



# **Ilmastonmuutoksen takaisinkytkennät ja vaikutukset**

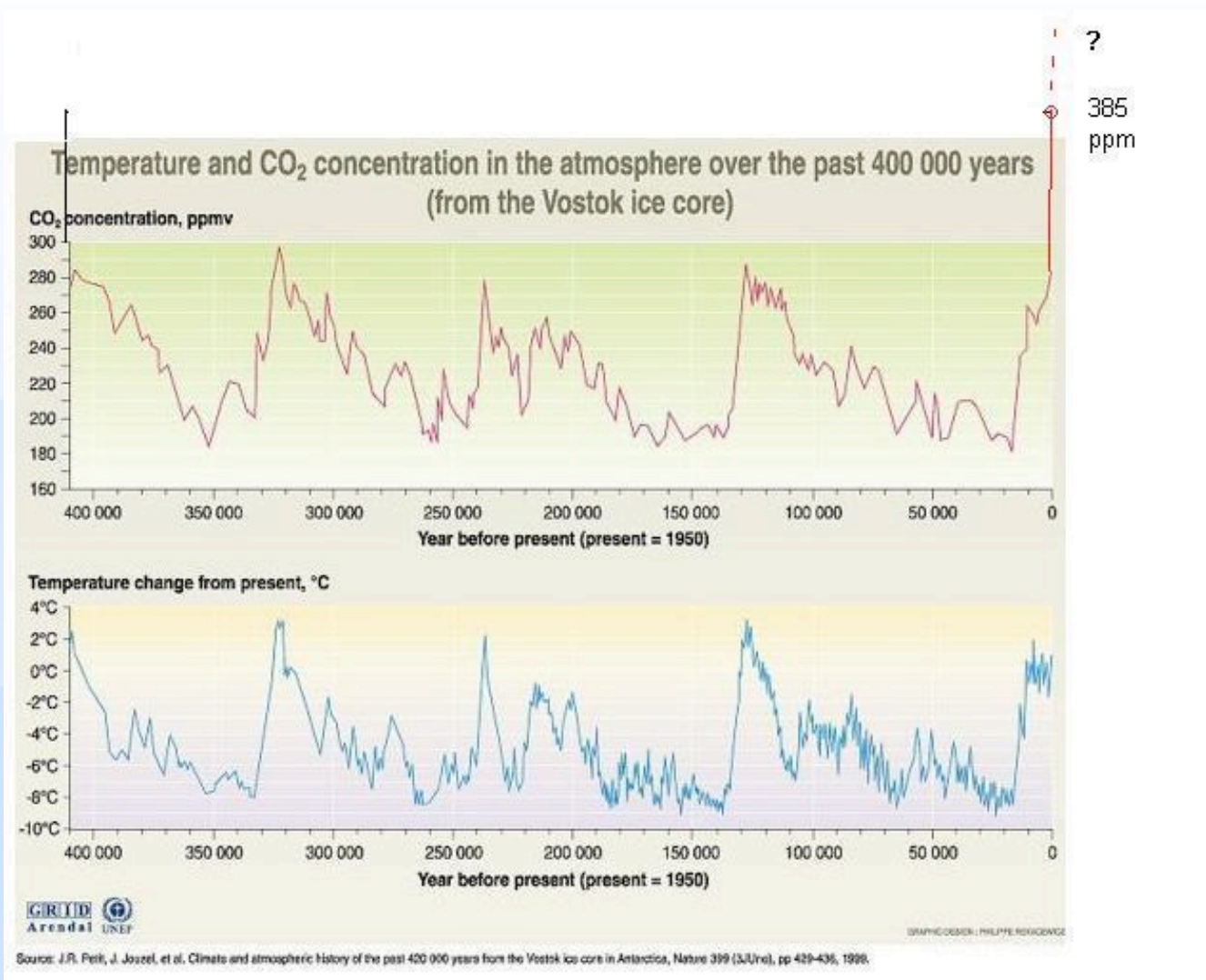


# Ilmastonmuutoksen takaisinkytkennät ja vaikutukset eri lämpenemistasoilla

- o Takaisinkytkennät voimistavat tai heikentävät ilmastonmuutosta
- o Vaikutukset riippuvat lämpenemisen tasosta



