

Metlan työraportteja 25: 7–13

## Muuttuva Lapin ilmasto

Heikki Tuomenvirta ja Achim Drebs

### 1 Johdanto

Ihmiskunnan toimista johtuen kasvihuonekaasujen pitoisuus ilmakehässä on kasvanut. Tiedeyhteisö on jo 1980-luvun lopulta ollut huolissaan ilmakehän koostumuksen muutosten vaikutuksista maapallon ilmastojärjestelmään<sup>1</sup>. Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kohoaminen on aiheuttanut pakotteen, joka pyrkii kohottamaan maapallon pintalämpötilaa.

Ihmisen toimesta kasvihuonekaasuja vapautuu ilmakehään fossiilisista polttoaineista, teollisuudesta ja biosfäärin hiilivuotoon johtavista maankäytön muutoksista. Tärkein ihmiskunnan ilmakehään lisäämä kasvihuonekaasu on hiilidioksidi, joka on peräisin lähinnä hiilen, öljyn ja maakaasun käytöstä. Noin viidennes on peräisin biosfääristä, lähinnä trooppisten metsien hävityksestä. Muita ihmisen toiminnasta lisääntyviä kasvihuonekaasuja ovat mm. metaani ja dityppioksidi. Toisaalta polttoprosessit synnyttävät ilmakehään leijuvia pienhiukkasia mm. rikki- ja typpiyhdisteitä. Myös nämä vaikuttavat säteilyn kulkuun ilmakehässä. Kaiken kaikkiaan niiden vaikutus on jäähdyttävä, mutta ilmiön suuruutta ei tunneta yhtä tarkasti kuin kasvihuonekaasujen aiheuttamaa positiivista säteilypakotetta. Lisäksi luontaiset tekijät kuten tulivuorien purkausten aiheuttamat päästöt ja auringon säteilytehon vaihtelut aiheuttavat pakotteen maapallon ilmastojärjestelmälle.

Maapallon ilmastojärjestelmä on hakeutumassa kohti uutta tasapainotilaa, mutta koska säteilypakote kasvaa koko ajan ja ilmastojärjestelmällä on oma hitautensa sekä sisäiset kytkentänsä, niin tällä hetkellä maapallon energiatase on epätasapainossa (Hansen ym. 2005). Maapallo absorboi energiaa auringosta enemmän kuin emittoi avaruuteen. Suurin osa maapallolle kertyneestä ”ylimääräisestä” energiasta on havaintojen mukaan päätyneet lämmittämään valtameriä (yli 80 %) ja selvästi pienemmälle osuudelle ovat jääneet energiataseen muut komponentit kuten esimerkiksi ilmakehän lämpö määrän kasvu, jäätiköiden sulamiseen kulunut energia ja maaperän lämpeneminen. Havainnot ja ilmastomallilaskelmat antavat hyvin yhteensopivia tuloksia.

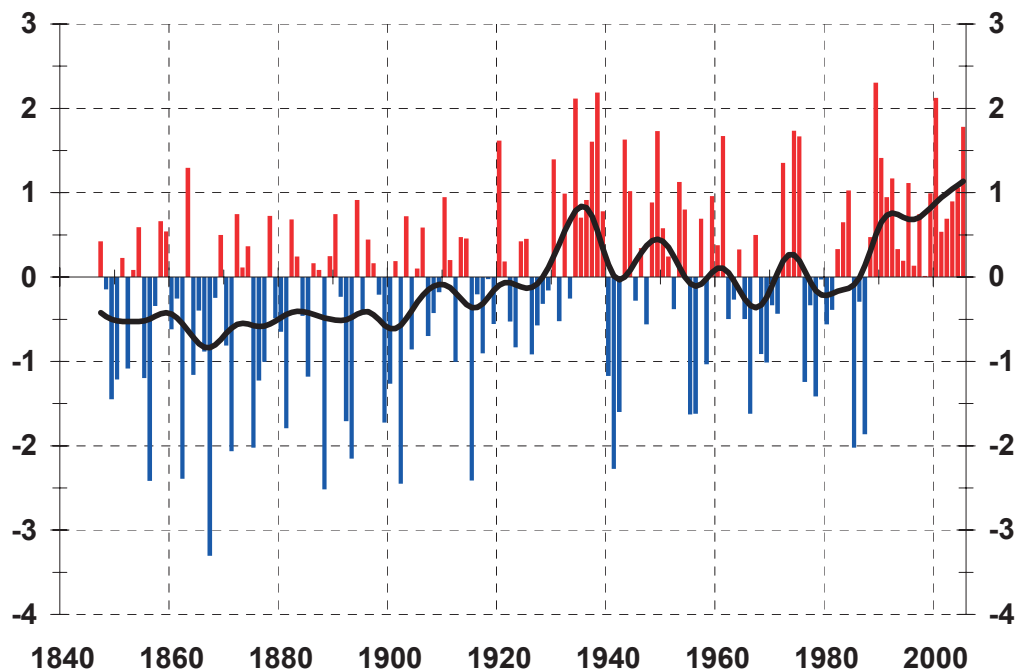
### 2 Keskilämpötilan muutokset Suomessa

