

Arktisen ympäristön trendit sekä havaintoni tulevaisuusselonteosta

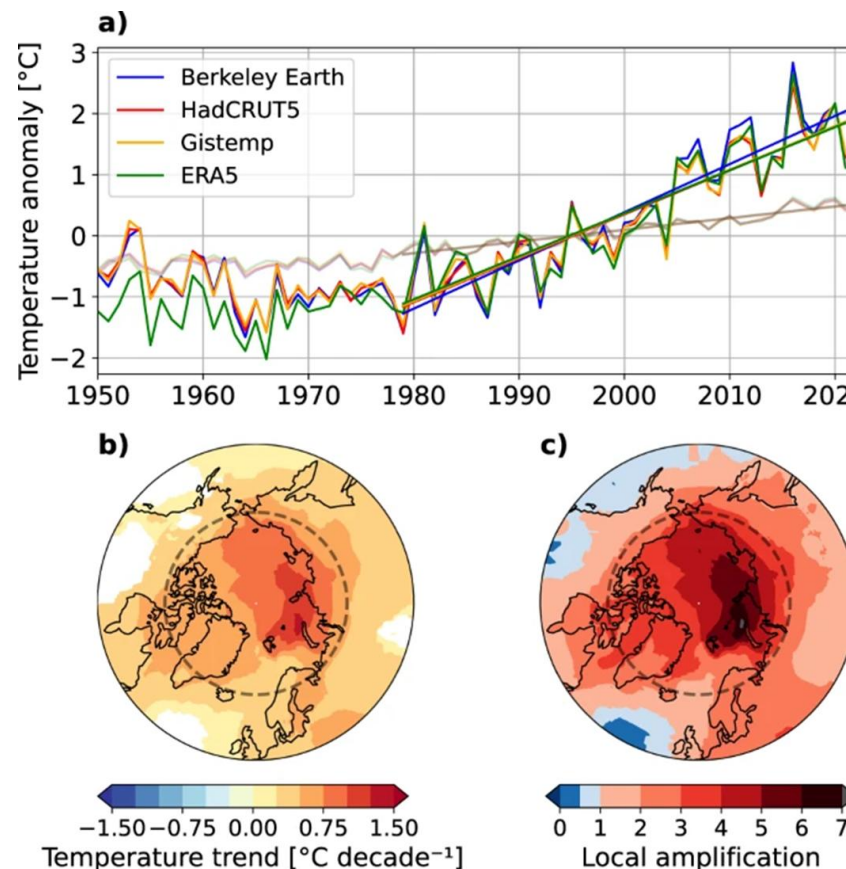
Atte Korhola

Ympäristömuutoksen professori
Helsingin yliopisto



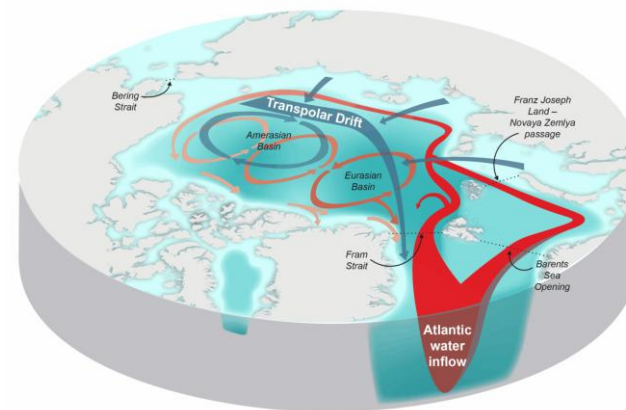
Arktisen lämpenemisen erityispiirteitä

- Arktinen vahvistuminen. Pinalämpötilat arktisella alueella ovat nousseet keskim. 3x voimakkaammin kuin muualla maapallolla vuoden 1979 jälkeen.
- Pinalämpötilan nousu arktisten merialueiden yläpuolella on voimakkaampaa kuin mantereilla.
- Syksyt ja kevättalvet ovat lämmenneet eniten. Kesälämpötiloissa ei näy tilastollisesti merkitsevää lämpenemistrendiä.
- Pakkaspäivien määrän arvioidaan vähenevän 20–50 % kuluvan vuosisadan aikana.
- Lämpötilakehityksessä ei näy eroja Euraasian ja Pohjois-Amerikan välillä.
- Paikallisen ja maailmanlaajuisen lämpenemisvauhdin erot näyttävät pienenevän ajan myötä, mikä viittaa siihen, että ilmastonmuutos Fennoskandiassa saattaa olla tällä hetkellä nopeimmillaan (Strandberg et al. 2026).



