



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA  
RAPPORTER  
REPORTS  
2011:1

ÄÄRILÄMPÖTILOJEN  
ALUEELLINEN VAIHTELU  
SUOMESSA

SEPPO SAKU  
REIJO SOLANTIE  
KIRSTI JYLHÄ  
ARI VENÄLÄINEN  
HANNU VALTA



**Raportteja**

**Rapporter**

**Reports**

**No. 2011: 1**

**551.583.16 (480)**

**551.524.32**

# **ÄÄRILÄMPÖTILOJEN ALUEELLINEN VAIHTELU SUOMESSA**

Seppo Saku

Reijo Solantie

Kirsti Jylhä

Ari Venäläinen

Hannu Valta



ILMATIETEEN LAITOS  
MÉTÉOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

**Helsinki 2011**

**ISBN 978-951-697-723-5 (nid)**

**ISBN 978-951-697-724-2 (pdf)**

**ISSN 0782-6079**

**Unigrafia**

**2011**



Julkaisija Ilmatieteen laitos, ( Erik Palménin aukio 1)  
PL 503, 00101 Helsinki

Julkaisu-aika 2011

---

Tekijä(t)

Seppo Saku, Reijo Solantie, Kirsti Jylhä,  
Ari Venäläinen, Hannu Valta

Projektin nimi

EXWE

Toimeksiantaja SAFIR2010

---

Nimeke

Ääriämpötilojen alueellinen vaihtelu Suomessa

---

Tiivistelmä

Tässä raportissa tarkastellaan erittäin matalien ja korkeiden ilman lämpötilojen alueellista vaihtelua maassamme ääriarvoanalyysin keinoin. Tutkimus muodostuu kahdesta osasta. Ensiksi arvioidaan hyvin poikkeuksellisten lämpötilojen esiintymistä Suomessa Ilmatieteen laitoksen 20-30 pisimmän säähavaintoaikasarjan perusteella. Aikasarjojen pituus on tyypillisesti 75–165 vuotta. Hetkellisten lämpötilojen lisäksi tutkittavana on se, miten korkeana lämpötila voi pysytellä kuuden tai 24 tunnin ajan, ja samoin tarkastellaan 24 tunnin kylmyysjaksoja. Raportin toinen osa keskittyy puolestaan kalenterikuukausittaisiin ja -vuosittaisiin kylmyysennätyksiin ajanjaksolla 1971–2000, lyhyesti myös ajanjaksolla 2001–2010, käyttäen kaikkia kyseisinä ajanjaksoina toimineita havaintoasemia, joita oli noin 100.

Raportin ensimmäisessä osassa esitetään yleistettyyn ääriarvojakaumaan (GEV) perustuvat, ns. lohkomaksimimenetelmää käyttäen määritetyt 50-, 100-, 500- ja 1000 vuoden toistuvuustasojen todennäköisimmät lämpötila-arvot sekä niiden 95 %:n luotettavuusrajat. Todennäköisimmät arvot on myös interpoloitu koko Suomen alueen kattavaan hilaruudukkoon, ja nämä tulokset on esitetty alueellisen vaihtelun havainnollistamiseksi karttamuodossa.

Raportin toisessa osassa määritetään puolestaan kylmyysennätysten aluekeskiarvot Suomen eri ilmastollisekologisilla vyöhykkeillä asemakohtaisia arvoja ryhmittelemällä ja tutkitaan kylmyysennätysten vuodenaikaiskulkua.

Lopuksi raportin toisessa osassa verrataan keskenään tuloksia, jotka perustuvat joko osassa 1 käytettyihin pitkiin, mutta määrältään melko niukkoihin havaintoaikasarjoihin, tai vaihtoehtoisesti osan 2 alueellisesti tiheisiin, mutta lyhyehköihin, vain 30 vuoden mittaisiin aikasarjoihin. Tulokset olivat enimmäkseen yhteneväisiä. Ainoastaan Lapissa, meren saaristoissa ja Helsingin Kaisaniemessä 30 vuoden pakkasennätykset olivat 2–4 °C alemmat kuin pitkien aikasarjojen perusteella osassa 2 määritetyt 40 vuoden toistuvuustasot.

---

Julkaisijayksikkö

Ilmastonmuutos (ILM)

---

Luokitus (UDK)

551.583.16 (480)

551.524.32

Asiasanat

ilmasto, ääriarvoanalyysi, toistuvuus-aika,  
toistuvuustaso

---

ISSN ja avainnimike

0782-6079 Raportteja - Reporter - Reports

---

ISBN

978-951-697-723-5

978-951-697-724-2 (pdf)

Kieli

suomi (tiivistelmä englanniksi)

Sivumäärä 92

---



FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Published by Finnish Meteorological Institute  
(Erik Palménin aukio 1), P.O. Box 503  
FIN-00101 Helsinki, Finland

Series title, number and report code of publication  
Raportteja No. 2011: 1

Date

Authors  
Seppo Saku, Reijo Solantie, Kirsti Jylhä,  
Ari Venäläinen, Hannu Valta

Name of project  
EXWE

Commissioned by SAFIR2010

Title  
Spatial variations of extreme temperatures in Finland

#### Abstract

The purpose of this study is to create a consistent description of spatial variations of low and high air temperature extremes in Finland based on extreme value analysis. The study consists of two parts. First, the occurrence of very exceptional low or high air temperatures in Finland have been assessed based on 20-30 longest long-term observational time series of the Finnish Meteorological Institute. The length of these time series was typically 75-165 years. Besides instantaneous temperature values, also six- and 24-hour periods of very warm and 24-hour periods of very cold weather have been examined. The second part of the report, in turn, focuses on monthly and yearly temperature records in 1971–2000, briefly also in 2001-2010. That part of the study used all the available temperature data at about 100 observational weather stations in Finland.

In part one of this report, the most probable temperature values and their 95% confidence intervals have been estimated for 50-, 100-, 500- and 1000-year return levels. The estimates are based on the generalized extreme value (GEV) theory and the block maxima method. To illustrate the spatial variations of the temperature extremes, the most probable values have been interpolated into a grid covering the whole of Finland and the results are depicted as maps.

In part two, regionally-averaged means of low temperature records are given for the seven eco-climatic zones in Finland: Åland mainland, archipelago, southern boreal, southern/middle transition belt, middle boreal, northern boreal and subarctic. In addition, seasonal variations of the temperature records have been examined for all those eco-climatic zones.

Finally in part two, we compare results that are based either on relatively few but long observational time series (those also used in part one) or on a multitude of rather short time series. The results were mainly found congruent. Only in Lapland, in coastal archipelago and in Helsinki City the estimates for the 40-year return levels of low air temperature were 2-4 °C lower, if based on the short time series, compared to those assessed with the longer time series.

Publishing unit

Climate Change (ILM)

Classification (UDK)

551.583.16 (480)  
551.524.32

Keywords

climate, extreme value analysis, return  
period, return level

ISSN and series title

0782-6079 Raportteja - Rapporter – Reports

ISBN 978-951-697-723-5  
978-951-697-724-2 (pdf)

Language

Finnish (abstract in English)

Pages 92

## Esipuhe

Tässä raportissa arvioidaan sitä, miten korkeita tai matalia lämpötiloja Suomessa voi esiintyä hetkellisesti ja sitä, miten äärevänä lämpötila voi pysytellä kuuden tai 24 tunnin ajan. Tutkimus muodostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa on osittain tehty Kansallisen ydinenergiaturvallisuuden tutkimusohjelman (SAFIR2010) rahoituksella. Koska ydinvoimalaitosten turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa on otettava huomioon hyvinkin poikkeukselliset sääilmiöt, tarkasteltavina ovat 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuusajoja vastaavat toistuvuustasot. Raportin tämä osuus perustuu maamme 20-30 pisimpään havaintoajakaariaan. Asemakohtaisten tulosten ohella esitetään niihin pohjautuvia, koko maan kattavia karttoja. Raportin toisessa osassa keskitytään viime vuosikymmenien kalenteri-kuukausittaisiin kylmyysennätyksiin noin 100 havaintoaseman perusteella ja verrataan näin saatavia toistuvuusajakaaria- arvioita ensimmäisen osan tuloksiin.

Työssä käytetyt havaintoajakaariat päättyvät enimmäkseen vuoteen 2008. Poikkeuksena on vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasojen arviointiin käytetty ajakaaria. Kesän 2010 lämpöennätysten takia ylimpien hetkellisten lämpötilojen tarkasteluun otettiin mukaan myös vuosien 2009-10 havainnot. Raporttiin on myös lisätty näitä kesän 2010 ennätyksiä koskeva tarkastelu. Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia havaintoihin ja määritettyihin toistuvuustasoihin ei ole pyritty arvioimaan kvantitatiivisesti. Ilmastonmuutoksesta ääriarvojen kannalta on luettavissa mm. Räisäsen (2010) ja Ruosteenojan (2010) kirjoituksista sekä Jylhän et al. (2009) laatimasta raportista.

Kummallakin raportin osalla on oma sisällys- ja kirjallisuusluettelonsa sekä tiivistelmänsä. Luvut, taulukot ja kuvat on numeroitu siten, että numeroinnin ensimmäinen taso on raportin ensimmäisessä osassa 1, jälkimmäisessä osassa 2.

## SISÄLLYSLUETTELO

### Osa 1

1.1 JOHDANTO	13
1.2 AINEISTO	14
1.3 MENETELMÄT	21
1.4 TULOKSET	23
1.5 SUOMEN LÄMPÖENNÄTYKSET	39
1.6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	43
KIITOKSET	44
KIRJALLISUUSVIITTEET	45

### Osa 2

2.1 JOHDANTO	51
2.2 MENETELMÄ JA AINEISTO	53
2.3 TULOKSET	61
2.4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	77
KIITOKSET	81
KIRJALLISUUSVIITTEET	82
TAULUKOT	84



## **Osa 1**

Lämpötilan vuosiminimien ja vuosimaksimien toistuvuustasot  
50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuusajoilla

## **Part 1**

50-, 100-, 500- and 1000-year return levels  
of annual minimum and maximum temperatures

## Osa 1: Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda yhdenmukainen esitys ääriämpötilojen alueellisesta vaihtelusta Suomessa. Matalien sekä korkeiden lämpötilojen 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistumistasoja on tutkittu Suomen pisimmistä havaintosarjoista. Tarkasteltavina ovat olleet ilman lämpötilan hetkellisten minimien ja maksimien ohella ylimmät ja alimmat kuuden ja 24 tunnin jakson lämpötilat. Toistuvuustasojen ja niiden 95 %:n luotettavuusvälien määrittämisessä on käytetty National Center of Atmospheric Research (NCAR):ssa kehitettyä sään ääri-ilmiöiden toistuvuusaikalaskentaan soveltuvaa the Extremes Toolkit -ohjelmistoa. Lämpötila-episodien toistuvuustasot on määritetty ns. lohkomaksimimenetelmää ja yleistettyä ääriarvo-jakaumaa (GEV) käyttäen eri puolilla Suomea sijaitsevalle 20-30 sääasemalle. Ns. kriging-interpolointimenetelmää soveltaen on myös laadittu toistuvuustasojen alueellisia jakaumia esittävät karttapiirroukset.

Tulosten mukaan vuorokauden ylimmän lämpötilan 50 vuoden toistuvuustaso on koko maassa saaristoa, osaa rannikkoalueita ja pohjoisinta käsivarren Lappia lukuun ottamatta vähintään 31 °C ja kuuden tunnin kestoisen korkean lämpötilan 50 vuoden toistuvuustaso yli 29 °C. 24 tunnin kestoisten korkeiden lämpötilojen toistuvuustasot ovat runsasjärvisen seutujen ja rannikoiden asemilla noin 1,2 °C korkeammat kuin muualla. Vuorokauden alimman lämpötilan 50 vuoden toistuvuustaso on Lapissa yleisesti -47...-44 °C. Kuuden tunnin kestoisten pakkaslukemien toistuvuusaikoja ei voitu aikasarjojen lyhyiden ja ääriarvojen analyysimenetelmään sisältyvien rajoitteiden takia määrittää riittävän luotettavasti, ja sen tähden kyseiset tulokset on jätetty pois tästä tutkimusraportista. Pohjoisessa 24 tunnin kestoisen kylmän jakson lämpötila voi keskimäärin kerran 50 vuodessa alittaa -40 °C, mutta saaristossa vastaava lukema on vain hieman kylmempi kuin -20 °C.

Etenkin vuorokauden alimman lämpötilan toistuvuustasot noudattavat varsin läheisesti Suomen ilmastovyöhykkeiden (etelä-, keski- ja pohjoisboreaalinen) maantieteellistä jakaumaa. Kyseiset toistuvuustasot ovat Pohjois-Suomessa peräti 10-15 °C kylmempiä kuin Etelä-Suomessa. Sen sijaan vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasot eroavat vain vähän maan etelä- ja pohjoisosan välillä, eikä niiden jakaumalla ole havaittavissa matalien lämpötilojen kaltaista selvää yhtenevyyttä ilmastovyöhykkeiden kanssa.

Sään ääri-ilmiöiden toistuvuustasojen määrittäminen on hyvin haasteellista suhteellisen lyhyiden havaintoaikasarjojen ja käynnissä olevan ilmastonmuutoksen johdosta. Kyseisistä rajoitteista huolimatta tutkimuksessa pystyttiin kohtuullisella tarkkuudella arviomaan joidenkin satojen vuosien toistuvuusaikaa vastaavia ilman lämpötilan toistuvuustasoja, mutta mentäessä lähemmäs tuhannen vuoden toistuvuusaikaa tulokset ovat enää suuntaa antavia. Työssä käytetyt havaintosarjat ulottuvat pääosin vuoteen 2008. Raporttiin on kuitenkin ennätyslämpöisen kesän 2010 vuoksi laskettu uudestaan vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasot käyttäen havaintoaikasarjoja, joihin on lisätty myös vuosien 2009-10 lämpötilahavainnot.

## **Part 1: Abstract**

The purpose of this study is to create a consistent description of spatial variations of extreme temperatures in Finland. Return levels of low and high temperatures have been examined based on long-term observational time series of the Finnish Meteorological Institute. In addition to instantaneous minimum and maximum temperatures, we have considered lowest and highest 6-hour and 24-hour temperature values. 50-, 100-, 500- and 1000-year return levels have been assessed based on the block maxima method and the corresponding generalized extreme value (GEV) distribution by applying the Extremes Toolkit software package developed in the National Center of Atmospheric Research (NCAR). The best estimates for the return levels of the lowest and highest instantaneous, 6-hour high and 24-hour high and low temperature values, together with their 95% confidence intervals, are tabulated for 20-30 sites. Besides, the best estimates have been interpolated onto a 10 x 10 grid using the so-called kriging method. The resulting spatial distributions of the return levels are given as maps.

The results for the 50 years return level values show that the maximum instantaneous temperature is 31 °C or higher and the high six-hour period temperature is higher than 29 °C all over the country except in costal areas, in archipelago and in the most northwestern part of Lapland. The return level values for the high 24-hour period temperature are about 1,2 °C higher in coastal areas and in areas with many lakes compared to the other areas. The results

for the 50-year return level values of the minimum instantaneous temperature are generally -47...-44 °C in Lapland. Due to the short observational time series and partly due to limitations in the extreme value analysis method, return level values for the low six-hour period temperature could not be assessed with confidence. Hence no results of these return level values are presented in the report. The low 24-hour period temperature may go below -40 °C on average once in every 50 years in the north but in the archipelago the corresponding temperature value is only a bit lower than -20 °C.

A comparison between the spatial distributions of the return levels of the extreme temperatures and the eco-climatic zones in Finland (southern, middle and northern boreal) indicated that the return levels of the low instantaneous temperature values closely follow the zones. The return levels in northern Finland are 10–15 °C colder than in the south. In contrast, the return levels of the high temperatures are geographically rather uniform, and no clear correspondence can be found between their spatial distributions and the eco-climatic zones.

Challenges in assessing return levels of extreme weather events are caused by the relatively short periods of observational time series and the on-going climate change. In estimates of very rare events, e.g., probabilities of 1/1000, the length and quality of observations used as input in calculations is very crucial. Our results for the 500- and 1000-year return levels should be considered as suggestive only. The observational time series used cover generally the years until the end of 2008. Because of the record breaking hot summer 2010 we have extended the instantaneous maximum temperature time series with two more years, 2009-2010 and calculated the return level values for this parameter anew.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.1 JOHDANTO	13
1.2 AINEISTO	14
1.3 MENETELMÄT	21
1.4 TULOKSET	23
1.4.1 Vuorokauden ylin lämpötila	24
1.4.2 Ylin kuusi tuntia kestävä lämpötila	27
1.4.3 Ylin 24 tuntia kestävä lämpötila	30
1.4.4 Vuorokauden alin lämpötila	33
1.4.5 Alin 24 tuntia kestävä lämpötila	36
1.5 SUOMEN LÄMPÖENNÄTYKSET	39
1.5.1 Vuoden 1914 lämpöennätys	39
1.5.2 Vuoden 2010 uusi lämpöennätys: kuvaus säätilanteesta	40
1.5.3 Vuoden 2010 uusi lämpöennätys: arvio toistuvuusajasta	41
1.6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	43
KIITOKSET	44
KIRJALLISUUSVIITTEET	45



## 1.1 JOHDANTO

Suomessa esiintyneitä ääriämpötiloja on aiemmin kartoitettu havaintoasemakohtaisesti (Venäläinen et al. 2007; Jylhä et al. 2009). Näissä tutkimuksissa käytettyjen havaintoajaksarjojen lyhyys ja asemien paikalliset olosuhteet johtivat siihen, että eri asemille lasketut toistuvuustasot saattoivat joissakin tapauksissa poiketa jopa epä johdonmukaisesti toisistaan. Tämän raportin tavoitteena on luoda yhdenmukainen esitys ääriämpötilojen alueellisesta vaihtelusta.

Tässä raportissa tarkastellaan matalien sekä korkeiden ilman lämpötilojen alueellisia toistuvuustasoja koko Suomessa. Tutkittavina ovat lämpötilan hetkellisten minimien ja maksimien (eli vuorokauden alimpien ja ylimpien lämpötilojen) lisäksi kylmimpien ja kuumimpien kuuden ja 24 tunnin kestoisten jaksojen lämpötilat. Tutkimuksen pohjana ovat Ilmatieteen laitoksen pisimmät havaintoajaksarjat. Ne ovat peräisin eri puolilla maata sijaitsevilta 19-30 sääasemalta, joilla on tehty lämpötilamittauksia jo pitkään samassa paikassa, vähintään noin 50 vuoden ja enimmillään yli 150 vuoden ajan.

Toistuvuus aika on kyseessä olevan ilmiön käänteinen todennäköisyys, ja se kuvaa sitä aikaa, jonka aikana ilmiön odotetaan esiintyvän keskimäärin ainakin yhden kerran. Toistuvuustaso puolestaan kertoo kyseisen suureen arvon, joka ylittyy (tai negatiivisten arvojen tapauksessa alittuu) keskimäärin kerran tietyssä toistuvuusajassa. Siis esimerkiksi vuorokauden ylimmän lämpötilan 100 vuoden toistuvuustasolla tarkoitetaan sitä lämpötilaa, joka saavutetaan tai ylitetään keskimäärin kerran sadassa vuodessa. Todennäköisyys, että kyseisen toistuvuustason lämpötila koetaan vähintään kerran vuodessa, on puolestaan 0,01.

Lämpötilan paikkakunta kohtaiset ääriarvoanalyysit ja toistuvuus aikalaskelmat perustuvat ns. lohkomaksimimenetelmän periaatteen ja yleistetyn ääriarvojakauman (GEV) käyttöön. Työssä on hyödynnetty National Center of Atmospheric Research (NCAR) -instituutin kehittämää The Extremes Toolkit ohjelmatyökalua. Arvioitavina ovat 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuus aikoja vastaavat toistuvuustasot vuorokauden korkeimmalle lämpötilalle, korkeimmalle kuusi tuntia kestäväälle lämpötilalle ja korkeimmalle yhtäjaksoisesti 24 tuntia kestäväälle lämpötilalle. Vastaavanlaiset analyysit on tehty myös vuorokauden alimmalle lämpötilalle ja alimmalle yhtäjaksoisesti 24 tuntia kestäväälle lämpötilalle. Myös kylmimpiä kuuden tunnin

lämpötilaepisodeja tarkasteltiin, mutta tuloksia ei ole esitetty tässä raportissa niissä ilmenneiden epäjohtonmukaisuuksien takia, kuten myöhemmin täsmennetään.

Paikkakuntaakohtaiset toistuvuustasojen arvot on interpoloitu ns. kriging-menetelmää käyttäen 10x10 kilometrin suuruiseen hilaruudukkoon koko Suomen alueelle. Tutkimuksen tulokset on esitetty sekä taulukkoina että karttapiirroksina lukuunottamatta tuhannen vuoden toistuvuustasoja, jotka on esitetty vain karttapiirroksina. Tämä johtuu siitä, että lähes 1000 vuotta pitkien toistuvuusajkojen arviointi suhteellisen lyhyiden havaintoajaksarjojen (tässä tutkimuksessa 50-165 vuotta) pohjalta käyttäen nykyisiä ääriarvojen analyysimenetelmiä ei ole kovinkaan mielekäästä, ja näin saatuja tuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina.

Tämän osaraportin laskelmien jo valmistuttua ja sen kirjoitusvaiheen vielä ollessa osittain kesken koettiin Etelä-Suomessa poikkeuksellisen lämmin kesä 2010, jonka aikana mitattiin Joensuun lentoasemalla Suomen uusi lämpöennätys 37,2 °C. Tästä syystä vuorokauden ylimmän lämpötilan ääriarvoanalyysit uusittiin ottaen mukaan myös vuosien 2009-2010 havainnot sekä kuusi lisäasemaa aiempien 24 sääaseman lisäksi. Asemien määrää oli mahdollista kasvat-  
taa säähavaintojen edenneen digitoinnin ansiosta.

