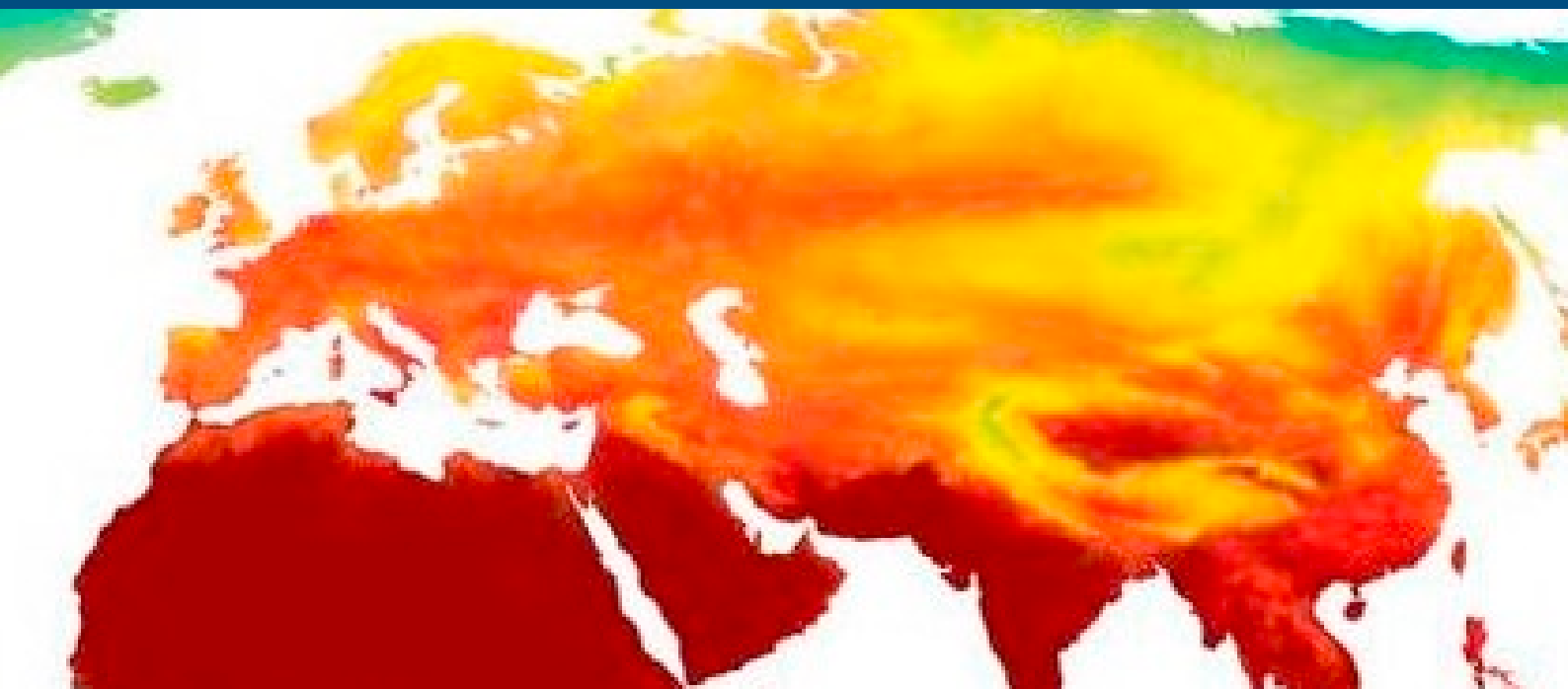


Asko Vuorinen



Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen

Maailman seuraavat 200 vuotta



Ekoenergo Oy, tammikuu 2021

ILMASTON LÄMPENEMISEN PYSÄYTYS KAHTEN ASTEeseen

Maailman seuraavat 200 vuotta

Asko Vuorinen

Ekoenergo Oy

ILMASTON LÄMPENEMISEN PYSÄTYS KAHTeen ASTEESen

Asko Vuorinen

Copyright © 2020

Ekoenergo Oy

Kirjokansi 2 A 12

02100 Espoo, Finland

Askovuorinen (at) gmail.com

Ekoenergo Oy on vuonna 1979 perustettu suomalainen perheyryty, joka julkaisee kirjoja ja selvityksiä energiasta ja ilmastomuutoksesta. Yhtiön julkaisemat kirjat löytyvät sen kotisivuilta. Niihin kuuluvat E-kirjat “*Truth of Climate Change*”, 2016 ja “*Fundamentals of Global Warming*”, 2019 sekä painetut kirjat: “*Planning of Optimal Power Systems*”, 2008 ja “*Planning of Nuclear Power Systems to Save the Planet*”, 2011.

ISBN 978-952-68394-7-9 (nid.)

ISBN 978-952-68394-8-6 (PDF)

Tämän kirjan voi tilata **Books on Demand** verkkosivuston kautta www.bod.fi.

