



Kirpulla menneisyyteen – järvien pohjakerrostumat kertovat Suomen ilmaston kehityksen

Atte Korhola



Viime vuosien aikana monen luonnontutkijan huomio on suuntautunut kauas menneisyyteen. Syynä on, yllättävää kyllä, lisääntynyt tarve tuntea tulevaisuutta. Kun luonto muuttuu, pitkää aikaväliä koskevalla ympäristötiedolla on kasvava kysyntä. Sitä tarvitaan erottamaan ihmisen osuus luonnon omasta muutoksesta. Esimerkiksi tulevaa ilmastomuutosta ja se vaikutuksia ennustettaessa luontaisen vaihtelun tunteminen on osoittautunut välttämättömäksi. Tarkka tieto aiemmasta ilmastokehityksestä on erityisen tärkeää ilmastoa kuvaavien mallien toimivuuden ja luotettavuuden testaamisessa.



Ilmaston lämpenemisestä on keskusteltu viime aikoina lehtien palstoilla kiivaasti. Erityisen aktiivisesti äänessä on ollut ilmastomuutoksen vastustajien harvalukainen joukko. Heidän mukaansa kansalaisia on huiputettu koko ilmastoasiassa perinpohjaisesti: ilmastomallit ovat epäluotettavia eikä kasvihuonekaasujen lisääntymisen ja lämpenemisen välistä yhteyttä ei ole riittävästi osoitettu. Tukea vastustukselle on usein haettu myös menneisyydestä: "koska ilmasto on muuttunut maapallon historian aikana moneen kertaan, ei nykyistäkään muutosta tule laittaa ihmisen piikkiin" on keskustelussa eräs yleisimmin vastaan tullut argumentti.



Totta onkin, että maapallon ilmastossa on tapahtunut runsasta vaihtelua vuosimiljoonien kuluessa. Suurimmat hyppäykset ovat liittyneet mannerlaattojen liikkeisiin sekä muihin laajoihin luonnonmullistuksiin kuten suurten jääkausien alkamisiin ja päättymiin. Jälkimmäisten muutosten syyt ovat vielä monelta osin epäselviä, mutta osa vaihtelusta selittyy astronomisilla tekijöillä kuten maapallon kiertoradan pienillä epäsäännöllisyyksillä ja niistä aiheutuvilla maapallolle lankeavan auringon nettosäteily määrän muutoksilla. Kuitenkin, jos menneisyydestä halutaan löytää suoria vertailukohtia nykyiseen tilanteeseen, tulisi tarkastelun kohteeksi ottaa viime jääkauden jälkeinen ns. holoseeniaika – ja erityisesti sen viimeiset 6000–8000 vuotta. Tällöin olosuhteet maapallolla ovat olleet pitkälle nykyisen kaltaisia, joten ilmastorinnastuksille on selkeä peruste.



Viime aikoina menneitä ilmastoja tutkivat paleoklimatologit ovatkin alkaneet osoittaa kasvavaa kiinnostusta juuri viime vuosituhansien ilmastovaihteluita kohtaan. Kysymyksessä on vaikea haaste, sillä pitemmän aikavälin vaihteluun verrattuna muutokset "viimeaikaisessa" ilmastossa ovat olleet selvästi vähäisempiä ja usein myös kestoaltaan lyhyempiä. Tämä vaatii käytössä olevilta menetelmiltä ja tekniikoilta äärimmäistä herkkyyttä.



Varmuustiedostot pohjakerrostumissa

Aikaisemmista ilmastovaiheista on mahdollista saada tietoa monella eri tapaa. Tavallisimmin käytettyjä ilmastohistoriallisia tietolähteitä – ammattislangilla sanottuna "proksitietoja" – ovat jäätiköt, puiden vuosirenkaat sekä järvien ja soiden pohjakerrostumat. Näihin prokseihin on arkistoitunut tietoa menneistä ympäristöoloista useimmiten selkeinä aikasarjoina, toisin sanoen tutkimukselle valmiissa kronologisessa järjestyksessä.



Jäätiköistä poratuista näytesarjoista ja puiden vuosilustoista pystyy tavallisesti lukemaan yksityiskohtaisimman historian: niissä tarkkuus ulottuu aina vuotuisen vaihteluun asti. Näiden tietolähteiden ongelmana on kuitenkin heikko alueellinen edustavuus sekä mahdollisten pitempiaikaisten ilmastotrendien peittyminen aineistoissa esiintyvän valtaisan "kohinan" alle.




