

Muinaispuut ennustavat SUOMI VOI VIILETÄ

Vaikka maapallon keskilämpötila nousee, paikallisilmasto voi tarjota kylmää kyytiä. Pohjoinen asuinpiirimme on viilentynyt koko ajanlaskumme ajan. TEKSTI *Kari Mielikäinen* KUVA *Hannu Herva* GRAFIikka *Matti Berg*

Ulkista ilmastokeskustelua häiritsee puhuminen ilmaston lämpenemisestä ilman, että kerrotaan, mistä lämpötilasta on kyse. Maanpinnan, merien ja ilmakehän lämpötila ovat suureita, jotka muuttuvat kaiken aikaa. Niitä on hankala mitata, ja tulosten yleistäminen koko maailmaan on lähes mahdoton tehtävä.

Kun Suomessa ja muualla Fennoskandiassa suunnitellaan varautumista ilmastonmuutokseen, maapallon keskilämpötilan ennakointi ei riitä. Globaaleja keskiarvoja tärkeämpää on seurata paikallisia trendejä

ja tutkia, miten ilmasto on täällä ennen käyttäytyneet ja mihin suuntaan se mahdollisesti matkaa.

Tässä avuksi tulevat puiden vuosirenkaista eli vuosilustoista luodut aikasarjat, lustokalenterit, jotka sisältävät vuodentarkkaa tietoa menneistä sääoloista. Yksi maailman pisimmistä kalentereista löytyy meiltä Suomesta. Se on koottu Lapin männyistä ja kattaa 7 640 vuotta, lähes koko viime jääkauden jälkeisen ilmastohistorian. Se kertoo tarinoita, jotka eivät sovi yksioikoiseen julistukseen siitä, että ilmasto Suomessa olisi muuttunut ennen kokemattomalla tavalla.

Hiili hallitsee, Aurinko puuttuu

Hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n mukaan ilmaston nykyinen lämpeneminen johtuu lähinnä ilmakehän hii-

lidioksidipitoisuuden noususta. Ilmakehän ohella maapallon lämpötilaa säättävät kuitenkin myös Auringon aktiivisuus, valtamerien virtaukset ja maapallon pyörimisakselin asento. Ne kaikki ovat syklisiä ilmiöitä eli vaihtelevat jaksoissa.

Huomionarvoista on, että ilmastopaneelin ilmastomalleista puuttuvat Auringon pitkän aikavälin muutokset. Tähdellämme ei uskota olevan sijaa nykyisessä lämpenemiskeskityksessä. Säteilyn osuudeksi on arvioitu vain 1,5 prosenttia. Varmimpana todisteena merkityksettömyydestä pidetään sitä, että maapallon keskilämpötila ja Auringon aktiivisuus ovat muutaman vuosikymmenen ajan kulkeneet eri suuntiin: lämpötila nousee, vaikka Aurinko lepäilee. Tämä ei kuitenkaan ole koko totuus.

Lustokalenterit ovat ensi kertaa tarjonneet mahdollisuuden Auringon pitkän ajan seurantaan. Tulokset yllättävät.

Aktiivisuus näkyy lustoissa

Max Planck -instituutissa Saksassa työskentelevä **Sami Solanki** on selvittänyt Auringon aktiivisuutta ilmentävien auringonpilkkujen määrän 11 000:n viime vuoden ajalta. Hän on käyttänyt apunaan hiilen radioaktiivista C14-isotooppia, jonka määrä ilmakehässä ja siten myös puiden vuosilustoissa vaihtelee Auringon aktiivisuuden mukaan. Mitä aktiivisempi tähtemme on, sitä vähemmän lustoon kertyy kosmisen säteilyn tuottamaa radioaktiivista hiiltä. Aktiivinen Aurinko tehtailee paljon aurinkotuulta, joka suojaa planeettaamme kosmiselta säteilyltä.



Terveiset ilmastomuutoksesta 6 000 vuoden takaa. Silloin jopa Tunturi-Lapissa humisivat mäntymetsät. Tutkija Mauri Timonen nostaa todisteen Enontekiön Pöyrisjärvestä.



