



Aurinko ja ilmaston lämpeneminen

Heikki Nevanlinna

Viimeaikaiset tutkimustulokset osoittavat, että Aurinko aiheuttaa osan maapallon ilmakehän lämpenemisestä, mutta antropogeeniset päästöt ovat siinä suurin syyllinen.

Kysymys siitä vaikuttavatko auringonpilkut sähähän ja ilmastoon oli tutkimuskohteena jo varhain 1800-luvulla 11-vuotisen auringonpilkkujakson keksimisen jälkeen. Tuolloin ajateltiin, että tummat pilkut pienentävät maapallon saamaa säteilyä, mikä vaikuttaa ilmastollisiin oloihin. Tätä tutkimusta tehtiin Suomessakin. Meillä Ilmatieteen laitos perustettiin vuonna 1838 magneettis-meteorologiseksi observatorioksi, jossa tarkoin mittauksin piti selvittää meteorologisten ilmiöiden ja Auringon aiheuttamien magneettikentän vaihtelujen välisiä yhteyksiä. Vastaavia tutkimuslaitoksia perustettiin Euroopan maihin tuohon aikaan runsaasti; meteorologia ja geomagnetismi edustivat luonnontieteellisen tutkimuksen eräitä painopistealoja 1800-luvun alkukymmeninä.

Erialaisten Auringon jaksollisuuksiin liittyvien ilmastomuutosten etsiminen pitkistä säähavainnoista oli eräs meteorologian tutkimushaara, melko vähäinen ja hieman kyseenalainen, kahden viimeksi kuluneiden vuosisadan aikana. Tämä tutkimusalue on saanut olennaista uutta tietoa viimeisten 20 vuoden ajan, jolloin suoria satelliittimittauksia on tehty sellaisista Auringon säteilyn vaihteluista, joilla on merkitystä maapallon ilmaston muutoksiin. Näin Auringon säteilyaktiivisuuden vaikutuksen tutkimus sähähän ja ilmastoon on saatu aikaisempaan verrattuna huomattavasti varmemmalle pohjalle.

Aurinko osasyllinen ilmaston lämpenemiseen?

Maapallon ilmakehän kasvihuoneilmion voimistuminen selitetään kasvihuonekaasujen ja hiukkasten pitoisuuksien kasvulla. Kukin kasvihuonetekijä aiheuttaa ilmakehään tietyn säteilypakotteen, joko ilmakehää lämmittävän tai sitä jäähdyttävän, joiden kokonaisvaikutuksen tuloksena ilmakehän lämpötila on kohonnut 1900-luvun alusta. Auringon maapalloon kohdistama kokonais säteily, "aurinkovakio", vaihtelee Auringon aktiivisuusjaksojen mukaisesti. Auringon ilmakehään kohdistuvalla säteilypakotteella ymmärretään aurinkovakion muutosta.

Maapallon vastaanottama Auringon säteily riippuu myös maapallon kiertoradan muodosta ja pyörimisakselin kallistuskulmasta. Näiden hitaat muutokset kymmenien tuhansien vuosien aikana vaikuttavat maapallon säteilytaseeseen ja ovat osasy jääkausiin (ns. Milankovitchin teoria).

Maapallon keskilämpötila on kasvanut viimeisen sadan vuoden aikana n. 0,6°C. Mikä osuus tästä kasvusta on Auringon säteilypakotteen tuottama, on ollut vilkkaan keskustelun kohteena jo yli 10 vuotta. Tanskalaiset tutkijat havaitsivat 1990-luvun alussa, että maapallon kymmenvuotiskausin tasoitettujen keskilämpötilan muutokset seuraavat erittäin tarkasti auringonpilkkujakson pituuden muutoksia. Mitä lyhyempi pilkkujakso sitä enemmän säteilyä Auringosta lähtee. Koska pilkkujaksot ovat lyhentyneet koko 1900-luvun, merkitsee se maapallon lämpötilan kasvua. Myös ilmakehän lämpötilakäyrän kasvun hidastuminen aikavälillä 1940-1960 selittyy Auringon säteilyn samanaikaisella heikkenemisellä.

Suoria mittauksia auringon kokonais säteilystä on tehty satelliiteista yli 20 vuoden ajan. Mittaukset osoittavat, että aurinko säteilee voimakkaimmin pilkkumaksimin aikoihin ja vähemmän pilkkuminimissä. Ero on n. 0,1 % aurinkovakiosta 1365 W/m². Kokonais säteilyn muutos johtuu toisaalta auringonpilkkujen säteilyä estävästä vaikutuksesta ja toisaalta pilkkuja ympäröivien kirkkaiden alueiden (fakuloiden) säteilyä lisäävästä vaikutuksesta. Nettovaikutus on kokonais säteilyn kasvu pilkkumaksimissa.

Geomagneettiset häiriöt kertovat auringon säteilymuutoksista

Osa Auringon magneettikentästä kulkeutuu interplanetaarisena kenttänä (IMF) aurinkotuulen mukana Maan magnetosfääriin, jonka kanssa se kytkeytyy. Aurinkotuuli, joka muodostuu sähköisesti varatuista hiukkasista, aiheuttaa magnetosfääriä ja maan pinnalla mitattavia häiriöitä maapallon magneettikentässä. Näiden häiriöiden määrä ja voimakkuus riippuu itse aurinkotuulen nopeuden lisäksi mm. IMF:n vaihteluista ja voimakkuudesta.

