

Vaikuttiko äkillinen ilmastonmuutos hellenismien syntyyn ja sitä kautta meidänkin kulttuuriimme?

ISMO AALTONEN

Johdanto

Viidennellä vuosisadalla ennen ajanlaskun alkua Euroopassa asuneet ihmiset kokivat todennäköisesti kovia. Siitä kertovat esimerkiksi vähäisten arkeologisten löytöjen jakso Pohjois-Euroopassa, nopeat muutokset maa- ja metsätaloudessa, kelttien Hallstatt-kulttuurin levittäytyminen etelämmäs ja lopulta kuihtuminen sekä Aleksanteri Suuren nousu (esim. Büntgen ym. 2011; Myrdal & Morell 2011; Cartwright 2016; Söderlund 2021). Monien mullistusten ja Aleksanteri Suuren valtakunnan jälkeen itäisellä Välimerellä ja Lähi-idässä vallitsi hellenismiksi kutsuttu kulttuuripiiri, joka oli kuin sulatusuuni, joka vaikutti moniin kansoihin ja imperiumeihin. Hellenismien perintö vaikuttaa vielä nykyäänkin esimerkiksi taiteissa, tieteissä ja politiikassa.

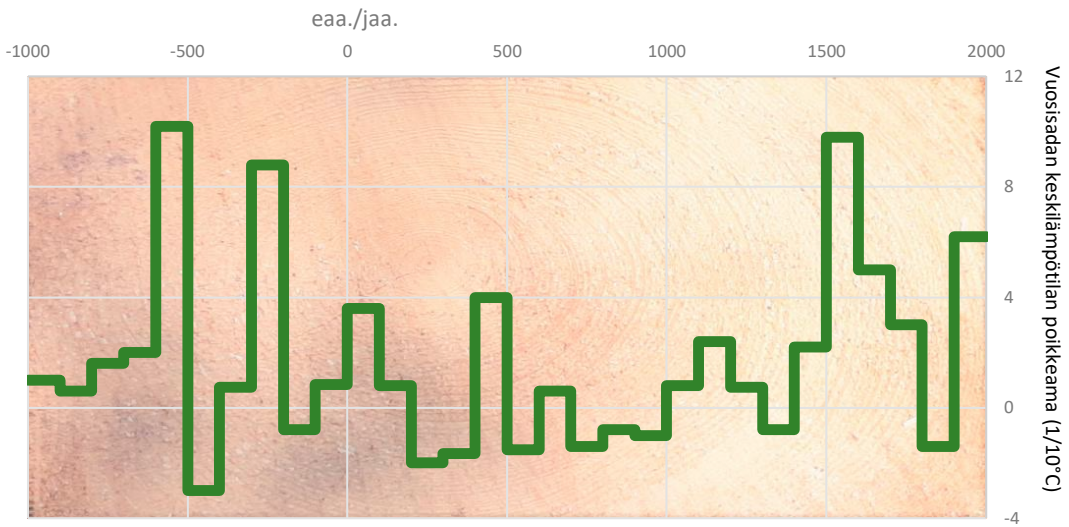
Edellä mainittuihin asioihin saattaa liittyä tuohon aikaan ilmastossa tapahtuneet muutokset. Suomalaisista puista on onnistuttu tekemään yksi maailman pisimmistä lustokalenterista. Se kattaa yli 7500 vuotta, ja kertoo menneistä ilmastovaihteluista Lapissa (esim. Helama ym. 2002). Lustokalenterin valmistamista pitkään vaikeuttanut näytteetön ajanjakso välillä 350–170 eaa. saatiin paikattua vasta kymmenien vuosien työn jälkeen. Helaman

ym. (2002) mukaan viides ja neljäs vuosisata eaa. erottuvat kylminä, mutta molemmiin puolin tätä kylmää jaksoa on viitteitä lämpimistä kausista (kuva 1). Myös aineiston kylmimmät vuosikymmenet osuvat näihin viileisiin vuosisatoihin. Tutkimusten perusteella Islannissa jäätiköt laajenivat nopeasti ja nykymuotoinen Vatnajökull-jäätikkö alkoi muodostua subatlanttisen kauden alkuvaiheessa 400-luvulla eaa. (Björnsson & Pálsson 2008; Björnsson 2017).

