

Suomen muinainen ilmasto heilahteli villisti

■ J. Sakari Salonen ja Karin F. Helmens

Maapallo lämpenee ja suuntaa kohti uutta, tuntematonta kehitysvaihetta. Tämä on saanut tutkijat huolestumaan äkillisten ja ennakoimattomien ilmastoyllätysten mahdollisuudesta. Onko esimerkiksi Eurooppaa lämmittävien Pohjois-Atlantin merivirtojen vakaus taattua lämpötilojen noustessa ja jäätiköiden sulaessa? Nyt Suomen Lapista kerätty ainutlaatuinen, muinaisia lämpötiloja kuvaava geologinen aineisto haastaa käsityksiä ilmaston vakaudesta.

Maapallon keskilämpötilan on ennustettu nousevan noin yhdestä neljään astetta tällä vuosisadalla, nousun suuruuden riippuessa voimakkaasti kasvihuonekaasujen päästöjen tulevasta kehityksestä (IPCC 2014). Samalla kun planeettamme näyttää väijäämättä lämpenevän, on toisaalta kannettu kasvavaa huolta niin sanottujen äkillisten ilmastovaihtelujen mahdollisuudesta. Näillä tarkoitetaan hyvin nopeita ilmastomuutoksia, jotka toteutuvat selvästi nopeammin kuin ilmastoon vaikuttavissa taustatekijöissä tapahtuvat muutokset. Ilmastojärjestelmässä käsitetään olevan eräänlaisia kynnyksarvoja, joiden ylityksessä niin sanotut *palautekytkennät* aikaansaavat hyvin nopeita muutoksia ilmastossa (Alley ym. 2003).

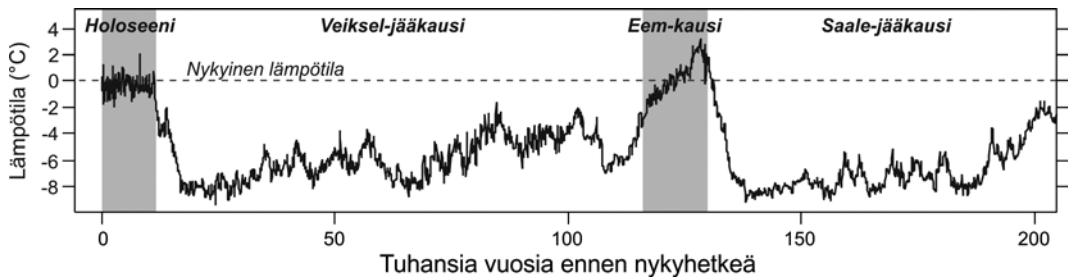
Paleoilmatot – näkökulma tulevaan

Yhtenä esimerkkinä mahdollisesta nopeasta muutoksesta on Pohjois-Atlantin lämpimien merivirtojen (mm. Golf-virta) häiriintyminen tai kaikinainen seisahtuminen. Koska Pohjois-Atlantin merivirrat ylläpitävät Euroopan leveysasteisiin nähden lauhaa ilmastoa, on huolena, että häiriöt Atlantilla voisivat aikaansaadaksen ilmaston äkillisen viilenemisen Euroopassa.

Tuoreiden havaintojen mukaan Pohjois-Atlantin kierto olisikin jo jossain määrin häiriintynyt, sillä kierron voimakkuuden on havaittu olleen 1970-luvulta alkaen matalimmalla tasolla tuhanteen vuoteen (Rahmstorf ym. 2015).

Huoli ilmaston tulevasta vakaudesta on aiheellinen, jos tarkastelemme ilmaston aiempaa kehityshistoriaa. Niin sanottujen *paleoilmattojen* (tai muinaisilmastojen) tutkimus selvittää maapallon ilmaston kehitystä ennen suorien mittaushavaintojen alkamista, viimeisten vuosituhansien ja -miljoonien aikana. Paleoilmattojen tutkimus on paljastanut, että äkilliset ilmastomuutokset ovat olleet hyvin yleisiä viimeisten vuosituhansien aikana. Kaikkein korostuneimpia äkilliset muutokset ovat olleet viimeisen jääkauden aikana (n. 10–115 tuhatta vuotta sitten), jolloin erityisesti Pohjois-Atlantin alueen ilmastoa leimasi jatkuva ”sahaaminen” täysin jääkaudisen ja tätä huomattavasti lämpimämmän ilmaston välillä. Moniin näistä viimeisen jääkauden äkillisistä ilmaston heilahduksista liittyi myös Pohjois-Atlantin kierron hidastuminen (esim. Masson-Delmotte ym. 2013). Nämä havainnot jääkaudisen paleoilmaton hurjasta dynamiikasta olivat aikanaan nostamassa äkillisen ilmastomuutoksen mahdollisuutta osaksi muutoinkin kiihtyvää ilmastokeskustelua.

