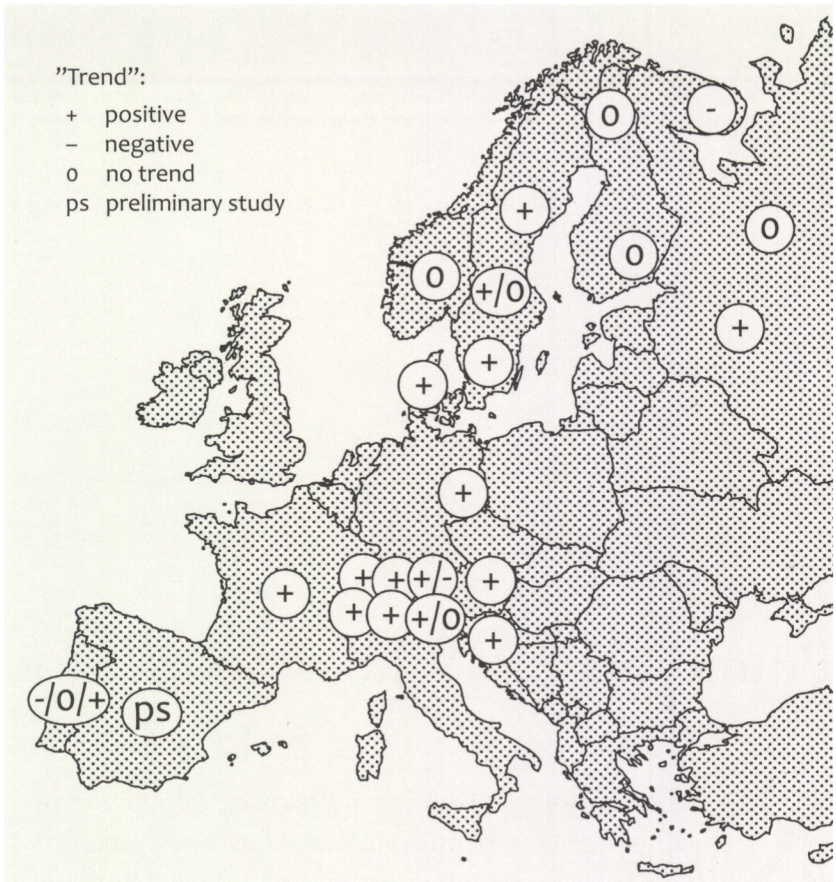
Linkosalo, T., Häkkinen, R., Terhivuo, J., Tuomenvirta, H. & Hari, P. 2009. The time series of flowering and leaf bud burst of boreal trees (1846–2005) support the direct temperature observations of climatic warming. Agricultural and Forest Meteorology 149: 453–461.

Kari Mielikäinen, Professori

Puuntuotanto ja ilmaston muutos

Kolme vuosikymmentä sitten metsäkeskustelun kuumimpia aiheita oli metsäkuolema. Keski-Euroopasta alkanut keskustelu levisi nopeasti myös Suomeen. Ympäri Eurooppaa havaittu neulaskato liitettiin yksioikoisesti ilmansaasteisiin ja metsien uskottiin tuhoutuvan tai vaurioituvan laajoilla alueilla. Ennusteet menivät tuolloin pahasti pieleen. Pääasialliset syyt ajoittaiseen neulaskatoon olivat kuivuus, metsien ikääntyminen, alueen vuoristoisuus, meren läheisyys sekä hyönteis- ja sienituhot. Keskustelun hyvänä puolena oli se, että samalla myös ilmaan tuprutettavan rikin määrä saatiin kuriin kansainvälisin ponnistuksin.

Samoihin aikoihin tuhokeskustelun kanssa Suomen ja Euroopan metsien kasvu oli mittausten mukaan jyrkässä nousussa (kuva 1). Metsäntutkimuslaitoksen ja Freiburgin yliopiston aloitteesta ja Euroopan Metsäinstituutin (EFI) tukemana käynnistetty tutkimus metsien kasvutrendeistä osoitti sen, ettei Keski-Euroopan metsien kasvun lisäystä kyetty selittämään



Kuva 1. Euroopan metsien kasvutrendit 1900-luvulla (Spiecker ym. 1996).

pelkästään metsien hoidolla tai puuston ikärakenteella. Jatkotutkimuksissa kasvun lisäyksen pääaiheuttajaksi arvioitiin liikenteestä ja maataloudesta tuleva typpilaskeuma (25–40 kg/ha/v). Myös säätekijöistä ja ilmakehän hiilidioksidista keskusteltiin.

Luonnonsuojelualueilla metsänkäsittelyltä "rauhassa" kasvaneiden puiden ja metsien kasvu ei ole osoittanut Suomessa toistaiseksi minkäänlaista trendiä. Syynä tähän on Keski-Euroopaan verrattuna vähäinen typpilaskeuma. Kasvua ei ole lisännyt myöskään lähes sata vuotta varsin vakaana säilynyt ilmasto. Pikkujääkauden päätyttyä 1800-luvun lopulla kesät lämpenivät selvästi 1930-luvulle saakka. Lämpöjaksoa seurannut viileneminen huipentui 1960-luvulla, jolloin Lapin metsien uudistaminen oli vaikeaa. Viime vuosisadan kylmimmät talvet olivat kaksi

sotatalvea sekä talvet 1985 ja 1987. Suomen kaikkien aikojen pakkasennätys, -51,5 °C mitattiin Kittilän Pokassa tammikuussa 1999. Vuoden 2000 kahden puolen sekä kesät että talvet ovat vastanneet lämpimyydeltään 1930-lukua.

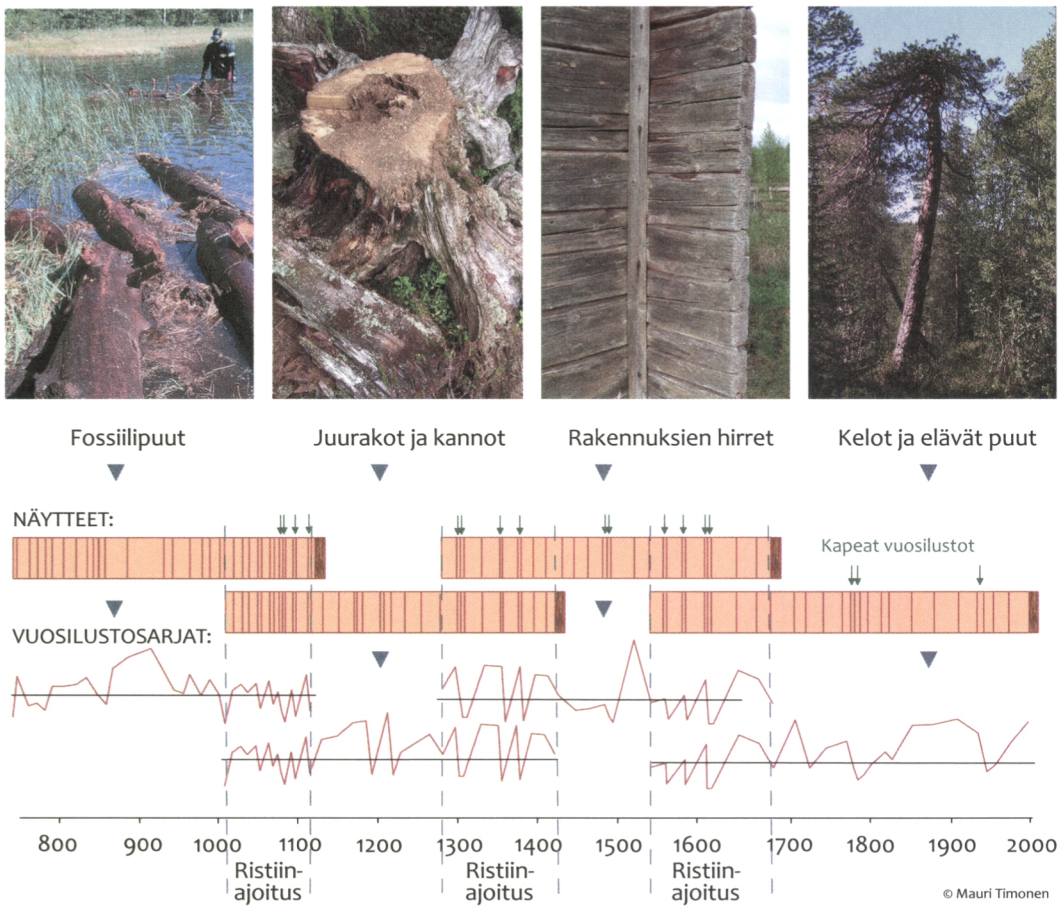
Suomen metsien kuutiometreinä mitatun kasvun lähes kaksinkertaistuminen 40 vuodessa on pääosin metsien hoidon ansiota. Eniten kasvua ovat parantaneet soiden ojitus, vajaatuottoisten metsien uudistaminen sekä parhaan kasvun vaiheessa olevien nuorten metsien runsaus ja täyspuustoisuus.

Puun muisti ei petä

Puut ovat nerokkaita sääasemia, jotka tallentavat ympäristötietoa vuosirenkaisiinsa. Tietoa on mahdollista tulkita vuosilustojen leveyden, puuaineen tiheyden, yksittäisten solujen koon, muodon ja rakenteen sekä puuaineen kemiallisen koostumuksen perusteella. Kasvun vaihtelu näkyy suhteellisen samanlaisena valtaosassa saman alueen puita. Tähän vaihteluun perustuu lustotutkimuksen käyttö hirsirakennusten iän määrityksessä. Dendrokronologia eli puulustotiede kehittyi varsinaiseksi tutkimusmenetelmäksi 1700-luvun alussa, jolloin useampi eurooppalainen tutkija löysi tutkimistaan puista hallan vuonna 1709 vaurioittaman vuosiluston. Jo kauan tätä ennen sekä antiikin kreikkalaiset että tieteen ja taiteen moniosaaja Leonardo da Vinci olivat arvelleet puiden vuosirenkaiden leveyden vaihtelun johtuvan ympäristötekijöistä.

Ensimmäisistä havainnoista kului vielä kaksi sataa vuotta, ennen kuin dendrokronologian isäksi kutsuttu arizonalainen A. E. Douglass alkoi tehdä systemaattista dendrokronologian tutkimusta. Sittemmin dendrokronologia on laajentunut joukoksi menetelmiä, jotka mahdollistavat mitä erilaisimpien ympäristönmuutosten tulkinnan puiden vuosirenkaista eli vuosilustoista. (Kuva 2.)

Kasvun vaihtelun samanlaisuutta ja radiohiiliajoitusta käyttäen Lapin metsistä ja järvien pohjamudista löytyneistä



Kuva 2. Ristiinajoituksen periaate, jossa käytetään hyväksi osittain samoihin aikoihin kasvaneiden puiden poikkeuksellisia kasvuvuosia eli piikkivuosia (Lähde: Mauri Timonen. www.lustia.fi).

männyistä on koostettu yli 7600 vuoden mittainen, vuodentarkka männyn vuosilustokronologia. Se paljastaa Lapin ilmaston vaihdelleen rajusti menneiden vuosituhansien aikana. Vuosirenkaista voidaan löytää todisteita sekä äkillisistä kasvun romahduksista (tulivuoren purkaukset) että pidempiaikaisista lämpö- ja kylmäkausista. Tunnetuin lämpökausi on 5000 vuoden takainen atlanttinen lämpökausi, jolloin koko Lappi oli vuosituhansien ajan metsän peitossa. Myös vuoden 1000 jälkeen pari vuosisataa vallinnut keskiajan lämpökausi ja sitä seurannut kylmä pikkujääkausi näkyvät vuosilustoissa. Pikkujääkausi päättyi vasta 1800-luvun lopussa.

Kevään lämpö kasvattaa – talven lämpö kuluttaa

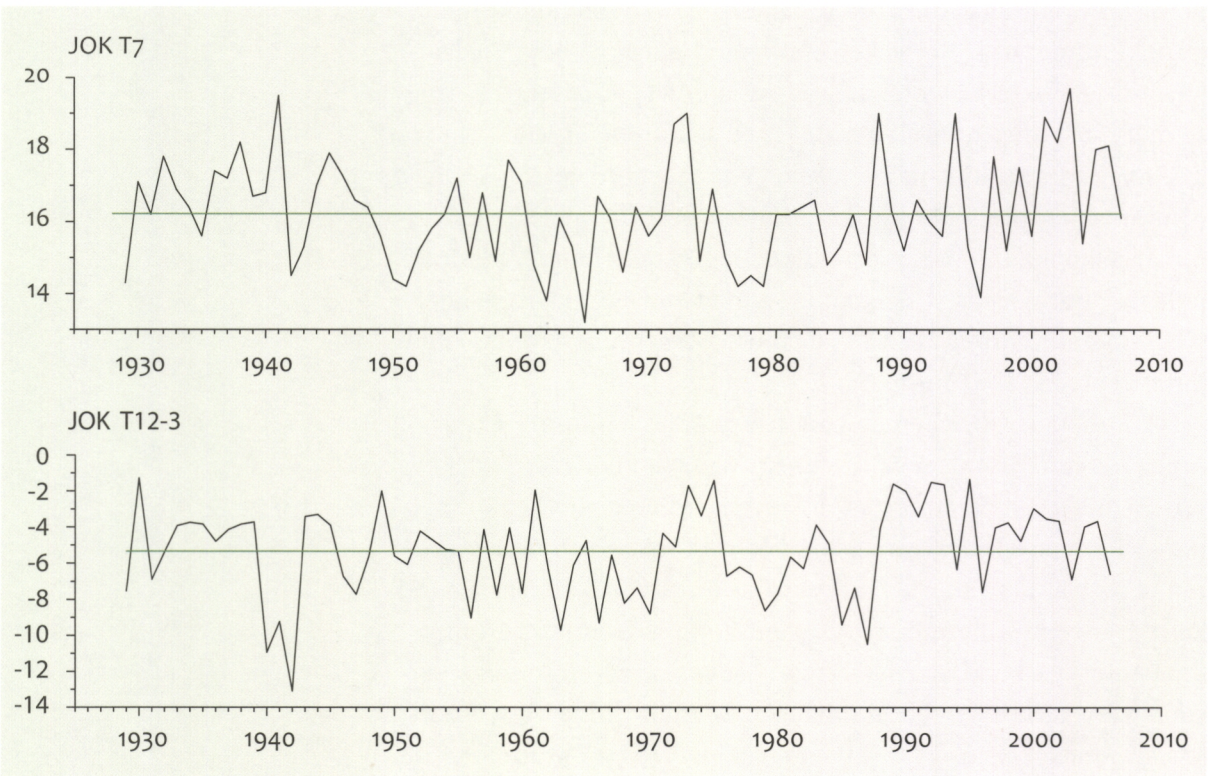
Ilmaston muuttuminen nykyistä lämpimämmäksi voi parantaa tai heikentää metsien kasvua. Pohjois-Suomen kesien mahdollinen lämpeneminen lisää kasvua ja siirtää metsänrajaa pohjoiseen ja tunturissa ylöspäin. Tämän tiedämme professori Olli Heikinheimon jo 1920-luvulla perustamien viljelykokeiden perusteella. Siemenen siirtoetäisyyttä selvittelevässä laajassa koesarjassa Lapista Etelä-Suomen 4,5 astetta lämpimämpään ilmastoon siirretyt männyt ja kuuset ovat tuottaneet etelässä lähes tuplaten sen, mitä Rovaniemellä. Tositilanteessa lämpötilan muutoksen vaikutus ei tule oletettavasti olemaan näin suuri, koska maaperän prosessit ja maan yleinen viljavuus eivät muutu yhtä nopeasti kuin lämpötilan on ennustettu kohoavan.

Varhaiset kevät lisäävät puiden kasvua; syksyjen lämpenemisen vaikutus ei ole yhtä ilmeinen. Keväiden mahdollinen aikaistuminen lisää myös keväthallojen riskejä. Tuhoja voidaan ainakin teoriassa vähentää käyttämällä viljelyssä aiempaa eteläisempiä, kasvunsa hitaasti aloittavia puualkuperiä. Etelässä kuivat kesät vähentävät kuusikoiden kasvua ja saavat ne aiempaa alttiimmiksi hyönteistuhoille. Lämpimät talvet (lämpötila pitkään nollan yläpuolella) lisäävät puiden hengitystä. Hengitys kuluttaa puiden vararavintoa ja heikentää seuraavan kesän kasvua. Edellä oleviin kommentteihin sisältyy suuri epävarmuus aikana, jolloin ilmasto ei ole vielä lämmennyt.

Lämpötilan positiivinen vaikutus puiden kasvuun näkyy myös kasvun vuotuista vaihtelua kuvaavissa vuosilustoindekseissä. Indeksejä on laskettu vuosikymmenien ajan valtakunnan metsien inventointien tarpeisiin. Metsien rakenteen muuttumisen ja metsänhoitotoimien kasvuvaikutusten arvioimiseksi peräkkäisten inventointien mitatut kasvut korjataan ennen vertailua ilmastolliseen keskitasoon. Kasvun lisäys on todettu myös Joensuun yliopiston (Seppo Kellomäki) ja Metlan (Elina Vapaavuori) kasvihuonekokeissa, joissa avomaalle pystytettyjä muovi- tai lasitelttoja lämmitettiin ja niihin puhallettiin hiilidioksidia. Lämpötilan nostaminen neljällä asteella lisäsi kasvua noin 30–50 %.

Onko Suomen ilmasto muuttunut?

Ennustettua ilmaston muutosta on mahdollista havainnoida tarkimmin Ilmatieteen laitoksen tilastoista. Säätilastojen mukaan vuoden keskilämpö on noussut monin paikoin 1800-luvulta tähän päivään vajaan asteen verran. Lisääntyminen ei ole ollut tasaista vaan se sisältää huomattavaa vaihtelua. 1800-luvun lopulla päättyneen pikkujääkauden jälkeen lämpötilat nousivat jyrkästi 1930-luvulle. Sotien jälkeen seuranneet vuosikymmenet olivat varsin viileitä aina 1990-luvun alkuun saakka. Vuosituhannen vaihteen vuodet ovat vastanneet lämpimyydeltään 1930-lukua. Kesien ja talvien lämpötilat eivät osoita trendinomaista kehitystä. Erityisen kylmiä talvia on ollut 1940-, 1960- ja 1980-luvuilla (kuva 3).

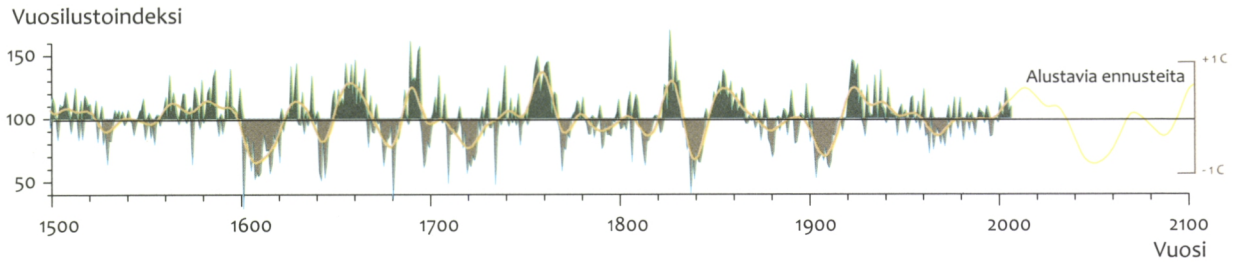


Kuva 3. Heinäkuun (yläkuva) ja joulu–maaliskuun (alakuva) lämpötila Jokioisilla 1930–2007 (Lähde: Ilmatieteen laitoksen tilastot).

Kasvukauden pituutta mitataan lämpömittarin ohella fenologisella havainnoinnilla, jonka metsällisenä mittarina käytetään puiden lehteen puhkeamista ja lehtien kellastumista. Yli sata vuotta tehdyt havainnot ovat pääosin yhteneväiset säähavaintojen kanssa. Niiden mukaan kevät ovat aikaistuneet 1800-luvulta tähän päivään. Erityisen aikaisia keväitä on ollut 1930- ja 1990-luvuilla. Vuosituhannen viimeisimmän vuosikymmenen aikaistumistrendi on selvä, mutta liian lyhyt pidemmälle meneviin päätelmiin.

Ilmaston muutoksen ennustetaan lisäävän talvisateita ja kesien ajoittaista kuivuutta. Vuoden keskimääräinen sademäärä on lisääntynyt lievästi jo sadan vuoden ajan. Viime vuosikymmeninä sadetta on saatu erityisesti talviaikaan. Syynä talvisateisiin on ollut Pohjois-Atlantilla vaikuttava ns. NAO-sääilmiö (North Atlantic Oscillation), joka on tuonut maahamme lämpimiä, kosteita merituulia lounaasta ja lännestä. Kuivista kesistä meillä on kokemusta sekä 1990- että 2000-luvulta. Kuivat alkukesät aiheuttavat Etelä-Suomen kuusikoille kasvutappioita ja johtavat joskus yksittäisten kuusten ryhmittäiseen kuolemaan. Loppukesän kuivuus vuosina 2003 ja 2006 tappoi myös mäntyjä ja koivuja erityisesti kallioilla.

Eurooppaa viimeisten kymmenen vuoden aikana koetelleita myrskytuhoja pidetään joskus merkkinä myrskyjen lisääntymisestä. Säätilastojen mukaan tuulen nopeus tai myrskyjen esiintymistiheys eivät ole kuitenkaan lisääntyneet Suomessa tai koko Euroopassa. Sen sijaan metsien rakenne ja muutamat lämpimät talvet ovat lisänneet tuhoja ja aktiivinen uutisointi niiden näkyvyyttä. Erityisesti Keski-Euroopan metsissä kasvaa tällä hetkellä vuosisataisen viljelyn ja vähäisten hakkuiden ansiosta valtaisa määrä järeää ja ikääntyvää kuusikkoa, joka on erityisesti harvennushakkuiden jälkeen altista tuulituhoille. Jos vielä myrskyt sattuvat sateiden jälkeen maan ollessa sulaa, tuhot vain pahenevat.



Kuva 4. Männyn vuosilustoista arvioitu ilmaston luontainen, jaksollinen vaihtelu ja sen perusteella tehty ennuste vuoteen 2100 (Lähde: Mauri Timonen, Metla 2008).

Kaikkeen on varauduttava

Tehtyihin ilmastoennusteisiin ja niiden metsävaikutuksiin on toistaiseksi suhtauduttava suurella varovaisuudella. Puulustoista on löydetty todisteita jopa vuosituhansien takaisista lämpö- ja kylmäkausista, joiden aiheuttajana ei ole ollut ihmistoiminta. Pitkäaikaisten lämpö- ja kylmäkausien todennäköisin selittäjä on auringon aktiivisuus, joka vaikuttaa monin tavoin maapallon ilmastoon. Vanhat lustosarjat kätkevät sisäänsä selkeää jaksottaisuutta, joka sopii auringon aktiivisuuden vaihteluun. Jaksoja on mahdollista tutkia matemaattisin menetelmin ja ennustaa laadittavilla malleilla ilmaston tulevaa luontaista kehitystä (kuva 4). Mallit viittaavat ilmaston luontaiseen viilenemiseen tulevina vuosikymmeninä. Se, missä määrin ihmisen ilmaan päästämät kasvihuonekaasut tulevat kompensoimaan luontaista viilenemistä, on toistaiseksi epäselvää. Joka tapauksessa meidän tulee varautua ilmaston lämpenemisen ohella myös sen kylmenemiseen.