## 1.2 AINEISTO

Tutkimuksessa on käytetty Ilmatieteen laitoksen (IL) säähavaintoasemilla mitattuja ilman lämpötilan havaintoajaksarjoja, joiden pituudet vaihtelevat asemien perustamisajankohdasta riippuen. Monilla vanhimmilla sääasemilla on mitattu jo pitkään ja säännöllisesti vuorokauden ylintä ja alinta lämpötilaa, mutta niillä ei ole kuitenkaan ollut jatkuvaa kolmen tunnin välein ja ympäri koko vuorokauden tapahtuvaa lämpötilan mittausta. Tästä syystä tutkimuksessa mukana olevat sääasemat on jouduttu jakamaan kahteen eri ryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä ovat ne sääasemat, joilta on olemassa mahdollisimman pitkät vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan aikasarjat (taulukko 1.1, kuva 1.1a), ja toisessa ryhmässä ovat ne sääasemat, joilta on olemassa jatkuvia kolmen tunnin välein tehtyjä ilman lämpötilan mittauksia (taulukko 1.2, kuva 1.1b). Sääasemien kuuluminen eri ilmastovyöhykkeisiin (kuva 1.2) on myös merkitty taulukoihin 1.1 ja 1.2.



Ensimmäiseen ryhmään kuuluvassa Helsingin Kaisaniemessä on mitattu Suomen pisin, 165 vuotta vanha vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan havaintoaikasarja. Saman ryhmän lyhyimpiä lämpötilan havaintoaikasarjoja edustavat puolestaan Lapissa olevat neljä IL:n havaintoasemaa: Muonio, Kilpisjärvi, Ivalon lentoasema ja Kevo. Näiltä havaintoasemilta on olemassa vain noin 50 vuotta pitkät vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan havaintoaikasarjat. Havaintoaikasarjojensa lyhyydestä huolimatta sääasemat otettiin mukaan tähän ryhmään, jotta lämpötilojen eri toistuvuusajoille laskettujen toistuvuustasojen interpolointi 10x10 km:n hilaruudukkoon onnistuisi kohtuullisen hyvin myös Lapin osalta. Ensimmäiseen ryhmään kuuluu 30 sääasemaa, ja niillä havaintoaikasarjojen pituudet vaihtelevat 165 ja 50 vuoden välillä, mutta ovat tyypillisesti vähintään 75 vuotta (taulukko 1.1).

Taulukon 1.1 säähavaintoasemilta saatavat lämpötilahavainnot soveltuvat hetkellisen ja 24 tunnin kestoisen korkean sekä matalan lämpötilan tarkasteluun, mutta yhtämittäisesti kuusi tuntia kestävän korkean ja matalan lämpötilaepisodin laskentaa varten tarvitaan kolmen tunnin välein, ympäri koko vuorokauden tehtyjä ja pitkään jatkuneita lämpötilahavaintoja. Tällaisia kolmen tunnin välein olevia havaintoja on saatavissa vain 19 sääasemalta, ja IL:n ilmastotietokantaan talletettuina niitä on aikaisintaan vuodesta 1961 alkaen. Täten kuuden tunnin kestoisten lämpötilaepisodien toistuvuusajalaskentaa varten käytettävissä olevien lämpötilan havaintoaikasarjojen pituudet jäävät vajaaseen 50 vuoteen. Kyseiset IL:n sääasemat, niiden kuuluminen ilmastovyöhykkeisiin, asemien maantieteelliset korkeudet ja havaintoaikasarjojen pituudet käyvät ilmi taulukosta 1.2, ja niiden maantieteellinen sijainti näkyy kuvassa 1.1b. Yhteisiä asemia taulukoilla 1.1 ja 1.2 on 14.

Huomattavan satunnaisen vaihtelun takia meteorologisten suureiden, kuten ilman lämpötilan toistuvuustasojen arviointi lyhyiden havaintoaikasarjojen perusteella voi olla varsin epätarkkaa. Jotta pitkiä toistuvuusajoja vastaavia toistuvuustasoja voidaan arvioida luotettavasti, vaaditaan mahdollisimman pitkiä havaintoaikasarjoja. Koska käytettävissä olevat vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan havaintoaikasarjat ovat useimmilla sääasemilla 75–165 vuoden pituisia (taulukko 1.1), ne täyttävät tämän havaintoaikasarjojen pituusvaatimuksen varsin hyvin, kunhan pitäydytään kohtuullisissa toistuvuusajoissa, siis joissakin sadoissa vuosissa. Tuhannen vuoden toistuvuustasojen arviot ovat varsin epävarmoja, ja ne esitetäänkin tässä raportissa vain karttahahmotelmina.

Taulukko 1.1. Pitkään samalla paikalla toimineiden vuorokauden ylintä ja alinta lämpötilaa mitanneiden Ilmatieteen laitoksen sääasemien nimet, ilmastovyöhykkeet (vrt. kuva 1.2), maantieteelliset korkeudet (MPY), tutkimuksessa käytettyjen ilman lämpötilan aikasarjojen pituustiedot (VUODET) ja kullakin sääasemalla havaitut kolme korkeinta (ylimmät) ja alinta (alimmat) ääriämpötilaa (°C). Taulukossa esitetyt kylmiä ääriämpötiloja käsitellään tarkemmin tutkimuksen osassa 2.

SÄÄASEMAN NIMI	ILM.V.	MPY (m)	VUODET <sup>1)</sup>	HAVAITUT ÄÄRIÄMPÖTILAT					
				ylimmät			alimmat		
				1	2	3	1	2	3
Maarianhamina, lentoasema	A	5	1908-2010	31,3	30,9	30,7	-32,9	-32,6	-32,5
Hanko, Russarö	S	5	1902-2010	30,5	28,7	28,5	-33,6	-30,6	-30,0
Salo, Kärkkä	EB	3	1936-2010	32,7	32,6	32,5	-38,0	-37,5	-37,5
Helsinki, Kaisaniemi	EB	4	1844-2010	31,6	31,5	31,2	-35,0	-34,4	-34,3
Turku, lentoasema	EB	49	1901-2010	35,9	33,0	32,1	-35,2	-34,8	-33,8
Kokemäki, Peipohja	EB	37	1931-2010	34,4	32,8	31,4	-39,7	-37,5	-37,0
Hattula, Lepaa <sup>2)</sup>	EB	87	1927-2010	32,8	32,8	32,0	-40,4	-40,2	-39,4
Heinola, asemantaus	EB	92	1908-2010	34,9	34,0	33,4	-42,5	-38,2	-37,5
Lappeenranta <sup>2)</sup>	EB	106	1906-2010	34,6	33,5	33,2	-38,0	-36,8	-36,0
Jyväskylä <sup>3)</sup>	V	115	1902-2010	35,0	34,5	34,2	-38,5	-38,5	-38,4
Punkaharju, Laukansaari	EB	78	1909-2010	35,0	35,0	33,0	-40,2	-40,0	-39,3
Tohmajärvi, Kemie	V	90	1925-2010	35,4	32,3	31,9	-44,0	-44,0	-42,4
Vaasa, lentoasema	EB	6	1908-2010	32,0	31,8	31,8	-38,6	-37,3	-36,2
Kauhava, lentokenttä <sup>2)</sup>	KB	42	1931-2010	33,5	32,0	31,9	-45,0	-41,8	-38,8
Ahtäri, Myllymäki	KB	157	1910-2010	33,9	33,5	32,5	-42,5	-42,1	-41,0
Vesanto, Sonkari	V	127	1925-2010	34,2	32,0	32,0	-39,0	-38,6	-38,6
Maaninka, Halola	V	90	1931-2010	35,0	32,0	31,3	-41,4	-41,2	-40,6
Joensuu, lentoasema	V	121	1946-2010	37,2	32,5	32,0	-39,5	-39,0	-38,5
Kajaani, lentoasema	KB	147	1903-2010	34,5	32,4	31,6	-42,8	-42,0	-40,5
Vieremä, Kaarakkala <sup>2)</sup>	V	207	1937-2010	36,9	34,2	33,7	-37,8	-36,4	-35,6
Siikajoki, Revonlahti	KB	48	1952-2010	33,0	31,5	31,3	-41,7	-41,5	-39,4
Taivalkoski, kk	PB	209	1948-2010	32,2	31,0	30,8	-46,0	-46,0	-45,0
Kuusamo, lentoasema	PB	264	1908-2010	34,2	32,0	31,2	-45,2	-44,9	-44,6
Ylitornio, Meltosjärvi <sup>2)4)</sup>	PB	92	1937-2010	32,3	31,8	31,7	-45,8	-45,2	-44,0
Rovaniemi, lentoasema <sup>2)</sup>	PB	195	1946-2010	32,1	31,6	30,4	-39,0	-38,1	-37,6
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	PB	179	1908-2010	31,7	31,5	31,4	-49,5	-49,0	-47,5
Muonio, Alamuonio	PB	254	1959-2010	30,6	30,5	30,5	-46,2	-45,1	-42,4
Enontekiö, Kilpisjärvi	SUB-A	480	1959-2010	28,8	27,8	26,9	-47,2	-44,2	-41,9
Ivalo, lentoasema	PB	147	1957-2010	31,7	31,6	31,6	-48,9	-48,6	-42,4
Utsjoki, Kevo	PB	107	1962-2010	32,9	32,8	32,6	-48,2	-47,9	-43,2

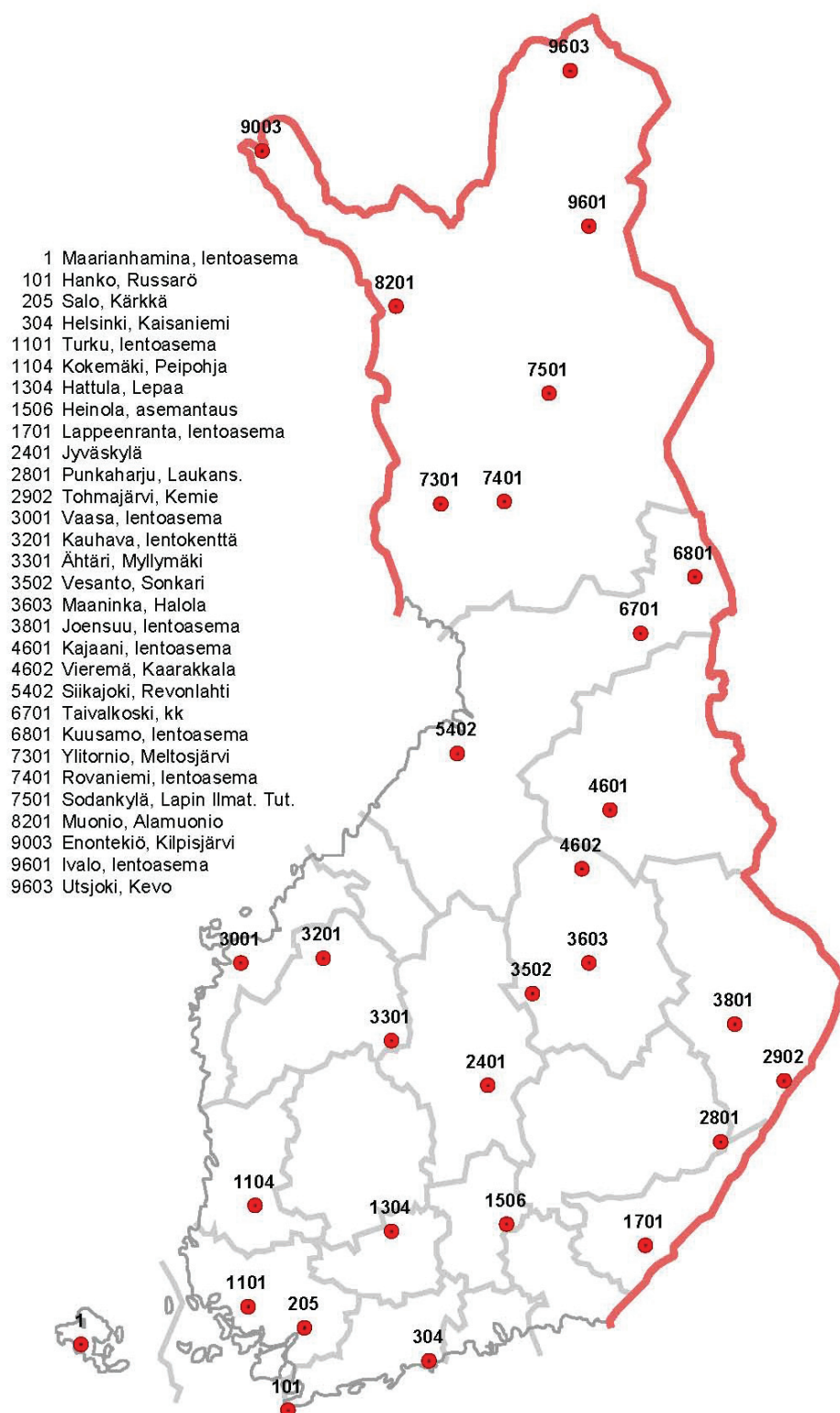
- 1) Vuosien 2009-10 havaintoja on käytetty pelkästään vrk:n maksimilämpötilan toistuvuusajana-analyysiin, muille suureille viimeinen vuosi on 2008
- 2) Näitä asemia on käytetty pelkästään vrk:n maksimilämpötilan ääriarvojen määrittämiseen
- 3) Jyväskylä, keskusta: → 1980, Jyväskylä, lentoasema: 1981 →
- 4) Havainnot puuttuvat vuosilta 1960-63

Huomattakoon, että Pohjois-Suomessa on Sodankylästä käytettävissä 100 vuoden pituinen aikasarja, mutta Siikajoen Revonlahden, Taivalkosken, Muonion, Ivalon ja Kevoon havainto-aikasarjat ovat vain 50 vuoden pituisia. Lyhyiden aikasarjojen avulla arvioidut toistuvuustasot eivät ole niin luotettavia kuin vastaavat pitkiin sarjoihin perustuvat tulokset.

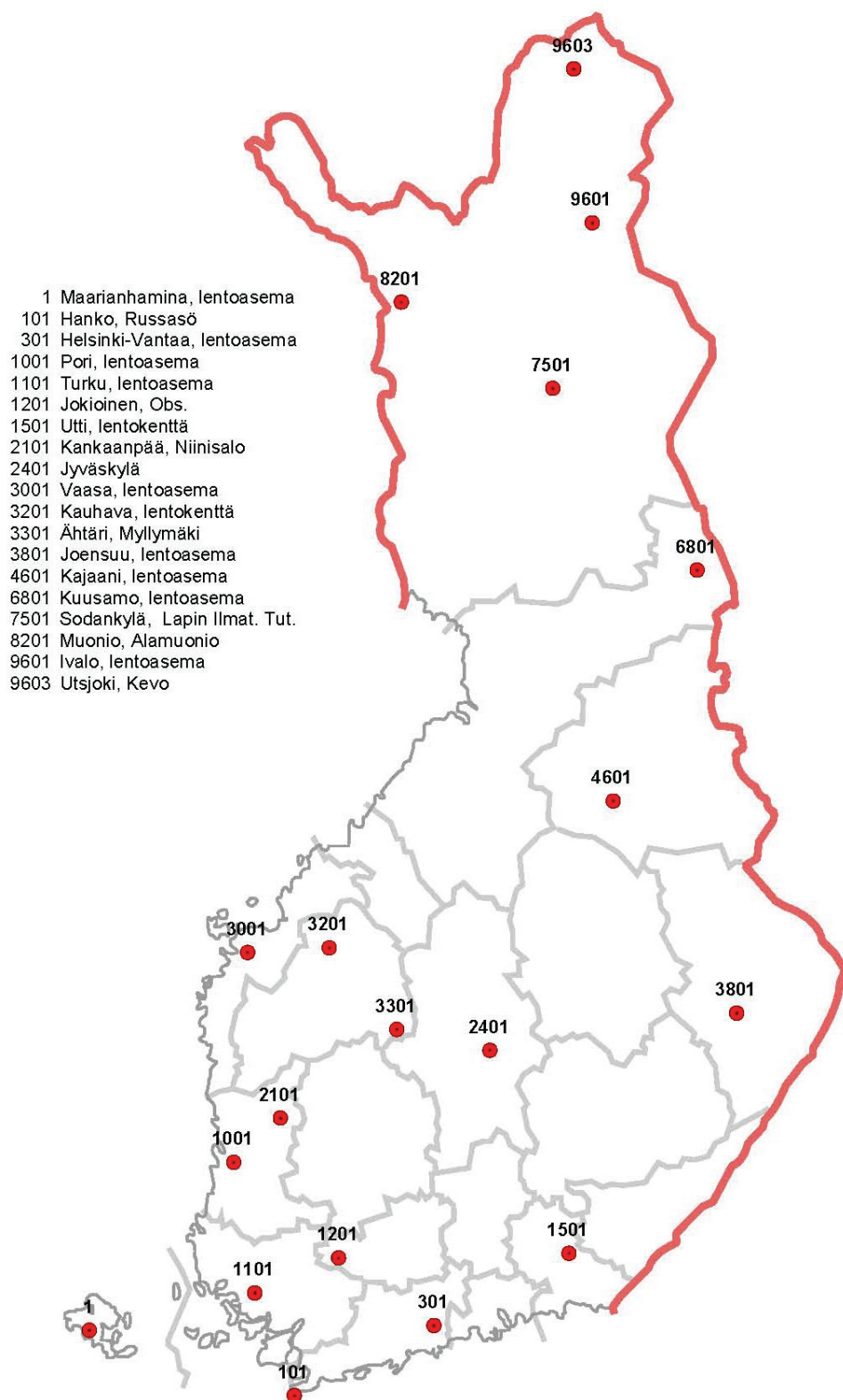
Taulukko 1.2. Ilmatieteen laitoksen sääasemat, joilla on jatkuva kolmen tunnin välein tapahtuva ilman lämpötilan mittaus ja joita on käytetty 6 tuntia kestävän korkean ja matalan lämpötilan toistuvuustasojen määrittämisessä. Taulukossa ovat sääasemien nimet, ilmastovyöhykkeet (vrt. kuva 1.2), maantieteelliset korkeudet (MPY) ja tutkimuksessa käytettyjen ilman lämpötilan aikasarjojen pituustiedot (VUODET).

SÄÄASEMAN NIMI	ILM.V.	MPY (m)	VUODET
Maarianhamina, lentoasema	A	5	1961-2008
Hanko, Russasö	S	5	1961-2008
Helsinki-Vantaa, lentoasema	EB	51	1961-2008
Pori, lentoasema	EB	13	1961-2008
Turku, lentoasema	EB	49	1961-2008
Jokioinen, Observatorio	EB	104	1961-2008
Utti, lentokenttä	EB	99	1961-2008
Kankaanpää, Niinisalo	EB	124	1961-2008
Jyväskylä, lentoasema	V	139	1961-2008
Vaasa, lentoasema	EB	6	1961-2008
Kauhava, lentokenttä	KB	42	1961-2008
Ahtäri, Myllymäki	KB	157	1968-2008
Joensuu, lentoasema	V	121	1961-2008
Kajaani, lentoasema	KB	147	1961-2008
Kuusamo, lentoasema	PB	264	1961-2008
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	PB	179	1961-2008
Muonio, Alamuonio	PB	254	1961-2008
Ivalo, lentoasema	PB	147	1961-2008
Utsjoki, Kevo	PB	107	1963-2008

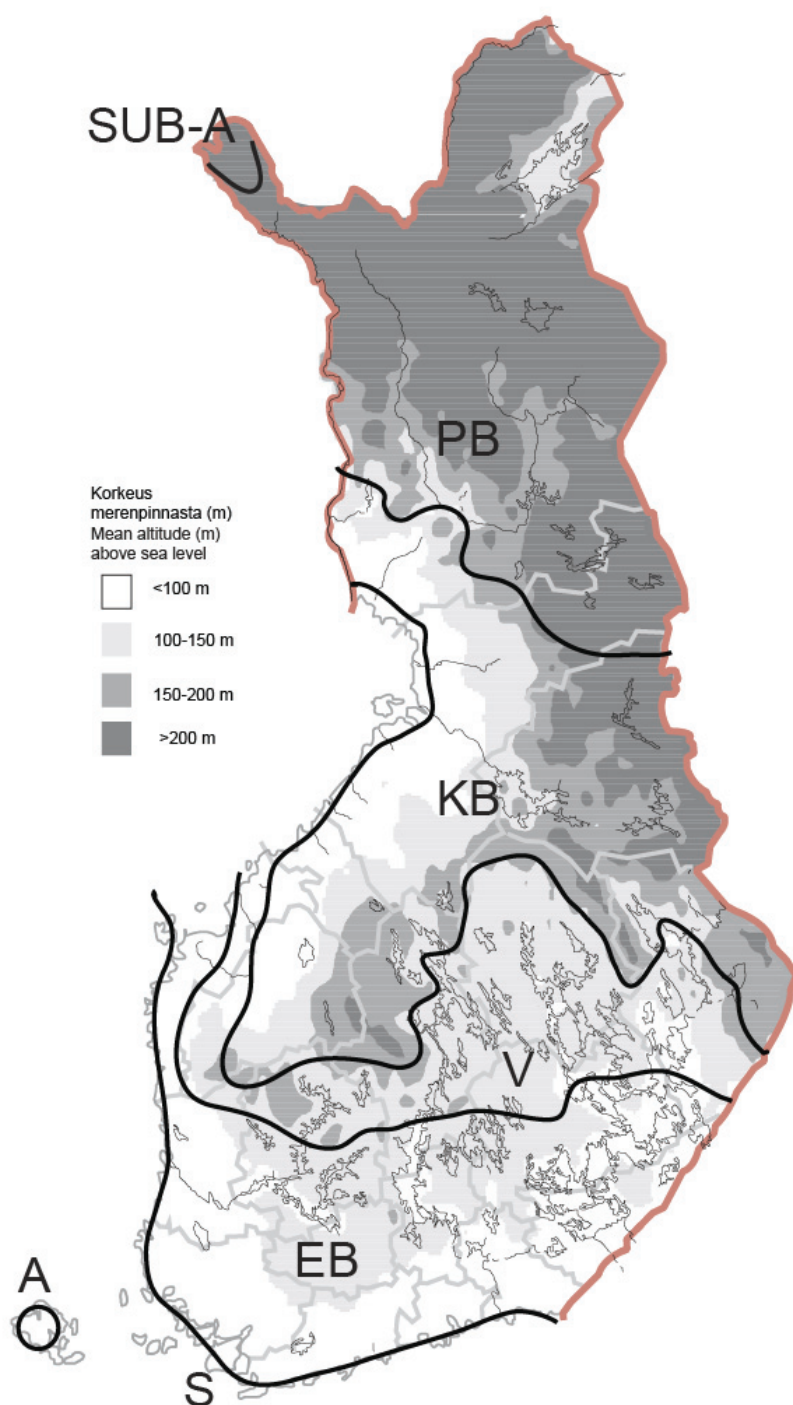
Toisin kuin useimmat vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan havaintoaikasarjat, kuusi tuntia kestävien lämpötilaepisodien määrittämiseen tarvittavat havaintoaikasarjat ovat kaikki vain noin 50 vuoden pituisia (taulukko 1.2). Tämä rajaa näistä havaintoaikasarjoista laskettujen lämpötilan ääriarvojen toistuvuustasojen käyttökelpoisuuden muutamaan sataan vuoteen. Sitä paitsi tutkimuksen aikana ilmeni, etteivät taulukon 1.2 aikasarjojen perusteella lasketut kuuden tunnin kylmyysjaksojen lämpötilojen toistuvuustasot olleet sopusoinnussa niiden tulosten kanssa, jotka saatiin taulukon 1.1 aineistojen nojalla hetkellisille alimmille lämpötiloille ja 24 tunnin pakkasepisodeille. Kuten myöhemmin vielä todetaan, alimpia kuuden tunnin lämpötiloja koskevia tuloksia ei esitetä tässä raportissa ilmenneiden epä-johdonmukaisuuksien takia.



