

# Puulustot: ympäristömuutosten tietopankki

Matti Eronen

*”...jos kieliin voisi kertoa näkönsä vanhat puut, ja meidän vaarat virkkoa ja meidän laaksot lausua, sanella salmein suut. Niin niistä useampi hyv’ois todistamaan...”*

Savolaisen laulu, Sanat A. Oksanen

Savolaisen laulun sanoittaja kuvaili, miten paljon puilla olisi kerrottavaa, jos ne voisivat esiintuoda kokemuksensa meille jollakin tavalla. Hän ei tuolloin kuitenkaan voinut tietää, että puihin on oikeasti tallentunut niiden ”kokemuksia”, joista saadaan selville muinaisia tapahtumia ja luonnonolojen vaihteluja. Savolaisten tai muiden heimojen uroteoista ne eivät sentään voi kertoa mitään. Puut kuitenkin reagoivat niiden elinympäristössä tapahtuneisiin muutoksiin. Puun kannalta suotuisissa oloissa kasvu on nopeaa ja huonoissa oloissa vastaavasti paljon heikompaa. Näihin kasvun vaihteluihin voivat vaikuttaa hyvin monet erilaiset tekijät, joten puiden ”kertomuksen” tulkitsemiseen vaaditaan erilaisia tarkkoja mittauksia ja analyysyjä. Vuosilustojen paksuusvaihtelut muodostavat tutkimuksen pohja-aineiston.

Puiden kasvulla on selkeä vuotuinen rytmi. Kasvu alkaa keväällä hyvin nopeasti ja se jatkuu melko voimakkaana vielä alkukesän. Kesän lopulla kasvu hiipuu ja pysähtyy syksyksi ja talveksi. Kevätajan kasvu näkyy puunrungon poikkileikkauksessa vaaleana huokoisena ”kevätpuuna”, kun taas sitä myöhemmin muodostunut ja hitaasti kasvanut ”kesäpuu” on pienisoluisempi, tiiviimpi ja tummempi. Kevät- ja kesäpuu muodostavat yhdessä vuosiluston eli vuosirenkaan. Niitä syntyy puiden runkoihin toinen toisensa ympärille niin kauan kuin puut säilyvät elossa. Lustoja voi katella poikki sahatusta puusta paljain silmin ja tarkkanäköiset voivat laskea niistä puun iän. Siinä näkyy samalla, että vuosilustojen leveys vaihtelee.

Syntyvien lustojen leveyteen vaikuttavat suuresti biologiset tekijät. Jotkut puulajit ovat

tunnetusti hidaskasvuisia ja toiset nopeakasvuisia, vaikka kasvuympäristöt olisivat periaatteessa hyvin samankaltaiset. Kasvuun kuitenkin vaikuttavat merkittävästi myös keskinäinen kilpailu sekä sellaiset kasvupaikkatekijät kuten maaperän laatu. Puuyksilön biologinen ikäkin on merkittävä kasvua ajatellen. Nuorina taimina puiden paksuuskasvu on hidasta ja lustot jäävät kapeiksi. Kasvu kiihtyy maksimiinsa puuyksilön nuoruusvaiheessa ja hidastuu sitten puun ikääntyessä. Tässä kehityksessä on kuitenkin kyse pitkäaikaisen keskimääräisen paksuuskasvun muutoksesta. Vuotuisen kasvun vaihtelua säätelee hyvin voimakkaasti ilmasto eli kunkin vuoden erilaiset vaihtelevat säät.

Puulustoja tutkiva tieteenala, dendrokronologia, kehittyi omaksi tieteenalaksi viime vuosisadan alkupuolella. Sen ”isäksi” on nimetty amerikkalainen Andrew E. Douglass (1867–1962), joka oli koulutukseltaan tähtitieteilijä. Hän kuitenkin kiinnostui auringonpilkkujen mahdollisesta vaikutuksesta ilmaston vaihteluihin ja lähti sitten hakemaan siihen lisätietoa puiden vuosirenkaista. Hän teki myöhemmin suuren palveluksen amerikkalaiselle arkeologialle ajoittamalla dendrokronologian avulla intiaanien aikoinaan asuttamia ja sittemmin hylkäämiä puebloiksi kutsuttuja asumuksia.

