

Mauri Timonen

Puun vuosilustot ilmastohistorian analyysissä

Aikaperspektiivit

Kasvihuoneilmaston voimistuminen ja ympäristön saastuminen ovat olleet pontimina ympäristömuutostutkimuksen voimakkaalle kasvulle 1980- ja 1990-luvuilla. Uusissa kansainvälisissä ympäristöohjelmissä on tullut keskeiseksi pitkien aikasarjojen kokoaminen, sillä on huomattu, että tiedot aiemmasta kehityksestä luovat pohjaa tämänhetkisten tapahtumien ymmärtämiseksi. Korhola (1994) korostaa aikaperspektiivin merkitystä pitkien havaintosarjojen yhteydessä:

”Tulevia uhkia torjuttaessa on hyvä tietää mahdollisimman paljon menneisyydestä. Ihmisen haitallinen vaikutus luontoon voidaan tunnistaa ajoissa, jos luonnon oma vaihtelurytmiikka tunnetaan riittävän hyvin. Ilman pitkäaikaisia havaintoja tutkijoilta puuttuu aikaperspektiivi, mikä seikka voi johtaa heidät helposti harhaan.”

Aikaperspektiivit ovat tulleet tärkeiksi myös Metlassa tehtävässä kasvututkimuksessa. Syynä on tutkimustoiminnan laajentuminen aihepiireihin, joissa tarvitaan luotettavaa pitkiin aikasarjoihin perustuvaa vertailutietoa kasvusta. Tällöin on tyypillisesti tutkimusasetelmana jonkin puunkasvussa trendimäisesti näkyvän ympäristökijän tunnistaminen ja sen vaikutusten arvioiminen. Viime aikoina on selvitelty kasvuanalyysin mm. ympäristömuutokseen liittyviä kysymyksiä kuten esimerkiksi Eu-

roopan kasvutrendejä (Spiecker ym. 1996), Suomen kasvutrendejä (Mielikäinen ja Timonen 1996) ja Kuolan metallisulattojen päästöjen vaikutusta (Nöjd ja Reams 1996).

Luotettavan vertailutason määrittäminen on ongelmallista erityisesti trendien paljastamiseen tähtäävissä kasvututkimuksissa. Suurimpana vaikeutena on löytää kriteerit trendiin liittyvän kasvun erottamiseksi muusta kasvusta (standardointi). Usein tutkija joutuukin luottamaan ammattitaitoonsa ja soveltamaan harkintaa vertailutason asettamiseksi. Näin menetellen lopputulos ei ole aina paras mahdollinen. Objektivisempiin tuloksiin pääsemiseksi tarvitaan aiempaa yksityiskohtaisempaa tietoa puiden kasvunvaihtelusta. Jotta ilmastovaihteluiden koko kirjo tulisi huomioonotetuksi kasvussa, on tutkittava myös metsien historiallista kehittymistä muuttujien luonnollisten vaihtelurajojen selvittämiseksi. Tämä on tarpeen myös kalibroitaessa kasvumalleja muuttuviin ympäristöolosuhteisiin.

Pitkät havaintosarjat

Metsätieteissä ja käytännön metsätalouden suunnittelussa on totuttu jopa satojen vuosien aikajännteisiin. Ilvessalo (1970) tarkasteli Pohjois-Lapin männiköitä koskevassa tutkimuksessaan puiden kasvuja 300–400 vuoden ajalta. Mikola (1950) ulotti kasvunvaihtelututkimuksensa 1750-luvun puoliväliin. Sirén (1961) julkaisi metsänrajamäntyä koskevassa tutkimuksessaan ajanjaksoa 1181–1960 koskevan kansainvälisestikin tunnetun 780-vuotisen lustosarjan. Metsäntutkimuksen aikaperspektiivi

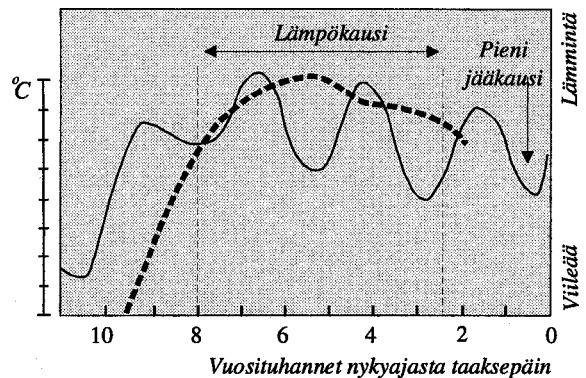
laajentui 1990-luvulla tuhansiin vuosiin. Rovaniemen tutkimusaseman dendrokronologian laboratoriossa vuonna 1996 kehitetty metsänrajamännyn lustosarja on 1911 vuotta pitkä käsittäen vuodet 83–1993. Sarjan kelluva eli epäyhtenäinen osa ulottuu noin 7 000 vuoden päähän. Toistaiseksi pisimmän kotimaisen lustosarjan ovat laatineet Zetterberg ym. (1995) Suomen Akatemian rahoittamassa SILMU-projektissa. Sen 7500-vuotinen kronologia kattaa lähes kokonaan metsänrajamännyn viime jääkauden jälkeisen esiintymishistorian.

