

Matti Eronen, Markus Lindholm ja Pentti Zetterberg

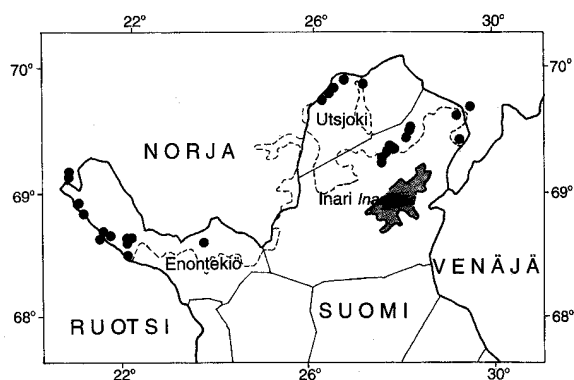
Pitkäaikaiset ilmastonvaihtelut Lapin mäntykronologioiden mukaan

Johdanto

Mänty alkoi levitä Skandinaviaan ja Suomeen yli 9 000 vuotta sitten ja pohjoiseen Lappiin se vaelsi tuhatkunta vuotta myöhemmin. Samantien männyn kasvualue eteni nykyistä mäntyrajaa pohjoisemmaksi ja tunturien rinteillä nykyistä yleemmäksi. Mäntymetsien jääkauden jälkeinen kehitys Lapissa tunnetaan hyvin siitepölytutkimusten sekä lahoamatta säilyneiden männynrunkojen ja -kantojen perusteella (Hyvärinen 1976, Eronen ja Huttunen 1993, Eronen ja Zetterberg, painossa).

Metsänrajavyöhykkeen pikku järvissä ja soissa säilyneistä mäntyjen rungoista on kerätty useiden viime vuosien ajan näytekiekkoja dendrokronologisia tutkimuksia varten. On tavallista, että puut ovat kasvaneet pikku järvien rannoilla ja kaatuneet sitten veteen. Niiden entiset kasvupaikat ovat kuitenkin nykyisin usein veden peitossa. Ilmasto on Pohjois-Lapissa muuttunut aikaisempaa kosteammaksi viimeisen 5 000 vuoden aikana ja järvien vedenpinnat ovat sen johdosta yleisesti kohonneet (Hyvärinen ja Alhonen 1994). Samalla ilmasto on viilennyt pari astetta jääkauden jälkeisestä suotuisimmasta vaiheesta (Eronen 1990). Kerätty mäntyaineisto antaa monipuolista uutta tietoa luonnonolojen kehityksestä pohjoisessa metsänrajavyöhykkeessä, mutta tutkimusten tärkein tavoite on ollut

Matti Eronen toimii Helsingin yliopiston geologian laitoksella, **Markus Lindholm** Joensuun yliopiston Saima-ekotieteet -yksikössä Savonlinnassa ja **Pentti Zetterberg** Joensuun yliopiston Karjalan tutkimuslaitoksessa.



Kuva 1. Subfossiilisten mäntyjen löytöpaikat on merkitty kartalle pistein. Katkoviiva osoittaa mäntymetsän rajaa.

menneisyyden lämpötilojen vaihtelujen rekonstruointi männyn vuosilustojen paksuusvaihtelujen pohjalta. Männyn sädekasvua säätelee metsänrajavyöhykkeessä hyvin voimakkaasti kesän ja erityisesti heinäkuun lämpötila (Briffa ym. 1990, 1992, Lindholm 1995). Kasvunvaihtelu on lisäksi yleensä varsin samanlaista laajalla alueella, joten vuosilustosarjat on useimmiten helppo rinnastaa toisiinsa eli ristiinajoittaa silloin, kun yhteistä kasvuaikaa on ollut vähintään 50–100 vuotta. Mänty on verraten pitkäikäinen puu, joka voi elää Lapin metsänrajavyöhykkeessäkin joitakin satoja vuosia. Tutkituista subfossiilisista puista vanhin oli vuosilustolas-kun mukaan elänyt ainakin 526 vuotta.

Ristiinajoitusten avulla on onnistuttu nyt rakentamaan yhtäjaksoinen vuosilustosarja nykyajasta



Kuva 2. Tältä näyttää vedenalainen puumaailma sukeltajan silmin. Joskus subfossiiliset rungot makaavat hiekkaisella pohjalla siten, että ne ovat vapaasti välivedessä. Tällöin niiden subfossiilinen ikä jää vain muutama satoihin vuosiin. Kuva Mauri Timonen.

