



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

# Ilmastonmuutoksesta

**Sään luontainen vaihtelu Suomessa  
Ilmastonmuutosmallit ja skenaariot.  
Ilmastoennuste 2070-2100**

**3.12. 2007 Kuusamo**

**Leena Neitiniemi-Upola, meteorologi**

**Ilmatieteenlaitos, Lento- ja sotilassääpalvelu, Rovaniemi**

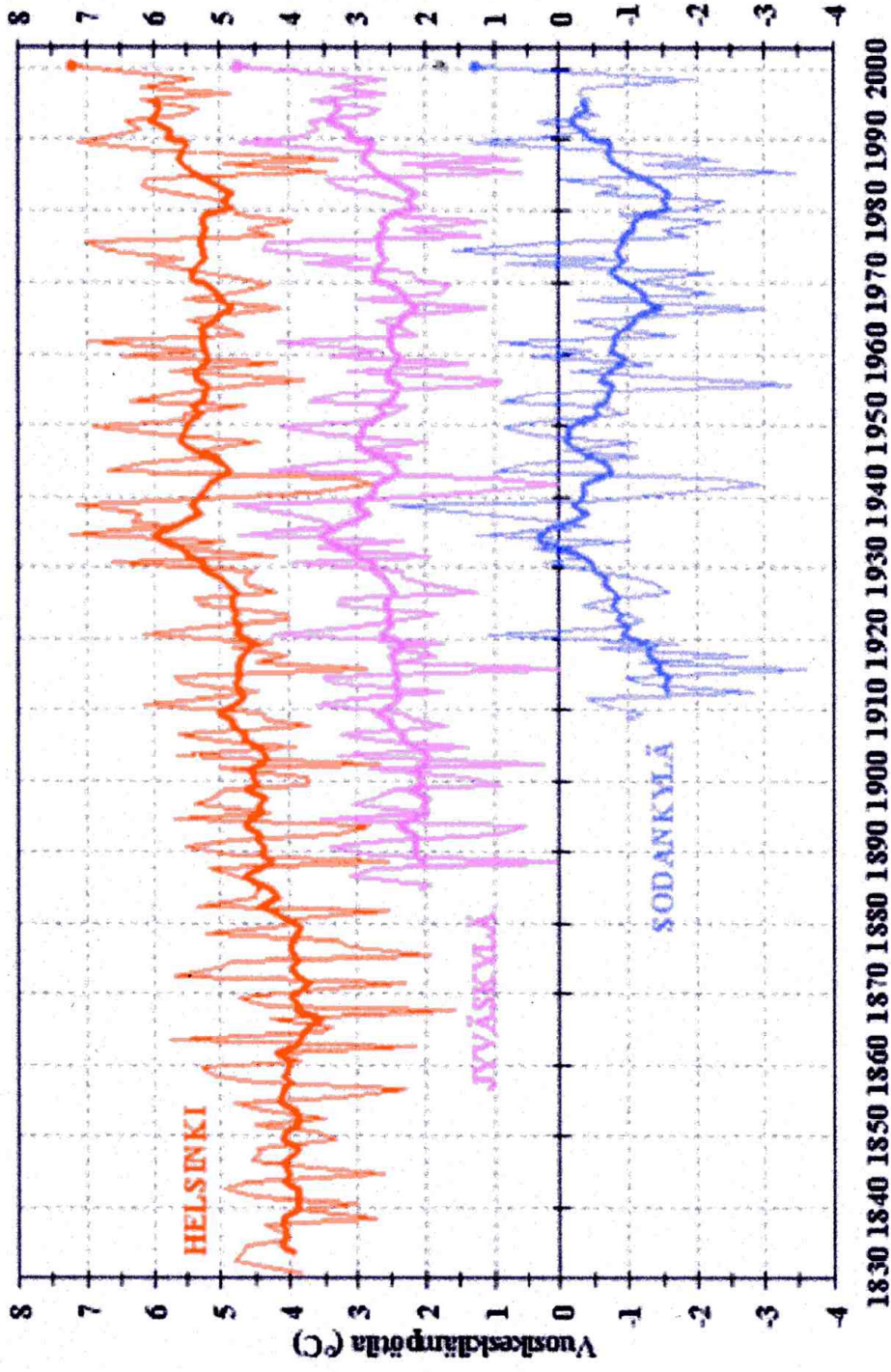


# Kasvihuoneilmiö

- **ilmakehän alaosan kaasut imevät osan maapallon lämpösäteilyä: osa palautuu maanpinnalle, osa karkaa avaruuteen.**
- **Tätä kutsutaan **luonnolliseksi kasvihuoneilmiöksi** . Se on **elämän edellytys maapallolla. !****
- **Kasvihuonekaasuja ovat mm. vesihöyry (0,4%), hiilidioksidi, (0,04%), metaani, typpioksiduuli, halogenoidut hiilivedyt**

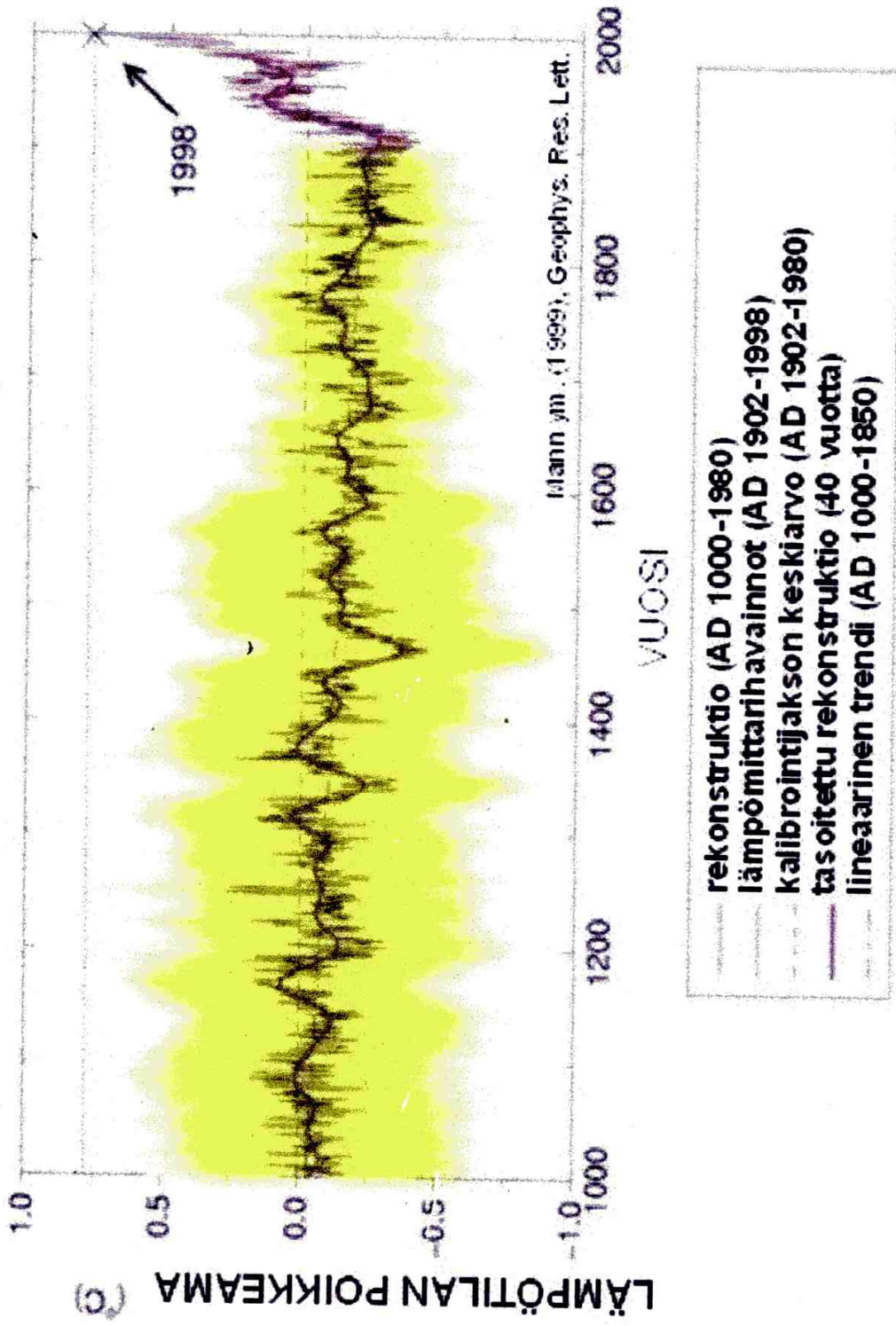


## Suomen keskilämpötilan muutokset



Vuosikeskilämpötilat Helsingin Kaisaniemessä vuosilta 1829-2000, Jyväskylästä 1884-2000 ja Sodankylästä 1908-2000. Vuotuiset arvot ovat ohuella viivalla ja kymmenen vuoden liukuva keskiarvo paksulla. On kuitenkin huomautettava, että Helsingin arvoista puuttuu kaupungistumisesta aiheutuva korjaus, joka on suurimmillaan (0.7-0.8 C) 1900-luvun alusta lähtien.