Muutosten mahdollisia syitä

Ennen teollista aikaa holoseenin ilmastoon ovat vaikuttaneet useat ulkoiset tekijät. Karkeasti ottaen Maan kiertoradan ja akselin muutokset vaikuttavat tuhansien vuosien, auringon aktiivisuus satojen vuosien ja vulkaaninen toiminta kymmenien vuosien aikajäniteillä (esim. Bradley 2003).

Maapallon radan muodon ja akselin asennon muutokset (Milankovićin jaksot) ja niiden yhteisvaikutukset aiheuttavat vaihtelua maapallolle tulevaan auringon energiaan ja sen jakaumaan eri leveysasteille. Nämä ovat ilmaston kannalta merkittäviä muutoksia pidemmällä ajanjaksoilla, ja esimerkiksi periheliolliikkeen vaikutus voidaan nähdä holoseeni-



Kuva 1. Lustotutkimuksiin perustuva sadan vuoden kesälämpötilojen keskiarvon vaihtelu (Helama ym. 2002 mukaan). Huom. suuret vaihtelut 600 eaa. jälkeen.

Figure 1. 100-year means of century-wise midsummer temperatures based on tree-ring record (redrawn from Helama et al. 2002). Note the strong changes after 600 BCE.

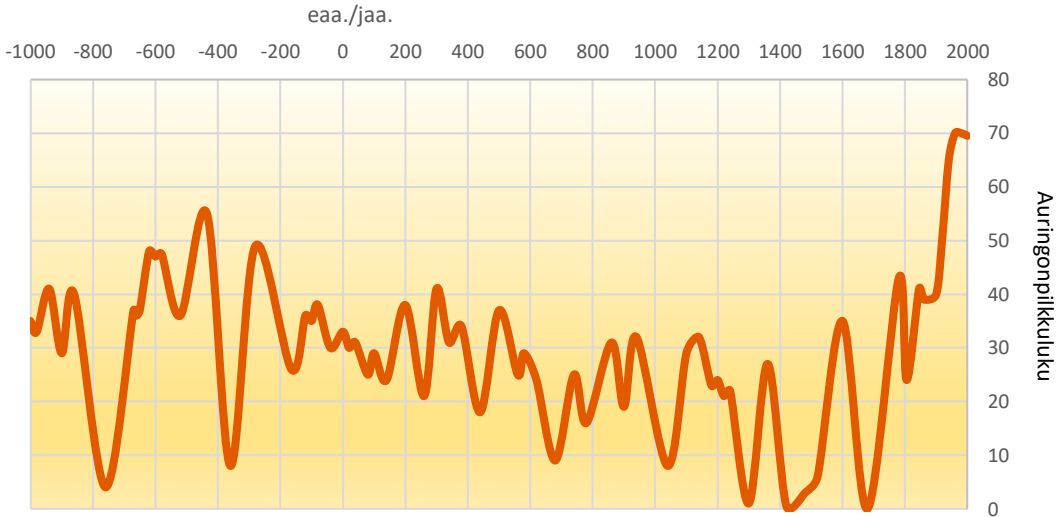
kaudella, mutta holoseenin sisäisten nopeiden muutosten selittämisessä ne lienevät liian hitaita (esim. Borzenkova ym. 2015).

Auringon aktiivisuuden muutosten on osoitettu vaikuttavan ilmastoon, vaikka suorista vaikutuksista käydään keskustelua (esim. Owens ym. 2017). Auringon aktiivisuudessa on havaittu tunnetun 11 vuoden syklin lisäksi harvemmin toistuvia tapahtumia sekä merkittävää kaoottisuutta (Tlatov & Pevtsov 2017; Usoskin 2017). Holoseenin aikana tapahtunut yksi muutos auringon aktiivisuudessa on nopea pudotus, joka alkoi noin 430 eaa. ja saavutti minimin pohjan noin 360 eaa. Kyseisen minimin kestoksi arvioidaan 60 vuotta (Usoskin ym. 2007 ja kuva 2; ks. myös Vieira ym. 2011).