Kirja on omistettu rakkaalle vaimolleni Sinikalle. Samalla haluan kiittää kaikkia uusien energialähteiden kehittämisen parissa työskennelleitä henkilöitä, joiden ansiosta ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen on nyt mahdollista.

Sisällys

Esipuhe	9
1 JOHDANTO.....	11
1.1 Lämpötilan vaihtelun historiasta	11
1.2 Lämpeneminen 1900-luvulta alkaen	12
1.3 Ilmaston lämpenemisen syyt	13
2. LÄMPÖTILAN MITTAUSTIEDOT	19
2.1 Kansainväliset tiedostot.....	19
2.2 Suomen lämpötilat	21
3. AURINGON SÄTEILYN VAIKUTUS	27
3.1 Maapallon lämpötila.....	27
3.2 Planeettojen lämpötilat	30
3.3 Auringon säteilyn vaikutus ilmakehän lämpötilaan	33
3.4 Auringon vaikutuksen ennustaminen	41
4. HIILIDIOKSIDIN VAIKUTUS ILMASTON LÄMPENEMISEEN.....	45
4.1 Energiasektorin CO ₂ -päästöt.....	45
4.2 Metsien hiilivarastot	47
4.3 Sementtiteollisuuden päästöt.....	50
4.4 Maailman CO ₂ -päästöt ja ilmakehän CO ₂ -pitoisuus	51
4.5 Hiilidioksidin vaikutus lämpötilaan (SC-malli)	57
4.6 CO ₂ -päästöjen skenaariot ja lämpötilan nousu	58
5. KOLMEN MUUTTUJAN SCA2-MALLI	63
5.1 Aerosolit ja SO ₂ -päästöt.....	63
5.2 Kolmen muuttujan SCA2-malli	65
5.3 SO ₂ -päästöjen skenaariot.....	70
5.4 Skenaariot käyttäen kolmen muuttujan SCA2-mallia.....	71
6. TAVOITEOHJELMA MAAILMALLE	75
6.1 Tavoitteet	75
6.2 Sähköntuotanto	76
6.3 Öljynkulutus.....	81
6.4 Muu energiankulutus.....	88
6.5 Energian kokonaiskäyttö.....	89

7. TAVOITEOHJELMA SUOMELLE	93
7.1 Nykytilanne	93
7.2 Suomen sähkönhankinta	97
7.3 Kaukolämmön tuotanto Suomessa	103
7.4 Öljyn käyttö Suomessa	106
7.5 Suomen primäärienergian kulutus	111
8. TAVOITEOHJELMA EUROOPAN UNIONILLE	115
8.1 Tavoitteet EU:lle	115
8.2 EU:n sähköntuotanto	117
8.3 EU:n öljynkulutus	120
8.4 Energian kokonaiskulutus EU:ssa	125
9. TAVOITEOHJELMA KIINALLE	129
9.1 Tavoitteet Kiinalle	129
9.2 Kiinan sähköntuotanto	130
9.3 Kiinan öljynkulutus	134
9.4 Kiinan muu energiankulutus	139
9.5 Yhteenveto Kiinasta	140
10. TAVOITEOHJELMA USA:LLE	143
10.1 Tavoitteet USA:lle	143
10.2 USA:n sähköntuotanto	144
10.3 USA:n öljynkulutus	147
10.4 USA:n muu energiakäyttö	152
10.5 Yhteenveto USA:sta	153
11 MAAILMAN TAVOITTEET ALUEITTAIN	157
14.1 Sähköntuotannon tavoitteet alueittain	157
11.2 Maailman öljynkulutus alueittain	159
11.3 Maailman primäärienergiankulutus alueittain	160
11.4 Maailman CO ₂ -päästöt alueittain	162
11.5 Yhteenveto	163
12 MERIEN VAIKUTUS ILMASTOON	165
12.1 Merien lämpeneminen	165
12.2 Sään vaihtelut Atlantilla, NAO	168
12.3 Hurrikaanit	170
12.5 Tyynenmeren lämpeneminen	172

12.6 Jäätiköiden sulaminen	175
12.7 Merenpinnan nousu.....	178
12.8 Sademäärät.....	183
13 PITKÄN AJAN LÄMPENEMINEN	187
13.1 Seuraavat 200 vuotta	187
13.2 Edelliset 450.000 vuotta.....	191
16.3 Seuraavat 300.000 vuotta	195
14 PÄÄSTÖJEN PIENENTÄMISEN KEINOJA	199
14.1 Rakennusten aiheuttamat päästöt.....	199
14.2 Liikenne.....	208
14.3 Sähköntuotanto	212
15 ILMASTOPOLITIIKKAA	221
15.1 Kansainvälinen ilmastopolitiikka	221
15.2 EU:n toimenpiteet.....	222
15.3 Suomen ilmastopolitiikka	223
15.4 Yhteenveto	226
LIITTEET	227
<i>Liite 1 Eniten elävien metsien hiilivarastoja vähentäneet maat (GtCO₂).....</i>	<i>227</i>
<i>Liite 2 Eniten elävien metsien hiilivarastoja kasvattaneet maat (GtCO₂).....</i>	<i>227</i>
<i>Liite 3 Maailman sahateollisuuden tuotanto (Mm³/a).</i>	<i>228</i>
<i>Liite 4 Metsiin varastoitu CO₂-määrä (GtCO₂) EU:ssa vuosina 1990–2016</i>	<i>229</i>