Arktisen alueen keskeiset ympäristötrendit

- **Atlantifikaatio:** Lämpimämmän ja suolaisemman atlanttisen meriveden ja siihen sopeutuneiden merielämän ja kalalajien työntyminen pohjoisille merialueille.
 - Arktisella merialueella tapahtuvat muutokset voivat aiheuttaa merkittäviä haittavaikutuksia globaaliin ruoantuotantoon.
- **Borealisaatio:** Tundran vihertyminen, jossa eteläiset, lauhkean vyöhykkeen (boreaalisen vyöhykkeen) lajit leviävät pohjoisiin arktisiin tundraekosysteemeihin ja syrjäyttävät alkuperäiset arktiset lajit.
 - Habitaattien muuttuessa niihin sopeutunut eläinlajisto muuttuu.
 - Biodiversiteetin/luontopääoman merkittävä heikentyminen
 - Suuri vaikutus alkuperäiskansojen elinkeinoihin



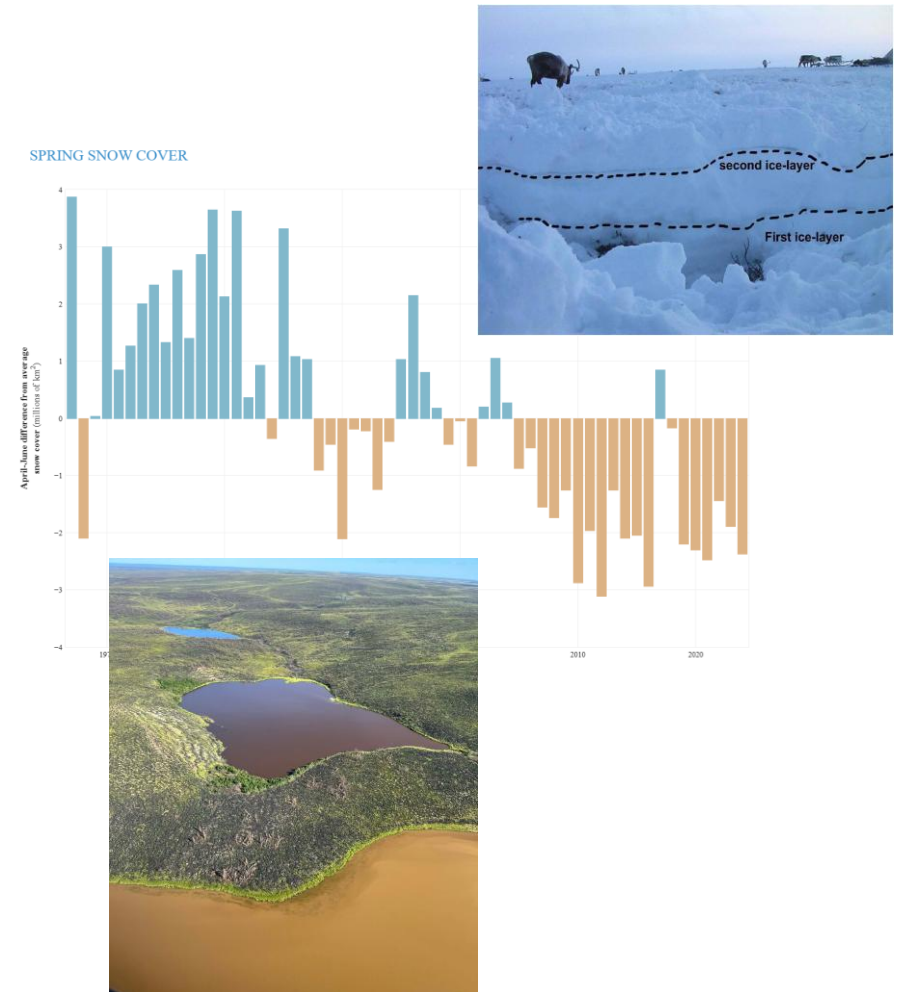
Arktisen alueen keskeiset ympäristötrendit