Kuva 1.1a. Ilmatieteen laitoksen sääasemat, joiden havaintoja on käytetty vuorokauden ylimmän ja alimman sekä 24 tuntia kestäväen korkean ja matalan lämpötilan toistuvuustasojen määrittämisessä.



Kuva 1.1b. Ilmatieteen laitoksen sääasemat, joilla on jatkuva kolmen tunnin välein tapahtuva ilman lämpötilan mittaus ja joiden havaintoja on käytetty 6 tuntia kestäväen korkean (ja alunperin myös matalan) lämpötilan toistuvuustasojen määrittämisessä.



SUB-A = Subarktinen  
 PB = Pohjoisboreali  
 KB = Keskiporeali  
 V = Vaihattuma  
 EB = Eteläboreali  
 S = Saaristo  
 A = Ahvenanmanner

Kuva 1.2. Suomen ilmastovyöhykkeet (Solantie 2003, Solantie 2009).

### 1.3 MENETELMÄT

Teoria ääriarvojen tilastollisesta analyysistä on ollut kehitteillä jo 1900-luvun alkupuolelta lähtien. Ääriarvojen tilastollisen analyysin kulmakivi on kolmen ääriarvojakauman teoria, jonka esittivät aluksi Fisher ja Tippett (1928). Sen todistivat ensin Gnedenko (1943) ja myöhemmin myös de Haan (1976). Ääriarvoteoria perustuu ns. lohkomaksimimenetelmään, jossa jokaiselta määrätyltä aikaväliltä, esimerkiksi jokaiselta vuodelta, poimitaan aineiston suurin tai negatiivisten lukujen tapauksessa pienin arvo. Näin poimitujen vuosittaisten lämpötilamaksimien ja -minimien oletetaan olevan riippumattomia ja yhtäläisesti jakautuneita. Jotta tämä ääriarvoteorian asettama vaatimus havaintoaineistomme osalta toteutuisi, olemme jokaisesta käyttämästämme havaintoaikasarjasta poimineet jokaiselta vuodelta suurimman lämpötila-arvon korkeiden lämpötilaepisodien tarkasteluun ja vastaavasti jokaisen vuoden pienimmän lämpötila-arvon matalien lämpötilaepisodien tarkasteluun. Näin poimitut vuosittaiset lämpötila-arvot muodostavat yhdessä jakauman, joka noudattaa yleistettyä ääriarvo-jakaumaa (GEV-jakauma). Yleistetty ääriarvojakauma (GEV) sisältää yhteen yhtälöön kirjoitettuna yhdistelmän Gumbel'in, Fréchet'in ja Weibull'in jakaumista.

Hetkellisen ylimmän ja alimman lämpötilan sekä 24 tuntia pitkän jakson korkean ja matalan lämpötilan toistuvuustasojen laskennassa on käytetty vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan havaintoaikasarjoja. Hetkellisen ylimmän ja alimman lämpötilan toistuvuustasojen laskennassa on käytetty kunkin vuoden korkeinta vuorokausimaksimia ja vastaavasti matalinta vuosittaista vuorokausiminimiä. 24 tunnin kestoisen korkean lämpötilaepisodin toistuvuustasojen laskentaa varten on poimittu jokaisen vuoden suurin vuorokausiminimin arvo, ja 24 tunnin kestoisen matalan lämpötilaepisodin toistuvuustasojen laskentaan on puolestaan käytetty jokaisen vuoden pienintä vuorokausimaksimin arvoa.

Kuuden tunnin kestoisten lämpötilaepisodien tarkastelussa on käytetty kolmen tunnin välein mitattuja hetkellisen lämpötilan arvoja. Kaikista kolmen tunnin välein olevasta kahdesta peräkkäisestä lämpötilahavainnosta on jokaiselle parille liukuvasti laskettu keskiarvot. Vuoden korkeimman keskiarvon saamasta havaintoarvoparista alemman lämpötila-arvon on katsottu edustavan kyseisen vuoden korkeinta kuuden tunnin jakson lämpötilaa. Vastaavasti kahdesta peräkkäisestä kolmen tunnin välein olevasta lämpötilahavainnosta lasketun vuoden

alimman keskiarvon saamasta havaintoarvoparista korkeampi lämpötila-arvo on otettu edustamaan kyseisen vuoden alinta kuuden tunnin lämpötilajaksoa.

Ääriarvoanalyysi ja eri toistuvuusajoja vastaavien toistuvuustasojen määrittäminen on tehty meteorologisten suureiden ääriarvoanalyysiin soveltuvalla The Extremes Toolkit -nimisellä ohjelmatyökalulla, jonka prototyypiversion on kehittänyt prof. Stuart Coles (nykyisin Padovan yliopisto, Padova, Italia). Tässä työssä käytetty versio on laadittu Yhdysvalloissa National Center of Atmospheric Research (NCAR) -instituutissa (Gilleland et al., 2005; Katz et al., 2005). Ohjelmatyökalu sisältää yleistettyyn ääriarvojakaumaan (GEV) perustuvan ääriarvoanalyysin ja toistuvuusajojen laskentamenetelmät. The Extremes Toolkit -ohjelmatyökalu on tässä tutkimuksessa osoittautunut suurimmalta osin hyvin toimivaksi ja käyttökelpoiseksi työvälineeksi ääriarvoanalyysin suorittamiseen. Todennäköisimpien toistuvuustasojen lisäksi sillä saadaan arvioitua toistuvuustasojen 95 %:n luotettavuusvälit.

Sääasemittain lasketut lämpötilan toistuvuustasojen todennäköisimmät arvot on numero-muodossa esitettävien tulosten (taulukot 1.3-1.7) havainnollistamiseksi interpoloitu koko Suomen kattavaan hilaruudukkoon, jossa kunkin ruudun koko on 10x10 neliökilometriä. Näin saadut alueelliset jakaumat esitetään karttakuvina (kuvat 1.3–1.7). Alueellinen interpolointi on tehty Ilmatieteen laitoksessa yleisesti käytössä olevalla ns. kriging-interpolointimenetelmällä. Suhteellisen harvan asemajoukon takia (19 tai 24-30 sääasemaa; kuvat 1.1a ja 1.1b) kartanpiirto-ohjelmassa on käytetty ainoastaan neljää eri lämpötilan toistuvuustason luokkaa sekä sopivia tasoituksia liiallisten yksityiskohtien häivyttämiseksi ja alueellisesti mahdollisimman edustavien karttapiirrosten laatimiseksi. Huomattakoon kuitenkin, että tasoituksista johtuen karttojen lämpötila-asteikot ja taulukoissa annetut toistuvuustasot eivät välttämättä aivan kaikilla sääasemilla vastaa toisiaan. Toisin sanoen taulukoiden arvot saattavat hieman poiketa karttojen vastaavista tuloksista (esimerkkinä taulukko 1.4 ja kuva 1.4).



## 1.4. TULOKSET

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu niitä korkeita ja toisaalta niitä matalia lämpötiloja, jotka voivat kestää yhtäjaksoisesti 24 tuntia, kuusi tuntia tai esiintyä hetkellisesti. Näille ääreille lämpötiloille on kullekin laskettu 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuusajoja vastaavat toistuvuustasot. Ääriarvoanalyysi ja toistuvuusajalaskenta perustuvat taulukoissa 1.1 ja 1.2 mainituilla sääasemilla mitattujen lämpötilojen havaintoaikasarjoihin. Ääriarvoanalyysin tuloksina saadut 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuustasojen todennäköisimmät (paras arvio) arvot sekä 95 %:n luotettavuusvälit (alaraja, yläraja) on esitetty taulukoissa 1.3–1.7. Karttakuvissa 1.3–1.7 on puolestaan esitetty toistuvuustasojen todennäköisimpien arvojen (taulukon paras arvio) alueelliset jakaumat.

Tutkimuksessa laskettuja 1000 vuoden toistuvuusajaa vastaavia toistuvuustason numeroarvoja ei ole esitetty tässä raportissa. Syy tähän on se, että pisimpienkin tutkimuksessa käytettyjen havaintoaikasarjojen pituudet (noin 160 v.) ovat liian lyhyitä, jotta niillä voitaisiin riittävän luotettavasti määrittää näin pitkien toistuvuusajojen toistuvuustasoja. Vaikka 1000 vuoden toistuvuustasojen numeroarvoja ei esitetäkään, niin äärianalyysin tuloksena saatujen 500 ja 1000 vuoden toistuvuustasojen vähäisten erojen havainnollistamiseksi päätettiin kuitenkin esittää 1000 vuoden toistuvuustasojen alueelliset jakaumat karttapiirroksina (kuvat 1.3–1.7).

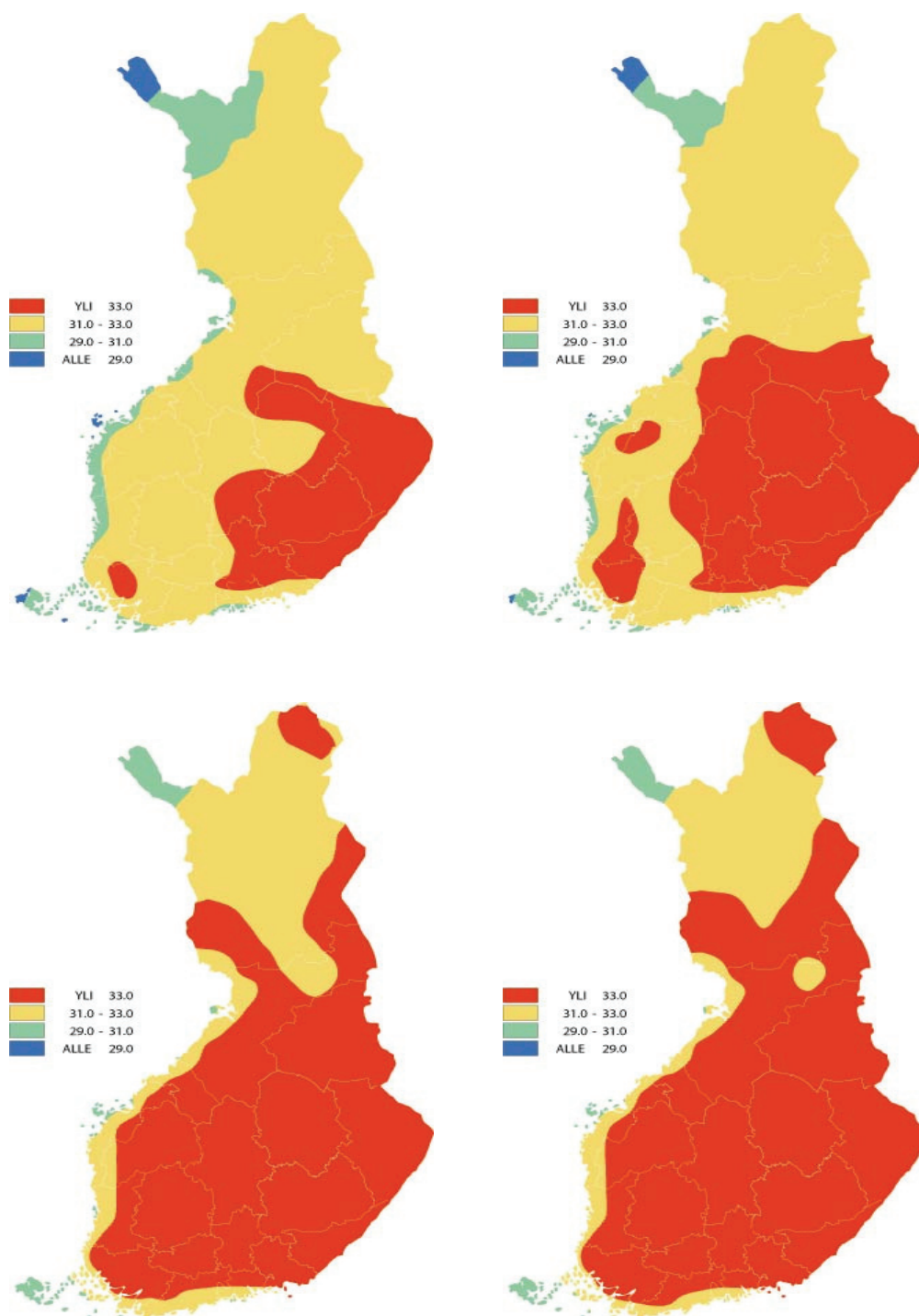
Myöskään kuuden tunnin kestoisen matalan lämpötilan toistuvuustason tarkasteluissa saatuja tuloksia ei esitetä tässä raportissa. Kuten aiemmin jo mainittiin, nämä tulokset eivät ole johdonmukaisia, kun niitä verrataan muihin matalien lämpötilojen toistuvuustasoihin. Syynä tulosten epäjohdonmukaisuuteen on käytettyjen havaintoaikasarjojen lyhyys (noin 50 vuotta). Niukkaan havaintoaineistoon sovitettujen jakauman muoto vaikuttaa voimakkaasti saatuihin toistuvuustasoihin, ja 95 %:n luotettavuusväli tulee myös huomattavan leveäksi. Sen sijaan kuuden tunnin kestoisen korkean lämpötilan toistuvuustasoihin aikasarjojen lyhyys näyttäisi vaikuttavan vähemmän, ja nämä tulokset päätettiin ottaa mukaan tähän raporttiin. On kuitenkin huomattava, että myös niiden vertailua muihin korkeita lämpötiloja koskeviin tuloksiin haittaavat kolmen tunnin aineistojen ajallinen lyhyys ja pienehkö määrä sekä se, että eri analyyseissä on käytettävissä vain 14 yhteistä asemaa (taulukot 1.1 ja 1.2).

### 1.4.1 Vuorokauden ylin lämpötila

Taulukko 1.3. Vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasot sääasemittain 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Todennäköisimmän arvon (paras arvio) lisäksi on annettu 95 %:n luotettavuusvälit (alaraja, yläraja).

Toistuvuus aika (v)	50			100			500		
	ala-raja	paras arvio	ylä-raja	ala-raja	paras arvio	ylä-raja	ala-raja	paras arvio	ylä-raja
SÄÄASEMAN NIMI									
Maarianhamina, lentoasema	30,0	<b>30,5</b>	31,3	30,3	<b>30,8</b>	31,8	30,9	<b>31,4</b>	32,8
Hanko, Russarö	28,7	<b>29,2</b>	30,1	29,1	<b>29,6</b>	30,6	29,8	<b>30,3</b>	31,6
Salo, Kärkkä	31,9	<b>32,3</b>	33,0	32,2	<b>32,5</b>	33,4	32,5	<b>32,9</b>	34,0
Helsinki, Kaisaniemi	30,6	<b>30,9</b>	31,5	30,9	<b>31,2</b>	31,9	31,3	<b>31,7</b>	32,6
Turku, lentoasema	33,2	<b>33,7</b>	34,4	33,7	<b>34,2</b>	35,1	34,5	<b>35,1</b>	36,2
Kokemäki, Peipohja	32,0	<b>32,6</b>	33,6	32,5	<b>33,1</b>	34,3	33,2	<b>34,0</b>	35,7
Hattula, Lepaa	31,7	<b>32,2</b>	33,2	32,0	<b>32,6</b>	33,7	32,5	<b>33,2</b>	34,8
Heinola, asemantaus	32,6	<b>33,2</b>	34,2	33,1	<b>33,8</b>	35,0	33,9	<b>34,7</b>	36,5
Lappeenranta, lentoasema	32,8	<b>33,4</b>	34,4	33,2	<b>33,8</b>	35,0	33,9	<b>34,6</b>	36,2
Jyväskylä	32,8	<b>33,5</b>	34,7	33,3	<b>34,1</b>	35,7	34,2	<b>35,3</b>	37,6
Punkaharju, Laukansaari	33,1	<b>33,8</b>	34,8	33,6	<b>34,3</b>	35,6	34,4	<b>35,2</b>	36,8
Tohmajärvi, Kemie	32,4	<b>33,1</b>	34,3	32,9	<b>33,7</b>	35,1	33,9	<b>34,7</b>	36,7
Vaasa, lentoasema	31,2	<b>31,6</b>	32,5	31,4	<b>32,0</b>	33,0	31,9	<b>32,5</b>	34,0
Kauhava, lentokenttä	31,8	<b>32,5</b>	33,9	32,2	<b>33,0</b>	34,8	32,8	<b>33,9</b>	36,7
Ähtäri, Myllymäki	32,0	<b>32,5</b>	33,4	32,4	<b>33,0</b>	34,0	33,1	<b>33,8</b>	35,2
Vesanto, Sonkari	31,9	<b>32,5</b>	33,5	32,4	<b>33,0</b>	34,1	33,1	<b>33,8</b>	35,2
Maaninka, Halola	31,7	<b>32,4</b>	33,5	32,2	<b>33,0</b>	34,4	33,2	<b>34,1</b>	36,0
Joensuu, lentoasema	32,8	<b>33,8</b>	35,5	33,5	<b>34,5</b>	36,6	34,7	<b>36,1</b>	38,9
Kajaani, lentoasema	31,8	<b>32,5</b>	33,8	32,3	<b>33,1</b>	34,7	33,2	<b>34,2</b>	36,6
Vierämä, Kaarakkala	33,1	<b>34,3</b>	36,7	33,8	<b>35,2</b>	38,2	35,1	<b>37,1</b>	41,8
Siikajoki, Revonlahti	31,5	<b>32,1</b>	33,4	31,8	<b>32,5</b>	34,0	32,4	<b>33,2</b>	35,2
Taivalkoski, kk	30,9	<b>31,4</b>	32,4	31,2	<b>31,8</b>	32,8	31,7	<b>32,3</b>	33,7
Kuusamo, lentoasema	31,1	<b>31,8</b>	33,0	31,7	<b>32,4</b>	33,9	32,7	<b>33,6</b>	35,6
Ylitornio, Meltojärvi	31,3	<b>32,2</b>	34,1	31,7	<b>32,8</b>	35,3	32,3	<b>33,9</b>	37,9
Rovaniemi, lentoasema	30,5	<b>31,3</b>	32,8	30,9	<b>31,8</b>	33,6	31,6	<b>32,6</b>	35,3
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	31,0	<b>31,3</b>	32,0	31,2	<b>31,6</b>	32,3	31,5	<b>31,9</b>	32,8
Muonio, Alamuonio	29,9	<b>30,6</b>	32,1	30,2	<b>31,0</b>	32,8	30,6	<b>31,6</b>	34,2
Enontekiö, Kilpisjärvi	27,4	<b>28,0</b>	29,2	27,8	<b>28,4</b>	29,7	28,3	<b>29,0</b>	30,6
Ivalo, lentoasema	31,2	<b>31,6</b>	32,5	31,4	<b>31,8</b>	32,9	31,6	<b>32,1</b>	33,5
Utsjoki, Kevo	31,9	<b>32,5</b>	33,9	32,2	<b>32,9</b>	34,5	32,7	<b>33,5</b>	35,6

Taulukossa 1.3 on esitetty vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasot laskettuina 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Todennäköisimpien eli taulukossa vahvennettuina esitettyjen parhaiden arvioiden lisäksi on annettu 95 %:n luotettavuusvälit. Parhaat arviot on myös interpoloitu 10x10 kilometrin hilaruudukkoon ja esitetty karttapiirroksena kuvassa 1.3 (myös 1000 vuoden toistuvuustasolle).