## *Vanhimmat puut*

Puulustoja on tutkittu ja mitattu hyvin monista puista eri tarkoituksia varten ympäri maailmaa. Näissä tutkimuksissa on myös saatu sel-

ville, miten iäkkäitä ovat maapallon kaikkein vanhimmat puut. Ylivoimainen ykkönen tässä kilpailussa Pohjois-Amerikassa kasvava vihnemänty (*Pinus longaeva*). Se tulee toimeen Nevadan osavaltion ylävillä vuoristoseuduilla yli kolmen kilometrin korkeudelle saakka. Se on melko matala kähköräinen puu, joka on vanhana usein osittain kelottunut, mutta elämä virtaa osassa runkoa. Vihnemänty voi elää yli 5000 vuotta. Tämän lajin huikea pitkäikäisyys paljastui tutkijoille 1950-luvulla.

Amerikan länsiosissa kasvaa muitakin hyvin pitkäikäisiä puita. Kaliforniassa Sierra Nevadan vuorien rinteillä esiintyvät valtavat mammuttipetäjät (*Sequoiadendron giganteum*) voivat elää yli 3000 vuotta. Nämä maailman kookkaimmat puut voivat kasvaa 80-90 metriä korkeiksi ja suurimman yksilön tyviosan läpimitta on yli 8,5 metriä. Mammuttipetäjät eivät kuitenkaan ole maailman pisimpiä puita, sillä niitä hoikemmat Kalifornian alavilla rannikoseudulla kasvavat punapuut (*Sequoia sempervirens*) voivat kurottua latvuksensa jopa yli 110 metrin korkeuteen. Punapuutkin ovat melko pitkäikäisiä. Ne voivat elää yli 2000 vuotta. Pohjois-Amerikassa on monia puulajeja, jotka saavuttavat monen sadan vuoden iän ja niitä on tietysti melkoisesti muillakin mantereilla.

Pitkäikäisin Suomessa esiintyvä puu on kataja (*Juniperus communis*), joka kylläkin kasvaa useimmiten monihaaraiseksi pensaaksi. Utsjoelta on löydetty muutama vuosikymmen sitten kataja, josta voitiin laskea noin 1070 vuosilustoa. Katajavanhus tuli kuitenkin näin tutkittaessa katkaistuksi ja sen kasvu päättyi siihen.

Pitkäikäisin varsinainen puu Suomessa on mänty (*Pinus sylvestris*), joka sekin ilmeisesti pystyy elämään jopa yli 1000 vuotta. Pohjois-Ruotsista on löydetty mänty, jolla oli ikää liki 1000 vuotta ja Suomen Lapistakin yksi mänty, joka oli elänyt noin 810 vuotta. Yli 500 vuotta vanhat männyt eivät ole mitään kovin suuria harvinaisuuksia. Luonnontilassa voi kehittyä monisatavuotiaita männiköitä, mutta suuri osa Suomen metsistä ei ole ollut luonnontilassa satoihin vuosiin. Toinen yleinen havupuume kuusi (*Picea abies*) jää keskimäärin paljon mäntyä lyhytikäisemmäksi, vaikka voikin elää muutamia vuosisatoja.

Lehtipuista elää vanhimmaksi tammi. Meikäläinen kesätammi (*Quercus robur*) kasvaa eteläisessä Suomessa luonnonvaraisena. Keski- ja Länsi-Euroopassa on yleinen myös talvitammi (*Quercus petraea*). Molemmat lajit voivat suotuisissa oloissa elää varsin pitkään. Joi-

denkin vanhojen elävien tammien väitetään olevan yli 1000 vuotta vanhoja, mutta sellaiset puut ovat kuitenkin säännöllisesti sisältä onttoja, joten puun todellista ikää ei voi laskea vuosilustoista. Itse asiassa monet tammet eivät elä kovin vanhoiksi, vaan kuolevat jo parin sadan vuoden ikäisinä. Pisimmät vuosilustosarjat yhdestä puusta ovat usein 400 ja 500 vuoden välillä.

