

<https://helda.helsinki.fi>

Ihmisen aiheuttama ilmastonmuutos

Räisänen, Jouni

2019-12

Räisänen, J 2019, ' Ihmisen aiheuttama ilmastonmuutos ', Kleio , Vuosikerta. 2019 , Nro 4
, Sivut 8-11 .

<http://hdl.handle.net/10138/309512>

publishedVersion

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.

IHMISEN AIHEUTTAMA ILMASTONMUUTOS

JOUNI RÄISÄNEN

Keskustelu ihmisen aiheuttamasta ilmastomuutoksesta on vilkastunut viime vuosina valtavasti. Tieto kasvihuonekaasupäästöjen ilmastoa lämmittävistä vaikutuksista ei kuitenkaan ole uusi. Tässä kirjoituksessa kuvaan lyhyesti ilmastomuutostutkimuksen historiaa ja pyrin antamaan yhteenvedon siitä, mitä aiheesta nykyisin tiedetään. Lopuksi käsittelen myös hieman kansainvälistä ilmastopolitiikkaa ja ilmastomuutoskeskustelua.

Ilmastomuutostutkimuksen historiaa

Ajatuksen, että hiilidioksidin (CO₂) pitoisuuden vaihtelut voivat vaikuttaa ilmastoon, esitti ensimmäisenä ruotsalainen Svante Arrhenius vuonna 1896. Hän laski, toki vielä hyvin karkeilla menetelmillä, että CO₂-pitoisuuden kaksinkertaistuminen nostaisi maapallon keskilämpötilaa 5-6°C. Arrhenius ei kuitenkaan ollut ensisijaisesti kiinnostunut ihmiskunnan tuottamien päästöjen vaikutuksesta. Hän pohti sen sijaan sitä, voisiko CO₂-pitoisuuden vaihtelu selittää lämpötilan vaihtelua jääkausien ja nykyisen kaltaisten leudomprien ilmastojaksojen välillä – missä se nykytiedon mukaan onkin tärkeä osasy.

Vuonna 1938 englantilainen Guy Stewart Callendar esitti, että ihmiskunnan CO₂-päästöillä oli ollut osansa 1900-luvun alkuvuosikymmeninä havaitussa ilmaston lämpenemisessä. Hän myös arvioi

ilmaston lämpenevän 2100-luvulle mentäessä noin puolella asteella lisää, olettaen että päästöt pysyisivät 1900-luvun alkuvuosikymmenien tasolla (sittemmin tapahtunutta päästöjen rajua kasvua hän ei siis osannut ennakoita). Tätä pientä lämpenemistä hän piti ihmiskunnan kannalta hyvänä asiana.

Ensimmäiset kolmiulotteiset ilmastomallit rakennettiin 1970-luvulla. Vuonna 1979 Yhdysvaltain tiedeakatemian ns. Charneyn raporttia laadittaessa oli käytössä kahden mallin tulokset. Toinen ennusti CO₂-pitoisuuden kaksinkertaistumisen nostavan maapallon keskilämpötilaa kahdella, toinen neljällä asteella. Koska malleja oli vain kaksi, tutkijat lisäsivät tämän ”ilmaston herkkyytenä” tunnetun suureen epävarmuusvälin molempiin päihin puoli astetta: 1,5–4,5°C.

Sittemmin ilmastomallit ovat kehittyneet valtavasti. Sama epävarmuusväli, 1,5–4,5°C, ilmaston herkkyydelle annetaan kuitenkin myös Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin eli IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) viimeisimmässä, vuonna 2013 ilmestyneessä pääraportissa. Tämä kertoo kahdesta asiasta. Toisaalta kasvihuoneilmiön voimistumisen aiheuttaman ilmastomuutoksen perusfysiikka on melko yksinkertaista, eikä sen kuvaamiseen tarvita kovin monimutkaista mallia. Toisaalta muutokseen liittyy myös epävarmuuksia – erityisesti se, miten pilvisuus muuttuu ilmaston lämmitessä ja miten tämä edelleen vaikuttaa lämpötilan muutokseen – joita ei pys-

tytä hienonkaan mallin avulla helposti poistamaan.