Kirjallisuutta:

Mielikäinen, K., Nöjd, P., Pesonen, E. & Timonen, M. 1998. Puun muisti. Kasvun vaihtelu päivästä vuosituhanteen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 748. 54 s.

Spiecker, H., Köhl, M., Mielikäinen, K. & Skovsgaard, J.P. (toim.) 1996. Growth trends of European forests. Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. EFI Research Report 5. 372 s.

Veikko Koski, Professori, emeritus

Ilmastonmuutos ja siemensadot

Ilmaston muuttumisen vaikutuksesta metsiin on keskusteltu jo kaksi vuosikymmentä. Simulointimalleilla on luotu monenlaisia skenaarioita ja ennusteitakin, joiden tulokset ja tulkinnat vaihtelevat laajoissa rajoissa. Metsäntutkimuslaitoksen laajat provenienssikokeet mm. Punkaharjulla osoittavat sekä kuusella että männyllä olevan huomattava mukautumiskyky ainakin lämpenevän ilmaston suuntaan. Voidaan siis perustellusti olettaa, että jo olemassaolevat puustot ja taimikot mukautuvat ilmaston vähittäiseen muutokseen. Metsäntutkijat ovatkin yleensä päätyneet siihen, että Suomessa metsien kasvu todennäköisesti lisääntyy, jos ilmasto lämpenee ennustetulla tavalla. Toisaalta syntyy potentiaalinen riski tuhojen lisääntymisestä. Kuitenkin jatkuvasti esiintyy myös sellaisia tutkijoita, joiden mielestä ainakin havumetsät häviävät Suomesta. Pessimistiset skenaariot saattavat todella toteutua jossain muodossa myöhemmin, mikäli puiden suvullinen lisääntyminen häiriintyy tai peräti loppuu ilmastonmuutoksen vuoksi.



Kuva 1. Mantereisesta ilmastosta kotoisin oleva lehtikuusi kukkii keväällä aikaisin, mikä johtaa sen kukinnan epäonnistumiseen, jos keväthalla yllättää. Kuva: Teijo Nikkanen.

Puiden vuosirytmiä ja mukautumista muuttuvaan ilmastoon tutkitaan paljonkin kasvattamalla taimia tai pieniä puita erilaisissa säädellyissä olosuhteissa (esim. Metlan hanke Metsät 2050). Kokeelliset tutkimukset tuottavat aineistoa myös vuosisyklimallin jatkokehittelyyn. Kokeellinen tutkimus on kuitenkin rajoittunut kasvullisiin ilmiöihin, kuten kasvun ajoittumiseen, karaistumiseen ja pakkasvaurioihin, taimien kylmävarastointiin jne. Näin siksi, että ensisijainen huoli on olemassa olevan puuston selviytymisestä ja metsänviljelyn onnistumisesta.

Sarvaksen vuosisyklimallin juuret ovat kukkimis- ja siemensatotutkimuksissa. Tämän vuoksi, ja toisaalta myös metodisista syistä vuosisyklimallin takana oleva empiirinen aineisto on valtaosin peräisin suvullisen lisääntymisen eri vaiheista. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja mahdollista uhkaa suvulliselle lisääntymiselle on kuitenkin hankalampi tutkia kuin kasvullisiin ilmiöihin liittyviä tekijöitä. Puut kukkivat vasta melko vanhoina ja suurikokoisina. Silloinkin kukinta on vain kerran vuodessa, ja kukinnan runsaudessa on edelleen suuri vaihtelu eri yksilöiden ja vuosien välillä. Kriittiset vaiheet ovat lyhytaikaisia – ellei paikalla olla oikeaan aikaan, joudutaan uutta tilaisuutta odottamaan kokonainen vuosi.

Kun ilmastomuutoksessa on kysymys sadan vuoden aikaasteikosta, on syytä ajatella myös yhtä puusukupolvea pidemmälle. Voi olla, että suvullinen lisääntyminen onkin alttiimpi häiriöille kuin kasvullinen puoli. Puut eivät tuota siementä yhtä hyvin joka vuosi; varsinkin kuusen siemenhuollossa on nytkin ongelmia. Ajatuksia herättää myös se havainto, että mantereisesta

ilmastosta Suomeen tuodut puulajit kasvavat hyvin, mutta tekevät itävää siementä vain harvoin (kuva 1). Jos hyvät siemenvuodet jollain puulajilla tulevat harvinaisiksi tai loppuvat, ei ole luontaista uudistumista eikä aineistoa metsänviljelyyn.

Ensi katsannolla tämä ajatus tuntuu tietysti turhalta pelottelulta. Eikö leudompi ilmasto päinvastoin lisää kukintaa ja siemensatoja? Ilmastonmuutos pelkistetään usein vuoden keskilämpötilan nousuksi muutamalla asteella, jolloin tietenkin kasvukausi pitenee ja talvi lyhenee. Odotettavissa on kuitenkin muutoksia sademäärissä sekä poikkeavien sääilmiöiden yleistymisessä, ja vuosien välinen vaihtelu saattaa vielä kasvaa nykyisestä. Nimenomaan talviaikana leudot sääjaksot tulevat yleistymään. Ongelman ydin on siinä, että metsäpuiden suvullisen lisääntymisen orgaanit joutuvat kestämään ainakin yhden talven. Kukka-aiheet syntyvät kukkimista edeltävänä kesänä ja kehittyvät kullekin puulajille ominaiseen kehitysvaiheeseen, jossa ne talvehtivat kukkasilmuissa. Havupuilla naaraspuoliset vaiheet kohtaavat useita talvia. Esimerkiksi männyllä kesällä 2008 syntyneet kukkasilmut kehittyvät kukiksi keväällä 2009, ja pölytys tapahtuu kesällä. Heteet ovat silloin tehtävänsä tehneet ja varisevat pois, mutta emikukinnot kasvavat pikkukävyiksi. Pikkukävyt talvehtivat ja jatkavat kehittymistä keväällä 2010. Kesän aikana tapahtuu hedelmöitys ja alkionkehitys. Siemenet tuleentuvat syksyllä 2010 ja varisevat luonnossa kevättalvella 2011. Karaistuneessa lepotilassa silmut ja kävyt kestävät hyvin talven pakkaset ja kuivuuden, mutta jos leudot sääjaksot talven aikana herättävät solukot aktiiviseen tilaan, pakkasjaksot aiheuttavat palautumattomia vaurioita.

On havaintoja siitä, että kukkasilmujen lepotila purkautuu helpommin kuin kasvusilmujen. Toisaalta on viitteitä siitä, että päivänpituustekijä eli fotoperiodi vaikuttaisi ainakin koivun lisääntymissyklin ajoitukseen. Yksi peruskysymys onkin, onko kukkasilmujen ja muiden lisääntymisosien horroksen ja pakkaskestävyyden purkautuminen pelkästään lämpötekijän varassa vai onko mukana jokin varmistussysteemi. Varmistus voisi perustua fotoperiodiin tai kenties salaperäiseen "biologiseen kelloon".

Näitä oletuksia voidaan aika paljon selvittää kokeellisesti niin, ettei jouduta odottamaan monia vuosia sellaisia talvia, jotka olisivat poteentiaalinen uhka lisääntymiselle. Mm. Punkaharjulla kasvavissa puulaji- ja provenienssikokeissa sekä erilaisissa metsänjalostuksen kenttäkokeissa on "muuttuneessa ilmastossa" vuosikymmeniä kasvanutta tutkimusmateriaalia. Talvehtivien kukkasilmujen ja muiden lisääntymisosien aktivoitumista ja kriittisiä kehitysvaiheita voidaan tutkia hyötöoksien ja astiavarteiden avulla. Tämän perustyön rinnalla voidaan tutkia syntyjä syviä. Tieto ja työkalut kasvifysiologan ja molekyylibiologian aloilla ovat kehittyneet todella merkittävästi, mikä tekee mahdolliseksi selvittää vuosisyklin säätelyn mekaniikkaa. Fysiologisten sekä uusien solukoiden ja kasvinosien syntyyn johtavien prosessien takana on eräänlaisista aliohjelmista koostuva geneettinen informaatio. Tämän mukaisesti erityiset säätögeenit kytkevät geenejä päälle ja pois. Ilmastoon sopeutuminen on yksinkertaistettuna sitä, että säätögeenit kääntävät kytkintä oikeaan aikaan suhteessa vuodenaikojen vaihteluun. Suuri kysymys on: mikä ohjaa säätögeenejä? Erikoisen haastavaa on selvittää, onko pelissä ns. epigeneettisiä (perintötekijöiden ulkopuolisia) komponentteja. Jos näin olisi, puut voisivat siirtää tiedon muuttuneesta ympäristöstä jälkeläisilleen nopeammin kuin se pelkän luonnonvalinnan kautta olisi mahdollista.

Kasvullisista ilmiöistä saatuja tuloksia ei voi sellaisinaan soveltaa suvulliseen lisääntymiseen, ei varsinkaan jos ne on saatu pienistä taimista. On siis tutkittava nimenomaan lisääntymisprosessia. Yhdellä lajilla saatuja tuloksia ei myöskään voida yleistää kaikkiin lajeihin. Sarvasta siteeraten *"jokainen puulaji on persoonallisuus"*. Edellytyksenä ongelman ratkaisuun on, että tutkittavien puulajien lisääntymissyklit tunnetaan. Sekä lisääntymisosien rakenne että kriittiset vaiheet (meioosi, anteesi, hedelmöitys, alkionkehitys jne.) ajoittuvat eri puulajeilla eri tavoin suhteessa vuodenaikoihin ja kasvullisiin ilmiöihin. Ensimmäinen askel on siis kartoittaa kriittisten vaiheiden riskit eri puulajeilla.

Onneksi ei tarvitse lähteä liikkeelle nollapisteestä. Sarvas etsi ja löysi säätekijöistä paljon selittäjiä siemensatojen vaihteluille.

Esitetyn ongelman tutkimisen kannalta vieläkin arvokkaampaa on se, että hän julkaisi yksityiskohtaiset kuvaukset kuusen, männyn ja koivujen koko lisääntymiskierrosta – kukka-aiheista siemeneksi ja eri vaiheiden ajoituksen lämpösummakalenteriin. Edellä esitettyyn tutkimusaiheeseen on syytä vakavissaan tarttua sarvasmaisella otteella. Työ vaatii useamman vuoden intensiivisen panoksen siihen sitoutuneelta tutkijaryhmältä. Aineiston edustavuuteen ja havaintoaineiston luotettavuuteen on pantava samanlainen paino kuin Sarvaksella oli siemensatotutkimuksissaan. Yksittäisiin koepuihin tai nuorena kukkiviin poikkeusyksilöihin perustuvalla aineistolla ei metsien uudistumiskyvyn säilymistä koskevia arvioita ole lupa tehdä.

Tutkimuksilla ilmastonmuutoksen vaikutuksesta metsäpuiden siemensatoihin ja uudistumiseen on myös kytkentä metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittämiseen. Käytössä oleva menettely perustuu yksinomaan keskimääräisiin lämpösummiin. Lisääntynyt tietämys vuosisyklin säätelystä ja fotoperiodin vaikutuksesta antaa aiheen tutkia tätäkin asiaa. Varmaa on ainakin, että vuotuisen lämpötilavaihtelun ja fotoperiodin suhteet muuttuvat Suomessa ja erityisen paljon Pohjois-Suomessa.

Muuttuvan ilmaston vaikutus metsäpuiden siemensatoihin ei ole kaikki tai ei mitään -tyyppiä. Kuitenkin jos hyvät siemensadot harvinaistuvat, etenkin pääpuulajeilla, sillä on vaikutus metsiemme puulajisuhteisiin ja metsänviljelyyn. Onnellista tietysti on, jos tutkimus osoittaa lisääntymisen onnistuvan muuttuneessakin ilmastossa. Tämä tieto on yhtä arvokas kuin tieto riskien toteutumisesta. Jos ollaan huolestuneita tai edes kiinnostuneita metsien tulevasta kehityksestä yhtä puusukupolvea pidemmälle, on ruvettava määrätietoisesti ja pitkäjänteisesti tutkimaan ilmaston muutoksen vaikutuksia metsäpuiden suvulliseen lisääntymiseen.

Punkaharjun tutkimusmetsissä kasvaa runsaasti edellä ehdotettuun kokeelliseen tutkimukseen soveltuvaa biologista aineistoa. On puulajikokeita, provenienssikokeita, pluspuukokoelmia ja jälkeläiskokeita, joissa kaikissa puut ovat jo kukkimisiässä. Vaikka vastaavanlaisia aineistoja on muuallakin

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusalueissa, yhtä laajoja ja monipuolisia ei ole missään muualla. Kun vanhimmat lehtikuusikot ovat peräisin 1870-luvulta, valtaosa puulaji- ja provenienssikokeista 1930-luvulta, ja metsänjalostuksen koeviljelyksetkin ovat pääosin yli 20-vuotiaita, ei tätä aineistoa voida lähitulevaisuudessa saada käyttöön missään muualla. Erona muissa maissa oleviin vanhoihin koeviljelyksiin on se, että Suomessa käytettiin suuria koeruutuja, mistä seuraa, että hitaastikin kasvavat (= pohjoiset) alkuperät ovat säilyneet, ja että kutakin koejäsentä edustaa suurehko määrä puita. Punkaharju on myös ainoa paikka, missä maastokohteiden välittömässä läheisyydessä on hyvin varustettu tutkimusyksikkö.

Professori Sarvas joutui tekemään tutkimuksensa tavattoman puutteellisilla välineillä verrattuna nykyisiin, ohjelmoitaviin kasvatus- ja käsittelytiloihin sekä automaattisiin mittauslaitteisiin. Toiselta puolelta on korostettava, ettei sofistikoiduilla laitteilla ja menetelmillä saa eliminoida tarvetta itse aineiston edustavuuteen. Rinnan välineiden ja menetelmien yhä nopeamman kehityksen kanssa tietämys etenkin molekyyligenetiikan ja fysiologian aloilla tuo jatkuvasti uusia mahdollisuuksia kartoittaa ja mitata solunsisäisiä ilmiöitä, jotka edeltävät makroskooppisia tapahtumia. Sarvaksen luomalle tutkimusperinteelle ja hänen saavuttamilleen tieteellisille tuloksille on mahdollista perustaa uusi tutkimusohjelma, jolla selvitetään ilmastonmuutoksen vaikutuksia metsäpuiden uudistumispotentiaaliin.

Kirjallisuutta:

Beuker, E. 1996. Implications of climate adaptability in provenance trials with Scots pine and Norway spruce in Finland for the possible effects of climate warming. Academic dissertation. Research notes, University of Joensuu, Faculty of Forestry, 33 p. + 5 original papers.

Søgaard, G., Johnsen, Ø., Nilsen, J. & Junttila. O. 2008. Climatic control of bud burst in young seedlings of nine provenances of Norway spruce. Tree Pysiology 28: 311–320.

Erkki Annila, Professori, emeritus

Tuholaiskestävyys muuttuvassa ilmastossa

Puiden akuutti tuholaiskestävyys riippuu sekä tuholaisten määrästä että puiden kunnosta. Tekijöitten keskinäiset suhteet ovat suuresti tuholaislajista riippuvaisia. Yleissääntö on, että mitä paremmassa kunnossa puut ovat sitä paremmin ne kykenevät torjumaan erilaisia tuholaisia ja toipumaan sattuneista tuhoista. Vuotuinen ilmaston vaihtelu vaikuttaa sekä tuholaisten määrään että puiden kuntoon. Varsinkin äkillisesti laajalla alla esiintyvät epideemiset tuholaiset lisääntyvät usein voimakkaasti kuivina ja lämpiminä kesinä, ja kun puiden kunto heikentyy samoista syistä, tuhojen todennäköisyys kasvaa. Jos ilmastossa tapahtuu pysyviä muutoksia, niillä on epäilemättä vaikutuksia puiden ja niillä elävien tuholaisten välisiin suhteisiin.

Puiden pitkäaikainen tuholaiskestävyys eli resistenssi perustuu perinnöllisiin ominaisuuksiin, jotka ovat kehittyneet puun ja tuholaisen pitkän yhteisevoluution aikana. Samoin sopeutuminen vallitsevaan ilmastoon on tapahtunut pitkän ajan kuluessa. Muutokset perinnöllisessä resistenssissä tapahtuvat hitaasti ja

suhteellisen nopeilla ilmaston muutoksilla saattaa olla suuria puiden tuholaiskestävyyttä heikentäviä vaikutuksia. Tilannetta voidaan verrata siihen, kun jokin tuholainen kulkeutuu alueelle, missä sitä ei aikaisemmin ole esiintynyt. Tällöin paikallisten puulajien resistenssi voi puuttua lähes täysin. Kun mäntyankeroinen kulkeutui Pohjois-Amerikasta Japaniin, se kuivatti pystyyn mäntymetsiä laajoilla alueilla, koska paikallisilta lajeilta puuttui lähes kokonaan resistenssi. Japanin eteläosien ilmasto osoittautui lisäksi erittäin soveliaaksi mäntyankeroiselle.

Tuhoriskit

Metsien tuholaisriskit ilmastonmuutoksessa ovat lähinnä kahdenlaisia. Ensinnäkin Suomeen saattaa levitä lähialueilta luonnollista tietä tai kulkeutua ihmisen mukana uusia tuholaisia. Uusista lajeista laaditaan yleensä riskianalyysi, jolla pyritään monipuolisesti arvioimaan lajin mahdollista leviämistä ja vaarallisuutta uudessa ympäristössä. Ilmaston lämmetessä todennäköisiä Suomeen leviäviä tai täällä yleistyviä lajeja ovat esimerkiksi puiden neulasia ja lehtiä syövät nunnaperhoset, havu- ja lehtinunna, jotka ovat pahoja tuholaisia muun muassa Keski-Euroopassa. Havununnaa tavataan jo nykyään harvakseltaan Etelä-Suomessa.

Toiseksi ilmastonmuutos saattaisi aiheuttaa sen, että maassamme jo esiintyvien lajien tuhot lisääntyisivät. Näin syntyvien tuhojen riskit ovat todennäköisesti suuremmat kuin uusien lähialueilta leviävien lajien aiheuttamat. Näitä nykyisiä lajeja ovat ennen kaikkea ne, jotka tekevät suurempia tuhoja Suomea lämpimämmillä alueilla. Sitä vastoin niiden lajien osalta, jotka tekevät Suomessa tällä hetkellä pahempaa tuhoa kuin lähialueillamme, riskit saattaisivat vähetä.

Ilmastonmuutoksen mukanaan tuomia tuholaisriskejä voidaan tutkia laatimalla malleja, joihin syötetään erilaisia ilmastotekijöitä kuten lämpötila, sademäärä, kuivuus, lumisuus, roudan paksuus tai muita sellaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat jonkin lajin

esiintymiseen ja tuhoihin. Kun näille tekijöille annetaan erilaisia arvoja jäljitellen pienempiä tai suurempia ilmastonmuutoksia, voidaan laatia ennusteita siitä, minkälaisia tuhoja jokin tuholainen aiheuttaisi ilmaston muuttuessa. Mallit soveltuvat erityisen hyvin käytettäväksi silloin, kun tehdään ennusteita uuden lajin leviämisestä alueelle ja sen mahdollisista tuhoista. Mallit ovat sitä luotettavampia mitä enemmän on käytettävissä tietoja lajin biologiasta sen nykyisellä esiintymisalueella. Malleja on viime aikoina tehty ja julkaistu Suomessa muun muassa havu- ja lehtinunnasta. Nämä mallit perustuvat lähinnä niihin maapallonlaajuisiin lämpötilan muutoksiin, joiden ennustetaan toteutuvan lähimpien sadan vuoden kuluessa.

Toinen tutkimusmenetelmä on tehdä empiirisiä kokeita tuholaislajin käyttäytymisestä erilaisissa keinotekoisesti aikaansaaduissa ilmasto-oloissa ja päätellä niistä tuhoriskin suuruutta muuttuneessa ilmastossa. Tätä tutkimustapaa voidaan soveltaa varsinkin alueella jo tavattaviin lajeihin. Tällöin yhdenkin ilmastotekijän muuttuminen, vaikkapa lämpötilan nousu, saattaa vaikuttaa huomattavasti tuhoriskiin.

Hyönteiset

Kaarnakuoriaisiin kuuluva kirjanpainaja on eräs niistä Suomessa jo esiintyvistä lajeista, joiden tuhoriskin arvellaan kasvavan, jos ilmasto lämpenee. Kirjanpainaja on varttuneiden kuusimetsien pahimpia hyönteistuholaisia Euroopassa. Varsinkin Keski-Euroopassa tuhoja sattuu lähes vuosittain ja epideemisiä tuhoja keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa.

Merkittävä tekijä kirjanpainajan tuhojen syntymiseen on sukupolvien lukumäärä yhden kesän aikana. Suomessa sukupolvia on vain yksi, mutta Keski-Euroopassa voi lämpiminä kesinä olla useita. Joillakin hyönteislajeilla vuotuisten sukupolvien lukumäärä riippuu yksinkertaisesti kesän pituudesta, siis kasvukauden aikana kertyvästä lämpösummasta. Toisilla lajeilla vuotuista rytmiä säätelee diapaussi, horrosvaihe, joka pysäyttää

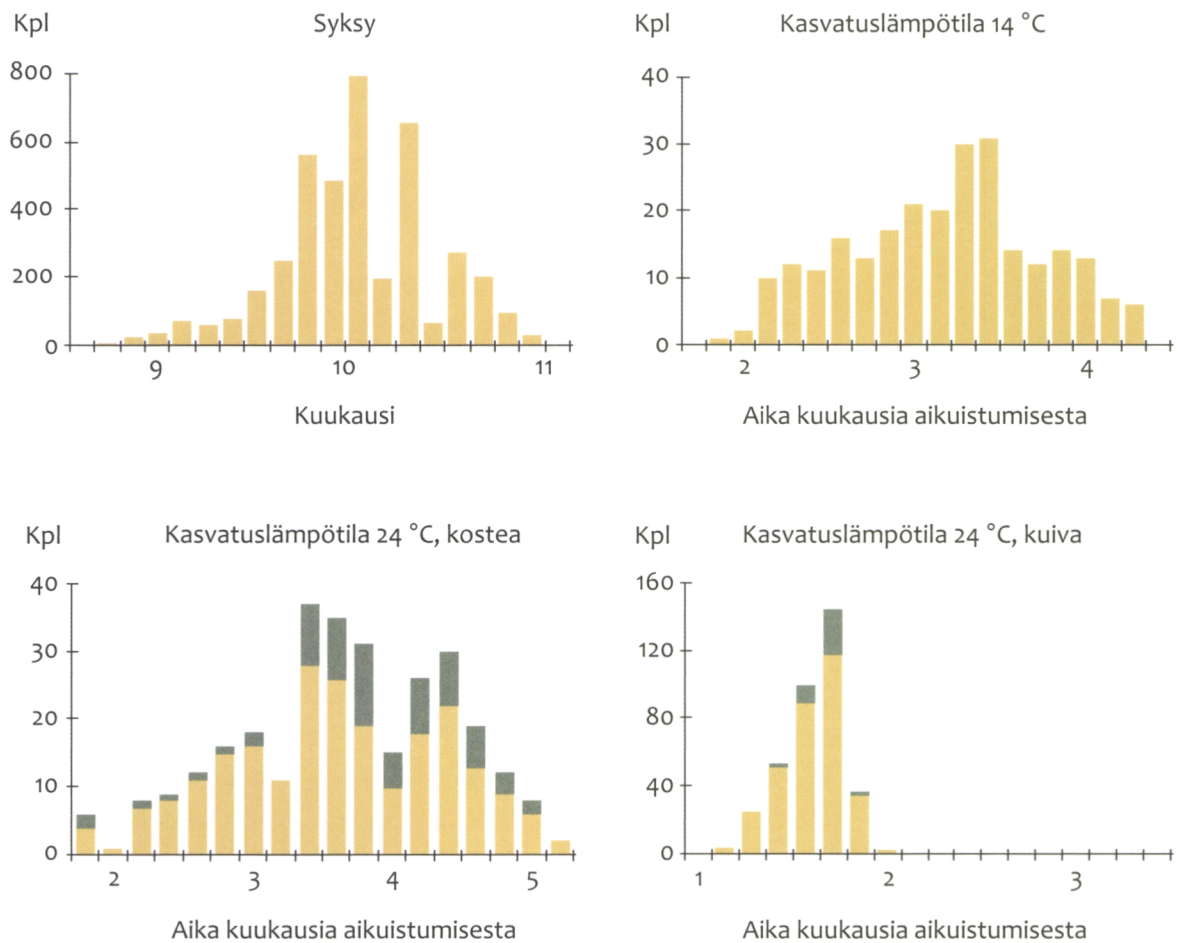
kehityksen niin, että sukukypsyys ja valmius lisääntymiseen saavutetaan vasta seuraavana kasvukautena.