- **Arktisten jäätiköiden sulaminen:** Vuotuinen massahävikki on 3x vuoden 1990 jälkeen. Jäätä sulaa noin 181 mrd tonnia vuodessa. Skandinavian jäätiköt sulavat keskimääräistä nopeammin.
 - Valtamerien pinta nousee. Nousua arktisten jäätiköiden sulamisen takia maailmanlaajuisesti noin 1,3 cm viimeisen 20 vuoden aikana.
 - Maanvieremät ja -sortumat yleistyvät, tsunamien riski kasvaa.
 - Kriittisten maametallien hyödyntäminen helpottuu.
- **Ikiroudan sulaminen:** Laajat ikiroudan alueet sulavat edelleen, mikä aiheuttaa maaperän vajoamista ja kiihdyttää kasvihuonekaasujen (metaanin ja hiilidioksidin) vapautumista.
 - **Pandemia-riski.** Sulavasta ikiroudasta voi vapautua taudinaiheuttajia, jotka leviävät laajalle vektorivälitteisesti. Virusten aktiivisuus voi palata olosuhteiden muuttuessa. Riski uusien tautien ja ”kadonneiden tautien” puhkeamisesta on todellinen.
 - **Myrkkujen** ja raskasmetallien vapautuminen. Arktisen alueen jäätyneessä maaperässä on noin 793 Gg elohopeaa. Tämä määrä on noin 10x verrattuna ihmisen aiheuttamiin elohopeapäästöihin viimeisten 30 vuoden aikana. Elohopea voi muuttua metyylielohopeaksi, joka kertyy kalojen ja merinisäkkäiden kudoksiin ja vaarantaa paikallisten alkuperäiskansojen yhteisöt.



Arktisen alueen keskeiset ympäristötrendit

- **Hydrologisen syklin** kiihtyminen lisääntyneen haihtumisen, sademäärän ja sulaveden määrän seurauksena. Ilmakehässä on enemmän kosteutta ja rankkasateet lisääntyvät.
 - Lumen osuus kokonaissateesta tulee vähenemään arktisella alueella merkittävästi noin vuodesta 2035 eteenpäin.
 - Mallisimulaatioiden mukaan sateena tuleva sateen määrä ylittää lumena tulevan sateen määrän kuluvan vuosisadan loppupuoliskolla.
- **Rain on snow (RoS)** -tapahtumat lisääntyvät. Näissä sade osuu jo olemassa olevaan lumipeitteeseen, mikä aiheuttaa lumen nopean sulamisen ja luo monimutkaisia hydrologisia olosuhteita.
 - Lisääntynyt tulvariski, lumivyöryt ja maaperän jäätyminen.
 - Vaikeuttaa eläinten (mm. porot) ravinnonsaantia.
- **Lumenpeittämä alue:** Peittävyys nyt 50 % siitä, mitä se oli 1960. Kevään lumipeitteen odotetaan supistuvan 10–35 % tämän vuosisadan loppuun mennessä. Lumikausi kokonaisuudessaan lyhenee.
 - Huomattava osa arktisista lajeista on sopeutunut lumeen ja monet lajit ovat lumesta täysin riippuvaisia.
- **Maasto- ja suopalojen lisääntyminen:** Tutkimusten mukaan arktisen alueen maasto- ja suopalojen määrä on voimakkaassa kasvussa. Lisäksi palot ovat laajempia, kuumempia ja kestävät pidempään kuin aikaisemmin.
 - Lisäävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta
 - Tuhoavat biodiversiteettiä
 - Vaikeuttavat ihmisten ja eläinten liikkumista ja toimintoja
 - Aiheuttavat haittaa terveydelle