1980-luvulla kasvihuoneilmion voimistuminen levisi suuremman yleisön tietoon oppikirjojen laatioita ja poliitikkoja myöten. Vuonna 1988 perustettu IPCC sai tehtäväkseen ilmastonmuutostiedon kokoamisen poliitikkojen ymmärtämään muotoon. Sen ensimmäinen raportti ilmestyi vuonna 1990, ja monet raportin johtopäätöksistä osuvat nykytiedonkin valossa hämmästyttävän hyvin oikeaan. Ennuste lähivuosisikymmenien lämpötilanmuutoksesta oli tosin liiankin pessimistinen. Raportti ennakoii maapallon keskilämpötilan nousevan vuoteen 2025 mennessä noin yhdellä asteella, jos kasvihuonekaasujen pitoisuudet kehittyisivät raportissa esitetyn perusskenaarion mukaan. Todellisuudessa lämpötila on noussut vuoden 1990 jälkeen vasta noin puolella asteella. Odotettua hitaampi lämpeneminen johtuu ainakin osaksi siitä, että ilmastoa lämmittävät metaanin ja CFC-yhdisteiden päästöt ovat jääneet selvästi pienemmiksi kuin vuoden 1990 perusskenaario oletti. Ihmisen toimintaa ilmastomallit eivät voi ennustaa.

Järkevä ilmastonmuutoskeskustelu ei onnistu luonnontieteellisiä perusasioita tuntematta. Mitä ihmiskunnan aiheuttamasta ilmastonmuutoksesta siis nykyisin tiedetään?

Luonnollinen kasvihuoneilmiö

Maapallon ilmakehä läpäisee auringonsäteilyä varsin hyvin. Maanpinnan säteilemä pidempiaaltoinen lämpösäteily sen sijaan imeytyy suurelta osin ilmakehään. Tämä lämpösäteilyn imeytymisestä aiheutuva "kasvihuoneilmiö" pitää maapallon pinnan yli 30 astetta lämpimämpänä kuin se muuten olisi. Ilman kasvihuoneilmiötä maapallon keskimääräinen pintalämpötila olisi noin -18°C , kun se todellisuudessa on noin $+14^{\circ}\text{C}$. Tärkein lämpösäteilyä imevästä kasvihuonekaasuista on vesihöyry ja toiseksi tärkein hiilidioksidi. Muita kasvihuonekaasuja ovat esimerkiksi otsoni, metaani ja ilokaasu.

Kasvihuoneilmion voimistuminen

Ihmiskunnan toimien takia kasvihuoneilmiö on nopeasti voimistumassa. Tärkein syy ovat hiilidioksidipäästöt, joista 80% tulee fossiilisten polttoainien kuten kivihiihen, öljyn ja maakaasun käytöstä. 1700-luvun puolivälin jälkeen ilmakehän CO_2 -pitoi-

suus on noussut yli 45%, vajaasta 280 miljoonaa osasta (part per million = ppm) noin 410 ppm:ään. Nykyisin pitoisuus kasvaa 2–3 ppm vuodessa.

"Hiilidioksidi yksinään aiheuttaa noin kaksi kolmasosaa ihmiskunnan kasvihuonekaasupäästöjen lämmitysvaikutuksesta."

Ihmistoiminta on kasvattanut myös mm. metaanin, ilokaasun ja alailmakehän otsonin pitoisuuksia. Myös ilmakehän vesihöyryn määrä on kasvamassa. Ihmistoimien suora vaikutus veden kiertokulkuun on häviävän pieni, mutta ilman lämmitessä siihen mahtuu vesihöyryä entistä enemmän. Vesihöyryn lisääntyminen on siis esimerkki ilmastonmuutoksia voimistavasta palauteilmioista.

Kasvihuonekaasujen ohella ovat lisääntyneet myös erilaiset ilmassa leijuvat pienhiukkaset. Pienhiukkaset ovat ominaisuuksiltaan kirjaavaa joukkoa, ja myös niiden vaikutukset ilmastoon ovat moninaiset. Nettovaikutus on kuitenkin jäädyttävä: toisaalta monet hiukkaset heijastavat itse tehokkaasti auringonsäteilyä avaruuteen, toisaalta ne saavat pilvet heijastamaan auringonsäteilyä pois entistä tehokkaammin.