Esipuhe

Kirjoitettuani kirjan *“Fundamentals of Global Warming”* ilmaston lämpenemisestä englannin kielellä nettiin arvelen, että olisi hyvä tehdä aiheesta vihdoinkin myös suomenkielinen kirja. Aiemmassa kirjassani olen kertonut, miten olen johtanut mallit ilmakehän CO₂-pitoisuuden kasvuun ja ilmaston lämpenemiselle. Tässä yritän kertoa asiat pääpiirteittäin menemällä suoraan havaitsemiini tuloksiin. Pidän mallini myös mahdollisimman yksinkertaisina, että niitä voisi esimerkiksi lukiolainenkin ymmärtää ja tehdä samanlaiset mallit myös itse.

Olen tehnyt mallinnuksen perusteella maailman maille tavoiteohjelman, miten voimme rajoittaa lämpötilan nousun Pariisissa sovitun 2,0 asteen sisälle. Sen sijaan en enää usko, että lämpötilan nousu voidaan rajoittaa 1,5 asteen ylärajalle. Päästöjen ja nielujen välillä vallitsee kaksinkertainen epätasapaino, joka nostaa ilmakehän CO₂-pitoisuutta ainakin vuoteen 2050 asti.

Auringonpilkkujen määrä on myös ollut minimissä 2010-luvulla. Kun pilkkujen määrä nousee taas normaalitasolle ilmasto olisi jo tänään 1,3 astetta lämpimämpää kuin vuosina 1901–1930 keskimäärin. Jos pilkkujen määrä olisi maksimitasolla, tänään olisi jo 1,5 astetta lämpimämpää kuin 1900-luvun alussa.

Olen ottanut vertailuarvoiksi vuodet 1901–1930, koska vasta silloin maailmassa oli kattava lämpötilanmittausverkosto. 1800-luvun lämpötiloja emme oikeasti tiedä kuin muutamista paikoista, joista useimmat on mitattu kaupunkien keskustoista kuten esimerkiksi Helsingin Kaisaniemestä ja eivät nekään edusta oikeaa ympäristön lämpötilaa.

Kirjan tekemisen tärkeimpänä motiivinani on ollut ymmärtää lämpenemisen tilastomatematiikkaa. Tähän tarkoitukseen kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n raporteista ei löydy mitään apua. Niissä kerrotaan ainoastaan lopputulos, mutta ei matematiikkaa, miten siihen on päädytty. Sieltä ei löydy edes minkäänlaista matemaattista mallia, kuinka ilmakehän CO₂-pitoisuus vaikuttaa lämpötilaan. Sieltä ei löydy myöskään mallia, miten ilmakehän CO₂-pitoisuus muuttuu CO₂-päästöjen muuttuessa.

Toisena motiivinani on ollut tehdä suunnitelma, jonka avulla ilmaston lämpötila voidaan rajoittaa kahteen asteeseen. Meillä on vielä aikaa, mutta toimeen on tartuttava nopeasti ja maailmanlaajuisesti. Kirjani *“Ilmaston lämpenemisen pysäytys kahteen asteeseen”* on tavoiteohjelma, jonka avulla tähän voidaan vielä päästä. Siihen päästään, jos päästöjä vähennetään 50 % vuoteen 2050 mennessä. Tältä pohjalta olen laatinut ennusteen maailman tilalle seuraavien 200 vuoden ajaksi.