Muutosprosessit ovat usein hitaita ja edellyttävät esimerkiksi ilmastonvaihtelututkimuksissa satojen tai tuhansien vuosien tai vieläkin pitempiä vertailusarjoja. Usein joudutaan toteamaan, ettei kunnollista vertailukohtaa löydy aikasarjojen lyhyiden vuoksi. Instrumentaalimittaukset yltyvät parhaimmillaankin vain 200–300 vuoden päähän (lämpötilamittaukset). Eräs keino jatkaa tarvittavia aikasarjoja on hyödyntää ns. proksitietoja (*proxy data*). Proksitiedot tarkoittavat lähteitä, jotka kertovat epäsuorasti tutkittavan ilmiön vaihtelusta; esimerkiksi Lapin mäntyjen vuosilustot kuvaavat varsin hyvin muinaisten kesien kesä–heinäkuun lämpöoloja. Bradleyn (1985) mukaan ilmastonvaihteluiden tutkimuksessa käytettäviä proksitiedon lähteitä ovat esimerkiksi jääkairaussarjat, järvenpohja- ja maakerrostumat, puulustot, siitepölyt, kasvimakrofossiilit ja myös historialliset muistiinpanot. Niiden aikaskaala ulottuu muutamista sadoista vuosista satoihin miljooniin vuosiin.

Suomalainen ilmastohistoria ja puulajien leviäminen

Vanhimpia Suomesta löydettyjä puufossiileja lieene Vuotson kanavan kaivutöiden (1978–1981) yhteydessä löytynyt lehtikuusen järeä kahdeksanmetrinen runko, jonka iän todettiin ylittävän radiohiiliajoituksen määrittämissä (49 200 vuotta). Lehtikuusen löytöpaikan stratigrafia sekä kerrostuman mikro- ja makrofossiilisisältö viittaavat puun kasvaneen viime jääkautta edeltäneellä Eem-interglasiaalikaudella 130 000–117 000 B.P.¹⁾ (Mäkinen 1982). Mäkisen (suull.) mukaan tällaiset subfossiil-

¹⁾ B.P. = ennen vuotta 1950



Kuva 1. Holoseenin (holoseeni on viime jääkauden jälkeinen noin 10 000 vuoden ajanjakso, nykyhetki mukaan lukien) aikainen lämpötilan yleismaailmallinen kehitys Imbrien ja Imbrien (1979) mukaan (yhtenäinen viiva) ja lämpötilan kehitys Etelä-Suomessa Donnerin (1974) mukaan (katkoviiva). Lähde: Eronen 1981, s. 8.

lijäänteet ovat hyvin harvinaisia ja niitä löytyy vain sattumanvaraisesti.

Eem-interglasiaalikaudella ilmasto oli jopa muutamien asteen nykyistä lämpimämpi (Dawson 1992). Senaikaisia kerrostumia on löydetty jääkauden moreenien alta. Siitepölyt todistavat, että tammet ja pähkinäpensaat kasvoivat Eem-kautena yleisinä aina Pohjanmaalla saakka ja jalojen lehtipuiden osuus metsissä oli muutenkin paljon nykyistä suurempi (Eronen 1991).

Eem-kauden loputtua alkoi jääkausivaihe, joka kesti ajan 117 000–10 000 B.P. Sen alkuvaiheessa oli pari jäätöntä jaksoa, mutta noin 75 000 B.P. alkoi pysyvä jään vaihe, joka väistyi vasta noin 10 000 vuotta sitten. Grönlannin jäätikkökairauksista (GRIP-tutkimus) on selvinnyt, että tuolloin lämpötilan vaihtelut olivat rajuja ja nopeita: yhden vuosikymmenen aikana talven keskilämpötila saattoi nousta tai laskea jopa kymmenellä asteella Pohjois-Euroopassa (Broecker 1995).