Verrattuna viimeiseen jääkauteen on ilmasto ollut selvästi vakaampaa sitä seuranneen lämpimän vaiheen, noin 10 000 vuotta sitten alkanen ja yhä jatkuvan *holoseenin* aikana (kuva 1). Holoseenin ilmastoa ovat leimanneet vähitäläiset, lähinnä asteen kymmenyksissä mitattavat muutokset keskilämpötilassa (Masson-Delmotte ym. 2013). Holoseenin vakaan ilmaston aikana on tapahtunut koko ihmissivilisaation nou-



Kuva 1. Etelämantereen lämpötila viimeisten 200 tuhannen vuoden aikana. Lämpötila-arviot perustuvat Vostokin jääkaira-aineiston deuterium-isotooppisuhteeseen. (Aineisto: Petit ym. 1999.)

su ja kehitys, maanviljelyksestä kirjoitustaitoon ja teollistumisesta tietoyhteiskuntaan. Tämän kriittisen ajanjakson ihmiskunta vaikuttaakin eläneen ilmastollisessa mielessä onnellisten tähtien alla. Mutta huomioiden ilmaston tunnetun, varhaisemman epävakauden, kuinka itsestään selvänä voimme pitää suotuisan ilmaston jatkumista – erityisesti kun ihmiskunta on ajamassa ilmastoa uuteen tilanteeseen, jossa menneiden vuosituhansien muistot eivät enää toimikaan takeena ilmaston yhä jatkuvasta vakaudesta?

Muinaisia lämpökauusia

Ilmaston tulevan vakauden pohdinnassa voimme jälleen kääntää katseen menneisyyteen. Lähitulevaisuutemme ei nimittäin ole ensimmäinen kerta, kun ilmasto on ollut selvästi nykyistä lämpimämpi.

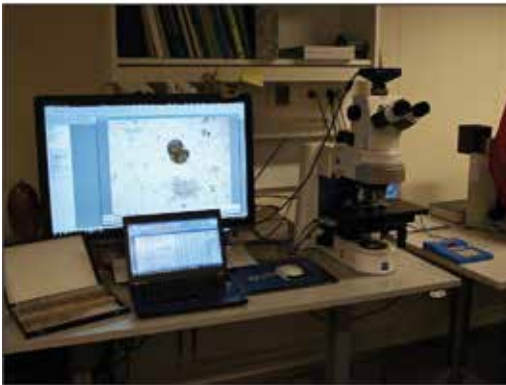
Viimeisten kahden miljoonan vuoden aikana ilmaston kehitystä on leimannut niin sanottu jääkausivaihtelu – syklinen ilmaston heilahdus kylmien jääkausioalojen ja jääkausien väliin jäävien lämpimien kausien välillä. Edellinen ilmaston lämpeneminen huomattavasti nykyistä korkeammalle tasolle tapahtui niin sanotun Eem-kauden aikana. Eem-kausi (n. 115–130 tuhatta vuotta sitten) oli viimeistä jääkautta edeltänyt lämmin ilmastovaihe (kuva 1). Pohjoiset alueet olivat Eem-kaudella useita asteita nykyistä lämpimämpiä, ja koko planeetan keskilämpötilan on arvioitu olleen noin 1–2 astetta nykyistä korkeampi (Masson-Delmotte ym. 2013). Tämä Eem-kauden lämpöjakauma – napa-alueita kohti korostuva lämpeneminen – on samansuuntainen kuin mihin maapallon on ennustettu siirty-

vän vielä tämän vuosisadan lopulla. Eem-kautta onkin tämän yhtäläisyyden vuoksi pidetty hyödyllisenä vertailukohtana mahdolliselle lämpimälle tulevaisuudellemme (Clark ja Huybers 2009).