Espoossa 1. tammikuuta 2021

Asko Vuorinen

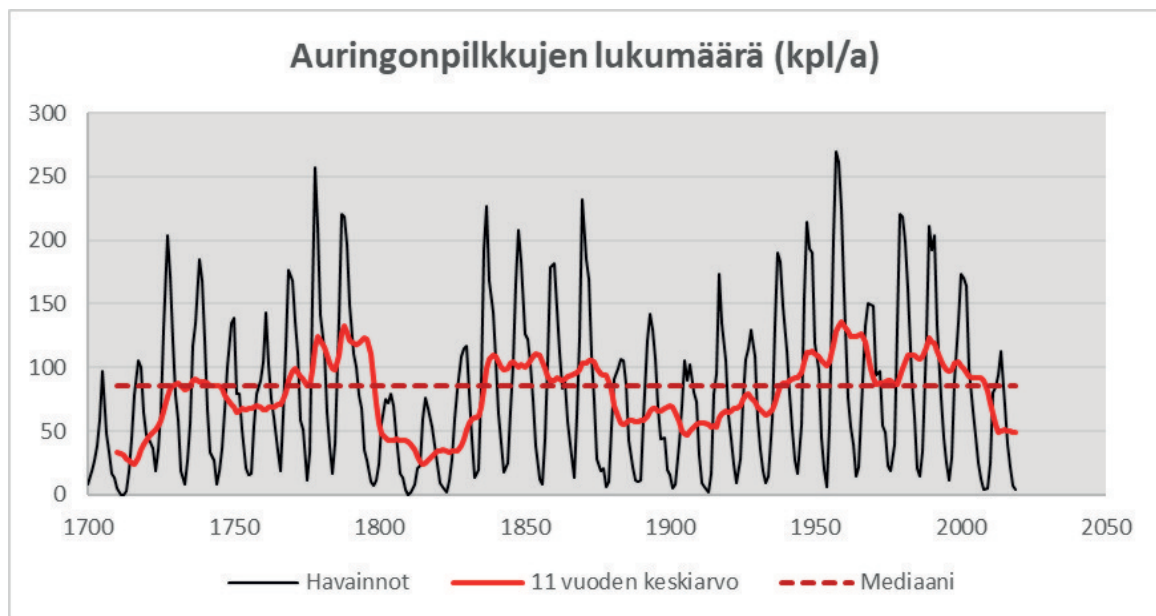
1 JOHDANTO

1.1 Lämpötilan vaihtelun historiasta

Ilmaston lämpeneminen ei ole pelkästään tämän päivän ilmiö. Historiasta tunnetaan ajanjaksoja, jolloin ilmasto välillä lämpeni ja kylmeni huolestuttavasti ja aiheutti nälänhätää. Lämpimän jakson aikana vuosina 900–1100 tiedetään, että viikingit asuttivat Grönlannin, mutta muuttivat takaisin, kun ilmasto kylmeni sen jälkeen.

1400-luvun jälkeen Euroopassa oli kylmä kausi, jolloin useana vuotena mm. Thames-joki jäättyi. Vuonna 1658 Ruotsin armeija valloitti Tanskan kulkemalla jäitä pitkin Vähä-Beltin ja Iso-Beltin yli. Suomen historiassa tunnetaan suuret nälkävuodet 1690-luvulla, jolloin jopa noin 28 % (140.000) suomalaisista kuoli nälkään ja sairauksiin. Nälkävuodet aiheutti kylmä kausi, jolloin sato tuhoutui osittain kolmena peräkkäisenä kesänä vuosina 1695–97.

Pohjoismaiden kylmää kautta 1600-luvulla on selitetty auringon aktiivisuuden heikkenemisellä ja tulivuorten purkauksilla. Auringon aktiivisuutta on mitattu 1600-luvun puolivälistä alkaen laskemalla auringonpilkkujen määrää. Niistä havaitaan, että 1600-luvulla aina vuoteen 1730 asti oli ns. **Maunderin** minimi, jolloin auringonpilkkujen määrä oli pienempi kuin mediaaniarvo 87 (Kuva 1.1.1). Tarkkoja lukuja ei ole saatavissa 1600-luvulta, koska kaukoputket olivat alkeellisia ja yhtenäistä laskentatapaa pilkkujen määrittämiseen ei ollut käytössä.



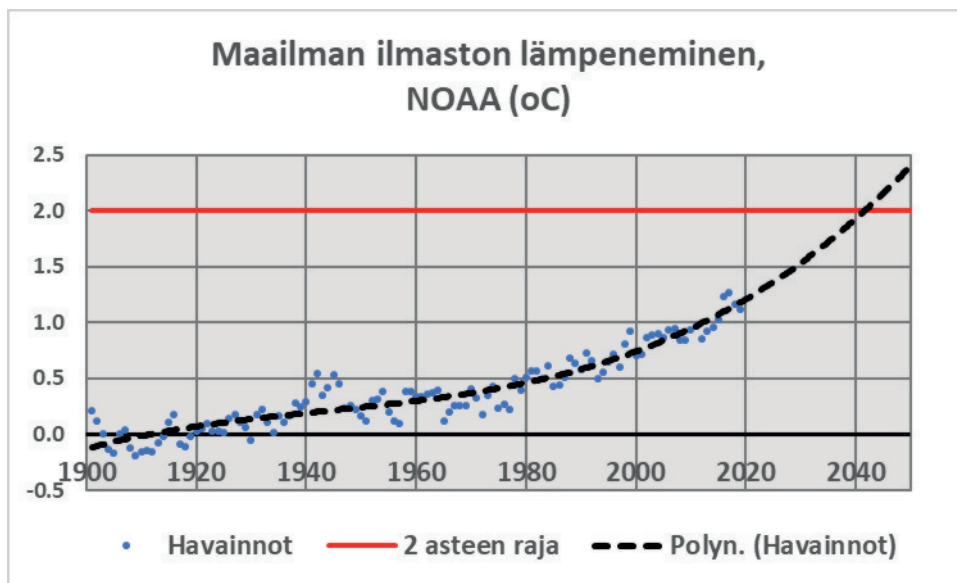
Kuva 1.1.1 Auringonpilkkujen lukumäärä vuosittain. Mediaani on 87, joka on laskettu 11 vuoden keskiarvoista.