Viime jääkauden jälkeen (10 000 B.P.) alkanutta holoseenikautta on pidettävä poikkeuksellisen rauhallisena ajanjaksona maapallon ilmastohistoriasa. Jään väistyessä noin 10 000 vuotta sitten tapahtui yhtäkkinen ja pysyvä käänne: lämpötila nousi lähes 10 astetta ja lämpötilan vuotuinen vaihtelu pieneni murto-osaan entisestään. Koivu tuli pioneeripuulajina Suomeen preboreaalisella kaudella

noin 10 000 vuotta sitten. Noin 1 000 vuotta myöhemmin eli boreaalikauden alussa aloitti mänty nopean invaasionsa syrjäyttäen koivun. Lappiin se saapui atlanttisen kauden alussa 8 000–7 500 vuotta sitten leviten pian nykyistä leveinneysalueitaan pohjoisemmaksi. Ilmasto lämpeni hitaasti aikaan 6 000–5 000 B.P., jolloin mäntymetsät olivat Lapissa laajimmillaan. Sen jälkeen olosuhteet ovat vähitellen viilenneet aina nykyhetkiin saakka (kuva 1); ero 5 000 vuoden takaiseen tilanteeseen on Suomessa 2–3 astetta (Donner 1974). Kuusi tuli Suomeen paljon myöhemmin: se aloitti leviämisen idästä noin 5 000 vuotta sitten ja saavutti nykyisen levinneisyysrajansa 3 000–2 500 B.P.

Lustokalentereitamuinäismännystä

Suomen ilmastohistoria on ollut vaihteleva jää- ja

lämpökausien vuorottelun vuoksi. Tapahtumien kulku on tallettunut luontoon monin tavoin aiemmin mainittujen proksitietojen muodossa. Tässä yhteydessä tarkastelu rajataan viime jääkauden jälkeiseen noin 8 000 vuoteen, jolta ajalta on säilynyt runsaasti männyn subfossiileja.

Puiden vuosilustot ovat Erosen (1991) mukaan tehokkain ilmasto kuvaavan proksitiedon esiintymismuoto. Erityisesti Lapissa vuosilustoilla voidaan estimoida hyvin tuloksin kasvukauden aikaisia lämpötiloja (Sirén 1961, Lindholm 1994). Viime vuosina tehdyt tutkimukset (esim. Zetterberg ym. 1995) osoittavat, että subfossiilimännystä on laadittavissa käyttökelpoisia lustokalentereita moniin tarkoituksiin. Lustokalenterilla tarkoitetaan puunäytteistä yhdistelemällä rakennettua lustosarjaa (kuva 3, yläosa). Kalentereita hyväksi käyttävää tieteenalaa kutsutaan *dendrokronologiaksi* eli ”puulustotieteeksi”. Sen vahvoja ominaispiirteitä



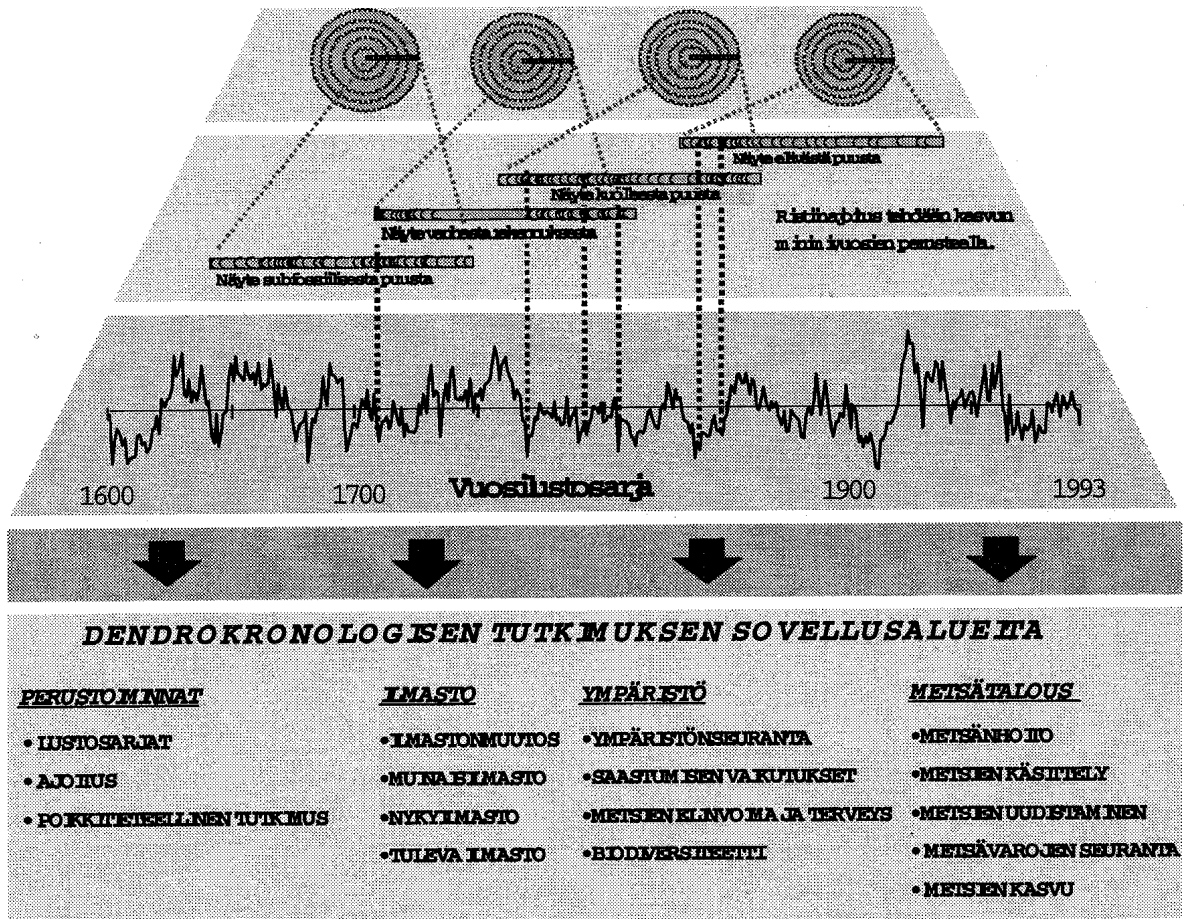
Kuva 2. Metsätalousinsinööri Ossi Huusko ja metsätalousteknikko Tauno Luosujärvi ovat nostaneet noin 40 cm paksun kauniin punaisenruskean rungon männyn metsänrajalla sijaitsevan Kalmankallion lompolon hylisestä vedestä. Kuva Mauri Timonen.

