

Aika luonnonmaantieteessä

OLAVI HEIKKINEN

Maantieteen laitos, Oulun yliopisto

Astronomis-kronologisessa ajanlaskussa ajan mittaaminen tapahtuu säännöllisesti toistuvien ja milteipä rajattomasti jatkuvien luonnonilmiöiden avulla. Tähän tarkoitukseen soveltuvat erinomaisesti taivaankappaleiden liikkeet.

Ajan perusmittana on pitkään käytetty vuorokautta, tarkemmin sanoen keskiaurinkovuorokautta. Vuorokauden pituus riippuu maan pyörimisnopeudesta akselinsa ympäri. On kuitenkin osoitettu, että maan pyörimisnopeus ei ole muuttumaton. Tärkein muutos on jatkuva pyörimisen hidastuminen eli vuorokauden vähittäinen piteneminen. Lisäksi on sekä jaksottaista että satunnaista heilahtelua.

Maapallon pyöriminen akselinsa ympäri hidastuu joka vuosi keskimäärin noin 0,6 sekuntia, mikä merkitsee päiväntasaajalla noin 160 metrin liikkettä (Oman 1988). Niinpä esimerkiksi 1,5 miljardia vuotta sitten maapallon pyörimisnopeus oli 2—2,5 kertaa suurempi kuin nykyisin. Vuodessa oli siis tuolloin 800—900 päivää (ks. Eronen 1980).

Niinpä kansainvälinen mitta- ja painotoimisto päätti luopua vuonna 1956 vuorokaudesta ajan perusmittana ja ottaa sen tilalle vuoden eli maan pyörimisajan auringon ympäri. Tarkemmin ilmaistuna kysessä on trooppinen vuosi sen pituisena kuin se oli keskipäivällä joulukuun 31. päivänä vuonna 1899. Lyhyempien aikayksikköjen sitomiseksi uuteen ajan perusyksikköön vahvistettiin, että trooppisessa vuodessa on 31 556 925,9747 sekuntia. Näin määritellystä ajasta käytetään nimeä efemeridiaika (Parkes & Thrift 1980:38). Trooppinen vuosi eli aurinkovuosi pysyy jatkuvasti tahdissa luonnollisen vuoden eli vuodenaikojen vaihtelun kanssa. Näin siksi, että trooppisen vuoden mittaaminen tapahtuu kevtäsauspisteen suhteen.

Edellä kerrotulla tavalla mitattu ja määriteltä todellinen eli fyysikaalinen aika on riippumaton esimerkiksi filosofis-psykologisen ajattelutavan piiriin lukeutuvasta ajantajusta, joka on ihmisten eri tavalla mieltämä subjektiivinen ilmiö. Tosin suhteellisuusteorian mukaan ei ole olemassa yksiselitteistä yhteistä aikaa.

Ihmisen elämäkokemuksissa on 50 vuotta jo hyvin pitkä aika. 100 vuoden tapahtumien oma-kohtainen kokeminen alkaa olla ihmisyksilölle

