

Pohjoisnavan jääkalotti, Luoteisväylä ja ilmastonmuutos

■ Valto A. Peiponen

Norjalainen, Roald Amundsenin johtama retkikunta purjehti Gjøa-laivalla Luoteisväylän läpi 1903–06 joutuen kuitenkin matkan aikana jääesteiden vuoksi viettämään kaksi talvea etelämpänä Kanadan arktisessa saaristossa. Vasta kesällä 2007 nykyisen kasvihuoneilmaston voimistuessa ilmastonmuutoksen seurauksena Luoteisväylä avautui laivaliikenteelle elo–syyskuussa noin kuukauden ajaksi. Tämän jälkeen eräät ilmastotieteilijät kirjoittivat internetissä, että kesällä 2008 napajäätikö sulaa kokonaan ja silloin pohjoisnavalla voi harrastaa vesisuksilla hiihtoa! Mutta kesällä 2008 napajää ei sulanut. Luoteisväylä ei avautunut silloin eikä seuraavana kesänäkään laivaliikenteelle. Ilmastonmuutoksesta kiistelee kaksi tieteellistä koulukuntaa, joista toinen edustaa ihmisen aiheuttamaa ilmastonmuutosta (hiilidioksidin määrän kasvu ilmakehässä), toinen koulukunta katsoo auringon aktiivisuuden vaihtelun olevan syynä (säteilyn määrän vaihtelut).

Pohjoisnapaa ympäröivä merijää on normaalisti laajin talvella käsittäen keskimäärin 15 milj. km², huipun ollessa maaliskuun lopulla. Kesällä merijään alue kutistuu keskimäärin 7,5 milj. km²:iin. Pohjoisnavalla merijään alla veden syvyys on laajalti 4 000 metriä (National Snow and Ice Data Center. Boulder, Colorado 2010).

Satelliittitutkimusten ja sukellusveneistä käsin tehtyjen havaintojen mukaan merijään paksuus vaihtelee 2–3 metriä reuna-alueilla ja Pohjoisnavalla 3–4 metriä, missä se ei juuri ylitä 5 metriä. Ilmaston lämpenemisen myötä jään paksuus on laskenut, erityisesti 1990-luvulta lähtien, mutta todellista sulamista on tapahtunut vain kesällä 2007.

Kesäaikainen keskimääräinen merijään laajuus periodilla 1979–2000 oli 7 milj. km². Pie-nimmillään merijää oli vuonna 1982 (6,4 milj. km²), 2002 (5,3 milj. km²), 2005 (4,8 milj. km²), 2007 (4,1 milj. km², kun luoteisväylä avautui), 2008 (4,4 milj. km², jolloin luoteisväylä ei ollut laivaliikennekelvoinen edes syyskuussa) ja kesällä 2009 (5,4 milj. km², ei avautunut) sekä kesällä 2010 (4,9 milj. km²), jolloin se oli auki vain kaksi viikkoa elo–syyskuun vaihteessa.

Auringon aktiivisuus ja ilman lämpötilat

Aina siitä lähtien, kun Galileo Galilei vuonna 1612 havaitsi kaukoputken välityksellä auringon pinnassa tummia pilkkuja ja paljasti niitä seuraamalla myös auringon pyörimisliikkeen, ihminen on ollut niistä kiinnostunut. 1600-luku oli erikoinen, sillä silloin vallitsi ns. pikku jääkausi 1645–1715. Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa oli kylmää. Silloin Itämeri ja Thames-joki jäätyivät talvella, samoin Keski-Euroopan joet. Grönlannin eteläosaan viikinkiaikana syntynyt asutus ja maanviljelys miltei sammuiivat. Suomessa oli tuolloin 33 katovuotta sadassa vuodessa.

Mikä aiheutti 1600-luvun kylmyyden. Aina-kin auringonpilkkuja oli vähän ja niiden 11-vuotinen sykli puuttui kokonaan, vaikka sen jälkeen auringon syklit ovat jatkuneet vuosisatoja ja nyt (2011) seurataan auringon 24. syklin kehitystä. Yhdysvaltalainen astronomi J. A. Eddy (1931–2009) julkaisi *Science*-lehdessä vuonna 1976 laajan artikkelin otsikolla ”The Maunder Minimum”, missä hän jäljittää 1600-luvun auringonpilkkuja julkaistujen näköhavaintojen, revontulien esiintymisen ja ilmakehän radiohiilen 14C isotoopin avulla, mikä ilmenee kasvien yhteyttämisessä 12C:n ohella. Hän toteaa, että ”pidennyt auringonpilkkuminimi” oli todellinen