ovat monitieteisyys ja erikoistuneet tutkimusmenetelmät, jotka mahdollistavat monipuolisen ongelmanasettelun paitsi tieteenalan sisällä, myös ilmastoj- ja ympäristötutkimuksessa sekä metsätaloudessa (kuva 3, alaos).

Ilmaston mallittaminen muinaismäntyjen lustoista ei ole ongelmattonta. Vaikeutena on kasvun erittely osatekijöihin. Lustoleveyteen vaikuttavat säätekijöiden lisäksi metsikön sisäiset tekijät (metsikköra-kenne ja puuston tiheys, puiden välinen kilpailu, kukkiminen ja siementuotanto), ulkoiset tekijät (mm. hakkuut, metsäpalot, hyönteistuhot, sairau- det, saasteet, pakkasvauriot, tuulet, tulvat ja myrskyt) ja satunnaistekijät (mm. kasvupaikan maape-

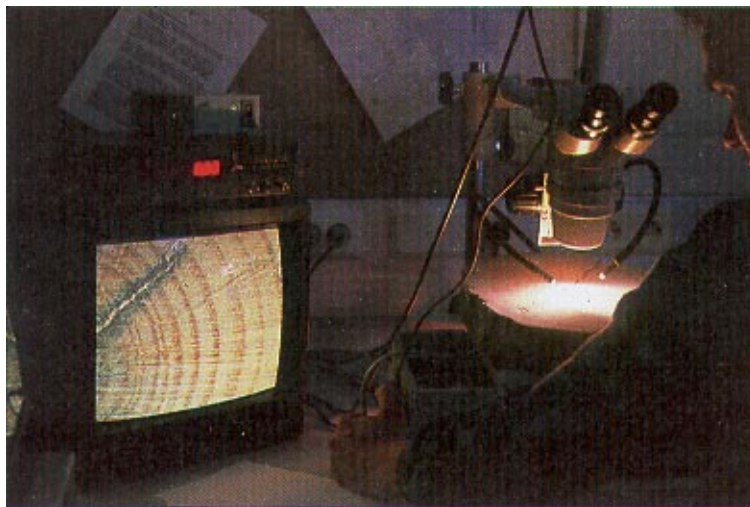
röminaisuuksien vaihtelu, rinteiden kaltevuus, vesitalous ja myös mittausvirheet) (Cook 1992).

Eläviä puita tutkittaessa voidaan jo otantavaiheessa vaikuttaa koepuiden valinnalla siihen, että tutkittava ilmiö ("signaali") tulee mahdollisimman selkeästi esiin. Menetelmällisesti se tarkoittaa epäolennaisen vaihtelun ("kohinan") poistamista. Nostettaessa näytteitä järven pohjamudasta on vaikeata tehdä vastaavaa etukäteisvalintaa. Järvipuiden ongelmana on myös rantatöyräiden erityisolosuhteet, mikä tekijä olisi voitava ottaa huomioon kasvuanalyyseissä. Jos otantaan ei voi etukäteen vaikuttaa, on kerättävä riittävästi näytteitä ja analyysimenetelmiin on kiinnitettävä huomiota. Monien vir-



Kuva 3. Lustokalenteri rakennetaan yhdistämällä näytteet toisiinsa paikallisten minimikasvujen perusteella (cross-dating-menetelmä). Lustokalenteria soveltavaa tieteenaluetta kutsutaan dendrokronologiaksi. Dendrokronologiset menetelmät soveltuvat erinomaisesti monitieteiseen työskentelyyn esimerkiksi ilmasto-, ympäristö- ja metsätutkimuksessa.