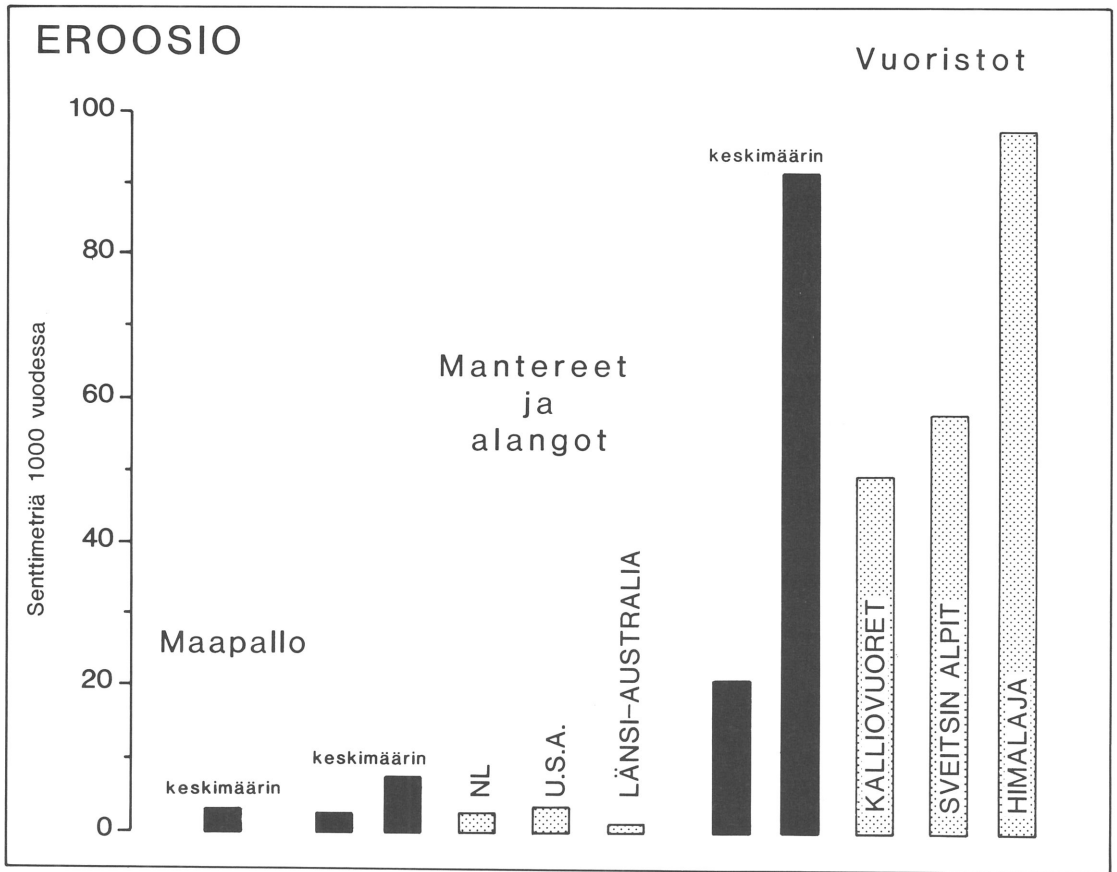
ylivoimaista. Monet luonnon prosessit ovat niin hitaita, että tuona aikana ei ehdi merkittäviä muutoksia tapahtua.

Fysikaalisen ajan, jota esimerkiksi kello ja jaksollisesti toistuvat astronomiset tapahtumat osoittavat, voidaan katsoa alkaneen jonakin tiettyä hetkenä, joksi voidaan katsoa maailmankaikkeuden synty. Sen syntyyn johtanut alkuräjähdyksen lie-nee tapahtunut suunnilleen 15 miljardia vuotta sitten. Noin miljoonasosasekunnissa universumi oli laajentunut pistemäisestä koostaan »kosmisesta munasta» aurinkokuntamme kokoiseksi. Aurinkomme alkoi loistaa noin 6 miljardia vuotta sitten. Maapallo muodostui noin 4,6 miljardia vuotta sitten. Ensimmäiset elämänmerkit ilmaantuivat noin 3,5 miljardia vuotta sitten. Hirmuliskot hävisivät yli 60 miljoonaa vuotta sitten. Ihmisen tulemisesta on kulunut muutamia vuosimiljoonia. Eroosio tasoittaa vuoristoja puolisen metriä vuosituhannessa (kuva 1). Tektoniset laatat liikkuvat muutamia senttimetrejä vuodessa.

Miten tämä kaikki voidaan tietää? Lyhyesti voidaan sanoa, että prosesseja voidaan jäljittää tarkoilla mittauksilla, analyyseillä ja laskelmilla. Ajoituksiin taas voidaan käyttää monia sekä relatiivisia että absoluuttisia menetelmiä.