Maan magneettikentän häiriöt antavat siis välillisesti tietoa Auringon aktiivisuudesta ja niiden avulla voidaan määrittää kokonais säteilyn



vaihtelu. Tämä perustuu astrofysiikasta saatuun tietoon, jonka mukaan aurinkomaisten tähtien magneettikentän muutokset näkyy suoraan tähden lähettämän säteilyn muutoksina.

Maan magneettikentän häiriöitä kuvataan yleensä erilaisilla indeksiluvuilla, jotka luonnehtivat häiriöiden suuruutta tietyllä aikavälillä (esim. 1 vrk, 1 kk, 1 v jne.). Indeksit saadaan geomagneettisten observatorioiden rekisteröinneistä. Ajallisesti pisin häiriöindeksisarja on ns. aaindeksi, joka aukottomasti peittää aikavälin 1868-1999 ja luonnehtii maapallon aurinkoperäisen magneettisen ympäristön globaalista häiriötilaa, avaruussäätä. Ilmatieteen laitoksen Helsingin magneettisen observatorion mittauksista on voitu rekonstruoida ainutlaatuinen jatke tälle indeksisarjalle aina vuoteen 1844 saakka. Näin on käytössä Auringon säteilytoiminnan pitkäaikaismuutoksia kuvaavaa epäsuoraa tietoa yli 150 vuoden ajalta. Ilmatieteen laitoksen Helsingin observatorion magneettiset mittaukset 1800-luvulla ovat tieteellisesti edelleen merkittäviä, koska vastaavia yhtä luotettavia ja ajallisesti kattavia mittauksia ei juuri ole muualta saatavissa.

Aurinkotuulen satelliittimittauksia on 1970-luvun alusta lähtien jokseenkin aukoton sarja. Vertaamalla aaindeksin vaihteluja aurinkotuulen muutoksiin, saadaan esim. vuosisatolla selvälle miten aaindeksi riippuu havaitusta IMF:n voimakkuudesta ja näin voidaan epäsuorasti laskea Auringon kokonaissäteilyn muutokset aasarjasta ajassa taaksepäin, periaatteessa aina vuoteen 1844 saakka. Äskettäin englantilaiset tiedemiehet saivat aaindeksisarjasta tuloksen, jonka mukaan geomagneettisen häiriöisyyden tasainen kasvu koko tämän vuosisadan ajan selittyy Auringon magneettikentän vahvistumisesta, mikä taas palautuu kokonaissäteilyn systemaattiseen kasvuun. Kokonaissäteilyn kasvuksi nämä tutkijat ovat saaneet 1,65 W/m², mikä vastaa n. 0,25°C lämpötilan nousua, suunnilleen puolta havaitusta globaalilämpötilan kasvusta.

Auringon aktiivisuuden muut ilmentymät: voimakkaat hiukkaspurkaukset ja korkeaeenerginen sähkömagneettinen säteily ovat auringon pilkkujen maksimiaikaan huomattavasti kiivaampia kuin pilkkujen minimivuosina. Nyt elämme auringonpilkkujen maksimiaikaa, johon kuuluu mm. voimakkaiden revontulien esiintyminen. Tästä saatiin loistava esimerkki huhtikuun alussa, jolloin revontulia havaittiin Etelä-Saksaa myöten. Revontuliöiden vuotuinen lukumäärä auringonpilkkujaksoa kohden on tasaisesti noussut satavuotiskaudella 1900-2000, mikä osaltaan kertoo Auringon aktiivisuuden lisäyksestä.

Auringon vaikutus vähenemässä lämpötilamuutoksessa

Auringon kokonaissäteilyn pitkäaikaisvaihtelu (> 11 v) on voitu jäljittää auringonpilkkutiedoista aina 1600-luvulta lähtien. Tulokset osoittavat, että Auringon säteilypakotteen vaihteluilla on ollut merkittävä osuus maapallon ilmaston lämpötilamuutoksissa. Arvioidaan, että esiteollisen kauden (< 1850) lämpötilamuutoksista selittyy jopa 70 % Auringon aktiiviteetin pitkäaikaismuutoksilla. Teollisella ajanjaksolla taas Auringon osuus on vähäisempi ja kasvihuonekaasupäästöt ovat selvästi merkittävin tekijä ilmaston lämpiämisessä. Kuitenkin Auringon kokonaissäteilyn muutokset ovat tilastollisesti merkittävässä määrin mukana ilmaston lämpenemisessä, viime vuosikymmeninä kuitenkin vähemmän ja vähemmän, mikä on tulkittu siten, että ihmisen itsensä aiheuttamien kasvihuonetekijöiden vaikutus on erittäin nopeasti kasvamassa.

Kirjoittaja toimii tutkimuspäällikkönä Ilmatieteen laitoksen geofysiikan tutkimusosastolla.