# CO<sub>2</sub>-pitoisuus ja lämpötila





## Huoli voimistavista takaisinkytkennöistä kasvanut

- o Ilmastonmuutos vaikuttaa moniin sellaisiin ilmiöihin, joilla puolestaan on vaikutusta ilmastonmuutokseen = takaisinkytkentä
- o Takaisinkytkennät voimistavat tai hillitsevät ilmastonmuutosta
- o Takaisinkytkentöjen herkkyydestä ja potentiaalista eri arvioita
- o Hillitsevät ovat useimpien tutkijoiden mukaan paljon heikompia ja niiden aikajänne on usein pidempi (ei auta nopeassa muutoksessa tilanteessa)
- o Hillitseviä ovat mm. yhteyttämisen voimistuminen ilmaston lämmitessä ja CO<sub>2</sub>:n ravitessa kasveja -> positiivinen vaikutus loppuu yli +2 asteessa kun mm. hengitys lisääntyy



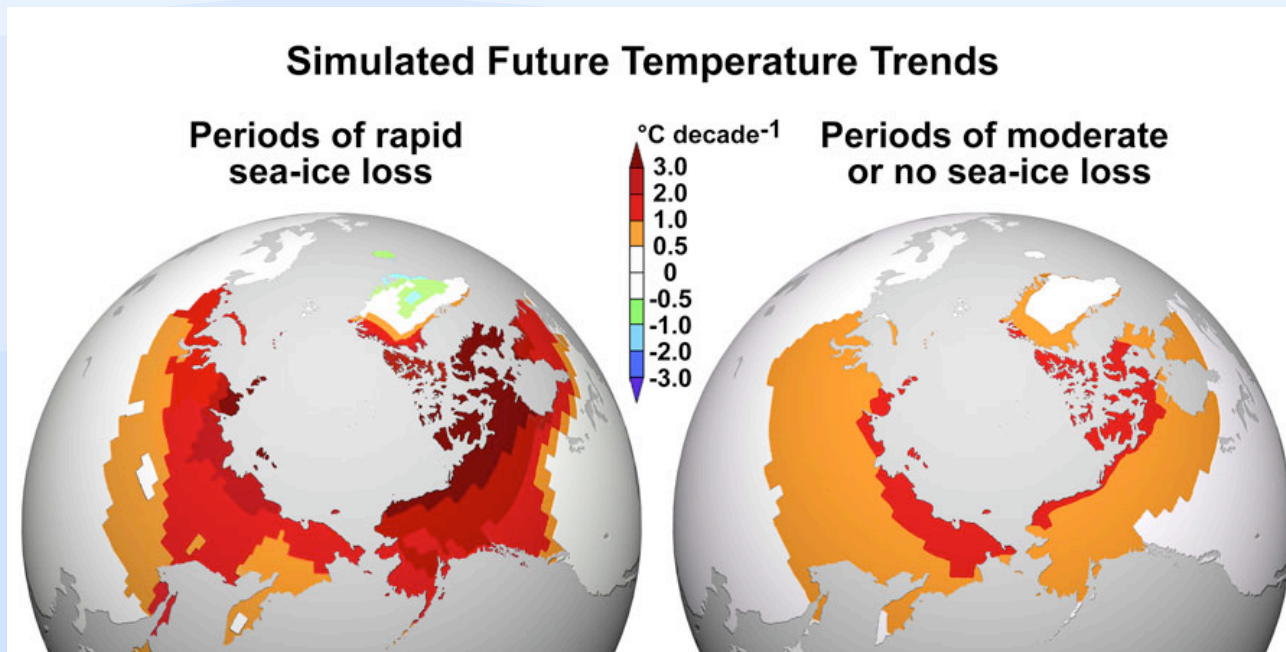
## Vesihöyry ja pilvet

- o vesihöyry merkittävin kasvihuonekaasu, jonka määrä ilmakehässä suoraan verrannollinen lämpötilaan
- o lämmin ilma sisältää vesihöyryä sitä enemmän, mitä lämpimämpää on
- o vesihöyryn lisääntyminen on ilmaston lämpenemistä voimistava palauteilmiö, joka tunnetaan hyvin
- o pilvinä alailmakehässä oleva vesi viilentää ilmastoa, joten vesi voi muodostaa myös negatiivisen palauteilmiön pilvien lisääntymisen muodossa
- o yläilmakehän pilvet lämmittävät (suihkukoneet)
- o Pilvien muodostumiseen vaikuttavat muutkin tekijät kuin vesihöyryn määrä eikä pilvien muodostumista osata varmuudella ennustaa -> epävarmuus ilmastomalleissa