Solangin tutkimus osoittaa, että Aurinko on 1900-luvulla ollut aktiivisimmillaan yli 8 000 vuoteen. Auringonpilkkujen määrä tasaantui vasta pari vuosikymmentä sitten, ja laskuun se on kääntynyt ihan viime vuosina.

Kun vuosilustoista arvioituja heinäkuun lämpötiloja ja Solangin auringonpilkkusarjoja tarkastelee rinnakkain, paljastuu, että Auringon aktiivisuuden vaihtelu sopii yhteen lähes kaikkien huomattavien ilmastossa tapahtuneiden muutosten kanssa. Vertailu selittää niin keskiajan lämpökauden, pikku jääkauden kuin 1900-luvun alkupuolen lämpenemisen.

Merkittävä tässä tutkimuksessa on myös havainto, että lämpötilat ovat seuranneet Auringon aktiivisuuden muutoksia usean vuosikymmenen viiveellä. Viiveen arvellaan johtuvan meristä, jotka toimivat eräänlaisena jarruna ilmastomuutoksissa.

Vedelle ominaisen suuren lämpökapasiteetin ja lämmönsidontakyvyn vuoksi meret reagoivat Auringon aktiivisuuden muutoksiin hitaammin kuin ilma. Auringon ollessa aktiivinen meret varastoivat lämpöä. Kun aktiivisuus hiipuu, niistä siirtyä lämpöä ilmakehään vielä pitkään. Vastaavasti aktiivisuuden taas voimistuessa vie aikansa, ennen kuin meret ovat uudelleen lämmenneet. Tämä hitaus voi selittää sen, ettei maapallon keskilämpötila ole kääntynyt laskuun, vaikka Aurinko on ollut hiljainen.

Auringon vaikutus maapalloon riippuu myös maapallosta itsestään. Jugoslavalainen astrofysikko **Milutin Milanković** havaitsi 1940-luvulla, että Maan akselin kallistuskulma vaihtelee 22:n ja 24 asteen välillä 41 000 vuoden jaksoissa. Tämä vaikuttaa eteläiselle ja pohjoiselle pallonpuoliskolle kohdistuvan säteilyn määrään ja synnyttää ilmastoon jaksollista vaihtelua.

Parhaillaan akseli kallistaa pohjoista pois päin Auringosta, ja tämä näkyy lustoissa. Niiden perusteella Fennoskan-

dian kesien keskilämpötila on 2 000:n viime vuoden aikana viilentynyt 0,6 astetta. Lustot eivät osoita trendinomaista lämpenemistä tapahtuneen edes 1900-luvulla.

Meret keskeisessä asemassa

Paikallisten ilmastojen synnyssä keskeisessä asemassa ovat merien sääilmiot, ja niitäkin ilmastopaneelin mallit ottavat riittämättömästi huomioon. Prosessit ovatkin mutkikkaita ja osin jopa tuntemattomia.

Tyynellämerellä ja Atlantilla toimii useita laaja-alaisia sääilmiöitä, jotka aika ajoin muuttavat merien pintalämpötiloja, virtauksia ja tuulia ja niiden kautta ilmastoa. Jäljet näkyvät lustoissa ympäri maailman, mutta merkeistä on vaikea tehdä yksiselitteisiä päätelmiä.

Erityisen hankalaa on mallintaa ilmaston vaihtelua Fennoskandiassa, sillä kolkkamme sijaitsee kostean Atlantin ja kuivan Euraasian siirtymävyöhykkeellä. Selvää kuitenkin on, että täällä tuntuvat Pohjois-Atlantin toistuvat säävaihtelut. Pohjois-Atlantin oskillaatioksi kutsuttu ilmiö näkyy voimakkaimmin tuulissa. Kun oskillaatio voimistuu, länsituulet yltyvät ja tuovat tänne lauhjoja talvia ja pilvisiä kesäiä. Kun oskillaatio heikentyy, itäiset ja pohjoiset tuulet yleistyvät ja tarjoavat erityisesti itäsuomalaisille intiaanikesiä ja tulipalopakkasia.