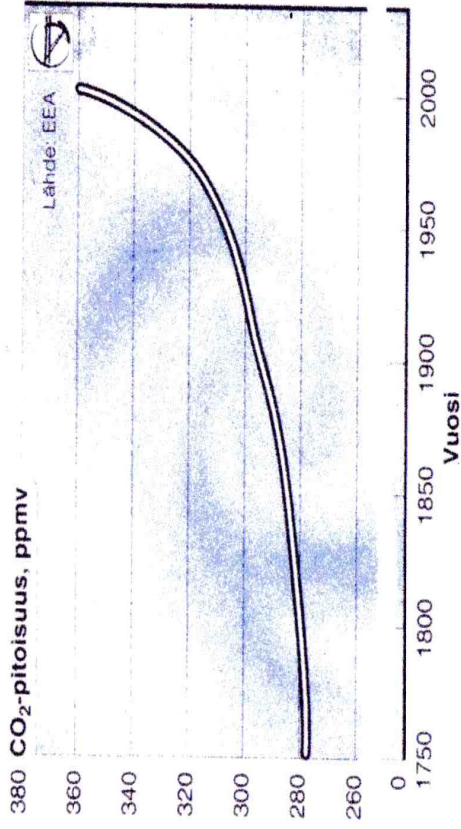




*Pohjoisen pallonpuoliskon keskilämpötilan rekonstruktio, vuodet 1000-1998 AD. Keltainen varjostus osoittaa rekonstruktion kahden keskihajonnan virherajat.*

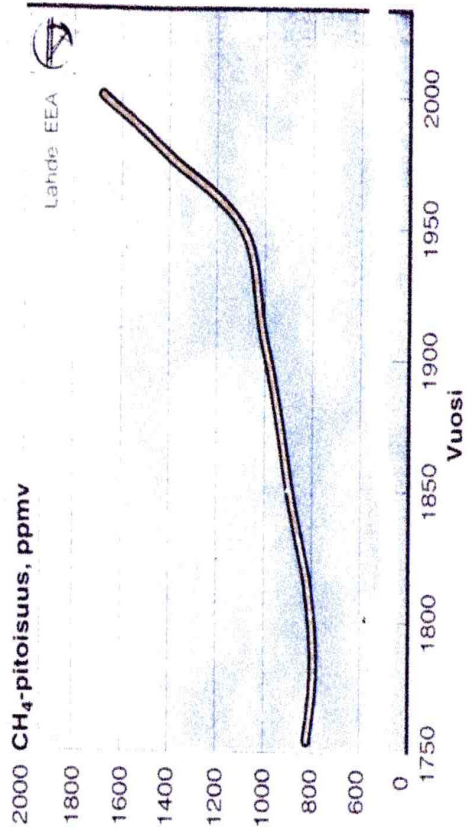


## Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä



*Hiilidioksidin ja metaanin määrä on teknologian aikakaudella kääntynyt rajuun nousuun.*

## Metaanin pitoisuus ilmakehässä





# CO<sub>2</sub>-määrä lisääntyy!

- **Ihmiskunta muuttaa ilmakehän koostumusta, kasvihuoneilmiö pyrkii voimistumaan.**

**CO<sub>2</sub>-määrän (ppmv) kehitys ilmakehässä eri vuosina**

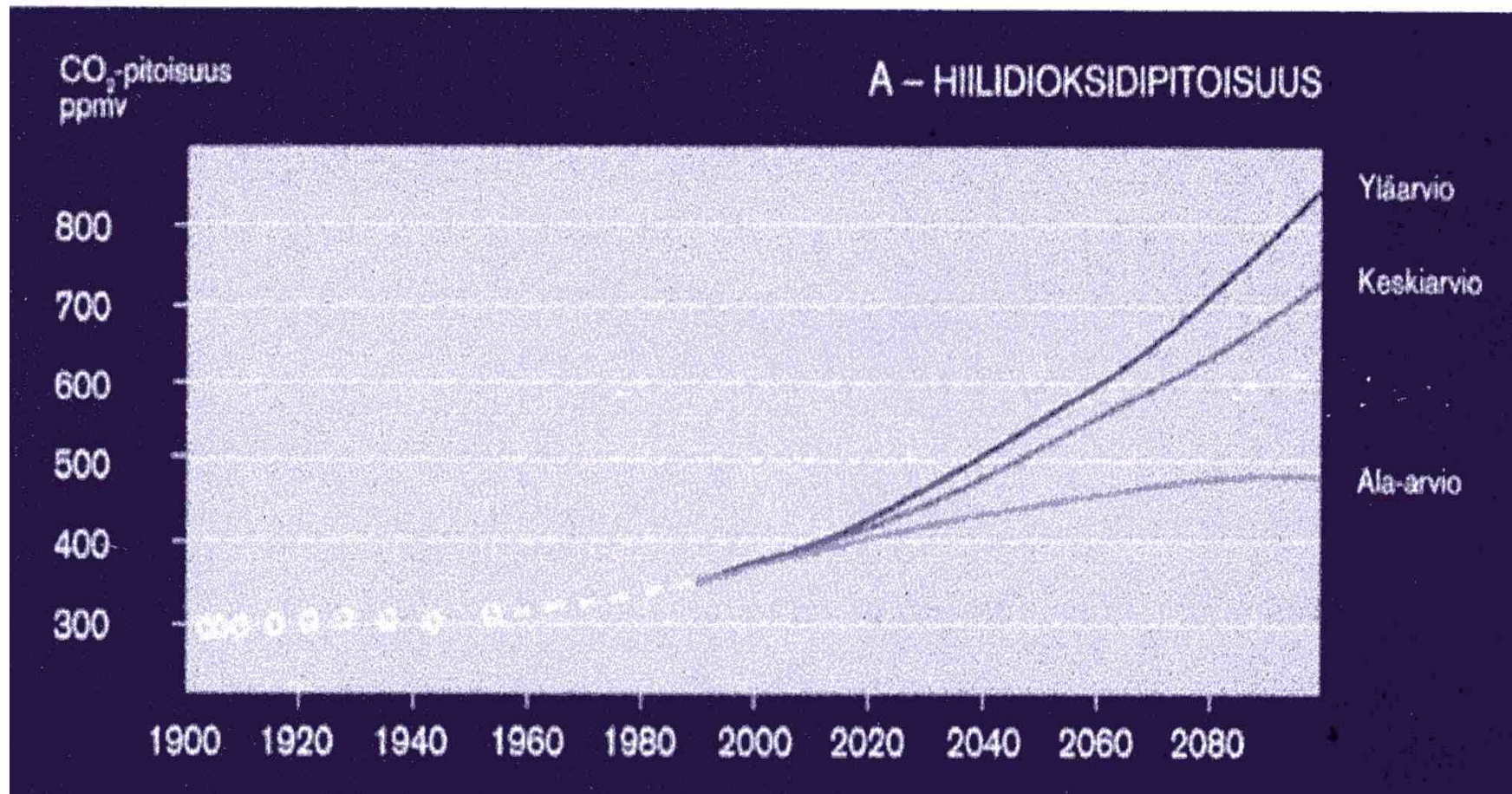
<b>v. 1750</b>	<b>v.2000</b>	<b>arvio v. 2100</b>
<b>280</b>	<b>370</b>	<b>560-1000???</b>





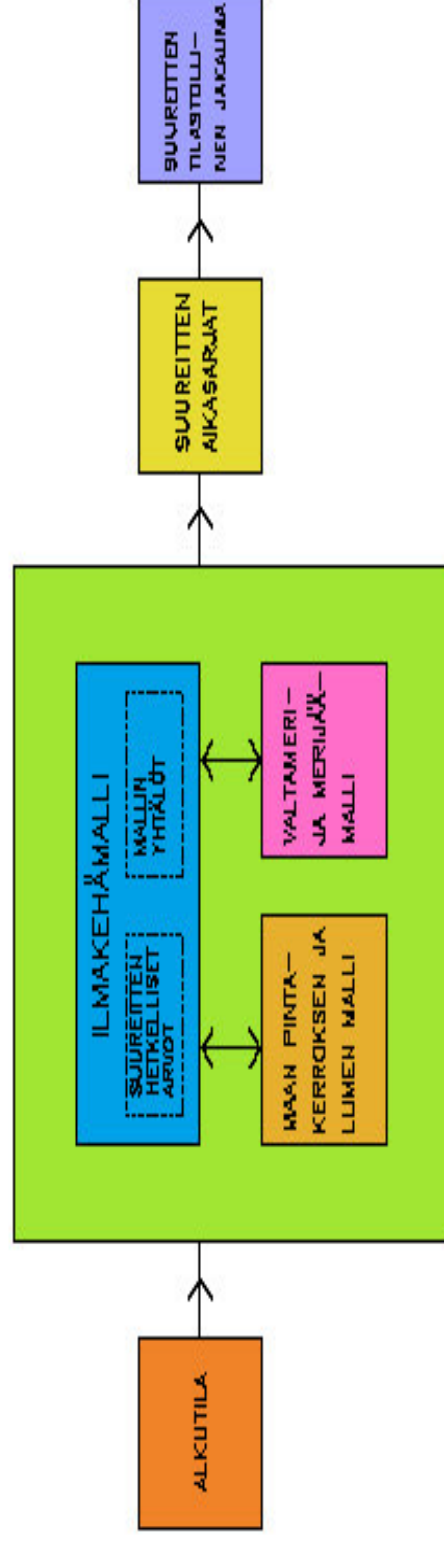
# Vaihtoehtoisia kehityskulkuja eli skenaarioita

[www.ilmasto.org/images/i2b2k41.jpg](http://www.ilmasto.org/images/i2b2k41.jpg)



## MIITEN TULEVIA ILMASTONMUUTOKSIA ARVIOIDAAN?

- Tulevat CO<sub>2</sub>-pitoisuudet saadaan syöttämällä päästöjen skenaario (kuvassa 1 vasemmal-la) hiilen kiertokumallille.
- Myös muitten kasvihuonekaasujen sekä leijuvien hiukkasten pitoisuudet voidaan mal-littaa, kun on käytössä arvio tulevista päästöistä.
- Saadut pitoisuusarviot (esimerkkinä hiilidioksidi kuvassa 1 oikealla) syötetään jollekin **ilmastonmuutosmallille**. Nämä mallit kuvaavat ilmastojärjestelmää tietokoneohjelman muotoon puettujen fysiikan lakien avulla (kuva 2).
- Tietokoneitten rajallisen suorituskyvyn takia monet ilmiöt joudutaan kuvaamaan mal-leissa yksinkertaistettuina. Eri malleissa tämä ongelma on ratkaistu eri tavoin, ja pää-asiassa juuri tästä syystä mallien tulokset poikkeavat toisistaan.



Kuva 2. Ilmastomallin toimintaperiaate.