1600-luvun kylmä kausi oli myös Italiassa, koska tiedetään, että Stradivarius-viulut on tehty huomattavasti tiheäsisemmästä puusta kuin nykyisin tehtävät viulut. **Antonio Stradivarius** (1644–1737) rakensi noin 1100 viulua elinaikanaan. Tiheäsyisen puumateriaalin ansiosta viulun ääni ja kestävyys olivat myös ainutlaatuisia.

Auringonpilkkujen määrästä voidaan päätellä, että maailman lämpötila oli keskimäärin noin 0,4 astetta viileämpää 1700-luvun alussa kuin vuosina 1700–2000 keskimäärin. Suomessa oli samaan aikaan noin kaksi astetta viileämpää kuin 1900-luvun alussa. Toinen kylmä kausi osui 1800-luvun alkuun ja kolmas 1900-luvun alkuun.

1.2 Lämpeneminen 1900-luvulta alkaen

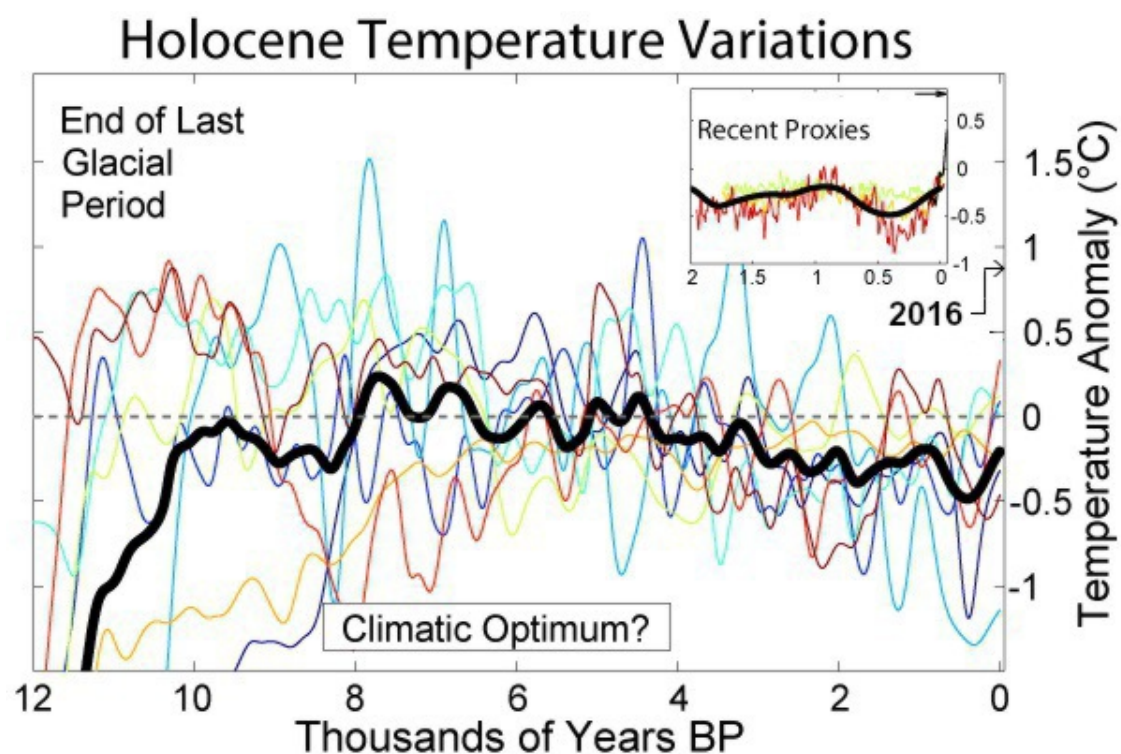
Viime vuosien lämmin kausi on 1900-luvun alusta alkaen pystytty mittamaan lämpötilamittareilla tarkasti. Mittausten mukaan lämpötila on noussut 1900-luvun alkuvuosista noin 1,2 astetta (Kuva 1.2.1). Jos nousu jatkuu polynomisen trendin mukaan, 1,5 asteen nousu on edessä vuonna 2030 ja kahden asteen nousu vuonna 2040.



Kuva 1.2.1 Mitattu lämpötilan nousu vuosista 1901–1930 lähtien. (Lähde: NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration).