Ilmastoamme säättää myös Pohjois-Amerikasta Jäämerelle kulkeva lämmin Golfvirta. Lapin lustokalenteri ja Englannin rannikolta kairatut merenpohjan sedimentit osoittavat, että virta muuntelee voimakkuuttaan jaksottain ja aiheuttaa hyvinkin pitkiä lämpöisiä ja kylmiä kausia. Keskiajan lämpökaudella Golfvirta oli voimakas ja pikku jääkaudella heikko.

Metsää kasvattaa hoito

Jotkut ovat jo näkevinään ilmastomuutoksen merkkejä myös metsissä, sillä metsien kokonaiskasvu niin Suomessa kuin Euroopassa on paikoitellen jopa kaksinkertaistunut 1970-luvulta alkaen.

Kasvun syitä on tutkittu Euroopan laajuisesti Metsäntutkimuslaitoksen ja Freiburgin yliopiston johdolla vuodesta 1992. Ensimmäiset tulokset osoittivat, että Keski-Euroopan koskemattomissa luonnonmetsissä puiden kasvu oli lisääntynyt koko 1900-luvun mutta Fennoskandian ja Venäjän Karjalan metsissä näin ei ollut käynyt. Vanhat puut kasvoivat samaan tahtiin kuin samanikäiset puut vuosisadan alkupuolella. Tutkijat päättelivät, että Keski-Euroopan nopeutuneen kasvun selitti metsämaiden viljavuuden paraneminen, mikä johtui pääosin liikenteen ja maatalouden typpipäästöistä. Sen sijaan Suomen talousmetsissä havaittu kokonaistuotoksen kaksinkertaistuminen aiheutuu metsien hoidosta ja metsien ikärakenteen muutoksista.

Mahdollisen ilmastomuutoksen havaitsemiseksi tutkimus uusittiin Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuonna 2008. Luonnonsuojelualueilla rauhassa kasvaneet männyt eivät edelleenkään osoittaneet kiihtyvää kasvua.

Se, ettei luonnontilaisten puidemme kasvussa näy merkkejä ilmaston trendinomaisesta muutoksesta, johtuu siitä, etteivät kasvukauden aikaiset lämpötilat ja sademäärät ole toistaiseksi muuttuneet. Kesät lämpenivät 1800-luvun lo-

LÄMPÖKAUSI PÄÄTTYI KYLMÄÄN KAUTEEN

Kun jääkausi noin 10 000 vuotta sitten päättyi, pohjassa lämpeni selvästi. Noin 6 000 vuotta sitten Lapin kesät olivat 2,6 astetta nykyistä lämpimämpiä ja koivua ja mäntyä kasvoi runsaasti kaukana nykyisen metsänrajan takana.

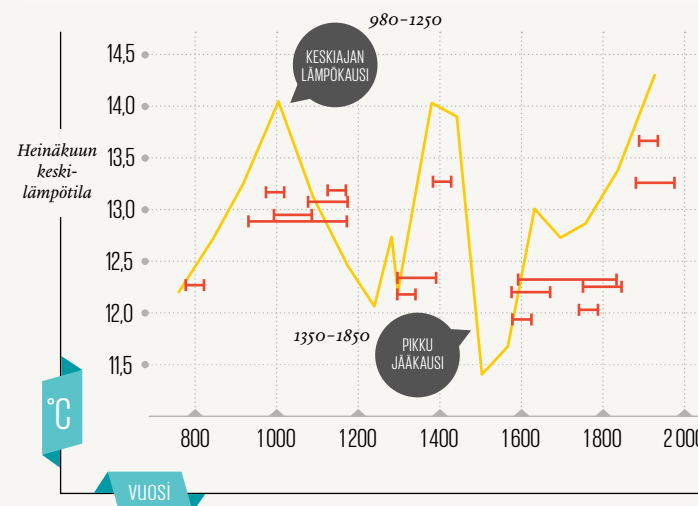
Lähihistoriamme tunnetuin ilmastomuutos on tuhannen vuoden takainen keskiajan lämpökausi. Puulustoista arvioiden lämpimintä, noin asteen lämpimämpää kuin 1900-luvun loppupuolella, oli vuosina 931-1180. Ajanjakso oli niin suotuisa, että grönlantilaiset ja islantilaiset ryhtyivät viljelemään maata ja kasvattamaan karjaa. Englantilaiset tuottivat viiniä, oululaiset ja kainuulaiset vehnää.