Kuva 1.3. Vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasot 50 (vasen ylhäällä), 100 (oikea ylhäällä), 500 (vasen alhaalla) ja 1000 (oikea alhaalla) vuoden toistuvuusajoille.

Interpoloinnin tuloksena saadusta karttaesityksestä nähdään, että vuorokauden ylin lämpötila nousee vähintään 33 °C:een keskimäärin kerran 50 vuodessa laajoilla alueilla eteläisessä ja itäisessä Järvi-Suomessa sekä Turun seudulla (kuva 1.3. vas. ylh.). Toisaalta taulukosta 1.3 ilmenee, että 50 vuoden toistuvuusaikaa vastaava toistuvuustaso ei kuitenkaan ylitä 34 °C:a kuin ainoastaan yhdellä sääasemalla (Vieremä, Kaarakkala). Sen sijaan 31 °C:n toistuvuustaso ylittyy vielä lähes koko maassa saaristoa, Länsi-Suomen rannikkoalueita ja Koillis-Lappia lukuun ottamatta (kuva 1.3. vas. ylh.). Vuorokauden ylimmän lämpötilan 50 vuoden toistuvuusaikaa vastaavat toistuvuustason arvot jakautuvat siis maantieteellisesti suhteellisen tasaisesti kautta maan, ja kaikki saadut arvot mahtuvatkin muutaman asteen sisään. Myöhemmin nähdään, että 50 vuoden toistuvuusaikaa vastaava vuorokauden alin lämpötila eroaa sitä vastoin huomattavan paljon etelän ja pohjoisen välillä.

Karttakuvissa näkyvä Käsivarren Lapin suhteellinen kylmyys muuhun Lappiin verrattuna selittyy sillä, että Kilpisjärven sääasema Kōli-vuoristoon kuuluvalla Enontekiön ylätuntureiden alueella sijaitsee maantieteellisesti muita Lapin sääasemia huomattavasti (noin 300 m) korkeammalla.

Kun tarkastellaan 100 vuoden toistuvuusaikaa esittävää karttaa ja verrataan sitä 50 vuoden toistuvuusajan karttaan (kuva 1.3. vas. ja oik. ylh.), niin merkillepantavinta on, että 33 °C:n toistuvuustason alue (punainen alue) laajenee edelleen pohjoiseen ja länteen päin mentäessä. Taulukosta 1.3 nähdään myös, että Lounais-, Keski- ja Itä-Suomessa ylittyy 34 °C:n lukema keskimäärin kerran sadassa vuodessa. Jos otetaan 95 %:n luotettavuusvälin yläraja huomioon, niin Vieremän Kaarakkalassa tapahtuu jopa 38 °C:n ylitys, ja Joensuussakin päästään tällöin jo lähelle 37 °C:n lukemaa.

500 vuoden toistuvuusajan kartalla (kuva 1.3. vas. alh.) alue, jolla toistuvuustaso 33 °C ylitetään, laajenee käsittämään saaristoa, rannikkoalueita ja Lappia lukuun ottamatta lähes koko Suomen, ja 33 °C:n ylitys tapahtuu myös aivan pohjoisessa (Kevo). Jos huomioidaan 95 %:n luotettavuusvälin yläraja, niin 33 °C:n lukema ylittyy laajemmin myös Lapin alueella (taulukko 1.3). Taulukosta 1.3 nähdään edelleen, että 35 °C:n toistuvuustason paras arvio ylitetään muutamalla paikkakunnalla (Turku, Jyväskylä ja Punkaharju) ja Joensuussa tapahtuu 36 °C:n (vertaa aikaisempi Suomen lämpöennätys 35,9 °C) ylitys sekä Vieremässä 37 °C:n ylitys.

Tuhannen vuoden toistuvuusajan kartalla (oik. alh.) etelässä oleva punainen alue (33 °C:n ylitys) ei edellisestä enää oleellisesti laajene. 1000 vuoden toistuvuustason arvot, joita ei tässä raportissa kuitenkaan esitetä, ovat suurimmaksi osaksi enintään 0,3 °C:a 500 vuoden toistuvuustasoja korkeammat. Syynä näin pieniin eroihin on todennäköisesti se, että tässä tutkimuksessa mukana olevat ns. pitkät havaintoaikasarjat (taulukko 1.1) ovat kuitenkin liian lyhyitä (50-165 vuotta), jotta niiden ja käytetyn toistuvuustasojen laskentamenetelmän avulla päästäisiin riittävän tarkasti arvioimaan ja erottelemaan hyvin poikkeuksellisia, keskimäärin kerran 500 vuodessa tai vielä harvemmin esiintyviä lämpötiloja. Pisimpiä toistuvuusajoja (500–1000 v) vastaavista toistuvuustasoista puhuttaessa onkin oikeampaa käyttää ilmaisua ”useiden satojen vuosien” toistuvuusajaksi kuin puhua täsmällisistä vuosimääristä.

Vuorokauden ylimmän lämpötilan ääriarvoanalyysissä on mukana 29.7.2010 Joensuun lentoasemalla mitattu Suomen uusi lämpöennätys 37,2 °C. Tähän ennätykseen ja sen toistuvuusajan arviointiin palataan luvussa 1.5.

#### **1.4.2 Ylin kuusi tuntia kestävä lämpötila**

Kuuden tunnin kestoisen korkean lämpötilan toistuvuustasot laskettuina 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille on esitetty sääasemittain taulukossa 1.4 ja alueelliseen interpolointiin perustuvina karttapiiroksina kuvassa 1.4.

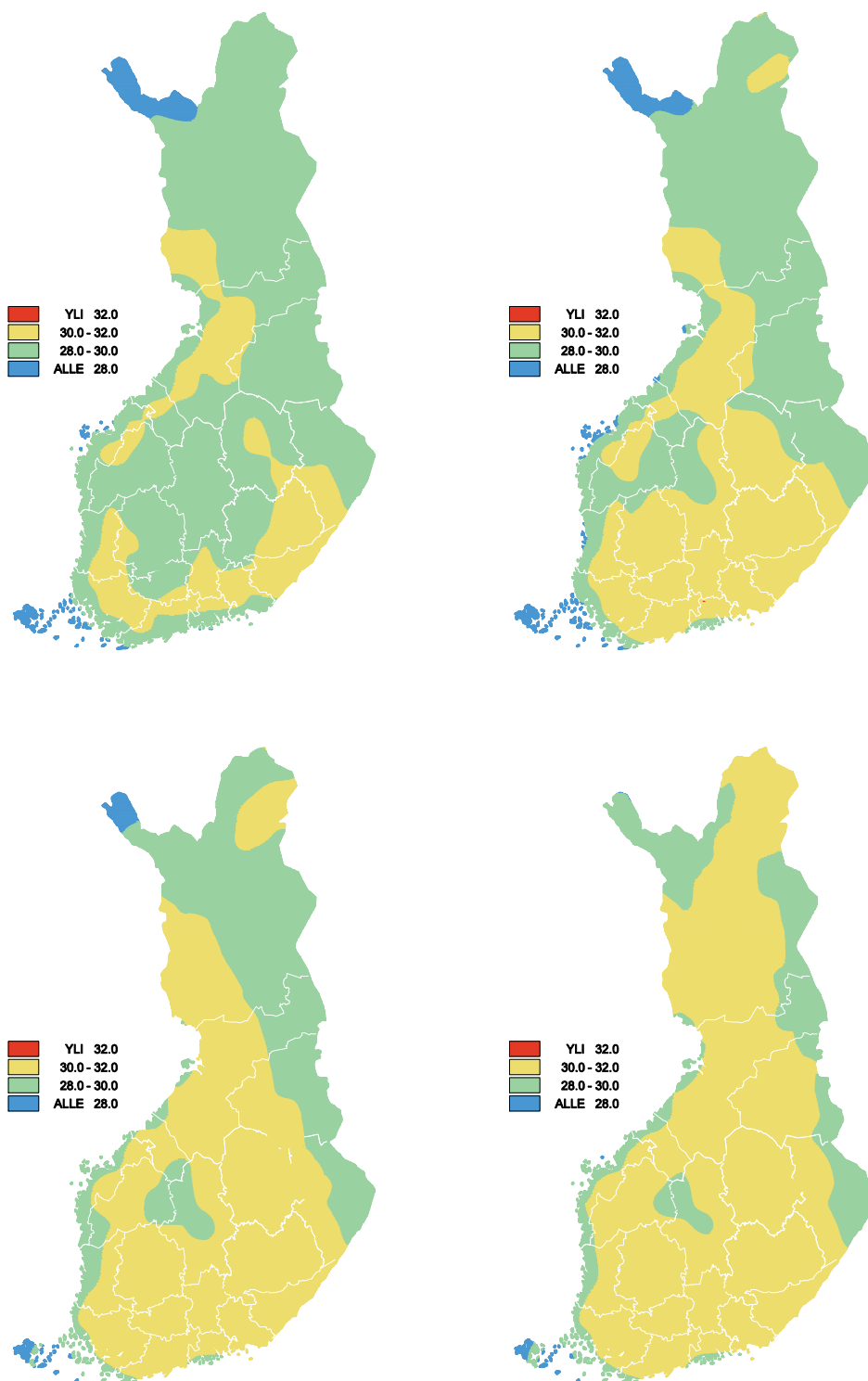
Jos tarkastellaan kuuden tunnin kestoisten korkeiden lämpötilojen toistuvuustasojen todennäköisimpiä arvoja karttamuotoon interpoloituina (kuva 1.4), havaitaan, että 50 vuoden toistuvuustaso ylittää 28 °C:n lähes kaikkialla, mutta 32 asteen ylitystä ei näy esiintyvän missään päin Suomea edes 1000 vuoden toistuvuusajalla. Jos kuitenkin otetaan huomioon 95 %:n luotettavuusvälin yläraja (taulukko 1.4), niin 500 vuoden toistuvuusajalla 32 °C ylittyy suurimmassa osassa Suomea. 50 vuoden toistuvuustasot (paras arvio) asettuvat suurimmassa osassa maata lämpötilahaarukkaan 30–31 °C (taulukko 1.4). Pisimmilläkään toistuvuusajoilla kuuden tunnin kestoiset lämpötilan toistuvuustasot (paras arvio) eivät nouse tästä enempää kuin vajaan yhden asteen. Jos huomioidaan 95 %:n luotettavuusvälin yläraja, niin taulukosta 1.4 nähdään, että 500 vuoden toistuvuusajalla päästään Keski-Suomessa ja aivan pohjoisimmassa Lapissa paikoin 33–34 °C:n toistuvuustasoon.

Taulukko 1.4. Kuuden tunnin kestoisen korkean lämpötilan toistuvuustasot sääasemittain 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Todennäköisimmän arvon (paras arvio) lisäksi annettu 95 %:n luotettavuusvälit (alaraja, yläraja).

Toistuvuus aika (v)	50			100			500		
	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja
<b>SÄÄASEMAN NIMI</b>									
Maarianhamina, lentoasema	28,0	<b>28,6</b>	29,6	28,3	<b>28,8</b>	30,1	28,6	<b>29,2</b>	30,8
Hanko, Russasö	26,5	<b>27,2</b>	28,6	26,8	<b>27,6</b>	29,3	27,4	<b>28,2</b>	30,5
Helsinki-Vantaa, lentoasema	30,2	<b>30,7</b>	31,5	30,5	<b>31,0</b>	31,9	30,9	<b>31,4</b>	32,4
Pori, lentoasema	29,9	<b>30,3</b>	31,2	30,1	<b>30,5</b>	31,6	30,4	<b>30,9</b>	32,2
Turku, lentoasema	30,4	<b>30,7</b>	31,3	30,6	<b>30,8</b>	31,5	30,8	<b>31,0</b>	31,9
Jokioinen, Obs.	30,2	<b>30,7</b>	31,6	30,5	<b>31,0</b>	31,9	31,0	<b>31,4</b>	32,5
Utti, lentokenttä	30,6	<b>30,9</b>	31,6	30,8	<b>31,1</b>	31,9	31,1	<b>31,4</b>	32,4
Kankaanpää, Niinisalo	30,0	<b>30,4</b>	31,2	30,3	<b>30,6</b>	31,5	30,6	<b>30,9</b>	32,0
Jyväskylä	29,4	<b>29,8</b>	30,5	29,6	<b>30,0</b>	30,7	29,9	<b>30,2</b>	31,2
Vaasa, lentoasema	29,4	<b>30,1</b>	31,3	29,7	<b>30,4</b>	31,9	30,3	<b>31,1</b>	33,1
Kauhava, lentokenttä	29,8	<b>30,3</b>	31,3	30,0	<b>30,5</b>	31,7	30,2	<b>30,8</b>	32,5
Ähtäri, Myllymäki	29,2	<b>29,8</b>	31,1	29,4	<b>30,1</b>	31,8	29,8	<b>30,6</b>	33,1
Joensuu, lentoasema	29,8	<b>30,2</b>	31,1	30,0	<b>30,5</b>	31,4	30,4	<b>30,8</b>	32,0
Kajaani, lentoasema	29,7	<b>30,5</b>	32,0	30,1	<b>30,9</b>	32,7	30,7	<b>31,6</b>	34,2
Kuusamo, lentoasema	28,5	<b>29,1</b>	30,3	28,8	<b>29,4</b>	30,8	29,2	<b>29,8</b>	31,7
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	29,2	<b>29,6</b>	30,3	29,4	<b>29,7</b>	30,6	29,6	<b>30,0</b>	31,0
Muonio, Alamuonio	28,6	<b>29,2</b>	30,5	28,9	<b>29,5</b>	31,0	29,3	<b>30,1</b>	32,1
Ivalo, lentoasema	29,9	<b>30,6</b>	31,7	30,3	<b>30,9</b>	32,2	30,8	<b>31,4</b>	33,1
Utsjoki, Kevo	30,0	<b>30,7</b>	32,1	30,4	<b>31,1</b>	32,7	30,8	<b>31,6</b>	33,8

Kuuden tunnin kestoisten lämpötilojen toistuvuustasoja tarkasteltaessa on muistettava, että kaikki niihin liittyvät havaintoajasarjat ovat vain noin 50 vuoden pituisia. Etenkin 500–1000 vuoden toistuvuusajojen tuloksia onkin syytä pitää suuntaa antavina pikemmin kuin tarkkoina arvoina.

Kuten aikaisemmin (menetelmät osassa 1.3) mainittiin, niin kartanpiirto-ohjelmassa liiallisten yksityiskohtaisuuksien häivyttämiseen käytetty tasoitusmenetelmä aiheuttaa sen, että kartoissa esiintyvät toistuvuusajojen lämpötila-alueet ovat tasoittuneet niin, etteivät kaikkien asemien taulukkoarvot osu kartoilla oikeaan lämpötilaluokkaan (esim. Utsjoki, Kevo).



Kuva 1.4. Kuuden tunnin kestoisen korkean lämpötilan toistuvuustasot 50 (vasen ylhäällä), 100 (oikea ylhäällä), 500 (vasen alhaalla) ja 1000 (oikea alhaalla) vuoden toistuvuusajoille.

### 1.4.3 Ylin 24 tuntia kestävä lämpötila

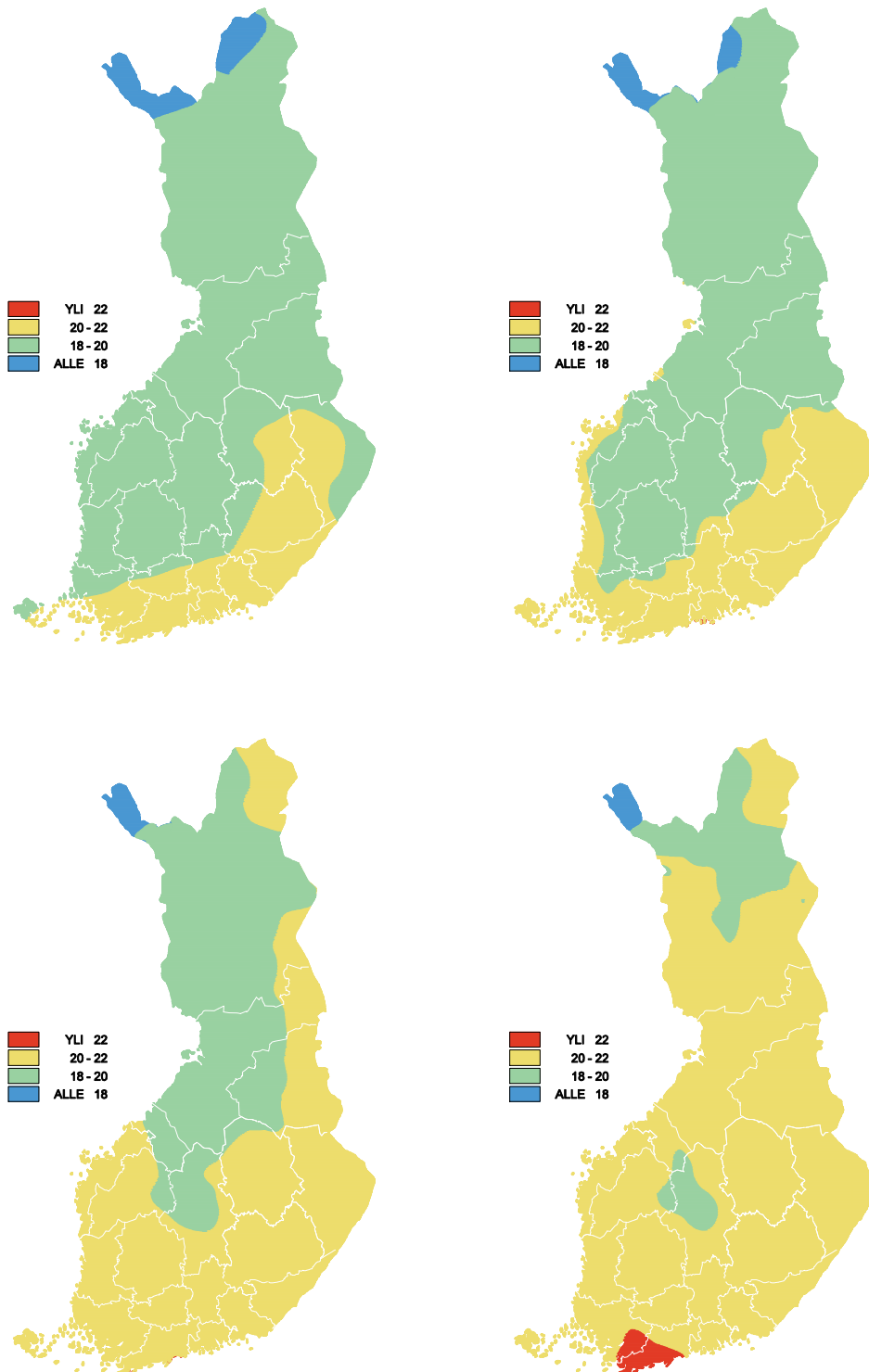
Tarkasteltaessa 24 tunnin kestoisten korkeiden lämpötilojen toistuvuustasoja (taulukko 1.5) havaitaan, miten runsasjärvisien seutujen ja rannikoiden asemilla toistuvuustasot ovat noin 1,2 °C korkeammat kuin muualla. Tämä vesistöjen öitä lämmittävä vaikutus näkyy 50 ja 100 vuoden toistuvuustasojen kartoissa (kuva 1.5, ylh.) siten, että yli 20 °C:n toistuvuustasot kattavat Suomen runsasjärvisimmän kaakkoisosan ja 100 vuoden kartassa myös rannikot Merenkurkkuun asti pohjoiseen mentäessä. 500 vuoden toistuvuustason kartassa (kuva 1.5. vas. alh.) yli 20 °C:n alue käsittää koko Etelä- ja Keski-Suomen Suomenselkää lukuun ottamatta, sekä Pohjois-Suomesta Kainuun, Kuusamon ja Inarin runsasjärviset alueet. 1000 vuoden toistuvuustaso on alle 20 °C enää Suomenselän ja Pohjois-Lapin ylävemmillä seuduilla (kuva 1.5. oik. alh.). Myös 22 °C:n ylityksiä esiintyy taulukossa (taulukko 1.5) 500 vuoden toistuvuusajoilla, mutta vain asemilla, jotka sijaitsevat rannikolla tai runsasjärvisillä alueilla. Kuitenkin karttakuvien mukaan 22 °C:n toistuvuustaso näyttää ylittyvän ainoastaan 1000 vuoden toistumisajan kartalla ja silloinkin vain aivan pienellä alueella etelässä. Tämä näennäinen ristiriitaisuus johtuu interpolointiin ja kartanpiirto-ohjelmaan sisältyvistä tasoi- tuksista. Sen sijaan Lapin tunturialueita edustavalla Kilpisjärven sääasemalla kaikki toistu- vuustasot jäävät alle 18 °C:n, mikä näkyy myös kartoissa. Taulukossa 1.5 nähtävä joidenkin paikkojen (Salo, Kokemäki, Taivalkoski, Kuusamo, Muonio, Kevo) huomattavasti muita leveämpi 95 %:n luotettavuusväli, varsinkin 500 vuoden toistuvuustasojen arvoissa, johtuu osittain kyseisten sääasemien suhteellisen lyhyistä havaintoaikasarjoista sekä osittain vuosit- taisten 24 tunnin kestoisten lämpötilamaksimien havaintoaikasarjojen jakauman muodosta, mille seikalle käyttämämme analyysimenetelmä on suhteellisen herkkä.

Muutaman sadan vuoden toistuvuusajaa vastaava 24 tunnin kestoisen lämpötilan toistuvuus- taso nykyilmastossa näyttäisi saatujen tulosten valossa olevan korkeintaan noin 23 °C.



Taulukko 1.5. 24 tuntia kestävän korkean lämpötilan toistuvuustasot sääasemittain 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Todennäköisimmän arvon (paras arvio) lisäksi annettu 95 %:n luotettavuusvälit (alaraja, yläraja).