Maapallon keskimääräinen pintalämpötila on noussut 1800-luvun lopulta noin 1°C . Todennäköisesti ilmasto olisi lämmennyt jopa havaittua enemmän, ellei pienhiukkasten jäädytysvaikutus olisi kumonnut osaa kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutuksesta.

Tulevien ilmastonmuutosten ennustaminen

Arviot tulevista ilmastonmuutoksista perustuvat ilmastomallilaskelmiin. Ilmastomalli on tietokoneohjelma, joka kuvaa ilmastojärjestelmässä (ilmakehät, valtameret ja niiden jääpeite, maa-alusta) vaikuttavia prosesseja fysiikan peruslakien pohjalta. Mikään malli ei tietenkään pysty kuvaamaan kaikkia luonnossa vaikuttavia ilmiöitä, joten laskelmissa on väistämättä epätarkkuutta.

Mallit tarvitsevat syöttötietona mm. arvion kas-

vihuonekaasujen ja pienhiukkasten päästöistä ajan funktiona. Koska päästöjä ei voida ennustaa luotettavasti kauas tulevaisuuteen, esimerkiksi IPCC:n vuoden 2013 raportissa käytettiin neljää eri päästöskenaariota (kuvat 1a–b). Niistä pessimistisimmän mukaan hiilidioksidin päästöt kasvaisivat nykyisiin nähden lähes kolminkertaisiksi vuoteen 2100 mennessä, ja tällöin sen pitoisuus olisi vuosisadan lopussa jo yli 900 ppm. Optimistisin skenaario taas olettaa päästöjen putoavan vuosisadan lopulla nollassa. Tällöin CO₂-pitoisuuskin olisi vuonna 2100 vain hiukan nykyistä suurempi, noin 420 ppm.

Miten ilmaston ennustetaan muuttuvan?

Mallit ennustavat ilmaston lämpenemisen jatkuvan. Muutoksen suuruus riippuu kuitenkin sekä kasviuonekaasupäästöjen kehityksestä että ilmaston herkyydestä kasviuonekaasujen lisääntymiselle. Enimmillään maapallon keskilämpötila voisi nousta tämän vuosisadan aikana jopa 5°C, mutta pienimmillään muutos voisi jäädä lähes nolnaan (kuva 1c).

Kaikkiaan mantereet lämpenevät meriä nopeammin, ja esimerkiksi Suomessa lämpeneminen näyttäisi olevan yli puolitoistakertainen koko maapallon

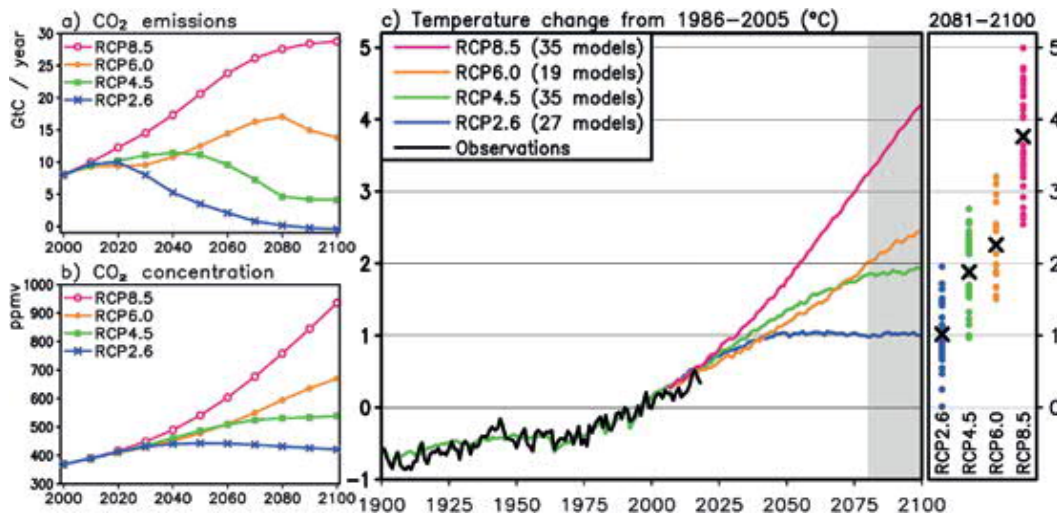
keskiarvoon nähden. Vieläkin nopeampaa lämpenemistä on odotettavissa Pohjoisella jäämerellä sen jääpeitteen hvetessa.