Kyetäkseen tappamaan terveitä puita kirjanpainajien on parveiltava ja iskeydyttävä suurin joukoin samoihin puihin muutaman päivän kuluessa. Keski-Euroopassa uuden sukupolven kirjanpainajat poistuvat lisääntymiskykyisinä puusta jo keskikesällä ja iskeytyvät uusiin puihin. Suomessa uusi sukupolvi poistuu puista vasta syksyllä verraten pitkän ajan kuluessa eikä se ole lisääntymiskykyistä. Riittäisikö pelkkä lämpötilan nousu siihen, että Suomessakin kirjanpainajalla voisi olla enemmän kuin yksi sukupolvi kesässä, vai estääkö kenties mahdollinen diapaussi tämän?

Eräissä laboratoriokokeissa kirjanpainajan kehitys oli +14°C lämpötilassa jokseenkin samanlaista kuin nykyisissä ilmastooloissa Suomessa (kuva 1). Kun lämpötila oli +24°C ja kasvatuspölkyt pidettiin tuoreina, poistuminen puusta tapahtui edelleen pitkän ajan kuluessa. Vasta kun pölkkyjen annettiin kuivua lämpötilan ollessa samana (+24°), uusi sukupolvi alkoi poistua jo kuukauden kuluttua aikuistumisesta ja poistuminen tapahtui jokseenkin yhtenäisenä ryhmänä. Osa kuoriaisista oli välittömästi sukukypsiä ja loputkin saavuttivat lisääntymiskyvyn parissa päivässä.

Näyttää siltä, että jos kesät muuttuvat nykyistä lämpimämmiksi ja kuivemmiksi, kirjanpainajalla voisi Suomessakin olla enemmän kuin yksi sukupolvi kesässä. Siihen kuinka suuri muutoksen tulisi olla, että näin tapahtuisi, kokeet eivät antaneet tarkkaa vastausta. Voidaan kuitenkin todeta, että jo Etelä-Ruotsissa on viime vuosina todettu kirjanpainajalla kaksi sukupolvea kesässä. Kaarnakuoriaisten osalta yleensäkin kuivuudella on kahdenlaisia tuhoriskiä lisääviä vaikutuksia: se parantaa kuoriaisten lisääntymistä ja heikentää puiden vastustuskykyä.

Kun yleensä arvioidaan ilmastonmuutoksen mukanaan tuomia mahdollisia tuhoriskin muutoksia, hyvän vertailukohdan antavat samat tuholaiset Keski-Euroopassa. Siellä vallitsee nyt sellainen ilmasto, jollaiseksi Suomen ilmaston ennustetaan muuttuvan.



Kuva 1. Kirjanpainajan uuden sukupolven poistuminen lisääntymispuusta luonnossa syksyllä sekä erilaisissa oloissa laboratoriokasvatuksissa. Keltainen pylväänosa = ei sukukypsiä, vihreä osa = sukukypsiä.

Havupuiden istutustaimia tappavan tukkimiehentäin tuhot ovat merkittävästi pahempia Keski-Euroopassa kuin Suomessa. Suurimpana syynä tähän on se, että tukkimiehentäin sukupolviaika on etelämpänä vain vuosi, mutta Suomessa kaksi tai kolme vuotta.

Ruskomäntypistiäinen aiheuttaa maassamme laaja-alaisia neulastuhoja noin kerran kymmenessä vuodessa. Tiedot siitä, lisääntyisikö tuhoriski ilmaston lämmetessä, ovat jossain määrin ristiriitaisia. Keski-Euroopassa tuhot ovat vähäisempiä kuin

Suomessa. Toisaalta riskin lisääntymiseen viittaisi se, että tuhokautta edeltää Suomessa yleensä lämmin ja kuiva kesä. Niin ikään neulasissa talvehtivien munien kuolleisuus voisi vähentyä ainakin Pohjois-Suomessa, jossa hangen yläpuolella talvehtivat munat saattavat kovina pakkastalvina kuolla kokonaan. Loisitut munat sitä vastoin kestävät huonommin pakkasta kuin terveet munat, joten talvi-ilmaston lämpeneminen saattaisi lisätä loisten merkitystä ja näin vähentää tuhoriskiä.

Pilkkumäntypistiäisen tuhot ovat Keski-Euroopassa huomattavasti suuremmat kuin Suomessa. Tämä johtuu lähinnä siitä, että sillä on siellä kaksi sukupolvea kesässä, kun Suomessa niitä on vain yksi. Toisen sukupolven toukat syövät usein kokonaan uudetkin, samana kesänä syntyneet neulaset, joita usein jää jonkin verran ensimmäiseltä sukupolvelta. Tätä puut eivät kestä, vaan kuolevat seuraavan talven aikana. Tuhoriskin kasvua ilmaston lämmetessä on odotettavissa muillakin männyn neulastuholaisilla kuten mäntymittarilla, mänty-yökkösellä ja mäntykiitäjällä.

Mikäli nykyiset ennusteet ilmastonmuutoksesta toteutuvat siten, että kesällä lämpötila nousee ja kuivuus lisääntyy, kesäilmastomme muuttuu mantereisemmaksi. Tunnettua on, että ankarimmat hyönteistuhot sattuvat mantereisen ilmaston metsissä kuten Siperiassa ja Pohjois-Amerikassa.

Nisäkkäät

Myyrillä ei Keski-Euroopassa ole yhtä voimakasta kannanvaihtelua eivätkä ne myöskään aiheuta siellä samanlaista vahinkoa kuin Suomessa. Syynä pidetään sitä, että talvet ovat etelämpänä leudompia ja myyrillä on talven aikana, kun maa ei routaannu, muutakin ravintoa kuin metsäpuiden taimet. Ilmastonmuutos johtaisi todennäköisesti siihen, että pahoja tuhovuosia ei enää esiintyisi, vaan tuhot jakaantuisivat tasaisemmin vuosien välille.

Myöskään hirvien tuhot eivät eteläisemmissä maissa kohdistu puiden taimiin yhtä pahoina kuin Suomessa. Tähänkin

lienee syynä se, että monipuolisempi metsäkasvillisuus etelämpänä tarjoaa hirville talvella muutakin ravintoa kuin arvokkaiden puulajien taimet. Vähäisempi lumipeite ilmastonmuutoksen seurauksena tekisi Suomessa mahdolliseksi myös varpujen ja puuntaimia matalamman kasvillisuuden syömisen talven aikana. Ohuempi lumipeite saattaisi vaikuttaa myös siihen, etteivät hirvet laumaantuisi ja jäisi paikoilleen yhtä helposti kuin paksun lumen aikana, jolloin pahimmat tuhot sattuvat.

Metsäkauris on toistaiseksi tehnyt merkittäviä metsätuhoja vain Ahvenanmaalla ja paikoin Lounais-Suomessa. Talvien leudontuminen ja vähäisempi lumipeite merkitsisi sitä, että metsäkauris yleistyisi myös muualla Suomessa ja tuhoriskit näin suurenisivat myös pohjoisempana. Samaa voidaan sanoa myös valkohäntäkauriista.

Kirjallisuutta:

Annila, E. 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of Ips typographus L. (Coleoptera, Scolytidae). – Ann. Zool. Fennici 6: 161–207.

Heikkilä, R. 1999. Hirvien hakamaat. – 147 s. Jyväskylä.

Henttonen, H. 1986. Causes and geographic patterns of microtine cycles. Ph. D. Thesis, 107 s. Helsingin Yliopisto.

Långström, B., Annila, E., Hellqvist, C., Varama, M. & Niemelä, P. 2001. Tree mortality, needle biomass recovery and growth losses in Scots pine following defoliation by Diprion pini (L.) and subsequent attack by Tomicus piniperda (L.). – Scand. J. For. Res. 16: 342–353.

Saalas, U. 1949. Suomen metsähyönteiset. – 719 s. Helsinki.

Schwenke, W. 1972–1982. Die Forstchadlinge Europas. Band I–IV. Hamburg–Berlin.

Vanhanen, H., Veteli, T., Päivinen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, P. 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth. – Silva Fennica 41 (4): 621–638.

Jarkko Hantula, Professori

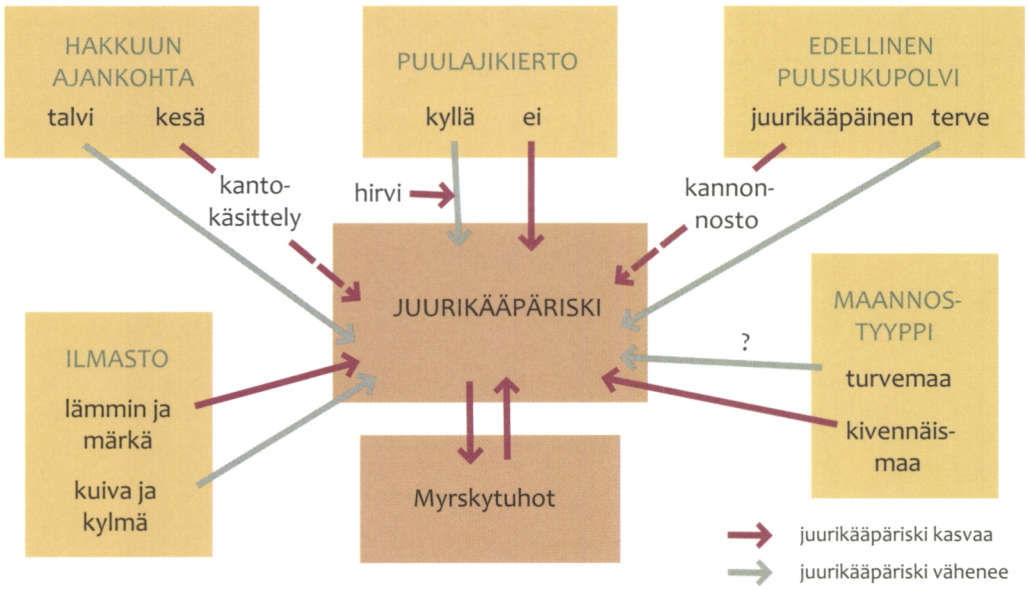
Metsätaudit muuttuvassa ilmastossa

Ennustettu ilmastonmuutos tulee toteutuessaan vaikuttamaan voimakkaasti puiden ja niiden tautien välisiin suhteisiin. Tällä hetkellä sen ennustetaan nostavan lämpötiloja, vaikuttavan kesäsateisiin joko vähentävästi tai lisäävästi (riippuen skenaariosta) sekä lisäävän syksy-, talvi- ja kevätsateita.

Juurikääpä

Juurikäävät ovat boreaalisten metsien merkittävimpiä taudinaiheuttajia. Suomessa esiintyy kaksi lajia. Niistä kuusenjuurikääpä aiheuttaa kuusella tyvilahoa, jonka aiheuttamat vuotuiset tappiot ovat ainakin 40 miljoonaa euroa. Männynjuurikääpä sen sijaan on moni-isäntäinen sieni, joka männyllä aiheuttaa puiden kuolemista ja kuusella tyvilahoa. Sen männylle aiheuttamat taloudelliset tappiot ovat yli viisi miljoonaa euroa vuodessa.

Juurikäävät ovat Suomessa eteläisiä lajeja. Eteläisyyden syy ei kuitenkaan ole aivan selvä. Se voi johtua sienen biologisista



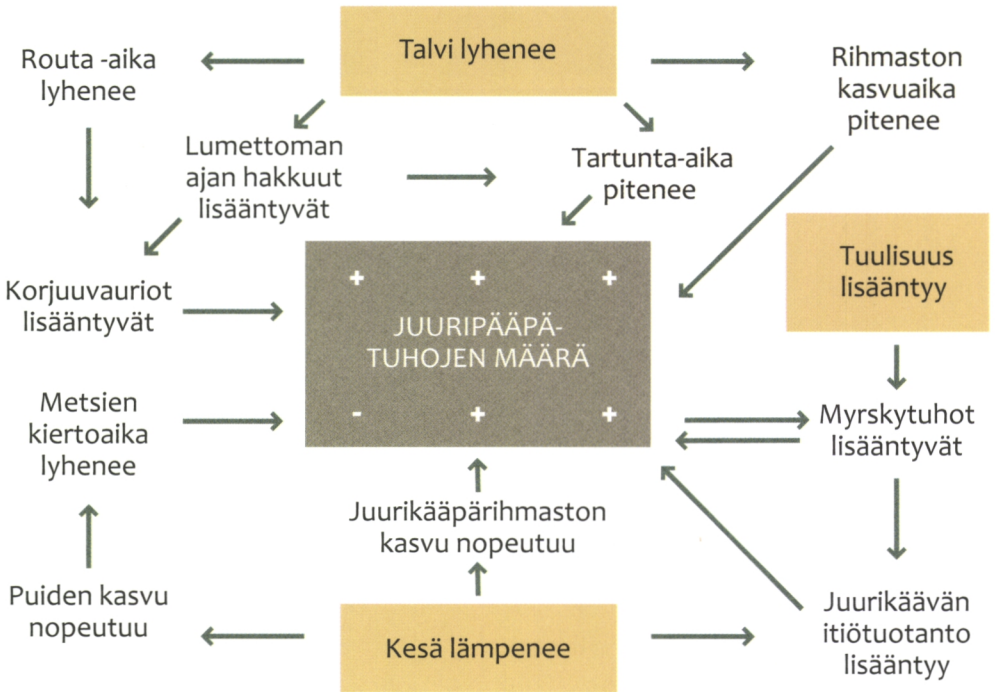
Kuva 1. Juurikääpäriskiin vaikuttavat tekijät.

lämpötilavaateista, kivennäismaiden vähäisyydestä sienen levinneisyysalueen pohjoispuolella tai pohjoisemman Suomen intensiivimetsätalouden lyhyestä historiasta. Joka tapauksessa juurikääpä on esimerkiksi Baltian maissa ja Etelä-Ruotsissa selvästi suurempi ongelma kuin meillä.

Juurikääpäongelma on erittäin monisyinen (kuva 1). Se näyttäisi viihtyvän kivennäismailla turvemaita paremmin ja sitä suosii lämmin, märkä ilmasto. Talvihakkuiden aikana sieni ei aiheuta uutta tartuntaa, mutta kesähakkuissa se leviää tuoreiden kantopintojen kautta, mitä voidaan hillitä kantokäsittelyn avulla.

Itse kasvupaikalla sieni leviää edellisen puusukupolven saastuneista kannoista kasvullisesti juuriyhteyksien kautta uuteen puusukupolveen. Tätä voidaan torjua puulajikierron avulla, eli istuttamalla kasvupaikalle vaikka hybridihaapaa tai rauduskoivua, jotka kestävät kuusta paremmin juurikääpää. Valitettavasti nykyinenkin aiempaa pienempi hirvikanta kuitenkin käytännössä estää tämän monin paikoin. Lisäksi metsänomistajat saattavat alemmasta kantohintatulosta johtuen olla haluttomia puulajikiertoon.

Juurikäävän kasvullista tartuntaa voidaan vähentää myös kannonnoston avulla, joskin maahan jäävät lahot juurenkappaleet



Kuva 2. Ilmastonmuutoksen vaikutus juurikääpätuhojen määrään.

toimivat edelleen tartuntalähteinä. Kannonnoston yhteydessä on huomattava, että biodiversiteetti- ja ravinnesyistä kasvupaikalle jätettävien kantojen (noin 20%) tulisi juurikäävän torjumiseksi olla terveitä ja mielellään kantokäsiteltyjä.

Juurikäävällä on suora yhteys ilmastonmuutoksen myötä lisääntyviksi ennustettuihin myrskytuhoihin. Lahojen juurten ja runkojen myrskynkestokyky on huomattavasti tervettä puuta vähäisempi, ja puut kaatuvat helpommin. Kun juurikäävän lahottamalta laikulta kaatuu runsaasti puita, syntyy aukko, jonka reunalta terveetkin puut saattavat kaatua seuraavan myrskyn yhteydessä. Näin metsään syntyy uusia tartuntareittejä juurikäävälle.

Kun ilmastonmuutos lyhentää talvea, on sillä juurikäävän suhteen monia seurauksia (kuva 2). Lumettoman ajan hakkuiden määrä lisääntyy ja roudattomalla maalla syntyvät korjuuvauriot tuottavat uusia leviämisreittejä juurikäävälle, jonka itiöintiaika myös pidentyy talvikauden lyhetessä. Lisäksi sienen rihmaston kasvuaika pitenee.

Kesän lämmetessä juurikäävän rihmasto kasvaa entistä nopeammin. Tätä kompensoi puiden kasvunopeuden lisääntyminen ja kiertoajan lyheneminen. Toisaalta lämpimässä ilmastossa itiötuotanto kasvaa, jolloin kantoihin kohdistuva itiöpaine kasvaa.

Mikäli ilmastonmuutos toteutuu ennustetulla tavalla juurikäävän aiheuttamat tuhot ja niiden seurauksena myös myrskytuhot tulevat lisääntymään. Siksi meidän tulisi valmistautua tuhojen lisääntymiseen. Kantokäsittelyn tai kannonnoston avulla tapahtuvaa juurikäävän torjuntaa tulisi tehostaa etenkin Pohjanmaalta Kainuuseen ulottuvalla vyöhykkeellä. Lehtipuiden käyttö saastuneiden kasvupaikkojen puhdistamisessa tulisi mahdollistaa alentamalla hirvikantaa vielä nykyisestä. Myös juurikäävän torjunnan tutkimukseen tulisi panostaa huomattavasti: aiheina voisivat olla esimerkiksi juurikäävän virustaudit, sen antagonistisienet, resistenssijalostus ja korjuuvaurioita välttävät metsäkoneet.

Muut taudit

Männynversosurma aiheuttaa ajoittain huomattavaa tuhoa. Esimerkiksi Ruotsissa vuonna 2001 tuhoutui täydellisesti 50 000 hehtaaria männikköä ja eriasteisia vaurioita esiintyi 300 000 hehtaarin alalla.

Versosurmatuhojen vuotuinen vaihtelu johtuu siitä, että sieni on äärimmäisen riippuvainen sääoloista: kaksi toisiaan seuraavaa sateista kesää saattaa laukaista suurepidemian, etenkin jos niiden ympärillä on lauhoja talvia. Ilmastonmuutoksella on siten varmasti suuri vaikutus versosurmatuhojen määrään, mutta sen suuntaa on tällä hetkellä mahdoton ennustaa johtuen eri ilmastoskenaarioiden eroista. Koska versosurmatilanteen nopea paheneminen on mahdollista, on tuhojen ennaltaehkäisyyn syytä panostaa. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa paikallisen siemenalkuperän käyttämistä männyn uudistamisessa, koska verso-surma iskee eteläisiin alkuperiin huomattavasti tehokkaammin kuin paikallisiin. Siten ilmastonmuutoksen tuoman kasvunli-säyksen hyödyntäminen paikalliseen siemenalkuperään

perustuvan jalostuksen kautta on turvallisempi vaihtoehto kuin eteläisen alkuperän käyttäminen.

Myös erilaiset kariste-, lehtilaikku- ja ruostetaudit voivat lisääntyä, jos talvet lauhtuvat ja ilmasto muuttuu kosteammaksi. Esimerkiksi koivunlaikukkaa tiedetään esiintyvän runsaasti sateisina kesinä ja männynneulaskariste aiheuttaa Virossa huomattavasti suurempaa tuhoa kuin meillä. On mahdollista, että nämä sinänsä vähämerkityksellisinä pidetyt taudit vievät osan lämpötilan nousun ja kasvukauden pidentymisen tuomasta kasvunlisästä. Tämän välttämiseksi kannattaa metsän mikroilmaston huoltoon kiinnittää huomiota suorittamalla harvennukset ajoissa, jolloin ilman suhteellinen kosteus latvusten ympärillä laskee.

Positiivista metsien terveyden kannalta on se, että ilmastonmuutoksen seurauksena lumesta riippuvat taudit, kuten talvihomeet, tulevat taantumaan.

Uudet uhat

Suomessa on parina viimeisenä vuonna havaittu kaksi uutta metsätautia. Niistä saarnensurma saattaa osoittautua hyvin vakavaksi tuhonaiheuttajaksi. Männyn punavyökariste puolestaan tuo uuden lisän maassamme esiintyviin karistetauteihin, mutta sen lopullinen merkitys selviää vasta lähivuosina.

Nämä kaksi esimerkkiä osoittavat, että lämpenevä ilmasto voi tuoda Suomeen uusia tauteja. Niiden leviäminen voi tapahtua joko luontaista tietä tai ihmisen avustamana. Tässä yhteydessä on huomattava, että vain muutamaan puulajiin perustuva metsätaloutemme on poikkeuksellisen haavoittuva vaarallisten eksoottisten tuhonaiheuttajien edessä. Esimerkiksi amerikkalainen lännenpahkaruoste saattaisi Suomeen kulkeutuessaan tappaa tai vakavasti vaurioittaa kymmeniä prosentteja maamme männyistä. Siten uusien taudinaiheuttajien torjuminen kauppakasvien terveyden kontrolloinnin avulla on erittäin tärkeää.

