

# Ilmastonmuutos geologin tutkimuskohteena

KARI STRAND

Kuva/Photo: Kari Strand

## Ilmastonmuutos tärkeässä roolissa

Ilmastonmuutostutkimus tarvitsee mukaansa yhä enemmän geologista tutkimusta. Planeettatietoisuuttamme tulee lisätä huomattavasti, jotta ymmärrämme maapallon ilmastosysteemin toiminnan taustat paremmin ja ihmistoinnin vaikutukset maapallon hyvinvoinnille. Planeettatietoisuus pitää sisällään niin ilmastomuutoksen kuin myös luonnonvarojen kestävän käytön ja uusiutuvan energian edistämistoimet. Tässä kokonaisuudessa Maan varhaisen ilmakehän ja maan väliset vuorovaikutukset tulee myös tuntea paremmin. Geologit ovat avainasemassa myös ilmastomuutoksen torjunnassa, kun vihreä energiasiiirtyä tulee vaatimaan kriittisten mineraalivarojen etsinnän tehostamista ja omavaraisuusasteen nostoa.

Tieto muinaisista kylmistä ja lämpimistä ilmastovaiheista, niiden kestoista sekä vuorovaikutuksista maahan ja jään määrään maapallolla tulee liittää ilmastomalleihin mukaan. Tällöin ennusteet ympäristöön kohdistuvista muutoksista saavat luotettavamman pohjan. Menneiden aikojen paleoilmastollinen tieto on apuna myös testattaessa tietokonepohjaisia malleja pitemmältä ajalta kuin mihin noin 250 vuoden ajalta tehty instrumentaalinen mittausdata antaa mahdollisuuden.

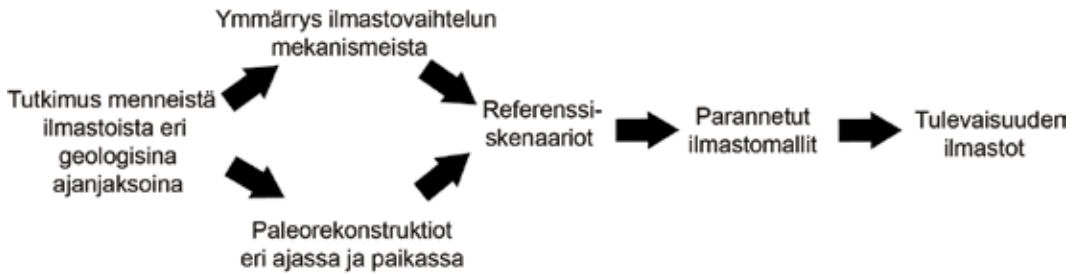
Geologit voivat tarjota tietoa erityisesti jäätiköiden laajuuksista muinaisina aikoina, niiden nopeista dynaamisista käyttäytymisistä sekä merenpinnan korkeuden vaihteluista. Kryosfääri eli maapallon hydrosfääriin jäänyt osa on keskeinen tekijä maapallon ilmastovaikuttajana ja sen nopeat vaihtelut kertovat osaltaan ilmaston jatkuvasta muut-

tumisesta. Viimeaikainen ihmisen osuuskin tässä muutoksessa voidaan nähdä hyvin.

Kansainvälisen hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) raportit huomioivat nykyään myös tuoreimman geologisen ja glasiologisen tietämyksen. Geologisten tutkimusten avulla ilmastomuutoksen aiheuttajia ja seurauksia voidaan arvioida ainakin seuraavien teemojen alla: 1) ilmaston tunnetut toimintatasot meri-ilmakehävuo-rovaikutuksissa ja maapallon orbitaaliset sekä tektoniset syklit, 2) ilmaston lämpimät vaiheet ja kylmenemiskehitys eri geologisina aikoina, 3) meri-maavuorovaikutus, 4) biogeokemiallinen kiertäminen sekä 5) ekosysteemimuutos ja biodiversiteettikato. Ymmärrys tulevaisuuden ilmastosta voidaan katsoa myös paleoilmastollisen arvoketjun näkökohdista käsin (kuva 1).