auringon piirre. Vuosien 1650–1700 välisenä aikana oli 31 vuotta, jolloin auringonpilkkujen lukumäärä (R) vuodessa oli nolla. Eddy päätyi siihen, että auringon aktiivisuuden vaihtelulla on vaikutus maapallon lämpötiloihin. Myöhemmät tutkimukset (Shindell ym. 2001) osoittavat, että auringonsäteily oli tuolloin vähentynyt ja erikoisesti talvet olivat 1–2 °C kylmempiä pohjoisella pallonpuoliskolla.

1700-luvulta lähtien auringon aktiivisuus on ollut säännöllisesti keskimäärin 11,2 vuoden syklissä. Kylmää 1600-lukua seurasi lämmin 1700-luku, ”Linnén lämpökausi”, ja pohjoisella pallonpuoliskolla vuoden keskilämpötilat olivat nyt 0,2 °C korkeampia (Mann 2002). 1800-luvun alkupuolella tuli kylmä jakso (Daltonin minimi), jonka aiheuttivat syvät pilkkuminimit ja matalat pilkkumaksimit.

Auringonpilkkut kehittyvät magneettisista kentistä auringon pinnassa ja niillä on positiivinen ja negatiivinen sähkövaraus. Pilkkut voivat olla läpimitaltaan maapalloa suurempia. Pilkkuja esiintyy auringon tasaajan molemmin puolin 30–40 leveysasteen välisellä vyöhykkeellä. Pilkkujen vaikutusta maapallon ilmastoon voidaan luonnostella eri tutkijoiden mukaan kolmella tavalla: niillä ei ole mitään vaikutusta, ne viilentävät maapallon ilmastoa tai ne tuottavat lisälämpöä ilmastoon. Käytössä olevan maapallon ilmastovyöhykkeiden luokittelun luoja Vladimir von Köppen (1846–1940) esitti vuonna 1873, että aurinkosyklin kuluessa pilkkumaksimien aikana maapallon lämpötila on alhaisin ja minimien aikana korkein. Selityksenä pidettiin sitä, että tummat pilkkut peittävät laajalti auringon pintaa ja sen kirkkaus heikkenee.

Suomalainen ilmatieteen professori Oscar W. Johansson (1878–1956) totesi vuonna 1922 ilmestyneessä kirjoituksessaan ”Suomen ilmastosta”, että mielenkiintoa lisäävät muutamat lyhyempiaikaiset jaksot, auringonpilkkujen 11-vuotinen periodi:

”Helsingin ja Oulun lämpötilasarjojen mukaan, jotka muuten ovat pisimmät Suomessa, on vuoden keskilämpötila auringonpilkkujen maksimiajan seuduilla noin puoli astetta minimiajan keskilämpötilaa korkeampi. Myöskin viljan sadossa ja kasvillisuudessa yleensä on merkkejä mainitusta

jaksosta. Etupäässä keväällä maaliskuussa, näkyy lämpötila eniten riippuvan auringonpilkkujen lukumäärästä. Niinpä on Oulussa maaliskuu auringonpilkkujen maksimiaikana noin 1° lämpimämpi kuin minimiaikana. Ja siitä syystä lähtee eräistä Suomen joista jää aikaisemmin silloin, kun on ollut paljon auringonpilkkuja. Kuusi viimeistä auringonpilkkujen maksimivuotta oli 1860, 1870, 1883, 1894, 1907 ja 1917, minimivuodet taas olivat 1865, 1867, 1878, 1889, 1901 ja 1913.”

Vuosina 1957–59 oli tähänastisen historian korkein auringonpilkkumaksimi 350 vuoteen. Sen jälkeen pilkkumaksimit ovat pysyneet suhteellisen korkeina pilkkujen lukumäärällä mitattuna 2000-luvun alkuun asti (23. sykli). (Lean ym. 1995; Internet 2009, Solar irradiance reconstruction, Climate 4 you.)