Arktisen alueen keskeiset ympäristötrendit

- **Vesien ruskettuminen:** Lisääntyvän vihertymisen, ikeiroudan sulamisen ja lisääntyneen valun vuoksi vedet ruskettuvat. ”Ruostuneet joet”, joiden väri johtuu happamasta kallioperän valumavedestä sekä ikeiroudasta vapautuvista myrkyllisistä raskasmetalleista (rauta, sinkki, kupari).
 - Arktiselle alueelle tyypilliset kirkasvetiset järvet tulevat vähitellen katoamaan maisemakuvasta.
 - Veden laadun heikkeneminen uhkaa vesiekosysteemejä, kalojen kutualueita ja juomavesilähteitä.
- **Merijääpeite:** Supistunut, ohentunut ja monivuotinen jää katoamassa. Muutokset tehostavat ilmastonmuutosta positiivisten takaiskytkentöjen (mm. albedo) kautta. Kesällä jäätä vapaa Jäämeri jo 2030-luvulla
 - Rannikon erodoituminen, tulvat, haitat asumuksille ja infrastruktuurille
 - Radikaaleja muutoksia merien ekosysteemeissä, paikoin kokonaisten ravintoketjujen uudelleenorganisoiduminen.
- **Atlantin meridionaalinen kierto (AMOC):** Atlantin valtameren keskeinen virtausjärjestelmä, joka kuljettaa lämpöä eteläiseltä pallonpuoliskolta kohti napoja.
 - Kierto liike heikentynyt ~15 % 1950-luvulta lähtien.
 - Romahduksen seurauksena Pohjois-Atlantin alueen talvet viilentyisivät voimakkaasti.