Eem-kauden tutkimuksessa on kuitenkin omia, merkittäviä haasteitaan. Tutkijat ovat onnistuneet keräämään nykyisestä lämpökaudesta, holoseenista, jopa tuhansia laadukkaita paleoilma-aineistoja. Näitä holoseenikauden aineistoja on käytetty runsaasti ilmastomuutoksen tutkimuksessa, muun muassa osoittamaan, että viimeisten vuosikymmenien lämpeneminen poikkeaa ratkaisevasti ilmaston pitkäaikaisesta kehityksestä (esim. Masson-Delmotte ym. 2013).

Eem-kauteista paleoilma-aineistoja on kuitenkin paljon heikommin saatavilla. Monet keskeisimmistä paleoilmatiedon lähteistä eivät yksinkertaisesti ulotu Eem-kaudelle asti. Esimerkiksi puulustoaineistot ovat olleet ratkaisevan tärkeitä ilmastomuutoskeskustelussa, mutta nämä aineistot ulottuvat parhaimmillaan vain joitakin tuhansia vuosia ajassa taaksepäin. Toisen keskeisen paleoilma-aineiston, jääkairojen, osalta tilanne on samoin vaikea. Hyviä Eem-kauteista jääkaira-aineistoja on saatavilla vain Etelämantereelta (kuva 1), kun taas Grönlandin mannerjäätiköltä ei ole saatu yhtenäistä ja häiriötöntä aineistoa Eem-kaudesta, useista yrityksistä huolimatta.

Puulusto- ja jääkaira-aineistojen vajavaisuuden vuoksi Eem-kauden tutkimus onkin joutunut nojaamaan vaihtoehtoisiin tietolähteisiin. Keskeisiksi ovat nousseet erityisesti Eem-kauteiset geo-



Kuva 2. Yllä: Geologian tutkimuskeskuksen henkilökuntaa kairaamassa Soklin Eem-kautisia kerrostumia. Alla: mikrofossiilien analysointia laboratoriossa.

logiset kerrostumat, joiden fossiilit ja isotooppi-koostumukset voivat kertoa paljon Eem-kauden ilmastosta. Näidenkin aineistojen saatavuudessa on kuitenkin omia haasteitaan. Erityisesti maapallon pohjoisilla alueilla monet Eem-kautiset kerrostumat tuhoutuivat Eem-kautta seuranneella jääkaudella (kuva 1). Jääkauden aikana kilometrien paksuiset mannerjäätiköt levittäytyivät Euroopan ja Pohjois-Amerikan ylle, jauhaen ja vieden mukanaan vanhempia geologisia kerrostumia. Näin tieto Eem-kauden olosuhteista katosi laajoilta alueilta.

1970-luvulla kuitenkin havaittiin, että Suomen Itä-Lapissa, Savukosken Soklissa on säi-

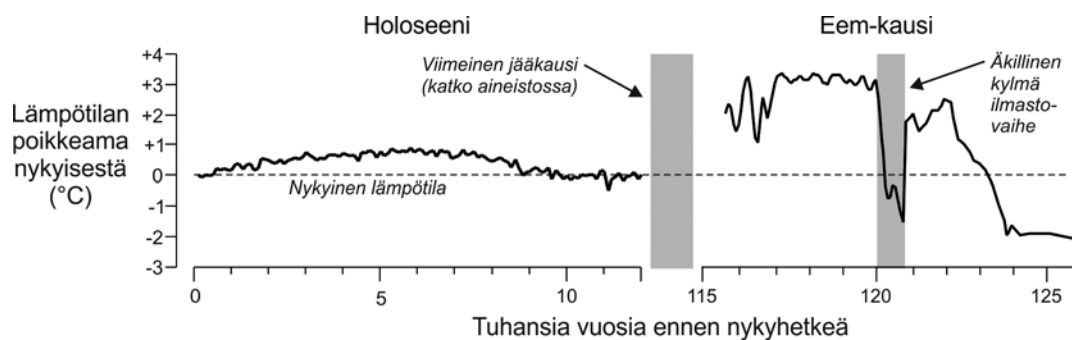
lynyt paksuja Eem-kauden aikaisia geologisia kerrostumia. Syy Eem-kautisten kerrostumien poikkeukselliseen säilymiseen Soklissa löytyy alueen poikkeuksellisesta kallioperästä. Soklissa esiintyy muutaman neliökilometrin alueella harvinaista, paleotsooista karbonaattiikiveä. Tämä karbonaatti on huomattavasti herkempiä rapautumaan kuin sitä ympäröivä, tyypillinen suomalainen prekambriininen kallioperä. Soklin karbonaattiin syvälle ulottuva rapautuminen onkin muodostanut Sokliin painanteen, jossa Eem-kauden kerrostumat ovat voineet säilyä viimeisen jääkauden kulutukselta. (Soklin kallioperäanomalia on samalla syy sille, että kairovayhtiöt ovat kiinnostuneet alueesta: Soklin karbonaattiikiven fosfaattipitoisuus on nimittäin paikoin hyvin korkea.)