## Ilmastomallit

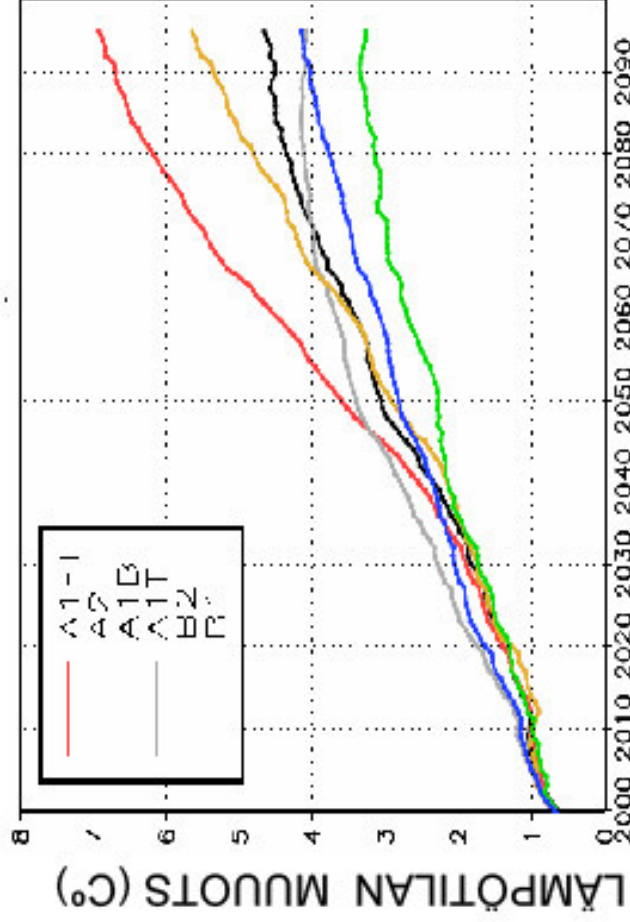
- **mallit pyrkivät ennustamaan ilmakehän, maanpinnan lumi- ja jääpeitten jakaumat ja valtameren reaktioita lisääntyvään kasvihuonekaasujen ja hiukkasten määrään eri *skenaarioilla*.**
- **kaikki mallit ennustavat lämpenemistä, mutta muutoksen suuruus on hyvin epävarmaa:**
- **maapallon keskilämpötila kohonnee 1.1 – 6.8 astetta v.2100 mennessä, ei kuitenkaan tasaisesti, vaan käsittäen kymmenien vuosien pituisia kymmenyksien suuruisia vaihteluita**



## Suomi lämpenee lähivuosisikymmeninä $\sim 0.4 \pm 0.1^\circ\text{C}/10$ v.

Lämpötilan vuosikeskiarvo, koko Suomi

Vertailujaksona v.1971-2000



Muutos ( $^\circ\text{C}$ )	2070-2099
<b>Skenaario</b>	<b>Lämpötilan nousu</b>
<b>A1FI</b>	<b>6.4 (3.8 – 9.0)</b>
<b>A2</b>	<b>5.1 (3.1 – 7.0)</b>
<b>A1B</b>	<b>4.4 (2.5 – 6.3)</b>
<b>A1T</b>	<b>4.1 (2.4 – 5.8)</b>
<b>B2</b>	<b>3.9 (2.3 – 5.5)</b>
<b>B1</b>	<b>3.2 (1.5 – 4.9)</b>

<b>EPÄVARMUUKSIEN SUURUUS:</b>	<b>Lähi-tulevaisuus</b>	<b>Vuosisadan loppu</b>
<b>Luonnollinen vaihtelu</b>	+	+
<b>Mallit</b>	(+)	++
<b>Päästöskenaariot</b>		++



## Mitä on havaittu?

- **lämpötilan vuorokausivaihtelu on pienentynyt, yöt lämmentyneet, pilvisyys lisääntynyt**
- **yläilmakehä (stratosfääri) on jäähtynyt**
- **meren ylin vesikerros on lämmennyt**
- **merijää sekä jäätiköt vetäytyneet, keväät varhaistuneet**
- **sademäärä hiukan noussut, erityisesti voimakkaat sateet yleistyneet**
- **matalapaineet siirtyneet molemmilla pallonpuoliskoilla napoja kohti**





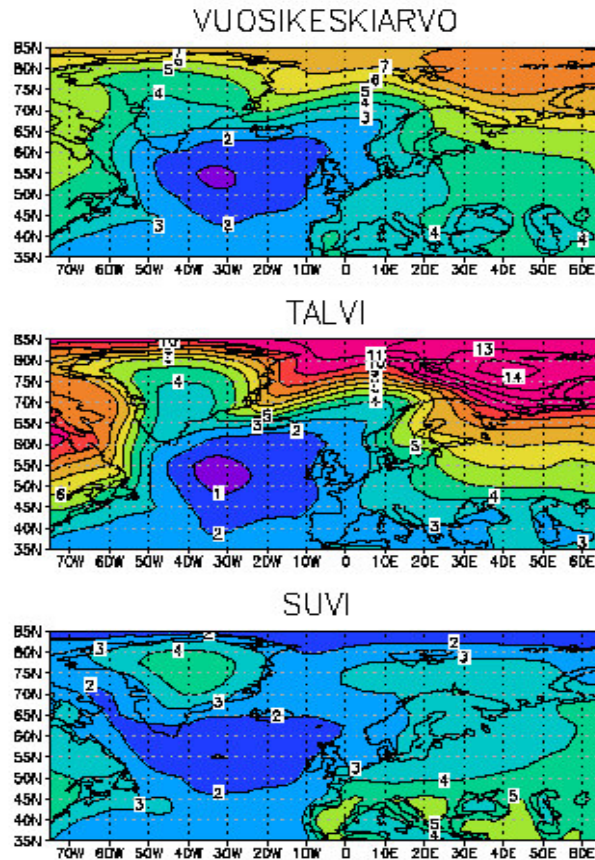
ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



# IPCC:n 4. arviointiraportti: lämpötilan ja sademäärän muutokset 2070-2100

## LÄMPÖTILAN NOUSUN MAANTIETEELLINEN JAKAUMA

LÄMPÖTILAN MUUTOS (2070–99)–(1971–2000)  
A2-SKENAARIO, 19 MALLIN KESKIARVO



Kuva 7. Lämpötilan ennustettu nousu (1971–2000 → 2070–2099) koko vuoden aikana keskimäärin (yläkuva), jouluihelmikuussa (keskimmäinen kuva) ja kesä-elokuussa (alakuva) Euroopan ja Pohjois-Atlantin alueella. Muutokset on laskettu 19 maapallonlaajuisen ilmastomuutosmallin A2-skenaarioajojen keskiarvona. Yksikkö °C.

## Pohjois-Atlantin lämmin merivirta heikkenee ilmastomallien mukaan

Islannin eteläpuolen merialueiden lämpötilan nousu jää vähäiseksi, koska merivirran heikentyminen ja lämpötilan nousu kumoavat toisensa.

Lämpimän merivirran heikkenemisestä huolimatta Suomessa lämpötila kohoaa selvästi

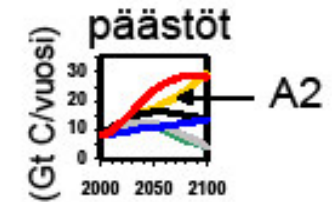
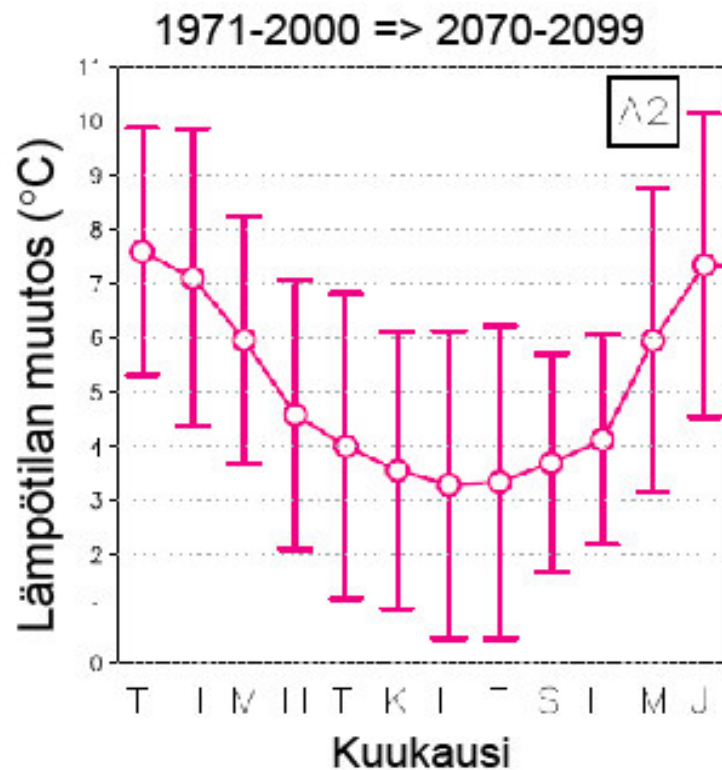
Pohjoisella Jäämerellä on jäätä nykyistä vähemmän, mikä näkyy talvien lämpötilan voimakkaana kohoamisena

Etelä-Euroopan maaperän kuivuminen kesäaikaan voimistaa lämpenemistä

B1 skenaarion toteutuessa lämpötilan jakauma on hyvin samankaltainen kuin mitä A2 skenaariossa, kuitenkin lämpeneminen esim. Suomessa kolmanneksen heikompaa.



## Suomessa eniten lämpenevät talvet ja vähiten kesät



Muutoksen paras arvio ja  
90%:n todennäköisyysväli  
A2-skenaarion toteutuessa\*



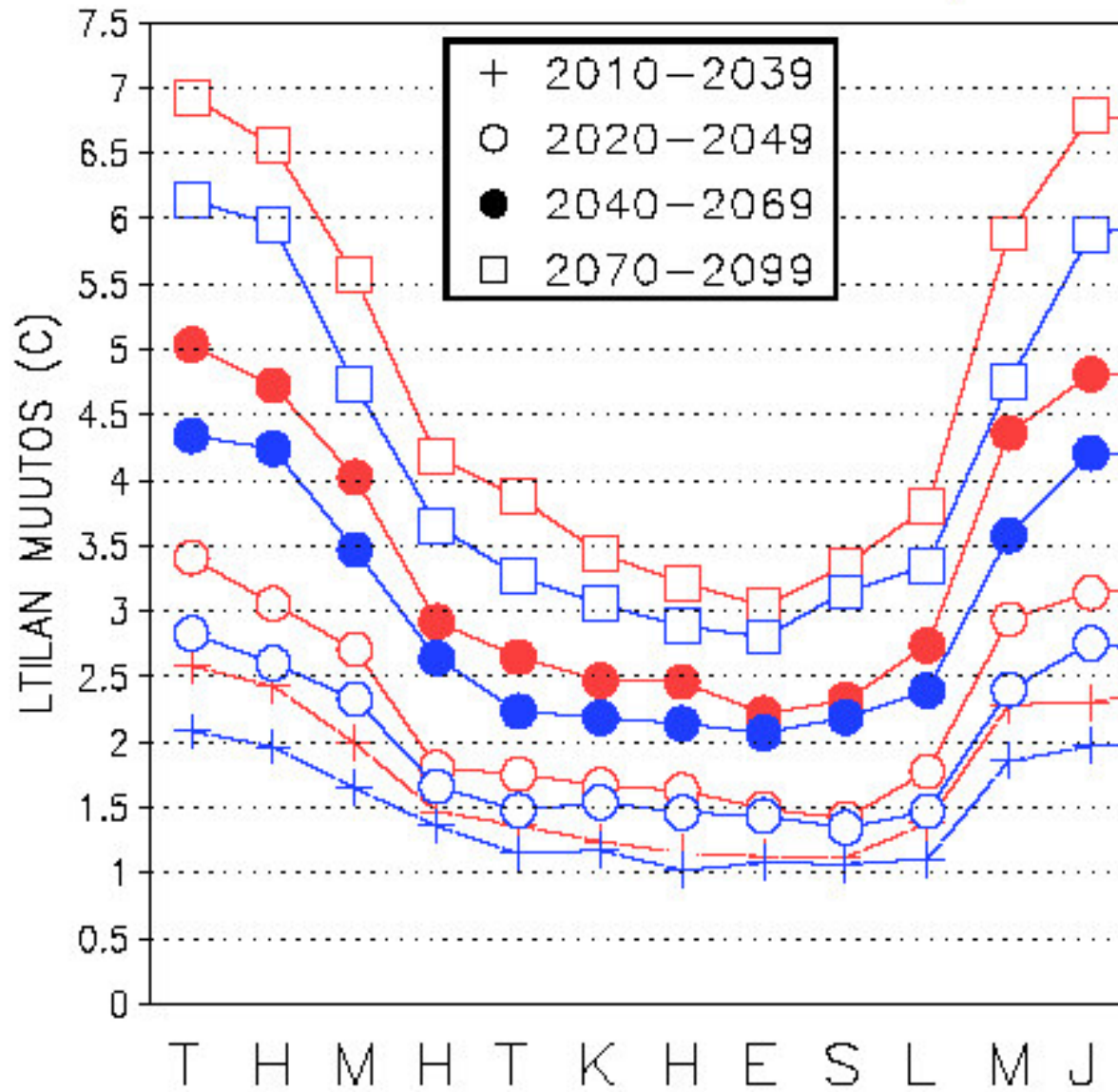
- Noin 20 ilmastomallin väliset erot
- Ilmaston luontainen vaihtelu