Uusien tautien lisäksi riskinä on nykyisten metsätaudinaiheuttajalajien uusien genotyyppien kulkeutuminen maahamme.

Tältä osin meillä on kuitenkin runsaasti aukkoja tiedoissamme. Emme tiedä yhdenkään patogeenisienen osalta esiintyykö etelämpänä sellaisia taudinaiheuttajan muotoja, jotka olisivat nykyisiä taudinaiheuttajakantoja vaarallisempia meidän olosuhteissamme, emme kovin hyvin tiedä kuinka voimakasta geenivirtaa eteläisten ja pohjoisten sienikantojen välillä esiintyy, emmekä tunne kovin tarkasti kuinka hyvin nykyiset puu- ja taudinaiheuttajapopulaatiot ovat sopeutuneet toisiinsa. Oma lukunsa ovat vielä mahdollisten vektorihyönteisten ilmastovaatimukset, joilla saattaa olla suuri merkitys tautien ja niiden genotyyppien leviämismahdollisuuksiin.

Abioottiset tekijät

Ilmastonmuutoksella on myös suoria vaikutuksia metsien terveyteen. Jos tulevaisuuden kesät ovat kuivia ja kuumia, voivat kuuset kuolla kuivimmilla kasvupaikoillaan. Tähän voi varautua välttämällä kuusen istuttamista sellaisille kasvupaikoille, joissa kosteusolot ovat nykyisin vain juuri ja juuri riittävät lajille.

Tuulisuuden ennustettu lisääntyminen luonnollisesti lisää myrskytuhoja. Tätä vaikutusta voimistavat sekä routaisuuden väheneminen että juurikäävän lisääntyminen, kuten edellä on esitetty. Lisäksi lumimäärä kasvaa ainakin ilmastonmuutoksen alussa Keski- ja Pohjois-Suomessa, minkä seurauksena lumivauriot tulevat lisääntymään.

Kirjallisuutta:

Hantula, J. 2007. Ilmastonmuutos jouduttaa juurikäävän leviämistä ja tuhoja. Maaseudun tulevaisuus 15.10.

Hantula, J. 2008. Ilmastonmuutoksen tuhoriskiä voi pienentää. Metsäntutkimus 2/2008, 24–25.

Müller, M. 2009. Suomeen leviää uusia tauteja. Metsälehti 12.3.

Kari Mielikäinen, Professori

Risto Sarvas ja määrämittaharsinta: esittelykohde elämäntyön muistoksi

Metsäalalla huonon maineen saaneiden harsintahakkuiden yleisimmät muodot ovat harsintaharvennus, metsänhoidollinen harsinta ja määrämittaharsinta.

Harsintaharvennus, jota kutsutaan Suomessa ja Ruotsissa nykyisin yläharvennukseksi, on tasaikäisten metsiköiden harvennustapa. Menetelmässä varttuneesta metsästä poistetaan pelinsä menettäneiden pienimpien puiden ohella myös suurimpia valtapuita. Edellytyksenä on se, että metsään jää kasvamaan harvennusmallien mukaan riittävä määrä kasvuisia valta- ja lisävaltapuita. Harsintaharvennuksessa metsikön kasvatus päättyy selvään päätehakkuuseen. Alkuperäisessä merkityksessään termi "yläharvennus" tarkoittaa Keski-Euroopassa harjoitettua lehtipuumetsiköiden laatukasvatusta, jossa metsästä poistetaan parhaiden valtapuiden pahimpia kilpailijoita. Suurimmat valtapuut ja niiden runkoja varjostavat, puun laatua parantavat alikasvospuut jätetään kasvamaan.

Harsintaharvennuksen ohjeet ja suositukset perustuvat professori Yrjö Vuokilan 1960-luvun alussa perustamiin kokeisiin, joita on käsitelty ja seurattu runsaat neljä vuosikymmentä. Tulosten mukaan ylä- eli harsintaharvennus sopii parhaiten hoidettuihin männiköihin, joissa ylhäältä päin harvennetut metsiköt ovat tuottaneet vuosikymmeniä seuratuissa maastokokeissa lähes 10 % enemmän puuta kuin kaavamaisesti alaharvennetut.

Vaikka yläharvennetut metsät ovat tuottaneet enemmän puuta, harvennusten ja päätehakkuun yhteenlasketut kantorahatulot ovat olleet riippumattomat harvennustavasta. Isoimpien puiden hakkaaminen jo harvennusvaiheessa on kostautunut päätehakkuupuuston pienempänä järeytenä ja arvona. Mikäli molemmilla hakkuutavoilla pyritään samaan puuston järeyteen, siirtää yläharvennus päätehakkuuta noin vuosikymmenen eteenpäin. Jos yläharvennuksen suuremmille harvennustuloille lasketaan 4 %:n korko päätehakkuuseen saakka, on ylä- eli harsintaharvennus 10 % alaharvennusta kannattavampaa.

Metsänhoidollinen harsinta eli jatkuva kasvatus on eri-ikäisen metsän kasvatusmuoto, jossa metsää pyritään kasvattamaan ja uudistamaan samanaikaisesti. Metsästä poistetaan kypsiä puita, nuorempia puuryhmiä harvennetaan ja luonnon annetaan uudistaa hakkuissa syntyvät pienaukot. Metsänhoidollista harsintaa harjoitetaan jonkin verran Keski-Euroopan vuoristoissa, joissa sateisuus ja varjoa sietävät puulajit – kuusi, saksanpihta ja pyökki – mahdollistavat menetelmän toimivuuden. Suomessa onnistumisen mahdollisuudet ovat heikommat. Puulajeistamme ainoastaan kuusi sietää varjostusta ja voi uudistua täyden metsän alle. Myös puunkorjuu kasvatettavaa puustoa vahingoittamatta on haasteellista. Metsäntutkimuslaitos on tutkinut menetelmää kestokokein runsaat kaksikymmentä vuotta. Ensimmäisiä tuloksia metsänhoidollisen harsinnan mahdollisuuksista on odotettavissa vuoden 2009 aikana. Tulokset tulevat oikeaan aikaan. Maisema- ja virkistysarvojen korostuminen puuntuotannon sijaan on lisännyt kiinnostusta jatkuvasti peitteellisenä säilyvään eri-ikäismetsätalouteen.

Määrämittaharsinta ei ole metsänhoitoa, vaan päätehakkuuseen verrattavaa puunkorjuuta. Tässä aikoinaan varsin yleisessä hakkuutavassa korjataan talteen kaikki tietyn koon täyttävät rungot ja metsä jätetään uudistumaan itsekseen. Viime vuosisadan alkupuolella rajan muodosti yleisesti tukkipuun järeys.

Professori Risto Sarvas totesi vuonna 1944 julkaistussa väitöskirjassaan määrämittaan harsitut metsät heikkotuottoisiksi. Hakkuun jälkeen jäävä puusto oli määrältään, kasvuisuudeltaan ja rodullisilta ominaisuuksiltaan riittämätön uuden metsän perustaksi. Heikon kasvun pääsyynä Sarvas piti puuston vähäistä määrää hakkuun jälkeen. Sarvaksen väitöskirjan innoittamana kuusi sen aikakauden metsänhoidon asiantuntijaa Helsingin yliopistosta, Metsäntutkimuslaitoksesta ja metsäteollisuudesta esitti syksyllä 1948 julkilausuman, jonka mukaan harsintahakkuista tulisi siirtyä "luonnonmukaiseen" metsien hoitoon. Tärkeimmät luonnonmukaisen metsänhoidon elementit olivat metsien kasvattaminen tasaikäisinä, metsikön parhaiden puiden suosiminen ja selväpiirteinen uudistaminen.

Soiden ojitus, vajaatuottoisten metsien uudistaminen, metsien kasvattaminen tasaikäisinä ja 1960-luvulta käytössä olleet harvennusmallit ovat johtaneet Suomen metsien kasvun kaksinkertaistumiseen. Vaikka metsistämme on viimeisten 40 vuoden aikana hakattu puuta enemmän kuin siellä aluksi kasvoi, on metsien puuvarasto lähes puolitoistakertaistunut. Metsien hyvä puuntuotannollinen tila on lisännyt keskustelua metsänkasvatuksen menetelmistä – myös eri-ikäisen metsän kasvatuksesta eli metsänhoidollisesta harsinnasta.



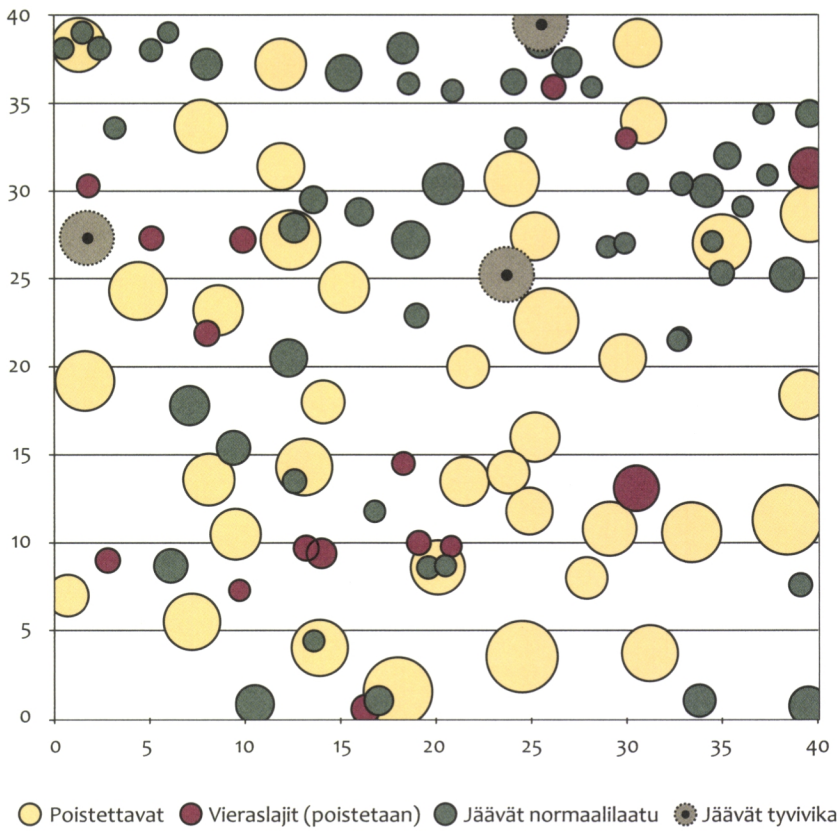
Määrämittaharsinnan esittelykohde

Risto Sarvaksen syntymän 100-vuotismuistoksi perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsään Punkaharjun Laukansaareen ns. Montellin reitin varteen määrämittaharsinnan esittelykohde. Muistometsikon perustamisella kunnioitetaan Sarvaksen merkittävää tutkimustyötä parempien metsänkäsittelymenetelmien kehittämiseksi. Metsikköä esiteltiin Risto Sarvas -juhlaseminaarin yhteydessä 15.10.2008 (kuva 1).

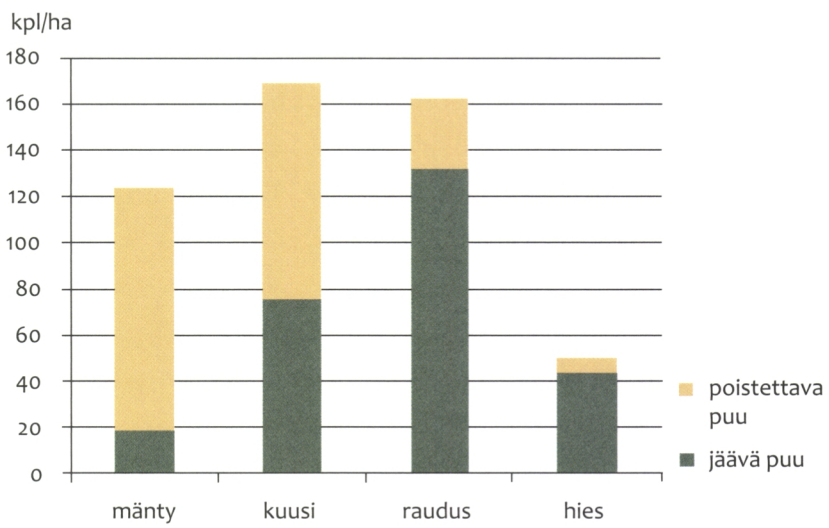
Esittelykohde sijaitsee runsaan hehtaarin suuruisessa 113-vuotiaassa mustikkatyypin metsikössä, jota on harvennettu vuodesta 1911 lähtien alhaalta päin 9 kertaa. Metsikkö on perustettu kylvämällä mäntyä, kuusta ja siperianlehtikuusta kaskiviljelyn yhteydessä vuonna 1895. Metsikköön on toistuvien alaharvennusten seurauksena syntynyt pääosin kaksi puujaksoa – tasaikäinen ja järeä mänty-ylispuusto ja mäntyä selvästi nuorempi,

Kuva 1. Professori Kari Mielikäinen esittelee määrämittaharsintakohdetta Sarvas-seminaarin yhteydessä 15.10.2008. Professori Peitsa Mikola kuuntelee. Kuva: Teijo Nikkanen.

Kuva 2. Määrämittaharsinnan esittelykohteelta mitatun 40 × 40 metrin koealan puukartta, joka esittää poistettavat ja jätettävät puut. Ympyrän koko on suhteessa rungon läpimittaan (pienimmät kuvatut puut ovat läpimitaltaan 5 cm, suurimmat yli 60 cm).



Kuva 3. Määrämittaharsinnan vaikutus esittelykohteen puulajisuhteisiin. Tässä kuvassa ei ole huomioitu alueella vähäisessä määrin esiintyviä vieraita puulajeja ja muita lehtipuita.



Taulukko 1. Esittelykohteen puustotunnuksia ennen ja jälkeen määrämittaharsintaa. Jäävä puusto on leimauksen mukainen. Puiden yhteismäärässä ovat mukana muutkin puulajit kuin taulukossa eritellyt.

	Ennen hakkuuta				Hakkuun jälkeen			
	Mänty	Kuusi	Koivu	Yhteensä	Mänty	Kuusi	Koivu	Yhteensä
Tilavuus m^3/ha	196	70	43	318	22	4	9	38
Runkoluku, kpl/ha	125	169	212	681	19	75	175	344
Valtapituus, m	-	-	-	27,8	-	-	-	17,3
Keskipituus, m[a)]	27,6	22,6	22,8	25,1	26,9	13,0	14,1	19,2
Keskiläpimitta, cm[a)]	44,4	28,1	30,3	37,2	36,2	11,9	13,5	23,2

[a)] painotettu pohjapinta-alalla

elinvoimainen ja kuitupuukokoinen kuusi-koivujakso (kuva 2). Metsikössä on lisäksi jonkin verran huonolaatuisia, järeitä koivuja.

Kohteella on suunniteltu tehtäväksi määrämittaharsinta, jossa poistetaan kaikki rinnankorkeudelta vähintään 20 cm läpimittaiset puut, joissa ei ole laatuvikoja tyvitukin alueella (kuva 2). Hakkuun seurauksena puuston valtapituus (sadan paksuimman puun pituus hehtaarilla) putoaa yli kymmenellä metrillä 28 metristä runsaaseen 17 metriin ja keskiläpimitta (pohjapinta-alalla painotettu) alenee 37 cm:stä 23 cm:iin. Metsikön puuston hehtaarikohtainen tilavuus laskee noin 320 m^3:stä vajaaseen 40 m^3:iin (taulukko 1). Hakkuu muuttaa suuresti metsikön puulajisuhteita (kuva 3). Männyn osuus puiden lukumäärästä romahtaa, kun taas kuusen osuus pienenee vähemmän. Koivut hyötyvät hakkuusta, sillä niiden suhteellinen osuus puustosta kasvaa. Koemetsikön elpymisen ja jatkokehityksen ennuste on huomattavan hyvä, mikäli hakkuu ei tuhoa kuusialikasvosta.

Esittelykohteen metsikkörakenne poikkeaa selvästi 1900-luvun alkupuolen harsintametsistä. Tuolloin määrämittaharsinnat kohdistuivat hoitamattomiin ja hakkaamattomiin tai jo aiemmin harsittuihin metsiin. Valtaosa hakkuissa "säästettävistä" puista oli



Kuva 4. Tukkimänty kaatuu määrämittaharsintakohteella Luston Helmiäisten yhteydessä järjestetyssä perinnesavotassa 22.2.2009. Kuva: Juhani Häggman.

silloin valtapuiden alla kasvu- ja elpymiskykynsä menettäneitä puita. Entisajan harsintametsät olivat myös Punkaharjun moneen kertaan harvennettua koemetsikköä eri-ikäisempiä.

Esittelykohteelle suunniteltu määrämittaharsintahakkuu toteutetaan parin lähivuoden aikana. Metsämuseo Luston järjestämän Helmiäis-tapahtuman yhteydessä helmikuussa 2009 aluetta käytettiin perinnesavotan esittelykohteena, jolloin puutavaran kuljetus pois metsästä tapahtui jäävää puustoa säästäen hevosella (kuvat 4 ja 5). Puustovaurioiden minimoimiseksi myös muu alue on tarkoitus hakata miestyönä, tosin ei aivan perinnesavotassa käytetyllä justeeri-kirves-hevonen -koneketjulla.

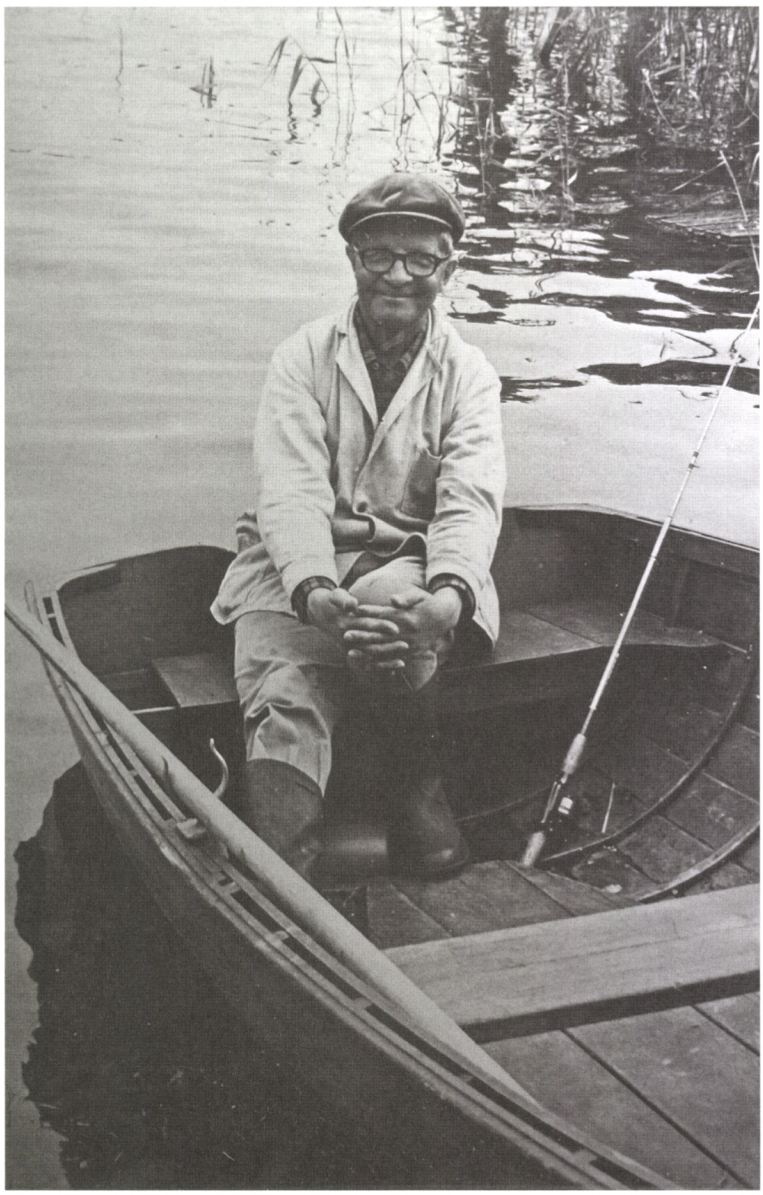


Kuva 5. Puiden ajo perinnesavotalla tapahtui hevosella. Kuva: Juhani Häggman.

Kirjallisuutta:

Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. Summary: Effect of thinning method on the yield of middle-aged stands in southern Finland.Folia Forestalia 776. 22 p.

Mielikäinen, K. & Hynynen, J. 2004. Harkintaa vai harsintaa? The comparison of thinning methods in even-aged stands. Työtehoseuran metsätiedote 677. 4 s.



Henkilökohtaisia muistelmia Risto Sarvaksesta

Veikko Silander, Metsätalousinsinööri

Tarinoita professori Risto Sarvaksesta

Tapasin professori Risto Sarvaksen ensimmäisen kerran toukokuussa 1958 Ruotsinkylässä, Mätäkivenmäellä. Kukkimistutkimukset olivat juuri aluillaan, ja hän testasi siellä tutkimusmenetelmiään ja -laitteitaan. Minut oli alkuvuodesta kiipeilykokeissa valittu harjoittelijaksi metsänhoidon tutkimusosastolle. Tehtäviini kuului asentaa ja virittää erilaisia laitteita mäntyjen latvoihin. Sen kesän mieleenpainuvin tapahtuma oli kuitenkin, kun sain ajaa professori Sarvaksen osaston Dodgella Ruotsinkylästä Helsinkiin. Professori tiedusteli minulta, koska olin suorittanut insinööriajon ja olinko paljonkin ajanut autoa. Kun sitten päästiin liikkeelle, hän sanoi: *"Niin herra Silander, ei se insinööriajo ole mitään, nyt teidän on suoriuduttava professoriajosta."* Ilmeisesti läpäisin ajokokeen, koska myöhemmin aina hänen kuolemaansa saakka jouduin lukemattomia kertoja kuljettamaan professoria hänen lyhyemmillä ja pidemmillä



Kuva 1. Kahvitauko Itävallassa Turkin-matkalla. Edessä selin Risto Sarvas, kahvipaikan emännän takana Veikko Silander. Kuva: Veikko Koski.

matkoillaan. Pisin matka oli vuonna 1968 tehty reissu Euroopan ja Balkanin halki Turkin pääkaupunkiin Ankaraan ja takaisin (kuva 1).

Professori ja metsänhoidon tutkimusosasto

Metsänhoidon tutkimusosastolla oli työskentelytilat 1960-luvun alussa Metsätalon kolmannessa kerroksessa. Professori Sarvas johti osastoa 1950-luvun puolivälistä vuoteen 1974. Osaston muut tutkijat olivat tri. Jaakko Lehto, tri. Eino Oinonen, maisteri Max. Hagman, maisteri Ukko Rummukainen ja metsänhoitaja Kullervo Etholén. Osaston tärkein ja suurin hanke oli metsäpuiden siemensato- ja kukkimistutkimus. Vakituisina työntekijöinä



Kuva 2. Reino Saario Ruotsinkylässä 1960-luvulla. Kuva: Metlan arkisto.

tässä hankkeessa olivat metsänhoitaja Olavi Helenius, metsäteknikko Reino Saarnio ja osastosihteeri Aino (Anu) Lukkala (kuvat 2 ja 3).