Suomen tiedeseuran toimesta perustettiin säähavaintoasemaverkosto 1840-luvun jälkipuoliskolla. Tuon verkon asemista Kuopiossa, Kajaanissa ja Oulussa on havaintoja tehty lähes keskeytyksettä nykypäivään asti. Kun mukaan otetaan vielä Helsinki, niin näiden neljän aseman mittauksilla voidaan yli 150 vuoden ajalta kuvata kohtuullisella tarkkuudella lämpötilan muutoksia Suomessa (Tuomenvirta 2004).

Alkuperäisissä mittaussarjoissa on useita häiriötekijöitä, joten niissä esiintyy muitakin kuin ilmaston vaihteluista aiheutuvia muutoksia. Havaintoajat, -paikat ja mittausjärjestelyt ovat vuosien kuluessa muuttuneet. Ennen kuin mittaussarjoista voidaan luotettavasti määrätä pitkäaikaisia lämpötilan muutoksia, täytyy niistä poistaa muista kuin ilmastotekijöistä aiheutuvat vaihtelut. Lisäksi suuret kaupungit synnyttävät tietyissä säätilanteissa ympärilleen ”lämpösaarekkeen” (urban heat island) jolloin kaupunkiaseman lämpötilatrendeihin vaikuttaa suuren mittakaavan sään vaihteluiden lisäksi paikallinen ilmastotekijä (esim. Peterson 2003). Myös tämä paikallinen tekijä täytyy poistaa sarjoista, jotta ne kuvaavat alueellista ilmaston vaihtelua.

Helsingin, Kuopion, Kajaanin ja Oulun yhtenäistetyt lämpötilasarjat on yhdistetty kuvaamaan Suomen keskilämpötilan vaihtelua ( $T_4$ , kuva 1). Vaikka vuorokausien lämpötila eri puolilla Suomea voi vaihdella toisistaan poikkeavasti, niin pitemmän ajan keskiarvot käyttäytyvät samankaltaisesti. Kajaanin talven<sup>2</sup> (kesän) keskilämpötilojen korrelaatio muiden Suomen asemien kanssa on yli 0,95 (0,90) lähes koko maassa ja putoaa alle 0,95 (0,90) vasta lounaisrannikolla ja Keski-Lapissa (Heino 1994).

$T_4$ -sarjan vuosikeskilämpötilojen poikkeamat voi silmämääräisesti jakaa kolmeen jaksoon. Ensin oli nouseva suuntaus, joka huipentui lämpimään 1930-lukuun Suomessa ja laajemminkin pohjoisilla leveysasteilla. Sen jälkeen oli lievästi viilenevä jakso, joka päättyi erittäin kylmiin vuosiin 1980-luvulla, jonka jälkeen vuosikeskilämpötilat ovat olleet lähes kaikki jakson 1961–90 keskiarvoa korkeampia. Vuodesta 1988 alkanut keskimääräistä lämpimämpien vuosien jakso on jo kestoltaan 1930-luvun lämpöjaksoa pitempi ja on suuruudeltaankin vähintään samaa luokkaa.



Kuva 1. Suomen keskilämpötilan ( $T_4$ ) poikkeamat jakson 1961–90 keskiarvosta, 1847–2005. Tasoitettu käyrä vastaa suunnilleen kymmenen vuoden liukuvaa keskiarvoa. Yksikkö: °C.