Lämpökausi päättyi 1300-luvulla, kun keskilämpötila vajosi lähes kaksi astetta ja alkoi pikku jääkauteksi tunnettu kylmä jakso. Islanti ja Grönlandi autoituivat, mustasurma tappoi miljoonia ihmisiä Euroopassa, ja toistuvat katovuodet vähensivät useaan otteeseen väkeä Suomessa.

Euroopassa pikku jääkausi hellitti 1800-luvun puolivälissä, mutta Suomessa se päättyi vasta 1900-luvun alussa, kun ilmasto käänsi päälle lämpenemisvaihteen neljäksi vuosikymmeneksi.

GOLFFVIRTA NOSTAA JA LASKEE

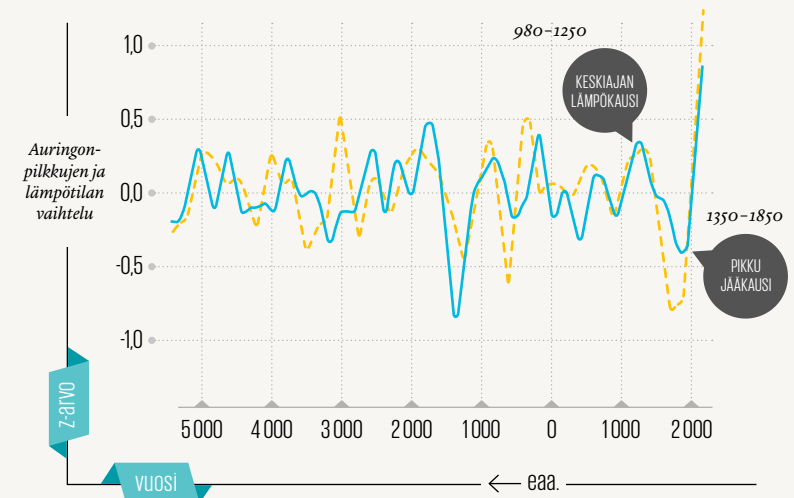
Pohjasedimenteistä arvioitu Golfvirran voimakkuus
Lustoista arvioituja 50:n, 100:n ja 250 vuoden lämpö- ja kylmäkausia



Pohjois-Atlantin pohjasta kairatut sedimentit kertovat, että Golfvirta on tuonut Lappiin sekä lämpimiä että kylmiä kesäiä. Kun kierto on voimistunut, kesät ovat olleet vuosikymmenien tai vuosikymmenten ajan keskimääräistä lämpimämpiä, kun se on hidastunut, säät ovat viilentyneet. Lämpimien 250 vuoden jakso osuu keskiajan lämpökaudelle ja kylmin pikku jääkaudelle. Lyhytaikaisempia 50:n ja 100 vuoden lämpöjaksoja on esiintynyt vuoden 1000 tienoilla ja 1400- ja 1900-luvulla.