## Jään sulaminen muuttaa heijastusta

- o Jään sulaessa meri alkaa imeä lämpöä
- o Jää heijastaa 80 %, maa vain 20 %
- o Jään alta paljastuu tummaa maata/vettä (+noki)
- o Sulavesi valuu jään alle peruskallioon, voitelee ja nopeuttaa jäätiköiden valumista mereen
- o Jäähyllysten sortuminen nopeuttaa valumista
- o Lisäksi alempana lämpimämpää (aste/100 m)



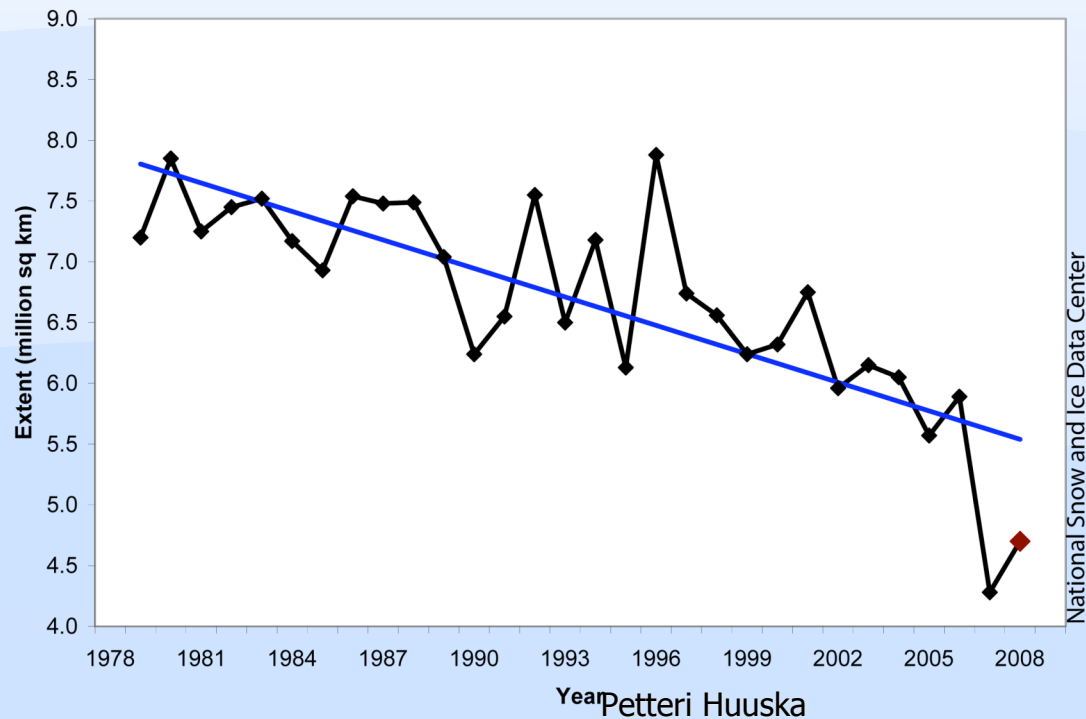
Lähde:  
Geophysical  
Research  
Letters,  
June  
13, 2008



## Jään sulaminen muuttaa heijastusta

- o Arktinen merijää sulanut kesäisin paljon ennakoitua nopeammin, -40 % 1970-2008
- o Syksyllä 2008 lämpötila jopa + 7 C-astetta korkeampi, sula meri imi kesällä lämpöä, joka syksyllä vapautui
- o IPCC:n ilmastomallit aliarvioivat muutosnopeutta
- o Ei paluuta, käännepiste eli "Tipping point" jo ylittynyt?