Lisäksi on varsin epäselvää, kuinka hyvin esimerkiksi Etelämantereen tai Grönlannin jäästä laaditut ilmastorekonstruktiot soveltuvat niistä kaukana sijaitsevien manneralueiden ilmasto-olojen kuvaamiseen.




Järviä ja soita esiintyy lähes kaikkialla maapallolla ja siksi ne tarjoavat erinomaisen mahdollisuuden ilmastohistoriallisille selvityksille. Altaiden pohjakerrostumiin on tallentunut






huomattava määrä yksityiskohtaista informaatiota ympäristön läpikäymistä vaiheista. Suuri osa tiedosta on fysikaalisessa ja kemiallisessa muodossa, mutta ilmastoajatellen erityisesti biologisella proksitiedolla on korvaamaton merkitys.




Ilmastosta voidaan saada tarkkaa tietoa fossiileja tutkimalla, sillä kuolleet eliöt säilyvät hyvin järvien ja soiden pohjien hapettomassa tilassa. Ilmastotutkimuksissa hyödynnetään tavallisesti tiettyjä avainorganismeja, jotka reagoivat nopeasti olosuhteiden muuttumiseen ja ovat siten hyviä ympäristön laadun mittareita. Tällaisia ovat esimerkiksi piikuoriset levät, vesikirpuri ja surviaissääskentoukat. Ne säilyvät sedimenteissä elinaikaisissa lajisuhteissaan ja ovat lisäksi jokseenkin helposti tunnistettavia. Vesiorganismien lisäksi tutkitaan myös kasvien siitepölyä.


Vertailuaineisto saadaan nykyajasta




Vuosi vuosi fossiileihin kohdistuvassa tutkimuksessa on tapahtunut valtaisa edistys: nykyaikaisilla tilastomenetelmillä voidaan kuolleisiin eliöihin tallentunut ympäristöinformaatio pukea tarkkaan numerotietoon. Uusi tutkimustapa on kuitenkin varsin työläs ja vaatii tuekseen laajan, nykyaikaa kuvastavan mittausaineiston eli niin sanotun kalibraatioaineiston. Kalibraatioaineistoa tarvitaan, jotta tutkittavien organismien ja niiden elinympäristön välillä vallitseva nykyinen riippuvuusuhde voidaan luotettavasti määrittää.



Johtamassani tutkimusryhmässä Helsingin yliopiston luonnonmaantieteen laboratorioissa aloitettiin tällaisen kalibraatioaineiston keruu Suomen Lapista kesällä 1995. Tutkimusta rahoitti aluksi Helsingin yliopisto, mutta myöhemmin sen rahoittajiin ovat liittyneet Suomen Akatemia, Pohjoismaiden ministerineuvosto sekä Euroopan Unioni. Tähän mennessä ilmastollista, vesikemiallista ja eliöitä koskevaa ympäristötietoa on kerätty jalkapellillä ja helikopteria apuna käyttäen noin 130 Lapin ja Kuolan niemimaan pienjärvestä, joiden tiedetään olevan erityisen herkkiä ympäristössä tapahtuvalle muuttelulle.




Kalibraatioaineistoon perustuva tutkimuksellinen lähestymistapa on esitetty voimakkaasti yksinkertaistettuna oheisessa kuvassa. Todellisuudessa aineiston kokoaminen on monimutkainen tapahtumasarja, joka vaatii suurta ihmistyöpanosta, äärimmäistä analyyttistä ja taksonomista tarkkuutta sekä pitkälle kehitettyjä laskennallisia menetelmiä, tutkimusspesifejä tietokoneohjelmia ja tehokkaita tiedon hallintaan ja ylläpitoon soveltuvia tietokantoja. Tämä sen vuoksi, että tarkastelun kohteena olevia eliölajeja on satoja ja ympäristömuuttujia kymmeniä. Aineiston käsittelyssä ja hallinnassa yhteistyömme Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksen sekä Rolf Nevanlinna - instituutin kanssa on ollut korvaamatonta.




Kalibraatioaineistoon perustuvan tutkimuksen perusfilosofia on yksinkertainen. Se pohjautuu tietoon, jonka mukaan jokaisella eliölajilla on luonnossa oma paikkansa, jossa olosuhteet sen viihtyvyydelle ovat ihanteelliset. Jotkut eliöt ovat sopeutuneet elämään monenkirjavissa olosuhteissa, toiset taas ovat nirsompia, vaatiin hyvinkin tarkkaan rajattua ympäristöä.