Olavi Helenius kuului niihin harvoihin, jotka uskalsivat olla eri mieltä Sarvaksen kanssa – jopa suuttua hänelle. Helenius oli reservin kapteeni, ja toimissaan hyvin käytännöllinen. Hän oli tuntenut Sarvaksen jo opiskeluajoiltaan ja ollut mukana keräämässä aineistoa tämän väitöskirjaan. Heleniuksen vastuulla oli siemensuppiloiden pystytys ja niiden ylläpito koko maassa. Kun koealoja oli toista sataa ja suppiloita 6–10 per koeala niin töitä riitti.

Olavi Helenius ei ollut alkoholisoitunut, mutta joskus hänelle jäi ns. "ryyppy päälle". Sarvas oli tietoinen tästä, ja he silloin tällöin keskustelivat ongelmasta. Heleniuksen mukaan



Kuva 3. Aino Lukkala ja Marja Dethlefsen (Risto Sarvaksen sisar) Varparannan kokouksen aikaan vuonna 1970 Savonlinnassa. Kuva: Metsänjalostuksen kuva-arkisto.

asia oli taas kerran ollut esillä, ja Sarvas oli lopettanut keskustelun sanoihin: *"Ajattele nyt Olavi, sinulla olisi kivitaloja, kun jättäisit alkoholin pois."* Tähän Helenius oli vastannut: *"Montaks sul on?"*

Metsäpuiden siemensato- ja kukkimistutkimukset saivat vauhtia 1960 luvun alkupuolella. Reino Saarnio toimi Sarvaksen lähimpänä apulaisena, ja hän oli myös muiden silmissä erikoisasemassa, koska sinutteli professoria. Saarniolle kuului kaikki maastossa tapahtuvien tutkimustöiden suunnittelu, järjestely ja toteuttaminen, tietenkin yhteistoiminnassa Sarvaksen kanssa. Tutkimusmetodeja ja -laitteita kehiteltiin ensin Ruotsinkylässä ja myöhemmin Solbölessä. Solbölessä ollessaan Sarvas asui Bergössä ja oli hyvin tiiviisti mukana kehitystyössä. Huolellisesta suunnittelusta huolimatta ongelmitta ei selvitty.

Eräänä kevätpäivänä, kun kuusen hedekukinta oli parhaimmillaan, ja "pallomittarit" oli viritetty puiden latvoihin keräämään siitepölyä, sattui rankkasade. Palloja suojaava mekanismi ei toiminut ja osa siitepölystä huuhtoutui pois. Tämä tietenkin harmitti professoria. Mekanismin vikaa haettiin miesvoimin, kunnes Sarvas löysi sen. Kun vika oli korjattu, professori piti pienen moittivasävyisen ojennuspuheen. Hän lopetti sen sanoihin: *"Pitäisi vähän ajatella mitä tekee."* Tämä huomautus ei ollut Saarnion mieleen.

Kuinka ollakaan, joitakin päiviä myöhemmin professori kulki Saarnion kanssa Jöns Lindin laidunmaan poikki, ja eteen tuli karjaportti. Sarvas alkoi ajatuksissaan avata epämääräistä porttia saranapuolelta. Saarnio juoksi hätiin, avasi portin oikeasta päästä ja piti sitä auki. Professorin kulkiessa portista kuului Saarnion mumina: *"Pitäis vähän ajatella mitä tekee."* Tuskin professori kiinnitti huomiota tähän huomautukseen, mutta saihan Saarnio purettua mieltään.

Anu Lukkala hoiti osaston käytännön asiat ja professorin julkaisujen puhtaaksikirjoitukset. Voi sanoa, että hän oli henkilö, jolla oli suurin vaikutusvalta Sarvakseen. Professorin käsikirjoitukset oli kirjoitettu käsin hyvin pienellä käsialalla. Satunnaiselle lukijalle teksti oli aikaa vievää tavaamista. Tekstin editointi hoidettiin korjausmusteella ja liimaamalla. Lukkalan jokapäiväisenä tehtävänä oli myös arvioida professorin työmäärä ja mielenlaatu. Tuli tavaksi, että professorin puheille pyrkivien henkilöiden aina ensin tuli käydä rva Lukkalan luona tiedustelemassa, millä tuulella professori oli. Tyhjänpäiväisen asian kanssa ei pitänyt mennä professorin puheille. Silloin hän, hyvin kohteliaasti kylläkin, päätti keskustelun sanoihin: *"Kiitos paljon, näkemiin."*

Kun Reino Saarnio vuonna 1965 valmistui metsänhoitajaksi perin hänen virkansa. Siitä lähtien jouduin melkein päivittäin työskentelemään Sarvaksen kanssa. Opin silloin huomaamaan mistä hän piti ja mistä ei. Professorin mieleen ei ollut, että annettu tehtävä jätettiin kesken. Reino Saarnio kertoi, miten

hän myöhään eräänä syksynä oli Vilppulassa lukemassa pieniltä ympyräkoealoilta männyn sirkkataimia. Maahan satoi 10 cm lunta ja sirkkataimet jäivät lumen alle. Saarnio päätti lukutyöt ja matkusti Helsinkiin. Helsingissä työ otettiin professorin kanssa uudelleen esille ja ruvettiin hakemaan keinoja, miten se saataisiin tehdyksi loppuun.

Päätettiin, että Saarnio seuraavana aamuna menisi Renlundin rautakauppaan, ostaisi sieltä ison muuripadan ja lähtisi se mukanaan takaisin Vilppulaan. Koealalla hän sitten lämmittäisi vettä muuripadassa, sulattaisi lumen ympyräkoealoilta ja laskisi sirkkataimet. Näin sitten tapahtui.

Professorille ei myöskään ollut mieleen, että annettuja työtehtäviä yritettiin muuttaa. Muutosehdotusta piti kyllä miettiä kaksi kertaa, tai nukkua yön yli, ennen kuin meni esittämään mitään. Lopputuloksena oli monta kertaa se, että työt vaan lisääntyivät muutosehdotuksen takia. Näin kävi kerran minullekin.

Solbölen banksinmäntyviljelmään piti pystyttää kolme anteesimastoa (anteesi mitattiin metsikön valtapituuden tasolla). Metsikkö oli valtapituudeltaan 20 m ja hyvin kivisessä paikassa. Yritin saada siirrettyä työn toiseen metsikköön, joka oli puustoltaan paljon lyhyempi ja vähemmän kivinen. Esitin professorille asian mielestäni painavin perustein. Hetken asiaa mietittyään hän sanoi: *"Pystytetään mastot molempiin metsiköihin."*

Metsäpuiden kukkimis- ja siemensatotutkimus oli erittäin työlästä ja kallista. Osaston normaalit määrärahat eivät läheskään riittäneet, vaan lisää oli saatava ministeriöltä. Sarvaksella oli oma taktiikkansa ministeriötä kohtaan hankkiessaan lisärahoitusta tutkimukseensa. Hän meni tapaamaan ministeriön virkamiehiä mukanaan pitkät kirjalliset perustelut hankkeiden tärkeydestä ja hyödyistä. Jos ensimmäinen vierailu ei tuottanut toivottua tulosta, hän uusi vierailunsa niin monta kertaa, että tarvittava rahamäärä saatiin. Tavallisesti kolme vierailua riitti.

Professori ja Punkaharju

Punkaharjusta tuli 1960-luvun lopulla koko kukkimis- ja siemensatotutkimuksen keskus. Säähavaintoasemia ja anteesimastoja rakennettiin sekä kotimaisten että ulkomaisten puulajien metsiköihin. Näitä "sääkoealoja" (johon kuului sääasema metsikön valtapituuskorkeudella ja kolme anteesimastoa) oli Punkaharjulla yli 20. Työtilana toimi Laukansaaren lakkautettu kansakoulu. Myös tutkimuksen valtakunnallinen karikelajittelu, joka työllisti toistakymmentä henkilöä, siirrettiin Helsingistä Punkaharjulle. Lisäksi koululle hankittiin mittavat kylmäkäsittelylaitteet kokeellisia tutkimuksia varten.

Puiden kukkimisaikaan professori Sarvas teki työtä Punkaharjulla yhtäjaksoisesti useita viikkoja ja kotoa mukaan otetut talvivaatteet eivät aina soveltuneet toukokuun hellepäiviin. Hän asui Punahussilan mökissä, jota alettiin kutsua myös Sarvaksen mökiksi. Kun eräänä aamuna menin tapaamaan Sarvasta, löysin hänet seisomassa mökin puuvajan edessä kirves kädessään. Menin hänen luokseen ajatellen, miten mahdollisesti voisin auttaa. Apuani ei kuitenkaan tarvittu, koska työ oli jo tehty. Professori oli kirveellä tehnyt pitkistä alushousuista lyhyet. Hän kääri katkaistut lahkeet hyvin huolellisesti rullalle ja vei ne mökkiin. Minulle hän sanoi: *"Pitkistä saa hyvin helposti lyhyet."*

Punkaharjulla pidettiin myös "sääkurssit". Joka vuosi palkattiin osastolle 20–25 metsäharjoittelijaa. Näillä viikon kestävillä kursseilla opetettiin nuoria puihinkiipeilykykyisiä miehiä hoitamaan sääasemia, anteesimittauksia ja muuta havainnointia. Kursseille eivät osallistunut pelkästään harjoittelijat, vaan usein myös kokeilualueiden henkilökuntaa. Professori Sarvas piti aina kurssin avauspuheenvuoron. Kerran aluemetsänhoitaja Yrjö Kanerva ei päässyt kurssin avajaisiin ja kysyi illalla Olavi Heleniukselta: *"No mitä Sarvas sanoi?"* Tähän Olavi Helenius vastasi: *"Joo... istu takamuksellesi, se kestää vain neljä tuntia."*

Kun työt ja sen mukana henkilökunnan määrä lisääntyivät Punkaharjulla, Sarvas määräsi maisteri Jyrki Raulon oman

toimensa ohella työpisteen esimieheksi. Samalla hän antoi Raulolle tehtäväksi laatia koulun korjaussuunnitelman. Jyrki Raulo otti asian tosissaan ja teki ominaiseen tapaansa suunnitelmasta erittäin mittavan. Sarvas tuli vahtimestari Yrjö Suinuniemen kanssa Helsingistä päättämään korjaustöistä. Kokoukseen osallistui myös maisteri Veikko Koski. Kun Raulo oli esitellyt laajan ja kunnianhimoisen korjaussuunnitelmansa, seurasi hiljaisuus. Hetken päästä oli Sarvas sanonut: *"Sinä et sitten enää olekaan tämän paikan esimies"*, osoittaen sormellaan Rauloa, *"vaan sinä."*, osoittaen Veikko Koskea. Tähän hän vielä lisäsi: *"Ja nyt hyvät herrat voitte mennä omiin töihinne, me Suinuniemen kanssa hoidamme tämän asian."*

Matkat Helsingistä Punkaharjulle kestivät siihen aikaan 6–7 tuntia ja ne tehtiin yleensä työajan jälkeen. Sarvas ei koskaan puuttunut tapaan, jolla ajoin autoa. Ainoan hänen kommenttinsa ajotavastani kuulin rva Lukkalalta, jolle hän oli kertonut, että Silanderin nopeusrajoitus loppuu, kun päättymismerkki näkyy. Luumäen motellin luona pysähdyttiin aina syömään ja juomaan kahvia. Lähtiessään pois kahvilasta Sarvas löi jonkin kolikon pajatsoon motaten ensin sen kylkeen nyrkillä. Minulle hän selitti, ettei hän ymmärtänyt, miksi sitä piti lyödä.

Matkan aikana yleensä keskusteltiin nykyisistä ja tulevista töistä sekä saaduista tuloksista. Hyvin harvoin professori kertoi juttuja matkojen aikana, mutta joskus sekin tapahtui. Seuraavan tarinan hän kertoi patikkamatkastaan professori Olli Heikinheimon kanssa Lapissa.

He olivat illansuussa väsyneinä ja märkinä tulleet maalaistaloon, jossa yöpyivät. Talon emäntä oli hyvin puhelias ja utelias. Sillä aikaa kun vieraat kävivät saunassa, emäntä oli valmistanut oikein kunnon lappilaisen päivällisen. Päivällisen aikana emäntä oli ollut hyvin kiinnostunut Heikinheimosta ja oli udellut häneltä kaikenlaista. Kun päivällinen oli korjattu pois, emäntä tarjoili kahvia. Tullessaan kaatamaan sitä Heikinheimolle, tämä

oli sanonut: *"Ei kiitos, en juo kahvia, vesi riittää."* Jonkin ajan kuluttua emäntä oli mennyt kaapille, ottanut sieltä viinapullon ja pikarit ja tarjoillut vieraille. Kun emäntä oli tarjoilemassa Heikinheimolle, tämä sanoi taas: *"Ei kiitos, en käytä alkoholia."* Hetken hiljaisuuden jälkeen emäntä oli kysynyt Heikinheimolta: *"No onkos professorilla lapsia?"* Tähänkin vastaus oli: *"Ei, ei ole."* Sarvaksen kommentti tähän oli: *"Emäntä piti varmaan Heikinheimoa hyvin varovaisena miehenä."*

Näillä tarinoilla olen yrittänyt hiukan valottaa professori Sarvaksen inhimillisiä piirteitä tutkimustyössä. Ne saattavat antaa sellaisen kuvan, että oli vaikeata työskennellä hänen kanssaan. Tämä ei kuitenkaan missään tapauksessa pidä paikkaansa, vaan pikemmin päinvastoin. Työskentely hänen kanssaan oli tavallaan helppoa. Vaikka tehtävät olivat vaativia, ne kuitenkin aina olivat mielekkäitä, oikein mitoitettuja ja haastavia. Hän loi sellaiset edellytykset töiden läpiviemiseen, että oli melkein mahdotonta epäonnistua. Työohjeet olivat aina kirjallisessa muodossa. Mittausvälineet ja muut laitteet olivat parhaat mahdolliset, kenttähenkilökuntaa oli riittävästi ja ylimääräisen aputyövoiman palkkaamiseen löytyi aina rahaa. Tämän lisäksi hän oli aina valmis pistämään oman arvovaltansa peliin, jos ongelmia syntyi. Katson, että minulla henkilökohtaisesti on ollut suuri onni saada niin kauan työskennellä hänen kanssaan. Nyt 50 vuotta myöhemmin tuntuu siltä, ettei yksikään päivä mennyt hukkaan.

Pentti Manninen, Metsätalousteknikko

Muistelmia professori Risto Sarvaksesta Punkaharjulla

Aloitin työni Metsäntutkimuslaitoksen palveluksessa Helsingissä syksyllä 1963 ja tapasin professori Sarvaksen parin seuraavan talven aikana ohimennen Metsätalolla ja myös Punkaharjulla. Kun kukkimis- ja siemensatotutkimukset keskittyivät Punkaharjulle tutustuin häneen ja hänen tutkimusmenetelmiinsä. Toimin silloin sää- ja anteesimittausten vastaavana työnjohtajana ja näytteiden keruu- ja tutkimustöissä.

Professori Sarvas antoi erittäin selkeät ja tarkat työohjeet, joita tuli noudattaa (esim. liite 1). Vuoden kaikista työvaiheista oli hyvät kirjalliset ohjeet. Hän itse oli maastossa mukana ja näytti kädestä pitäen kuinka mittaukset, havainnot ja näytteiden keruu suoritetaan. Punkaharjulla oli yli 20 säähavaintoasemaa, joiden korkeus vaihteli 2 m:stä 30 m:iin (kuvat 1 ja 2). Risto Sarvas kiipesi kaikkiin torneihin ja mastoihin tarkastaen niiden turvallisuuden. Havaintoja ja mittauksia tehtiin ympäri vuorokauden tietyin aikavälein. Pysyvä määräys oli, että jos ei tiennyt



Kuva 1. Risto Sarvas ja sääkoppi. Kuva: Metsänjalostussäätiö.

kuinka tuli menetellä, tuli välittömästi ottaa yhteys häneen, olipa sitten yö tai päivä.

Näytteitä kerättiin ja havaintoja tehtiin puiden latvustasolla. Henkilönostimena oli tikastraktori, jonka tikkaiden pituus on 21 m. Kerran olimme lehtikuusikossa oksanäytteitä keräämässä, ja professori Sarvas kiipesi tikkaille ja näytti kuinka näytteiden keruu tuli suorittaa. Allekirjoittanut toimi koneen käyttäjänä siirrellen tikkaita hänen ohjeittensa mukaan. Hän työskenteli noin 15 m:n korkeudella ja pyysi laskemaan lavettia pari metriä alemmas. Siihen aikaan lavettimekanismissa ei ollut hidastinta



Kuva 2. Säämasto ja siemenkeräyssuppiloita koivikossa Punkaharjun kokeilualueella. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.



Kuva 3. Laukansaaren vanha kansakoulu, josta tuli Punkaharjun jalostuskoeasema 1960-luvulla. Kuva: Metsänjalostuksen kuva-arkisto.

vaan lavetti laskeutui sillä nopeudella millä koneen käyttäjä vivusta veti. Käänsin vivusta, ja lavetti humahti pari kolme metriä alaspäin ja jäi pomppimaan, kunnes asettui oikealle korkeudelle. Säikähdin että kuinkas minä noin huolimattomasti sitä vipua vetäisin. Oli hetken aikaa aivan hiljaista. Sitten kuului tikkailta rauhallisella äänellä lausuttuna: *"Kuulkaas herra Manninen, minä en osaa lentää."* Työ jatkui ja lavetti laskeutui huomattavasti hitaammin eikä pomppinut enää sen jälkeen.

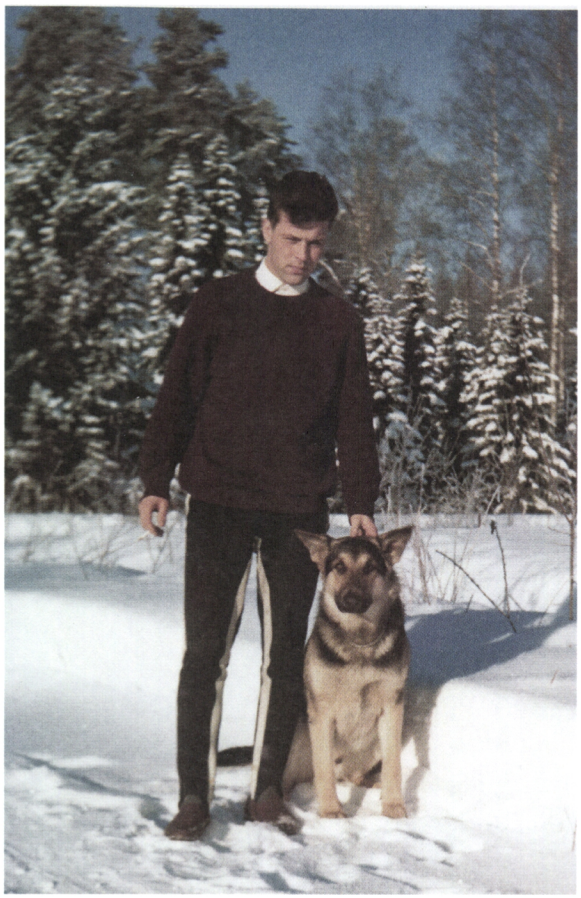
Anteesia mitattiin hieskoivikossa ns. hauenleuka-pallomittareilla. Mittareita oli metsikössä 10 kpl noin10 m:n välein ja ne oli kytketty sarjaan toimien patterilla. Poutasäällä ne olivat ylhäällä ja sateen uhatessa ne laskettiin alas. Myös yöksi pallot laskettiin alas. Säämies (allekirjoittanut) huolehti siitä, etteivät pallot kastuneet. Oli taas lauantai ja tansseihin teki mieli. Tein sääennustuksen arvellen että sää pysyy poutaisena koko yön ja jätin pallot ylös. Tanssipaikka oli noin 10 kilometrin päässä ja polkaisin fillarilla sinne. (Tanssilava oli rakennettu lotjan kannelle Puruveden rannalle.) Tanssit sujuivat oikein mukavasti lähelle puolta yötä, kunnes huomasin mustien pilvien nousevan järven toiselta puolelta. Eihän siinä auttanut muu kuin pyytää neidiltä anteeksi äkillistä poistumista kesken tanssin ja lähteä polkemaan fillarilla hieskoivikkoon. Ehdin laskea pallot alas ennen sateen

alkua, mutta paluumatkalla kämpille kastuin läpimäräksi (opiksi ja ojennukseksi).

Kokeita tehtiin erilaisissa koeolosuhteissa ja kokeen päätyttyä koetilat tuli siivota uusia kokeita varten. Koulun kellarissa oli oksakokeet, jotka päättyivät lauantaina klo 20.00. Fikseerasin viimeiset näytteet ja läksin tanssimaan hotelli Finlandiaan. Asuin siihen aikaan koulun nurkkahuoneessa kellarin yläpuolella. Palasin kämpille puolen yön jälkeen iloisella mielellä viimeistä valssia (Metsäkukkia) viheltäen. Ihmettelin kun keittiössä paloi valot, mutta en kiinnittänyt siihen sen suurempaa huomiota, vaan menin oman sisäänkäynnin kautta huoneeseeni. Hetken kuluttua kuului koputus ja kehotus: *"Kuulkaas herra Manninen, voisitteko tulla kellariin, minulla olisi vähän asiaa."* Arvasin mistä oli kysymys ja otin siivouskomerosta siivousvälineet. Menimme kellariin ja aloin siivota professorin katsellessa ovelta touhuamistani. Aikansa katseltuaan hän lausahti: *"Hyvää yötä herra Manninen"*, ja poistui. Minulle jäi arvoitukseksi kuinka kauan hän oli istunut keittiössä odottamassa minua. Kokeet jatkuivat seuraavana maanantaina, ja koetilat pysyivät tämän jälkeen siisteinä. Vielä nykyäänkin kuullessani valssin Metsäkukkia, tämä kotiinpaluu tulee mieleeni "mukavana" muistona. (Kuva 3.)

Kasvihuoneen kellarissa tehtiin pakkastestikokeita pakastearkuissa. Kokeet päättyivät juuri ennen kesäloman alkua, ja sovittiin että kokeita jatketaan lomien päätyttyä. Siihen aikaan minulla oli koira, ja tuttu lihamestari lupasi teurastähteitä melkoisen määrän. Minulla ei ollut säilytystiloja, joten vein ne sinne kellarin arkkuun, koska tiesin että arkkuja tarvitaan vasta lomien jälkeen, ja siihen mennessähän teurastähteet olisi syöty. Kuitenkin professori Sarvas tuli Harjulle loman aikana suunnittelemaan uusia kokeita ja katsastamaan sopivia koetiloja. Arvaahan sen kuinka siinä kävi. *"Manninen on löydettävä vaikka Kivennavalta ja toimitettava välittömästi hänen luokseen."*

Löydyinhän minä ja ihmettelin mistä mahtoi olla kysymys. *"Kuulkaas herra Manninen, lähdetäänpäs kasvihuoneen kellariin."* Silloin jysähti, tuskanhiki otsalla seurasin professoria



Kuva 4. Artikkelin kirjoittaja Pentti Manninen ja hänen kuivamuonalle joutunut Badi-koiransa vuonna 1968. Kuva: Pentti Mannisen kokoelma.

kellariin. Hän avasi arkun kannen, eikä avautuva näkymä ollut kovin mieltä ylentävä, hajusta puhumattakaan. Arkun kompressori oli kärähtänyt, ja teurastähteet olivat mädäntyneet arkkuun. Tulihan siitä palautetta, ja aiheesta tulikin. Sen jälkeen koira sai kuivaa muonaa. (Kuva 4.)