Soklin Eem-kautisten kerrostumien perusteellinen tutkimus alkoi vasta tällä vuosikymmenellä. Soklissa suoritettiin vuonna 2010 kairauksia, joissa Eem-kerrostumista kerättiin noin 12 metriä pitkä näytesarja. Eem-kerrostumat sijaitsivat noin 20 metriä syvien holoseenin ja viimeisen jääkauden aikaisten sedimenttien alla (kuva 2).

Soklin aineisto on ensimmäinen yhtenäisen aineisto Eem-kauden ilmastosta kehityksestä Euroopan pohjoisilta, myöhemmin jäätiköityneiltä alueilta. Näin se tarjoaakin ainutlaatuisen silmäyksen Pohjois-Euroopan maailmaan ennen viimeisen jääkauden kylmyyttä. Omissa tutkimuksissamme (mm. Helmens ym. 2015) olemme rekonstruoineet Pohjois-Euroopan ilmastosta kehitystä Soklin Eem-kerrostumien perusteella. Työ perustuu etupäässä kerrostumista löytyvien kasvi- ja eläinperäisten fossiilien analysointiin. Suuri osa näistä fossiileista on mikroskooppisen pieniä, kuten muinaisia siitepölyhiukkasia (kuva 2). Tilastollisia kalibrointimenetelmiä hyödyntämällä fossiileja voi käyttää eräänlaisena ”paleolämpömittarina” – fossiilien lajikoostumuksien perusteella voi johtaa numeerisia arvioita menneiden ajanjaksojen lämpötiloista.

Suomi Eem-kaudella

Soklin ensimmäiset Eem-kautta käsittelevät tutkimustulokset (Helmens ym. 2015) tukevat



Kuva 3. Koillisen Euroopan lämpötila nykyisellä lämpökaudella (Holoseeni) ja sitä edeltäneellä lämpökaudella (Eem-kausi). Käyrät kuvaavat fossiilisten siitepölyjen perusteella arvioituja vuoden lämpimimmän kuukauden keskilämpötiloja. Holoseenin lämpötilat on esitetty Davis ym. (2003) mukaan ja Eem-kauden lämpötilat Helmens ym. (2015) perusteella. Aineistossa on katko viimeisen jääkauden kohdalla. Eem-kauden lämpötilakäyrään on merkitty lämpökauden keskeyttävä kylmä ilmasto-vaihe.

monilta osin vanhoja käsityksiä Eem-kauden olosuhteista Euroopasta. Ilmasto oli valtaosin leuto: lämpimimmän vaiheen aikana kesälämpötilat olivat noin kolme astetta nykyistä korkeampia (kuva 3). Tämä vastaa karkeasti sitä, että Itä-Lapissa oli Eem-kaudella nykypäivän Helsinkiä vastaavat lämpötilaolosuhteet.

Noin 120 tuhatta vuotta sitten, keskellä Eem-kauden lämmintä jaksoa, Soklissa tapahtui kuitenkin jotain yllättävää. Lämpötila romahhti äkillisesti noin kolmella asteella, laskien jopa hieman nykyistä tasoa alemmalle tasolle (kuva 3). Vanhojen kerrostumien ajoitusvaikeuksien takia tämän kylmän vaiheen pituutta on vaikea arvioida tarkasti, mutta todennäköisesti sen kesto oli vähintään joitakin satoja vuosia.