Vaikka kuvasta 1 voidaan huomata, että lineaarinen trendi ei ole osuva kuvaamaan vuoden keskilämpötilan muutoksia Suomessa, niin lineaarinen trendi vuosikymmentä tai vuosisataa kohden on usein käytetty yksikkö lämpötilan muutoksille. Lineaaristen trendien tarkastelujaksoiksi valittiin koko aikasarjan pituus, muutos 1900-luvun alusta ja viimeiset 30 vuotta vuoden ja vuodenaikojen keskilämpötiloille. Viimeinen lyhyt jakso valittiin koko maapallon keskilämpötilan mukaan. Vuosi 1976 on käänneapiste koko maapallon keskilämpötilasarjassa, jonka jälkeen lämpötila on kohonnut jyrkemmin kuin aiemmin 1900-luvulla (IPCC 2001).

Vuosista 1847 ja 1901 alkavat trendit ovat samaa suuruusluokkaa. Pitkäaikainen lämpeneminen on ollut voimakkainta keväisin, mutta myös kesän ja koko vuoden trendit ovat merkitseviä<sup>3</sup>. Viimeisen kolmenkymmenen vuoden trendit ovat selvästi suurempia kuin yli sadan vuoden suuntaukset. Erityisesti 1990-luvun lämpimät talvet saavat aikaan sen, että talven ja koko vuoden lyhyen jakson trendi on suuri ja merkitsevä.

Taulukko 1. Suomen keskilämpötilan ( $T_4$ ) lineaarisia trendejä eri ajanjaksoille. Trendit, joiden  $p < 0,05$ , on merkitty tähdellä<sup>3</sup>.

[°C/10-v.]	Vuosi	Talvi	Kevät	Kesä	Syky
1847–2005	0,080*	0,075	0,150*	0,049*	0,049*
1901–2005	0,075*	0,019	0,144*	0,091*	0,049
1976–2005	0,700*	1,362*	0,270	0,581*	0,533

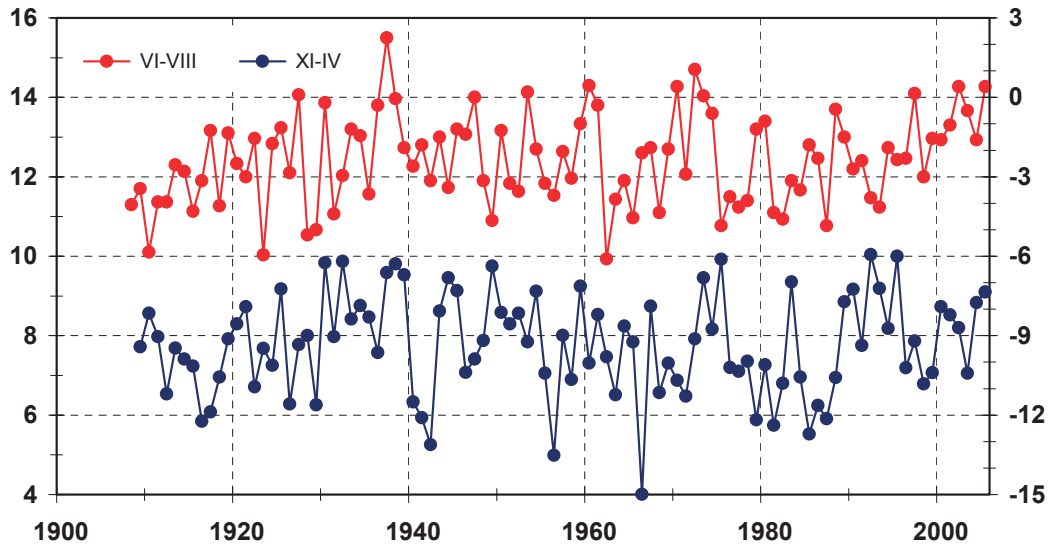
### 3 Lämpötilan muutoksia Lapissa

Sodankylästä on Suomen Lapin luotettavin lämpötilan mittausarja. Lähes yhtenäinen sarja alkaa vuodesta 1908 ja se jatkuu nykyisin Lapin Ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen mittauksilla. Suurin osa havainnoista, joita on vähintään kolme vuorokaudessa, on digitaalisessa muodossa.