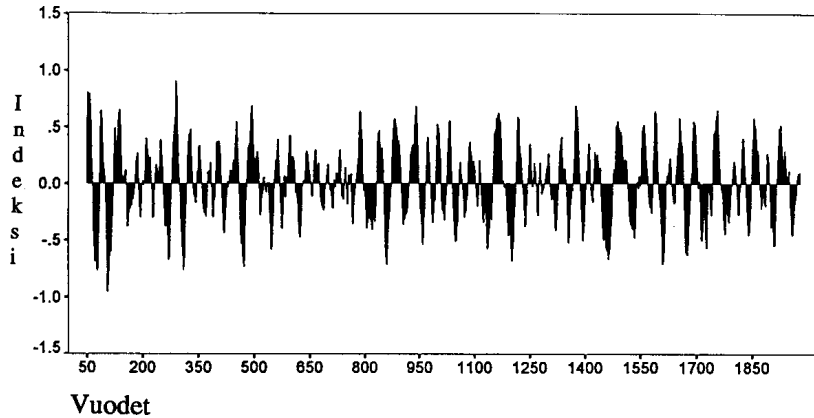
vuoteen 165 eKr. Tämä pääosin Utsjoelta kerättyyn aineistoon perustuva kronologia on kytketty ajanlaskuun elävistä männyistä ja vanhojen rakennusten hirsistä kairattujen näytteiden avulla. ”Absoluuttisen” osan perässä lustokalenterissa on 200–250 vuoden pituinen aukko, jonka jälkeen yhteinäistä vuosilustosarjaa jatkuu aina noin 5500 eKr. saakka eli noin 7 500 vuoden päähän nykyajasta. Näytekiekkoja on kalenterin tekoa varten koottu Lapista toistaiseksi noin 1 500 ja yli tuhat niistä on saatu kytketyksi näihin pitkiin kronologioihin. Esi-kristillisen ajan pitkä aikasarja on saatu kytketyksi kalenterivuosiin kalibroittujen radiohiiliajoitusten avulla, joita on tehty useista kronologian rakentamisessa käytetyistä subfossiilisista puista. Nykyajasta alkava yli 2 000 vuoden pituinen lustokäyrä osoittaa paksuuskasvun vaihtelut vuoden tarkkuudella (Zetterberg ym. 1994), mutta vanhempi pitkä kronologia ”leijuu” muutaman kymmenen vuoden

virherajojen sisällä (Zetterberg ym., painossa, Eronen ja Zetterberg, painossa).

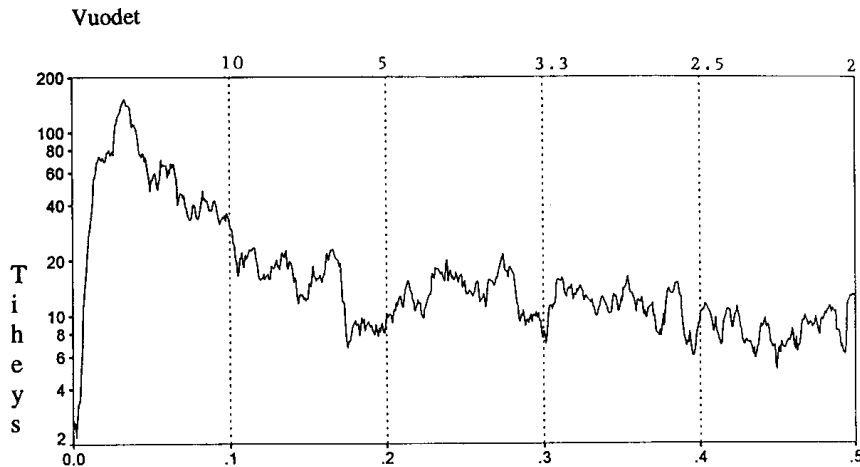
Kenttä- ja laboratoriotutkimukset

Suurin osa aineistosta on kerätty pienistä järivistä, joista sukeltaja on etsinyt puut. Osa niistä on ollut rannaltakin käsin näkyvissä, mutta suurin osa on ollut hautautuneena liejuiseen sedimenttiin, josta rungot on voitu löytää vain pehmeää liejua polkemalla. Joko miesvoimin tai vinssin avulla rannalle kiskottujen runkojen tyvipuolesta on sahattu yleensä 5–10 sentin paksuinen näytekiekko moottorisahalla. Sen jälkeen rungot on heitetty tai työnnetty takaisin rantaveteen.

Laboratoriossa näytteiden on ensin annettu hitaasti kuivua ja sen jälkeen tutkittavat pinnat on hiottu. Lustonpaksuuden vaihtelut on mitattu sa-



Kuva 3. Utsjoen lustokronologia, jossa matalan taajuuden vaihtelua on korostettu 20 vuoden painotetulla liukuvalla keskiarvolla. Pohjoisen metsänrajan mäntyjen kasvun kannalta edulliset ja epäedulliset jaksot erottuvat poikkeamina keskiarvosta.