Soklissa havaittu Eem-kauden epävakaus poikkeaa täydellisesti holoseenikauden ilmaston kehityksestä Pohjois-Euroopassa: holoseenin aikana lämpötilat olivat varsin vakaita, käyden noin asteen nykyisen tason yläpuolella keskivoloseenissa (kuva 3). Miksi ilmaston kehitys poikkesi niin täydellisesti nykyisellä lämpökaudella toteutuneesta, vakaasta kehityksestä?

Lisätodisteita Atlantin pohjasta

Hakiessamme selvyyttä Eem-kauden arviointiin pyrimme vertaamaan Soklin aineistoa muissa tutkimuksissa kuvattuihin Eem-kauden ikäisiin geologisiin aineistoihin. Vertailu Keski-Euroopan Eem-kautisiin aineistoihin osoitti,

ettei vastaavaa äkillistä viilenemistä ollut siellä havaittavissa. Vertailu Pohjoisen Atlantin merisedimentteihin paljasti sen sijaan yllättäviä yhtäläisyyksiä. Huomasimme ensin, että Norjanmereltä rekonstruoitu Eem-kauden pintaveden lämpötilakäyrä oli häkellyttävän samanlainen, kuin Soklin kesälämpötilakäyrä, sisältäen vastaavan kylmän vaiheen noin 120 tuhatta vuotta sitten (Bauch ym. 2011, Helmens ym. 2015). Tämä osoitti, ettei Soklin aineisto ollut vain paikallinen anomalia: 120 tuhannen vuoden takainen viileneminen oli laajalla alueella pohjoisessa Euroopassa esiintynyt tapahtuma.

Keväällä 2014 julkaistut merisedimenttitutkimukset Grönlannin eteläpuolelta (Galaasen ym. 2014) valottivat tilannetta edelleen. Kyseisessä tutkimuksessa analysoitiin merisedimentin hiili-isotooppikoostumusta, joka reagoi suoraan merivirtojen kierron voimakkuuteen, koska Atlantin eri osien vesimassoilla on erilainen isotooppikoostumus. Tutkijat osoittivat, että Eem-kauden aikana Pohjois-Atlantin kiertosysteemit heikkenivät ajoittain huomattavasti. Yksi näistä heikkenemisistä tapahtui noin 119,5 tuhatta vuotta sitten. Kun huomioidaan sekä Soklin että Atlantin aineistojen ikämäärytyksiin liittyvät epävarmuudet, voidaan Atlantilla havaittua merivirtojen hidastumista pitää karkeasti saman ikäisenä tapahtumana kuin Soklissa noin 120 tuhatta vuotta sitten tapahtunutta ilmaston viilenemistä.

Kun Soklin paleoilma-aineisto ja Pohjois-Atlantin merisedimenteistä saadut tulokset yhdistetään, alkavat palaset loksahda kohdalleen. Pohjois-Euroopan kylmä ilmastovaihe noin 120 tuhatta vuotta sitten johtui todennäköisesti Pohjois-Atlantin lämpimien merivirtojen äkillisestä ja voimakkaasta hidastumisesta.

Vaikka meillä on nyt vahvaa todistusaineistoa siitä *mitä* tapahtui, jää ongelmaksi yhä selittää *miksi* se tapahtui. Mikä aiheutti Eem-kauden häiriön Pohjois-Atlantin merivirroissa? Viimeisen jääkauden lopulla, noin 10–15 tuhatta vuotta sitten Pohjois-Atlantin merivirtojen kierrossa tiedetään tapahtuneen useita häiriöitä, jotka liittyivät viimeisen jääkauden jäätiköiden sulamisvesien virtaamiseen Atlantille (Delworth ym. 2008). Yksinkertaisin selitys olisi, että Eem-kauden kylmä vaihe olisi samanlainen, edeltävän jääkauden jäätiköiden sulamiseen liittyvä häiriö. Tämä selitys ei kuitenkaan vaikuta uskottavalta Eem-kauden kohdalla. Ongelmana on tapahtuman kronologia – kylmä vaihe tapahtui niin myöhään Eem-kaudella, sen keski- tai myöhäisosassa, ettei ole uskottavaa, että edeltävän jääkauden, Saale-vaiheen, mannerjäätiköiden sulaminen olisi ollut vielä kesken (Helmens ym. 2015). Selitystä joudutaan siis hakemaan jostain muusta, uudesta mekanismista.