\* => Ehdollinen todennäköisyysväli





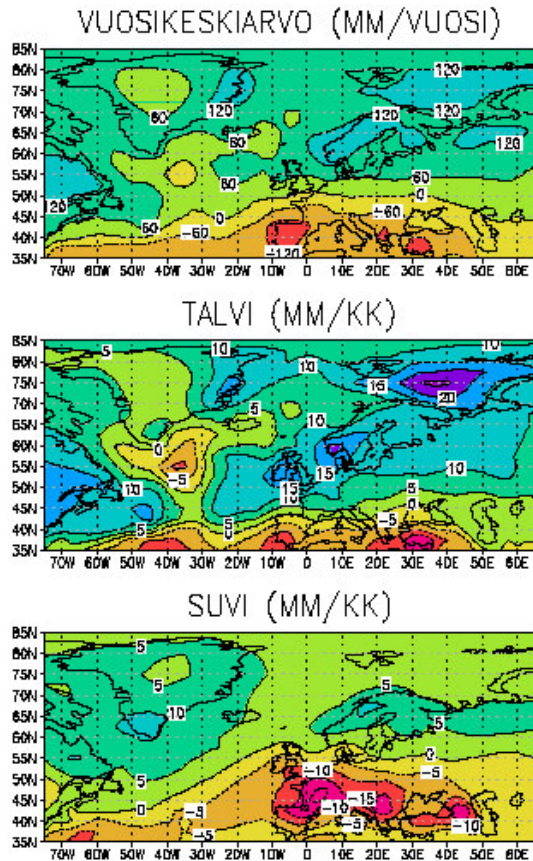
# A1B-LTILASKEN POHJOIS- JA ETELÄ-SUOMI



Kimmo.ruosteenoja@fmi.fi

## SADEMÄÄRÄN MUUTOKSEN ALUEELLINEN JAKAUMA

SADEMÄÄRÄN MUUTOS (2070-99)-(1971-2000)  
A2-SKENAARIO, 19 MALLIN KESKIARVO



Kuva 9. Sademäärän ennustettu muutos (1971-2000 → 2070-2099) koko vuoden aikana keskimäärin (yläkuva), joului-helmikuussa (keskimmäinen kuva) ja kesä-elokuussa (alakuva) Euroopan ja Pohjois-Atlantin alueella. Yksikkönä yläkuvassa mm/vuosi, keski- ja alakuvasa mm/kk. Muutokset on laskettu 19 maapallonlaajuisen ilmastomuutosmallin A2-skenaarioajojen keskiarvona.

- Pohjois-Euroopassa näyttää satavan tulevaisuudessa nykyistä enemmän, mutta etelässä vähemmän. Keski-Euroopassa sateet vähenevät kesällä ja lisääntyvät talvella.
- Välimeren maissa suht. sademäärän vuotuinen väheneminen on huolestuttavan suurta, jopa 20% (100mm), kesällä jopa yli 30%.
- Pohjois-Euroopan sademäärä näyttäisi kasvavan 10%.
- B1 skenaariossa sademäärien muutokset ovat pienempiä, mutta muutosten maantieteelliset jakaumat ovat lähes samanlaisia.

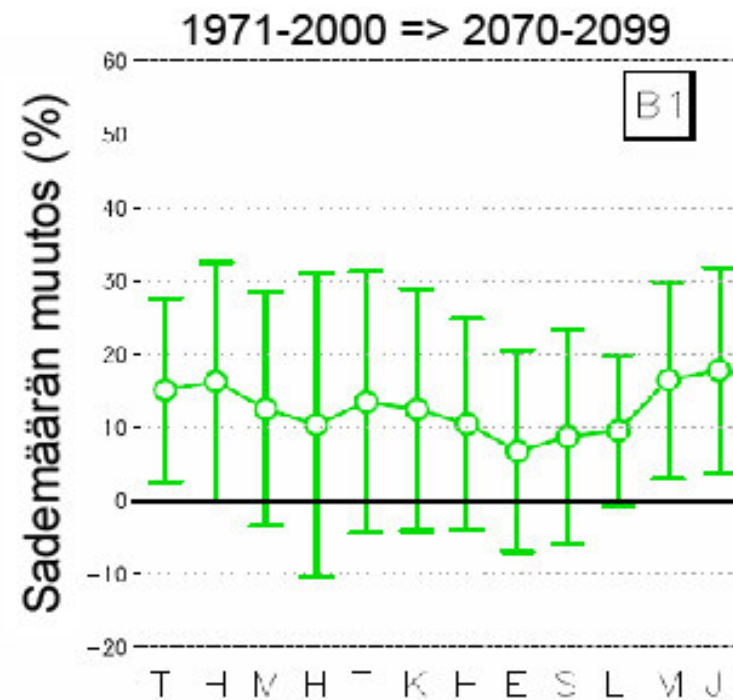
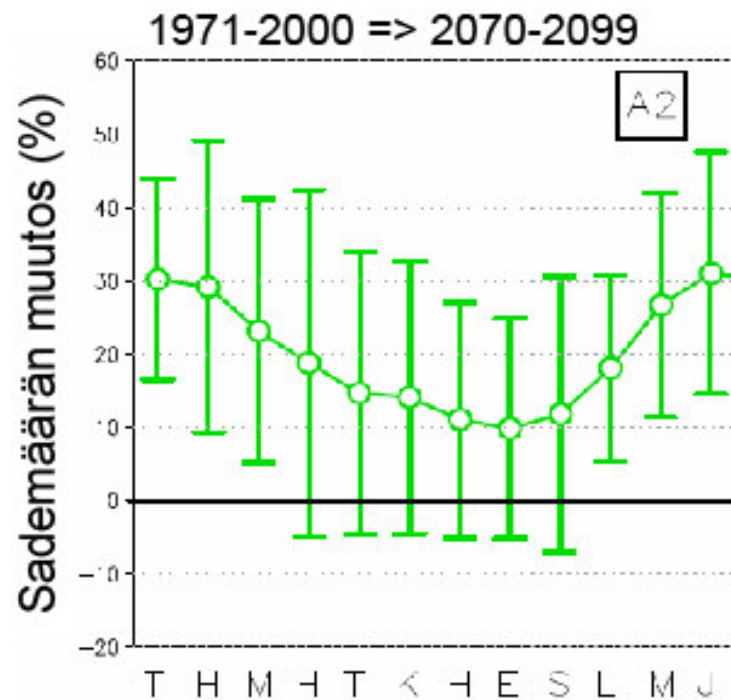
Maailmanlaajuisiin malleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita 7.8.2007

[http://www.fmi.fi/organisaatio/yhteys\\_92.html](http://www.fmi.fi/organisaatio/yhteys_92.html)