LÄMPÖTILA SEURAILEE AURINKOJA

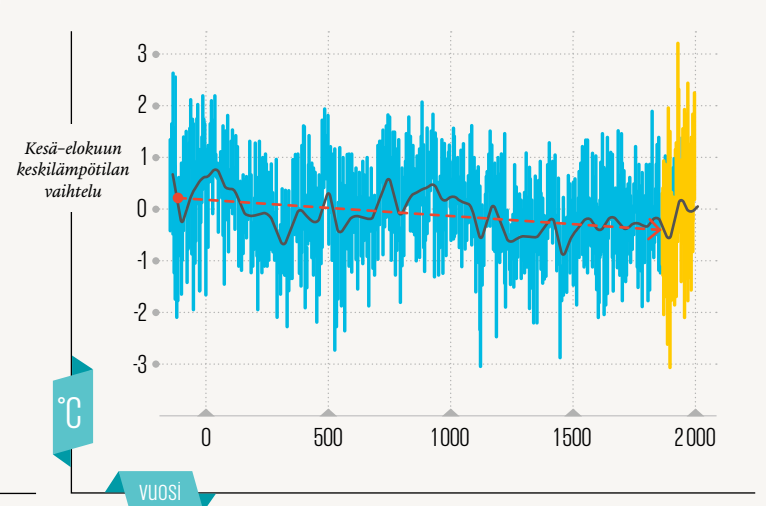
Lustoista arvioitu Auringon aktiivisuus
Lustoista arvioitu lämpötila



Lustokalenteri kertoo, että Lapin kesien lämpimyyttä on ohjailut Aurinko. Muutos tähtemme aktiivisuudessa käy yksin jääkauden jälkeisen lämpenemisen, keskiajan lämpökauden, pikku jääkauden ja 1900-luvun alkupuolen lämpenemisen kanssa. Lämpötilat ovat kuitenkin muuttuneet usean vuosikymmenen viiveellä. Syy lienee valtamerissä, jotka lämpökapasiteetillaan loiventavat ilmaston muutoksia.

MAAPALLO VILENTÄÄ ITSE

Lustoista arvioitu lämpötila
Sääasemilta mitattu lämpötila
Lämpötilan vaihtelu 100 vuoden jaksoissa
Lämpötilan pitkän aikavälin muutostrendi