Lähde: National Snow and Ice data Center





## Meret muuttuvat CO<sub>2</sub>-lähteeksi

- o Nyt meret sitovat ¼ CO<sub>2</sub>:sta
- o Meret muuttuvat CO<sub>2</sub>-lähteiksi lämpenemisen ja happamoitumisen seurauksena
- o Lämpeneminen myötä veden kerrostuminen kasvaa, CO<sub>2</sub> ei enää sekoitu alusveteen (Japaninmeri)
- o veden kyky sitoa itseensä hiilidioksidia heikkenee sen lämmitessä
- o liian lämpimässä merten tuottavuus laskee
- o CO<sub>2</sub> muodostaa vedessä hiilihappoa
- o Happamoituminen uhkaa ensin kalkkikuorisia, esim. koralleja -> eliöiden hajoaminen vapauttaa CO<sub>2</sub>:ta



## Kasvit muuttuvat CO<sub>2</sub>-lähteiksi

- o Kasvit ja maaperä muuttuvat lämpenemisen myötä nieluista CO<sub>2</sub>-lähteiksi
- o Nyt kasvit sitovat ¼ CO<sub>2</sub>:sta
- o Hajoaminen voimistuu (lämpimät talvet), vapauttaa CO<sub>2</sub>:ta tai CH<sub>4</sub>:ää
- o Uhkana esim. sademetsät kuivuvat ja palavat tai muulla tavalla vapauttavat suuren osan sitomastaan hiilestä-> erittäin voimakas positiivinen palauteilmiö
- o Amazon herkkä (+1-2 astetta riittää käynnistämään), muodostaa nykyisin omat sateet
- o lämpimillä alueilla suot kuivuvat ja palavat (1998)



## Ikiroudan sulaminen merkittävä uhka

- o Ikirouta alkanut sulaa Siperiassa, Kanadassa ja Suomessa
- o Siperiassa sulista soista muodostunut järviä, jotka kuplivat metaania
- o jäätyneiden soiden hiili vapautuu hiilidioksidina, pahimmillaan metaanina
- o yhtä paljon hiiltä kuin ilmakehässä
- o useiden asteiden lämmitys-potentiaali



HS: Inarin jääluola sulii  
27.10.2008



## Merenpohjan metaanihydraatit

- o Merenpohjaan varastoitunut noin 2 kertaa enemmän metaanihydraatteja kuin nykyisin tunnetut fossiiliset varat
- o ovat aiemmin purkautuneet 55 miljoonaa vuotta sitten
- o yli +10 C potentiaali (jopa Venus-ilmiö teoriassa mahdollinen)
- o Valtaosa tutkijoista ei usko merenpohjan nopeaan lämpenemiseen -> merivirtojen pumpput kuten Golfvirta voivat teoriassa pumpata lämmintä vettä merenpohjaan nopeasti (Huippuvuorilla havaittu meren "kiehumista" rannikkoalueella)



## 1-6 asteen vaikutukset

- o Mark Lynas (2007): Six Degrees -Our future on a hotter planet
- o lämpenemistasot IPCC:n skenaarioista 1,1-6,4 astetta (IPCC vaikutusarvioinneissa ei yli neljä astetta)
- o tieteellisissä julkaisuissa olleet tuhannet artikkelit ilmastonmuutoksen vaikutuksista eri lämpenemistasoilla
- o artikkeleissa mainittu lämpeneminen ja sen vaikutus
- o kooste ilmastomallien sekä maapallon ilmastohistorian tutkimuksista
- o voitti Britannian tieteiden akatemian (Royal Society) palkinnon parhaasta populaaritiedekirjasta 2008
- o eri tiedepalstoilla (mm. ilmastotieteilijöiden RealClimate-www-sivusto) todettu tulokset päteviksi
- o BBC sarja 2008



## +1 C-astetta

- o Arktinen merijää sulaa kesäisin ja jäätön meri alkaa imeä lämpöä -> lämpeneminen pohjoisilla alueilla voimistuu
- o makean veden varannot vähenevät kolmanneksella maapallon pinta-alasta
- o USA:ssa kuivuus aiheuttaa aavikoitumista
- o alavat rannikkoalueet tulvivat aiempaa useammin, myrskyt + merenpinta
- o golfvirta pysähtyy ja lämpötila putoaa Norjassa -7-9C (IPCC: ei mahdollista)



## **+2 C-astetta (125000 v. sitten)**

- o positiiviset palautekytkennät alkavat voimistua
- o Euroopan helleaallot yleistyvät ja monin paikoin metsä- ja maastopalot riehuvat
- o lämpöstressistä kärsivät kasvit alkavat vapauttaa hiiltä absorpoinnin sijaan
- o Aasiassa vuoristojäätiöiden sulaminen vaikuttaa juomaveden ja ravinnontuotantoon kesäisin, kun monet joet kuivuvat
- o merenpinta nousee 5-6 metriä korkeammalle (ilmastohistoria)
- o kolmannes maailman eliölajeista kohtaa sukupuuton (lämpötila nousee 2 C-astetta 40 vuodessa)