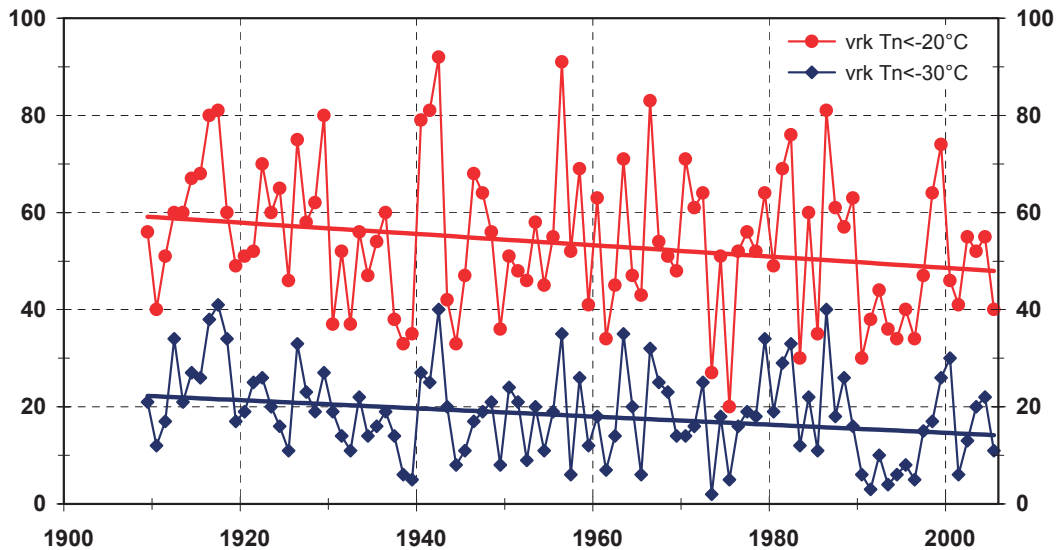
Lapin talvilämpötilojen vaihteluita esittämään valittiin marras-huhtikuun keskiarvo (kuva 2). Mitään selvää suuntausta ei ole nähtävissä, paitsi että kokonaisuudessaan erittäin kylmiä talvia ei 1990-luvun jälkeen ole ollut. Kesät ovat lämmenneet koko Suomea kuvaavassa lämpötilasarjassa (taulukko 1). Sodankylän kesälämpötiloissa ei pitkäaikaista suuntausta ole (kuva 2). Tosin viime vuosikymmeniin on osunut useita lämpimiä kesäiä.

Tarkastelemme myös talven lämpötilajakauman sekä kylmien että lämpimien ”puoliskojen” muutoksia. Talven lämpöindeksit eivät ole kovin ”ääreviä”, joten jakauman ”häntien” eli ääriämpötilojen muutoksia ei tarkastella. Kesän osalta emme tarkastele ääreviä lämpötiloja vaan kasvien yhteyttämistä kuvaavia lämpöindeksejä: kasvukauden lämpösummaa ja sen pituutta.

Jaksolla 1961–90 vuorokauden minimilämpötila oli vuoden aikana keskimäärin 53 (19) vuorokautena alle -20 °C (-30 °C). Indeksit siis kuvaavat ”kylmien päivien” lukumäärän muutoksia (kuva 3). Vaikka marras-huhtikuun keskilämpötila ei ole suuresti muuttunut, niin kylmien päivien määrän vähenevä trendi on tilastollisesti merkitsevä. Toisaalta vaikka kylmien päivien lukumäärä on Sodankylässä keskimäärin vähentynyt, niin Suomen alin lämpötila -51,5 °C mitattiin 28.1.1999 Kittilän Pokassa.