Kuva 4. Utsjoen kronologian jaksollisten vaihtelujen kirjo. ”Tiheys” kuvaas syklien voimakkuutta kullakin frekvenssillä. Vaaka-asteikon ylemmät luvut osoittavat syklien pituuksia vuosina ja alemmat luvut frekvenssejä (sykli/vuosi).

dasosamillimetrin tarkkuudella ja tiedot syötetty tietokoneelle, jolla on testattu käyrien tilastolliset yhteensopivuudet. Ristiinajoitus on kuitenkin lopullisesti varmistettu silmin tehtävällä tarkastelulla.

Aineistonanalysointi

Vanha kelluva kronologia on toistaiseksi olemassa

vasta lustonpaksuuden vaihtelua osoittavana ”raakana” aineistona (Eronen ja Zetterberg, painossa). Absoluuttisen osan kasvunvaihtelusta on julkaistu yksityiskohtainen kuvaus (Zetterberg ym. 1994) ja tässä esitellään lyhyesti siitä tehtyjen lisätutkimusten tuloksia.

Lustoissa ilmenevää sädekasvun vaihtelua tutkittiin standardoimalla lustosarja ns. splineillä sekä tasoittamalla vuotuiset vaihtelut 20 vuoden painotetuiksi liukuviksi keskiarvoiksi. Splineien avulla

tehdyssä standardoinnissa käännepeiste oli asetettu 67 %:n kohdalle eli siinä laskettiin mukaan merkittävimmät kaksi kolmasosaa kunkin erillisen mittausarjan osoittamasta vaihtelusta (Cook ja Peters 1981, Cook ym. 1990). Splineillä tehdyn indeksoinnin jälkeen laskettiin keskiarvofunktio eli tasoitettu lustokronologia (Fritts 1976, Cook ym. 1990).

Kuvassa 3 näkyy Utsjoen yli 2 000 vuotta pitkä kronologia, joka on tasoitettu yllä kuvatulla tavalla 20 vuoden painotetulla liukuvalla keskiarvolla. Kuvan asteikko osoittaa keskihajontayksikköjä, poikkeamia koko sarjan keskiarvosta. Tällaisella suodattimella käsitellyssä kronologiassa painottuvat nimenomaan 20 vuoden ja sitä pidempien ajanjaksojen vaihtelut. Kuvasta ilmenevät pohjoisen metsänrajan mäntyjen kasvun kannalta edulliset ja epäedulliset ajanjaksot.

Lustokronologiassa esiintyvien, vuosittaisia vaihteluita pidempien trendien sekä mahdollisen jaksollisuuden ja syklistyyden analysoinnissa käytetään yleisesti kahta menetelmää; edellä esillä ollutta käyrän tasoittamista liukuvan keskiarvon avulla sekä spektrianalyysiä (Burroughs 1994).

Spektrianalyysin avulla voidaan tutkia niitä biologisia ja tilastollisia suhteita, jotka mahdollisesti aiheuttavat jaksollisuutta kasvua säätelevissä ympäristötekijöissä (Burroughs 1994, Mazepa 1990). Tässä käytetty spektrianalyysin muoto kuvaa tiheysfunktion (engl. spectral density function) avulla niiden syklien frekvenssejä eli taajuuksia, jotka tulevat esille lustokronologiassa. Kuvassa 4 näkyy Utsjoen kronologian osoittama eripituisten syklien voimakkuus taajuuden funktiona. On syytä huomata, että tässä esiintyvät frekvenssit vastaavat syklistyyttä kahden vuoden jaksoista eteenpäin, ilman että jaksollisuutta olisi karsittu pisimmästä päästä. Korkein frekvenssi 0,5 sykliä vuodessa vastaa kahden vuoden periodisuutta ja matalammilla taajuuksilla esimerkiksi frekvenssi 0,05 vastaa 20 vuoden periodisuutta.

Burroughs (1994) on vertaillut laajasti lustoaineistoista tutkittuja ilmastollisia proksitietoja ja havainnut yleisesti syklistyyden keskittymistä noin kolmen, neljän sekä viiden ja seitsemän vuoden jaksoille. Kyseisistä aineistoista on löytynyt tukeaa myös 11 vuoden jaksollisuuden esiintymiselle, mutta samalla vieläkin enemmän todisteita noin 20

vuoden periodisuuksien löytymisestä. Burroughs (1994) ei kuitenkaan erottele näissä yhteyksissä usein esitettyjä 18,6 vuoden lunaarista sykliä ja 22 vuoden kaksinkertaista auringonpilkkusykliä. Kuvassa 4 periodisuus painottuu selvästi matalien taajuuksien puolelle. Diagrammissa voidaan erottaa jonkinlaista säännöllisen vaihtelun keskittymistä joillekin edellä mainituille jaksoille, mutta se ei ole mitenkään selvää eikä tilastollisesti merkitsevää. Jatkotutkimuksissa voidaan yrittää löytää lisävalaistusta kysymykseen mahdollisesta syklistyydestä poistamalla matalamman taajuuden vaihtelua, jolloin lyhyemmät vaihtelut korostuvat.