Ennen kuin paneudumme tarkemmin luonnon tapahtumien ajoittamiseen, luokaamme lyhyt katsaus maailmankaikkeuden otaksuttuun syntyyn. Maailmankaikkeuden noin 15 miljardin vuoden takaisten ensiaikojen otaksutut tapahtumat (Gore 1983) ovat mm. ajallisesti puhuttelevia. Tämän mukaan 10^{-43} sekuntia alkuräjähdyksen (Big Bang) jälkeen maailmankaikkeus oli vain 10^{-28} cm:n läpimittainen ja käsittämättömän kuuma (10^{32} K). Tuntemamme teoria ei pysty selittämään alkuräjähdyttä edeltäneitä olosuhteita.

Universumin »laajenemisvaiheen» katsotaan alkaneen 10^{-35} sekuntia alkuräjähdyksen jälkeen, jolloin universumi oli kasvanut 10^{-24} cm:n kokoiseksi ja viilentynyt jo 10^{28} K:een. Energia alkoi tiivistyä materiahiukkasiksi kuten kvarkeiksi ja elektroneiksi sekä niiden peilikuviksi, antimateriaksi. »Laajenemisvaiheen» päättyessä maailmankaikkeus oli pesäpallon kokoinen.



Kuva 1. Arvioituja maanpinnan kulumisnopeuksia. Mustatut pylväät kuvaavat arvioituja eroosionopeuksia koko maapallolla ja maapallon vuoristoalueilla. Pisteytetyt pylväät kuvaavat eroosion määrän tietyissä maapallon osissa. Esitys perustuu moniin eri lähteisiin (Gregory & Walling 1973).

Miljoonasosasekunti alkuräjähdyksen jälkeen maailmankaikkeus oli saavuttanut jo aurinkokuntamme koon ja lämpötila oli laskenut 10^{13} K:een. Alentuneessa lämpötilassa kvarkit yhtyivät protoneiksi ja neutroneiksi. Materia ja antimateria tuhosivat toisiaan. Onneksi materiaa oli enemmän kuin antimateriaa; tuo ylijäämä materia muodostaa nykyisen maailmankaikkeuden materian.

Kolme minuuttia räjähdyksestä protonit ja neutronit yhtyivät atomytimiksi. Lämpötila oli noin 10^9 K. Noin 100 000 vuotta alkuräjähdyksen jälkeen, kun maailmankaikkeuden lämpötila oli enää vain 3 000 K, elektronit olivat menettäneet energiaansa niin, että ne alkoivat kiertää ytimiä muodostaen siten atomeja.

Kun aikaa oli kulunut miljardi vuotta, maailmankaikkeuden lämpötila oli 15 K; nykyäänhän se on 3 K. Maailmankaikkeus oli saamassa hil-

jalleen nykyistä ulkonäköään. Tosin esimerkiksi galaksimme syntyi vasta 10 miljardia vuotta sitten ja aurinkomme vasta noin 4 miljardia vuotta tämän jälkeen. Monien fyysikkojen käsityksen mukaan alkuräjähdyksessä syntyi vain vetyä ja heliumia. Raskaammat alkuaineet olisivat peräisin tähdissä ja supernovissa tapahtuneista ydinreaktioista. Materia, josta aurinkokuntamme syntyi, olisi siis sekoitus aikaisemmista ydinreaktioista (Huhma 1988).

Luonnon kohteiden ja tapahtumien iät ja iänmäärittäminen

On olemassa monia luonnon itsensä tarjoamia ajankäytös menetelmiä. Maapallo liikkeissään on kuin kello. Monet astronomiset tapahtumat toistuvat kellon tarkkuudella. Radioaktiiviset reaktiot mineraaleissa ja orgaanisissa aineksissa toi-

mivat nekin tarkkoina ajan osoittimina. Lisäksi on suuri määrä keinoja, joilla kerrostumien ja prosessien suhteellinen ikä voidaan osoittaa (Humblin 1982; Skinner & Porter 1987).