Sademäärien ennustetaan kasvavan korkeilla leveysasteilla, erityisesti talvisaikaan, samoin kuin monin paikoin tropiikissa. Toisaalta monet nykyiselläänkin kuivat subtrooppiset alueet, esimerkiksi Välimeren seutu, käyvät entistä vähäsateisemmiksi.

Keskilämpötilan noustessa kovat helteet yleistyvät, paukkupakkaset taas vähenevät. Sateiden intensiteetti kasvaa: sadetta saadaan enemmän kerralla, mutta toisaalta monin paikoin entistä harvemmin. Trooppisten pyörremyrskyjen pelätään voimistuvan pahimmillaan nykyistäkin hurjemmiksi, vaikka myrskyjen esiintymisalueessa ei ilmeisesti tapahdukaan suurta muutosta.

Merenpinnan nousu

Ilmaston lämmetessä myös merivesi lämpenee ja lämmetessään laajenee. Lisäksi merten vesimassa kasvaa maa-alueiden jäätiköiden sulaessa. Molemmat tekijät nostavat merenpintaa. Viimeksi kuluneiden 100 vuoden aikana merenpinta on noussut maapallolla keskimäärin vajaat 20 cm, ja IPCC:n tämänvuotisen erikoisraportin mukaan se nousisi



Hiilidioksidin (a) päästöt ja (b) pitoisuus vuosina 2000–2100 IPCC:n käyttämien ns. RCP-skenaarioiden mukaan. (c) Maapallon keskilämpötilan muutos ilmastomalleissa v. 1901–2100 (värilliset käyrät eri skenaarioille) ja havaintojen mukaan v. 1901–2018 (musta käyrä). Vasemmalla on keskiarvo eri ilmastomallien tuloksista ja oikealla yksittäisten mallien simuloimat lämpötilan muutokset vuosien 2081–2100 keskiarvona. Nollataso on vuosien 1986–2005 keskilämpötila, joka oli jo noin 0,6°C 1800-luvun loppupuolen "esiteollista" tasoa korkeampi.

tällä vuosisadalla 30–110 cm lisää. Merenpinnan nousu jatkuu vielä pitkään vuoden 2100 jälkeenkin, jopa siinä tapauksessa, että ilmaston lämpeneminen saataisiin pysäytettyä. Suomi on tässäkin asiassa onnekaassa asemassa, sillä Itämeren rannikoilla maankohoaminen kumoaa ainakin osan merenpinnan nousun vaikutuksesta.

Ilmastopolitiikka ja ilmastonmuutosten hillitseminen

Kasvihuoneilmiön voimistumisen aiheuttamien ilmastonmuutosten hillintä nousi maailmanpolitiikan parrasvaloihin vuonna 1992 pidetyssä Rio de Janeiron kokouksessa, mutta silloin vasta julkilausumatasolla. Vuonna 1998 solmittu Kioton sopimus velvoitti sopimuksen ratifioineet teollisuusmaat vähentämään päästöjään noin viidellä prosentilla vuosien 1990 ja 2008–2012 välillä. Päästöt vähenivät sopimusmaissa jopa tavoiteltua enemmän, mutta kuitenkin paljon vähemmän kuin Kiinan ja muiden teollistuvien kehitysmaiden päästöt samanaikaisesti kasvoivat.

Koska kaikkia maapallon maita koskevista päästörajoituksista sopiminen oli osoittautunut mahdottomaksi, vuonna 2015 laadittu Pariisin sopimus muotoiltiin toisin: kukin maa päättäkään itse tavoitteistaan mutta kertokoon etukäteen, mitä tavoittelee! Sopimus on siis rakennettu ryhmäpaineen varaan, oletukselle ettei kukaan halua olla joukon ”musta lammas”.