Maan magneettikentän muutokset vaikuttavat ilmastoon sekä ionosfäärin toiminnan kautta että aurinkotuuleen vaikuttamalla. Magneettikentän suunnassa, kallistumassa (inklinaatiossa) ja voimakkuuden vaihtelussa on tapahtunut voimakkaita ja nopeita muutoksia 700–200 eaa. (esim. Knudsen ym. 2008; Avery ym. 2017). Maan magneettikenttä vaikuttaa kosmisen säteilyn voimakkuuteen

Maassa, mutta auringon aktiivisuudella on suurempi merkitys: kun aurinko on aktiivinen, kosminen säteily on vaimeampaa. Holoseenin aikana tapahtunutta kosmisen säteilyn vaihtelua on tutkittu sen tuottamista hiilen ja berylliumin isotoopeista esim. jäätikkökairauksin ja puiden vuosilustoista (Steinhilber ym. 2012). Kosminen säteily toimii paitsi merkinä auringon toiminnasta myös pilvien muodostumisesta lisäävänä tekijänä (Marsh 2000). Joissakin tutkimuksissa on esitetty yhteyksiä ilmastoon, auringon aktiivisuuden ja Maan magneettikentän nopeiden muutosten välillä, ja saatu käsitys ulkoisten tekijöiden aiheuttamista kylmistä ja osin kosteista kausista liittyen 760 ja 360 eaa. auringon aktiivisuusminimeihin (esim. Dergachev ym. 2004).

Tulivuorten hiukkas- ja kaasupäästöjen suorat ja epäsuorat vaikutukset voivat selittää monet katastrofaaliset ja pitkäkestoisetkin ilmastomuutokset (esim. Kobashi ym. 2017). Vulkaanisen toiminnan ajatellaankin olleen esiteollisen ajan merkittävin tekijä nopeissa ilmastomuutoksissa (Borzenkova ym. 2015). Tulivuorista purkautuvasta rikkidioksidista



Kuva 2. Holoseenin loppupuolelle rekonstruoitu kohinasuodatettu auringonpilkkuaktiivisuus (Usoskin ym. 2007 mukaan).

Figure 2. Late Holocene noise filtered sunspot activity (redrawn from Usoskin et al. 2007).

muodostuu ilmakehässä sulfaattiaerosoleja, jotka lisäävät ilmakehän albedoa ja vaimentavat auringonvaloa laajalla spektrillä. Vulkaaninen toiminta voi olla myös laukaiseva tekijä muiden ilmastoa muuttavien tekijöiden vaikutuksen yhteydessä (Cole-Dai 2010). Jäätikkökairauksen perusteella n. 425 eaa. maapallolla alkoi yli kymmenen vuotta kestänyt purkaustoiminta, jolla on saattanut olla globaaleja vaikutuksia (Jiang ym. 2012; Sigl ym. 2015).