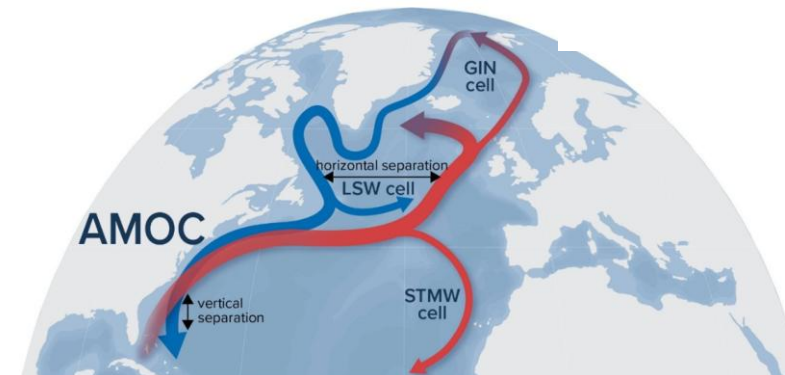


Arctic Sea Ice Yearly Minimum

September 1979-2023



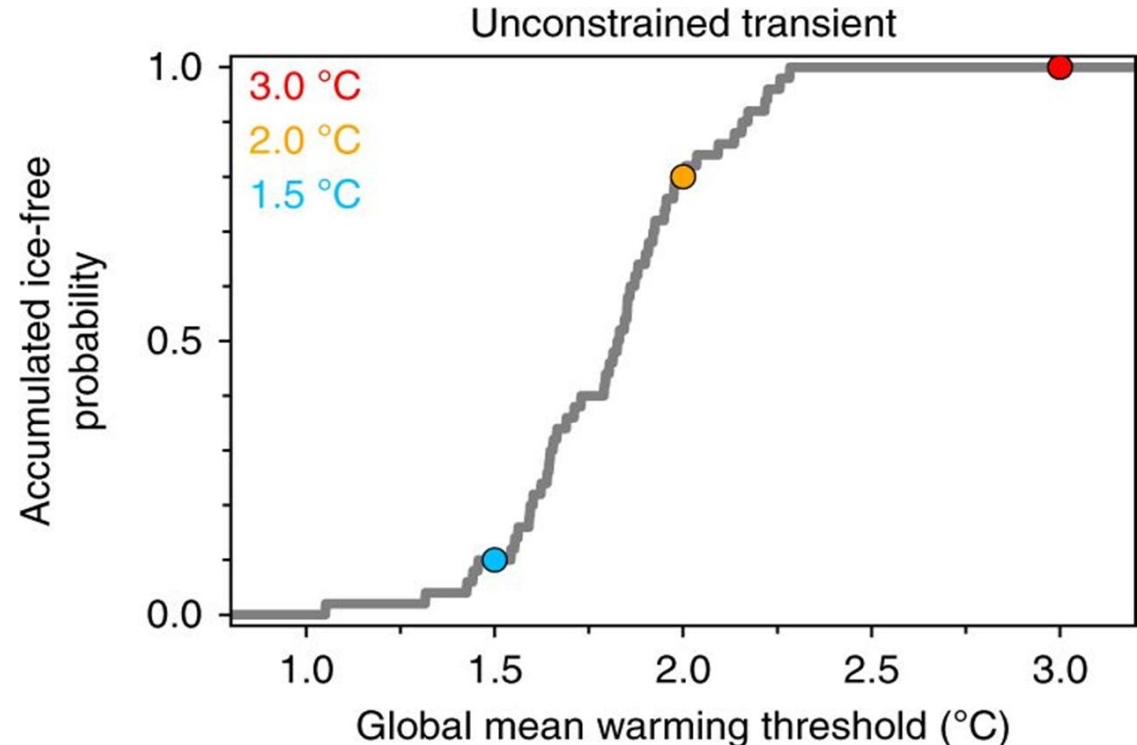
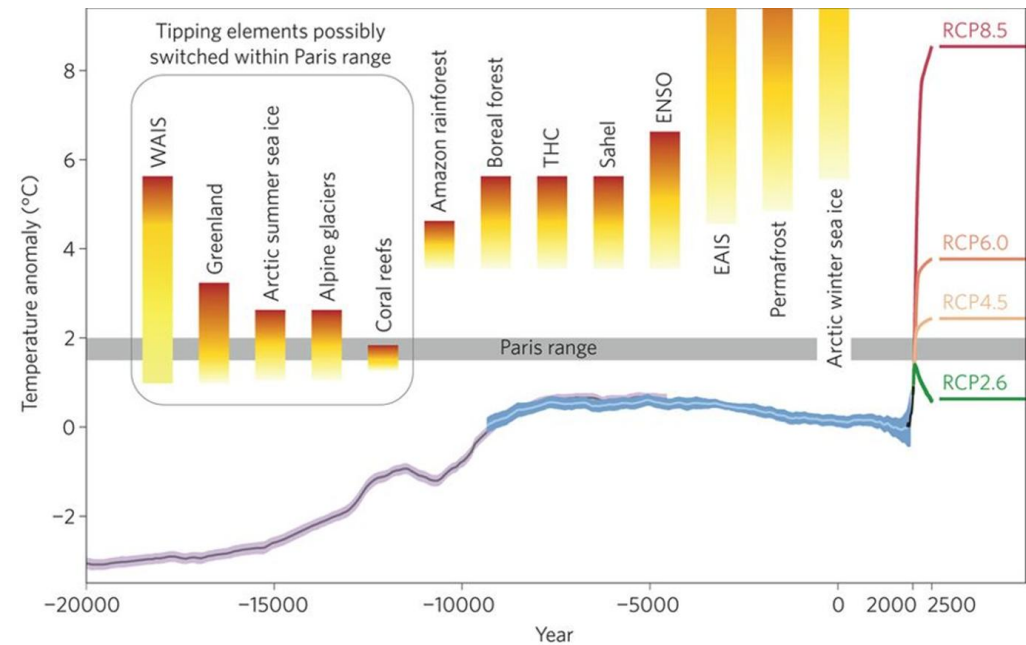
Chart: NOAA Climate.gov • Source: NSIDC • Created with Datawrapper