Luonnonlait ja niiden asenteellinen vaikutus

Miten onnistuneesti ihminen on kyennyt lukemaan kallioperästä ja sedimenttikerrostumista luonnontapahtumia ja aikaa? Tämä on riippunut suuresti mm. kulloinkin vallinneista tieteen peruskäsityksistä. Aina 1700-luvun lopulle asti maailmankaikkeuden alkuperä ja historia saivat Raamatun luomiskertomuksen mukaisen selityksen. Sen mukaan maailma luotiin 6 päivässä ja maapallon iäksi laskettiin noin 6 000 vuotta. Tähän käsitykseen, joka ei sisällä ajatusta evoluutiokehityksestä, uskovat yhäkin esimerkiksi kreationismin kannattajat. Kovin lyhyeksi tulkittua maailmankaikkeuden ikää voidaan haluttaessa pidentää raamatullisella toteamuksella: »Yksi päivä on Herran edessä niinkuin tuhat vuotta ja tuhat vuotta niinkuin yksi päivä» (Pietarin toinen kirje, 3. luku).

Jotta luominen voisi tapahtua niin kovin lyhyessä ajassa, tarvittiin — niin kuviteltiin — niin valtavan väkeviä voimia ja prosesseja, ettei sellaisille löydy vertaa nykypäivän maailmasta. Luomiskertomuksen pohjalta kehittyi katastrofismiteoria. Sen kannattaja ranskalainen Baron Georges Cuvier (1769—1832) päätteli muun muassa, että jokainen fossiilinen laji on uniikki ja esiintyy vain tietyssä kallioperäkerroksessa ja että jokainen fossiilinen laji oli erityisen luomisen tulos ja tuhoutui sitten aikanaan katastrofaalisesti (esim. Hamblin 1982:126).

Toki tuhoisia katstrofeja on maapallolla satunutkin, vaikeivät ne ole ohjailleet geologisen tai biologisen kehityksen suurimpia linjoja. Noin 65 miljoonaa vuotta sitten liitukauden ja teriäärikauden vaihteessa maapalloa koetteli suuri tuho. Yli puolet liitukauden eliösuvuista tuhoutui äkisti, hirmuliskot mukaan lukien. Tuhon syyksi uskotaan yhä vakaammin asteroidia eli komeettaa, joka iskeytyi maapallolle. Iskun voimasta valtava määrä pölyä kohosi ilmakehään. Kuumuus tuhosi metsiä ja nostatti ilmakehään sankkoja nokisia savuja. Tuhoa ilmentävästä hienon saven kerroksesta löytyykin nokihiiiltä 10 000 kertaa enemmän kuin sen ala- ja yläpuolisista kerroksista (kuva 2). Tällainen ilmakehän saaste esti miltei kaiken auringon valon pääsyn maanpinnalle moniksi kuukausiksi. Sen seurauksena maanpinnalla vallitsivat talvimaiset olosuhteet. Näissä oloissa kasvien yhteyttäminen väheni, mo-