Kuva 4. Metsätalousteknikko Tauno Luosjärvi mitaamassa subfossiilista mäntykiekkoa Rovaniemen tutkimusaseman dendrokronologian laboratoriossa, jossa kasvututkimuksen aikaperspektiivi on laajentunut käsittämään koko holoseenikauden. Kuva Mauri Timonen.



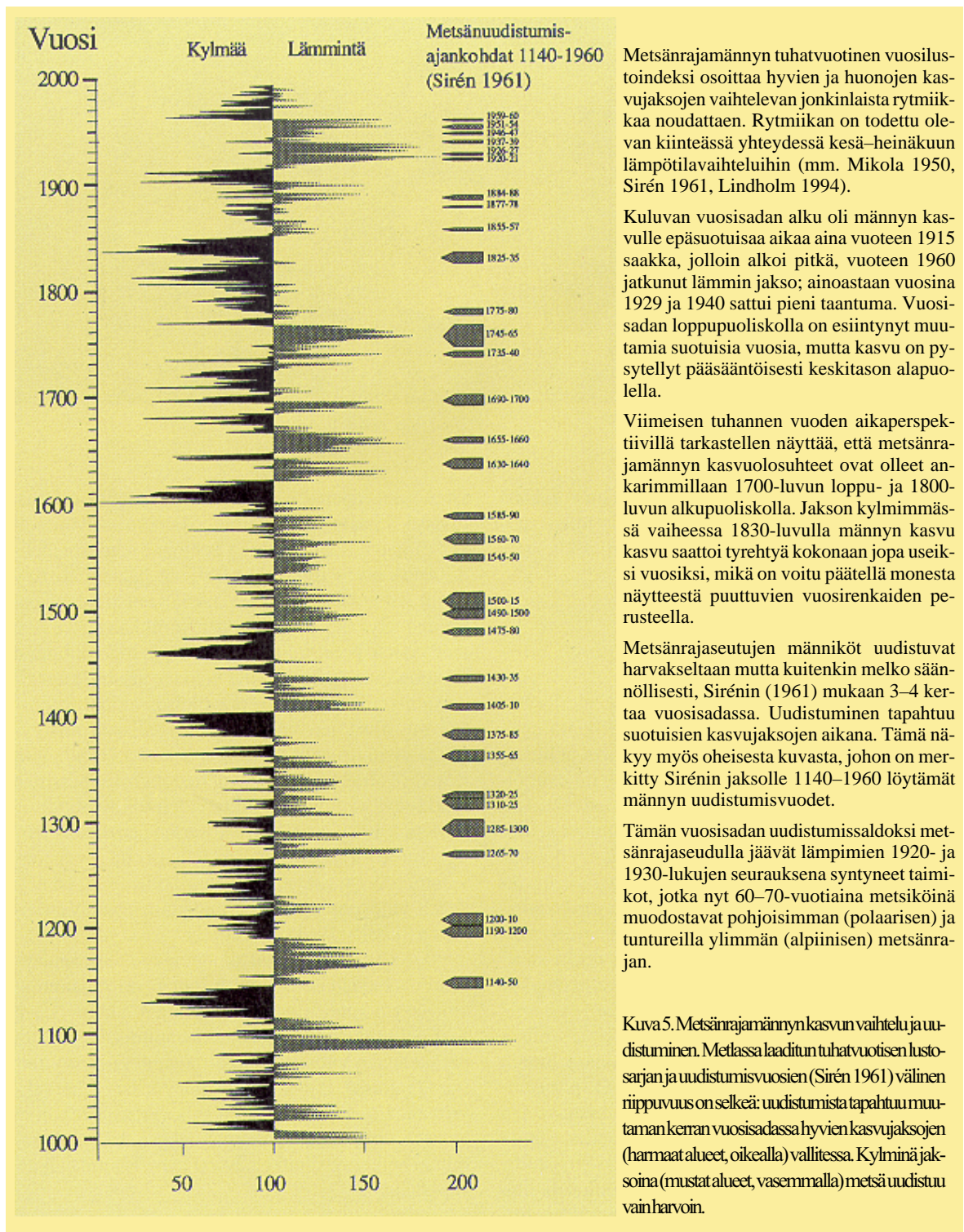
hemahdollisuuksien vuoksi tulosten laatu voi jäädä kaikesta huolimatta epätydyttäväksi, joten subfossiilinäytteisiin perustuvan aineiston tulkinnessa on oltava aina varovainen.