## Pitkät kronologiat

Edellä esitetystä on käynyt ilmi, että vain harvat puulajit elävät niin pitkään, että niiden elävien yksilöiden vuosilustoja tutkimalla voitaisiin rakentaa aikasarjaa taaksepäin monien tuhansien vuosien takaisin aikoihin. Puulustosarjojen ristiinajoitus mahdollistaa kuitenkin yhtenäisten kronologioiden ulottamisen kauas ajassa taaksepäin. Lähtökohtana on se, että puiden paksuuskasvun vaihtelu muodostaa jatkumon, jossa ei ole yhtään samankaltaista jaksoa. Lustojen leveydet vaihtelevat vuotuisien sääolojen säatelemänä tavallaan satunnaisesti. Kun kahden samaa puulajia olevan puun vuosilustojen leveydet mitataan, niissä näkyy keskenään hyvin samankaltainen vuosilustojen leveyden vaihtelu ja ne voidaan rinnastaa toisiinsa vuoden tarkkuudella. Jos puut ovat eläneet osaksi eri aikoina siten, että ne ovat olleet myös kasvamassa samanaikaisesti vähintään 50-100 vuotta, ne myös voidaan ristiinajoituksella rinnastaa toisiinsa vuoden tarkkuudella. Näin alkaa kasvukäyrän pidentäminen.

Yleensä tutkimuksissa on lähdetty liikkeelle elävistä puista mitatuista lustosarjoista. Niiden avulla voidaan päästä usein jo satojen vuosien takaiseen aikaan. Sen jälkeen voidaan kerätä näytteitä vanhoista rakennuksista ja edelleen luonnossa lahoamiselta välttyneistä vanhoista puunrungoista. Elävistä puista otetaan näytteet kasvukairalla, joka porataan runkoon ydintä kohti. Rakennushirsistäkin näytteet otetaan useimmiten kairaamalla, mutta tilanteesta riippuen voidaan tehdä sahauksiaakin. Kasvukairan onttoon sisukseen jää ohut pyöreä ”tikku”, joka vedetään kairan mukana ulos. Kairausnäytteitä täytyy ottaa ainakin kahdesta tai kolmesta suunnasta kustakin tutkittavasta puusta. Vanhoista subfossiilisista puista voidaan sahata näytekiekkoja.

Ristiinajoitusten avulla lustonleveyskäyrää voidaan jatkaa niin pitkälle ajassa taaksepäin kuin ristiinajoittamiskelpoista saman lajin puuainesta löytyy. Ristiinajoitus vaatii huolellista työtä. Puulustojen leveydet mitataan tarkoitukseen rakennetulla laitteella 0,01 millimetrin tarkkuudella. Suurin osa puiden lustosarjoista voidaan ristiinajoituksella liittää yhteiseen lustokronologiaan, mutta pieni osa puista on kasvanut syystä tai toisesta niin epäsäännöllisesti, että niitä ei voi yhdistää siihen mukaan.

Pitkiä vuosilustokronologioita on yritetty rakentaa monista puulajeista useissa puulustolaboratorioissa, mutta usean tuhannen vuoden pituisia yhtenäisiä lustosarjoja on vain muutamia. Pitkikäisestä vihnemännystä oli tietysti helppo rakentaa melkein 5000 vuoden pituinen lustokäyrä, kun sen sai jo yhdestä puusta. Kunnollinen alueellisesti luotettava lustokäyrä vaatii kuitenkin useiden puiden liittämisen käyrästön joka osalle, jotta väistämättä mukana olevat kasvun epäsäännöllisyydet tasoittuvat. Vihnemäntykronologia ulottuu noin 8800 vuoden päähän nykyajasta. Vanhempaakin puuainesta on löytynyt, mutta sitä ei ole voitu liittää kiinni kronologian pääosaan.