Arktiset keikahduspisteet

- Epälineaarisia: pieni muutos ulkoisissa olosuhteissa johtaa järjestelmän tilan nopeaan muutokseen, kun kynnysarvo ylitetään.
- Heikko ennustettavuus; lähestytään ilmastomallien avulla. Aikasarja-analyyseissä vaihtelun lisääntyminen voi usein toimia varhaisena varoituksena lähestyvistä käännekohtasta.
- Muutos on peruuttamaton tai ainakin ei palautu alkuperäiselle polulle **hystereesin** vuoksi, mikä tarkoittaa, että muutoksen laukaisema ympäristötekijä on palautettava huomattavasti alhaisemmalle tasolle kuin "eteenpäin kulkemisen" kynnysarvo.
- Esimerkit: Grönlannin mannerjäätikkö, AMOC, ikirouta, merijääpeite, järvet



Havaintoja tulevaisuusselonteosta

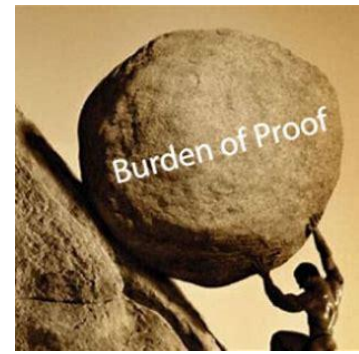
Hyvää

- Arktisen alueen strategisen merkityksen lisääntyminen.
- Ilmaston kuumenemisen kiihtyminen otettu huomioon.
- Selonteko kattaa melko monipuolisesti arktisen ympäristön muutostrendit.

Parannettavaa

- Venäjän ja Yhdysvaltojen piittaamattomuus ilmastonmuutoksesta ja sen torjuntakeinoista sekä maiden höllentyneet ilmansuojelutoimet tulevat pahentamaan arktisen alueen ympäristönmuutosta.
- Epälineaaristen muutosten mahdollisuus ja niihin varautuminen jätetty liian vähälle huomiolle
 - Sään ääri-ilmiöt, ekosysteemien uudelleenjärjestyminen ja ikiroudan sulaminen muuttavat todennäköisesti perustavanlaatuisesti maisemaa, taloutta ja saamelaisväestön perinteisiä elinkeinoja Fennoskandiassa vuoteen 2050 mennessä.
- Vuoteen 2050 mennessä vuoden 2024 äärimmäinen, ”tuhatvuotinen” helleaalto saattaa toistua parin vuosikymmenen jälkeen neljän vuoden välein.
- Tundran katoaminen, ikiroudan merkittävä väheneminen.
- Ilmaston lämpeneminen siirtää vaarallisia tauteja pohjoisemmaksi olosuhteiden muuttuessa vektoreille suotuisammiksi (denguetauti, chikungunya). Lämpeneminen mahdollistaa punkkien kaltaisten loisten leviämisen arktisille alueille.
- Sulavassa ikiroudassa piilee todellinen pandemiariski – preventiiviset toimet.
- Selonteon pitäisi omaksua liiketoiminnallisia ja poliittisia strategioita, jotka ovat vankkoja vaihtoehtojen tulevaisuuksien suhteen ja joustavia ennakoimattomien tapahtumien suhteen. Tällaisen vankan ja joustavan viitekehyksen turvallisuudessa epävarmuus voidaan hyväksyä, koska se on luovuuden, jännityksen ja voiton lähde.