Eräs eliöiden viihtyvyyteen vaikuttava tärkeä suure on lämpötila.




Eurytermisten lajien elintoiminnot raksuttavat lämpötilasta toiseen, stenotermiset lajit puolestaan vaativat joko kylmiä tai lämpimiä olosuhteita menestyäkseen. Esimerkiksi monet vesissä elävät levät tarvitsevat yli 10 asteen lämpötiloja, jotta niiden lisääntyminen onnistuu. Kalibraatioaineisto valitaan huolellisesti siten, että sen edustavuus on mahdollisimman hyvä juuri kiinnostuksen kohteena olevan ympäristötekijän suhteen. Jos esimerkiksi halutaan mallintaa eliöiden suhdetta veden tai ilman lämpötilaan, tulee tutkittavien kohteiden lämpötiloissa esiintyä mahdollisimman suurta vaihtelua. Suomen oloissa on tällöin järkevintä hakeutua Lapin metsänrajavyöhykkeelle, missä lämpötilamuutokset ovat suppealla maantieteellisellä alueella voimakkaita.




Kun mittausaineisto on kerätty, määritetään kullekin eliölajille halutun ympäristötekijän suhteen optimi- eli ihannearvo, jossa laji saavuttaa suurimman esiintymistiheydensä. Lisäksi määritetään toleranssi, jolla tarkoitetaan sitä vaihteluväliä, minkä puitteissa eliöt pääsääntöisesti tavataan. Tavallisesti noin 50 järveä muodostaa riittävän suuren aineiston, jonka perusteella mallinnus voidaan luotettavasti suorittaa.






Kun lajien nykyiset elinoptimit ja toleranssit saadaan selville, voidaan kyseinen tieto "siirtää" sedimenttimateriaaliin, jossa samaiset organismit esiintyvät kuolleina. Matemaattista mallia, jonka avulla tiedon siirto tehdään, kutsutaan "siirtofunktioksi" (engl. *transfer function*). Sen avulla fossiileista voidaan tehdä tarkkoja päätelmiä ympäristön aikaisemmasta tilasta. Kun esimerkiksi ilmaston merkitys lajiyhteisön rakenteeseen ja koostumukseen on tarkkaan mallinnettu modernia kalibraatioaineistoa käyttäen, voidaan puolestaan sedimentin lajiyhteisöjä tarkastelemalla tehdä johtopäätöksiä ilmasto-olojen kehittymisestä. Kysymyksessä on siis todellinen retrospektiivinen speaktaakeli!


Pohjoinen luonnonlaboratorio




Hakeutumisellemme pohjoisille alueille on lämpötilaerojen lisäksi myös muita vaikuttimia. Ensiksikin yleiset ilmastomallit ennustavat arktisille alueille muuta maapalloa voimakkaampia lämpötilamuutoksia. Toiseksi arktinen ympäristö on tunnetusti herkkä ympäristömuutoksille, ja muutokset näillä alueilla heijastuvat helposti koko pohjoisen pallonpuoliskon ilmastoon. Ilmastomallit osoittavat Pohjoisen jäämeren ja niitä ympäröivien mantereiden reagoivan herkästi ilmastomuutoksiin, jotka puolestaan vaikuttavat meren jääpeitteeseen, kiertoliikkeisiin, ikiroutaan ja kasvillisuuteen. Monet ilmastomuutoksen vaikutukset ovat siten ensimmäiseksi nähtävillä juuri pohjoisilla alueilla.



Koska suuri osa arktista ympäristöstä on lisäksi yhä melko pilaantumaton, muodostaa se ilmastomuutostutkimukselle ihanteellisen referenssialueen, "luonnonlaboratorion", jossa ilmastoskenaarioiden vaikutuksia voi analysoida.




Pohjois-Fennoskandiasta keräämämme laaja järviaineisto soveltuu pitkän aikavälin ilmastomuutosten lisäksi myös monien muiden ilmiöiden tutkimiseen. Kokonaisvaltainen tavoitteemme on analysoida ja ennustaa globaalimuutoksia ja niihin vaikuttavia syitä arktisella alueella. Ryhmällämme on muun muassa käynnissä hankkeita, joissa tutkitaan Kuolan nikkelisulattamoista vapautuvien päästöjen vaikutuksia Lapin pienvesiin, porolaidunnuksen vesistövaikutuksia sekä vesissä elävien organismien monimuotoisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Saanatunturin juurella sijaitsevalla Saanajärvellä on ollut kolmen vuoden ajan käynnissä EU:n MOLAR-vuoristoriviprojektiin liittyvä monipuolinen seurantaohjelma, jonka puitteissa tutkimme järven elämää ja toimintaa erityisesti ennustettua ilmastomuutosta ajatellen. Kuluneena kesänä sai alkunsa myös uusi hankkeemme, jonka tarkoituksena on selvittää luontaisen ultravioletti säteilyn vaikutuksia vesioorganismeihin väriltään, sameudeltaan ja vesikemialtaan erilaisissa vesistöissä. Yhteistyössä Lapin ympäristökeskuksen kanssa toteutettava tutkimus on uusine menetelmineen ensimmäinen Suomessa.