Euroopassa saatiin valmiiksi pitkä yhtenäinen tammikronologia jo 1980-luvulla. Asialla olivat lähinnä saksalaiset ja irlantilaiset tutkijat. He käyttivät aineistona sekä kesätammia että talvitammia, joiden lustosarjat voidaan rinnastaa toisiinsa, vaikka ne ovatkin eri puulajeja. Aineistoa eli vanhoja runkoja löytyi Saksan jokien kuluviasta penkereistä sekä Irlannin soista. Yhteistyön avulla saatiin kummallekin maalle omat täydelliset tammilustosarjat, jotka ulottuivat yli 8000 vuotta ajassa taaksepäin. Tutkimuksia on jatkettu edelleen erityisesti Hohenheimin yliopistossa Stuttgartissa ja kronologiaa on pystytty pidentämään merkittävästi. Tammikronologiaa on pystytty jatkamaan vähän yli 10 000 vuoden päähän nykyajasta. Siihen on lisäksi onnistuttu liittämään nykyajasta liki 12 000 vuoden päähän ulottuva Etelä-Saksasta löydetty mäntyaineisto, josta saatu vuosilustosarja on onnistuttu huolellisten tutkimusten jälkeen liittämään tammikronologian perään. Tässä ei tavallinen ristiinajoitus riittänyt, koska kyseessä oli kaksi eri puulajia. Apuna tarvittiin huolellisia tilastomatemattisia menetelmiä ja isotooppitutkimuksia. Näin puulustokronologia on saatu ulotetuksi viime jääkauden loppuvaiheeseen. Männyt

ovat silloin kylmässä ilmanalassa kasvaneet hyvin hitaasti. Melko tarkasti 11 570 vuotta sitten kasvu pompahtaa voimakkaammaksi. Se merkitsee ilmaston äkillistä lämpenemistä ja viime jääkauden päättymistä. Grönlannin mannerjäätikön jääkerroksista on löydetty samanlainen lämpeneminen samaan aikaan. Radiohiiliajoituksilla viime jääkauden päättymisen ajankohdaksi saatiin aikoinaan 10 000 vuotta ennen nykyaikaa. Radiohiilimenetelmä ei kuitenkaan antanut oikeaa ikää, koska hiihen kierrossa tapahtui noin aikoihin muutoksia. Radiohiilimenetelmä saatiin itse asiassa kalibroiduksi puulustojen avulla, mutta lustokronologiat eivät silloin vuosia sitten yltäneet jääkauden jälkeisen alkuun. Vasta nyt on puulustojen avulla on saatu selville jääkauden päättymisen oikea hetki hyvin suurella tarkkuudella.

Kolmas merkittävä pitkä puulustokronologia saatiin valmiiksi Suomessa vuonna 1999. Se rakennettiin Lapin pikku järvien pohjalla vuosituhansia säilyneistä männyn rungoista. Tämän kirjoittaja aloitti vanhoista männyn rungoista sahattujen kiekkojen keruun Lapin metsärajavyöhykkeen pikku järvistä jo 1970-luvun alkupuolella. Radiohiiliajoituksia kertyi vuosien varrella noin 60 ja ne osoittivat pohjalalla olevien runkojen olevan usein tuhansia vuosia vanhoja. Välillä työ keskeytyi rahoituksen puutteeseen, mutta uusi tilaisuus tuli Suomen Akatemian SILMU-tutkimushankkeen yhteydessä. Tehokas puulustoaaineiston keruu Pohjois-Lapista aloitettiin jo vuonna 1989 ja sitä voitiin jatkaa kesällä 1990 SILMU-hankkeen käynnistyttyä. Aluksi mäntykronologian rakentaminen edistyi nopeasti. Radiohiiliajoitettujen runkojen avulla saatiin tietoja puiden iästä ja niihin pystyttiin kytkemään ristiinajoitettuja "leijuvia" kronologioiden pätkiä, joita edelleen saatiin liitetyksi toisiinsa. Suurin osa tavoitteena olleesta pitkästä lustosarjasta oli valmiina jo 1994, mutta sen jälkeen työn loppuun saattaminen osoittautuikin vaikeaksi. Valmiina oli yhtenäinen "absoluuttinen" eli vuoden tarkka kronologia nykyajasta vuoteen 165 eKr. Sen takana oli aukko, jonka tiedettiin radiohiiliajoitusten perusteella olevan noin 250-300 vuoden mittainen. Aukon takana oli noin 5000 vuoden pituinen yhtenäinen "leijuva" kronologia. Työ jumiutui osittain aukon kohdalle, koska sen täyttäminen ei tahtonut onnistua millään. Aukko oli jäljellä SILMU-hankkeen päättyessä, mutta onneksi jatkorahoitusta saatiin Suomen Akatemialta ja EU-