Tieteellinen epävarmuus

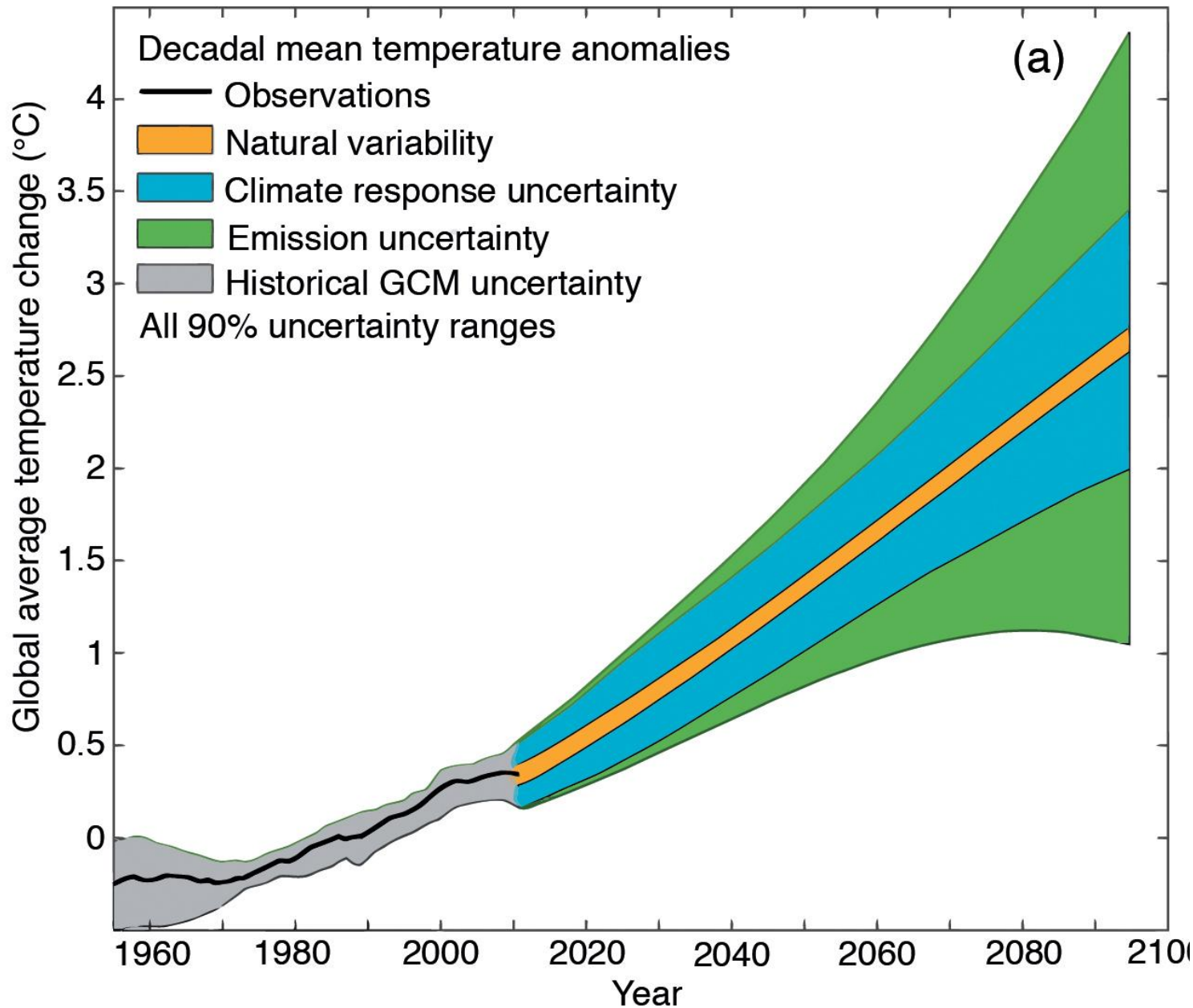


Aleatorinen epävarmuus

- Seurausta tutkittavan ilmiön perimmäiseen olemukseen liittyvästä ennustamattomuudesta ja aidosta satunnaisuudesta.
- Sitä ei ole mahdollista poistaa keräämällä lisää havaintoja.

Episteeminen epävarmuus

- Seurausta siitä, että emme tiedä ilmiöstä niin paljon kuin olisi mahdollista tietää.
- Tätä epävarmuutta on mahdollisuus vähentää esim. mittauslaitteen teknistä tarkkuutta parantamalla tai otosjoukon kokoa kasvattamalla.