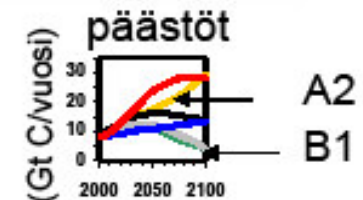


## Suomessa sademäärät kasvavat läpi vuoden, vähiten kesäisin

- mallien väliset erot ja luontainen vaihtelu ovat suuria



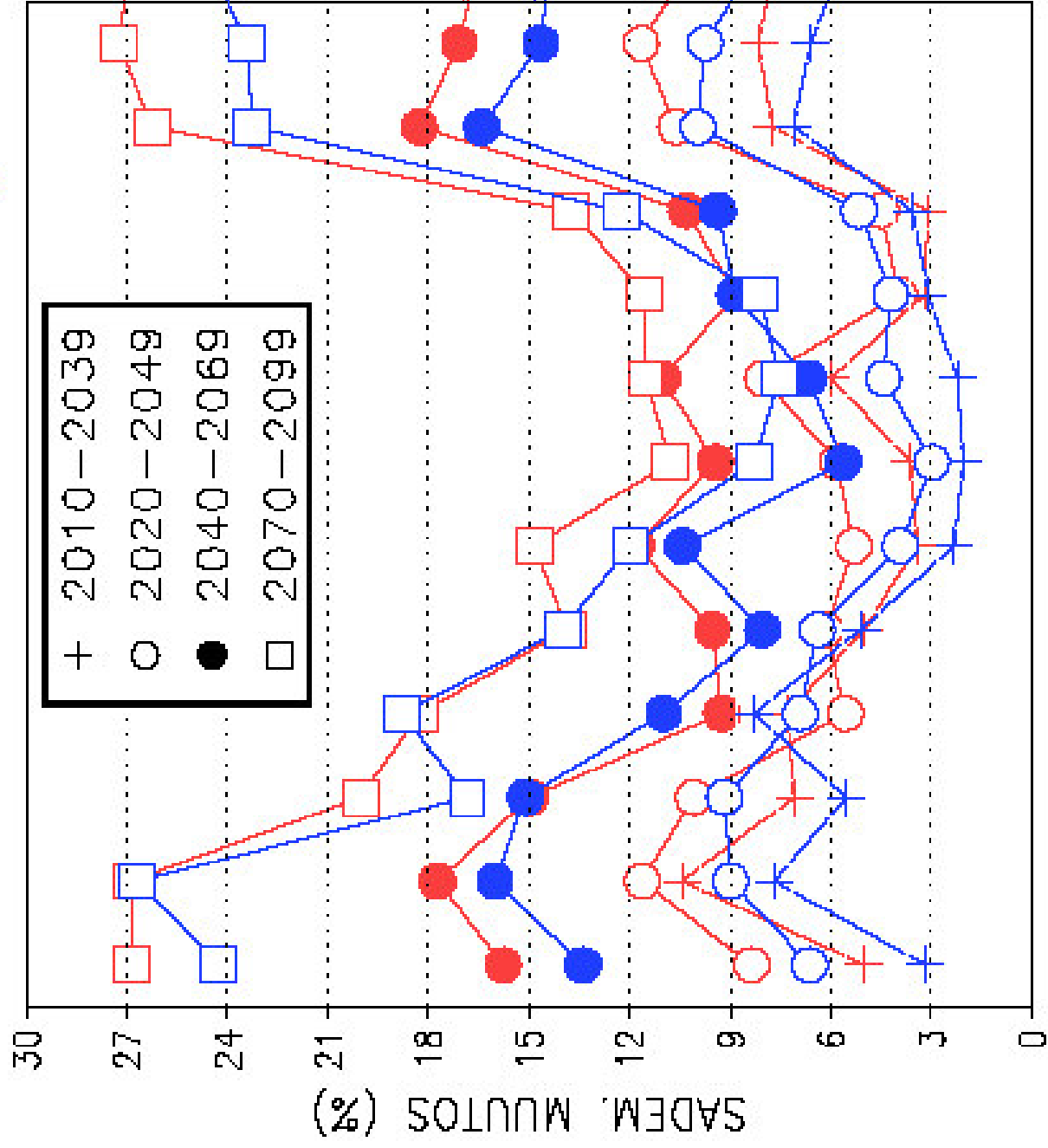
- Tulevien päästömäärien epävarmuus
- Ilmastomallien väliset erot
- Ilmaston luontainen vaihtelu



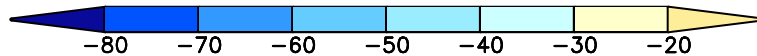
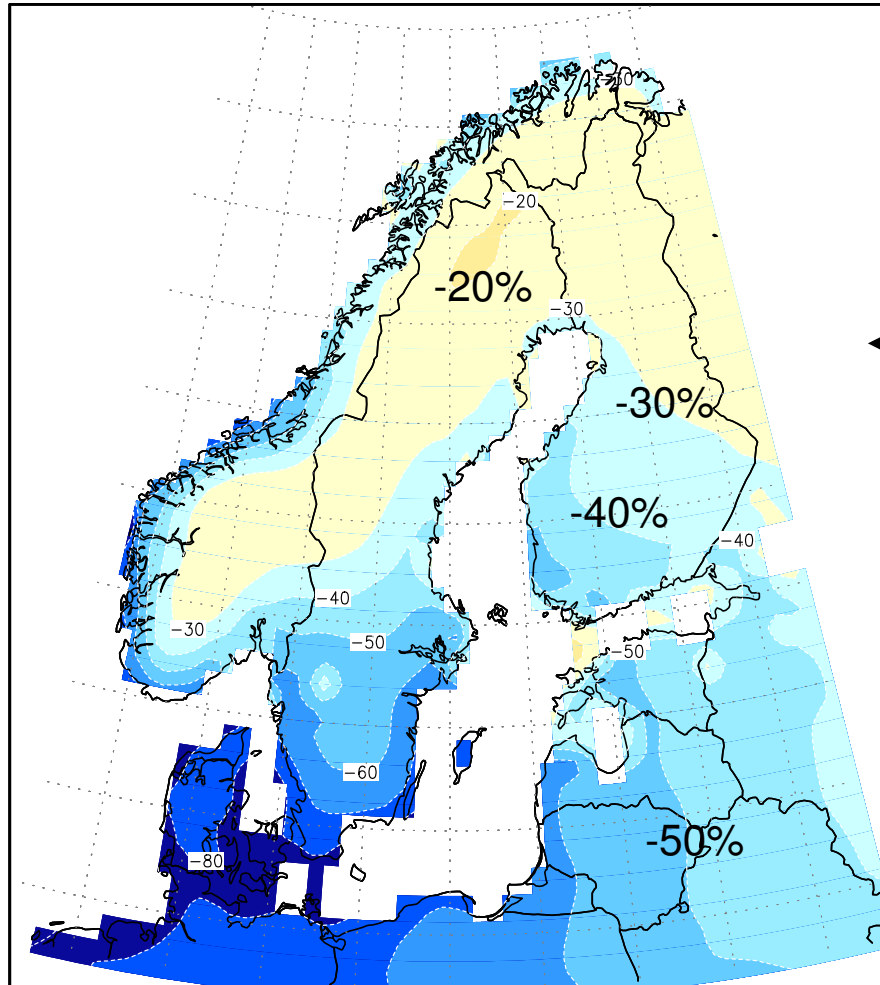




# A1B-SADESKEN POHJOIS- JA ETELÄ-SUOMI



T H M H T K H E S L M J



Usean alueellisen ilmastomalliajon keskiarvo

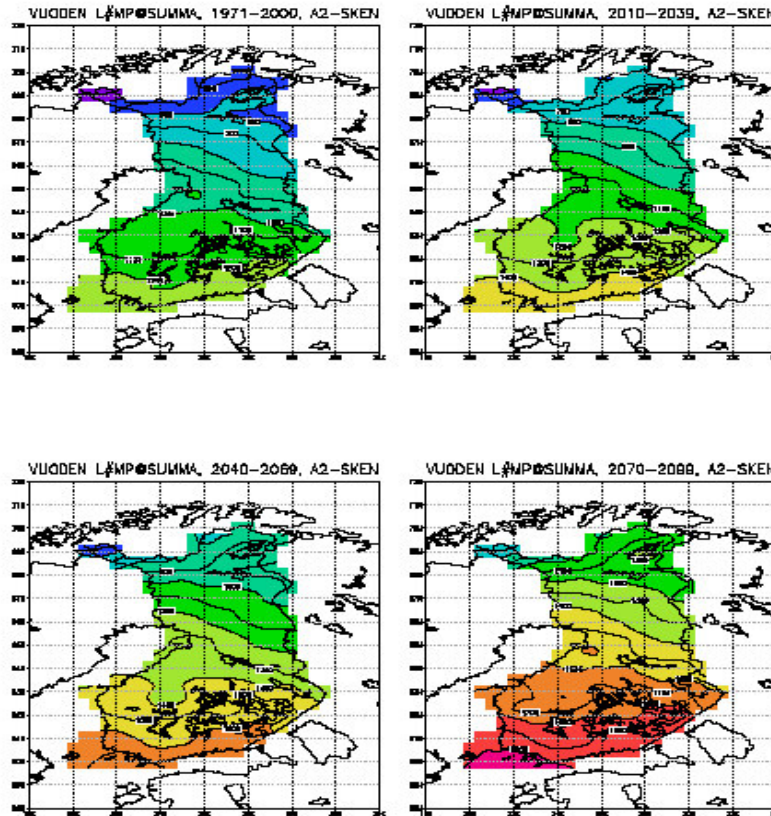
## Lämpötilan kohotessa lumipeitepäivät harvenevat

Lumipeitepäivien keskimääräisen  
vuotuisen lukumäärän muutos (%)  
1961-90 =>2071-2100  
”emme tee mitään” -skenaariossa

Lumen suhteellinen  
väheneminen (%)  
voimakkainta talven  
alussa ja lopussa

## KASVUKAUDEN LÄMPÖSUMMAT NYT JA TULEVAISUUDESSA

Kasvukaudeksi tulkitaan tässä yksinkertaisesti se osa vuotta, jolloin Fourier-kehitelmän mukainen vuorokauden keskilämpötila (kuva 12) on korkeampi kuin  $+5^{\circ}\text{C}$ . Kasvukauden lämpösomma saadaan laskettua vähentämällä jokaisen kasvukauden päivän vuorokauden keskilämpötilasta  $5^{\circ}\text{C}$  ja laskemalla näin saadut lämpötilajäännökset yhteen.



Kuva 13. Havaintoihin perustuva koko vuoden lämpösomma Suomessa vv. 1971-2000 sekä delta-menetelmällä (malli- ja havaintotietojen yhdistely) saatu A2-skenaarion mukainen lämpösomma vv. 2010-39, 2040-69 ja 2070-99. Yksikkö astepäiviä ( $^{\circ}\text{Cvrk}$ ).

- **A2-skenaarion toteutuessa kasvavat lämpösommat huomattavasti. Vuosisadan lopulla lämpösomma Keski-Lapissa olisi kuten nykyään Etelä-Suomessa (1200Cvrk)**
- **B1-skenaarionkin mukaan vuosisadan lopulla kertyisi lämpösommaa Oulun seudulla kuten nykyään Lounais-saaristossa.**
- **Kasvukauden lämpösomman lisäys on suhteellisesti suurin kauden alussa sisämaassa ja kasvukauden lopussa eteläisillä rannikoilla (meren vaikutus)**