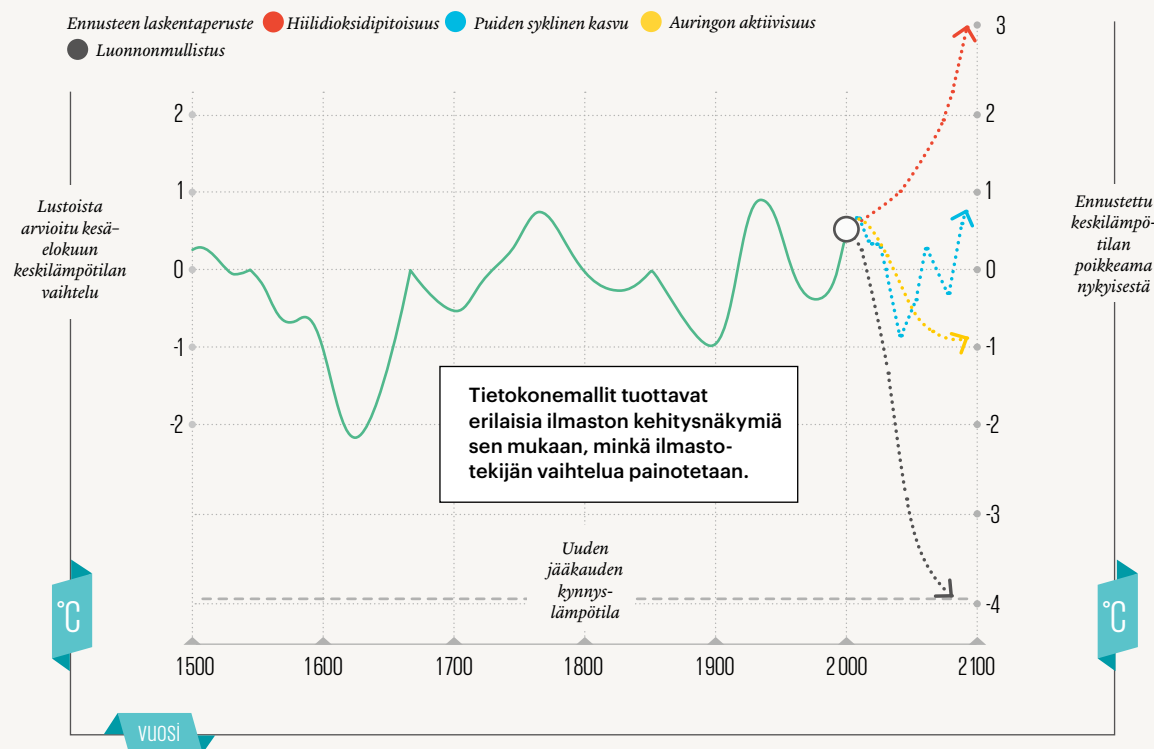


Maapallon pyörimisakseli vaihtaa kallistuskulmaansa ja kääntää pohjoista pallonpuoliskoa pois päin Auringosta. Lämpökaisista huolimatta käännös on viilentänyt Fennoskandian ajanlaskumme alusta asti. Lustokalenterin mukaan lämpötila on pudonnut 0,3 astetta vuosituhanneissa. Lapissa on siis nyt 0,6 astetta viileämpää kuin 2 000 vuotta sitten. Lyhyemmät, 30 vuoden poikkeamat pitkän ajan trendistä mahtuvat noin kahden asteen haarukkaan.

Lähteet: Helama, S. et al., Sub-Milankovitch solar forcing of past climates. Geological Society of America Bulletin, 2010; Helama, S. et al., Summer temperature variations in Lapland, Journal of Quaternary Science, 2009; Esper, J. et al., Orbital forcing of tree-ring data. Nature Climate Change, 2012.

Pohjoista ilmastoa säättää vahvasti Atlantti.

LÄMPENEE 6 VAI VIILENEE 2?



► IPCC:n hiilidioksidipohjaisten mallinnusten mukaan maapallon pintalämpötila nousee kuluvan vuosisadan loppuun mennessä 1,1– 6,4 astetta verrattuna vuosien 1980–1990 tilanteeseen. Ennuste on kaksinkertainen 6 000 vuoden takaiseen lämpenemiseen verrattuna.

Puiden syklisen kasvun ja Auringon jaksollisen aktiivisuuden pohjalta laaditut ennusteet johtavat eri tuloksiin. Ne viittaavat 1–2 asteen viilenemiseen kuluvan vuosisadan puoliväliin mennessä, mikä ankarimmillaan tarkoittaa parinsadan vuoden takaisen pikku jääkau-

den kaltaista jaksoa. Ennusteet perustuvat luontaiseen ilmastonvaihteluun ilman ihmisen vaikutusta.

Kaoottisiin tapahtumiin perustuvien ennusteiden toteutuminen edellyttää äkillistä muutosta ilmaston toiminnassa. Sellaisen voi aiheuttaa jättiläistulivuoren purkaus, Golfvirran hyytyminen tai asteroidi-isku. Tämäntyyppiset ilmiöt ovat toistuneet ennalta aavistamattomien väliajoin. Uuden jääkauden kynnyislämpötila perustuu ajatukseen siitä, että jääkauteiset lämpötilat ovat olleet vain nelisen astetta nykyistä alempia.

pulta 1930-luvulle saakka. Sitten ilmasto viileni 1960-luvulle asti. Viileää jaksoa kesti parikymmentä vuotta, minkä jälkeen lämpötilat ovat palautuneet viilenemistä edeltäneisiin lukemiin.

Tulevaisuuden ratkaisevat tuulet

Luontaista ilmastohistoriaa seuraava, tuhansien vuosien mittainen lustokalenteri vihjaa, ettei viime vuosikymmenten tai edes sadan viime vuoden ilmastokehitys anna riittä-

Täällä on uhkarohkeaa laskea lämpenemisen varaan.

vää kuvaa siitä, miten paljon ja mihin suuntaan paikallislilmastomme muuttuu.

Fennoskandiassa on jääkauden jälkeen nähty sekä nykyistä lämpimämpiä että viileämpiä kausia. Menneisyyden perusteella on jopa uhkarohkeaa laskea tasaisesti lämpenevän ilmaston varaan.