IPCC AR5 2013

Mallien tulkinnessa voidaan tehdä ainakin pari vakavaa virhettä:

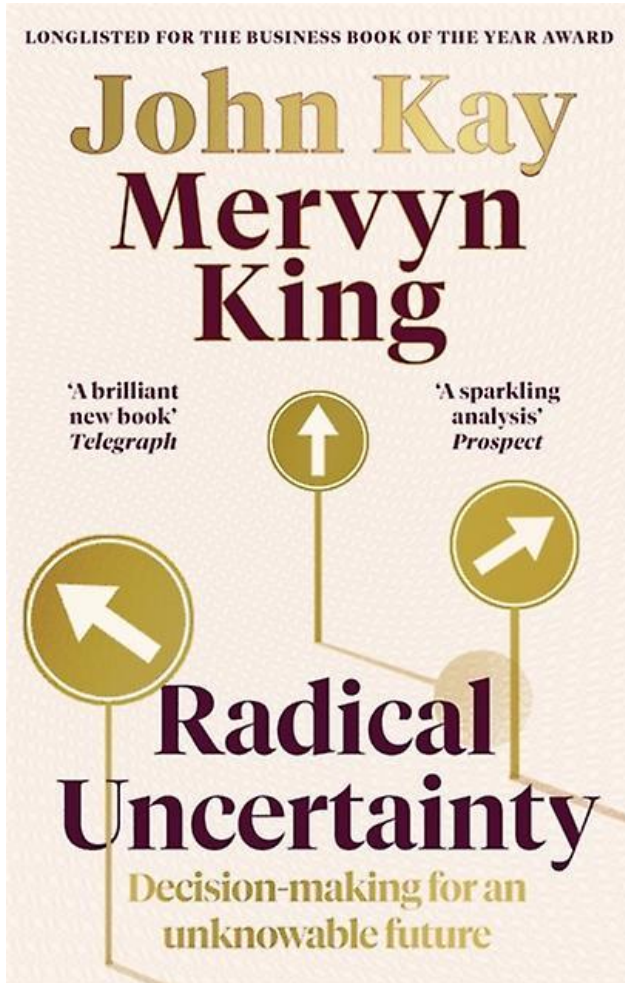
1. Oletus, että mallit ovat täysin samanlaisia kuin ne järjestelmät, joita ne kuvaavat.
2. Oletus, että kaikkien mallin piirteiden on sisällyttävä myös järjestelmään, jota se kuvaa.

Mallit on otettava vakavasti, mutta ei välttämättä kirjaimellisesti.

Miten epävarmuuden keskellä tulisi toimia?

- Tunnustaa ja tunnistaa
 - Epävarmuuksista ja virhemarginaaleista ei kannata kiemurrella ehdoin tahdoin eroon.
 - Epävarmuuksien tehokkaampi tunnistaminen on kallein timantti, minkä datalouhijat ovat tutkimukselle lahjoittaneet.
- Epävarmuuksien kanssa tulisi oppia elämään ("kesyttäminen")
 - Koko yhteiskuntamme tulisi koulukasvatuksesta lähtien totuttautua elämään erilaisten riskien maailmassa.
 - "Myönnän että kaksi kertaa kaksi on erinomainen juttu. Mutta jos kerran ruvetaan ylistämään kaikkea, niin myös kaksi kertaa kaksi on viisi on välistä aivan ihana asia." (**F. Dostojevski**, *Kirjoituksia kellarista*)
- Epävarmuudet tekevät ilmastotoimet entistä välttämättömämmiksi
 - Ilmastomuutos on torjuttava, ei siksi että tiedämme yksityiskohtaisesti mihin se johtaa, vaan siksi, ettemme tiedä minne se meidät ja koko planeettamme vie.

Radikaali epävarmuus



Sen sijaan, että keksisimme lukuja täyttämään tietämyksemme aukkoja, meidän pitäisi omaksua liiketoiminnallisia, poliittisia ja henkilökohtaisia strategioita, jotka ovat **vankkoja vaihtoehtoisten tulevaisuuksien** suhteen ja **joustavia ennakoimattomien tapahtumien** suhteen.

Tällaisen vankan ja joustavan viitekehyksen turvallisuudessa epävarmuus voidaan hyväksyä, koska se on **luovuuden, jännityksen ja voiton lähde.**