Oltiin taas kerran Silanderin Veikon kanssa kasvihuoneen kellarissa tekemässä mittauksia ja havaintoja. Molemmat olimme kovia tupakkamiehiä ja käryttelimme aika tiuhaan tahtiin. Kellarissa ei ollut kovin nykyaikaista ilmanvaihtoa, jotenka sinne kyllä kehittyi melkoinen määrä tupakansavua. Professori Sarvas tuli sinne antamaan uusia ohjeita, mutta avattuaan kellarin oven hän rykäisi kerran ja kehotti herroja ulos kuuntelemaan mitä sanottavaa hänellä on. Tupakanpolttoa ei kielletty, mutta ohjeet kuunneltiin ulkona.

Professori Sarvas tutki meioosia Punkaharjulla useana vuonna, ja olin hänen apunaan valmistaen preparaatteja, jotka hän sitten mikroskoopilla tutki. Ne eivät olleet mitään kestopreparaatteja, vaan ne piti tutkia heti valmistamisen jälkeen. Kun kahvitunti alkoi lähestyä tein preparaatteja sen verran varastoon, että ehdin kahvitunnille. Professori jäi mikroskopoimaan, ja usein kävi niin, että kahvit oli juotu ennen kuin hän ehti kahvitunnille. Jälleen

tuttu kommentti: *"Kuulkaas herra Manninen, minäkin joisin kahvia."* Sen jälkeen kävelimme yhtä jalkaa kahville.

Professoreja ei paljon sinuteltu 60- ja 70-luvuilla, eikä professori Sarvas sinutellut meitä ruohonjuuritason henkilöitä. Hän kutsui minua aina herra Manniseksi, ja minä häntä professoriksi. Satuttiin kerran saunomaan yhtä aikaa koulun saunaan. Istuttiin lauteilla hiljaa ja nautittiin löylyistä. Hetken kuluttua professori Sarvas sanoi: *"Kuulkaas herra Manninen, minä olen Risto."* Minä siihen: *"Pentti"*, ja tämän jälkeen käteltiin. Käytännössähän tämä tarkoitti sitä, että hän on Risto kun olemme saunan lauteilla, muulloin hän on professori Sarvas ja minä herra Manninen.

Viimeisen kerran tapasin Risto Sarvaksen keväällä 1974 Metsätalolla ennen Metsäpäivien alkua. Hän pyysi minut huoneeseensa, ja alkoi muistella menneitä vuosia Punkaharjulla. Lopuksi hän kätteli ja kiitti sanoen: *"Kuulkaas herra Manninen, te olette nuori mies, kyllä te pärjäätte."*

Liite 1. Esimerkki professori Risto Sarvaksen laatimista perusteellisista työohjeista.

Uudet Ohjeet

Helsingissä 10.5.1967

Horisontti-mittaukset

V. 1964 suoritettiin tutkimusmetsiköissä horisonttia koskevia mittauksia. Näiden mittausten tarkoituksena oli hankkia pohja laskelmille, koska aurinko nousee ja koska se laskee kyseisellä koealalla, koska tälläkin on tietty merkitys kukkamäärän vuotuisiin vaihteluihin.

Nyt on kuitenkin osoittautunut tarpeelliseksi täydentää näitä mittauksia ja laskelmia suorittamalla välittömiä havaintoja auringon noususta ja laskusta kullakin koealalla.

Havainnot tehdään 20 x 20 cm:n suuruista noettua lasia (ikkunalasia) suojana käyttäen. Nokeaminen tapahtuu polttamalla koivuntuohta. Nokeaminen on suoritettava hyvin huolellisesti. Lasia, jonka nokeus on vähänkin vioittunut, ei saa käyttää, koska pienikin reikä nokeuksessa helposti vaurioittaa silmää.

Kuhunkin havaintoon kuuluu kaksi osahavaintoa: 1. aurinko on täysin horisontin alapuolella (ei pilkistä yhtään horisontin lävitse), 2. aurinko pilkistää horisontin lävitse, mutta ei ole täysin horisontin yläpuolella, 3. aurinko on täysin horisontin yläpuolella. Havainnot tehdään ilmastomastosta tai ilmastotornista suunnilleen tarkistuslämpömittarin elohopeakuulan korkeudelta. Auringon noustessa merkitään kelloajat, jolloin vaihe 1 muuttuu 2:ksi ja jolloin vaihe 2 muuttuu 3:ksi. Auringon laskiessa merkitään kelloajat, jolloin vaihe 3 muuttuu 2:ksi ja jolloin vaihe 2 muuttuu 1:ksi. Ennen kuin havainnon tekoon ryhdytään, on kello tarkistettava radion aikamerkin avulla. Havaintotulokset merkitään lomakkeelle: Horisontti

Kultakin koealalta tarvitaan vain yksi pilvettömällä säällä tehty auringon nousua ja yksi auringon laskua koskeva havainto.

Havaintoja tehdään kesällä 1967 vain seuraavien puulajien koealoilla: Thuija occidentalis, Larix sibirica, Larix decidua, Betula verrucosa, Betula papyrifera, Betula pubescens, Abies sibirica, Picea Abies, Pinus silvestris, Pinus Cembra ja Pinus Peuce. Havainnot tehdään seuraavilla lämpösummaväleillä.

Puulaji	Havaintoaika	
	Alkaa	Loppuu
	D.d.	
Thuja occidentalis	5	15
Larix sibirica	23	39
Larix decidua	33	49
Betula verrucosa	40	50
Betula pubescens	65	85
Abies sibirica	100	140
Picea Abies	100	140
Pinus silvestris	190	230
Pinus Cembra	280	350
Pinus Peuce	320	390

Edellä olevassa taulukossa ilmoitettu havainnoille otollinen lämpösummaväli on ymmärrettävä siten, että havaintoja ei aloiteta aikaisemmin, mutta että havainto pyritään suorittamaan ensimmäisen kirkkaan sään sattuessa tämän lämpösummavälin kuluessa; jos ei kuitenkaan koko nyt mainitun lämpösummavälin aikana esiinny sopivaa säätä, tehdään havainto heti kun sellainen ilmaantuu.

Risto Sarvas

Matti Sarvas, Professori, emeritus

Tutkija perheenisänä

Tämä symposiumteos käsittelee monipuolisesti isämme Risto Sarvaksen tieteellisiä tutkimuksia, saavutuksia ja niiden vaikutuksia. Tässä artikkelissa me lapset kerromme muistoja ja kuvauksia isästämme. Pyrimme valottamaan sitä, miten isämme työ tutkijana erityisesti Metsäntutkimuslaitoksessa heijastui meidän lapsuutemme kokemuksiin. Hänen työnsä väritti ja rikasti vahvasti perheemme elämää ja suhdetta isäämme, ja muistelemme sitä lämmöllä ja kiitollisuudella. Iän karttuessa opimme arvostamaan yhä enemmän isämme roolia ja esimerkkiä tutkijana, hänen tutkijanvakaumustaan ja sitä, miten hän vuosien kuluessa raotti meille tutkimuksen ja tieteen maailmaa.

Koko isän uran ajan hänen työtehtäviinsä kuului työskentelyä kotipaikkamme Helsingin ulkopuolella, niin Metsäntutkimulaitoksen koeasemilla kuin muissakin kenttätutkimuskohteissa. Näillä matkoilla olimme usein hänen mukanaan, joko koko perhe tai sitten vain joku meistä lapsista. Matkoista tuli olennainen osa lapsuutemme ja nuoruutemme kokemuksia ja

peräti kasvuympäristöä. Se oli jo sinänsä poikkeuksellista helsinkiläislapsille, vaikka käpyläläisinä emme aivan pesunkestäviä stadin kundeja olleetkaan. Isän tärkeä kasvatustavoite oli myös, että me saimme kokemusta maaseutuelämästä. Emme tiedä, oliko hänen harkittu tarkoituksensa tutustuttaa meidät myös siihen, mitä metsä kaikessa monipuolisuudessaan on, mutta vuosien kuluessa myös niin kävi.



Kuva 1. Sarvasten kotitalo Käpylässä Sampsantie 13:ssa Helsingin helmikuun 1944 suurpommitusten jäljiltä. Kuva: Risto Sarvas.

Minun ja veljeni Heikin ensimmäiset muistot metsäntutkijoiden työympäristöstä kuten myös metsämiesten yhteisöstä ovat Hyytiälästä 1940-luvulta. Näitä muistoja varmaan kultaa se, että legendaarinen Hyytiälä eli vanhempiemme muisteluissa koko heidän elinaikansa. Muistoni keskittyvät vuoteen 1944, jolloin perhe asui siellä sen jälkeen, kun kotitalomme oli vaurioitunut Helsingin suurpommituksissa (kuva 1). Nelivuotiaan mieleen on tuolta ajalta jäänyt vain tuokiokuvia. Päällimmäisenä taitavat olla reellä ajaminen, Pilvilinnan pihalla ollut iso puinen vesitynnyri (kuva 2), josta ongin Heikin kanssa, pihanurmikolla laiduntanut pässi, vellikello ja Strömmerin ja Laitakarin sedät. Hyytiälästä tuli meille lapsillekin kaihoisasti muisteltu mansikkapaikka, vaikka emme myöhemmin sinne juuri palanneetkaan. Rintamapalvelun takia isämme ei noina vuosina juuri voinut olla Hyytiälässä perheensä parissa, vaan lapset olivat siellä äidin hoivassa. Tuon ajan harvoissa valokuvissa hän on aina univormussa. Äitimme mukaan puhuin *"isä-sedästä"*, ja lapsille sinänsä käsittämätön sana Syväri iskostui mieliimme. Ne lyhyetkin ajat, jotka isä ehti Hyytiälässä olla, jättivät hänestä monia pysyviä muistoja ehkä juuri siksi, että hänen käyntinsä siellä olivat harvinaisuudessaan tärkeitä tapahtumia.

Sodan jälkeen isä saattoi sitten aloittaa säännöllisen työn silloisessa Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa ja pian sivutoimisesti joitakin vuosia myös Metsäpuiden rodunjalostussäätiössä. Isä omaksui tällöin tavan ottaa meidät pojat mukaan



Kuva 2. Pojat Heikki ja Matti onkimassa Hyytiälän Pilvilinnan vesitynnyristä kesällä 1944. Kuva: Risto Sarvas.

työmatkoilleen – Eevahan ei ollut silloin vielä syntynytkään. Näin isä pyrki olemaan lastensa kanssa, vaikka hän joutui ajoittain olemaan pitkiäkin aikoja poissa perheen parista. Me pojat odotimme aina innolla näitä matkoja. Olivathan ne pikkupojille ja iän lisääntyessä vähän vanhemmillekin monella tavalla mielenkiintoisia. Taisimme kovastikin pyydellä mukaan pääsyä ja kiistellä siitä, kenen vuoro kulloinkin oli.

Yksi seuraus näistä matkoista oli, että me opimme niillä tuntemaan Metsäntutkimuslaitoksen koeasemat ja niitä ympäröivät alueet. Erityisen merkityksen saivat Ruotsinkylä, joka oli lähellä Helsinkiä, Punkaharju, jossa isä vietti paljon aikaa, Vilppula ja Vesijako, ja sitten vuodesta 1961 lähtien Solböle ja siellä Bergön saari. Me lapset saimme näin tilaisuuden nähdä Suomea hyvin laajasti. Pitkillä automatkoilla isä kertoi mielellään paikoista, joissa kävimme. Meidän lapsuutemme Suomi muodostuikin paljolti siitä, missä oli Metsäntutkimuslaitoksen koealueita.

Isä vietti niin Punkaharjulla kuin sitten myöhemmin Solbölessa paljon aikaa kirjoittaen tieteellisiä artikkeleita. Meille olivat tuttu näky isot harmaanruskeat, tukevat pahvilaatikot, joissa hän aina pakkasi autoon kirjoittamiseen tarvittavan havaintomateriaalin ja mittaustulokset. Perheenjäsenille Punkaharju ja Solböle olivat sikäli erityisasemassa, että me saatoimme käydä kesäisin tapaamassa isää ja viettää aikaa hänen kanssaan Punkaharjun Punahussilaksi kutsutussa metsänvartijan mökissä (kuva 3) ja myöhemmin yhä useammin Bergössä. Erityisesti Bergön mökki



Kuva 3. Punkaharjulla Valtionhotellin lähellä sijaitseva Punahussila, jota usein kutsutaan Sarvaksen mökiksi, koska hän asui siinä työskennellessään Punkaharjulla. Kuva: Eija Matikainen.

oli varusteiltaan alkeellinen, mutta paikka oli mitä upeinta ja leppoisinta sisäsaaristoa. Lisäksi siellä saattoi kalastaa, mistä isä erityisesti piti. Hänen suosikkimenetelmänsä oli haukien pyytäminen iskukoukuilla, joiden laukeamista hän tarkkaili rannalta kiikarilla.

Näillä matkoilla tuli meille tutuksi myös metsämiesten yhteisö sekä käsitteenä että käytännössä tutustuessamme isän lukuisiin työtovereihin niin Metsätalolla kuin koeasemillakin. Jonkinlaista metsämiesyhteisön ainutlaatuista

yhteenkuuluvuutta ja toverihenkeä osasimme aistia jo lapsuudessa, mutta sen perusteet ja syvyys selvisivät meille vasta paljon myöhemmin. Monista isän työtovereista tuli meille hyvinkin läheisiä. Aivan erityisesti tulee mainita Peitsa Mikola, joka oli isän ensimmäisiä tutkijakollegoja, perhetuttava ja minun kummisetäni. Me lapset odotimme aina innostuneina hänen vierailujaan kotonamme emmekä koskaan pettyneet. Toinen lapsille läheiseksi tullut lapsuuden perhetuttu oli Erkki Laitakari, sittemmin Eevan kummisetä, sekä hänen poikansa Matti, jonka kanssa me pojat mielellämme leikimme.

Matkoilta ovat jääneet erityisesti mieleen Ruotsinkylästä Vestala ja Max Hagman, Punkaharjulta Häyrynen ja Kanervien perhe, Rovaniemeltä Sandström, Laanilasta Myllymäki ja Pallasjärveltä Pakasmaa. Lähes perhetutuiksi tulivat meille pojille näihin aikoihin myös matkoillamme usein mukana olleet isän lähimmät työtoverit kuten Olavi Helenius, Reino Saarnio, vähän myöhemmin Veikko Silander ja Veikko Koski. Ja tietenkin vahtimestarit Välttilä ja Suinuniemi, jotka olivat usein autonkuljettajina.

Aluksi nuo matkat isän kanssa olivat lyhyitä käyntejä Ruotsinkylässä. Meille ne olivat seikkailua ja leikkiä. Hyvin paljon hauskaa keksimmekin kasvihuoneiden, viljelysten ja ulkorakennusten piirissä. Paikan luonne tutkimusasemanakin selvisi jo lapsena. Isä selitteli meille jo hyvin varhain aina jotain siitä, mitä pelloilla ja kasvihuoneissa tehtiin. Monesti seurasimme tai jouduimme seuraamaan isän keskusteluja kollegojensa kanssa, ja jotain tästäkin jäi mieleen. Pikkupoikina me toki usein väsyimme ja ikävystyimmekin, kun keskustelut saattoivat jatkua yömyöhäänkin. Ruotsinkylän matkoihin toi meille oman viehätyksensä ja seikkailuntunnun se, että sinne mentiin autolla. Se oli silloin vielä harvinaista. Tosin meistä pojista oli vähän harmillista, että matkoihin käytettiin Tutkimuslaitoksen vanhaa kantti-kertaakantti Chevroletia, jota me lapset kutsuimme Rämärukiksi. Alun perin se oli jopa varustettu häkäpöntöllä. Toivoimme hienompaa autoa; isä saikin sittemmin meidän iloksemme työmatkoilleen uudemman auton, pienen Opelin.

Kun meille karttui ikää, isä antoi työmatkoillaan meille tutkimuksiinsa liittyviä erilaisia töitä. Ne olivat sekä mielenkiintoisia että nykyterminologian mukaisesti haastavia. Olimme suorastaan ylpeitä, kun opimme tekemään niitä. Samalla saimme kuin huomaamatta nähdä, miten metsätieteellistä kenttätutkimusta tehdään. Siinä tuli salavihkaista opastusta tieteellisen menetelmän ymmärtämiseen ja tieteen olemukseen.

Mitä me sitten noilla koealoilla teimme? Jotkut asiat ovat jääneet meille kaikille hyvin mieleen. Yksi niistä oli koealojen mittaus. Bussolia tai kulmaprismaa käyttäen piti määrittää kulmapaalujen paikat neliössä, jonka sivu oli 100 m. Se oli tarkkaa työtä. En muista, mikä toleranssi oli, mutta monesti mittaus meni uusiksi, kun kierros ei päättynytkään tarkoin lähtöpisteeseensä. Tuon tarkkuuden merkitystä emme silloin ymmärtäneet; olisimme halunneet hieman pinnata. Mutta se oli hyvä oppi siitä, että tutkimuksessa ei tarkkuudesta eikä periaatteista saa tinkiä.

Muita mieleen jääneitä tehtäviä olivat mm. maaperän kivisyyden määrittäminen työntelemällä noin metristä rautatankoa maahan linjaa pitkin kävellen; puiden korkeuden mittaaminen ampumalla, kuten me sanoimme, käyttäen saksalaista kulmamittaukseen perustuvaa laitetta sekä latvusalan määrittäminen eräänlaista periskooppia (Cajanuksen putki) käyttäen. Kaikkein mielenkiintoisin tehtävä oli puiden iän määrittäminen kairaamalla, koska siinä saattoi kilpailla itsensä kanssa: osuuko puun ytimeen ensimmäisellä kerralla tai ainakin toisella. Isä opetti meitä käyttämään ohikairatun lastun kaarevia lustoja virheetäisyyden määrittämiseksi. Vasta isän muistoksi järjestetyssä juhlasymposiumissa meille selvisi, että hän oli kirjoittanut tästä menetelmästä jopa julkaisun. Opimme hyvin taitaviksi kairaajiksi. Taisimme saada niistä töistä sangen ainutlaatuisen henkilökohtaisen perspektiivin Suomen metsäntutkimuksen senaikaisiin menetelmiin.

Iän ja voimien lisääntyessä olimme sitten mukana myös pystyttämässä paaluja siemenkeräyssuppiloita varten; suppilot tuotiin sitten joskus myöhemmin koealoille. Se oli rankkaa, samalla kuntoa kohottavaa työtä. Teimme sitä mielellämme ja olimme



Kuva 4. Siemenkerä-yssuppiloita siemennyskoealalla nro XXIV Vilppulan kokeilualueessa Kuorevedellä elokuussa 1958. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.

ylpeitä, kun pystyimme siihen. Tiesimme myös, kuinka tärkeitä suppilot olivat isän tutkimukselle. Leikillisesti sanoen se oli jopa maisemanhoitotyötä. Aina kun matkoilla tuli näkyviin koeala, jossa suppiloita oli, isä muisti sanoa: *"Katsokaa, tuossa näkyy maailman kaunein maisema."* (Kuva 4.)

Joskus isä otti meidät mukaansa käydessään myös illalla laboratoriossa jatkamassa jotain sinä päivänä kesken jäänyttä tai muuten kiireellistä työtä. Siellä hän ei yleensä keksinyt mitään tehtävää, jossa olisimme voineet konkreettisesti auttaa. Tosin taisin joskus pyörittää mikrotomia, mutta tuskin siitä tulosta tuli. Mielenkiintoisinta oli saada katsella mikroskoopeilla, useimmiten pintavalomikroskoopilla erilaisia kohteita. Kerran muistan isän näyttäneen minulle kromosomipreparaattejakin. Niiden valmistustekniikka taisi olla siihen aikaan vielä varsin uusi. Mutta ennen kaikkea pääsimme jo tuolloin tutustumaan laboratorioympäristöön ja tutkimustyön siihen puoleen. Laboratoriostahan tuli minun ja Heikin omankin uran työympäristö.

Oma lukunsa olivat sitten ne kesätyöt, joita isä meille pojille lukiokesinämme järjesti. Suosikkikohde oli ehdottomasti Lappi. Isälle Lapin metsät olivat sydämenasia. Nuorena metsänhoitajana hän oli ollut töissä myös Lapissa ainakin pari vuotta. Joskus vanhoilla päivillään hän tunnusti, että jo tuolloin häntä veti Lappiin jonkinlainen lapinhulluus, jonka hän tartutti lapsiinsakin. Lappi oli perheellemme romanttinen ja peräti legendaarinen paikka. Me kaikki kolme veljestä onnistuimmekin pääsemään

sinne kesätöihin. Ja nythän Eeva on asunut jo kohta parikymmentä vuotta Lapin pääkaupungissa.

Kesätöiden toinen mielikohde olivat koealat, joissa tehtiin siitepölyn leviämiseen liittyviä tutkimuksia. Näissä tutkimuksissa käytetyt kojeet sijaitsivat siihen aikaan puiden katkaistuissa latvoissa. Kojeiden tarkastaminen ja huolto merkitsi puuhun kiipeämistä, joka oli aikamoinen ja koulupojalle myös jännittävä tehtävä. Apuna olivat vain alkeelliset tikkaat oksistoon asti, ja siitä ylöspäin oksistoa pitkin tukena ja turvana oli vain puhelinmiesten turvavyö. Kellään meistä ei tainnut olla minkäänlaista korkean paikan kammoa. Meni kuitenkin hetki, ennen kuin uskalsi varauksetta luottaa turvavyöhön, kun ilman muuta tukea käsitteli puuhun kiinnitettyjä instrumentteja molemmin käsin. Työergonomiaa ja -turvallisuutta on noista päivistä lisätty roimasti!

Näihin kesätöihin liittyi toinenkin meitä innostava puoli. Kuten tiedetään, siitepölyn leviämisen mittaukseen käytettävien instrumenttien kehittäminen oli kukkimistutkimuksen keskeinen osa. Isä omistautui tähän kehitystyöhön täydellä tarmollaan. Hän piti sitä mielenkiintoisena ja oli hyvin tyytyväinen sitten, kun kojeet ja konsepti osoittautuivat toimiviksi. Oli suuri elämys päästä koealoille näkemään niiden käyttöä ja toimivuutta ja olla mukana jopa niitä käyttämässä.