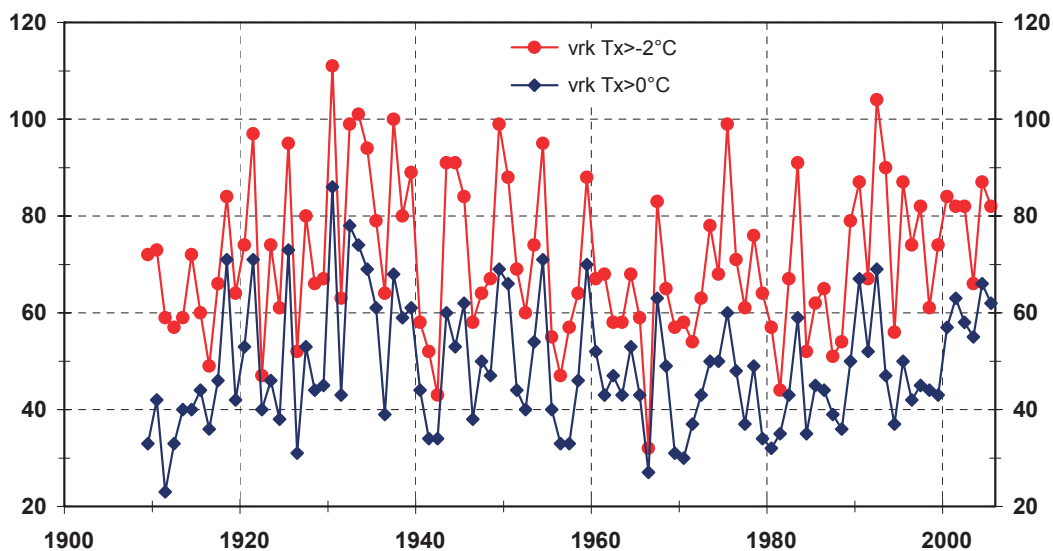


Kuva 2. Sodankylän keskilämpötila kesä-elokuussa (ylempi käyrä, vasen pystyakseli) ja marras-huhtikuussa (alempi käyrä, oikea pystyakseli), 1908–2005. Yksikkö: °C.



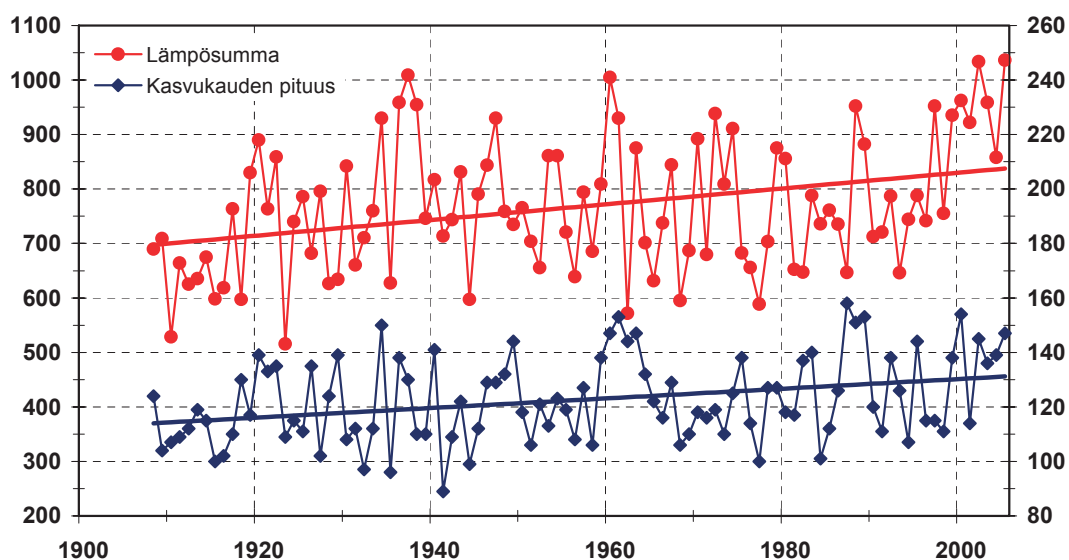
Kuva 3. Vuorokausien lukumäärä jolloin minimilämpötila on ollut alle  $-20\text{ °C}$  (ylempi käyrä) ja alle  $-30\text{ °C}$  (alempi käyrä) Sodankylässä, 1908–2005. Lineaaristen trendien  $p < 0.05$ . Yksikkö: vrk.