## Varhaisen ilmakehän kehitys avaa laajemman ymmärryksen vuorovaikutuksille

Tutkimus maapallon varhaisen ilmakehän koostumuksesta ja ilmastosta onnistuu ai-noastaan geologisista kerrostumista. Näitä ovat meri- ja järvisedimentit, jäätikkösyntyiset kerrostumat maalla, itse jäätiköt, puiden vuosirenkaat ja korallit. Maapallon ilmastoa leimaa useat suuret mantereelliset jäätiköitymiset jo proterotsooisen eonin aikana. Sedi-mentologinen data indikoi, että tuon ajan jää-tiköt ulottuivat selkeästi merenpinnan tasolle (Strand 2012; Kurucz ym. 2021). Nykyaikai-nen sekvenssistratigrafiaa ja isotooppikoostu-mustutkimuksia hyödyntävä lähestymistapa voi lisätä merkittävästi ymmärrystä tuon ajan



Kuva 1. Ymmärrys tulevaisuuden ilmastosta paleoilmastollisen arvoketjun kautta.

Figure 1. Understanding of the future climate through the paleoclimatic value chain.

glasiaalivaikutteisesta kerrostumisesta ja sitä kontrolloivista tekijöistä. Tutkimus Maan varhaisesta kehityksestä avaa mm. tietyt käännepisteet maapallon ilmastohistoriassa kuten hapellisen ilmakehän synnyn ja sen kokonaisvaikutukset.

Proksiaineistoja kuten sedimenttien koostumuksen muutoksia, fysikaalisia ominaisuuksia, geokemiaa ja sedimenttien isotooppikoostumuksia voidaan käyttää laajasti arvioitaessa aiempia pitkän aikavälin ympäristö- ja ilmastolosuhteita sekä merenpinnan muutoksia. Merisedimentin koostumusta säätelevät aina useat prosessit, mm. kerrostuvan materiaalin syöttö ja biologinen tuottavuus merivirtoihin liittyen. Lisäksi sedimentaatio-ilmasto-tektoniikka-yhteyden perusteet tulee tuntea paremmin. Merkittävänä tekijänä on myös maapallon vulkaaninen aktiivisuus, joka näkyy mm. tuhkana ja aerosoleina ilmakehässä ja vaikutuksena ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen.

### **Arktis ja Antarktisin erinomaisia tutkimuskohteita jäätikködynamiikan vuoksi**

Polaarialueiden mannerreunat prosesseineen ovat sekä merkittäviä ilmastomuutosta ohjaavia tekijöitä että herkkiä tallentamaan ilmastomuutoksen suunnat niiden sedimenttikerrostumiin. Maapallon kryosfääri voi muuttua nopeasti ja laajoillakin alueilla. Kryosfäärin geologinen historia tulee tietää aiempaa paremmin, jos halutaan ymmärtää ilmastosysteemin tulevaisuuden muutokset.

Koska Arktiksella ja Antarktiksella toimivat mekanismit liittyvät läheisesti globaaleihin ilmastomekanismeihin, on tärkeää tarkastella napa-alueiden ilmaston muutoksia menneisyudessa. Pohjoisen pallonpuoliskon jäätiköitymishistoriaa on aikaisemmin selvitetty enimmäkseen mantereellisten muodostumien avulla, mutta polaarialueiden merisedimentteihin tallentunut tieto odottaa vielä perusteellista analysointia ja tulkintaa. Tarvetta on edelleen myös toteuttaa uusia tieteellisiä syvänmeren kairauksia napa-alueilla, jotta saadaan korkealaatuista jäätikköön nähden proksimaalista aineistoa kertomaan muinaisista mannerjäätikköjen hajoamisista, muutoksista meri-ilmakehäkierrossa ja voidaan testata mallejamme tulevaisuuden merenpinnan kohoamisesta. Paleosedimentologiset ja -klimatologiset rekonstruktio eli mallinnukset ovatkin kehittyneet suuresti viime vuosikymmenten aikana ja sellaiset mittaukset kuten maalämpötilan vaihtelut, ilmakehäkuplien koostumus jäätiköissä sekä jäätikköreunamittaukset, yhdistettynä kemiallisiin, fysikaalisiin tai biologisiin proksiaineistomittauksiin antavat parhaan kuvan tapahtuneista määrällisistä muutoksista eri ympäristöissä.