Helsingin yliopistolle kuuluva Kilpisjärven biologinen asema on ollut tärkeä tukikohta kaikessa tutkimuksessamme.


Ilmastossa suurta luontaista vaihtelua




Mitä pitkänaikavälin ilmastotutkimuksemme ovat sitten tähän mennessä paljastaneet? Ainakin sen että Suomen ilmastossa on jääkauden jälkeisenä aikana esiintynyt suurempaa vaihtelua kuin ehkä aikaisemmin on luultu.



Tutkimustuloksemme osoittavat, että jääkauden jälkeinen ilmasto oli vakaimmillaan noin 8000–5000 vuotta sitten, jolloin maassamme oli yhtäjaksoisesti lämmintä ja ainakin pohjoisessa sademäärät selvästi nykyistä alempia. Merkittävin notkahdus tapahtui hieman yli 5000 vuotta sitten, jolloin keskikesän lämpötilat laskivat pitemmäksi aikaa noin 2 astetta ja vähitellen myös vuotuiset sademäärät kohosivat. Tulokset sopivat tältä osin hyvin vallalla olevaan käsitykseen, jonka mukaan holoseenin alkupuoliskon aikana maapallolle tulevan auringonsäteilyn määrä oli avaruudellisista seikoista johtuen kesäisin noin kahdeksan prosenttia nykyistä suurempi.



Tämän perustrendin lisäksi ilmastossa näyttäisi esiintyneen myös lukuisia lyhytaikaisia, säännöllisin väliajoin toistuvia viilenemisvaiheita. Tällaisia vaiheita olemme alustavasti erottaneet yhteensä kuusi: niiden aikana keskikesän lämpötilat laskivat äkillisesti noin 1,5–2 astetta. Heilahtelujen syyt ovat toistaiseksi vielä epäselviä, mutta ne liittyvät mitä ilmeisemmin



Pohjois-Atlantin pintaveden kierrossa ja/tai polaaristen ilmamassojen asemassa tapahtuneisiin muutoksiin. Viimeisin näistä pakkasherran vierailuista tapahtui niin sanottuna



Pienenä jääkautena, jonka esiintymisajankohta oli Luoteis-Euroopassa noin 1600–1850 jKr.

Tutkimuksissa saamamme tulokset sopivat kokonaisuudessaan hyvin yksiin Grönlannin jäästä ja Pohjois-Atlantin merisedimenteistä saatuihin uusimpiin tuloksiin, joiden mukaan viime jääkauden jälkeiselle ilmastolle ovat olleet tyypillisiä juuri toistuvina esiintyvät viilenemisjaksot. Kun aikaisemmin jääkauden jälkeistä holoseeniaikaa on totuttu pitämään ilmastollisesti suhteellisen vakaana – joidenkin tutkijoiden mukaan jopa "tappavan monotonisena jaksena geologisessa historiassa" – antavat uusimmat tulokset käsityksen huomattavasti dynaamisemmasta ilmastosysteemistä. Korostaa kuitenkin täytyy, että tulokset ovat monessa suhteessa alustavia ja vaativat runsaasti lisäselvityksiä.

Muuttuuko ilmasto?

Maapallon ilmaston on todettu lämmenneen noin 0,5 astetta viimeisen sadan vuoden aikana, mutta onko lämpenemisen aiheuttanut luontainen vaihtelu vai ihmisen aikaansaama kasvihuonekaasujen lisäys? Pisimmälle ulottuvat mittausarjat sekä havainnot järvisedimenteistä, jäätiköistä, puiden vuosilustoista ja jokien jäidenlähdoistä polaarilla vyöhykkeellä osoittavat, että nykyinen lämpeneminen alkoi jo 1800-luvun puolivälissä, kun Pieni jääkausi päättyi. Myös tutkimusryhmämme suorittamat havainnot Lapin järvistä tukevat tätä käsitystä. Viime vuosisadalle ajoituvalle muutokselle on siten haettava syytä luonnosta itsestään: auringon säteily määrän vaihtelusta, tulivuoritoiminnan vähenemisestä sekä ilmaston luontaisesta dynamiikasta.