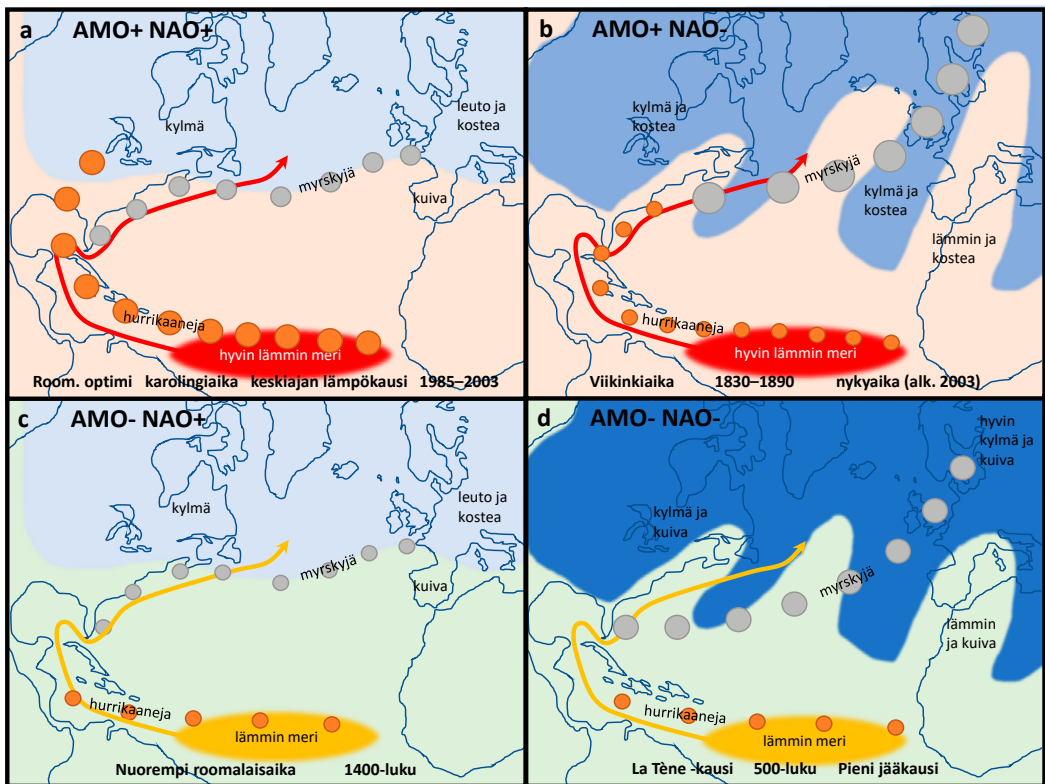
Myös impaktit voivat aiheuttaa ja ovat aiheuttaneet isoja ja monimutkaisia vaikutuksia mm. nostamalla pölyä ilmakehään tai laajojen metsäpalojen kautta, ja niiden monenlaiset vaikutukset voivat vahvistaa tai heikentää toisiaan erityyppisten törmäysten tapauksissa. Merkittäviä ilmastovaikutuksia aiheuttaneita impakteja ei liene tapahtunut viimeisten tuhansien vuosien aikana (esim. Schmieder & Kring 2020 lähteineen).

Kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on kasvanut holoseenin aikana. Ennen teollisen ajan merkittävää lisäystä muutos on ollut kuitenkin hyvin hidasta, eikä sen arvioida aiheuttaneen ainakaan nopeita muutoksia ilmas-

toon (esim. Borzenkova ym. 2015). Näihin aiempiin rauhallisiin muutoksiin ovat vaikuttaneet muun muassa kasvillisuusmuutokset, turpeen muodostuminen, korallien kasvu ja valtameren geokemia (Joos ym. 2004).

Meri-ilmakehäsystemissä nähdään monenlaisia heilahteluja. Jaksottaisista muutoksista tunnetuimmat ovat ENSO (engl. El Niño Southern Oscillation) ja NAO (engl. Northern Atlantic Oscillation). Kun NAO-indeksi on negatiivinen, Pohjois-Euroopassa on talvella kylmempää ja kuivempää, mutta Välimeren pohjoispuolella sataa paljon. Myös pohjoisen kevät ja kesät ovat tavallista kylmempiä mutta kosteampia (Met Office 2021; Ascoli ym. 2017).

Kun NAO-indeksin vaihtelua on tarkasteltu yhdessä pidemmän aikavälin vaihtelun AMO:n (engl. Atlantic Multidecadal Oscillation) kanssa, on havaittu yhteyksiä Euroopan ilmasto-oloihin. Viidennellä vuosisadalla eaa. alkoi jakso, jolloin molemmat indeksit olivat negatiivisia (Van Vliet-Lanoë ym. 2014 ja kuva 3). Tähän vaiheeseen on liitetty muun muassa erityisen hidas tippukivien muodostuminen



Kuva 3. Pohjois-Atlantin ilmasto kytkettynä AMO+/- ja NAO+/- -vaiheisiin ja Euroopan historiallisiin ajanjaksoihin. La Tène -kulttuurin aikaan Pohjois- ja Itä-Eurooppa ovat olleet hyvin kylmiä (d). Roomalainen ilmasto-optimi alkoi tämän jälkeen (a). AMO: Atlantic Multidecadal Oscillation, NAO: North Atlantic Oscillation (Van Vliet-Lanoë ym. 2014 mukaan).

Figure 3. North Atlantic climate linked with AMO+/NAO+ and AMO-/NAO- phases and historical periods in Europe. La Tène -era was very cold in the northern and eastern Europe (d). After this cold period, the Roman Optimum began (redrawn from Van Vliet-Lanoë et al. 2014).