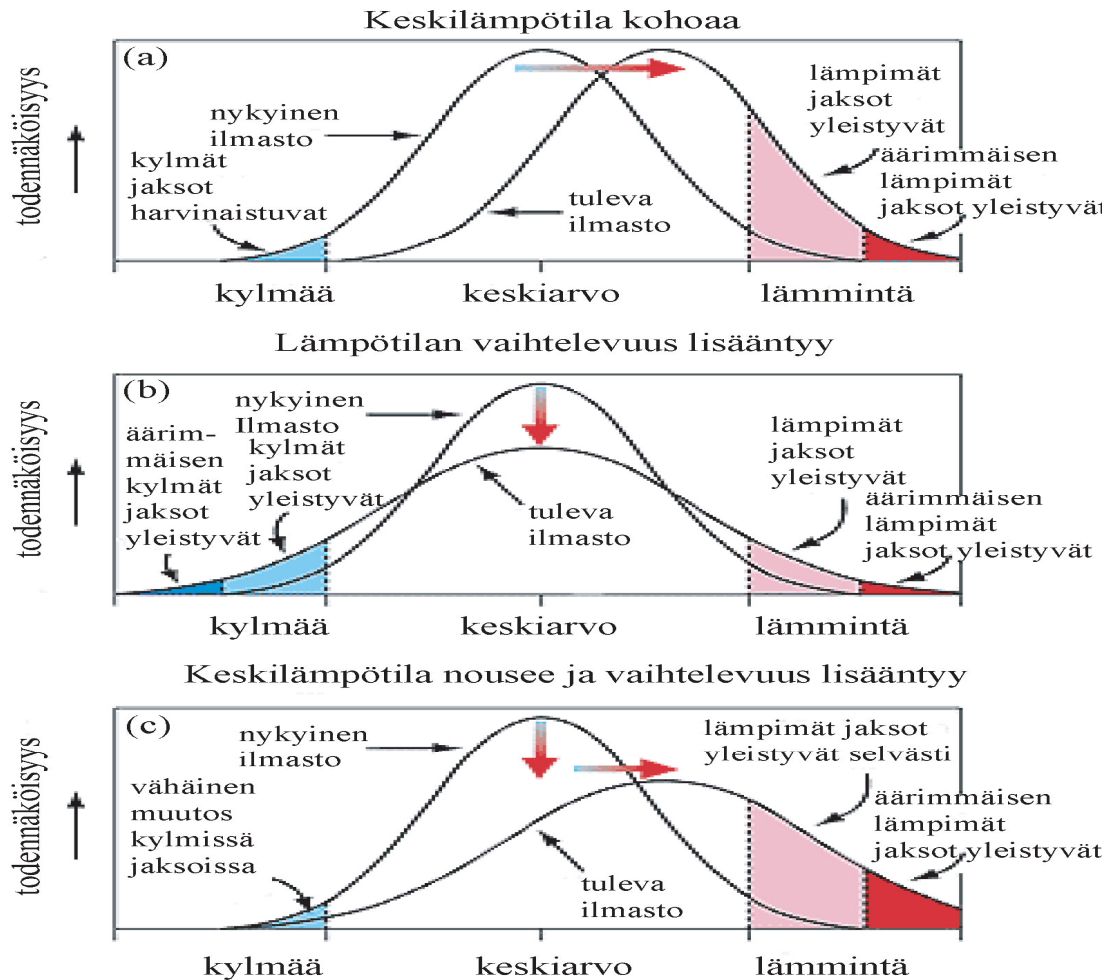
## Mitä muuta tapahtuu?

- **veden kiertokulku voimistuu ja vaikuttaa vesivaroihin:**  
Rankkasateiden aiheuttamat tulvat (nykyisin ennätysvuorokausisade Muonio 68mm, Rovaniemi 76mm, elok. 86).
- Toisaalta sulamisvesien tulvahuiput heikkenevät, sulamiskausi varhaisempi, vesivoima tasaisempi, voimalaitoksissa ei ohijuoksutuksia?
- elinkeinojen edellytykset muuttuvat: maatalous, metsätalous:
- 1 aste keskilämpötilaan lisää: 10 vrk kasvukautta lisää ja metsänraja kohoaa 150m . Toisaalta kesäisin maaperän kuivuus kasvaa, uudet taudit, loiset?(heinä-elok. 2006, Rovaniemellä 7 vk poutaa...) Valoisuusolot pysyvät ennallaan, miten se vaikuttaa?  
Lauhan talven ilmiöt, huurre, tykky, talvileimikoiden korjuuvaikkeudet yleistyvät?
- talvimerenkulku voi helpottua, vai voiko? teräsjää/ahtojää
- rakennusten lämmityskulut pienevät, mutta jäähdytyskulut kasvavat
- hyvinvointierot, ympäristöpakolaisuus...





# Kasvihuoneilmion voimistuessa sään ääri-ilmiöiden esiintyminen muuttuu

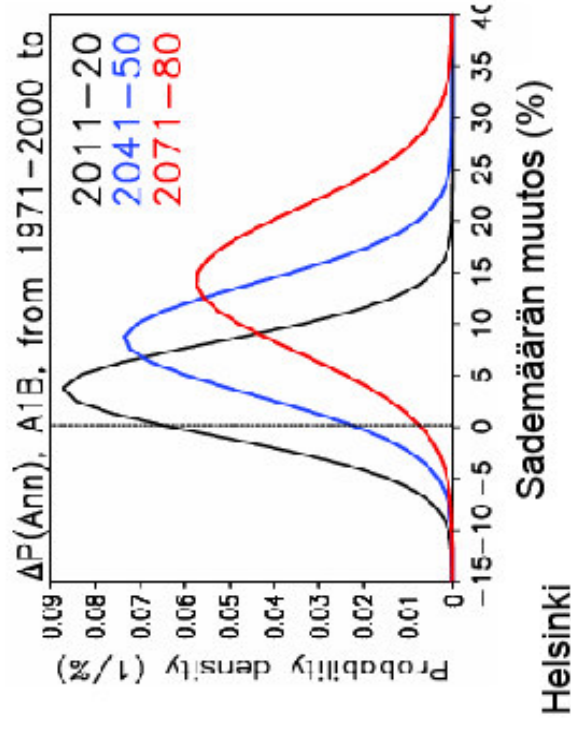
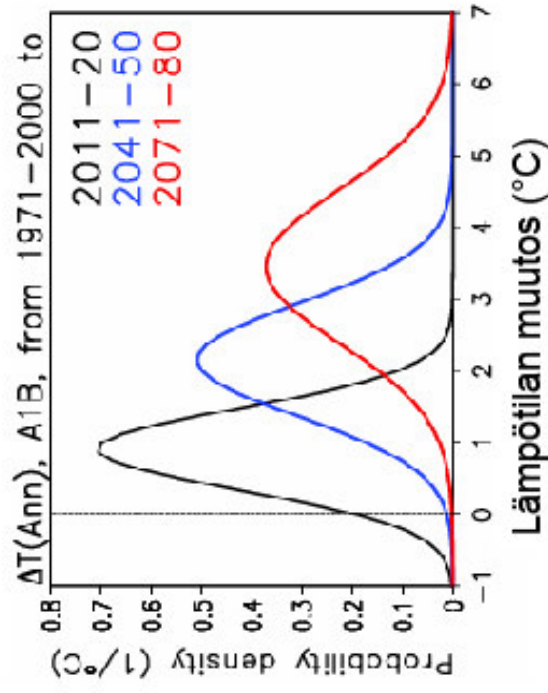


**Sään ja ilmaston ääri-ilmiöt:** Monet yhteiskunnan toiminnot ovat haavoittuvia nimenomaan niiden mahdollisille muutoksille, kuten esimerkiksi rankkasateiden yleistymiselle.

Nämä yksinkertaiset kuvat esittävät sitä, miten ääritilanteiden voimakkuuteen ja esiintymistiheyteen vaikuttaa se, että *keskiarvo* ja *vaihtelevuus* kasvaa.



## Todennäköisyysjakumien muutos ajan funktiona (A1B-skenaario)



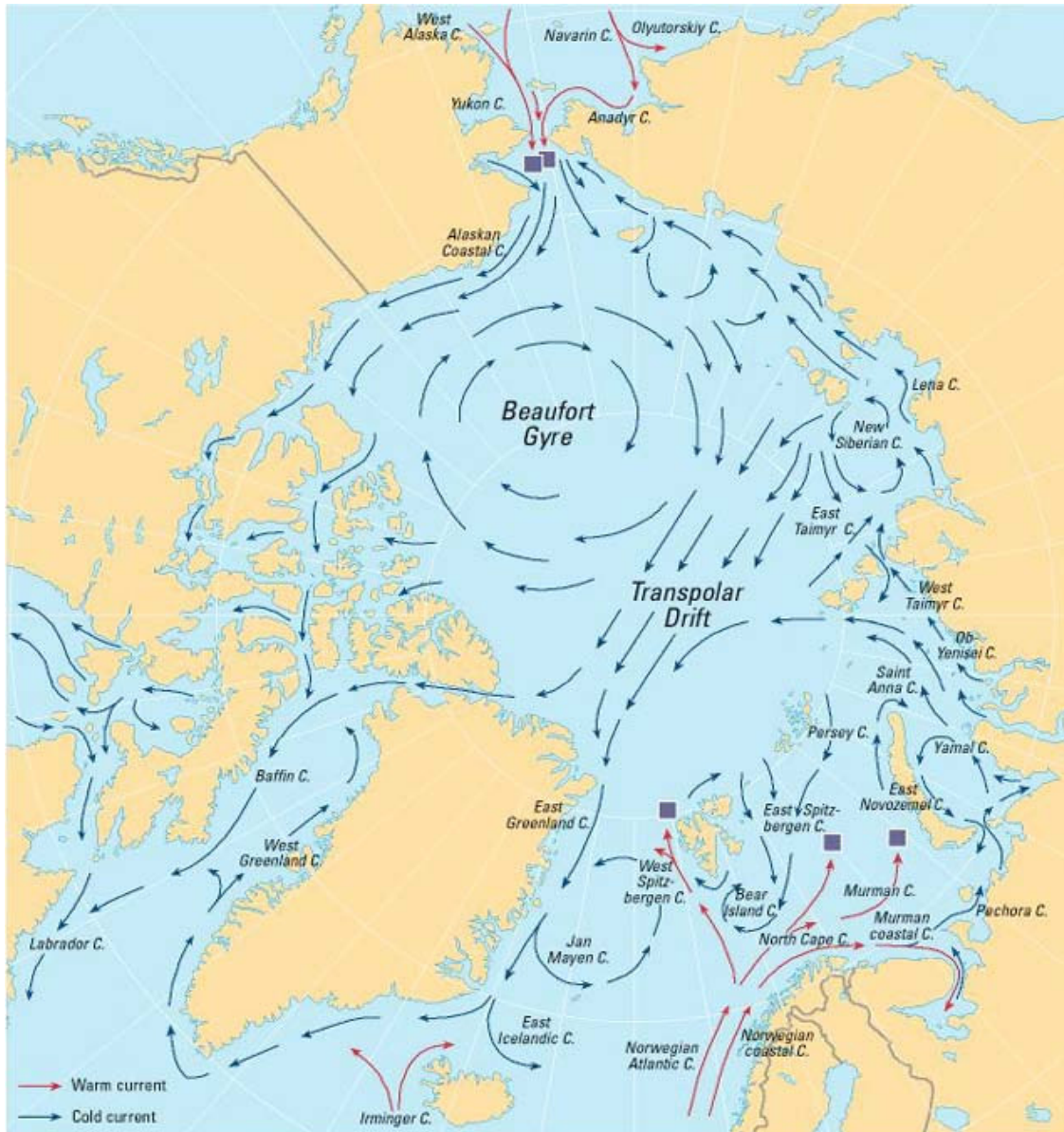


## Epävarmuustekijöitä

- **miten päästöt kehittyvät?**
- **lämpötilan kohoaminen voi olla kaksinkertainen, jos päästöt kasvavat paljon.**
- **Pohjois-Euroopan ilmaston ennustaminen erityisen vaikeaa:**
- **miten Golf-virta reagoi?**
- **Pohjoinen Jäämeri voi lämmetä hyvin nopeasti jään vähenemisen takia**
- **meri lämpenee hitaasti; muuttuuko se hiilidioksidin nielusta sen lähteeksi?**



## Arktisilla merivirroilla on voimakas vaikutus ilmastoon



- **Jää kulkeutuu Siperian rannikolta transpolaarisessa virrassa Framinsalmen kautta Grönlannin merelle 2-3 vuodessa. Beaufortin merellä on suurpyörre, jossa merijää voi viipyä 10-20 vuotta ennen työntymistään Framinsalmeen.**

Philippe Rekacewicz Sources :  
Macdonald and Bewers 1996.