Sen lisäksi, että isä otti meidät mukaan työmatkoille, hänellä oli toinenkin tapa yhdistää ammattityönsä ja perheenisän rooli. Hän kävi säännöllisesti iltakävelyllä ja talvella viikonloppuisin hiihtämässä. Tämä juontui siitä, että ulkoilu oli määrätty hänelle jo 1930-luvulla hoitomuodoksi keuhkotuberkuloosista toipumiseen. Luonteensa mukaisesti hän noudatti tätä ohjetta tunnollisesti, jopa sota-aikana rintamalla siihen siellä liittyvistä vaaroista huolimatta. Jos suinkin mahdollista, hän otti niin iltakävelyille kuin hiihtoretkilleen seurakseen jonkun meistä lapsistaan. Kävelyretkillä hän kertoi tutkimustyöstään jo meidän lukioaikanamme, mutta erityisesti opiskelumme aikana. Isä kehitteli siten ideoitaan ja teorioitaan odottamattakaan meiltä varsinaista vastetta. Me olimme kiinnostuneita, vaikkemme kovin asiantuntevia

kuulijoita, ja teimme uteliaita kysymyksiä. Tuohon aikaan isä oli täysin uppoutunut kukkimistutkimukseensa, ja keskustelujen, kuten myös hänelle tyypillisten monologien aihe koski melkein aina näitä tutkimuksia. Hän kertoi uusista havainnoista, teorioistaan ja tutkimuksen edistymisestä. Hän saattoi jopa kertoa ensimmäiseksi meille sen, että koejärjestely ei ollut onnistunut tai tuottanut tulosta tai että jokin hänen hypoteesinsa oli osoittautunut vääräksi. Mutta yleensä jo samaan hengenvetoon hän alkoi kehitellä uutta tapaa tai tulkintaa.

Nuo iltakävelyt olivat siten kuin jännittävä jatkokertomus, joka samalla tutustutti meidät tieteen maailmaan. Opimme siten arvostamaan isäämme yhä enemmän niin ihmisenä kuin tutkijana. Omalta osaltani voin sanoa, että se vaikutti kiistatta lopulliseen uranvalintaani ja uraani. On harvinainen onni, että oma isä on tällainen esimerkki.

Kun opintoni sitten alkoivat olla lopuillaan, isä yritti innostaa minua pohtimaan, voisiko kukkimisen vuosisyklille löytää biokemiallista mekanismia. Biokemia oli isälle vierasta; hänhän oli fenomenologi sanan parhaassa merkityksessä, jos tätä sanaa on metsätieteessä lupa käyttää. Innostuinkin hieman asiasta ja keskustelin siitä itseäni viisaampienkin kanssa. Senaikainen pohdiskelu ei kuitenkaan johtanut mihinkään. Nyt tiedämme, että vielä isän aikana solubiologian ja molekyyligenetiikan tietämys oli aivan liian vähäistä näin monimutkaisen ilmiön mekanismin ymmärtämiseksi.

Me kaikki, niin perheen jäsenet kuin isän työtoveritkin, näimme isän usein paneutuneena analysoimaan vuosien kuluessa mittavaksi paisunutta havaintomateriaaliaan. Kirjoitusmatkoillakin edellä mainittujen pahvilaatikoiden määrä kasvoi jatkuvasti. Siihen aikaan havainnot oli kirjattu käsin tavallisesti suurille ruutupaperiarkeille, ja havainnoista tehdyt yhteenvedot ja analyysit olivat samoin ruutupaperille laadittuja taulukoita ja millimetripaperille piirrettyjä kuvaajia. Meille oli tuttu näky isä istumassa ruutupapereiden peittämän pöytänsä ääressä.

Isä oli hyvin kiinnostunut siitä, miten näitä laajoja havaintosarjoja voisi analysoida tilastollisesti ja – nykytermein – jopa

mallintaa kasvu- ja kukkimissykliä. Voisipa tutkimusmenetelmien historiaan kirjata senkin, kuinka yksinkertaisia teknisiä työkaluja tähän tarkoitukseen oli 1960-luvulla käytettävissä. Isän käsissä kuluivat pääasiassa "addiaattori", mekaaninen laite, jolla hän teki yhteen- ja vähennyslaskut, ja lähes metrin mittainen laskutikku. Isä oli myös kehittänyt oman Monte Carlo -menetelmänsä havaintotulosten tilastollisen jakauman selvittämiseksi. Hänellä oli pöytälaatikollinen asianomaisin merkinnöin varustettuja paperilappuja, joita hän sitten poimi sattumanvaraisesti – aivan pätevä satunnaisotantamenetelmä, jonka nyt korvaavat tietokoneet.

Isän tutkimuksessa oli lämpösummalla tärkeä rooli. Vaikka lämpösumma lasketaan yksinkertaisella aritmeettisella kaavalla, hän pyysi Jukka-veljeämme, nuorta matematiikan opiskelijaa miettimään, mitkä olisivat lämpösumman matemaattiset perusteet. Lämpösummahan toimii varsin mutkikkaan dynaamisen kehitysprosessin, puun vuotuisen rytmin, "biologisena" kellona. Jukka onnistuikin kehittämään differentiaaliyhtälöihin perustuvan mallin, joka jopa julkaistiin. Vaikka minusta ja Heikistä tuli sittemmin biolääketieteen ja molekyylibiologian tutkijoita, ei meillä ollut tällaista tutkimusyhteistyötä isän kanssa.

Lopuksi haluaisin sanoa muutaman sanan siitä, miten isä rooli tutkijana ja hänen tutkijapersoonansa vaikuttivat meidän lasten uranvalintaan. Edellä olen jo kertonut, miten meille isän ansiosta avautui jo hyvin varhain tutkimusmaailma ja sen rikkaudet. Meillä oli kotona myös paljon biologiaa käsittelevää kirjallisuutta, joista osa kuului isälle, ja osa äidillemme, joka oli biologian opettaja. Isän kiinnostus genetiikkaan takasi sen, että sitä koskevia kirjoja oli paljon. Minä taisin meistä lapsista olla se, joka kouluaikaan luin niitä jopa ahmien ja jo silloin kiinnostuin genetiikasta. Isä ei kuitenkaan missään vaiheessa pyrkinyt vaikuttamaan vahvasti opintovalintoihimme. Hän antoi meidän itse tutkailla ja pohtia omia taipumuksiamme ja mieltymyksiämme, ehkä joskus toppuutellen kaikkein villeimpiä ajatuksia. Niin siinä kävi, että meistä kukaan ei ryhtynyt opiskelemaan metsätiedettä eikä varsinaisesti edes biologiaa. Heikki ja minä aloimme opiskella

lääketiedettä, Jukka ja Eeva matematiikkaa. Isä oli ilmeisen tyytyväinen lastensa valintoihin ja seurasi kiinnostuneena opintojamme. Iltakävelykeskusteluihinkin tulivat uusiksi aiheiksi meidän kokemuksemme ja kuvauksemme opinnoistamme, ja mikä niissä meitä kulloinkin erityisesti kiinnosti.

Isän kiinnostus minun opintojani ja työtäni kohtaan lisääntyi suuresti, kun aloitin väitöskirjatyöni bakteerien genetiikasta. Valmistuttuani olin tavallaan kiertotietä päätynyt genetiikan tutkijaksi. Niin kaukana kuin bakteerit ovatkin metsäpuista, väitöskirjatyöni genetiikka liittyi luonnollisesti hyvin selvästi isän tieteellisiin intresseihin. Silloin isä käytti tutkijan ammattitaitoaan poikkeuksellisesti myös poikansa uran suoranaiseen ohjaamiseen. Kun hän kuuli työni aiheen ja ohjaajan nimen, hän halusi varmistaa, että olin hyvissä käsissä. Juuri silloin oli Societas Genetica Fenniaen kokous, ja siinä ohjaajani Pirjo Mäkelä piti esitelmän oman tutkimusryhmänsä töistä, joihin minunkin alkava väitöskirjatyöni kuului. Isä lähti esitelmää kuuntelemaan, ja me matkustimme yhdessä Turkuun.

Paluumatkalla isä oli hyvin huojentunut: kaikki oli hyvin. Pirjo Mäkelän esitelmä oli tehnyt häneen syvän vaikutuksen, ja hän oli vakuuttunut, että ohjaajani oli erinomaisen pätevä ja aihe mitä modernein. Hän esitti myös kommentin, joka on historian perspektiivistä katsoen mielenkiintoinen ja kuvaa hyvin niin tuota aikaa kuin isämme tiettyä vanhoillisuutta. Hän sanoi: *"Nyt minä uskon, että nainenkin voi olla erinomainen tutkija."*

Tässä isä antoi myös esimerkin ja opetuksen siitä, että hyvä tutkija voi, ja hänen tulee, muuttaa käsityksensä, kun hän saa uutta, relevanttia tietoa. Tämän opin huomaamaan sittemmin useinkin, kun keskustelin isän kanssa niin hänen omista kuin muiden tutkimuksista. Uskon, että tämä on ollut arvokkainta henkistä perintöä, jonka olen häneltä tutkijana saanut.

Eeva Heikkilä, FM, Lehtori

Isän tytär

Isä oli ennen kaikkea tutkija, metsäntutkija. Minun syntyessänikin syksyllä 1950 hän oli opintomatkalla Asla-stipendiaattina Amerikassa. Hän sai tiedon syntymästäni sähkeitse New Yorkiin ja meni heti ostamaan tuliaista. Usein kertomansa tarinan mukaan lastenvaateliikkeen myyjättären huomautettua, että silkkinen vaalea aamutakki on vauvalle kovin arka vaate, hän oli todennut: *"I am going to spoil her!"*.

Vaikka isän aikaa ja huomiota vei tutkimus hyvin paljon, irrottautui hän kuitenkin siitä aina, kun asia oli todella tärkeä, kuten tyttären opettaminen kalastamaan. Muistan vieläkin mainiosti ne muutamat kerrat, jolloin olimme ongella Punkaharjulla. Solbölen kesinämme tulin hyvin taitavaksi meriveneen käsittelyssä, kun kalastimme yhdessä.

Lapsuuteni metsäntutkijan tyttärenä tarkoitti siis kesän viettoa useissa Suomen kauneimmista paikoista, Punkaharjulla, Bromarvin Solbölessä ja useilla retkillä Lappiin. Isähän ei viettänyt varsinaisia kesälomia ennen kuin 70-luvun kolmena viimeisenä



Kuva 1. Risto Sarvas Solbölen Bergössä makedonianmännyn vieressä 1970-luvulla. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.

kesänään hankittuaan kesäpaikan Juvalta. Solbölen Bergössä isä ei kuitenkaan enää päivällisen jälkeen vetäytynyt tekemään töitä kuten kotona, vaan omisti illat kalastukselle soudellen ja uistinta heittäen noissa tavattoman kauniissa saaristomaisemissa. (Kuvat 1 ja 2.)

Nuorena tyttönä pääsin mukaan myös useille isän kesäisin tekemille matkoille. Auton takapenkillä minulla oli aina mukana iso pino romaaneja, joiden määrän takia isä naureskellen nimitti niitä Statsbibliotekiksi. Ensimmäinen pitempi matkani tapahtui 1961. Silloin professori Scamoni vaimoineen pääsi vierailulle Suomeen. Hän oli pysynyt Eberswaldessa, vaikka joutui näin asumaan Itä-Saksan puolella, kun Saksa sodan jälkeen jaettiin. Isä oli ystävystynyt hänen kanssaan ollessaan ennen sotia stipendiaattina Saksassa. Kävimme Kilpisjärvellä asti, ja Lapin kaunis luonto lumosi jo silloin mieleni. Paluumatkalla Punkaharjulla olimme juuri syömässä päivällistä Valtionhotellissa, eli kuten silloin sanottiin Lomakylässä, kun professori Scamoni erotti radion uutistenlukijan puheesta sanan Berliini. Vähän vastentahtoisesti isä käänsi uutisen, joka romahdutti siihen asti niin riemukkaan ja iloisen matkan tunnelman. Uutinen kertoi, että Berliiniin oli pystytetty muuri.

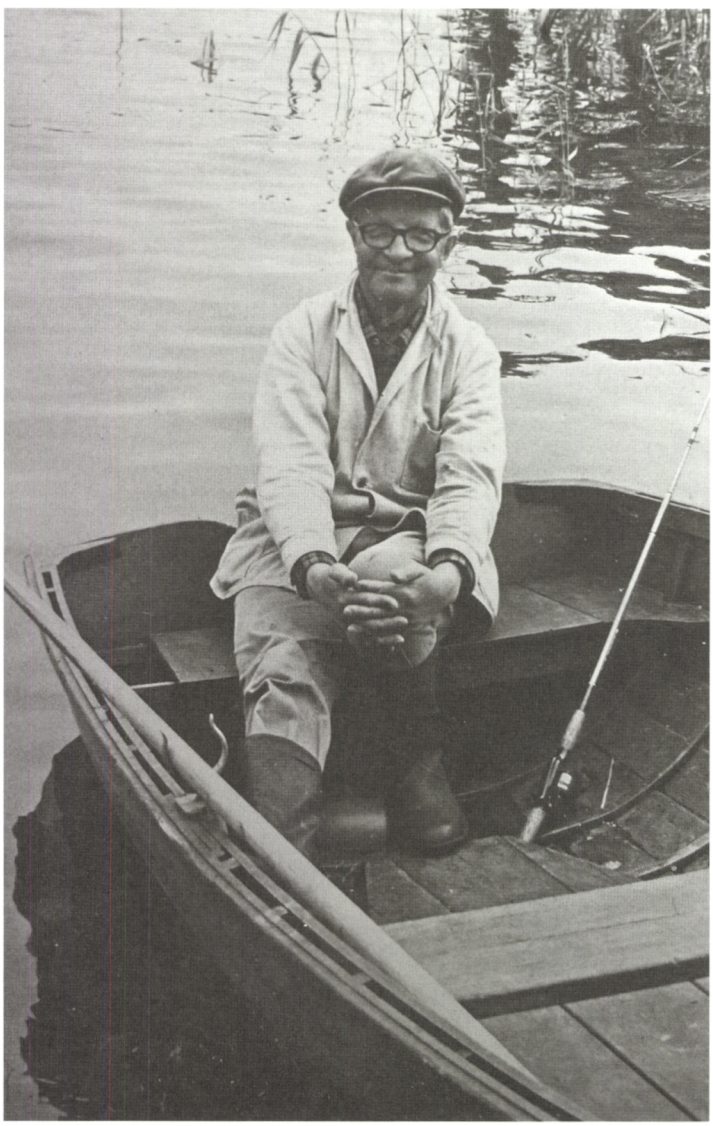
Auton takapenkkiläisenä pääsin myös Ruijaan, Gotlantiin ja Norjan Hirkjøleniin, jossa uskomattoman hienoissa tunturimaisemissa tehtiin Norjan metsäntutkimuslaitoksen silloisen

johtajan eläkkeellejäämisretkeily. Siellä oli vielä yöpymispaikaksemme annettu vanha karjamaja, joka yli sata vuotta vanhoine sisustuksineen oli mielestäni lumoavan romanttinen.

Saimme koko perhe myös kotiimme kansainvälisiä tuulahduksia, sillä isällä oli muitakin hyviä ystäviä ulkomaisten metsäntutkijoiden joukossa professori Scamonin lisäksi. Käydessään Suomessa he vierailivat myös kotonamme, jossa tarjottujen päivällisten aikana opin aivan päteväksi tarjoilijaksi. Näistä tutkijoista läheisin oli professori Claus Wiebecke, jonka kanssa isä oli myös ystävystynyt ollessaan Saksassa. Isä oli tuolloin asunut täysihoidossa rouva Wiebecken luona, ja Claus oli ollut vasta nuori poika. Vuosien kuluttua hänestäkin tuli metsätieteen professori, kuten hänen isänsäkin oli ollut.

Kun isäni suureksi mielihyväksi aloin opiskella hänen arvostamaansa matematiikkaa, en enää ollut mukana kesämatkoilla, mutta sen sijaan vietimme usein aamupäivätunteja ruokasalissamme. Aamupuuron jälkeen isä alkoi jutella kanssani tutkimuksistaan tai ehkä oikeammin luennoida niistä minulle. Ne olivat hienoja hetkiä. Isä oli tosi innostava, ja näin sain minäkin tilaisuuden

Kuva 2. Risto Sarvas kalastuksen parissa Solbölen Bergössä. Kuva: Jukka Sarvas.



nähdä, kuinka luonnontieteellistä tutkimusta tehdään ja tieteen teoriat kehittyvät. Opettajana olen kertonut innokkaasti näitä näkemyksiä oppilailleni.

Tältä ajalta on myös toinen tutkimuksiin liittyvä muistoni. Isän kuulo oli heikentynyt, ja ulkolinjapuhelut Punkaharjulta olivat usein rätiseviä. Kun isällä oli meneillään todella jännittävä koesarja, hän halusi saada tulokset tietoonsa heti, kun ne vain oli ehditty laboratoriossa lukea. Kerran satuin seisomaan vieressä, kun isä yritti kuulla tuloksia ja isä ojensikin puhelimen minulle ja pyysi kirjaamaan luvut lomakkeeseen. Näin pääsinkin vakituiseksi puhelinapulaiseksi. *"Täällä Alpo Luomajoki. Päivää. Olisi taas näitä tuloksia."* Tuntui hyvältä saada olla avuksi isälle ja hienolta olla mukana isän merkittävässä työssä.

Kun henkisenä perintönä saimme isältä innostuksen ja näkemyksen luonnontieteisiin, niin hengelliseksi perinnökseen hän jätti meille lujan luottamuksensa Jumalaan. Isä ei tässäkään suhteessa painostanut meitä lapsiaan omaksumaan omaa näkemystään, mutta hänen jo lapsuudessaan omaksumansa syvä kristillinen vakaumus välittyi meille elämää ohjaavaksi voimaksi.

Liitteet

Risto Sarvaksen julkaisut

Kuvaliite

Risto Sarvaksen julkaisut

Tämä on päivitetty versio Aino Lukkalan tekemästä luettelosta, joka on julkaistu vuonna 1974 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja -sarjassa (nro 84). Alkuperäisestä luettelosta puuttuneet julkaisut on merkitty tähdellä (*).

Luettelossa käytettyjä lyhenteitä
AFF = Acta Forestalia FennicaMTA = Metsätaloudellinen aikakauskirja / Metsätaloudellinen aikakauslehti
MTJ = Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja / Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja = Communicationes Instituti Forestalis Fenniae
SF = Silva Fennica
FF = Folia Forestalia

1937

Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine Waldbiologische Untersuchung auf den trockenen Heideböden Nordfinnlands. AFF 46.1, 146 *s.*

Havaintoja kasvillisuuden kehityksestä Pohjois-Suomen kuloaloilla. Referat: Beobachtungen über die Entwicklung der Vegetation auf den Waldbrandflächen Nordfinnlands. SF 44, 64 s.

1938

Havaintoja Pohjois-Suomen kuloalojen kasvillisuuden kehityksestä. Luonnon Ystävä 42, s. 215–221.

Ilmavalokuvauksen merkityksestä metsätaloudessamme. Referat: Über die Bedeutung der Luftfotogrammetrie in unserer Waldwirtschaft. SF 48, 46 s.

Perä-Pohjolan kuloaloista ja niiden luontaisesta metsittymisestä. Metsälehti 6: 31, s. 4, 5.

1939

Ilmavalokuvauksen käyttäminen metsätaloudessamme. Die Photogrammetrie in unserer Waldwirtschaft. Maanmittaus, s. 237–247.

1940

Yksijaksoisen metsikön luontaisista kehityskausista. Die natürlichen Entwicklungsperioden der einschichtigen Bestände. MTA 58: 8, s. 79–83.

1941

Heikkotuottoisia metsiä polttohiilipuun hakkuilla kunnostamaan. Metsälehti 9: 1, s. 5, 6.

1942

Havaintoja Syvärin varren metsistä. Metsälehti 10: 4, s. 6.

1944

Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestammplenterungen auf die Privatwälder Sydfinnlands. MTJ 33.1, 268 s.

Tukkipuun harsintojen vaikutus yksityismetsiimme. Metsälehti 12: 18, *s.* 5, 6.

Havaintoja kanervatyypin paljaaksihakkuualoilta. Observations from clear-cutting areas of *Calluna* type. MTA 61: 6/7, s. 122–126.

1945

Harsintahakkuiden vaikutus yksityismetsiemme tilaan. Metsälehti 13: 14/15, s. 10, 11.

Puuston tiheys metsikön tunnuksena. MTA 62: 3, s. 80–84.

Metsikön siemensadon arvioimisesta. MTA 62: 12, s. 389–393.

Ilmakuvien käyttö metsätaloudessa. Metsäylioppilas, s. 3–5.

1946

Huomioita kaivospuun ja paperipuun määrämittahakkuilla käsitellyistä metsiköistä. Summary: Notes on stands cut for pitprops and pulpwood to minimum diameter. MTJ 33.2, 27 s.

Harsintahakkuiden vaikutus metsiemme ikäsuhteisiin. Metsäylioppilas, s. 16–18.

Koivun rodunjalostuksen mahdollisuuksista. Summary: Possibilities of birch breeding. Suomen paperi- ja puutavaralehti 28: 12, s. 188–191.

1947

Metsäpuiden rodunjalostuksesta. MTA 64: 1/2, s. 29–32.
Millaiset puut soveltuvat metsäpuiden rodunjalostuksen kantapuiksi. MTA 64: 10, s. 223–226.
Hurudana träd lämpa sig såsom stamträd för skogsträdens rasförädling? Skogsbruket 17: 11, s. 304–308.
Dendrologian kurssin työvihko. (Moniste). Dendrol. Editio 11, 31 *s.*
Metsäpuiden rodunjalostuksesta. Työtehotietoa 10, 9 *s.*

1948

Metsän pintakasvillisuuden kuvaamisesta. MTA 65: 6, s. 186–190.
Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. Summary: A research on the regeneration of birch in South Finland. MTJ 35.4, 91 s.
*Julkilausuma. MTA 65: 11, s. 315–316. (Muut tekijät: Appelroth, E., Laitakari, E., Heikinheimo, O., Lindfors, J., Kalela, E.K.)
Harsinnan ajatus kitkettävä ammattikunnastamme. MTA 65: 11, s. 325–328.
Harvennushakkuista. MTA 65: 12, s. 363–367.
Metsäpuiden rodunjalostuksesta. SF 64, s. 33–41.
Metsäpuiden rodunjalostuksesta. Suomen paperi-insinöörien yhdistyksen vuosikokouksessa 17. 4. 1948 pidetty esitelmä. Suomen paperi- ja puutavaral. 30: 17, s. 287–291 & Maatalous ja koetoiminta 3, s. 228–239.

1949

Puumaiset koivulajimme. MTA 66: 1, s. 9–13.
Siemenpuuhakkuu männikön uudistushakkuuna Etelä-Suomessa. Summary: Seed-tree cutting as a regeneration method in Scots pine forests of southern Finland. MTJ 37.5, 43 s.
Metsäpuiden rodunjalostus. Suuri Metsäkirja 1, s. 180–189 ja Tapion Taskukirja, s. 137–42.
*Metsäpuiden rodunjalostussäätiön – stiftelsen för rasförädling av skogsträd ja sen kannatusyhdistyksen toiminta vv. 1947–1948. Valtioneuvoston kirjapaino, Helsinki. 20 s. (Yhdessä N. A. Osaran kanssa.)
Huonokuntoiset metsät. Suuri metsäkirja I, s. 358–379.
Ulkomaiset puulajit ja niiden viljelymahdollisuudet Suomessa. (Yhdessä Lauri Ilvessalon † kanssa.) Suuri metsäkirja I, s. 156–179.
Forest genetics in Finland. III World Forestry Congress, Helsinki. Summaries of the Papers. Section I, s. 44–45. Bulletin No. 4.