projekteista. Aineistoa karttui tietysti lisää koko ajan ja kronologia vahvistui sillä tavalla, mutta päätaavoite oli saavuttamatta niin kauan kuin aukko oli täyttämättä. Näytteiden keruuseen liittyi tässä vaiheessa Metsäntutkimuslaitoksen edustajia. Yhteistyössä aukko vihdoinkin umpeutui alkuvuodesta 1999 ja urakka oli siltä osin ohi. Kronologiaa oli rakennettu myös kansainvälisen EU-rahoitteisen hankkeen puitteissa ja ruotsalaisilla tutkijoilla oli myös pitkän mäntykronologian rakentaminen käynnissä samaan aikaan kuin meillä. Ruotsin Torniojärven seudun männynistä rakennettu kronologia oli sekin viittä vaille valmis, kun Suomessa saatiin noin 7500 vuotta kattava lustokäyrä katkeamattomaksi. Ruotsalaisten tutkijoiden oli helppo täydentää oma kronologiansa valmiiksi Suomen kronologian rinnalle. Näin Pohjois-Fennoskandiassa on nyt kaksi pitkää puulustokronologiaa, joka ovat keskenään melko lailla identtiset.

## *Dendroklimatologia*

Dendrokronologia tarkoittaa oppia puiden ajoittamisesta. Ajoitus onkin yksi tärkeä tämän tieteenalan sovellusalue. Vanhoja rakennuksia sekä arkeologisia löytöjä on pystytty ajoittamaan vuoden tarkkuudella. Monien kirkkojen hirsistä on voitu mitata niiden rakentamisen ajankohta ristiinajoitusta käyttäen. Puulustoihin perustuva ilmaston muutosten tutkimus on kuitenkin ehkä tärkein dendrokronologian käyttöalue. Kuten edellä on kerrottu, dendrokronologian avulla ei päästä ainakaan toistaiseksi yhtäjaksoisesti sen pidemmälle ajassa taaksepäin kuin viime jääkauden loppuvaiheisiin. Suomen ja Ruotsin mäntykronologiat eivät ulotu edes jääkauden jälkeisen ajan alkuvaiheisiin. Dendrokronologian suuri etu on kuitenkin vuoden tarkkuus iänmäärityksessä. Vastaavaan tarkkuuteen ei päästä muihin luonnon arkistoihin perustuvissa tutkimuksissa.

Menneisyyden ilmaston muutosten tutkimuksessa dendrokronologialla on tärkeä rooli. Lämpötilan vaihtelut ovat enimmäkseen syynä vuosilustojen erisuuruiseen kasvuun eri vuosina, mutta myös kosteuden muutokset ovat merkittäviä. Kuivan ilmastoalueen puiden kasvua rajoittaa pääasiassa veden puute eli puut kasvavat hyvin sateisina vuosina ja

huonosti kuivina kausina. Täällä Euroopan pohjoisilla seuduilla lämpötila on selvästi tärkein kasvua rajoittava tekijä. Eteläisessä Suomessa näyttävät myös kosteuden vaihtelut vaikuttavan mäntyjen kasvuun jossain määrin, mutta pohjoisen metsänrajan tuntumassa kesälämpötilojen vaihtelut hallitsevat suurimmaksi osaksi puiden paksuuskasvua. Lämpiminä kesinä lustot kasvavat leveiksi, mutta jäävät viileinä kesinä ohuiksi. Erityisen tärkeä paksuuskasvun kannalta on heinäkuun lämpötila. Sen vuoksi mäntykronologioiden aineistot on kerätty pääosin Lapin metsänraja-alueelta. Mäntyjen lustoihin on tallentunut selkeä ilmastosihtala. Niistä saadaan tietoa muinaisten kesälämpötilojen vaihteluista vuoden tarkkuudella aina yli 7500 vuoden päähän nykyajasta taaksepäin.