Sen sijaan 1930-luvulta nykyhetken jatkunutta ilmaston lämpenemistä on enää vaikeampi laittaa puhtaasti luontaisten tekijöiden piikkiin. Tilastoanalyysit osoittavat, että noin 70–80 prosenttia lämpenemisestä pystytään selittämään luontaisilla seikoilla, mutta loppu on mitä ilmeisemmin ihmisen aiheuttamaa.

Paleoklimaatintutkimus osoittaa vääjäämättömästi, että kuluva vuosisata on ollut pohjoisilla leveysillä lämpimämpi kuin mitkään muu vastaava ajanjakso viimeisen 1000 vuoden aikana. Pohjoisten jäätiköiden vetäytyminen, Jäämeren alueen jääpeitteen väheneminen, ikiroudan paikoittainen sulaminen ja maallämpötilojen yleinen kohoaminen ovat kaikki sopuissa ilmastomallien ennustaman muutoksen kanssa.

Ilmastomuutoksen seurannassa on yhä oleellisempaa erottaa luonnon oma vaihtelu ihmisen aiheuttamasta muutoksesta. Eriaisilla instrumenteilla mitatut aikasarjat ovat kuitenkin liian lyhyitä, jotta luontaiseen vaihteluun päästäisiin riittävän hyvin käsiksi. Saatavilla olevat havaintosarjat eivät myöskään niissä esiintyvän vähäisen vaihtelun vuoksi sovellu erityisen hyvin skenaarioita tuottavien ilmastomallien testaamiseen. Tämän vuoksi paleotutkimuksen antama perspektiivi on tullut kaiken aikaa korostetummaksi ilmastomuutoksen mallinnuksessa ja ennustamisessa. Menneitä oloja koskevan luotettavan tiedon hankinta on nykyään itsestään selvä osa monia kansainvälisiä globaalimuutoksen tutkimusohjelmia, kuten EU:n "Environment and Climate" -ohjelmaa, International World Climate Research Program (WCRP) ja The International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP).

Menneitä ilmasto-oloja koskevan tiedon merkitys tulevaa ilmastomuutosta ajatellen on siten vähintäänkin kahtalainen. Yhtäältä se osoittaa, että maapallon ilmastosysteemi on jatkuvassa muutostilassa, ja että voimakasta vaihtelua on tapahtunut ennen ihmisen minkäänasteista myötävaikutusta. Tämä synnyttää vaadittavaa varovaisuutta nykyilmästä tehtyihin tulkintoihin.


Toisaalta juuri paleoklimaatintutkimus voi osoittaa korvaamattoman arvokkaaksi tarkasteltaessa ilmastomallien ennustustarkkuutta ja paikkansapitävyyttä – ja kun lopullisesti päätetään milloin ilmastomuutos on ylittänyt luontaisen vaihtelun rajan.

KIRJALLISUUTTA

Bond, Gerard ym.: Science Vol. 278:1257-1266.

Korhola, Atte & Weckström, Jan & Olander, Heikki & Blom, Tom teoksessa Proceedings of The Second International Conference on Climate and Water (toim. Lemmelä, Risto & Helenius, Nea) 1998, 562-575.

Mann, Michael & Bradley, Raymond & Hughes, Malcolm: Science Vol. 392:779-787.




Olander, Heikki, Korhola, Atte & Blom, Tom: J. Paleolimnol. 1997, Vol. 18:45-59.

Overbeck, John ym.: Science 1997, Vol. 278:1251-1256.

Sorvari, Sanna & Korhola, Atte: J. Paleolimnol. 1998, Vol. 20:120-131.

Weckström, Jan & Korhola, Atte & Blom, Tom: Arc. Alp. Res. 1997, Vol. 29:75-92.



Kirjoittaja on Suomen Akatemian vanhempi tutkija ja luonnonmaantieteen dosentti Helsingin yliopistossa. Tällä hetkellä hän työskentelee Kauppa- ja teollisuusministeriön erityisasiantuntijana tehtävänään kirjoittaa "pohjoisen tutkimuksen kansallinen strategia". Hän johtaa useita kansallisia ja kansainvälisiä tutkimusprojekteja, joiden tarkoituksena on selvittää ilmastomuutosta ja sen vaikutuksia pohjoisilla alueilla.