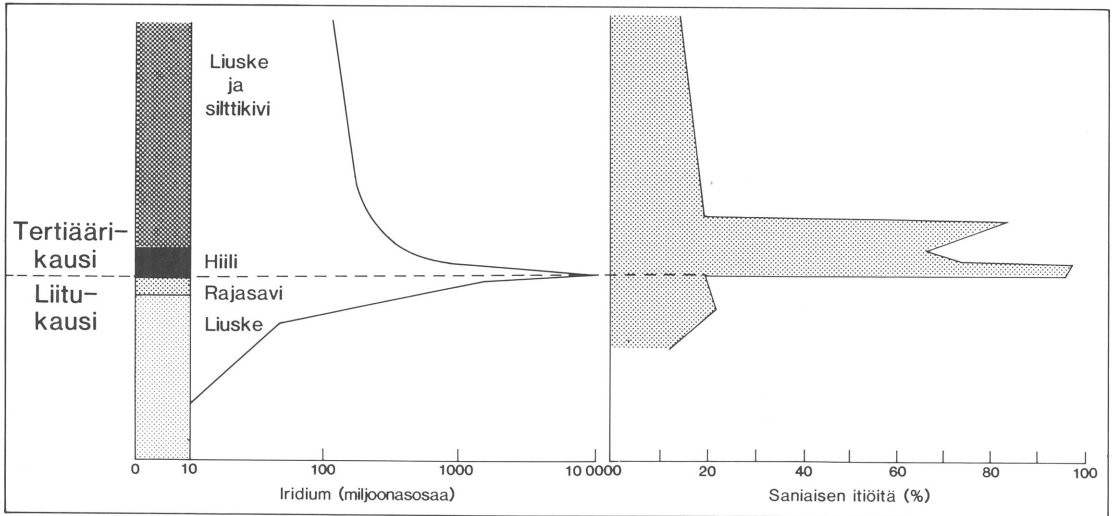
net kasvit ja eläinlajit kuolivat. Ne jotka selviytyivät hengissä saattoivat levitä uusille paikoille. On arvioitu, että asteroidi tai komeetta, joka ilmeisesti syöksyi maapallolle liitu- ja teriäärikauden vaihteessa, oli läpimitaltaan noin 10 km. On lisäksi arvioitu, että tuon kokoinen avaruuden kohde syöksyy maapalloon keskimäärin keran 100 miljoonassa vuodessa. Näin ollen vastaavanlainen katastrofi olisi kohdannut maapalloa puolenkymmentä kertaa kambriikauden alun jälkeen. Kreationistit ovat saaneet tällaisista globaalisten katastrofien mahdollisuuksista uutta tukea ahtaille tulkinnoilleen (Skinner & Stuiver 1987: 177—178).

Vuonna 1785 James Hutton esitti katastrofismiin vastaisia ajatuksia (Hallam 1983). Hän katsoi, että maapallo ja sen olot olivat kehittyneet yhtäläisten, asteittaisten prosessien kautta valtavan pitkän ajan kuluessa. Näin kehittyi teoria nimeltä uniformitarianismi. Sen mukaan maapallon prosessit olivat olleet menneisyydessä samantaisia kuin nykyäänkin. Englannissa tekemiensä kallioperätutkimusten pohjalta Hutton myös laushti ajan kulusta: »no vestige of a beginning — no prospect of an end».

Charles Lyellin kuuluisa teos *Principles of geology* (1830—1833) tuki Huttonin esittämää uniformitarianismin periaatetta ja esitti myöhemmin hyväksytyksi tulleen metodin maapallon luonnonhistorian tulkitsemiseksi (Hallam 1983). Lyellin ajatukset saivat mm. Charles Darwinin (1809—1882) hyväksymisen. Lyell kuitenkin esitti myös ajatuksen, että prosessien nopeus ei olisi muuttunut ajan myötä.

Nykyiset tieteelliset saavutukset ja kehittyneet laitteet ovat täsmentäneet uniformitarianismin sisältöä. Hutton ja Lyell eivät nähneet maapallon kehityksellä alun tai lopun merkkejä. Me tiedämme, että planeettamme kehitys alkoi noin 4,6 miljardia vuotta sitten. Sen jälkeen maan sisustassa ja pinnalla on tapahtunut monia energiaa kuluttavia, jos kohta tuottaneitakin prosesseja. Energian kulumisesta johtuen monien prosessien nopeus on ajan myötä muuttunut. Lisäksi esimerkiksi meteoriittien iskut ja vuorovesitoiminta lievävät olleet menneisyydessä nykyistä aktiivisempia. Jo pelkästään vuoden sisältämien vuorokausien lukumäärän jatkuvalla vähenemisellä on vaikeasta monien prosessien nopeuteen.