Published in : AMAP Assessment Report :  
Arctic Pollution. Issues. Arctic Monitoring and  
Assessment Programme (AMAP), Oslo,  
Norway, 1998. Figure number : 3.29





# Jään irtoaminen jäätiköistä



Sea ice extent



Iceberg sources



Common iceberg tracks

- Saarilta irronneiden jäävuorien ikä voi olla tuhansia vuosia, muuten merijään ikä on enimmillään vain noin 20 vuotta.
- Grönlannin itärannikon jäätiköt olivat vuosien 1993-1998 välillä ohentuneet erittäin nopeasti. Tutkijoiden mukaan jäätikön oheneminen ei todennäköisesti johdu pelkästään sulamisesta vaan koko jäämassa liikkuu nopeammin mereen. ([www.ilmasto.org](http://www.ilmasto.org))

Philippe Rekacewicz

Sources : Sugden 1982.

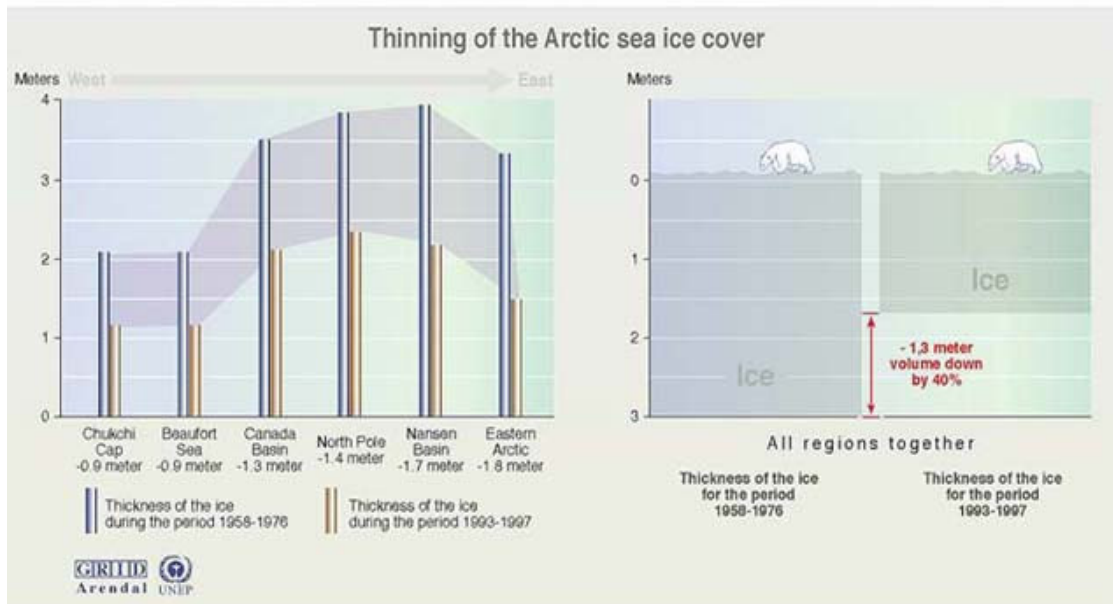
Published in : AMAP Assessment Report : Arctic Pollution

Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 1998. Figure number : 3.25

# Merijään oheneminen



**Tiedot Pohjoisen jäämeren jäiden paksuuden hupenemisesta perustuvat sukellusveneistä tehtyihin kaikuluotauksiin. Havaintojen määrä ei ole kovin suuri eikä niitä ole juurikaan saatavilla Venäjää reunustavilta alueilta.**  
(Kuusisto, Käyhkö 2004)



Philippe Rekacewicz Sources : D.A. Rothrock, Y.Yu and G.A. Maykut, Thinning of the Arctic sea-ice cover, University of Washington, Seattle, 1999. Published in : Vital climate graphics, the impacts of climate change, UNEP and Grid Arendal, 2000.  
Figure number : 27, Page 17

Note: comparison of sea-ice draft data acquired on submarine cruises between 1993 and 1997 with data from 1958-1976 indicates that mean ice draft at the end of the melt season has decreased by 1.3 m (from 3.1 m to 1.8 m). Value is down by 40%

Sources: D.A. Rothrock, Y.Yu and G.A. Maykut, Thinning of the Arctic sea-ice cover, University of Washington, Seattle, 1999.



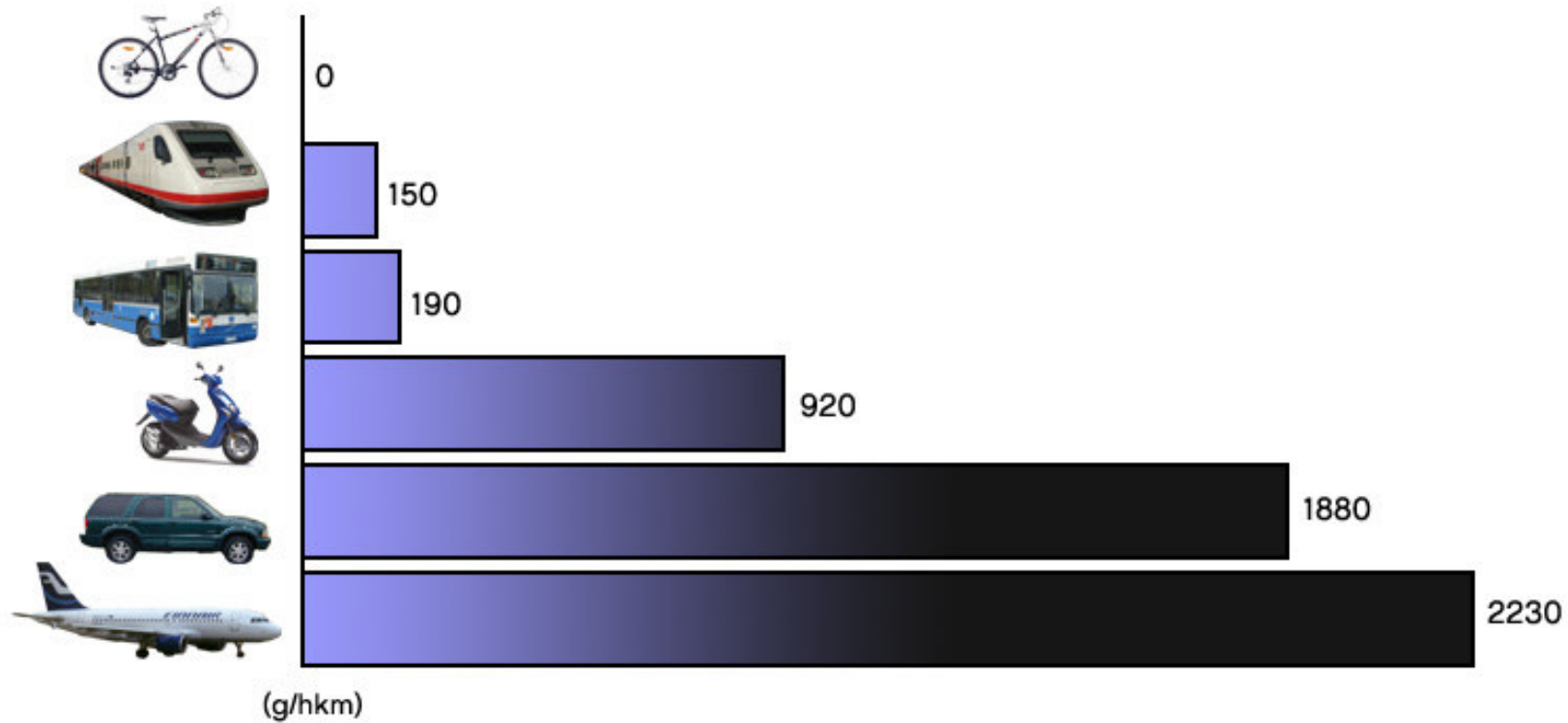
## Mitä voidaan tehdä?

- **hiilidioksidipäästöjen hillitseminen asteittain kansainvälisin sopimuksin (IPCC raportoi tieteellisistä näytöistä)**
- **muiden energianlähteiden kehittäminen (foss.polttoaineet osuus nyt 85% !)**
- **liikenne: kun kulutat 100 kg polttoainetta, tuotat n. 300 kg hiilidioksidia!**
- **energian käytön tehostaminen: prim.energiasta muutetaan sähköksi vain 40%, valoa siitä saadaan hehkulampussa 4%, mikä kulutetaan usein turhaan: siirtoketjun hyötysuhde vaivaiset 1%.**