Skotlannissa, poikkeuksellisen vähäiset sateet Norjassa ja voimakas karkean aineksen sedimentaatiopulssi Pohjois-Atlantilla (Stewart ym. 2017; Poirier ym. 2017).

Vaikutuksia ihmiselämään

Edellä esitettyjen tulkintojen ja mallien perusteella ajanjakso noin 450–300 eaa. vaikuttaa olleen ilmaston kannalta poikkeuksellinen. Ainakin Euroopassa oli kylmä, ja esimerkiksi Balkanilla saattoi talvisin sataa runsaasti ja olla kesällä kuivaa ja viileää. Pohjois-Afrikassa on taas saattanut kesäisin sataa poikkeuksellisen

paljon. Holoseenin ilmastonmuutoksilla on ollut iso merkitys sivilisaatioiden vaiheisiin. Esimerkiksi puutteet Euroopan arkeologisissa aineistoissa 800–650 ja 400–100 eaa. on tullut merkkinä ilmastonmuutosten aiheuttamista laajoista asuinalueiden hylkäämisistä (Tinner ym. 2003). Auringon aktiivisuusminimien välinen ajanjakso ensimmäisen vuosituhannen eaa. puolivälissä (ks. kuva 2) on esimerkiksi nykyisen Irakin alueella ollut hyvin kuiva, ja sen arvioidaan vaikuttaneen muun muassa Assyrian imperiumin romahtamiseen (esim. Sinha ym. 2019).

Antiikin arkeologiaa tutkineen ja historiaa laajasti tuntevan arkkitehdin ja tiedetoimitta-



Kuva 4. Aleksanteri Suuri roomalaisessa mosaiikissa. Kuva: Berthold Werner, Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

Figure 4. Alexander the Great, a Roman mosaic. Photo: Berthold Werner, Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

jan Aaro Söderlundin mukaan edellä mainitun puolustoajoutuksen hankalimman selvitysvaiheen taustalla olevat tekijät ovat vaikuttaneet muun muassa Persian imperiumin loppuun ja samanaikaisten kiinalaisten, intialaisten, persialaisten ja kreikkalaisten filosofien olavaisuuden perusteita koskeviin pohdintoihin. Hän liittää samaan maanviljelyä haittaaneen maannosten huuhtoutumisen Kreikan rinteille, Ateenan kiristyneen verotuksen, tarpeen uudelle akveduktille, Perikleen rutan 430 eaa., Ateenan konkurssin 405 eaa., valankumoukset Ateenassa ja Roomassa sekä Hallstatt-kulttuurin loppumisen Euroopassa (Dreibrodt ym. 2020; Söderlund 2021).

Alun perin Kreikkaa asuttaneet helleenit muuttivat suurin joukoin ilmastopakolaisiksi esimerkiksi etelään, Mesopotamiaan, Egyptiin ja Kyrenaikaan. Saman ilmiön toinen puoli on

Aleksanteri Suuren maailmanvalloitus (kuva 4). Lähtö näyttää olleen tavallaan pakon sanelema. Välimeren alueella valta painui vihertyneeseen Afrikkaan. Herodotos kertoo (n. 450 eaa.) kuinka Libyassa viljeltiin viljavia vainioita. Keskeisin kreikkalainen valtio oli pian Egypti, ja Karthagosta tuli juuri täksi ajaksi maailmanluokan suurvalta (Söderlund 2021; Kallenautio & Söderlund 2010; 2011a, b). Söderlundin (2021) mukaan Suomi tyhjentyi noihin aikoihin lähes kokonaan. Pohjan pronssikauden lopun ja rautakauden alun välivaihe on arkeologisesti hyvin hiljainen, ja monin paikoin on viitteitä asutuksen väheneemisestä ja vaikeuksista maanviljelyssä (esim. Myrdal & Morell 2011).