Kuvan mukaan ensimmäinen 0,5 asteen lämpeneminen kesti 80 vuotta. Yhden asteen lämpeneminen oli totta vuonna 2010, jolloin 0,5 asteen lämpeneminen tapahtui 30 vuodessa. Lämpenemisnopeus on ollut 0,17 astetta vuosikymmenessä. Polynomisen trendin mukaan seuraava 0,5 asteen lämpeneminen tapahtuu noin 15 vuodessa, jolloin lämpenemisnopeus olisi 0,33 astetta kymmenessä vuodessa.

Viimeaikaista lämpenemisnopeutta voidaan verrata jääkauden jälkeen tapahtuneeseen lämpenemiseen, Holoseeniin. Silloin lämpötila nousi 1,5 astetta noin 1300 vuodessa (Kuva 1.2.2). Vuoden 1900 jälkeen 1,5 asteen nousu tapahtuu noin 130 vuodessa. Lämpeneminen on ollut nyt kymmenen kertaa nopeampaa kuin viime jääkauden jälkeen.

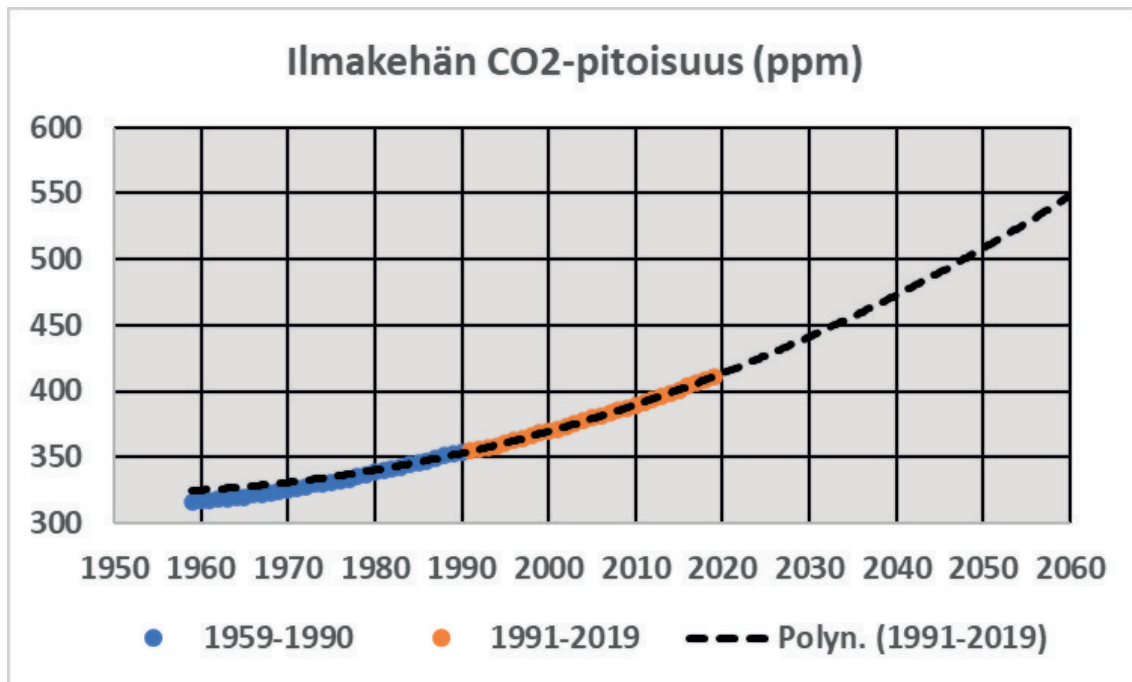


Kuva 1.2.2 Ilmaston lämpeneminen viimeisen jääkauden jälkeen (Wikipedia).