Uniformitarianismin nykyinen muoto (naturalismi) sisältää silti yhä ajatuksen, että luonnon lait eivät muutu ajan myötä. Niin ollen esimerkiksi kemiallisia reaktioita ja fysikaalisia tapahtumia ohjaavat samat tekijät ja lait nyt kuin menneisyydessäkin (Hamblin 1982:126).



Kuva 2. Stratigrafinen kuvaus Coloradon Trinidadista (USA) osoittaa iridiumin poikkeuksellisen suurta määrää liitukauden ja tertiääri- ja liitukauden rajakohdassa. Myös saniaisten itiöiden prosenttiosuus kasvaa dramaattisesti samassa rajakohdassa. Tämä on osoituksena siitä, että saniaiset korvasivat tuolloin alueella aikaisemmin vallinneen metsäkasvillisuuden. Sekä iridiumin että saniaisten itiöiden korkeat arvot on yhdistetty maapalloa koetelleeseen suureen tuhoon, jonka aiheuttajana saattoi olla maapalloon törmännyt avaruuden kohde (Skinner & Porter 1987).

Relatiivisia ajoitusmenetelmiä

Relatiivisten menetelmien avulla voidaan määrittää tapahtumien ja kohteiden kronologinen järjestys. Sen sijaan todelliset iät jäävät tuntemattomiksi.

Sedimenttikerrostumissa päällekkäisyysjärjestys (engl. superposition) ilmaisee suhteellisen ikäjärjestyksen niin, että vanhimmat kerrokset ovat pohjalla ja nuorimmat yläosassa. Näin silloin, kun kerrosjärjestys ei ole esimerkiksi ylityöntöjen vuoksi häiriintynyt.

Päällekkäiset sedimenttikivikerrostumat sisältävät usein eläin- ja kasvfossiileja. Fossiilit osoittavat mm. ajan myötä tapahtunutta elämän evoluutiota. Tämän fossiililöytöihin perustuvan eliömaailman kehityksen (engl. faunal succession) oivalsi ensimmäisenä britti William Smith (1769—1839) jo ennen Darwinin evoluutioteorian kehittelyä. Smith tajusi myös ensimmäiseksi, että monia fossiililajeja voidaan käyttää sedimenttikerrostumien tunnistamiseen laajoilla alueilla. Nykyään tällaisia fossiililajeja nimitetään johtofossiileiksi (Skinner & Porter 1987:172).

Päällekkäisten sedimenttikivikerrostosten ja niiden sisältämien fossiilien avulla pystyttiin vähitellen konstruoimaan laajoja alueita ja lopulta jopa globaalinen geologinen aikataulu. Pitkään geologinen aikataulu osoitti pelkästään eri ker-

rostumien suhteelliset ikäsuhteet. Vasta uraanin radioaktiivisen hajoamisen oivaltaminen ja mittaaminen mahdollisti geologisen aikataulun absoluuttisen ajoittamisen.

Jo kuitenkin ennen radioaktiivisten isotooppien hyödyntämistä tehtiin mielenkiintoisia yrityksiä maapallon iän määrittämiseksi (Skinner & Porter 1987:182—183). Charles Lyell oli vakuutunut siitä, että evoluutiolta kuluu aina tietty aika uuden eläinlajin synnyttämiseen. Vuonna 1867 Lyell päätteli tertiäärikautisista havainnoistaan, että tarvitaan noin 20 miljoonaa vuotta merinilviäisheimon täydelliseen toiseksi muuttumiseen. Tällä perusteella hän päätteli, että ordovikikauden päättymisestä oli kulunut 240 miljoonaa vuotta (12 lajivaihdosta). Todellisuudessaan siitä on kulunut lähes kaksi kertaa tuo aika. Lyellin sinänsä terävään oivallukseen liittyi luonnollisesti monia epävarmuustekijöitä ja arvailuja. Jotkut tiedemiehet yrittivät laskea, kuinka pitkä aika oli tarvittu nyt tavattavien sedimenttikerrostumien kasaantumiseen eli kuinka kauan sedimenttien kasautumistoimintaa maapallolla on tapahtunut. Arvioinneissa, jotka luonnollisesti kohtasivat monia vaikeuksia, päädyttiin aikoihin, jotka vaihtelivat välillä 3—1500 miljoonaa vuotta.