Miksi lustokalentereita tutkitaan?

Suurilmaston vaihteluilla on erityistä merkitystä etenkin Lapin metsätaloudessa, jossa viileät ilmastojaksot vaikeuttavat metsänuudistamista ja hidastavat puiden kasvua. Toistaiseksi vaihtelut ovat olleet metsien selviytymisen kannalta siedettävät. Tiedetään kuitenkin, että jääkausien alkaminen ja loppuminen saattavat perustua vain muutamien asteiden muutokseen keskilämpötilassa. Kun lisäksi isotkin ilmastomuutokset voivat tapahtua jopa vuosikymmenessä, pelätään, että kasvihuoneilmaston voimistuminen laukaisee vastaavan epävakaan suurten vaihteluiden kehitysvaiheen, joka vallitsi nykytilanteen lämpöoloja vastaavalla Eem-kaudella (Broecker 1995). Ihmisen toiminnasta aiheutuva ympäristön muuttuminen on havaittavissa monin tavoin, mm. ilmakehän kasvaneena CO₂-pitoisuutena. Kasvihuoneilmaston vaikutusten ennustetaan nostavan keskilämpötilaa Suomessa useilla asteilla (mm. Kellomäki 1996), mikä merkitsisi ilmastollisesti noin 5 000 vuoden takaisia lämpöolosuhteita. Pitkät vuosilustokalenterit ovat arvokas lähde tut-

kittaessa metsien selviytymismahdollisuuksia muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. Männyn kasvun selkeä riippuvuus lämpötilasta Pohjois-Suomessa mahdollistaa myös ilmastoon liittyvät päätelmät. Eri-laisin vuotuista vaihtelua koskevien analyysien, trendianalyysien ja vaihtelun rytmikkaa koskevien analyysien perusteella voitaneen laatia mittareita tai simulointimalleja, joilla voidaan arvioida metsien kehitysmahdollisuuksia kulloisessakin ilmastossa. Vuosilustojen kemiallis-fysikaalisista analyyseistä ja myös muista lähteistä kuten Grönlannin jäätikkökairauksista saatavat tiedot voivat parantaa merkittävästi tällaisten mittareiden toimivuutta.

Metlan 1911-vuotisen lustosarjan perusteella tehdyt alustavat analyysit osoittavat, että ilmastovaihteluilla on tietynlaista rytmikkaa, joka on selkeästi yhteydessä metsien uudistumiseen. Vertailtaessa Sirénin (1961) uudistusvuosia (jakso 1181–1960 jKr.) vastaavien ajankohtien vuosilustoindeksiin nähdään, että uudistuminen on tapahtunut ainoastaan suotuisten kasvujaksojen aikana (kuva 5). Edellytyksenä siemenen tuleentumiselle on, että peräkkäisten vuosien lämpötilavaihtelu pysyy tietyissä rajoissa. Hyviä uudistusvuosia on harvakseltaan. Ilmeisesti ilmaston ei tarvitse äärevöityä tai keskilämpötilan laskea paljoakaan, kun uudistuminen heikentyisi ratkaisevasti ja metsänraja alkaisi perääntyä.



Metsänrajamännyn tuhatvuotinen vuosilustoindeksi osoittaa hyvien ja huonojen kasvujaksojen vaihtelevan jonkinlaista rytmiiä noudattaen. Rytmiiän on todettu olevan kiinteässä yhteydessä kesä–heinäkuun lämpötilavaihteluihin (mm. Mikola 1950, Sirén 1961, Lindholm 1994).

Kuluvan vuosisadan alku oli männyn kasvulle epäsuotuisaa aikaa aina vuoteen 1915 saakka, jolloin alkoi pitkä, vuoteen 1960 jatkunut lämmin jakso; ainoastaan vuosina 1929 ja 1940 sattui pieni taantuma. Vuosisadan loppupuoliskolla on esiintynyt muutamia suotuisia vuosia, mutta kasvu on pysytellyt pääsääntöisesti keskitason alapuolella.

Viimeisen tuhatvuotisen aikaperspektiivillä tarkastellen näyttää, että metsänrajamännyn kasvuolosuhteet ovat olleet ankarimmillaan 1700-luvun loppu- ja 1800-luvun alkupuoliskolla. Jakson kylmimmässä vaiheessa 1830-luvulla männyn kasvu kasvu saattoi tyrehtyä kokonaan jopa useiksi vuosiksi, mikä on voitu päätellä monesta näytteestä puuttuvien vuosirenkaiden perusteella.