Keväiden lämpenemisen voisi olettaa lisäävän suoja päivien lukumäärää. Näin ei kuitenkaan ole käynyt Sodankylässä. Suoja päiviä oli marras-huhtikuussa runsaasti 1930-luvulla (kuva 4). 1980-luvulta lähtien suoja päivät ovat jonkin verran lisääntyneet, mutta trendi ei ole tilastollisesti merkitsevä.

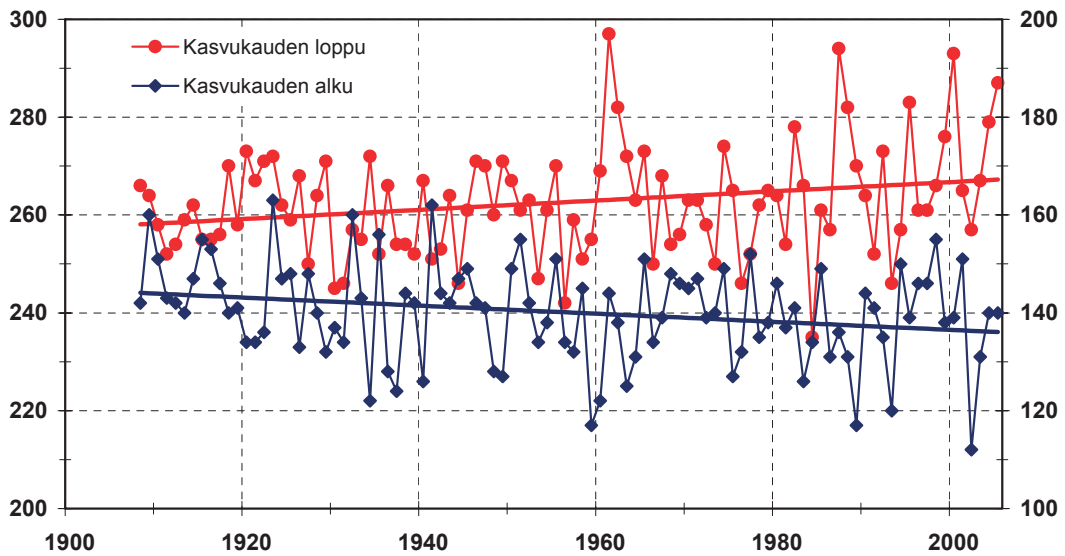


Kuva 4. Vuorokausien lukumäärä marras-huhtikuussa jolloin maksimilämpötila on ollut yli  $-2^{\circ}\text{C}$  (ylempi käyrä)<sup>4</sup> ja yli  $0^{\circ}\text{C}$  (alempi käyrä) Sodankylässä, 1908–2005. Yksikkö: vrk.

Kasvien yhteyttäminen ja monet fenologiset ilmiöt ovat riippuvaisia lämpötilasta. Kasvukauden lämpösumma ja sen pituus ovat keskeisiä biologista tuotantopotentiaalia kuvaavia suureita. Sodankylässä sekä kasvukauden lämpösumma että sen pituus<sup>5</sup> ovat kasvaneet (kuva 5). Lämpösumma korreloi kesän keskilämpötilan (korrelaatiokerroin 0,85) kanssa huomattavasti voimakkaammin kuin kasvukauden pituuden kanssa (0,46). Kasvukausi on Sodankylässä pidentynyt molemmista päistä. Lineaarisen trendin mukaan aikaistuminen keväällä on ollut 8 vuorokautta ja pidentyminen syksyllä 9 vuorokautta 98 vuoden aikana (kuva 6).



Kuva 5. Kasvukauden lämpösumma (ylempi käyrä, vasen pysty akseli yksikkönä  $^{\circ}\text{Cvrk}$ ) ja kasvukauden pituus (alempi käyrä, oikea pysty akseli yksikkönä vrk) Sodankylässä, 1908–2005.



Kuva 6. Kasvukauden alku- (alempi käyrä, oikea pystyakseli yksikkönä vrk) ja loppupäivämäärä (ylempi käyrä, vasen pystyakseli yksikkönä vrk) Sodankylässä, 1908–2005.