Johtopäätökset

Lapin metsänrajavyöhykkeestä koottujen subfossiilisten mäntyjen avulla rakennettu pitkä lustokronologia antaa merkittävää tietoa jääkauden jälkeisen ajan ilmastovaihteluista. Tässä kirjoituksessa on tarkasteltu yli 2 000 vuoden pituista kronologiaa nimenomaan siltä kannalta, paljastuuko siitä merkittävää ilmaston syklistä vaihtelua. Toistaiseksi sellaista ei ole löytynyt. Jonkinlaista jaksollisuutta kuitenkin ilmenee ja onkin todennäköistä, että ajoittain saattaa ilmastovaihtelu ikään kuin tarttua johonkin maapallon systeemiin kuuluvaan periodiseen muuttujaan. Kaoottisesti käyttäytyvä ilmastosysteemi ei kuitenkaan pysyvästi jää heilahtelemaan jonkin heikosti vaikuttavan tekijän tahdissa, vaan irtaantuu siitä ja voi taas seurata jonkin aikaa jotain muuta tahdittajaa. Näin tietyt syklistyydet tulevat ja menevät eikä niillä näytä olevan ilmaston kokonaisvaihtelun kannalta suurta merkitystä. Tutkimuksia ja syklien etsintää kuitenkin vielä jatketaan, koska lustokronologioita ollaan kehittelemässä yhä paremmiksi liittämällä niihin uusia puita. Jaksollisuuksia tullaan analysoimaan myös yli 5 000 vuoden pituisesta "leijuvasta" kronologiasta.

Kirjallisuus

Briffa, K.R., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Jones, P.D., Karlén, W., Schweingruber, F.H. & Zetterberg, P. 1990. A 1400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. *Nature* 346: 434–439.

- , Bartholin, T.S., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., Karlén, W., Zetterberg, P. & Eronen, M. 1992. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes in short and long timescales. *Climate Dynamics* 7: 111–119.
- Burroughs, W.J. 1994. *Weather cycles: real or imaginary?* Cambridge University Press. 201 p.
- Cook, E.R. & Peters, K. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree Ring Bulletin* 41: 45–53.
- Cook, E., Briffa, K., Shiyatov, S. & Mazepa, V. 1990. Tree-ring standardization and growth-trend estimation. In: Cook, E. & Kairiukstis, L. (eds.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 104–122.
- Eronen, M. 1990. Muuttuva ilmasto. *Terra* 102: 220–238.
- & Huttunen, P. 1993. Pine megafossils as indicators of Holocene climatic changes in Fennoscandia. *Paläoklimaforschung – Palaeoclimate Research* 9: 29–40.
- & Zetterberg, P. (painossa): Climatic changes in northern Europe since the late glacial times, with special reference to dendroclimatological studies in northern Finnish Lapland. *Geophysica*.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London. 567 p.
- Hyvärinen, H. 1976. Flandrian pollen deposition rates and tree-line history in northern Fennoscandia. *Boreas* 5: 163–175.
- & Alhonen, P. 1994. Holocene lake-level changes in the Fennoscandian tree-line region, western Finnish Lapland: diatom and cladoceran evidence. *The Holocene* 4: 251–258.
- Lindholm, M. 1995. Reconstruction of growing season temperature from ring-width chronologies of Scots pine at the northern forest limit in Fennoscandia. *Lisensiaatin tutkielma. Joensuun yliopisto, biologian laitos*. 125 s.
- Mazepa, V. 1990. Spectral approach and narrow band filtering for assessment of cyclic components and ecological prognoses. In: Cook, E. & Kairiukstis, L. (eds.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 302–308.
- Zetterberg, P., Eronen, M. & Briffa, K.R. 1994. Evidence on climatic variability and prehistoric human activities between 165 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.
- , Eronen, M. & Lindholm, M. (painossa). Construction of a 7500-year tree-ring record for Scots pine in northern Fennoscandia and its application to growth variation and palaeoclimatic studies. In: Spiecker, H. & Mielikäinen, K. (eds.). *Growth trends of European forests – has site productivity changed?* Springer Verlag.