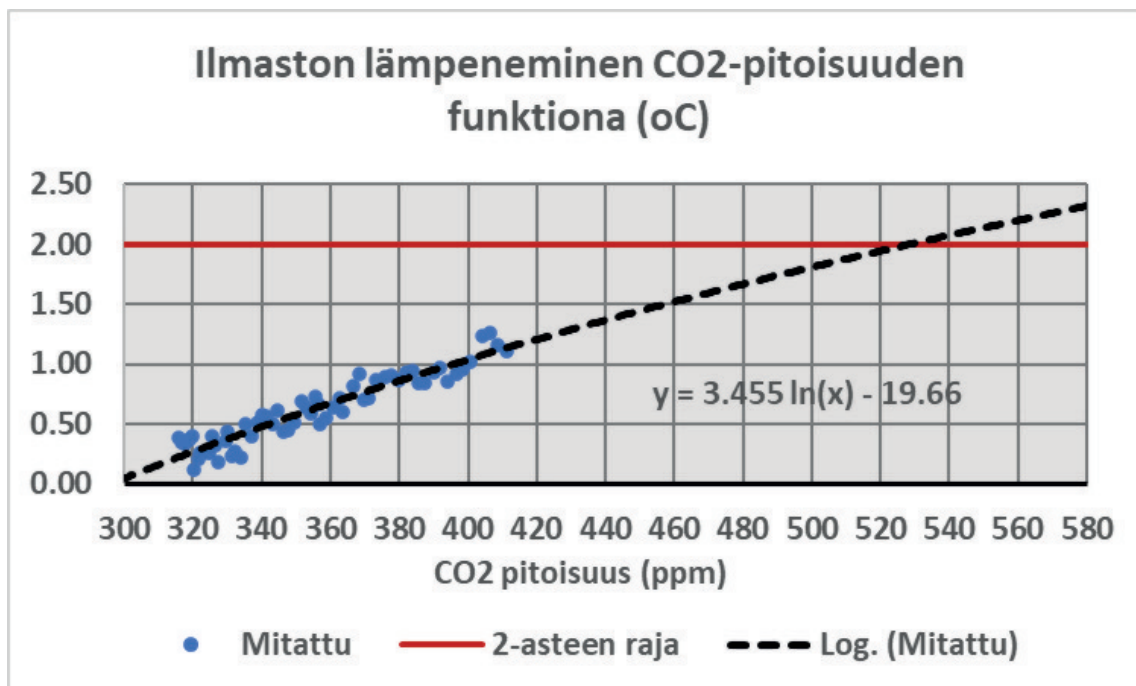
1.3 Ilmaston lämpenemisen syyt

Ilmaston lämpenemisen tärkeimpänä syynä on pidetty ilmakehän CO₂-pitoisuuden nousua. CO₂-pitoisuutta on mitattu vuodesta 1958 lähtien ja sen on havaittu nousevan koko ajan kiihtyvällä nopeudella (Kuva 1.3.1). Pitoisuus on noussut vuodesta 1960 vuoteen 1990 mennessä 319 ppm:stä 350 ppm:ään eli 31 ppm (1 ppm/vuosi).

Vuoden 1990 jälkeen vuonna 2019 ollaan jo 411 ppm:n arvossa, jolloin 29 vuodessa nousu on ollut 59 ppm (n. 2 ppm/vuosi). Polynomisen trendin mukaan CO₂-pitoisuus nousee seuraavan 40 vuoden aikana arvoon 550 ppm eli noin 140 ppm:llä (3,5 ppm/vuosi). Silloin pitoisuus olisi noin kaksinkertainen esiteolliseen aikaan verrattuna.



Kuva 1.3.1 Ilmakehän CO₂-pitoisuuden nousu.



Kuva 1.3.2 Ilmaston lämpeneminen CO₂-pitoisuuden funktiona.



Kuva 1.3.3 Svante Arrhenius (1859 – 1927).

Hiilidioksidin vaikutus lämpötilaan tunnetaan jo vuodesta 1896 alkaen, jolloin Nobelin palkinnon saanut ruotsalainen kemisti **Svante Arrhenius** (Kuva 1.3.3) julkaisi Philosophical Magazinessa artikkelinsa “*On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*” (April 1896). Siinä hän oli laskenut **Samuel Pierpoint Langley**n tekemien kuun infrapunataulukoiden avulla, että CO₂-pitoisuuden kaksinkertaistuessa ilmakehän lämpötila muuttuu 5–6 °C. Hän esitti lämpenemiselle (dT) matemaattisen mallin:

$$dT = A \times \ln (C/Co),$$

jossa A = vakio

C= ilmakehän CO₂-pitoisuus

Hänen laskelmiensa mukaan CO₂-pitoisuuden kaksinkertaistuminen tarkoittaa, että lämpötila nousee 5 astetta päiväntasaajalla ja noin 6 astetta Suomen korkeudella. Keskimääräinen luku olisi noin 5,5 astetta. Sen mukaan Arrheniuksen vakio A olisi ollut 8.

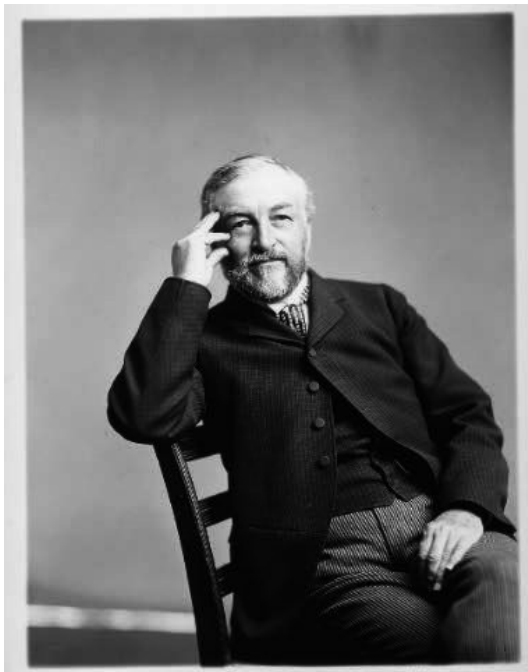
Kun ilmaston lämpenemisen esittää mitattujen CO₂-pitoisuuksien funktiona, havaittu kerroin A onkin 3,455 eli alle puolet Arrheniuksen arvioimasta kahdeksasta (Kuva 1.3.2). Kuvan mukaan lämpeneminen olisi 1,5 astetta, jos CO₂-pitoisuus nousee arvoon 450 ppm ja 2,0 astetta, kun pitoisuus on 530 ppm. CO₂-pitoisuuden noustessa kaksinkertaiseksi esiteollisesta ajasta arvoon 550–560 ppm, lämpötilan nousu olisi logaritmisen mallin mukaan 2,2 astetta.