## 4 Tulosten tarkastelua

Keskiarvojen tarkastelu voi antaa harhaanjohtavan tuntuman, ettei Lapin lämpötiloissa ole tapahtunut huomattavia muutoksia. Tässä työssä esitetyt muutamat lämpöindeksit osoittavat, että monien sovellusten kannalta tärkeissä lämpötilasuureissa on havaittavissa muutoksia, vaikkei keskilämpötiloista pitkäkestoisia tilastollisesti merkitseviä trendejä löytyisikään.

Lapin osalta laskelmissa on käytetty ainoastaan Sodankylän mittauksia. Tulokset olisi syytä varmistaa laajemmalla aineistolla, jotta paikallisten ilmastotekijöiden ja aina pitkiä aikasarjoja kiu-saavien ei-ilmastollisten vaihtelujen vaikutus saadaan minimoitua.

Havaitut lämpötilan muutokset Suomen keskiarvossa ja Sodankylän aikasarjassa ovat samansuuntaisia kuin ilmastomallien tulosten perusteella laaditut skenaariot lämpötilanmuutoksista (Jylhä ym. 2004, Ruosteenoja ym. 2005). Sodankylän talvilämpötiloissa näkyi sama piirre kuin Kjellströmin (2004) tutkimissa Tukholman lämpötilajakaumissa. Sekä havaintojen että ilmastomallien mukaan talvien lämpeneminen tapahtuu siten, että kylmimmät lämpötilat kohoavat enemmän kuin mediaani tai jakauman lämmin puolisko. On kuitenkin syytä muistaa, että Suomen ilmasto on luonnehtiva suuri luontainen vaihtelu voi vaimentaa tai voimistaa koko maapalloa koskevan ilmastomuutoksen signaalia.

<sup>1</sup> IPCC 2001 ja aiemmat arviointiraportit vuosilta 1995 ja 1990.

<sup>2</sup> Ellei toisin mainita, niin vuodenajoilla tarkoitetaan tässä artikkelissa kolmen kuukauden jaksoja. Talvi on joului-, tammi- ja helmikuu, jne.

<sup>3</sup> Tässä työssä käytettyä tilastollisen merkitsevyyden testiä on syytä pitää vain suuntaa antavana, sillä testattaessa ei ole huomioitu esimerkiksi sarjojen autokorrelaatiota.

<sup>4</sup> Keväisin auringon säteilyn vaikutuksesta sulaminen voi alkaa jo ilman lämpötilan ollessa vielä pakkasen puolella ja siksi myös -2 °C rajaa käytetään suojapäivien määritelmänä (Brown 2000).

<sup>5</sup> Tässä työssä on kasvukauden lämpösumma laskettu ja sen pituus määritetty vuorokauden maksimi- ja minimilämpötiloista, koska näin vältetään aikasarjoissa mittausaikojen muutoksista johtuvat epäjatkuvuudet. Vaikka kasvukauden rajalämpötilana on käytetty +5°C, niin eri menetelmästä johtuen lukuarvot poikkeavat jonkin verran Ilmatieteen laitoksen julkaisemista kasvukauden tiedoista.

## Kirjallisuus

- Brown, R. D. 2000. Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915–1997. *Journal of Climate* 13: 2339–2355.
- Hansen, J., Nazarenko, L., Ruedy, R., Sato, M., Willis, J., Del Genio, A., Koch, D., Lacis, A., Lo, K., Menon, S., Novakov, T., Perlwitz, J., Russell, G., Schmidt, G. A. & Tausnev, N. 2005. Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. *Science* 308: 1431–1435.
- Heino, R. 1994. Climate in Finland during the period of meteorological observations. Finnish Meteorological Institute Contributions No. 12. 209 s.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C. A. (toim.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881 s.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environment Research* 9: 127–152.
- Kjellström, E. 2004. Recent and Future Signatures of Climate Change in Europe. *Ambio* 33: 193–198.
- Peterson, T. C. 2003. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found. *Journal of Climate* 16: 2941–2959.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. 2005. Climate scenarios for FINADAPT studies of climate change adaptation. FINADAPT Working Paper 15. Finnish Environment Institute Mimeographs 345. 38 s. Helsinki.
- Tuomenvirta, H., 2004. Reliable estimation of climatic variations in Finland. Finnish Meteorological Institute Contributions, No. 43. 80 s. + liitteet 78 s.