Toistuvuus aika (v)	50			100			500		
	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja
<b>SÄÄASEMAN NIMI</b>									
Maarianhamina, lentoasema	20,3	<b>20,8</b>	21,7	20,7	<b>21,3</b>	22,3	21,4	<b>22,1</b>	23,5
Hanko, Russarö	21,2	<b>21,6</b>	22,4	21,5	<b>22,0</b>	22,8	22,0	<b>22,5</b>	23,6
Salo, Kärkkä	20,1	<b>21,0</b>	22,8	20,6	<b>21,6</b>	23,9	21,4	<b>22,9</b>	26,7
Helsinki, Kaisaniemi	21,4	<b>21,8</b>	22,3	21,7	<b>22,1</b>	22,7	22,2	<b>22,6</b>	23,4
Turku, lentoasema	19,6	<b>20,0</b>	20,8	19,8	<b>20,2</b>	21,2	20,2	<b>20,7</b>	21,9
Kokemäki, Peipohja	18,8	<b>19,5</b>	20,9	19,2	<b>20,0</b>	21,8	19,8	<b>21,1</b>	24,0
Heinola, asemantaus	19,8	<b>20,3</b>	21,1	20,1	<b>20,7</b>	21,7	20,8	<b>21,5</b>	23,0
Jyväskylä	19,6	<b>19,9</b>	20,5	19,8	<b>20,2</b>	20,9	20,3	<b>20,7</b>	21,7
Punkaharju, Laukans.	20,7	<b>21,2</b>	22,3	21,1	<b>21,7</b>	22,9	21,7	<b>22,5</b>	24,3
Tohmajärvi, Kemie	19,1	<b>19,6</b>	20,6	19,4	<b>20,0</b>	21,2	20,0	<b>20,7</b>	22,3
Vaasa, lentoasema	19,4	<b>19,9</b>	20,9	19,7	<b>20,3</b>	21,6	20,3	<b>21,1</b>	22,9
Ähtäri, Myllymäki	18,7	<b>19,1</b>	19,9	19,0	<b>19,4</b>	20,4	19,4	<b>20,0</b>	21,3
Vesanto, Sonkari	18,7	<b>19,2</b>	20,2	19,0	<b>19,5</b>	20,7	19,4	<b>20,1</b>	21,8
Maaninka, Halola	19,9	<b>20,5</b>	21,6	20,3	<b>20,9</b>	22,3	20,9	<b>21,7</b>	23,7
Joensuu, lentoasema	20,5	<b>21,1</b>	22,3	20,9	<b>21,5</b>	22,9	21,5	<b>22,3</b>	24,3
Kajaani, lentoasema	19,7	<b>20,1</b>	21,0	19,9	<b>20,4</b>	21,5	20,3	<b>20,9</b>	22,5
Siiikajoki, Revonlahti	18,7	<b>19,2</b>	20,1	19,0	<b>19,4</b>	20,6	19,3	<b>19,9</b>	21,4
Taivalkoski, kk	18,5	<b>19,3</b>	21,2	18,8	<b>19,8</b>	22,3	19,2	<b>20,8</b>	24,8
Kuusamo, lentoasema	18,6	<b>19,3</b>	20,8	19,0	<b>19,9</b>	21,8	19,8	<b>21,1</b>	24,1
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	18,0	<b>18,6</b>	19,6	18,4	<b>19,0</b>	20,3	19,0	<b>19,8</b>	21,7
Muonio, Alamuonio	18,1	<b>19,0</b>	21,2	18,5	<b>19,6</b>	22,4	19,2	<b>20,8</b>	25,5
Enontekiö, Kilpisjärvi	15,4	<b>16,0</b>	17,1	15,7	<b>16,3</b>	17,6	16,1	<b>16,8</b>	18,7
Ivalo, lentoasema	18,9	<b>19,4</b>	20,5	19,2	<b>19,7</b>	21,1	19,6	<b>20,3</b>	22,2
Utsjoki, Kevo	17,4	<b>18,6</b>	21,8	17,8	<b>19,4</b>	23,6	18,6	<b>21,1</b>	28,3



Kuva 1.5. 24 tuntia kestävän korkean lämpötilan toistuvuustasot 50 (vasen ylhäällä), 100 (oikea ylhäällä), 500 (vasen alhaalla) ja 1000 (oikea alhaalla) vuoden toistuvuusajoille.

### 1.4.4 Vuorokauden alin lämpötila

Taulukko 1.6. Vuorokauden alimman lämpötilan toistuvuustasot sääasemittain 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Todennäköisimmän arvon (paras arvio) lisäksi annettu 95 %:n luotettavuusvälit (alaraja, yläraja).

Toistuvuusajaksi (v)	50			100			500		
	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja
<b>SÄÄASEMA</b>									
Maarianhamina, lentoasema	-34,4	<b>-31,6</b>	-30,1	-36,3	<b>-32,8</b>	-31,1	-39,8	<b>-34,9</b>	-32,6
Hanko, Russarö	-32,5	<b>-29,9</b>	-28,4	-34,3	<b>-31,2</b>	-29,6	-37,8	<b>-33,4</b>	-31,5
Salo, Kärkkä	-39,1	<b>-37,4</b>	-36,6	-39,8	<b>-37,9</b>	-37,1	-40,9	<b>-38,5</b>	-37,7
Helsinki, Kaisaniemi	-34,8	<b>-33,1</b>	-32,0	-36,3	<b>-34,1</b>	-32,9	-39,1	<b>-35,9</b>	-34,3
Turku, lentoasema	-36,6	<b>-34,3</b>	-33,2	-37,6	<b>-35,0</b>	-33,8	-39,5	<b>-36,0</b>	-34,7
Kokemäki, Peipohja	-39,6	<b>-38,4</b>	-37,6	-40,1	<b>-38,9</b>	-38,2	-40,8	<b>-39,6</b>	-39,1
Heinola, asemantaus	-40,6	<b>-38,6</b>	-37,3	-42,2	<b>-39,7</b>	-38,3	-45,0	<b>-41,6</b>	-40,1
Jyväskylä	-39,5	<b>-38,1</b>	-37,4	-40,2	<b>-38,5</b>	-37,8	-41,4	<b>-39,2</b>	-38,4
Punkaharju, Laukans.	-40,8	<b>-39,1</b>	-38,2	-41,7	<b>-39,7</b>	-38,8	-43,2	<b>-40,7</b>	-39,7
Tohmajärvi, Kemie	-44,6	<b>-42,8</b>	-41,8	-45,5	<b>-43,5</b>	-42,5	-47,2	<b>-44,5</b>	-43,4
Vaasa, lentoasema	-39,0	<b>-36,4</b>	-35,0	-40,5	<b>-37,4</b>	-36,0	-43,7	<b>-39,3</b>	-37,4
Ähtäri, Myllymäki	-42,5	<b>-40,8</b>	-39,8	-43,7	<b>-41,6</b>	-40,5	-45,6	<b>-42,9</b>	-41,6
Vesanto, Sonkari	-39,7	<b>-38,4</b>	-37,7	-40,4	<b>-38,8</b>	-38,1	-41,4	<b>-39,4</b>	-38,7
Maaninka, Halola	-42,3	<b>-40,7</b>	-39,9	-43,0	<b>-41,2</b>	-40,4	-44,2	<b>-42,0</b>	-41,1
Joensuu, lentoasema	-40,9	<b>-39,0</b>	-38,1	-41,8	<b>-39,5</b>	-38,6	-43,3	<b>-40,3</b>	-39,2
Kajaani, lentoasema	-43,5	<b>-41,2</b>	-40,1	-44,9	<b>-42,1</b>	-40,8	-47,6	<b>-43,6</b>	-42,0
Siikajoki, Revonlahti	-43,7	<b>-40,6</b>	-39,1	-45,1	<b>-41,5</b>	-39,9	-48,0	<b>-43,0</b>	-41,1
Taivalkoski, kk	-48,7	<b>-45,4</b>	-43,8	-50,6	<b>-46,4</b>	-44,5	-54,6	<b>-48,3</b>	-45,8
Kuusamo, lentoasema	-45,8	<b>-44,1</b>	-43,2	-46,8	<b>-44,8</b>	-43,8	-48,6	<b>-45,9</b>	-44,7
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	-49,7	<b>-47,2</b>	-45,9	-51,5	<b>-48,3</b>	-46,8	-55,1	<b>-50,4</b>	-48,3
Muonio, Alamuonio	-47,8	<b>-44,9</b>	-43,5	-49,2	<b>-45,7</b>	-44,2	-52,0	<b>-47,1</b>	-45,3
Enontekiö, Kilpisjärvi	-47,4	<b>-44,7</b>	-43,3	-48,7	<b>-45,6</b>	-44,2	-51,2	<b>-47,2</b>	-45,6
Ivalo, lentoasema	-51,0	<b>-46,5</b>	-44,2	-53,6	<b>-47,9</b>	-45,4	-59,5	<b>-50,8</b>	-47,4
Utsjoki, Kevo	-51,1	<b>-46,6</b>	-44,5	-53,6	<b>-47,9</b>	-45,5	-59,5	<b>-50,5</b>	-47,1

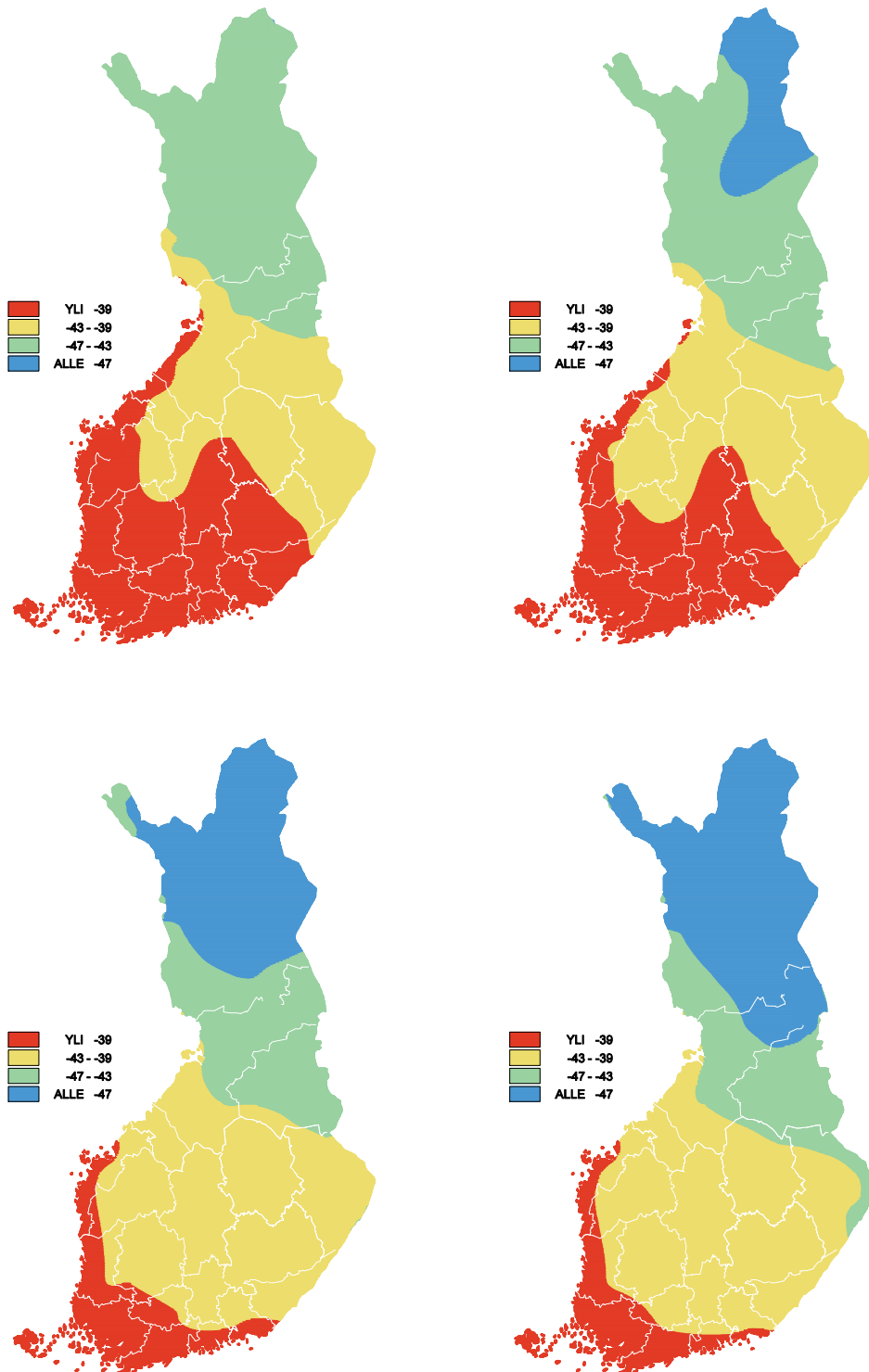
Taulukko 1.6 esittää vuorokauden alimman lämpötilan 50–500 vuoden toistuvuustasot ja niiden 95 %:n luotettavuusvälit. Taulukon ja siihen pohjautuvan kuvan 1.6 mukaan 50 vuoden toistuvuustaso on Lapissa yleisesti -47...-44 °C. Muutaman sadan vuoden toistuvuusajalla -51...-46 °C:n lämpötiloja näyttää esiintyvän koko Lapin alueella viime aikojen kaltaisessa ilmastossa. Huomattakoon, että useat Lapin havaintoaikasarjat ovat vain 50 vuoden pituisia, mutta Sodankylästä on käytössä 100 vuoden pituinen aikasarja (taulukko 1.1). Sodankylässä vuorokauden minimilämpötilan 50 vuoden toistuvuustaso (95 %:n luotettavuusväli suluissa)

on  $-47,2$  ( $-49,7\dots-45,9$ ) °C. Koska pitkien havaintoaikasarjojen avulla lasketut toistuvuustasojen arvot ovat luotettavampia kuin lyhyisiin aikasarjoihin perustuvat, voidaan tässä tutkimuksessa mukana olevista havaintoaikasarjoista käyttökelpoisimpana pitää Sodankylän mitattauksia, kun tarkasteltavina ovat Suomen matalimmat lämpötilojat. Sodankylässä mitattu lämpötilan havaintoaikasarja (1908-2008) on paitsi aikasarjan pituuden myös maantieteellisen sijaintinsa puolesta Lapin asemista kaikkein edustavin.

Maamme kylmyysennätys on  $-51,5$  °C, ja se on mitattu Kittilän Pokassa 28.1.1999. Tämän tutkimuksen mukaan 500 vuoden toistuvuusaikaa vastaava vuorokauden alimman lämpötilan toistuvuustaso on Sodankylässä  $-50,4$  ( $-55,1\dots-48,3$ ) °C. Kylmyysennätys  $-51,5$  °C sisältyy kuitenkin Sodankylässä jo myös 100 vuoden toistuvuusaikaa vastaavan toistuvuustason 95 %:n luotettavuusväliin. Tämän perusteella voidaan arvioida, että kylmyysennätyksen toistuvuusaika olisi Lapissa nykyisen kaltaisessa ilmastossa muutamia satoja vuosia. Kuitenkin jo havaittavissa oleva ja odotettavissa oleva kasvihuoneilmiön voimistumisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen huomioiden uusien pakkasennätysten toteutuminen näyttää tulevassa ilmastossa hyvin epätodennäköiseltä.

Vaikka kylmempiä kuin  $-43$  asteen toistuvuustasoja esiintyy kuvan 1.6 kartoissa vain Pohjois- ja Itä-Suomessa, ollaan keskiboreaalisella ilmastovyöhykkeelläkin (kuva 1.2) laajalti  $-43$  °C:n vaiheilla. Esimerkiksi Kauhavalla on mitattu  $-44,5$  °C vuonna 1955 ja Alajärvellä  $-45,5$  °C vuonna 1966. Siten myös Länsi-Suomen keskiboreaalisella alueella voidaan tämän tason alitukseen varautua vielä ainakin talvina, joina jääpeite kattaa koko Pohjanlahden. Mainittakoon edelleen, että puolella alueesta, jolla kuvassa 1.6 vuorokauden alimman lämpötilan 1000 vuoden toistuvuustaso on  $-43 \dots -39$  °C, on havaittu  $41-45$  asteen pakkasia. Tämä viittaa siihen, että 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuustasojen todelliset toistuvuusajat ovat ainakin tuolla alueella paljon lyhyempiä, ehkä 90, 130 ja 200 vuotta. Toisaalta nämä koettuja havaintokausia ajatellen liian pitkät laskennallisesti saadut toistuvuusajat lienevät kuitenkin tulevana vuosikymmeninä ilmaston lämpenemistä ajatellen varsin realistisia.

Katsottaessa 50 vuoden toistuvuusaikaa vastaavaa vuorokauden alimman lämpötilan toistuvuustason jakaumaa (taulukko 1.6), niin nähdään, että pakkaslukemien erot etelän ja pohjoisen välillä ovat huomattavan suuria, jopa yli  $15$  °C.

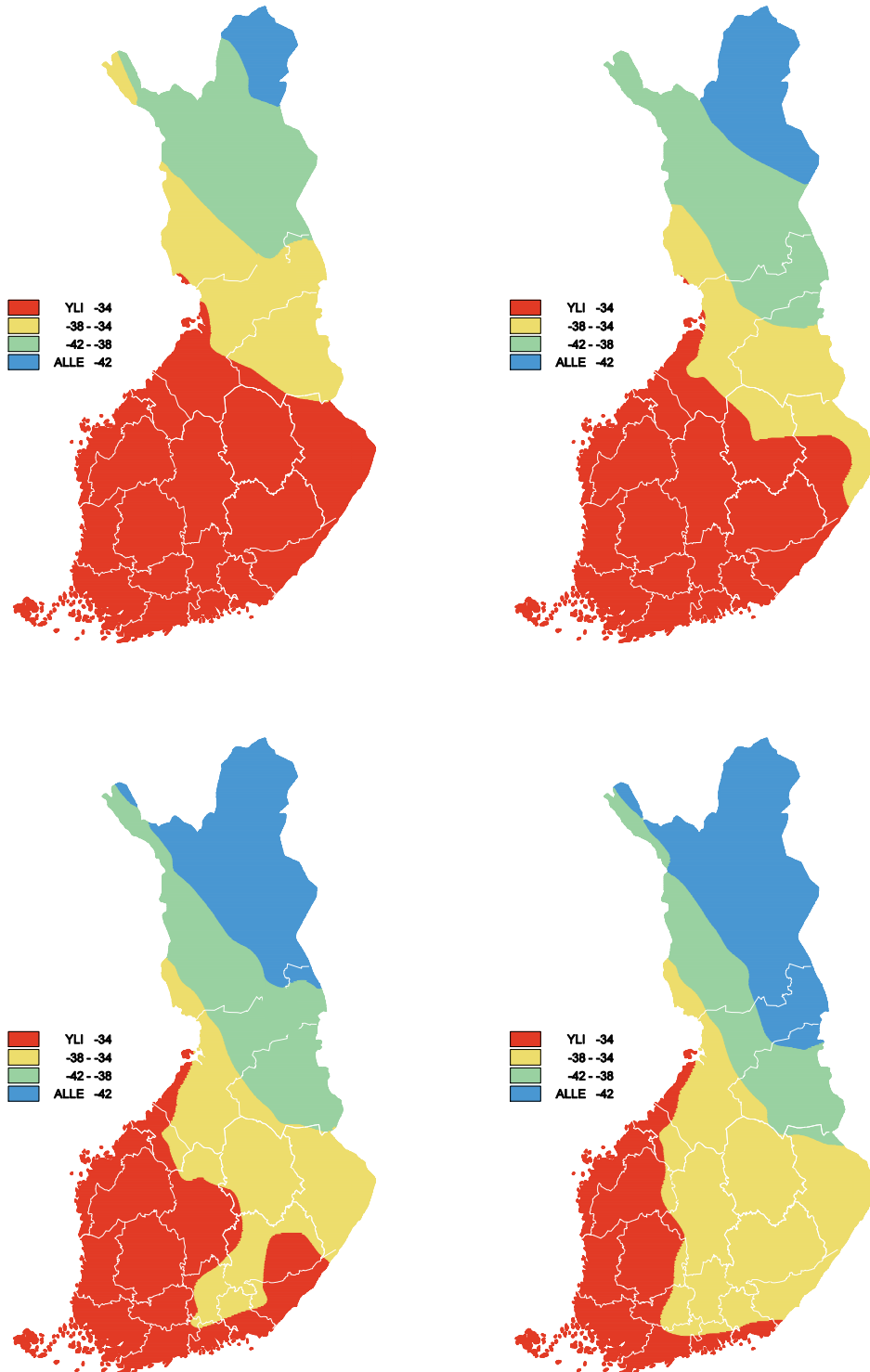


Kuva 1.6. Vuorokauden alimman lämpötilan toistuvuustasot 50 (vasen ylhäällä), 100 (oikea ylhäällä), 500 (vasen alhaalla) ja 1000 (oikea alhaalla) vuoden toistuvuusajoille.

### 1.4.5 Alin 24 tuntia kestävä lämpötila

Taulukko 1.7. 24 tuntia kestävän matalan lämpötilan toistuvuustasot sääasemittain 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Todennäköisimmän arvon (paras arvio) lisäksi annettu 95 %:n luotettavuusvälit (alaraja, yläraja).