Uutta tietoa auringon säteilystä saatiin, kun SOHO-satelliitti lähetettiin tutkimaan ja mittaamaan auringon säteilyä 1990-luvun alkupuolella. Se mittaa auringon kokonaissäteilyä päivittäin W/m^2 /minuutissa ja lähettää tiedot National Geophysical Data Centeriin (NGDC). Julkaistuista käyristä on heti nähtävissä, että aurinkovakio (*solar constant*) vaihtelee: säteily on suurimmillaan aurinkomaksimien aikana ja pienimmillään aurinkominimien aikana. Lisäksi maksimien aikana säteily vaihtelee rajusti aurinkovakion -3 watin alituksesta +3 watin ylitukseen. Minimien aikana aurinkovakio pysyy suhteellisen tasaisena vakiona. Keskimäärin säteilyn lisäys maksimien aikana on noin $1 W/m^2$ /minuutissa. Nevanlinna (2004) toteaa, että $1 W/m^2$:n lisäys ei aiheuta merkittävää lämpötilan muutosta maapallolla ja muutoksella on erittäin vähän auringon aktiivisuuden vaikutukseen viittaavaa korrelaatiota. Tieteiden talolla pitämässään esitelmässä Nevanlinna (2010) mainitsee auringon säteilymuutokset ovat nostaneet maapallon keskilämpötilaa noin 0,1 °C sadassa vuodessa, kun kokonaisuutos samana aikana on ollut noin 0,9 °C ja siten auringon säteilymuutoksilla ilmastonmuutokseen on vain pieni vaikutus.

Auringon säteily kohdistuu kohtisuoraan maapalloon nähden kahdesti vuodessa päivän-tasaajalle sekä kahdesti Kravun ja Kauriin kääntöpiirien välisellä alueella. Tämä kääntöpiirien välinen alue on 204 milj. km^2 eli 40 % maapallon pinta-alasta. Aurinkovakio maan ilmakehän

ulkopuolella on 1 365 W/m²/minuutissa. Jos otamme laskuperustaksi satelliittien aurinkomaksimien aikana ilmoittaman lisäsäteilyn keskimäärin 1 W/m², silloin kääntöpiirien välinen alue saa jo yhdessä vuodessa 100 miljoonaa terawattia (tera = miljoona x miljoona) lisää säteilyenergiaa ja alueen ulkopuolelle (60 % maapallon pinta-alasta) liukuvasti vähemmän vaihtelevia määriä. Usein maksimi kestää 2–4 vuotta. Maa-alue ei juuri pysty varastoimaan lisäsäteilyn lämpöä, mutta merivedet varastoivat sitä.

Meriveden lämpeneminen

Meren pintaveden lämpötila (SST) päiväntasaajan lähellä on ympäri vuoden 26–27 °C ja paikoin jopa 29–32 °C. Auringon maksimien aikana syntyy auringossa korkea lämpötilaa osoittavia purkauksia ja ultravioletti (UVA ja UVB) sekä X-säteily voimistuvat (Odenwald 2008). Säteily imeytyy syvälle veteen ja lämmittelee sen sadan metrin syvyyteen (Reid 1991).

Sadanviidenkymmenen vuoden aikana (1860–2000) auringonmaksimien suuremman säteilyn ja meriveden pintalämpötilan (SST) välinen korrelaatiokerroin on 0.65, mikä on tilastollisesti merkittävä (Zhou & Tung 2010). Myös Pohjois-Atlantin pintaveden lämpötila seuraa noin 10-vuotista sykliä (Sutton & Allen 1997). Näyttää siltä, että pintaveden 10-vuotisvaihtelu kehittyy trooppisen Atlantin alueella ja sitten siirtyy napoja kohti (Wainer ym. 2008).

Arktinen merijää ja lämpimät merivirrat

Lämmin Golfvirta saa alkunsa kahdesta lämpimästä virrasta päiväntasaajan molemmilla puolilla: Pohjoinen päiväntasaajavirta, joka ylittää Atlantin ja kulkee Länsi-Intian saarten itäpuolitse, ja Eteläinen päiväntasaajavirta, joka jakaantuu kahdeksi kohdatessaan Brasilian rannikossa ja muodostuu pohjoinen ja eteläinen Brasilianvirta. Pohjoinen haara jatkaa Meksikonlahteen. Sieltä se kiertää Floridan ja yhtyy Golfvirraksi, mikä 90 km:n levyisenä jatkaa koilliseen. Golfvirran lämpötila Floridan rannikolla on 24 °C ja sieltä Newfoundlandin eteläpuolella vielä 18 °C. Täältä virran yksi haara menee Grönlannin länsirannikkoa pitkin Baffi-

ninlahteen pitäen rannikkovedet sulana pitkälti talven puolelle. Päähaara jatkaa Atlantin poikki Brittein saarten länsipuolitse ja pienehkö haara kiertää Pohjanmeren ja toinen haara samoin Islannin länsipuolitse. Norjan länsirannikolla Golfvirran lämpötila on 10 °C lämpimämpi, mitä sen leveyspiiri edellyttäisi. Virta jatkuu Novaja Zemljalle pitäen Barentsinmeren sulana talvella. Golfvirta saa lämpimiä pintavesiä myös Pohjolan talven aikana, kun se on yhteydessä Pohjois-Brasilian virtaan.