Lähimeremme Itämeri on yksi suurimmista mantereiden sisäisistä meristä, joka on pysynyt kerrostavana altaana koko sen geologisen historian ajan. Sen korkearesoluutioiset sedimenttiseurannot antavat yhä erinomaisen mahdollisuuden tutkia globaalia ilmastovaihtelua. Esimerkkinä tästä on Itämeren

geologinen IODP-tutkimuskairausprojekti 347 ”Paleoenvironmental evolution of the Baltic Sea Basin (BSB) through the last glacial cycle” toteutettiin onnistuneesti vuonna 2014. Siihen liittyvä tutkimus jatkuu yhä, ja hyvänä esimerkkinä tästä ovat mm. Kellyn ja Passhien (2018) ja Alatarvaksen ja muiden (2022) tutkimukset.

**PROF. KARI STRAND**

(kari.strand@oulu.fi)

Oulu Mining School

Oulun yliopisto

*Kirjoittaja toimii geologian ja mineralogian professorina Oulun yliopiston Teknillisen tiedekunnan Kaivannaisalan yksikössä (Oulu Mining School). Tutkimustoiminnassaan hän on keskittynyt sedimentologiaan ja allasanalyysiin koskien niin prekambrian kerrostumia kuin kenotsooista ilmastokehitystäkin. Mineraaligeokemiallinen tutkimus on laajentunut koskemaan myös sedimenttisiä malmeja ja malminmuodostusprosesseja.*

## Summary

### Climate change as a research target for geologist

Paleosedimentological and climatic reconstruction methods have matured greatly in the past decades offering the possibility to test climate models (Fig. 1). Paleoclimate data helps to elucidate past and present active mechanisms by permitting computer-based models to be tested beyond the short period of instrumental records.

Earth’s climate during the Proterozoic Eon was marked by major glacial events with evidence for large continental ice sheets, and with sedimentological data indicating that glaciers had extended to sea-level (Strand 2012; Kurucz et al. 2021). The Proterozoic glacially influenced strata can greatly benefit the practice of a modern sequence stratigraphic and isotopic approach, allowing evaluation

of the major controls and consequences of Precambrian glaciations.

Proxy data such as compositional changes, sedimentology, physical properties, geochemistry and isotope compositions of sediments can be widely used for evaluating past long term environmental, climatic conditions and ice sheet history, sea level changes, and ocean-atmosphere interactions. The marine sediment composition is always controlled by several processes including detrital material input and biological productivity. Also, fundamentals of sedimentation-climate-tectonics connection needs to be known better as well as global impacts of volcanic activity.

Cryosphere can change rapidly and over broad regions. The geologic history of the cryosphere must be better resolved if we are to understand future changes in the climate system. Because mechanisms operating in the Arctic and Antarctica are also linked to global climate mechanisms, an examination of how polar climate has changed in the past is globally informative. The need is pressing for scientific ocean drilling to deliver high-quality ice proximal records that document past times of ice sheet collapse, capture major changes in ocean and atmospheric circulation, and test and improve models that project future sea level rise.

The Baltic Sea Basin is one of the world’s largest intra-continental basins. It has served as a depositional sink throughout its geological history, and its accumulated sediments comprise thus a unique high-resolution paleoenvironmental archive for future paleoclimatological research.