## Joukkoliikenne vai oma auto?

Hiilidioksidipäästöt 10 km matkalla

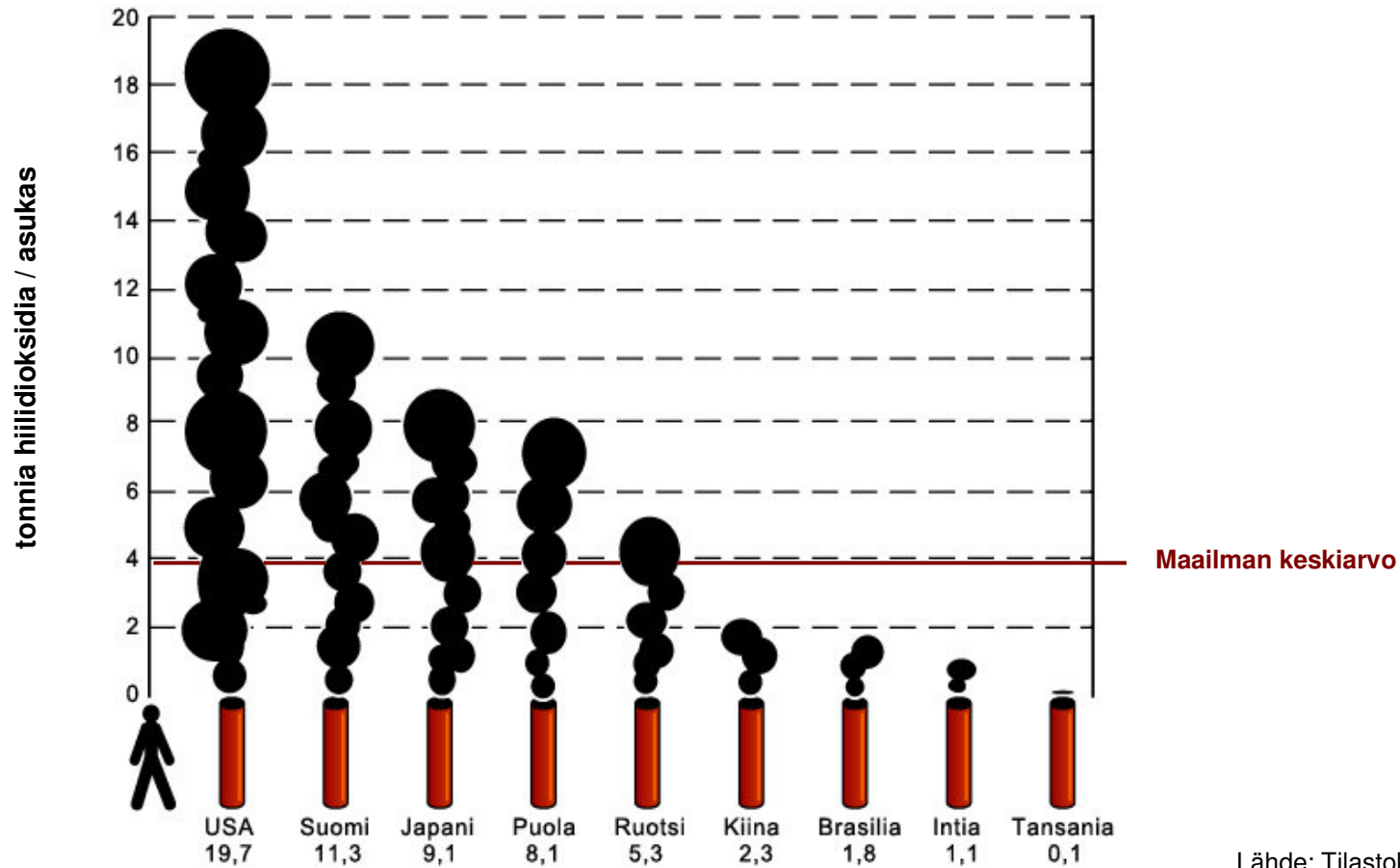


Lähde: Liikennevälineiden yksikköpäästöt <http://lipasto.vtt.fi>



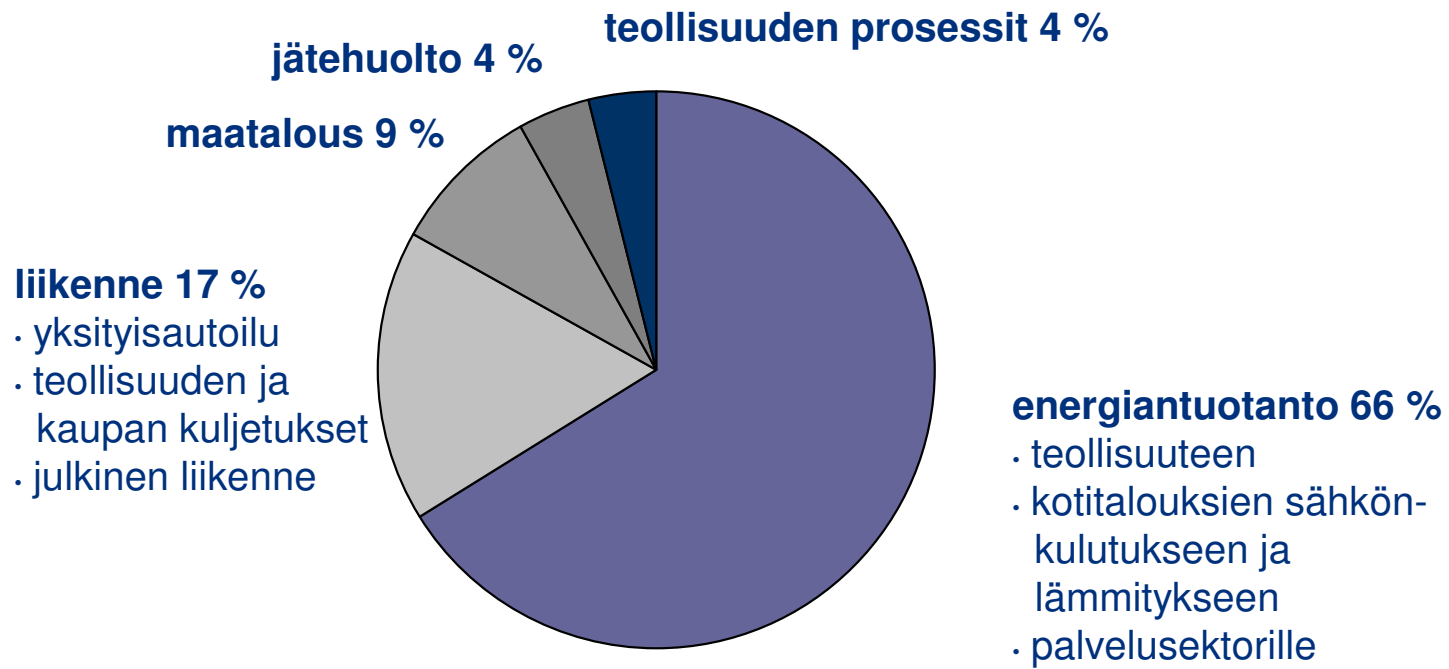


## Jokaisella ihmisellä yhtäläinen oikeus tuottaa päästöjä?



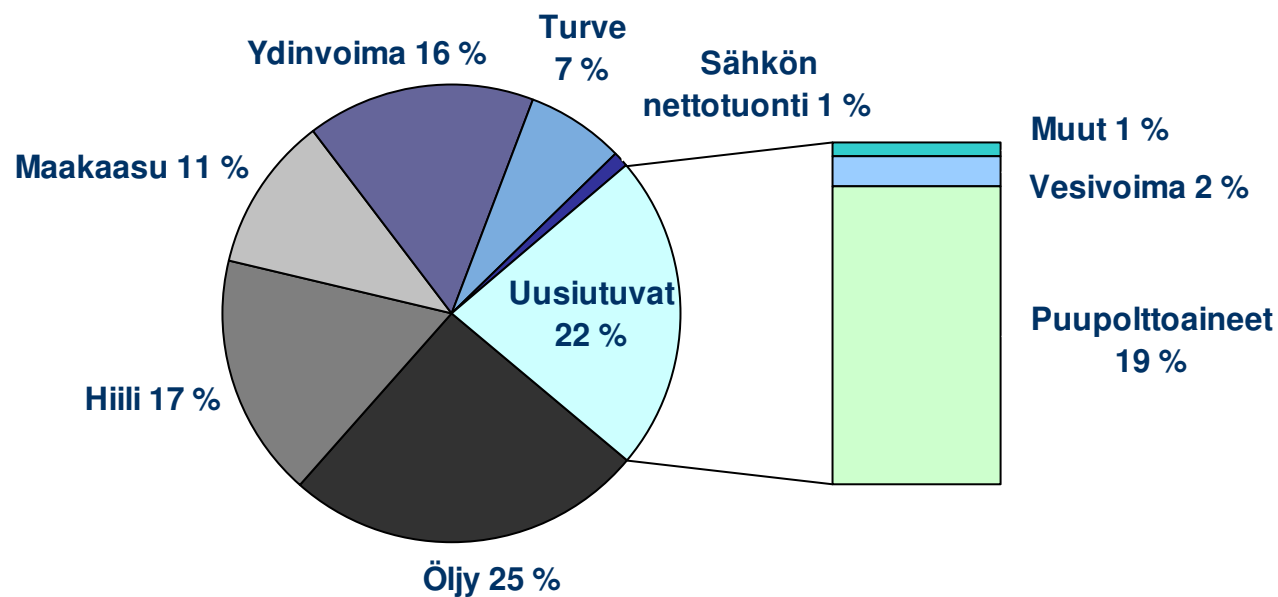


## Energiantuotanto aiheuttaa suurimmat hiilidioksidipäästöt Suomessa





## Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetaan alle neljäsosa Suomen kokonaisenergiantarpeesta





# Lähteitä

- Kuusisto, E., Käyhkö, J., 2004. **Globalimuutos**. Otavan kirjapaino Oy, pp.43-46
- Leppäranta, M., 2001. **Merten jääolot**. Vesitalous 06/2001. Ympäristöviestintä YVT Oy.
- **National Geographic Suomi Nro 1 (23/1-22/2 2004) Jäisen meren salat s. 82-99**
- **Philippe Rekacewicz Sources : Macdonald and Bewers 1996.**  
**Published in : AMAP Assessment Report : Arctic Pollution. Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP),Oslo, Norway, 1998. Figure number : 3.29, 3.25 and**
- **Sources : D.A. Rothrock, Y.Yu and G.A. Maykut, Thinning of the Arctic sea-ice cover, University of Washington, Seattle, 1999. Published in : Vital climate graphics, the impacts of climatechange, UNEP and Grid Arendal, 2000.Figure number : 27, Page 17**
- <http://figare.utu.fi>
- <http://www.fimr.fi/fi/tutkimus/projektit/92.html>
- <http://www.fimr.fi/fi/itamerikanta.html> (Merentutkimuslaitoksen Itämeriportaali)
- [http://www.fmi.fi/tutkimus\\_ilmasto/ilmasto\\_17.html](http://www.fmi.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_17.html)
- <http://www.fimr.fi/fi/aranda/uutiset/78.html>
- <http://www.iti.fi/ilmasto/napajaa.htm>
- <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/MediaAlerts/2004/2004100417708.htm>
- [http://www.fmi.fi/organisaatio/yhteys\\_92.html](http://www.fmi.fi/organisaatio/yhteys_92.html) Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelma, Räisänen, Jylhä 28.2. 2007 , maailmanlaajuisiin malleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita 7.8.2007
- **Räisänen,J. 2004. Kasvihuoneilmion voimistuminen ja sen vaikutukset. Helsingin yliopisto, Ilmakehätieteiden osasto. 178s.**
- <http://www.ipcc.ch>