Merten ikää yritettiin laskea niin, että mitattiin nykyisten jokien kuljettamia suolamääriä ja

arvioitiin, kuinka pitkä aika tarvittaisiin, jotta meriin kerääntyisi niiden nykyinen suolamäärä. Läksi saatiin vain alle 100 miljoonaa vuotta.

Eräät fyysikot laskeskelivat, kuinka pitkään maa oli ollut kiinteä. Vastaukseksi saatiin noin 100 miljoonaa vuotta. Laskelmissa ei osattu ottaa huomioon esimerkiksi maapallon sisällä tapahtuvien radioaktiivisten reaktioiden tuottamaa lämpöä.

Radiometrisiä ajoitusmenetelmiä

Radiometrisillä menetelmillä voidaan määrittää kohteiden ikä tai prosessien kesto aikayksiköissä, esim. vuosissa. Ajoitus voi tapahtua mitaamalla puoliintumisajaltaan tunnettujen radioaktiivisten isotooppien määriä ja hajoamistuloksia kallioperän mineraaleissa. Tärkeimpiä kallioperää koskevien geologisten tutkimusten radioaktiivisia alkuisotooppeja ovat uraani 238 ja 235, thorium 232, rubidium 87 ja kalium 40. Niiden puoliintumisajat ovat pitkiä vaihdellen rajoissa 713,0 miljoonaa — 50,0 miljardia vuotta. Luonnon kohteiden radioaktiivisuuden havaitsi ensimmäisenä ranskalainen Henri Becquerel vuonna 1896. Ajoitussovellutukset kehitettiin heti vuosisatamme alussa ja niitä on käytetty yleisesti viimeisen 50 vuoden aikana.

Radiohiiliajoitus on eräs tärkeä radiometrinen ajoitusmenetelmä, joka soveltuu orgaanisten aineiden ajoittamiseen. Koska radioaktiivisen hiilen (^{14}C) määrät ovat vähäisiä ja sen puoliintumisaika on vain 5 730 vuotta, menetelmällä ei voida ajoittaa juuri 50 000 vuotta vanhempia näytteitä. Radiohiiliajoitukseen liittyy lukuisia virhetekijöitä (Heikkinen 1982) eivätkä radiohiiliät vastaa kalenteri- eli aurinkovuosia, vaikka ne voidaan lähes niitä vastaaviksi kalibroida tarkasti ajoitettuja puiden vuosilustosarjoja hyväksi käyttäen (Stuiver & Pearson 1986).

Muita lähinnä absoluuttisia ajoitusmenetelmiä

Erilaiset vuosilustot ja -kerrokset ovat erinomaisia ajoitusmenetelmiä ja vuotuisen tiedon tallettajia. Järviin ja meriin kerrostuneet sedimentit ovat olleet jo pitkään käytettyjä menetelmiä (Saarnisto 1986). Esimerkiksi Pohjoismaissa on savilustokronologiaa käytetty deglasiaation ja sen jälkeisten vaiheiden selvittämiseen (esim. Niemelä 1971).

Jäätiköistä kairattujen näytteiden vuosikerrokset antavat vuotuista tietoa ympäristötapahtumista vuosituhansien ajalta. Korallien vuosikerrokset on käytetty hyväksi tutkittaessa merien pintavesien lämpötilavaihteluja.