## **+3 C-astetta (3 milj. v. sitten)**

- o 3 milj. vuotta sitten CO<sub>2</sub> n. 385ppm ja + 3 C
- o El Nino jää pysyväksi, lämmittää ilmasto (1998)
- o lämpimät meret eivät enää sido CO<sub>2</sub>:ta vaan vapauttavat (liukoisuus, sekoittuminen heikkenee)
- o hiiltä vapautuu kasveista ja maaperästä (hengitys kiihtyy, hajoaminen ja bakteeritoiminta vilkastuu)
- o Amazonin sademetsä kuolee kuivuuteen ja metsäpaloihin (luo nykyisin omat sateensa) -> +1,5 astetta, alkaa jo 2050 (Hadley Centre)
- o merenpinta +25 metriä (3 milj. vuotta sitten)
- o voimistuneet superhurrikaanit muuttavat merenrantakaupunkeja asuinkelvottomiksi (mm. Houston), New York tulvii 4 vuoden välein
- o Afrikka kärsii kuivuudesta johtuvasta nälänhädästä, viljasato romahtaa USA:ssa, Intiassa ja Pakistanissa



## **+4 C-astetta**

- o ikeiroudan sulaminen vapauttaa merkittävästi metaania ja voimistaa riskiä, ettei ilmastonmuutos ole enää hallittavissa -> +1-3 C lisälämpeneminen
- o Länsi-Antarktiksens jäätiköt saattavat romahtaa muutamassa vuosikymmenessä ->meri +5 metriä
- o suuri osa Britanniasta muuttuu asuinkelvottomaksi tulvien, myrskyjen ja merenpinnan kohoamisen vuoksi
- o Välimerellä kuumuus ja kuivuus johtavat alueen aavikoitumiseen ja muuttumiseen asuinkelvottomaksi
- o maailmantalous romahtaa, ilmastopakolaisuus mm. Suomeen yleistyy (Kiinassa viljasato pudonnut puoleen)



## **+5 C-astetta (55 milj. v. sitten)**

- o planeetta muuttuu aivan toisennäköiseksi
- o jäätiköt katoavat sekä Grönlannista että Etelänavalta ja merenpinta kohoaa 75 metriä
- o sademetsiä ei enää ole, aavikot valtaavat alaa
- o merenpohjan metaania alkaa merien lämmitessä vapautua ja ilmasto lämpenee lukuisilla asteilla
- o Metaanipurkaukset aiheuttavat suuria merenalaisia maanvyöryjä ja tsunameja
- o suurin osa ihmiskunnasta muuttaa etsiessään ruokaa, vettä ja asuinpaikkaa
- o CO<sub>2</sub>-pitoisuus ilmakehässä kohoaa kymmeniä kertoja nopeammin kuin koskaan aiemmin



## **+6 C-astetta (251 milj. v. sitten)**

- o ihmiselämä maapallolla saattaa päättyä
- o 251 miljoonaa vuotta sitten 95 % lajeista katosi ja maapallo muuttui lämmitessään lähes kuolleeksi planeetaksi
- o apokalyptisen mittakaavan myrskyt runtelevat planeettaa, superhurrikanit eivät enää pysähdy merien ollessa riittävän lämpimiä
- o hapeton meri täyttyy hajoavista kasveista ja vesieliöistä muodostaen myrkyllistä rikkivetyä
- o merenpohjan metaanipurkausten voima vastaa ydinpommien voimakkuutta
- o otsonikerros tuhoutuu kemiallisten reaktioiden seurauksena



## Mitä voidaan vielä tehdä?

- o IPCC: Alle kahden asteen lämpenemisessä riskit säilytät hallittavina
- o 3/4 varmuudella vältetään yli kahden asteen lämpeneminen (400 ppm), jos:
- o globaalit päästöt laskuun 2015
- o teollisuusmaiden päästöt -60 % vuonna 2030
- o globaalisti -85 % vuonna 2050  
(= n. 1 tonni CO<sub>2</sub>/asukas/a)