Toistuvuus aika (v)	50			100			500		
	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja	alaraja	paras arvio	yläraja
<b>SÄÄASEMA</b>									
Maarianhamina, lentoasema	-25,4	<b>-21,5</b>	-19,6	-28,1	<b>-23,2</b>	-20,9	-34,2	<b>-26,5</b>	-23,2
Hanko, Russarö	-26,2	<b>-24,3</b>	-22,9	-27,7	<b>-25,5</b>	-24,2	-30,3	<b>-27,6</b>	-26,2
Salo, Kärkkä	-32,7	<b>-28,8</b>	-27,1	-34,7	<b>-30,0</b>	28,0	-38,6	<b>-31,8</b>	-29,3
Helsinki, Kaisaniemi	-29,7	<b>-27,4</b>	-26,0	-31,8	<b>-28,8</b>	-27,1	-36,1	<b>-31,4</b>	-29,1
Turku, lentoasema	-32,1	<b>-27,6</b>	-25,5	-34,5	<b>-29,0</b>	-26,6	-39,4	<b>-31,3</b>	-28,3
Kokemäki, Peipohja	-30,6	<b>-28,7</b>	-27,7	-31,4	<b>-29,5</b>	-28,5	-31,4	<b>-30,5</b>	-28,5
Heinola, asemantaus	-34,2	<b>-30,9</b>	-29,1	-36,6	<b>-32,4</b>	-30,3	-41,3	<b>-35,2</b>	-32,5
Jyväskylä	-33,6	<b>-31,1</b>	-29,8	-35,1	<b>-32,2</b>	-30,8	-38,0	<b>-33,9</b>	-32,2
Punkaharju, Laukans.	-33,5	<b>-31,2</b>	-29,9	-34,8	<b>-32,2</b>	-30,9	-37,3	<b>-33,8</b>	-32,3
Tohmajärvi, Kemie	-37,4	<b>-34,5</b>	-32,9	-39,1	<b>-35,6</b>	-34,0	-42,3	<b>-37,6</b>	-35,7
Vaasa, lentoasema	-29,8	<b>-27,4</b>	-26,1	-31,3	<b>-28,4</b>	-27,0	-34,1	<b>-30,0</b>	-28,3
Ähtäri, Myllymäki	-33,4	<b>-30,9</b>	-29,7	-34,8	<b>-31,9</b>	-30,6	-37,5	<b>-33,6</b>	-32,0
Vesanto, Sonkari	-34,9	<b>-31,7</b>	-30,1	-36,6	<b>-32,8</b>	-31,0	-40,1	<b>-34,6</b>	-32,3
Maaninka, Halola	-35,7	<b>-33,0</b>	-31,5	-37,2	<b>-34,0</b>	-32,4	-40,0	<b>-35,6</b>	-33,8
Joensuu, lentoasema	-34,6	<b>-31,6</b>	-30,1	-36,1	<b>-32,5</b>	-30,9	-39,1	<b>-34,0</b>	-32,0
Kajaani, lentoasema	-37,4	<b>-34,6</b>	-33,2	-39,2	<b>-35,8</b>	-34,2	-42,7	<b>-38,0</b>	-36,0
Siikajoki, Revonlahti	-36,4	<b>-33,2</b>	-31,7	-37,9	<b>-34,0</b>	-32,4	-40,7	<b>-35,3</b>	-33,4
Taivalkoski, kk	-43,4	<b>-39,9</b>	-38,1	-45,1	<b>-41,3</b>	-39,3	-48,5	<b>-43,5</b>	-41,4
Kuusamo, lentoasema	-40,5	<b>-37,7</b>	-36,0	-42,6	<b>-39,2</b>	-37,3	-46,7	<b>-41,8</b>	-39,6
Sodankylä, Lapin Ilmat. Tut.	-42,5	<b>-40,0</b>	-38,5	-44,4	<b>-41,3</b>	-39,7	-47,7	<b>-43,5</b>	-41,7
Muonio, Alamuonio	-42,5	<b>-39,4</b>	-37,9	-43,9	<b>-40,1</b>	-38,6	-46,4	<b>-41,2</b>	-39,4
Enontekiö, Kilpisjärvi	-40,9	<b>-37,8</b>	-36,2	-42,3	<b>-38,8</b>	-37,1	-45,2	<b>-40,4</b>	-38,5
Ivalo, lentoasema	-50,1	<b>-42,1</b>	-38,5	-54,8	<b>-44,5</b>	-40,1	-66,6	<b>-49,7</b>	-43,2
Utsjoki, Kevo	-47,9	<b>-42,5</b>	-40,0	-50,8	<b>-44,0</b>	-41,2	-57,0	<b>-46,8</b>	-43,1



Kuva 1.7. 24 tuntia kestävän matalan lämpötilan toistuvuustasot 50 (vas ylh), 100 (oik ylh), 500 (vas alh) ja 1000 (oik alh) vuoden toistuvuusajoille.

Taulukossa 1.7 on esitetty 24 tuntia kestävä matalan lämpötilan toistuvuustasot ja 95 %:n luotettavuusvälit laskettuina 50, 100 ja 500 vuoden toistuvuusajoille. Taulukon tuloksia tarkasteltaessa havaitaan, että alimpien 24 tunnin kestoisten lämpötilojen toistuvuustasojen 95 %:n luotettavuusvälit ovat kaikilla toistuvuusajoilla leveämmät kuin alimmilla vuorokausiminimeillä (taulukko 1.6). Tähän on luonnollinen selitys. Alimmat vuorokausiminimit kuvaavat lämpötilaa häiriöttömässä ja täydellisesti muodostuneessa inversiotilanteessa lumipeitteen päällä. Riippuen siitä, pysyykö sää tyynenä ja vaihtelee pilvisyys, nämä alimpien vuorokausiminimien tilanteet pysyvät joskus täysin häiriöttöminä koko vuorokauden, joskus taas eivät. Niinpä alimmat vuorokausimaksimit, joita käsiteltiin 24 tunnin kestoisten lämpötilojen tutkimisessa, ovat alimpia vuorokausiminimejä herkempiä vähäisillekin tuulen ja pilvisyyden vaihteluille. Tulosten epävarmuus myös kasvaa ekstrapoloitaessa tuloksia pidemmille toistumisajoille.

Lapin tulokset ovat epävarmimmat Ivalossa ja Kevossa, koska niiden havaintosarjat ovat lyhyet ja niissä on kuitenkin mukana vuoden 1999 erittäin ankarat pakkaset (katso luku 1.4.4). Näiden asemien liian alhaiset 24 tunnin kestoisen lämpötilan toistuvuustason arvot näkyvät myös 50 ja 100 vuoden toistuvuusajoja kuvaavissa kartoissa (kuva 1.7) lähinnä liian laajoina alle  $-42$  °C:n lämpötilan alueina (sininen väri). Kun haetaan luotettavimpia matalan lämpötilan 24 tunnin kestoisia toistuvuustason arvoja, niin ne löytyvät Sodankylästä. Sodankylän tulosten perusteella 24 tunnin kestoisen episodin lämpötila (95 %:n luotettavuusväli suluissa) voi Lapissa keskimäärin kerran viidessäkymmenessä vuodessa alittaa  $-40,0$  ( $-42,5 \dots -38,5$ ) °C, kerran sadassa vuodessa se voi alittaa  $-41,3$  ( $-44,4 \dots -39,7$ ) °C ja kerran muutamassa vuosisadassa se voi alittaa noin  $-44$  ( $-48 \dots -42$ ) °C viime aikojen kaltaisessa ilmastossa. Sen sijaan saaristossa, jota havaintoajasarjansa pituuden (1902-2008) puolesta edustaa parhaiten Hangon Russarö, 50 vuoden toistuvuustaso on  $-24,3$  ( $-26,2 \dots -22,9$ ) °C, 100 vuoden toistuvuustaso on  $-25,5$  ( $-27,7 \dots -24,2$ ) °C ja muutaman sadan vuoden toistuvuustaso on noin  $-28$  ( $-30 \dots -27$ ) °C.



## 1.5 SUOMEN LÄMPÖENNÄTYKSET

Tässä työssä alkujaan käytetyt havaintosarjat ulottuvat vuoteen 2008. Raportin kirjoitusvaiheen vielä ollessa osittain kesken Etelä-Suomessa koettiin poikkeuksellisen lämmin kesä 2010, jonka aikana Suomen tähänastinen kaikkien aikojen korkein hetkellinen lämpötila, Turussa 9.7.1914 mitattu 35,9 °C, ylittyi kahdella mittauspaiikalla, Joensuun lentoasemalla Liperissä ja Joensuun Linnunlahdessa. Suomen uudeksi lämpöennätykseksi kirjattiin 29.7.2010 Liperissä Joensuun lentoasemalla mitattu 37,2 °C, joka ylitti lähes 100 vuotta vanhan entisen ennätyksen reilulla asteella. Tämän uuden lämpöennätyksen johdosta vuorokauden ylimmän lämpötilan toistuvuustasot päätettiin analysoida uudelleen. Aikaisemmin käytössä olleiden sääasemien havaintoaikasarjoihin lisättiin vuosien 2009 ja 2010 havainnot, ja sen lisäksi otettiin mukaan kuuden uuden sääaseman ylimmän vuorokausilämpötilan havaintoaikasarjat (taulukko 1.1). Näiden nyt kaikkiaan 30:n sääaseman ja vuoteen 2010 asti ulottuvien vuorokauden ylimmän lämpötilan havaintoaikasarjojen pohjalta tehtiin uudet toistuvuusaikalaskelmat, joiden tulokset löytyvät taulukosta 1.3 ja kuvasta 1.3.

### 1.5.1 Vuoden 1914 lämpöennätys

Turussa vuonna 1914 mitatusta 35,9 °C:n lämpöennätyksestä on kulunut lähes sata vuotta. Tutkimuksemme tulosten mukaan vuorokauden ylimmän lämpötilan 500 vuoden toistuvuustason todennäköisin arvo (paras arvio) Turussa on 35,1 astetta 95 %:n luotettavuusvälin ylärajan ollessa 36,2 °C (taulukko 1.3). Toisaalta ennätyslämpötila 35,9 °C osuu myös 100 vuoden toistuvuustason 95 %:n luotettavuusväliin. Kun otetaan huomioon se, että pitkien toistuvuusaikojen analyysin kannalta Turun aikasarja on suhteellisen lyhyt (108 v.), voidaan todeta, että 35,9 °C:n suuruisen ennätyslämpötilan toistumisaika viime aikojen kaltaisessa Suomen ilmastossa on ”muutama sata” vuotta. Kyseessä oli siis hyvin harvinainen tapahtuma.

Turun ennätyslämpötila saavutettiin säätilanteessa, jossa korkeapaine Pohjois-Euroopassa pysyi yhtäjaksoisesti kolme viikkoa lähes paikoillaan. Korkeapaineen keskus sijaitsi suuren osan ajasta Pohjois-Suomessa, ja maahamme pääsi virtaamaan subtrooppiselta aavikolta ja arolta idästä hyvin lämmintä ilmaa, joka ei joutunut ylittämään muita meriä kuin Suomenlahden (Venäläinen, 2009). Sen sijaan Saharan pohjoislaidalta tulevien lämpimien

ilmavirtauksien matka Suomeen on hieman pidempi, ja sieltä tullessaan ne joutuvat ylittämään myös Välimeren, mikä viilentää niitä.

### **1.5.2 Vuoden 2010 uusi lämpöennätys: kuvaus säätilanteesta**

Kesällä 2010 Venäjää koetteli lämpöaalto, jonka taustoja ja ennustettavuutta pohditaan kansainvälisesti (mm. NOAA/ESRL/PSD, 2011). Myös Suomessa heinäkuun keskilämpötilan ennätykset rikkoutuivat useilla paikkakunnilla (Heikkinen ja Hutila, 2010; Hutila, 2010). Cassoun et al. (2005) esittämää luokittelua seuraten tehty analyysi osoittaa, että lähes kaikkina heinäkuun 2010 päivinä Euroopan ilmanpainejakamaa dominoi joko sulkukorkeapaine Venäjällä tai Atlantin matala (Jokela, 2011). Edellisessä tapauksessa ilmavirtaus Suomeen kävi pääosin idästä, jälkimmäisessä Saharasta ja Etelä-Euroopasta.

Heinäkuun 29. päivänä maahamme virtasi kaakosta Venäjältä poikkeuksellisen lämmintä mantereista ilmaa. Lämmin sektori ulottui päivällä kaakosta maan etelä- ja keskiosaan aina Oulun korkeudelle saakka. Kuuminta oli Itä-Suomessa, missä lämpötila oli vähintään 35,4 °C yhdeksällä Ilmatieteen laitoksen sääasemalla. Vuoden 1914 lämpöennätys 35,9 °C ylittyi kahdella sääasemalla, kun Joensuun lentoasemalla Liperissä mitattiin Suomen uusi lämpöennätys 37,2 °C ja Joensuun Linnunlahdessakin lämpötila kohosi 36,8 °C:een.

Hyvin lämpimän ilmavirtauksen lisäksi myös muita tekijöitä on voinut myötävaikuttaa siihen, että aiempi lämpöennätys ylittyi peräti 1,3 asteella ja että tämä tapahtui juuri Joensuun ympäristössä. Joensuuhun iltapäivällä (lämpöennätys mitattiin klo 16 ja 17 välillä) virrannut ilma oli kulkenut Laatokan ja Äänisen välistä maakannasta pitkin ja edelleen Pohjois-Karjalan itäosan vähäjärviden ylänköalueiden yli välttäen näin viileät vesistöt. Pyhäjärven järviaaltaan alueelle tullessaan ilma joutui laskevaan liikkeeseen (maaston korkeusero 50-100 m). Sen jälkeen Joensuun lentoasemaa kohti kulkiessaan ilma virtasi noin 5 km leveää kannasta pitkin, jota reunustaa pohjoispuolella Höytiäinen ja eteläpuolella Pyhäselkä. Joensuun lentokentän itäpuolella sijaitsee laaja hiekkakangas, jota auringon säteily lämmitti voimakkaasti koko iltapäivän ajan. Maaperä oli pitkään jatkuneesta sateettomuudesta johtuen jo entuudestaan kuiva, joten lämpöenergiaa ei kulunut maaperän kosteuden haihduttamiseen. Auringon säteilyn hiekkakankaalla vahvistama, yliadiabaattiseksi lämmennyt ilmakerros kulki edelleen kohti lentokenttää. Lentokenttäalueella auringon paahdama kuivaksi kulottunut

ruohikko ja myös auringon säteilyn kuumentamat asfalttipinnat mitä ilmeisemmin lämmittivät ilmakerrosta vielä lisää. Kaikkien edellä mainittujen osatekijöiden voidaan katsoa antaneen Joensuun lentokentälle kulkeutuneelle ilmalle oman lämpölisänsä ja luoneen näin suotuisat olosuhteet uuden 37,2 °C:n lämpöennätyksen synnylle.

Kyseisen päivän toiseksi korkein lämpötila, 36,8 °C, joka sekkin ylitti lähes asteella aikaisemman lämpöennätyksen, mitattiin siis Joensuun Linnunlahdessa. Sinne ilma oli kulkenut Joensuun kaupunkialueen yli saaden mahdollisesti jonkin verran lisälämpöä tummista asfalttipinnoista. Toisaalta Suomen Joensuun lisäksi uusia lämpöennätyksiä syntyi heinä-elokuussa 2010 myös esimerkiksi Venäjällä Moskovassa (38,2 °C) ja Jaskulissa (42,2°C) sekä Valko-Venäjällä Gomelissa (38,9°C) (Matsueda, 2011).

### **1.5.3 Vuoden 2010 uusi lämpöennätys: arvio toistuvuusajasta**

Suomen uusi ennätyslämpötila 37,2 °C on mukana luvussa 1.4.1 esitetystä vuorokauden ylimmän lämpötilan ääriarvoanalyysissä. Tarkastellaan seuraavaksi kuitenkin ensin Joensuun 63 vuoden mittaista aikasarjaa (1946–2008), johon ei vielä sisälly kyseistä ennätystä. Tämän aikasarjan pohjalta saadaan GEV-menetelmällä vuorokauden ylimmän lämpötilan 500 vuoden toistuvuustason parhaaksi arvioksi 32,8 astetta 95 %:n luotettavuusvälin ylärajankin ollessa ainoastaan 34,2 °C. Pidemmälläkin toistuvuusajoilla (10000-1000000 v.) hetkellisen lämpötilan toistuvuustason parhaan arvion käyrä ainoastaan lähestyy asymptoottisesti jotakin 33 °C:en ja 34 °C:en välissä olevaa toistuvuustason arvoa, mutta ei koskaan saavuta arvoa 34 °C. Siis Joensuun lentokentällä vuosina 1946-2008 mitatun vuorokauden ylimmän lämpötilan aikasarjan pohjalta tehdyllä, GEV-menetelmään perustuvalla ääriarvoanalyysillä ei suurillaakaan toistuvuusajan arvoilla päästä uuden 37,2 °C:n ennätyslämpötilan tasolle.

Kun vuorokauden ylimmän lämpötilan havaintoaikasarjoja pidennetään kahdella vuodella (2009 ja 2010) ja ääriarvoanalyysiin sisällytetään täten myös kesän 2010 ennätyslämpötila, saadaan taulukon 1.3 tulokset. Niiden mukaan 500 vuoden toistuvuusajaa vastaava vuorokauden ylin lämpötila 95 %:n luotettavuusväleinen on Joensuussa 36,1 (34,7-38,9) °C. Lähelle uutta ennätyslämpötilaa päästään ainoastaan yhdellä sääasemalla, Vieremän Kaarakkalassa, missä 500 vuoden toistuvuustaso on 37,1 (35,1-41,8) °C. Samalla nähdään, että Suomen uusi lämpöennätys osuu Kaarakkalassa 100 vuoden toistuvuusajaa vastaavan toistu-

vuustason 95 %:n luotettavuusväliin. Tämän perusteella voidaan antaa ensiarvio, että ennätyslämpötilan toistuvuus aika viime aikojen ilmastossa on vähintään ”jokunen sata vuotta”.

Ääriarvoanalyysillä voidaan arvioida paitsi tiettyä toistuvuus aikaa vastaavaa lämpötilaa, myös suoraan tiettyä lämpötilaa vastaavaa toistuvuus aikaa. Vuoteen 2010 ulottuvasta, 65 vuotta pitkstä Joensuun aikasarjasta analysoituna uuden ennätyslämpötilan 37,2 °C toistuvuus ajaksi saadaan parhaana arviona 2300 vuotta ja 95 %:n luotettavuus välin alaraja huomioden 150 vuotta. Nämä tulokset perustuvat yleistettyyn ääriarvojakaumaan (GEV), jossa otetaan huomioon tietyn tarkastelupaikan vuotuiset maksimiarvot kaikkina vuosina. Näin muodostettuun aikasarjaan tulee mukaan siis myös tavanomaisia vuosia tavanomaisine ylimpene lämpötiloineen. Vertailun vuoksi tarkasteltiin Joensuun vuotuisista vuorokausimaksimiarvoista muodostuvan aikasarjan suurimpia arvoja ja sovitettiin niihin yleistetty Pareto-jakauma eli ns. GPD-jakauma (Coles, 2001). Ilmeni, että tulos poikkesi jonkin verran GEV-menetelmällä saadusta: 37,2 °C:n toistuvuus ajan paras arvio Joensuussa oli GPD-jakaumaa käytettäessä pikemminkin satoja kuin tuhansia vuosia. Myös GPD-menetelmällä arvioituna kyseessä on kuitenkin edelleenkin hyvin poikkeuksellinen tapaus.

Lopuksi laskettiin havaintoihin perustuva toistuvuus aika sille, että 37,2 °C:n lämpötilan ylittyy jossakin päin Etelä- ja Keski-Suomea. Vuodesta 1948 alkaen poimittiin kullekin vuodelle eri havaintoasemien (taulukko 1.1) ylimmistä lämpötiloista suurin arvo, ja sovitettiin ääriarvojakauma (GEV) näin muodostettuun havainto aikasarjaan. Tästä tuloksena saatu toistuvuus aika oli kuitenkin vain hieman lyhyempi kuin pelkästään Joensuun havainto aikasarjan avulla laskettu. Vuosittainen todennäköisyys sille, että vuoden 2010 lämpöennätys ylittyy jossakin päin Suomea, on siis tällä tavoin tarkasteltuna viime aikojen kaltaisessa ilmastossa erittäin pieni.

Toistuvuus aikojen analyysimenetelmä (GEV) on tässä tutkimuksessa osoittautunut suhteellisen herkäksi lämpötilan havainto aikasarjojen jakauman muodolle sekä myös aikasarjoissa esiintyvien poikkeuksellisen suurien äärevien arvojen suhteen. Tämä herkkyys tulee esille erityisesti silloin, kun on kyse suhteellisen lyhyistä aikasarjoista. Edellä esitetty Joensuun lämpöennätyksen tapaus on ääriesimerkki tämän kaltaisesta GEV-menetelmän herkkyydestä. Kun käytettiin ainoastaan kaksi vuotta pidempää, vuoteen 2010 ulottuvaa havainto aikasarjaa, johon nyt sisältyy yksi muita havaintoarvoja huomattavasti (5,3 °C) korkeampi vuorokausi-

maksimi, arvio 37,2 °C:n toistuvuusajasta muuttui dramaattisesti: äärettömästä siirryttiin äärelliseen, joskin edelleen hyvin pitkään toistuvuusaikaan.

Havaintoaikasarjoihin mahdollisesti jo sisältyvää ilmastossa tapahtunutta lämpenemistä ei ole otettu huomioon tehdyissä ääriarvoanalyysissä. Ilmastomallien ennustaman ilmastomuutoksen edetessä ja ilmaston lämmitessä myös 37,2 °C:n suuruisen lämpötilan toistuvuus-aika tulee huomattavasti lyhenemään. Lisää ilmastomuutoksen vaikutuksista ääriarvoihin on luettavissa mm. Barriopedron et al. (2011) artikkelista, Räisänen (2010) ja Ruosteenojan (2010) kirjoituksista sekä raportista Jylhä et al. (2009).