1950

Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien uudistumisesta. Summary: Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in Northern Finland. MTJ 38.1, 95 s.

The effect of light on the germination of forest tree seeds. Oikos 2: 1, s. 109–119.

Gallringarna och grundbeståndet. Skogsbruket 20: 3, s. 67–72.

Forest genetics in Finland. Actes du IIIe Congres Forestier Mondial. 3 rapports speciaux, s. 135–137.

Jättiläishaapa Helsingin kaupungissa. Summary: A triploid aspen in the town of Helsinki. MTA 67: 3/4, s. 98–100.

Kolme vuotta metsäpuiden rodunjalostustyötä Suomessa. Summary: Three years of tree breeding work in Finland. MTA 67:6/7, s. 229–232.

Koivu suomalaisena metsäpuuna. Suomen luonto 9, s. 17–27.

Metsäpuiden siemenen hankkiminen ja käsittely. Tapion taimitarhakurssien luennot, 33–45. (Rotaprint).

Mitä harsiminen on ja minkä vuoksi se pilaa metsän? Metsätietoa 1, s. 3–6. (Liite Metsälehteen n:o 15).

1951

Tutkimuksia puolukkatyypin kuusikoista. Summary: Investigations into the spruce stands of Vaccinium type. MTJ 39.1, 82 s.

Perinnöllisyystiede, metsäpuiden rodunjalostus ja metsänhoito. Metsämies 42: 12, s. 256–259.

Raudusko vai hies vanerikoivuna parempi. Summary: *Betula verrucosa or B. pubescens* – which is the better veneer-birch. MTA 68: 2/3, s. 51–53.

Ohjeita lehtikuusen käpyjen keräämiseen. Metsätietoa 1, s. 8–16. (Liite Metsälehteen n: o 26).

*Anvisningar för insamling av lärkträdets kottar. Skogsbruket nr 10. 6 s.

1952

On the flowering of birch and the quality of seed crop. Seloste: Koivun kukkimisesta ja siemensadon laadusta. MTJ 40.7, 38 s.

Pohjois-Suomen kuivien kangasmaiden ekologiasta. Summary: On the ecology of dry moss-lichen forests in North Finland. MTJ 41.1. 27 s.

Maatilametsälöissä suoritettavat harvennushakkaukset. Maatalous ja koetoiminta 6, s. 155–165.

Puun tuoton lisääminen rodunjalostuksen avulla. Talouselämä 15: 50, s. 982.

(Kirja-arvostelu). Jorma Lehtonen: Metsäkasvioppi. Luonnon tutkija 56: 5, s. 159–160.

Enemmän huomiota metsäpuiden siemenen rodulliseen laatuun. Suomen työ 39, 2 s.

1953

Measurement of the crown closure of a stand. Seloste: Puuston latvusyhteyden mittaaminen. MTJ 41.6, 13 s.

Ohjeita pluspuiden valitsemista ja ilmoittamista varten. Instructions for the selection and registration of plus trees. SF 80, s. 93–100, 112. & Metsänhoitajien jatkokurssi VII, s. 93–100, 112.

Fröodling. Skogsbruket 23: 5, *s.* 154–158.

Siemenviljelys. Summary: Seed source plantation. MTA 70: 3/4, s. 73–76.

Hyvä rotu – hyvä sato. Metsäpuiden rodunjalostussäätiö, Helsinki, 4 *s.*

1954

*Koivun uudistumisesta (Regeneration of birch). MTA 71:12, s. 477–479, 487.

1955

Ein Beitrag zur Fernverbreitung des Blütenstaubes einiger Waldbäume. Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung 4: 4/5, s. 137–142.

Investigations into the flowering and seed quality of forest trees. Seloste: Tutkimuksia metsäpuiden kukkimisesta ja siemensadon laadusta. MTJ 45.7, 37 s.

Nykyhetken ajatuksia harvennushakkuista. Summary: Today's thoughts about thinning MTA 72: 10, s. 315–320.

Jättiläiskoivu löytynyt myös meidän maastamme. Metsälehti 23: 21, s. 1, 6.

Björkens förnyelsefråga. Skogsbruket 25: 1, s. 18–20.

1956

Investigations into the dispersal of birch pollen with a particular view to the isolation of seed source plantations. Seloste: Tutkimuksia koivun siitepölyn leviämisestä erityisesti siemenviljelysten eristämistä silmällä pitäen. MTJ 46.4, 19 s.

Pari lisäystä kasvukairatekniikkaan. Metsämies 47: 1, s. 2–3.

Ett par beaktansvärda detaljer vid användningen av tillväxtborren. Skogsbruket 26: 2, s. 43–45.

Metsänhoidon tekniikka. Metsäkäsikirja I, s. 498–564.

Puulajit. Metsäkäsikirja I, s. 454–474.

Metsäpuiden rodunjalostus. Metsäkäsikirja I, s. 475–480 & Tapion taskukirja 13. p., s. 138–143.

Visaseura. MTA 73: 12, s. 415–418.

Metsäpuiden rodunjalostuksen oppikirja. Kirjallisuusesittely. MTA 73: 12, s. 416–418.

1957

Studies on the seed setting of Norway spruce. Meddelelser fra Det norske skogforsøksvesen 48, s. 529–556.

Tutkimustuloksia kuusen siemensadosta. (Pääkohdat esitelmästä, joka pidettiin Suomen Metsätieteellisen Seuran kokouksessa 23. 1. 1957.) Metsälehti 25: 6, 7 ja 8.

Skogsskötsel och växtförädling. Svenska skogsvårdsföreningens tidskrift 55: 4, s. 16–22.

Birch for plywood. Finland–England. Finnish trade review 100, 2 *s.*

Jättiläisvisakoivu. Metsälehti 25: 18, s. 1, 6.

1958

Kaksi triploidista haapaa ja koivua. Summary: Two triploid aspens and two triploid birches. MTJ 49.7, 25 s.

Tallens fröskörd och dess tillvaratagande. Skogsbruket 28: 1, s. 9–15.

Visakoivun siemenen hankkiminen. Metsälehti 26: 4, s. 2 & Visaseuran tiedonantoja 1, *s.* 11–15.

Jättiläisvisakoivu. Visaseuran tiedonantoja 1, s. 7–10.

Metsäntutkimuslaitos 40 vuotta. MTA 75:7, s. 222–226.

Tuloksia maamme visakoivikon inventoinnista. Metsälehti 26:38. s. 4.

1959

Der nordische Urwald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 110: 3, s. 124–135.

Metsäpuiden rodunjalostus. Tapion taskukirja 14. p., s. 129–135.

1960

Metsänviljelyksessä käytetyn siemenen kotipaikan etäisyys viljelypaikasta. Summary: The distance of the provenance of seed used in forest cultivation from the place of cultivation. MTA 77: 6/7, s. 217–220 & Metsätietoa 1.

Metsäntutkimuskomitean mietintö. (Puheenjoht. Yrjö Ilvessalo, jäseninä Erkki K. Kalela, Erkki Laitakari, Jarl Lindfors, N. A. Osara, Veikko Pohjanpelto, Risto Sarvas ym.) Komiteanmietintö 12. Summary: Report of the Forest Research Committee. SF 109, 83 s.

1961

Lapin suojametsien käsittelyohjeet. (Yhdessä Eino Oinosen ja Gustaf Sirénin kanssa) 23 s. (Moniste).

Uuden enteilyä metsänhoidon tekniikan ja sen perusteiden alalta. MTA 78: 2, s. 55–56.

1962

Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris.* Seloste: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. MTJ 53.4, 198 s. (Lisäpainos v. 1974.).

The development of the tree species composition of the forests of Southern Finland during the past two thousand years. MTJ 55.11, 14 s.

Männyn kukkiminen ja siemensato. Summary: The flowering and seed crop of Scotch pine *(Pinus silvestris).* MTA 79: 12 & Metsätietoa 3, s. 473–475, 479.

Kustskogarnas särart och skötselproblem. Skogsbruket 32: 11, s. 185–193.

Metsäpuiden rodunjalostus metsiemme kunnostusohjelmassa. (Metsäviikon yleiskokouksessa 4. 4. 1962 pidetty esitelmä.) MTA 79: 5/6, s. 199–203 & Metsälehti 30:15, s. 9–10.

1963

Problems of flowering and seed production. (FAO) World Consultation on Forest Genetics and Tree Improvement, Stockholm, August, 23–30, 1963. Section 8/2. III, 9 s. (FAO/FORGEN 63–8/2). (Moniste).

Metsäntutkimuslaitoksen työsaralta: Metsänviljelyn peruskysymyksiä selvitellään. MTA 80: 3, s. 96–99.

1964

Havupuut. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo–Helsinki, 518 s.

Kiitettävä laudatur. (Suomen Metsäyhdistyksen kesäretkeily). Metsänhoitaja 14: 7, s. 162–163, 169.

1965

Valtakunnallinen metsäpuiden siemenen tarve ja sen tyydyttäminen. Puumies 11: 3, 54–55, 57.

Professori Erkki K. Kalela. In memoriam. (Suomeksi ja englanniksi. Text in Finnish and English). MTJ 59, s. 5–13.

Kalela, Erkki K., Kirjallinen toiminta. MTJ 59, *s.* 14–18.

1966

Metsäpuiden kehityksen vuotuinen periodi. Esit. 8. 10. 1965. Suomalaisen Tiedeakatemian esitelmät ja pöytäkirjat. Helsinki 1966, s. 239–259.
Visakoivikon perustaminen ja hoito. MTA 83: 8, s. 331–333.
Metsäpuiden kehityksen vuotuinen periodi. Summary: Annual period of forest trees.
MTA 83: 12, s. 501–505 & Metsätietoa 3.
Siemenhuollon taustaa. KMS Tapio, Tapion tiedotuksia kentälle 1, s. 15–16.
Metsänhuollon taustaa. Metsänviljelyseminaari 14–19.3, 3 s. (Moniste).
Pohjois-Suomen puurodut. Lapin kansa 35. s. 7.

1967

Viljelymetsä. Juhlaesitelmä Metsäntutkimuslaitoksen 50-vuotisjuhlassa Helsingin yliopiston juhlasalissa 24. 10. 1967. MTA 84: 10, s. 288–291 & Metsälehti 35: 43, *s.* 1–2.
Climatological control of flowering in trees. XIV IUFRO-Kongress, München 4.–9. September 1967, Referate III , Section 22, München. s. 15–30. (Rotaprint.)
Pollen dispersal within and between subpopulations; role of isolation and migration in microevolution of forest tree species. XIV IUFRO-Kongress, München 4.–9. September 1967, Referate III. Section 22, München, s. 332–345. (Rotaprint.)
The annual period of development of forest trees. Sitzungsberichte der Finnischen Akademie der Wissenschaften, 1965. Helsinki 1967, s. 211–231.
Metsäntutkimuslaitos 1917–1967. Summary: The Forest Research Institute 1917–1967. – Metsäntutkimuslaitos 50 vuotta. Institutum Forestale Fenniae quinquagenarium A. D. 1967. MTJ 65.1, 67 s.
Kulturskogen. Festföredrag vid Skogforsningsinstitutes 50-årsjubileum i Helsingfors Universitets solennitetssal den 24. 10. 1967. 8 s. (Moniste) & Skogsbruket 37: 11, 276–277, 298–301.

1968

Metsänparannus- ja hoitotöillä pohjoisessa vaikeuksia ja rajoituksia. (Suomen Metsänhoitoyhdistyksen keskustelutilaisuus 2. 4. Metsätalossa. Yhdessä Leo Heikuraisen kanssa). Metsälehti 36: 14, s. 4.
Kaksikymmenvuotias metsänjalostuksemme uuteen vaiheeseen. (Haastattelu) Metsälehti 36: 6. s. 3. 1 1.
Investigations on the flowering and seed crop of Picea abies. Suomenkielinen selostus: Kuusen kukkimisesta ja siemensadosta. MTJ 67.5, 84 s.

1970

Genetical adaptation of forest trees to the heat factor of the climate. World Consultation of Forest Tree Breeding, 2nd, Aug., 7–16, 1969 in Washington. 1, Rome, 1970, s. 187–202. (FO-FTB-69-2/15). (Moniste).

The annual developmental cycle of forest trees. IUFRO. Section 22. Working Group on Sexual Reproduction of Forest Trees. Proceedings of the Meeting at Varparanta, Finland 28. 5.–5. 6. 1970. II, Helsinki 1970, 16 s. (Rotaprint).

Temperature sum as a restricting factor in the development of forest in the Subarctic. Résumé: La température globale en tant que facteur restrictif dans le développement des forêts subarctiques. UNESCO. Ecology and Conservation. I. Ecology of the Subarctic Regions. Paris 1970, s. 79–82.

Problems of tree improvement near the arctic and the alpine tree lines. Actas del Sexto Congreso Forestal Mundial. II, Madrid 1970, s. 1587–1590.

Establisliment and registration of seed orchards. FF 89, 24 s.

Metsänrajakysymys ja suojametsävyöhyke. Niin metsä vastaa... Metsät ja luonnonsuojelu, s. 145–151.

I971

Tutkimuksella ei ole riittävää tietoa Lapin metsänviljelystä. Metsälehti: 18: 10, s. 12.

*Männyn käpysato Pohjois-Suomessa talvella 1970/71. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2: 58–67. (Moniste)

Siemenen itäminen alhaisissa lämpötiloissa. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2, s. 68–74. (Moniste)

1972

Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Active period. Tiivistelmä: Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta sykluksesta. Aktiivi periodi. MTJ 76.3, 110 s.

Mitä on metsäviljelyn tutkimus. (Esitelmä Suonenjoen metsänviljelyn koeaseman vihkiäistilaisuudessa 18. 9. 1972). Metsä ja puu 89 (4) 11, s. 28—29.

Metsäpuiden taimien talveentumistapahtuma. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 3, s. 30–34. (Moniste).

1973

The annual developmental cycle of forest trees. IUFRO Working Party S 2.01.4. Symposium on Dormancy in Trees. Kórnik, Poland. (Moniste).

Olli Heikinheimo in memoriam 1882–1973. (Suomeksi ja englanniksi. Text in Finnish and English). MTJ 78, s. 1–8.

Dormansi I ja sen pituuden kokeellinen määrittäminen. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 9, s. 27–33. (Moniste).

Männyn kävyn koon vaikutus siemensatoon. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 5, s. 48–49. (Moniste).

1974

Investigations on the annual cycle of development of forest trees. II Autumn dormancy and winter dormancy. Tiivistelmä: Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta syklistä. Syys- ja talvihorros. MTJ 84.1. 101 s.



Ylpeä isoisä Maija-tyttösen kanssa vuonna 1971.
Kuva: Eeva Sarvas.

Kuvaliite

Yksityiskuvia Risto Sarvaksesta ja hänen perheestään

Retkeilyjä ja vieraita Suomessa

Ulkomaanmatkoja

Metlan henkilöstöä

Sarvas-seminaari 2008



Risto Sarvaksen ylioppilaskuva vuonna 1927. Kuva: Perhealbumi.



Risto Sarvas nuorena opiskelijana vuonna 1930. Kuva: Perhealbumi.



Risto ja Aira Sarvas Levitunturilla "häämatkallaan" elokuussa 1939. Kuva: Peitsa Mikola.



Esikoisen, Matin, ristiäiset vuonna 1940. Kuva: Perhealbumi.



Risto ja Aira Sarvas Heikki- ja Matti-poikiensa kanssa Hyytiälässä vuonna 1944. Kuva: Perhealbumi.



Risto ja Aira Sarvas jouluna 1956 Eeva-tyttären kanssa. Kuva: Matti Sarvas.



Muotokuvan paljastustilaisuus Metsätalossa vuonna 1969. Henkilöt vasemmalta: miniä Kaarina Sarvas, Risto Sarvaksen sisar Irja Melin, tytär Eeva, Aira Sarvas, Risto Sarvas ja muotokuvan maalaaja Ernst Mether-Borgström. Kuva: Jukka Sarvas.



Muotokuvan paljastustilaisuus vuonna 1969 Metsätalossa. Risto Sarvas ja professori Esko Kangas. Kuva: Jukka Sarvas.



Metsähallinnon suojametsäretkeilijöitä Laanilan kokeilualueella vuonna 1958. Vasemmalta Risto Sarvas, Erkki Mikola ja Peitsa Mikola. Kuva: V.K. Ahola/Lusto/Metsähallituksen kokoelma.



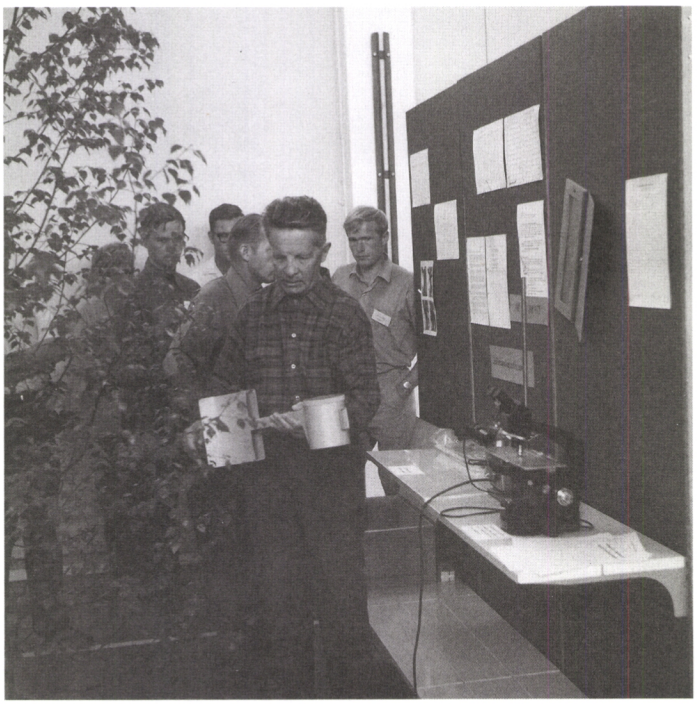
Saksalaisen professori Olbergin vierailu Ruotsinkylässä vuonna 1952. Henkilöt vasemmalta: Risto Sarvas, prof. Olberg, Erkki Laitakari, Auterinen ja Viljo Kujala. Kuva: Niebecke/Lusto/Erkki Laitakarin kokoelma, Metsäkirjasto.

Olavi Helenius, tunnistamaton ulkomainen vieras ja Risto Sarvas lähdössä hiihtämään Punkaharjulla vuonna 1948. Kuva: Metlan arkisto.



Risto Sarvas vetää kansainvälistä retkeilyä. Kuva: Metsänjalostussäätiö.





Risto Sarvas esittelee Sarvas-Vilska anteesimittaria Varparannan puiden lisääntymiskokouksen osanottajille Punkaharjulla vuonna 1970. Kuva: Metsänjalotuksen kuva-arkisto.

Risto Sarvas ASLA-stipendiaattina Yhdysvalloissa vuonna 1950. West Yellowstone District. Risto Sarvas ja Bud Counter. Kuva: Perhealbumi.





Risto Sarvas Italian poppelintutkimuksen taimitarhassa Paestumin lähellä vuonna 1952. Kuva: Lusto/Erkki Laitakarin kokoelma, Metsäkirjasto.



Risto Sarvas tarkasti lämpötilan vuonna 1968Turkin-matkalla tien varrella olleesta säähavaintokojusta. Kuva: Veikko Koski.



Risto Sarvas sekä professori ja rouva Scamoni Itä-Berliinissä vuonna 1967. Kuva: Aira Sarvas.



Norjan metsäntutkimuslaitoksen johtajan professori Morkin eläkkeellejäämisretkeily Hirkjølenissä vuonna 1966. Seisomassa vasemmalta professori Mork ja Risto Sarvas. Kuva: Aira Sarvas.



Risto Sarvas keskustelee paikallisasukkaan kanssa Balkanilla. Kuva: Veikko Koski.



Sarajevon yliopiston rehtori Alikalfic, sodan aikainen partisaanipäällikkö, Risto Sarvaksen kanssa partisaanimuistomerkillä Jugoslaviassa. Kuva: Veikko Koski.



Risto Sarvas tutustuu hakkuutyömaahan Turkissa. Kuva: Veikko Koski.



Retkikunta Helsingin rautatieasemalla lähdössä kongressimatkalle Novosibirskiin vuonna 1973. Kuvassa vasemmalta Viljo Holopainen, Matti Leikola, Veikko Koski, Risto Sarvas ja Olavi Huuri. Holopainen ja Huuri olivat saattajia, muut matkalle lähtijöitä. Kuva: Aira Sarvas.

Latvuspeittävyyden mittausta Cajanuksen putkella. Oikealla Tapio Pyynönen, keskellä Seppo Kajas, vasemmalla kirjurina Veikko Silander. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.



Mittaustyöryhmän vapaahetki Vilppulassa vuonna 1958. Henkilöt vasemmalta Veikko Silander, Reino Saarnio, Seppo Kajas, Jukka Sarvas. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.





Jyrki Raulo nuoressa rauduskoivutaimikossa Enossa 1960-luvun lopulla. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.



Veikko Koski ja Arto Rantanen kuusen jälkeläiskokeella Multialla vuonna 1968. Kuva: Reino Saarnio/Metlan arkisto.



Peitsa Mikola pitämässä esitelmää Sarvas-seminaarissa Punkaharjulla 15.10.2008. Kuva: Teijo Nikkanen.



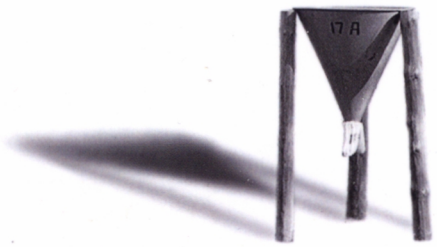
Seminaarin osanottajia tutustumassa harsintahakkuun näytealaan. Puhumassa professori Matti Leikola. Kuva: Teijo Nikkanen.



Sarvas-seminaarin yleisöä Luston auditoriossa. Kuva: Teijo Nikkanen.

Professori Risto Sarvas oli Suomen merkittävimpiä metsäntutkijoita. Hänen syntymänsä satavuotispäivän johdosta järjestettiin syksyllä 2008 juhlaseminaari, jonka esitelmien pohjalta on koottu tämä kirja. Kirjoittajina on henkilöitä, jotka ovat tunteneet Risto Sarvaksen ja työskennelleet hänen kanssaan, ja myös nuoremman sukupolven tutkijoita, jotka ovat tehneet työtään Sarvaksen luomalta pohjalta.

Runsas kuvitus valottaa Risto Sarvaksen elämää ja tutkimustoimintaa sekä yleisemminkin maailmaa 1900-luvun keskivaiheilla. Teos kuvaa samalla sodanjälkeisen ajan metsäntutkimuksen kehitystä. Satavuotisjuhlakirja sisältää myös eloisia henkilökohtaisia muisteluksia Risto Sarvaksesta isänä, työtoverina ja esimiehenä.



ISBN 978-951-40-2179-4