Puiden vuosilustot soveltuvat hyvin mm. puurakenteiden ja prosessien ajoitukseen, radiohiili-ikien kalibroimiseen sekä menneiden ilmastolojen jäljittämiseen (Alestalo 1971; Schweingruber 1983). Pisimmät yhtenäiset vuosilustokronologiat ovat yli 8 000 vuotta pitkiä. Luoteis-Yhdysvalloissa kasvava vihnemänty (*Pinus longæva*) on ollut erityisen sovelias puulaji dendrokronologisiin ajoitustutkimuksiin (Heikkinen 1987).

Mycös tulivuorten tuhkapurkauksia hyödyntävä tefrakronologia (Einarsson 1986) ja jäkäläien kasvunopeuteen perustuva lichenometria (Innes 1985) ovat soveliaita ajoituskeinoja. Tiettyjen jäkälälajien kasvun ja koon perusteella voidaan ajoittaa maanvieremiä, jäätikön vetäytymistä jne. Jotkut arktisilla alueilla kasvavat jäkälälajit tulevat kenties jopa yli 8 000 vuotiaiksi. Jäkäläien avulla voidaan saada paljastuneille pinoille suhteellisen tarkkoja minimi-ikäiä, mikäli ajoitukseen käytetyn jäkälälajin kasvunopeus kyseisellä kivilajilla kyseisissä ilmastoloissa tunnetaan.

KIRJALLISUUS.

- Alestalo, Jouko (1971). Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia* 105, 1—140.
- Einarsson, Thorleifur (1986). Tephrochronology. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, edited by B.E. Berglund, 329—342. John Wiley & Sons, Chichester.
- Eronen, Matti (1980). Maapallon ilmaston vaihtelut. *Arkhimedes* 32, 144—164.
- Gore, Rick (1983). The once and future universe. *National Geographic* 163:6, 704—749.
- Gregory, K.J. & D.E. Walling (1973). *Drainage basin form and process, a geomorphological approach*. 456 s. Edward Arnold, London.
- Hallam, A. (1983). *Great geological controversies*. 182 s. Oxford University Press, Oxford.
- Hamblin, W. Kenneth (1982). *The Earth's dynamic systems*, the third edition. 529 s. Burgess Publishing Company, Minneapolis.
- Heikkinen, Olavi (1982). Auringonpilkut ja niiden yhteys maapallolla havaittuihin luonnonilmiöihin. *Terra* 94:3, 207—214.
- Heikkinen, Olavi (1987). Vanhin puu, tiedon puu. *Tiede* 2000 3/1987, 8—12.
- Huhma, Hannu (1988). Aurinkokunnan varhaisvaiheet. *Geologi* 40:1, 3—6.
- Innes, John L. (1985). Lichenometry. *Progress in Physical Geography* 9:2, 187—254.
- Niemelä, Jouko (1971). Die quartäre Stratigraphie von Tonablagerungen und der Rückzug des Inlandeises zwischen Helsinki und Hämeenlinna in Südfinn-

- land. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 253. 79 s.
- Oman, Henry (1988). *Magnetic braking of the Earth's rotation*. A manuscript in Boeing Aerospace Company, Seattle. 4 s.
- Parkes, D.N. & N.J. Thrift (1980). *Times, spaces and places — a chrono-geographic perspective*. 527. John Wiley & Sons, Chichester.
- Saarnisto, Matti (1986). Annually laminated lake sediments. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, edited by B.E. Berglund, 343—370. John Wiley & Sons, Chichester.
- Schweingruber, F.H. (1983). *Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*. 234 s. Haupt, Bern.
- Skinner, Brian J. & Stephen C. Porter (1987). *Physical geology*. 750 s. John Wiley & Sons, New York.
- Stuiver, Minze & Gordon W. Pearson (1986). High-precision calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950-500 BC. *Radiocarbon, Calibration issue* 28:2B, 805—838.