Euroopan vaikea ajanjakso loppui mahdollisesti yhtä nopeasti kuin alkoikin. Aurinko paistoi taas lämpimämmin, satoi sopivasti, ja

alkoi ns. roomalainen ilmasto-optimi. Taus-tatekijöitä Karthagon kukistumiselle, vallan painopisteen palaamiselle Välimeren pohjois-rannalle, ja Rooman valtakunnan nousulle hellenismiin perustalle on pohdittu paljon (esim. Murphey 1951). Voisiko taustalla olla ilmasto-olojen heilahdus asentoon NAO+, AMO+ (ks. Van Vliet-Lanoë ym. 2014)? *La Tène* täytti Hallstattin-kulttuurin jättämän tyhjiön Keski-Euroopassa, ja väestö kasvoi taas täällä pohjoisessakin (Cartwright 2016, Söderlund 2021).

Länsimaisen kulttuurin juuret ovat muinaisen Mesopotamian sivistystä kantaneessa hellenismissä, ja Rooma antoi sille sysäyksen eteenpäin. Se on vaikuttanut voimakkaasti koko ihmiskuntaan. Se kasvoi keskiajan läntisessä kristikunnassa, ja muotoutui renessanssin, uskonpuhdistuksen, valistuksen, teollisen vallankumouksen, tieteellisen vallankumouksen ja liberaalin demokratian myötä, ja sen taustalla on eräs muinainen ilmastonmuutos.

FM ISMO AALTONEN

(ismo.aaltonen@gtk.fi)

Energia ja rakentamisen ratkaisut
Geologian tutkimuskeskus
PL 96, 02151 Espoo

Kirjoittaja työskentelee erikoisasiantuntijana ydinjätehuoltoon liittyvissä hankkeissa. Tässä esitetty kirjallisuuskatsaus on tehty vapaa-ajalla ja henkilökohtaisesta mielenkiinnosta siinä käsiteltäviin aiheisiin.

Summary

Effect of an ancient climate change to Mediterranean cultures

Archaeological evidence and the current understanding of European history reveal challenging times, cold and deviations in precipitation, bad crops etc., beginning in the middle of the 5th century BCE. The changes in the Earth's orbit and axial obliquity as well

as pre-industrial changes in greenhouse gas concentrations in the atmosphere seem to have been too slow to cause such fast climate changes. Solar irradiance, the history of which has been studied based on cosmogenic isotopes in ice cores and tree-rings, varied in many frequencies, but mechanisms of its direct influence on climate are debated.

Fluctuations in the ocean-atmosphere system may cause global and regional climate changes. Northern Atlantic Oscillation (NAO) and El Niño Southern Oscillation (ENSO) are the most well-known. In addition to NAO, a larger-amplitude Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) has an influence in North America and Europe. Also, aerosols from volcanic eruptions can affect the climate system few years after a single eruption, but also long-term effects exist, and volcanic activity can be in the background of the implied climate changes of the 5th century BCE.

Climate that was bad for traditional agriculture may have been one important factor in triggering significant societal changes, e.g., around the Mediterranean in the 5th and the 4th century BCE. For example, after exceptionally poor times, Macedonian army of Alexander the Great was keen on searching for better lands, and started changing the world after crossing the Dardanelles.

Climate change of this era thus had potentially significant consequences for the Hellenistic Greece and the Roman Imperium, which further laid foundations for the Western Civilization, later influencing the whole world.

Lähdeluettelo

Ascoli, D., Vacchiano, G., Turco, M., Conedera, M., Drobyshev, I., ym., 2017. Inter-annual and decadal changes in teleconnections drive continental-scale synchronization of tree reproduction. *Nature Communications* 8, 2205.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02348-9>