Ilmastotiedon erottaminen puulustosarjoista ei kuitenkaan ole ihan yksinkertaista. Rakennetut kronologiat eivät ole aineistoltaan homogeenisia, sillä mukana on puiden eri ikävaiheiden lustoja sekä erilaisilta kasvupaikoilta peräisin olevaa aineistoa. Yleistä on, että puulustokäyrän vaihtelut standardoidaan suoralle viivalle, jolla vuotuiset vaihtelut näkyvät heilahteluina viivan ylä- ja alapuolelle. Siinä kuitenkin kadotetaan tietoa pitkistä, satojen ja tuhansien vuosien pituisista lämpötilan muutoksista. Tämä on tällä hetkellä dendrokronologiassa vaikea ongelma. Muun muassa siitepölytutkimukset osoittavat, että jääkauden jälkeisen ajan keskivaiheilla noin 6000 vuotta sitten ilmasto oli jopa noin 2 °C lämpimämpi kuin nykyisin. Lapin metsänrajamäntyjen lustot eivät kuitenkaan sitä osoita. Mitään selkeää eroa lustojen keskimääräisissä leveyksissä ei näy edes standardoimattomassa aineistossa. Lyhytaikaisista vaihteluista sen sijaan on saatu mielenkiintoisia tietoja. Vuonna 330 eKr. männyn kasvu romahti äkillisesti. Syytä ei ole vielä saatu selville, mutta tämä tapahtuma sijoittuu kronologian entisen aukon kohdalle, joten jokin merkittävä häiriö ilmasto-oloissa tapahtui tuolloin. Toinen äkillinen kasvun romahdus näkyy keskiajalla vuoden 536 jKr. kohdalla. Siltä aikakaudelta on jo kirjallisia tietoja. Oppineet kertovat oudosta kuvasta pilvestä, joka himmensi Auringon säteilyn heikoksi laajalla alueella Euroopassa. Vakuuttavaa selitystä ei ole löydetty tällekin ilmiölle, mutta Lapin puulustot osoittavat, että tuo ”pilvi” vaikutti sääoloihin myös kaukana pohjoisessa.

Puulustotutkimus on edennyt ja laajentunut voimakkaasti viime vuosikymmenien aikana. Sen avulla on voitu ratkaista monia tieteellisiä ongelmia. Suuri merkitys on ollut tietojenkäsittelymenetelmien nopealla kehitymisellä. Se on mahdollistanut suurien puulustoaineistojen tehokkaan käsittelyn. Esimerkiksi ristiinajoitus käy helposti siihen kehitetyillä ohjelmilla. Muutamalla näppäimen painalluksella saadaan selville, mihin kohtaan lustokäyrää uusi näyte sijoittuu ja kuinka luotettavasti. Lämpötilarekonstruktioita varten on käytössä erilaisia tilastomatemattisia menetelmiä ja ohjelmia. Paljon on kuitenkin tekemistäkin. Pitkästä mäntykronologiasta on saatavilla vielä monenlaista uutta tietoa ja on mahdollista, että sitä onnistutaan vielä jatkamaan. Mänty nimittäin levisi Lappiin yli tuhat vuotta ennen sitä ajankohtaa, mihin nykyinen lustokäyrä päättyy.

Puulustoista voidaan mitata muutakin kuin niiden leveyksiä. Kesäpuun tiheys kertoo myös lämpötiloista. Mittauksia niistä on tehty useissa laboratorioissa, mutta ne ovat melko aikaa vieviä ja työläitä. Suomessakin olisi kuitenkin hyvä saada ne käyntiin pitkän mäntykronologian osalta. Myös hiilen, vedyn ja hapen isotooppisuhteita voidaan tutkia mäntylustoista ja hiilen osalta työ on vähän kerrassaan jo etenemässä. Mäntylustoaineistoa pitäisi kerätä vielä suuri määrä lisää. Lapin kronologiaa olisi yhä vahvistettava, jotta saataisiin riittävä ja varmasti luotettava määrä lustoaineista koko kronologian osalle. Näin aineisto saataisiin entistä homogeenisemmäksi. Myös Etelä-Suomen osalle pitäisi rakentaa mahdollisimman pitkä mäntykronologia, jotta voitaisiin tehdä vertailuja pohjoisen ja etelän pitkän aikavälin puunkasvun kesken. Tämä työ onkin käynnissä ja eteläisen Suomen lustokäyrää on jo olemassa yli 1000 vuoden ajalta.