Metsänrajaseutujen männiköt uudistuvat harvakseltaan mutta kuitenkin melko säännöllisesti, Sirénin (1961) mukaan 3–4 kertaa vuosisadassa. Uudistuminen tapahtuu suotuisien kasvujaksojen aikana. Tämä näkyy myös oheisesta kuvasta, johon on merkitty Sirénin jaksolle 1140–1960 löydyt männyn uudistumisvuodet.

Tämän vuosisadan uudistumisaldoksi metsänrajaseudulla jäävät lämpimien 1920- ja 1930-lukujen seurauksena syntyneet taimikot, jotka nyt 60–70-vuotiaina metsiköinä muodostavat pohjoisimman (polaarisen) ja tuntureilla ylimmän (alpiinisen) metsänrajan.

Kuva 5. Metsänrajamännyn kasvun vaihtelu ja uudistuminen. Metlassa laaditun tuhatvuotisen lustosarjan ja uudistumisvuosien (Sirén 1961) välinen riippuvuus on selkeä: uudistumista tapahtuu muutamana kerran vuosisadassa hyvien kasvujaksojen (harmaat alueet, oikealla) vallitessa. Kylminä jaksoina (mustat alueet, vasemmalla) metsä uudistuu vain harvoin.

Menemättä tulosten tulokinnassa sen pidemmälle todettakoon muutamia lustokalentereista tutkittavia asioita. Tieteellisesti kiinnostavia kysymyksiä ovat:

- yksityiskohtaisen vuotuisen vaihtelun ja ilmastotrendit sisältävän indeksimallin kehittäminen mäntymetsien viime jääkauden jälkeiselle esiintymisjaksolle;
- mitä syy-yhteyksiin perustuvia rytmikoita tai analogioita (yhtäläisyyksiä) ilmastolliset vaihtelut sisältävät?
- millainen on 1900-luvun ilmastohistoria verrattuna holoseenin keskimääräisilmastoon?
- missä määrin voidaan soveltaa havaittuja säännönmukaisuuksia tulevan ilmaston estimoinnissa?
- miten paljon mäntymetsät sietävät ilmastomuutosta ja -vaihteluita?
- mitkä ilmastovaihteluun liittyvät piirteet ovat strategisia metsätalouden harjoittamiselle?
- miten kasvumallit tulisi kalibroida, jotta ne pysyisivät ajan tasalla muuttuvissa olosuhteissa?

Käytännön metsätaloutta kiinnostaa:

- miten ilmastovaihtelut tulisi ottaa huomioon käytännön metsätaloudessa? Kuluvalla vuosisadalla ne ovat aika ajoin vaikuttaneet voimakkaastikin päätöksentekoon. Suojametsälain syntymiseen vuonna 1922 vaikutti edeltävä puolivuosisatainen poikkeuksellisen heikko ilmastojakso; 1950-luvulla ryhdyttiin laajoihin avohakkuisiin 1930- ja 1940-luvun suotuisan jakson rohkaisemana; laaja viljelytaimikoiden tuhoutuminen Lapissa 1960-luvulla tuli ylilytyksenä ilmaston äkillisesti kylmetessä. Vastavantyyppisten tilanteiden tunteminen vähentäisi riskiä joutua ennakoimattomiin seurauksiin.

Pitkä aikaperspektiivi tarjoaa kunnollisen lähtökohdan arvioida, missä vaiheessa ollaan menossa ja mitä on mahdollisesti odotettavissa. Samankaltaisten piirteiden tunnistaminen menneen ajan ja nykyhetken kasvutapahtumista antaa vertailutietoa, joka jo sellaisenaan saattaa toimia päätöksenteon perustana.

Vuosilustotutkimuksen tulevat haasteet

Puiden vuosilustot tarjoavat monipuolisen tietolähteen niin metsätieteellisiin kasvututkimuksiin kuin

monitieteellisiin ympäristö- ja ilmastomuutostutkimuksiin. Maaliskuussa 1996 alkanut kolmivuotinen EU-projekti *ADVANCE-10K*²⁾ on monitieteellinen tutkimus, jossa kohtaavat metsä- ja ilmastotieteilijöiden, geologien ja muiden tieteenalojen edustajien tutkimustarpeet. Projektissa tutkitaan pohjoisboreaalisen havumetsävyöhykkeen ilmastovaihteluita Keski- ja Pohjois-Euroopassa viimeisen 10 000 vuoden ajalta. Yhteiseurooppalaista projektia johtaa englantilainen ilmastotieteilijä tri Keith Briffa ja sen suomalaisena koordinaattorina toimii professori Matti Eronen. Suomen osuus toteutetaan Helsingin yliopiston, Joensuun yliopiston ja Metlan välisenä yhteistyönä.