Pohjoisella pallonpuoliskolla ilmaston luontainen kehitys-suunta on 2 000:n viime vuoden ajan ollut vähittäinen viileneminen. Muutoksen taustalta löytyy ennen kaikkea maapallon akselikulman muutos, mutta ajoittain paikallislilmastomme ovat sääätäneet myös Aurinko ja ennen muuta Atlantti.

Suomessa ja koko Fennoskandiassa ilmaston tulevaakin kehitystä ohjaavat pitkälti Atlantin tuulet. Missä määrin ihmisen niihin voi vaikuttaa ja varautua, vaatii vielä paljon tutkimusta. ●

● Kari Mielikäinen on kasvu- ja tuotostutkimuksen professori Metsäntutkimuslaitoksessa.

PUUT KERÄÄVÄT ILMASTOTIETOA

Puut ovat arvokas arkisto. Ne tallentavat itseensä paisteet, sateet ja koettelemukset. Kari Mielikäinen & Matti Berg



Ympäristössä tapahtuneita muutoksia etsitään lustojen leveydestä sekä puuaineksen tiheydestä, solurakenteesta ja alkuaineiden isotoopeista.

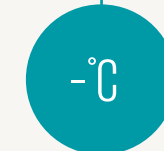
Kun puu kasvaa, sen runkoon syntyy aina uusi vuosirengas eli vuosilusto, jonka paksuuden ja koostumuksen ratkaisevat kasvuympäristön olo. Niihin vaikuttavat kaukaisetkin tapahtumat, kuten tulivuorenpurkaukset, jotka voivat sotkea säitä maapallon laajuudelta. Jos puu kuoltuaan hautautuu hapettomaan tilaan järvenpohjaan tai suohon, ympäristötieto säilyy vuosituhansia.

Vuosilustoista voidaan koota lustokalentereita niin sanotun ristiinajoituksen avulla. Menetelmä vertailee osittain samaan aikaan eläneiden puiden lustotietoa toisiinsa ja yhdistää ne kronologiseksi aikasarjaksi. Lustoja tutkitaan puufossiileista, rakennushirsistä, keloista ja elävistä puista.

Tutkijat käyttävät lustokalenteria muun muassa arkeologisten puuesineiden ajoittamiseen ja menneiden ilmasto-olojen mallinnukseen. Lähtökohdana on oletus, että säätekijät, kuten lämpötila, sateisuus, pilvisuus ja tuulensuunta, ovat vaikuttaneet puihin samalla lailla vuosituhansien ajan. Mallinnuksessa ovat apuna säätilastot, joita meillä on kattavasti kerätty 1880-luvulta asti. Tulosten käyttökelpoisuutta lisää se, että lustotietoa voi verrata jäätiköistä, merien pohjasedimenteistä ja soista kerättyyn vastaavaan tietoon.



Luston leveys kertoo kasvukauden sääoloista.



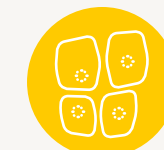
Pohjoisessa ratkaisee eniten lämpötila: lämmin kesä tuottaa leveän luston, koea kapean.



Etelässä painaa sademäärä: kostea kesä tuottaa leveän luston, kuiva kapean.



Puuaineen tiheys kertoo samoja asioita kuin luston leveys, mutta on tunteettomampi tulosten tulkintaa vaikeuttaville ympäristötekijöille.



Solurakenne viittaa koettelemuksiin, kuten kovaan kuivuuteen, tulipalopakassiin tai metsäpaloihin. Ne vaurioittavat soluja.



Alkuaineiden isotoopit kertovat Auringon aktiivisuudesta ja ympäristöoloista. Hiilen radioaktiivisen C-14-isotoopin vähyys viittaa aktiiviseen pilkkutehtailuun, runsaus lepäilyvaiheeseen.



C-13 kertoo puun yhteyttämiski-aktiivisuudesta, joka puolestaan riippuu aurinkoisuudesta. Siitä taas voidaan arvioida Atlantin sääilmiöiden vaikutuksia Fennoskandian ilmastoon.



Hapen isotooppien suhteista analysoidaan sateisuutta, ilman kosteutta ja pohjaveden vaihteluita.