## 1.6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Varsinkin vuorokauden alimman lämpötilan toistuvuustasot noudattavat hyvinkin tarkasti Suomen ilmastovyöhykkeiden (etelä-, keski- ja pohjoisboreaalinen) maantieteellistä jakaumaa, mikä nähdään vertaamalla kuvia 1.6 ja 1.2. Tämä ei sinänsä ole kovin yllättävä tulos, sillä lämpötilan toistuvuustasojen laskenta perustuu lämpötilan havaintoaikasarjoihin, jotka ovat myös mukana ilmastovyöhykkeiden määrittelyssä. Alimman 24 tunnin kestoisen lämpötilan toistuvuustasojen alueellisissa jakaumissa (kuva 1.7) yllä mainittujen ilmastovyöhykkeiden rajat eivät näy yhtä hyvin etenkin 500 ja 1000 vuoden toistuvuustasolla, mihin toki voi vaikuttaa myös karttapiirrosten lämpötilarajojen valinta. Sen sijaan ylimpien lämpötilojen toistuvuustasojen alueellisilla jakaumilla (kuvat 1.3–1.5) ei ole havaittavissa alimpien lämpötilojen kaltaista selvää yhteneväisyyttä yllä mainittujen ilmastovyöhykkeiden maantieteellisen jakauman kanssa.

Alimpien lämpötilojen toistuvuustasoissa on Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä huomattavan suuria lämpötilaeroja, noin 10–15 °C (taulukot 1.6–1.7). Sen sijaan korkeiden lämpötilojen toistuvuustasojen alueellisissa jakaumissa etelän ja pohjoisen välinen ero jää hyvinkin pieneksi. Vuorokauden ylimmälle lämpötilalle ja ylimmälle kuuden tunnin kestoiselle lämpötilalle etelän ja pohjoisen välinen ero on 2–4 °C (taulukot 1.3 ja 1.4), mutta ylimmän 24 tunnin kestoiselle lämpötilalle se jää suurelta osin vain noin 2 °C:een (taulukko 1.5).

Tässä tutkimuksessa tuli jälleen esille se tärkeä seikka, että jos halutaan luotettavasti ja mahdollisimman tarkasti määrittää jonkin sääsuureen ääriarvot ja laskea sen toistuvuustasojen arvot pitkille toistuvuusajoille, niin on hyvin olennaista, että käytettävissä on mahdollisimman pitkät havaintoaikasarjat. Lyhyiden havaintoaikasarjojen rajoitteet tulivat selvästi esille etenkin sellaisten sääasemien kohdalla, joilta oli käytettävissä vain noin 50 vuoden mittaiset lämpötilan havaintoaikasarjat ja varsinkin silloin kun myös havaintoaikasarjan jakauman muoto oli poikkeava. Tässä tutkimuksessa käytetyt ns. pitkät lämpötilan havaintoaikasarjat ovat suurelta osin noin sadan vuoden mittaisia, jotkut hieman lyhempiä ja yksi jopa yli 150 vuotta pitkiä (taulukko 1.1). Näiden pitkien aikasarjojen avulla voidaankin jo kohtuullisella tarkkuudella arvioida lämpötilan toistuvuustason arvoja joidenkin satojen vuosien toistuvuusajalla, mutta mentäessä lähemmäs tuhannen vuoden toistuvuusaikaa laskentamenetelmän rajoitukset tulevat vastaan, ja tulokset ovat enää suuntaa antavia.

## **KIITOKSET**

Ensimmäinen osa on osittain tehty Kansallisen ydinenergiaturvallisuuden tutkimusohjelman (SAFIR2010) rahoituksella. Tutkimuksen edistymistä tuki myös Suomen Akatemian rahoittama hanke "Ilmastolliset normaali- ja ääriarvot muuttuvassa ilmastossa" (päätos 127239).

Toistuvuustasokarttojen kriging-interpoloinnissa ja karttojen piirroksissa olemme saaneet korvaamatonta apua Pentti Piriseltä, jolle tästä konsulttiinnista suuret kiitokset. Lisäksi haluamme kiittää Mikko Alestaloa hyvistä kommentteista ja korjausehdotuksista. Tämän lisäksi haluamme osoittaa suuret kiitokset Jaakko Forsiukselle, joka tehnyt ison työn eri vaiheiden korjausten ja lisäysten muokkaamisessa ja huolehtinut raportin ulkoasun saattamisesta julkaisukuntoon.

## KIRJALLISUUSVIITTEET

- Barriopedro, D., Fischer, E.M., Luterbacher, J., Trigo, R.M., García-Herrera, R., 2011: The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science* 332, 220-4.
- Cassou, C., L. Terray and A. S. Phillips, 2005: Tropical Atlantic influence on European heat waves, *J. Clim.*, **18**, 2805-2811.
- Coles, S., 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer-Verlag, Lontoo. 204 p.
- Fisher, R. and Tippett, L., 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of sample. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 24, p.180-190.
- Gilleland, E., Katz, R. and Young, G., 2005. Extremes toolkit (extRemes): Weather and climate applications of extreme value statistics. <http://www.assessment.ucar.edu/toolkit/>.
- Gnedenko, B.V., 1943. Sur la distribution limite du terme maximum d'une serie aleatoire, *Annals of Mathematics*, 44, p. 423-453.
- de Haan, L., 1976. Sample extremes: an elementary introduction. *Statistica Neerlandica* 30, p. 161-172.
- Heikkinen, K. ja Hutila, A., 2010: Lämpöennätysten heinäkuu. Ilmatieteen laitos, *Ilmastokatsaus 7/2010*, s. 9.
- Hutila, A., 2010: Heinäkuun 2010 helteet poikkeuksellisia. Ilmatieteen laitos, *Ilmastokatsaus 7/2010*, s. 7-8.
- Jokela, A., 2011: Sään ääri-ilmiöt luonnollista vaihtelua kuvaavassa 1200-vuotisessa ilmastokokeessa. Pro gradu- tutkielma. Helsingin yliopisto, fysiikan laitos, 76 s, 19 liites.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S., Seitola, T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten ACCLIM-hankkeen raportti. Ilmatieteen laitos *Raportteja 2009:4*, 102 s.
- Katz, R.W., Brush, G.S. and Parlange, M., 2005. Statistics of extremes: Modeling ecological disturbances. *Ecology*, 86(5), 1124–1134.
- Matsueda, M., 2011: Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L06801, doi:10.1029/2010GL046557
- NOAA/ESRL/PSD, 2011: Ongoing Scientific Assessment of the 2010 Western Russia Heatwave. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/csi/events/2010/russianheatwave/> (15.10.2011)
- Räisänen, J., 2010. Ilmastonmuutos ja heinäkuun helteet. Ilmatieteen laitos, *Ilmastokatsaus 8/2010*, s. 4-6.
- Ruosteenoja, K., 2010: Miten helle hellii meitä tulevaisuudessa? Ilmatieteen laitos, *Ilmastokatsaus 8/2010*, s. 6-8.
- Solantie, R., 2003. On definition of ecoclimatic zones in Finland. *Reports 2003:2*. Ilmatieteen laitos, p. 44.
- Solantie, R., 2009. Kuukausittaiset kylmyysennätykset Suomessa 1971-2000 Osa 1. Ilmatieteen laitos, *Ilmastokatsaus 05/09*.
- Venäläinen, A., Saku, S., Kilpeläinen, T., Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Vajda, A., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa. *Raportteja 2007:4*. Ilmatieteen laitos, 81 s.
- Venäläinen, A., 2009. Suomen huippuhelteistä. Ilmatieteen laitos, *Ilmastokatsaus 07/09*.





## **Osa 2**

Kuukausittaiset kylmyysennätykset toistumisaikoinen  
Suomessa vuosina 1971-2000

## **Part 2**

Monthly records of minimum temperatures, with their return periods,  
in Finland in 1971-2000

## Osa 2: Tiivistelmä

Tutkimuksessa kartoitettiin 30-vuotijakson 1971–2000 kalenterikuukausittaiset kylmyysennätykset kaikista käytettävissä olevista Ilmatieteen laitoksen havaintosarjoista. Asemakohtaiset arvot ryhmiteltiin aluearvoiksi käyttäen metsäkasvillisuuden vyöhykejakoja, joka voidaan määritellä ilmastollisin perustein ja jota voi siksi kutsua myös ilmastollis-ekologiseksi vyöhykejakoiksi. Tämä jako sopii kylmyysennätysten tarkasteluun sikäli, että metsien tiheys ja korkeus pienenevät vyöhykkeittäin pohjoiseen päin, mikä vähentää ilmakehän rajakerroksen pystysuoraa sekoittumista ja terävöittää maanpintainversioita. Lisäksi on otettava huomioon suurten järvien ja Itämeren vaikutus. Tällä tavoin päästiin mahdollisimman vähin aluein mahdollisimman pieniin hajontoihin alueiden sisällä ja toisaalta tilastollisesti erittäin merkittäviin eroihin alueiden välillä.

Kylmyysennätysten vuodenaikaiskulussa havaittiin talvi- ja kesäjaksot, joiden aikana kalenterikuukausittaisten ennätysten erot ovat pienehköjä, sekä selvät kevät- ja syysharppaukset. Harppausten selityksenä on se, että talven alkaessa ja loppuessa alle -20 asteen lämpötilat ovat mahdollisia ainoastaan lumipeitteisen maan päällä vallitsevissa inversiotilanteissa, tällöinkin vain jos päivälläkin pysytään pakkasella eikä lumen sulamisvettä muodostu. Nämä suurten kevät- ja syysharppausten ajankohdat siirtyvät keskitalveen päin sekä etelään päin mentäessä että ilmaston lämmitessä. Kevätharppaus on varhaistunut kauteen 1931–1960 verrattuna 10 – 15 vrk.

Jakson 1971–2000 kaikkiin havaintosarjoihin perustuvat talven pakkasennätykset olivat useimmilla ilmastollis-ekologisilla vyöhykkeillä melkein samat kuin tämän raportin osassa 1 käytetyistä Suomen pisimmistä sarjoista analysoidut 42 vuoden toistuvuustasot. Ainoastaan Lapissa, meren saaristoissa ja rannikon suurkaupunkia edustavassa Helsingin Kaisaniemessä edelliset olivat 2–4 °C jälkimmäisiä alemmat. Myös vuoden kylmyysennätysten 50, 100, 500 ja 1000 toistuvuustasoille laskettiin aluearvot; ne eivät ole niin alttiita ääriarvoanalyysin ekstrapolointiväärityksille kuin asemakohtaiset arvot.

## Part 2: Abstract

The temperature records in Finland in 1971–2000 were studied by calendar months, using all available series. The results were grouped using circumpolar forest vegetational zones that are exactly determined by climate and called 'ecoclimatic' zones. This division into zones is made also because the density of forest stands decrease stepwise northwards, which lessens vertical mixing and sharpens inversions northwards. Additionally, the great impact of the water bodies of great lakes and the Baltic Sea at its coasts and in its archipelago was taken into account. In this way, the regional variation within the zones could be minimized and the differences between the zones maximized, to be also statistically highly significant.

An essential feature in the seasonal variation in all regions is the existence of winter and summer levels with only slight differences between single calendar months, and steep leaps between the two levels. The reason for this structure is that at the beginning and end of winter, temperatures below  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  are possible only during inversion situations on snow covered land, and only if temperature stays below zero also at day-time. These leaps get closer to mid-winter southwards and with the climatic warming. The spring leap occurred 10–15 days earlier in 1971–2000 than in 1931–1960.

The lowest temperature records in winter were in the most of Finland close to the 42 years' return period temperatures in the longest series, except in Lapland, the Baltic archipelago and the coastline Helsinki city where they were 2–4  $^{\circ}\text{C}$  lower. The regional means of annual minima, corresponding to 50, 100, 500 and 1000 years' return periods are also given, being less sensitive to extrapolation bias than corresponding values of single series.

## SISÄLLYSLUETTELO

2.1 JOHDANTO	51
2.2 MENETELMÄ JA AINEISTO	53
2.2.1 Aluejako	53
2.2.2 Lämpötila-aineisto	56
2.2.3 Merkkien selityksiä	57
2.2.4 Toistuvuusaika-analyysi	57
2.3 TULOKSET	61
2.3.1 Kuukausittaiset kylmyysennätykset 1971–2000	61
2.3.2 Kevät- ja syysarppaukset 1971–2000	62
2.3.3 Talvikuukausien pakkasennätykset 1971–2000	65
2.3.4 Kylmyysennätysten vaihtelut alueiden sisällä	65
2.3.5 Kylmyysennätysten erot alueiden välillä	66
2.3.6 Kylmyysennätysten osa-alue tarkastelua	67
2.3.7 Korkeiden paikkojen kylmyysennätykset	69
2.3.8 Kauden 1971–2000 kylmyysennätykset suhteessa kausiin 1931–1960 ja 1931–2000 sekä kehitys vuosikymmenittäin	71
2.3.9 Vuoden kylmyysennätykset kautena 1971–2000 sekä niiden toistumisajat sekä 40, 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistumistasot alueellisesti tarkasteltuina	74
2.4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	77
KIITOKSET	81
KIRJALLISUUSVIITTEET	82
TAULUKOT	84

## 2.1. JOHDANTO

Osan 2 tarkoituksena on tarkastella eri kalenterikuukausien ja koko vuoden kylmyysennätystä kaikkien kauden 1971–2000 havaintosarjojen (Drebs & al., 2001) perusteella Suomen eri ilmastollis-ekologisilla vyöhykkeillä. Näiden kylmyysennätysten aluearvojen toistuvuusajoja arvioidaan osassa 1 käytettyjen pitempien, mutta määrältään niukempien sarjojen valossa. Lisäksi arvioidaan matalien lämpötilojen aluearvojen toistuvuustasoja 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuusajoille mahdollisimman laajan havaintoaineiston avulla. Alustavia tuloksia on esitetty Solantien (2009a, b) kirjoituksissa.

Kauden 1971–2000 sarjat olivat keskimäärin 28,7 vuoden pituisia, joten niiden kylmyysennätykset vastaavat Beardin (1943) kaavan mukaan 42 vuoden toistumisaikoja, tai tulevaisuuteen sovellettuna vieläkin pidempiä, koska ilmasto on lämpenemässä. Ottamalla mukaan kaikki havaintosarjat päästään mahdollisimman tarkkoihin alueellisiin analyyseihin. Suomessa kylmyysennätysten alueellinen jakautuma on kaikkina kuukausina jokseenkin sama, koska siihen vaikuttaa pääasiassa korkeus merenpinnasta, leveysaste, järvisyys ja merellisyys sekä ilmakan sekoittumiskerroksen laatu ja paksuus eli käytännössä metsäkasvillisuusvyöhykkeet. Siksi tulokset laskettiin asemakohtaisten kylmyysennätysten aluekeskiarvoina ja hajontoina samoille, sisäisesti mahdollisimman homogeenisille alueille. Tällöin saatiin myös tasoitettua se 'häly', joka johtuu niin havaintopaikan mikroklimatologiasta kuin sään vaihteluista. Näin voitiin täydentää tämän raportin osan 1 digitalisoituihin yksittäisiin havaintosarjoihin perustuvaa ääriarvotutkimusta, samoin kuin vastaavaa aikaisempaa analyysiä (Venäläinen & al., 2007). Erityisesti tarkasteltavana on kylmyysennätysten vuodenaikaiskulku, jolle on tyypillistä selvä harppaus tasolta toiselle keväällä ja syksyllä.

Suomessa, kuten muuallakin Pohjois-Euroopan melko merellisessä väli-ilmastossa, talvi-kuukausien keskilämpötilat ovat noin 20 °C korkeammat kuin samoilla leveysasteilla Kanadan tai Siperian mannerilmastossa. Meillä lämpimän ilman advektio Atlantilta määrää vallitsevat keskimääräiset talvilämpötilat. Siksi niiden alueellinen jakauma on Suomessa erilainen kuin talvien kylmyysennätysten: edelliset laskevat Atlantin ja Itämeren vaikutuksen vähetessä koilliseen päin, jälkimmäiset pohjoiseen. Sen sijaan mannerilmastoissa inversio-tilanteet vallitsevat, ja kylmyysennätysten ohella myös keskilämpötilat määräytyvät ennen

kaikkea säteilytaseen mukaan. Vaikka tammikuun keskilämpötilat Pohjois-Euroopassa jäävät 9 °C lauhemmiksi kuin samoissa ilmastollis-ekologisissa vyöhykkeissä Keski- ja Itä-Kanadassa, noin 1100 km etelämpänä, vastaava ero kylmyysennätyksissä on vain noin 5 °C. Kylmyysennätysten ero kuvastaa sitä, että arktinen merijää ulottuu talvella Kanadassa ja Siperiassa mantereeseen asti toisin kuin Suomessa. Pohjois-Euroopan lämpötilajakauma on siten talvella voimakkaasti vino, toisin kuin mannerilmastossa. Pohjoisen Jäämeren jääpeitteen vähittäinen vetäytyminen ilmaston muuttuessa ei tunnu kylmyysennätyksissä talvella läheskään niin paljon kuin kevätharppauksen aikaan, koska tammi- ja helmikuussa Jäämeren jään reuna on aina paljon kauempana Suomesta kuin kevättalvella.

Talvikuukausien keskilämpötilan viimeaikaiseen nousuun Suomessa (Tietäväinen & al., 2009) liittyy keskimääräisten vuosiminimienkin lauhtuminen, joka johtuu enemmän lounaisvirtausten yleistymisestä kuin suoraan kasvihuoneilmion voimistumisesta; tosin kasvihuoneilmion voimistuminenkin vähitellen lisäänee luonaisvirtauksia (Solantie & al., 2007). Toisaalta lounaisvirtausten dominoiminakin kausina sattuu joskus voimakkaita arktisia kylmänpurkauksia, joten voidaan päätellä, että kylmyysennätykset ovat tällaisina kausina mahdollisia, vaikkakin varsin satunnaisia. Talven kylmyysennätysten alttiutta sään vaihteluille lisää myös se, että maasta ja vedestä ilmakehään johtuvan lämmön tasaava vaikutus puuttuu talvella. Siksi sään vaihteluilla on erityisesti talvella osuutensa kuukausiminimien ennätysten alueelliseen jakautumaan jopa 30 vuoden pituisina kausina niin, että niiden toistuvuus aika vaihtelee alueittain. Siksi erityisesti talven pakkasennätyksiä tutkittaessa on tarpeen tutkia pitkiä havaintosarjoja.

Talvissäiden suuren vaihtelevuuden takia tutkittiin myös osan 1 pitkien sarjojen avulla, mitä toistumisaikoja kautena 1971–2000 havaitut vuoden absoluuttiset minimi, eli käytännössä tammikuun kylmyysennätykset, todella kullakin alueella vastaavat odotetun 42 vuoden sijasta. Tämän tarkastelun avulla voidaan myös varmistua osan 1 digitoitujen pitkien aikasarjojen ja niistä laskettujen 50 vuoden toistuvuusarvojen alueellisesta edustavuudesta, kun lasketaan vuoden kylmyysennätysten aluekeskiarvot kaudelle 1971–2000 vain digitoiduista pitkistä aikasarjoista ja verrataan niitä vastaaviin kaikista kauden 1971–2000 toimineista asemista saatuihin.

Laskettaessa 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuustasoja joudutaan ekstrapolointeihin ja niistä johtuviin epävarmuuksiin. Tätä epävarmuutta pyrittiin vähentämään siten, että otettiin mukaan myös digitoimattomien pitkien sarjojen ennätykset; toisaalta yksittäisten sarjojen harhaisuus vähenee olennaisesti aluearvoja laskettaessa.

Kylmyysennätysten muuttumista ilmaston lämmitessä on tietysti aiheellista käsitellä, erityisesti talvella ja suurten kevät- ja syysharppausten aikana, niin jaksoa 1971–2000 edeltäneiden kuin sen jälkeisten havaintojen valossa.

## **2.2 MENETELMÄ JA AINEISTO**

### **2.2.1 Aluejako**

Aluejaon perusrungoksi valittiin ilmastollis-ekologiset vyöhykkeet. Vyöhykkeet on alunpitäen määritelty kasvillisuusvyöhykkeinä (Kalela, 1961; Ahti, Hämet-Ahti & Jalas 1981), jotka ovat jokseenkin kokonaan ilmaston määrittämiä; rajat voidaan määrittää pienimpiä piirteitä myöten kasvukauden lämpöolojen ja maan lämpöoloja kuvaavan roudanpaksuuden funktiona (Solantie, 2005). Toisaalta vyöhykkeet ilmentävät puuston keskikorkeutta, jolla on keskeinen vaikutus pystysuoraan sekoittumiseen maanpintainversion tilanteissa, joiden aikana jokseenkin kaikki kylmyysennätykset saavutetaan (Solantie & Pirinen, 2003). Puuston korkeuden vähetessä vyöhyke vyöhykkeeltä pohjoiseen päin käyvät pystysuora sekoittuminen vähäisemmäksi ja inversiot voimakkaammiksi. Tämän nojalla manner-Suomi jaettiin yksinkertaisesti etelä-, keski- ja pohjoisborealiin (kuva 2.1) kuitenkin siten, että keski- ja eteläborealin välinen sauma ('vaihettuma') muodosti oman alueensa. Vaihettuma ottaa huomioon myös ilmaston lievän mantereistumisen itään päin siten, että se sijoitettiin kylmyysennätysten mukaisesti Itä-Suomessa etelä- ja keskiborealin välisen rajaviivan eteläpuolelle mutta Perämeren rannikolla keskiborealin puolelle.