## Lähdeluettelo

Alatarvas, R., Strand, K., Hyttinen, O. & Kotilainen, A., 2022. Sedimentary facies and clay mineralogy of the late Pleistocene Landsort Deep sediments, Baltic Sea – Implications for the Baltic Ice Lake development. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 54, 624–639. <https://doi.org/10.1080/15230430.2022.215352>

Kelly, A. L. & Passier, S., 2018. A sub-millennial sediment record of ice-stream retreat and meltwater storage in the Baltic Ice Lake during the Bølling-Allerød interstadial. *Quaternary Science Reviews* 198, 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.08.018>

Kurucz, S., Fralick, P., Homann, M. & Lalonde, S., 2021. Earth's first snowball event: Evidence from

the early Paleoproterozoic Huronian Supergroup. *Precambrian Research* 365, 106408. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106408>

Strand, K., 2012. Global and continental-scale glaciations on the Precambrian Earth. *Marine and Petroleum Geology* 33, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.01.011>

# Jäätiköt ilmastonmuutoksessa

JUHA LAAKKONEN JA NIKO PUTKINEN

Manner- ja laaksojäätiköiden sulaminen on sään äärivaihteluiden ohella yksi ilmastonmuutoksen näkyvimpiä ilmiöitä. Korkealta vuoristosta alas laaksoja pitkin kiemurtelevat laaksojäätiköt sykkivät suurilmaston vaihteluiden tahdissa. Toiminnallaan ne kuluttavat laaksoja, muokkaavat sedimenttejä ja luovat uusia ekolokeroita biosfäärille. Kalliota rapauttaessaan laaksojäätiköt ovat tärkeä osa maapallon kivikehän, veden ja ravinteiden kiertoa. Mannerjäätiköt muodostavat suurimman osan maapallon makean veden varannoista, ja sulaessaan ne nostavat merenpinnan tasoa sekä uhkaavat muuttaa merivirtojen reittejä.

Valtavat maa-alueet pohjoisella pallonpuoliskolla ovat olleet mannerjäätikön peitossa useita kertoja historiansa aikana. Jäätikön elinkaari on monin tavoin riippuvainen ilmastosta. Pelkkä ilmaston viileneminen ei saa jäätikköä kasvamaan, vaan vuotuisen kerääntyvän lumen määrän pitää olla suurempi sulamiseen verrattuna. Kerääntyneen lumen tiivistyminen jääksi kestää vuosia. Lopulta muodostunut jää alkaa virrata painovoiman vaikutuksesta kertymis- eli akkumulaatioalueelta kohti alavampia seutuja, jolloin jäätiköstä tulee dynaaminen ja ympäristöään muokkaava tekijä. Jokaisella jäätiköllä on oma tasapainotilansa, jota ylläpitävät jään kertyminen ja sen virtaaminen jäätikön reuna-alueille, jossa sulaminen pääosin tapah-

tuu. Jäätikön massan kasvaessa sen tasapainotilaa kuvaava tasapainoraja siirtyy lähemmäksi sen reuna-alueita. Vastaavasti sulamisen ylitäessä kertyvän jään määrän, tasapainoraja siirtyy ylemmäksi jäätikköä ja sen reuna vetäytyy. Jäätikön herkkyyttä siirtyä tasapainotilasta toiseen kuvataan termeillä reaktioaika ja vasteaika. Jäätikön reaktioaika kertoo sen valmiudesta tasapainottaa vuodenaikavaihteluita. Korkeilla leveysasteilla jäätikkö useimmiten menettää massaansa lämpiminä kesinä sulamisen ja haihtumisen kautta, sekä vastaavasti kasvattaa sitä talvisadannan aikana. Jäätikön vasteaika kuvaa pidemmän aikavälin siirtymistä tasapainotilasta toiseen muuttuneen ilmaston johdosta (Benn & Evans 2010). Vasteajan pituus on kymmenistä satoihin vuosiin riippuen jäätikön koosta ja sijainnista.

## Muutokset ilmastossa saavat jäätiköt liikkeelle

Suuret mannerjäätiköt ovat valtava massa, jonka vasteaika on pitkä eikä massatasapainon muutos tapahdu muutamien poikkeuksellisten vuosien aikana. Tällä hetkellä ilmasto on lämmennyt jo riittävän pitkän aikaa, jotta näemme nopeita muutoksia jäätiköiden sulamisessa.

Kuitenkin paikalliset vaihtelut jäätiköiden