Mahdollisia selityksiä onkin useita. Yksi mahdollinen selittäjä on Grönlannin mannerjäätikkö, jonka tiedetään pienentyneen merkittävästi Eem-kaudella. Toisaalta myös sadanta on saattanut lisääntyä, mikä on voinut lisätä makeanveden vuota Pohjois-Atlantille (Galaa- sen ym. 2014). Niin Grönlannin sulamisvesillä, sadannalla kuin Eem-kauden korkeilla lämpötiloillakin on Pohjois-Atlantin kannalta sama loppuvaikutus: ne vähentävät meren pintaveden tiheyttä. Pohjois-Atlantin tietyillä alueilla esiintyvät muutokset pintavesien tiheydessä taas ovat kriittisiä meren kiertoliikettä häiritseviä tekijöitä (Delworth ym. 2008).

Eem-kauden äkillisen kylmän vaiheen perimmäinen syy jää tässä vaiheessa vielä epävarmaksi. Nämä tulokset kuitenkin osoittavat, miten arvokasta tietoa ilmaston peruskäyttäytymisestä voidaan saada perehtymällä menneisiin ilmastohis-

torioihin. Pohjois-Atlantin kierron reagoitua ilmaston lämpenemiseen on pyritty mallintamaan, mutta tulokset ovat olleet hyvin vaihtelevia. Numeeriset mallit ennustavat Pohjois-Atlantin kierron heikkenevän tällä vuosisadalla, mutta eri mallien antamat arviot heikkenemisen suuruudesta vaihtelevat välillä 0–50 % ja loppulema on siksi jäänyt epävarmaksi (Delworth ym. 2008). Uudet tiedot Eem-kaudesta osoittavat Atlantin epävakauden todella toteutuneen silloisissa lämpöolosuhteissa. Tämä on erittäin tärkeä havainto, jota voidaan hyödyntää ilmaston ja merivirtojen mallinnuksen kehitystyössä, mikä taas johtaa tarkempiin ennusteisiin tulevaisuuden ilmasto-olosuhteista.

Kohti lämpimämpää tulevaisuutta

Suurena jäljellä olevana haasteena on tarkentaa näitä reunaehtoja, joiden vallitessa Pohjois-Atlantin kierto saattaa häiriintyä. Suuria kysymyksiä liittyy esimerkiksi Grönlannin mannerjäätikön kehitykseen Eem-kaudella. Merenranta-alueiden geologisten muodostumien perusteella on arvioitu, että merenpinta oli 5–10 metriä nykyistä korkeammalla Eem-kauden aikana. Jääkairausten ja mannerjäätikön dynamiikan numeerisen mallinnuksen perusteella on voitu arvioida, että Grönlannin jäätikön pieneneminen vastasi noin 1,5–4,5 metriä tuosta merenpinnan noususta. Vaikka Grönlannin mannerjäätikön siis tiedetään pienentyneen Eem-kauden lämpimän ilmaston seurauksena, tiedämme vain karkeasti, kuinka *paljon* se pieneni. Lisäksi arviot siitä, kuinka *nopeasti* sulaminen tapahtui vaihtelevat tuhansilla vuosilla (Carlson ym. 2008; Masson-Delmotte ym. 2013). Näistä epävarmuuksista johtuen meillä ei ole täsmällistä tietoa siitä, kuinka nopeaa makeanveden valuma Atlantille oli, kun äkillinen kylmeneminen katkaisi Eem-kauden lämpimän jakson.

Lopuksi on todettava, että nykyinen ilmastollinen tilanne poikkeaa joiltain osin merkittävästi Eem-kauden tilanteesta. Eem-kauden kylmä vaihe tapahtui taustatilanteessa, jossa lämpötilat olivat verraten vakaalla, korkealla tasolla. Tilanne on nyt erilainen sikäli, että elämme ilmas-

tovaiheessa, jossa lämpötilojen ennustetaan nousevan nopeasti kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kohoamisen vuoksi.