- Avery, R. S., Xuan, C., Kemp, A. E. S., Bull, J. M., Cotterill, C. J., *ym.*, 2017. A new Holocene record of geomagnetic secular variation from Windermere, UK, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 477, 108–122. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.08.025>
- Björnsson, H., 2017. The Glaciers of Iceland – A Historical, Cultural and Scientific Overview. *Atlantis Advances in Quaternary Science*. Atlantis Press, 613 p.
- Björnsson, H. & Pálsson, F., 2008. Icelandic glaciers. *Jökull* 58, 365–386.
- Borzenkova, I., Zorita, E., Borisova, O., Kalnina, L., Kisieliene, D., *ym.*, 2015. Climate Change During the Holocene (Past 12,000 Years). *Teoksessa: The BACC II Author Team (toim.) Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies*. Springer, Cham, 25–49. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_2
- Bradley, R., 2003. Chapter 2 Climate forcing during the holocene. *PAGES news*, 11, 18–19. <https://doi.org/10.22498/pages.11.2-3.18>.
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., *ym.*, 2011. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science* 331, 6017, 578–582. <https://doi.org/10.1126/science.1197175>
- Cartwright, M., 2016. Celts. *World History Encyclopedia*. <https://www.ancient.eu/celt/> [12.3.2021]
- Cole-Dai, J., 2010. Volcanoes and climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1, 824–839. <https://doi.org/10.1002/wcc.76>.
- Dergachev, V., Raspopov, O., Van Geel, B. & Zaitseva, G., 2004. The ‘Sterno-Etrussia’ Geomagnetic Excursion Around 2700 BP and Changes of Solar Activity, Cosmic Ray Intensity, and Climate. *Radiocarbon*, 46, 661–681. <https://doi.org/10.1017/S0033822200035724>
- Dreibrodt, S., Hofmann, R., Sipos, G., Schwark, L., Videiko, M., *ym.*, 2020. Holocene soil erosion in Eastern Europe - land use and/or climate controlled? The example of a catchment at the Giant Chalcolithic settlement at Maidanetske, central Ukraine, *Geomorphology*, 367, 107302. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107302>
- Helama, S., Lindholm, M., Timonen, M., Meriläinen, J. & Eronen, M., 2002. The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland: Part 2, interannual to centennial variability in summer temperatures for 7500 years. *The Holocene*, 12, 6, 681–687. <https://doi.org/10.1191/0959683602hl581rp>
- IPCC, 2019. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. <https://www.ipcc.ch/srccl/> [29.4.2021]
- Jacobsson, P., Hamilton, W., Cook, G., Crone, A., Dunbar, E., *ym.*, 2018. Refining the Hallstatt Plateau: Short-Term 14C Variability and Small Scale Offsets in 50 Consecutive Single Tree-Rings from Southwest Scotland Dendro-Dated to 510–460 BC. *Radiocarbon*, 60, 219–237. <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.90>
- Jiang, S., Cole-Dai, J., Li, Y., Ferris, D., Ma, H., *ym.*, 2012. A detailed 2840 year record of explosive volcanism in a shallow ice core from Dome A, East Antarctica. *Journal of Glaciology* 58, 65–75. <https://doi.org/10.3189/2012JoG11J138>
- Joos, F., Gerber, S., Prentice, I. C., Otto-Bliesner, B.L., Valdes, P.J., 2004. Transient simulations of Holocene atmospheric carbon dioxide and terrestrial carbon since the Last Glacial Maximum. *Global Biogeochem Cy* 18:GB2002. <https://doi.org/10.1029/2003GB002156>
- Kallenautio, J. & Söderlund, A., 2010. Euroopan kulttuurin juurilla II. *Ylen Elävä arkisto* [1.1.–28.2.2021]
- Kallenautio, J. & Söderlund, A., 2011a. Euroopan kulttuurin juurilla I. *Ylen Elävä arkisto* [1.1.–28.2.2021]
- Kallenautio, J. & Söderlund, A., 2011b. Euroopan kulttuurin juurilla III. *Ylen Elävä arkisto* [1.1.–28.2.2021]
- Knudsen, M. F., Riisager, P., Donadini, F., Snowball, I., Muscheler, R., *ym.*, 2008. Variations in the geomagnetic dipole moment during the Holocene and the past 50 kyr. *Earth and Planetary Science Letters* 272, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.04.048>
- Kobashi, T., Menviel, L., Jeltsch-Thömmes, A., Vinther, B. M., Box, J. E., *ym.*, 2017. Volcanic influence on centennial to millennial Holocene Greenland temperature change. *Scientific Reports* 7, 1441. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01451-7>
- Marsh, N. & Svensmark, H., 2000. Cosmic Rays, Clouds, and Climate. *Space Science Reviews* 94, 215–230. <https://doi.org/10.1023/A:1026723423896>
- Met Office, 2021. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. <https://www.metoffice.gov.uk> [11.3.2021]
- Murphey, R., 1951. The Decline of North Africa Since the Roman Occupation: Climatic or Human? *Annals of the Association of American Geographers* 41, 116–132. <https://doi.org/10.1080/00045605109352048>
- Myrdal, J. & Morell, M. (toim.), 2011. *The Agrarian History of Sweden 4000 BC to AD 2000*. Nordic Academic Press, Lund, 329 s.
- Owens, M., Lockwood, M., Hawkins, E., Usoskin, I., Jones, G., *ym.*, 2017. The Maunder minimum and the Little Ice Age: An update from recent