Golfvirran lämpimät vedet sulattavat arktisen merijään reunoja ja alapintaa sekä lämmitävät yläpuolella olevaa ilmaa aiheuttaen sumua kylmillä alueilla. Tyynenmeren puolella Pohjoinen päiväntasaajavirta jatkuu Kuroshiovirtana (Mustavirta), mikä vastaa Golfvirtaa, ja jatkuu Alaskanlahteen ja sieltä ”kylmänä” Kalifornianvirtana. Pienehkö haara kulkee Beringinsalmen kautta Beaufortinmerelle sulattaen siellä arktisia jäitä. Kylmät merivirrat palauttavat vesiä arktisilta alueilta etelään päin.

Maapallon ilmaston vaihtelu

John Eddy esittää (Giovanelli 1984), että viimeisen 7 500 vuoden aikana maapallon ilmasto on vaihdellut auringon aktiivisuuden vaihteluiden mukaan siten, että auringon maksimien aikana lämpötila on kohonnut ja jäätiköt ovat perääntyneet ja ohentuneet sekä aurinkominimien aikana lämpötila on laskenut ja jäätiköt kasvaneet. Kun luoteisväylä avautui laivaliikenteelle kesällä 2007, sen aiheutti auringon aktiivisuuden voimistuminen huipentuen vuosina 1999–2003 nelivuotiseen maksimiin ja sen seurauksena meriveden lämpenemiseen. Viisikymmentä vuotta jatkunut auringon suhteellisen korkea aktiivisuus yhdessä meriveden pintakerrosten lämpenemisen kanssa ovat syynä nykyiseen ilmastonmuutokseen.

Kirjallisuus

- Amundsen, R. 1908: *Luoteisväylä. Kertomus Gjoan matkasta 1903–1907.* – 495 s. WSOY, Porvoo.
- Eddy, J. A. 1976: The Maunder Minimum. *Science* 192: 1189–1202.
- Giovanelli, R. G. 1984: *Secrets of the Sun.* – 116 s. Cambridge University Press.

- Johansson, O. W. 1922: Suomen lämpösuhteet. *Oma Maa* III: 973–995. WSOY, Porvoo.
- Köppen, W. 1873: Über mehrjährige Perioden der Witterung, insbesondere über die 11jährige Periode der Temperatur. *Zeitschrift Meteorol.*, VIII: 241–248.
- Lean, Judith, Beer, J. & Bradley, R. 1995: Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications. *Geophys. Research Letters* 22: 3195–3198.
- Mann, M. E. 2002: *The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change*. – Little Ice Age, 504–509. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Nevanlinna, H. 2004: *Auringon aktiivisuus ja maapallon lämpötilan vaiheet 1856–2003*. Ilmatieteen laitos. Raportteja No. 2004:4.
- Nevanlinna, H. 2010: Auringon säteilyn muutokset ja maapallon lämpötila. Esitelmä Tieteiden talo 14.12.2010.
- Odenwald, S. 2008: Learning to live with the Sun – The Solar System. Special Collector's Edition: 10–15.
- Reid, G. C. 1991: Solar total irradiance variations and the global sea surface temperature record. *J. Geophys. Res.* 96: 2835–2844.
- Shindell, D. T., Schmidt, G. A., Mann, M. E., Rind, D. & Waple, A. 2001: Solar forcing of regional climate change during the Maunder Minimum. *Science* 294: 2149–2152.
- Sutton, R. T. & Allen, M. R. 1997: Decadal predictability of North Atlantic sea surface temperature and climate. *Nature* 388: 563–567.
- Wainer, I., Servain, J. & Clauzet, G. 2008: Is the decadal variability in the tropical Atlantic a precursor to the NAO. *Ann. Geophys.* 26: 4075–4080.
- Zhou, J. & Tung, K. 2010: Solar cycles in 150 years of global sea-surface temperature data. *J. of Climate* 23: 3234–3248.

Kirjoittaja on Helsingin yliopiston eläintieteen dosentti.