Pariisin sopimukseen kirjattiin myös tavoite, ettei maapallon keskilämpötila saisi nousta yli kahta astetta esiteollisen tason yläpuolelle, ja että lämpeneminen pitäisi mahdollisuuksien mukaan rajata 1,5 asteeseen. Tavoite on erittäin kova, sillä keskilämpötila on jo noussut yhdellä asteella. Kuvan 1 neljästä skenaariosta vain alin (RCP2.6) on sopusoinnussa tavoitteen kanssa. Sen toteutuessa maapallon keskilämpötila olisi vuonna 2100 keskimääräisten malliennusteiden mukaan 1,6°C esiteollisen tason yläpuolella.

Hiilidioksidi yksinään aiheuttaa noin kaksi kolmasosaa ihmiskunnan kasvihuonekaasupäästöjen lämmitysvaikutuksesta. Koska sen päästöistä 80% syntyy kivihiihen, öljyn ja maakaasun käytöstä, eivät Pariisin sopimuksen tavoitteet tule lähimainkaan toteutumaan ilman laajamittaista ei-fossiilisiin energianlähteisiin siirtymistä.

Muutama sana ilmastonmuutoskeskustelusta

Kasvihuoneilmiön voimistuminen on yhteismaan ongelma pahimmillaan. Kun ilmaston ja muiden luonnonolojen muutokset riippuvat koko ihmiskunnan päästöistä ja tulevat pääosin esiin vasta kauan päästöjen synnyn jälkeen, on kiusaus vapaamatkustamiselle ilmeinen. Oman toiminnan tai sen puutteen tueksi esitettyjen syiden ja tekosyiden kirjo on laaja.

Vielä 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa koko ongelman mitätöinti oli yleistä, Ylen MOT-ohjelmia myöten. Vain hieman karrikoiden: *”Ilmasto ei ole lämmennyt, mitattu lämpeneminen johtuu kaupunkien kasvusta. Jos ilmasto onkin lämmennyt, se johtuu Auringosta eikä kasvihuonekaasuista. Jos kasvihuonekaasujen lisääntyminen kuitenkin lämmittäisi ilmasto, siitä olisi enemmän hyötyä kuin haittaa.”* Esimerkiksi verkon keskustelupalstoilla nämä väitteet elävät edelleen. Tavallisen kansan ohella asialla ovat joskus myös muiden alojen tutkijat, jotka luulevat tietävänsä enemmän kuin tietävät.

Nykyisin hyväksytään jo varsin yleisesti, että jotain pitäisi tehdä. Liian monelle tämä silti tarkoittaa vain, että jonkun muun on vähennettävä päästöjään. Olen itse kuullut älykkäiksi tietämiäni ihmisten väittävän, ettei Suomen päästöillä ole väliä, kun ne ovat niin pienet (hiukan yli 0,1%) muun maailman päästöihin verrattuna. Mutta jos suomalaisten ei tarvitse vähentää päästöjään, jotka kuitenkin ovat henkeä kohti maapallon keskiarvoa suuremmat, niin miksi muidenkaan pitäisi?

Keskustelussa on toinenkin ääri-ilmiö, jolla (taas vain hieman karrikoiden) kaikki sään ääri-ilmiöt laitetaan ilmastonmuutoksen syyksi ja pelotellaan ihmiskunnan tuholle heti, kun puolentoista asteen lämpeneminen ylittyy. Hyvä ei ole tämäkään, ei monestakaan syystä!

Ilmastokeskustelun harhapoluille eksymiseltä suojaa tehokkaasti vain vankka asiatieto: Mikä on kasvihuoneilmiö, miksi se on voimistumassa, mitä sen voimistumisen vaikutuksista tiedetään ja mitä ei tiedetä, ja mitä ongelmalle voidaan tehdä? ■

Kirjoittaja toimii yliopistonlehtorina Helsingin yliopiston Ilmakehätieteiden keskus INARissa.