- reconstructions and climate simulations. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 7, A33. <https://doi.org/10.1051/swsc/2017034>.
- Poirier, C., Tessier, B. & Chaumillon, E., 2017. Climate control on late Holocene high-energy sedimentation along coasts of the northeastern Atlantic Ocean, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 485, 784–797. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.07.037>
- Schmieder, M. & Kring, D. A., 2020. Earth's Impact Events Through Geologic Time: A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits. *Astrobiology* 20, No. 1. <https://doi.org/10.1089/ast.2019.2085>.
- Sigl, M., Winstrup, M., McConnell, J., Welten, K., Plunkett, G. ym., 2015. Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years. *Nature* 523, 543–549. <https://doi.org/10.1038/nature14565>.
- Sinha, A., Kathayat, G., Weiss, H., Li, H., Cheng, H., ym., 2019. Role of climate in the rise and fall of the Neo-Assyrian Empire. *Science Advances* 5, eaax6656. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax6656>
- Steinilber, F., Abreu, J. A., Beer, J., Brunner, L., Christl, M., ym., 2012. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 5967–5971. <https://doi.org/10.1073/pnas.1118965109>
- Stewart, H., Bradwell, T., Bullard, J., Davies, S.J., Gollledge, N. & McCulloch, R.D., 2017. 8000 years of North Atlantic storminess reconstructed from a Scottish peat record: implications for Holocene atmospheric circulation patterns in Western Europe. *Journal of Quaternary Science* 32, 1075–1084. <https://doi.org/10.1002/jqs.2983>
- Söderlund, A., 2021. Henkilökohtainen tiedonanto 11.2.2021.
- Tinner, W., Lotter, A., Ammann, B., Conedera, M., Hubschmid, P., ym., 2003. Climatic change and contemporaneous land-use phases north and south of the Alps 2300 BC to 800 AD. *Quaternary Science Reviews* 22, 1447–1460. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(03\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(03)00083-0).
- Tlatov, A. G. & Pevtsov, A. A., 2017. On the timing of the next great solar activity minimum. *Advances in Space Research* 60, 1108–1114. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.05.009>
- Usoskin, I. G., 2017. A history of solar activity over millennia. *Living Reviews in Solar Physics* 14, article 3. <https://doi.org/10.1007/s41116-017-0006-9>
- Usoskin, I. G., Solanki, S. K. & Kovaltsov, G. A., 2007. Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints. *Astronomy and Astrophysics* 471, 301–309. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20077704>
- Van Vliet-Lanoë, B., Penaud, A., Hénaff, A., Delacourt, C., Fernane, A., ym., 2014. Middle- to late-Holocene storminess in Brittany (NW France): Part II – The chronology of events and climate forcing. *The Holocene* 24, 434–453. <https://doi.org/10.1177%2F0959683613519688>
- Vieira, L. E. A., Solanki, S. K., Krivova, N. A. & Usoskin, I., 2011. Evolution of the solar irradiance during the Holocene. *Astronomy and Astrophysics* 531, A6. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015843>
- Widgren, M., 2012. Climate and causation in the Swedish Iron Age: Learning from the present to understand the past. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography* 112, 126–134. <https://doi.org/10.1080/00167223.2012.741886>

Kuvan 4 tiedot

Berthald Werner: "Naples, National Archaeological Museum, Alexander Mosaic, Battle of Isus", Wikimedia commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alexander_and_Bucephalus_-_Battle_of_Issus_mosaic_-_Museo_Archeologico_Nazionale_-_Naples_BW.jpg). Valokuva jaettu lisenssillä CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>).