Onkin mutkikas kysymys, riittäisikö Pohjois-Atlantin kierron häiriintyminen kääntämään ilmaston lämpenemistä viilenemiseksi niillä alueille, joita Pohjois-Atlantin merivirrat lämmittävät. Mallinnustutkimukset viittaavat siihen, että edes merkittävä merivirtojen hidastuminen ei aikaansaisi viilenemistä Euroopassa. Vasta merivirtojen täydellinen seisahtuminen riittäisi synnyttämään lievän, 1–2 asteen viilenemisen osassa Eurooppaa. Toisin kuin tieteisfiktiossa joskus esitetään, ei Pohjois-Atlantin merivirtojen häiriö siis laukaisisi uutta jääkautta (Delworth ym. 2008). Tulee myös huomata, ettei mahdollisilla häiriöillä Pohjois-Atlantilla olisi vaikutusta ilmastonmuutoksen etenemiseen. Teoria antropogeenisestä ilmastonmuutoksesta ennustaa, että kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousu tulee nostamaan maapallon keskilämpötilaa. Vaikka Atlantilla tapahtuisi merivirtojen muutos, uudessa tilanteessa vain siirtyisi lämpöä paikasta toiseen maapallon pinnalla, ilman suoraa vaikutusta planeettamme keskilämpötilaan: Euroopan menettämä lämpö jäisi lämmittämään muita alueita.

Lähteet

- Alley RB, Marotzke J, Nordhaus WD, Overpeck JT, Peteet DM, Pielke RA Jr., Pierrehumbert RT, Rhines PB, Stocker TF, Talley LD, Wallace JM (2003) Abrupt climate change. *Science* 299:2005–2010.
- Bauch HA, Kandiano ES, Helmke J, Andersen J, Rosell-Mele A, Erlenkeuser H (2011) Climatic bisection of the last interglacial warm period in the Polar North Atlantic. *Quaternary Science Reviews* 30:1813–1818.
- Carlson AE, Stoner JS, Donnelly JP, Hillaire-Marcel C (2008) Response of the southern Greenland Ice Sheet during the last two deglaciations. *Geology* 36:359–362.
- Clark PU, Huybers P (2009) Interglacial and future sea level. *Nature* 462:856–857.
- Davis BAS, Brewer S, Stevenson AC, Guiot J, Data Contributors (2003) The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews* 22:1701–1716.
- Delworth TL, Clark PU, Holland M, Johns WE, Kuhlbrodt T, Lynch-Stieglitz J, Morrill C, Seager R, Weaver AJ, Zhang R (2008) The potential for abrupt change in the Atlantic Meridional Overturning Circulation. Teoksessa: *Abrupt Climate Change*, A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, U.S. Geological Survey, Reston, VA, USA, 117–162.
- Galaasen EV, Ninnemann US, Irvall N, Kleiven HKF, Rosenthal Y, Kissel C, Hodell DA (2014) Rapid reductions in North Atlantic deep water during the peak of the last interglacial period. *Science* 343:1129–1132.
- Helmens K, Salonen JS, Pliikk A, Engels S, Väiliranta M, Kylander M, Brendryen J, Renssen H (2015) Major cooling intersecting peak Eemian Interglacial warmth in Northern Europe. *Quaternary Science Reviews* 122:293–299.
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. Teoksessa: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (toim.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge ja New York, 1–32.
- Masson-Delmotte V, Schulz M, Abe-Ouchi A, Beer J, Ganopolski A, González Rouco JF, Jansen E, Lambeck K, Luterbacher J, Naish T, Osborn T, Otto-Bliesner B, Quinn T, Ramesh R, Rojas M, Shao X, Timmermann A (2013) Information from Paleoclimate Archives. Teoksessa: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (toim.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge ja New York, 383–464.
- Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola J-M, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davis M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov VM, Legrand M, Lipenkov VY, Lorius C, Pépin L, Ritz C, Saltzman E, Stievenard M (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429–436.
- Rahmstorf S, Box JE, Feulner G, Mann ME, Robinson A, Rutherford S, Schaffernicht EJ (2015) Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change* 5:475–480.

J. Sakari Salonen työskentelee tutkijatohtorina Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen laitoksella. Karin Helmens on kvartäärigeologian dosentti Tukholman yliopiston luonnonmaantieteen laitoksella.