Metlan osuutena projektissa on laatia Pohjois-Suomea koskevia alueellisia 7 500–8 000 vuoden pituisia lustosarjoja. Niiden perusteella tutkitaan mm. edellisessä kappaleessa esitettyjä kysymyksiä.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää monin tavoin, mutta ennen kaikkea ne antavat kunnollisen aikaperspektiivin ilmasto- ja ympäristömuutostutkimuksiin. Metsäntutkimukselle ja metsätaloudelle koituvat hyödyt näkynevät selvimmin parantuneena riskienhallintana metsänuudistamiseen liittyvässä päätöksenteossa. Tietoa voidaan välittää käytännön metsätalouden tarpeisiin esimerkiksi mallien muodossa.

ADVANCE-10K-projekti on paitsi ajankohtainen kasvututkimus myös *innovaatiohanke*, jossa kehitetään ja laajennetaan kasvututkimuksen osamista 2000-luvun ympäristösuuntautuneita tutkimustarpeita silmällä pitäen.

Kirjallisuus

- Bradley, R. 1985. Quaternary paleoclimatology. Unwin Hyman. 472 s.
- Broecker, W.S. 1995. Chaotic climate. *Scientific American*. November 1996. s. 44–49.
- Cook, E.R. 1992. A conceptual linear aggregate model for tree-rings. Julkaisussa: Cook, E.R. & Kairiukstis, L.A. (toim.). *Methods of dendrochronology*. Appli-

²⁾ ADVANCE-10K: *Analysis of Dendrochronological Variability and Associated Natural Climates in Eurasia – the last 10 000 years*.

- cations in the environmental sciences. Kluwer Academic Publishers–International Institute for Applied Systems Analysis. s. 98–104. ISBN 0-7923-0586-8.
- Dawson, A.G. 1992. Ice age earth. Late quaternary geology and climate. Routledge, London–New York. 293 s.
- Donner, J. 1974. Klimatförändringarna efter senaste istid. Societas Scientiarum Fennica, Årsbok–Vuosikirja 51 B 7: 1–10.
- Eronen, M. 1981. Ilmaston vaihtelut ja pohjoisimmat mäntymetsät. Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXII 1981. s. 4–14.
- 1991. Jääkausien jäljillä. Ursan julkaisu 43. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki. 271 s.
- Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuotto- ja kasvukapasiteetti Pohjois-Lapin kivennäismailla. Natural development and yield capacity of forest stands on mineral soils in Northern Lapland. Acta Forestalia Fennica 1970. 43 s.
- Imbrie, J. & Imbrie, K.P. 1979. Ice ages. Solving the mystery. MacMillan Press. 201 s.
- Kellomäki, S. 1996. Ilmastomuutosten vaikutukset Pohjois-Suomen metsiin. Julkaisussa: Hökkä, H., Salminen, H. & Varmola, M. (toim.). Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589: 16–31.
- Korhola, A. 1994. Pysyvää on vain muutos. Yliopisto 20: 20–21.
- Lindholm, M. 1994. Sää säätää – mänty muistaa. Kesäaikaisten lämpötilojen rekonstruointi männyn vuosilustokalenterin avulla Enontekiön alueella (Midsummer temperatures reconstructed from tree-rings of pine in Northern Finnish Lapland). Julkaisussa: Uudet menetelmät ja niiden sovellukset kvartaaritutkimuksessa. Symposio Mekrijärvellä 20.–21.4.1993. Acta Universalis Ouluensis, Series A Scientiae Rerum Naturalium 251. s. 58–67.
- Mielikäinen, K. & Timonen, M. 1996. Growth trends of Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) in unmanaged and regularly managed stands in Southern and Central Finland. Julkaisussa: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (toim.). Growth trends of European forests. European Forest Research Report 5: 41–60.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvunvaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(5). 131 s.
- Mäkinen, K. 1982. Tiedonanto Vuotson interglasiaalisesta lehtikuusen rungosta. Geologi 34: 183–185.
- Nöjd, P. & Reams, G.A. 1996. Growth variation of Scots pine across a pollution gradient on the Kola Peninsula, Russia. Environmental Pollution (painossa).
- Sirén, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra fennoskandien under historisk tid. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(2). 66 s.
- Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (toim.). 1996. Growth trends of European forests. Studies from 12 Countries. European Forest Research Report 5. 372 s.
- Zetterberg, P., Eronen, M. & Lindholm, M. 1995. Construction of a 7500-year tree-ring record for Scots pine in northern Fennoscandia and its application to growth variation and palaeoclimatic studies. Julkaisussa: Spiecker, H. & Mielikäinen, K. (toim.). Growth trends of European forests – has site productivity changed? Springer Verlag (painossa).