Arrheniuksen mallin kertoimiksi saadaan edellisen mitattujen havaintojen mukaan (Kuva 1.3.2) kaava:

$$dT=3,455 \times \ln (C)-19,66=3,455 \times \ln (C/296)$$

Arrheniuksen mallin kerroin $A = 8$ voi kuitenkin olla oikea, jos lisämuuttujaksi otetaan ilmakehän aerosolipitoisuus, joka puolestaan kylmentää ilmastoa. Kuten tuolla jo aiemmin todettiin, vuosien 1695–97 tulivuorenpurkaukset viilensivät ilmastoa.

Arrheniuksen malli olisi vastannut mitattuja lämpötiloja, jos aerosolien viilentävä vaikutus olisi ollut $5,5 - 2,4 = 3,1$ astetta. Myös auringon säteilyllä on ollut vaikutusta lämpenemiseen. Kunnollinen malli saadaan vasta, kun myös auringon ja aerosolien osuus otetaan mukaan mallinnukseen. Auringon ($S=\text{sun}$), hiilidioksidin ($C=\text{CO}_2$) ja aerosolien ($A=\text{Aerosolit}$) osuus voidaan laskea SCA2-mallin avulla.



Kuva 1.3.4 Samuel Langley (1836 – 1906).

Samuel Langley toimi astronomian professorina Pittsburghin yliopistossa. Hän oli keksinyt vuonna 1880 Bolometrin, joka mittasi infrapunasäteilyn voimakkuutta eri taivaankappaleista (Kuva 1.3.5).

Hän oli laatinut taulukot kuun infrapunasäteilystä mittaamalla sitä Kalliovuorilla. Bolometrin toimintaan perustuvat myös CO_2 -pitoisuuden mittarit, joissa anturin toisesta päästä lähetetään infrapunasignaali, joka mitataan anturin toisesta päästä.

CO_2 -mittarin toiminta perustuu infrapunasäteilyn voimakkuuden mittaukseen koeputkessa, johon päästetään ilmaa. Mitä suurempi on ilman CO_2 -pitoisuus, sitä pienempi osa infrapunasäteilystä pääsee mittarin anturiin. CO_2 -mittarin toiminnan ymmärtäminen on avainasia myös CO_2 :n lämmittävän vaikutuksen ymmärtämiseen.

ILMASTON LÄMPENEMISEN PYSÄYTYS KAHTEN ASTEESEEN

Ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen kahteen asteeseen oli joulukuussa 2015 pidetyn Pariisin ilmastokokoukseen osallistuneiden valtioiden sitoumus, joka astui voimaan marraskuussa 2016, kun myös EU oli sen hyväksynyt. Sopimus edellytti, että maat ryhtyvät toimiin ilmastopäästöjen rajoittamiseksi kukin omien sitoumustensa mukaisesti.

Kahden asteen lämpeneminen voidaan estää, jos päästöjä vähennetään 50 % vuoteen 2050 mennessä tässä kirjassa esitetyn ilmaston lämpenemisen SCA2-mallin mukaisesti. Tässä mallissa on huomioitu myös merien ratkaiseva osuus hiilinieluna, jonka vuoksi yli 50 % ihmiskunnan aiheuttamista CO₂-päästöistä absorboituu maailman meriin. Tämä sama havainto on nyt kerrottu myös uusimmissa NASAn tutkimuksissa.

Kirjassa esitetyn SCA2-mallin avulla vuosina 1960–2010 tapahtunut lämpeneminen on pystytty laskemaan 0,050 asteen keskihajonnalla. Mallinnukset ovat kuitenkin sen verran yksinkertaisia, että myös lukiolainen voi sen avulla laskea itse maailman lämpenemistä.

ASKO VUORINEN

Asko Vuorinen (tekn. lis.) toimi suunnitteluinsinöörinä Imatran Voima Oy:n Atomivoimaprojektiryhmässä vuosina 1971–1980 Loviisan 1 ja 2 ydinvoimalaitoksia suunnittelemassa ja pääsuunnittelijana Loviisa 3-projektissa vuosina 1981–1991. Hän toimi vuodesta 1992 alkaen Wärtsilän energiajohtajana ja sen tytäryhtiön toimitusjohtajana. Hän on julkaissut 18 kirjaa, joista kerrotaan perheen kustannusyhtiön kotisivuilla www.ekoenergo.fi.