Puulustoista saadaan tietoa siitä, miten ilmasto on vaihdellut menneisyydessä. Se tieto on hyödyllistä, kun koetetaan arvioida, miten ilmasto voi muuttua tulevaisuudessa. Lisäksi on monia ympäristön muutoksiin liittyviä kysymyksiä ja ongelmia, joita voidaan selvittää dendrokronologian avulla.

Suomen pitkää mäntykronologiaa käsittelevät julkaisut ovat valitettavasti jääneet pitkäksi ajaksi painoon, mutta tämän vuoden lopulla niiden pitäisi ilmestyä *The Holocene* -sarjan puulustotutkimuksille omistetussa erikoisnumerossa.

- Baillie, M. G. L. (1995): *A slice through time. Dendrochronology and precision dating*. B.T. Batsford, London, 176 s.
- Briffa, K.R. and Jones, P.D. (1990): "Basic chronology statistics and assessment". Teoksessa Cook, E. & Kairiukstis, L. (eds.), *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*: 137-152. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Eronen, M. (1979): "The retreat of pine forest in Finnish Lapland since the Holocene climatic optimum: a general discussion with radiocarbon evidence from subfossil pines". *Fennia* 157/2, 93-114.
- Eronen, M. and Huttunen, P. (1987): "Radiocarbon-dated subfossil pines from Finnish Lapland". *Geografiska Annaler* 69A(2), 297-304.
- Eronen, M. and Huttunen, P. (1993): "Pine megafossils as indicators of Holocene climatic changes in Fennoscandia". *Paläoklimaforschung – Palaeoclimate Research* 9, 29-40.
- Eronen, M., Hyvärinen, H. & Zetterberg, P. (1999): "Holocene humidity changes in northern Finnish Lapland inferred from lake sediments and submerged Scots pines dated by tree rings". *The Holocene* 9, 569-580.
- Eronen, M. and Zetterberg P. (1996): "Climatic Changes in Northern Europe Since Late Glacial Times, with special reference to dendroclimatological studies in northern Finnish Lapland". *Geophysica* 32, 35-60.
- Fiedrich, M., Kromer B., Spurk, M., Hofman, J. & Kaiser, K. F. (1999): "Paleoenvironment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies". *Quaternary International* 61, 27-39.
- Fritts, H.C. (1976): *Tree rings and climate*. Academic Press, London. 567 s.
- Brown, P. M., Hughes, M. K., Baisan, C. H., Swetnam, T. W., & Caprio, C. (1992): "Giant sequoia ring-width chronologies from the central Sierra Nevada, California". *Tree-Ring Bulletin* 52, 1-14.
- Hustich, I. (1940): "The Scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades". *Acta Botanica Fennica* 42, 1-75.
- Lindholm, M. and Eronen, M. (2000): "A reconstruction of mid-summer tempera-

- tures from ring-widths of Scots pine since AD 50 in northern Fennoscandia". *Geografiska Annaler* 82 A, 527-535.
- Lindholm, M., Eronen, M., Timonen, M. and Meriläinen, J. (1999): "A ring-width chronology of Scots pine from northern Lapland covering the last two millenia". *Annales Botanici Fennici* 36, 119-126.
- Mielikäinen, K., Nöjd, P., Pesonen, E. and Timonen, M. (1998): "Puun muisti". *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 703, 1-71.
- Schulman, Edmund (1958): "Bristlecone Pine, Oldest Known Living Thing". *National Geographic* 113, 335-372.
- Schweingruber, F. H. (1988): *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers.
- Schweingruber, F. H. (1996): *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Haupt, 609 s.
- Zetterberg, P., Eronen, M. and Briffa, K. (1994): "Evidence on climatic variability and prehistoric human activities between 164 B.C and A.D. 1400 derived from subfossil Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) found in a lake in Utsjoki, northernmost Finland". *Bulletin of the Geological Society of Finland* 66, 107-124.

*Kirjoittaja on geologian ja paleontologian professori Helsingin yliopistossa. Kirjoitus perustuu esitelmään Suomalaisen Tiedeakatemian istunnossa 11.2.2002.*