Metsien lisäksi suuret vesistöt vaikuttavat voimakkaasti kylmyysennätyksiin, sillä tasoittaessaan lämpötilan vaihteluita vesistöt estävät avovesikautena pintainversioita. Myös jääpeiteaikana, jolloin kitka vesistöjä peittävän jään ja lumen sileällä pinnalla on pieni, voi-

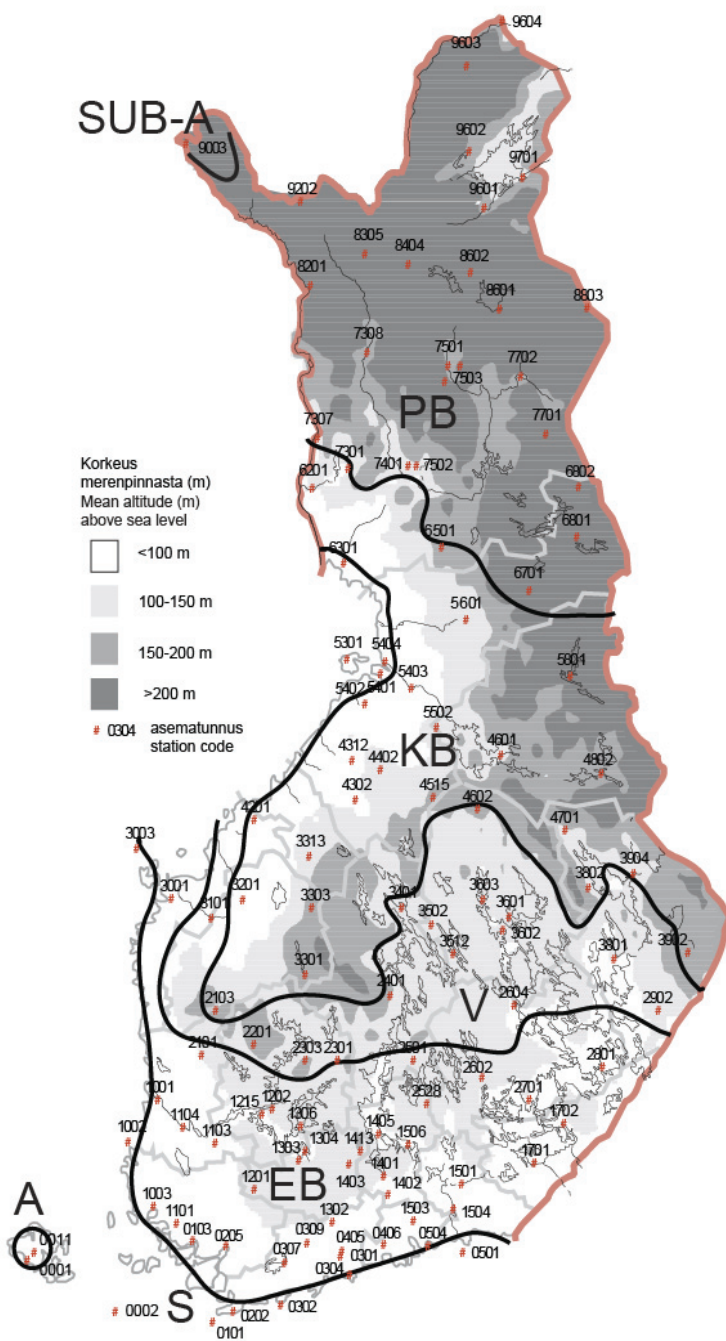
makkaan tuulen sekoittava vaikutus heikentää usein pintainversion muodostumista. Suomen runsas- ja syväjärvisimmät alueet sijaitsevat eteläboreaalissa ja vaihettumassa, joten järvisyys jyrkentää kylmyysennätysten muutosta vaihettumasta keskiboreaaliin päin. Erityisesti syys-talvella suurten ja syvien järvien vaikutus ympäristönsä pakkasennätyksiin on suuri, sillä ne pysyvät sulina vielä pysyvän lumipeitteen tultua.

Tätä tutkimusta varten selvitettiin järvien vasta valmistuneeseen syvyyskartoitukseen perustuen (Suomen ympäristökeskus, Merenkululaitos ja Maanmittauslaitos/Kansalaisen karttapaikka) ne järvet ja suurten järvien selät, joissa on yli 50 metrin syvänteitä; näiden lämpövarastoltaan suurimpien järvien keskisyvyudet ovat 20 metrin luokkaa. Ilmeni, että näin syviä järviä on Suomessa 48 kpl, joista peräti 42 on eteläboreaalissa ja vaihettumassa; lisäksi suurissa järvissä on useita selkiä, joissa on yli 50 metrin syvänteitä, Päijänteessä, Saimaassa ja Inarissa toistakymmentä kussakin. Lisäksi järviä, joiden suurin syvyys on on 30–49 m, on vieläkin lukuisammin kuin vähintään 50 metriin yltäviä. Runsasjärvisten alueiden asemat eteläboreaalissa ja vaihettumassa käsiteltiinkin omina ryhminään, samoin eteläboreaalissa Selkämeren ja Merenkurkun rannikkokaistaleiden asemat 20 km leveydeltä.

Vaihettuma käsittää pohjoisen Järvi-Suomen, jossa kylmyysennätykset vaihtelevat suurten ja syvien järvien ympäristöjen eteläboreaalille tyypillisten arvojen ja suurten järvien välisten vedenjakajien keskiboreaalille tyypillisten arvojen välillä. Lisäksi vaihettumaan kuuluu lännempänä kapea kaistale, joka kiertää keskiboreaalisen Suomenselän kielekkeen ympäri ja asettuu sitten Perämerta kiertäväksi rannikkonauhaksi. Eteläboreaali ulottuu etelärannikon tasoitetulta rantaviivalta noin 62. leveysasteelle, jonka eteläpuolella suuret ja syvät järvenselät ovat sulina tavallisesti joulukuulle, lauhoina talvina tammikuulle, ja jossa puustot ovat Suomen korkeimmat eikä vähäpuustoisia jouto- ja kitumaita juuri ole.

Suomenlahden, Saaristomeren ja Selkämeren saaristot muodostavat kylmyysennätysten puolesta eteläboreaaliakin lauhemman, mutta maapinta-alaltaan mitättömän pienen alueensa. Toisaalta Ahvenanmanner on tarpeeksi iso poiketukseen saaristosta. Helsingin Kaisaniemi taas on omalaatuisensa suurkaupungin vaikutuksen takia.





SUB-A = Subarktinen  
 PB = Pohjoisboreali  
 KB = Keskiporeali  
 V = Vaihtuma  
 EB = Eteläboreali  
 S = Saaristo  
 A = Ahvenanmanner

Kuva 2.1 Kylmyysennätysten aluejako ja havaintoasemien sijainti (luettelo: Drebs & al. 2002)

### 2.2.2 Lämpötila-aineisto

Tutkimuksen perusmuuttujina käytettiin kalenterikuukausittaisia asemakohtaisia kylmyysennätyksiä kautena 1971–2000. Pääanalyysiin otettiin mukaan lähes kaikki kauden 1971–2000 käsittävät ilmastosarjat, jotka Drebs & al. (2001) olivat täydellisinä tai lähes täydellisinä valinneet tilastojulkaisuunsa; sen 114 havaintosarjasta 66 oli täydellisiä, 40 sarjaa käsitti 25–29 vuotta ja 8 sarjaa 21–24 vuotta. Lähiympäristöään korkeampien paikkojen (Vieremän Kaarakkala, Pyhännän Viitamäki, Rovaniemen lentoasema ja Sallan Värriötunturi) tulokset käsiteltiin kuitenkin muusta joukosta poikkeavina erikseen. Asemien sijainti ja kuuluminen eri ilmastollis-ekologisiin vyöhykkeisiin on esitetty taulukossa 2.1 sekä kuvassa 2.1. Asemakohtaisten arvojen keskiarvot ja hajonnat sekä keskiarvojen keskivirheet laskettiin erikseen kullekin tarkasteltavalle alueelle. Tällöin jätettiin pois vielä Ylitornion Meltosjärvi ja Ranua, koska ne sijaitsevat aivan pohjois- ja keskiboreaalien rajalla ja ovat arvoiltaan aluekeskiarvojen puolivälissä. Sama koskee vaihettuman ja keskiboreaalien rajalla olevaa Jämsänkosken Hallin asemaa. Näin saatiin asemien lukumääräksi pohjoisboreaalissa 21, keskiboreaalissa 21, vaihettumassa 16, eteläboreaalissa 38, Ahvenanmantereella 2 ja saaristossa 7 ja suurkaupungissa (Kaisaniemi) 1, eli yhteensä 106. Koko Suomen manneralueelle laskettiin arvot painottamalla aluearvoja alueiden maapinta-alojen suhteessa.

Tarkasteltaessa jakson 1971–2000 kylmyysennätyksiä mahdollisimman pitkien aikasarjojen valossa käytettiin raportin osan 1 taulukon 1.1 (ja kuvan 1.1a) asemia (aineisto A, 23 asemaa, taulukko 2.1). Kun tarkastelua laajennettiin 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuusajoja vastaavien alueellisten toistumistasojen laskemiseen, käytettiin lisäksi vielä pisimpien digitoimattomien sarjojen ennätyksiä (aineisto B, 17 asemaa, taulukko 2.1), jotka on poimittu kausien 1961–1975 ja 1931–1960 ilmastotilastojulkaisuista (Heino 1976, Kolkki 1966). Aineistojen A ja B asemat kuuluvat myös kauden 1971–2000 havainnot käsittävään asemajoukkoon. Myös nämä asemat on aineisto- ja aluetunnuksin annettu taulukossa 2.1.

### 2.2.3 Merkkien selityksiä

Lukuihin 2.2.4 ja 2.3.9 ja taulukoihin 2.9 ja 2.10 liittyvät merkkien selitykset annetaan tässä.

T = toistuvuusaika (v.)

M = vuoden kylmyysennätys (°C)

Parametrin M kausi (alkamis-loppumisvuosi) tai toistuvuusaika (vuosi) annetaan alaindeksinä.

Alaindeksi e tarkoittaa koko havaintokauden pituutta vastaavaa toistuvuustasoa. Toistuvuustasoa seuraava parametrin kirjainmääre tarkoittaa aluearvon laskemiseen käytettyä lämpötila-aineistoa: kirjain A tarkoittaa digitoituja pitkiä sarjoja, B digitoimattomia pitkiä sarjoja ja A + B niiden yhdistelmiä. Numeromääre 71–00 tarkoittaa kauden 1971–2000 arvoja ja numeromääreet 40, 50, 100, 500 ja 1000 määreen mukaisen toistumisajan toistuvuustasoja. Jos lämpötila-aineistoa tarkoittavat A tai A + B puuttuvat (esim. taulukossa 2.8), tarkoittaa  $M_{71-00}$  sitä, että laskennassa on käytetty kaikkia kauden 1971–2000 havaintosarjoja, ja  $M_{40}$ ,  $M_{50}$ ,  $M_{100}$ ,  $M_{500}$  ja  $M_{1000}$  sitä, että kyseessä ovat lopulliset arviot näiden parametrien aluearvoille.

Kaikki aineiston B asemat sekä aineiston A asemat Jyväskylän keskustaa lukuunottamatta kuuluvat myös kauden 1971–2000 aineistoon.

### 2.2.4 Toistuvuusaika-analyysi

Toistuvuusajat T laskettiin havaintosarjan pituuden N (vuosina) ja järjestysluvun j (alimmalle lämpötilalle j = 1) funktiona yleisesti käytetystä yhtälöstä (1) (Beard, 1943)

$$T(j) = (N + 0,386)/(j - 0,307) \quad (1)$$

Koska kauden 1971–2000 havaintosarjoissa (taulukko 2.10) keskimäärin on  $N = 28,7$ , tämän kauden kylmyysennätykset vastaavat yhtälön (1) mukaan keskimäärin 42,0 vuoden toistumis-aikoja. Vuoden kylmyysennätysten jakautumissa 42 ja 40 vuoden toistuvuustasojen erot ovat pienempiä kuin asteen kymmenys, joten kauden 1971–2000 kylmyysennätysten odotusarvot

ovat käytännöllisesti katsoen samat kuin 40 vuoden toistuvuustasot. Siitä, mitä toistuvuus-  
aikoja arvoparit ( $j$ ,  $N$ ) tarkimmin vastaavat, ovat alan teoretikot edelleen erimielisiä;  
esimerkiksi Makkonen (2006) puoltaa yhtälön (1) asemesta ns. Weibullin kaavaa (2), joka  
antaa paljonkin lyhyempiä toistuvuusajoja (tässä tapauksessa 30 vuotta):

$$T(j) = (N + 1)/j \quad (2)$$

Kauden 1971–2000 kylmyysennätysten aluearvojen  $M_{71-00}$  lisäksi laskettiin tälle kaudelle  
vuosiminimien aluearvot aineiston pitkistä digitoituista sarjoista  $A$  (taulukko 2.1); näitä  
arvoja merkitään symbolilla  $M_{71-00}A$ .  $A$ -sarjoista laskettiin myös 40 vuoden toistumisaikoja  
vastaavat arvot  $M_{40}A$ , jolloin saatiin selville, miten paljon 40 vuoden toistuvuustasot ja  
kauden 1971–2000 vuosiminimit poikkeavat toisistaan pitkissä sarjoissa. Olettamalla, että  
nämä poikkeamat ovat likimain yhtä suuret molemmissa aineistoissa, laskettiin kaikkia  
kauden 1971–2000 vuosiminimien havaintoja vastaavat 40 vuoden toistuvuustasot  $M_{40}$  lisää-  
mällä erotukset  $M_{40}A - M_{71-00}A$  kaikista kauden 1971–2000 havainnoista laskettuihin alue-  
arvoihin  $M_{71-00}$ . Näin voitiin pitkien digitoitujen sarjojen avulla arvioida sitä, miten hyvin  
kauden 1971–2000 kylmyysennätykset todella vastaavat yhtälöiden (1) ja (2) mukaisia 42 ja  
30 vuoden toistuvuustasoja (42 a ~ 40 a). Vielä tutkittiin sarjojen  $A$  alueellista edustavuutta  
vertaamalla niihin perustuvia 40 vuoden toistuvuustasojen  $M_{40}A$  aluearvoja vastaaviin  
kaikkiin sarjoihin perustuviin toistuvuustasojen  $M_{40}$  aluearvoihin.

Ns. Gumbelin ääriarvojakauman mukaan toistuvuustason itseisarvon ja toistuvuusajan  $T$   
mukana kasvavan suureen  $\ln \ln T$  välillä on lineaarinen riippuvuus. Osassa 1 käytetty tois-  
tuvuustasojen laskentamenetelmä perustuu ns. yleistettyyn ääriarvojakaumaan (GEV), joka  
mukautuu havaintoaineistoihin pakottamatta toistuvuustason ja -ajan välille tällaista riip-  
puvuutta. Toistumisaikakuvaajat asteikolla  $\ln \ln T$  ovat kuitenkin yleensä lähes lineaarisia,  
kuten ilmeni tässäkin tutkimuksessa. Tässä työssä hyödynnetään likimääräistä ns.  $\ln \ln T$ -  
sääntöä:

$$M_{T_2} \sim M_{T_1} + b (\ln \ln T_2 - \ln \ln T_1) \quad (3)$$

missä  $b$  on aineistosta riippuva yhtälöä (3) kuvaavan suoran kulmakerroin,  $T_1$  ja  $T_2$  ovat kaksi  
eri toistuvuusajaa ja  $M_{T_1}$  ja  $M_{T_2}$  niitä vastaavat toistuvuustasot.

Jos approksimoidaan, että toistuvuustasot ovat lineaarisia muuttujan  $\ln T$  funktioita yhtälön (3) mukaisesti, niin  $(M_{500} - M_{100}) / (M_{100} - M_{50}) = 1,84$ . Osan 1 toistuvuusajakautumien mukaan suurin osa aineiston A sarjoista noudattaakin aika hyvin tätä lineaarisuusehtoa siten, että tämä suhde on rajoissa  $1,84 \pm 0,3$ . Kuitenkaan millään etelä- ja keskiborealin sekä vaihettuman A-aineiston 14 asemasta tämä suhde ei ylitä arvoa 1,84, ja jää viidellä näiden alueen asemista alle arvon 1,54; suhteen keskiarvo näiden alueiden A-aseilla on 1,58, kun se muiden alueiden A-aseilla on odotettu 1,84. Tarkastelu osoittaa, että sarjojen A ääriarvojakaumat ovat alueellisesti melko homogeenisia, mutta poikkeamiakin löytyy.

Tarkasteltaessa sarjojen A toistuvuusajakaavasta osassa 1 saatuja asemakohtaisia 500 ja 1000 vuoden toistumistasoja on syytä olla kriittinen, koska kyse on ekstrapoloinnista. Tulokset riippuvat suuresti havaintokauden ennätysarvoista ja niiden aikaisista säistä. Siksi ne ovat epävarmoja; muutamien yksittäisten havaintosarjojen toistuvuusajakaavajien suurehko poikkeamis Gumbelin jakauman mukaisesta lineaarisesta oletuksesta  $\ln T$ - akselilla johtuvat todennäköisimmin säätilanteiden vaihteluun liittyvästä sattumasta. Tällaista päätelmää tukee vahvasti se, että ensimmäiseksi ja kolmanneksi kylmimpien lukemien erotukset vaihtelevat varsin paljon: 0,1 ja 6,5 asteen välillä (osan 1 taulukko 1.1) ja että useissa pitkissä digitoimattomissa sarjoissa mitattiin vuosina 1940 ja 1966 kylmempiä vuosiminimejä kuin mitä ovat läheisillä A-sarjoihin kuuluvilla asemilla määritetyt 1000 vuoden toistuvuustasot. Siksi harvinaisia 100, 500 ja 1000 vuoden toistumistasoja  $M_{100}$ ,  $M_{500}$  ja  $M_{1000}$  tutkittaessa laajennettiin aineistoa ottamalla sarjojen A lisäksi mukaan ennätykset pitkistä, vähintään kauden 1931–2000 kattavista digitoimattomista sarjoista (aineisto B). Yhdistämällä aineistot päästään tilastollisesti luotettavampiin tuloksiin. Seuraavat yhdistämistä koskevat menetelmälliset yksityiskohdat voi tarvittaessa hypätä yli.

A- ja B-aineistojen yhdistämiseen perustuvien tulosten saamiseksi verrataan ensin ennätyspakkasia digitoituissa pitkissä sarjoissa A ja kaikissa pitkissä sarjoissa A + B toisiinsa eteläboreaalissa, vaihettumassa ja keskiboreaalissa sekä koko havaintojaksoina että 1971–2000. Aineistossa A keskimääräinen havaintojakson pituus on 85 vuotta, joten niiden kylmyysennätykset vastaavat yhtälön (1) mukaan 122 vuoden toistuvuusajakoja. Aineistossa B pituus on 66 vuotta ( $T = 95$  v); koko aineistossa A + B jakautumia on tarkasteltavalla alueella 14 + 15 kpl ja  $T = 107$  vuotta. Ilmenee, että eteläborealin, vaihettuman ja keskiborealin käsittävän alueen asemilla keskimäärin  $M_{71-00}A - M_{122}A = 1,61$  °C ja  $M_{71-00}A + B - M_{107}A + B = 2,40$  °C. Kautena 1971–2000 aineiston A asemien kylmyysennätykset olivat 0,4 °C kylmempiä, mutta koko havaintokausina 0,4 °C lauhempia kuin aineistossa A+B. Toisaalta tarkasteltavan alueen A-aseilla

keskimäärin  $M_{71-00}A = M_{40}A$  yhden desimaalin tarkkuudella (tarkemmin luvussa 2.3.9); samoin voidaan approksimoida, että myös  $M_{71-00}A + B \sim M_{40}A + B$ .

Näitä tietoja ja yhtälön (3)  $\ln T$ -sääntöä soveltaen saadaan 100 ja 40 vuoden toistuvuustasojen erotuksiksi  $M_{40} - M_{100}$  aineistossa A 1,35 °C ja aineistossa A + B 2,23 °C. Jälkimmäisen suhde edelliseen on 1,66. Yhdistetyssä aineistossa parametrin  $M_{40} - M_{100}$  arvo on siis 66 % suurempi kuin aineistossa A. Osan 1 toistuvuusajakäytösten mukaan (taulukko 1.6) tarkasteltavalla alueella EB + V + KB keskimäärin  $M_{40} - M_{100} \sim 0,95$  °C, joten voidaan arvioida, että yhdistetyssä aineistossa vastaavasti  $M_{40}A + B - M_{100}A + B \sim 1,66 \times 0,95 = 1,59$  °C. Osan 1 toistuvuusajakuvaajien mukaan Ahvenanmantereen, saariston, Kaisaniemen ja pohjoisboreaalin asemilla keskimäärin  $M_{40} - M_{100} = 1,53$  °C, ja siellä myös kuvaajien mukainen parametrin  $(M_{1000}A - M_{100}A) / (M_{50}A - M_{100}A)$  arvo 1,84 on täsmälleen  $\ln T$ -sääntöä parametrin  $M_{40} - M_{100}$  koko maan keskiarvoon 1,57 °C, saadaan, että  $M_{50} - M_{40} = 0,4$  °C,  $M_{100} - M_{40} = 1,6$  °C,  $M_{500} - M_{40} = 3,7$  °C ja  $M_{1000} - M_{40} = 4,4$  °C.

Näitä arvoja sovelletaan taulukossa 2.9 kaikille Suomen alueille. Tätä menettelyä puolustaa se, että viimeksi mainitun parametrin arvo 4,4 °C on jokseenkin sama kuin sille osan 1 toistuvuusajakäyrästä saadut arvot Ahvenanmantereelelle (4,3 °C), saaristolle (4,2 °C), Kaisaniemelle (3,8 °C) ja pohjoisboreaalille (4,2 °C) ja niiden asemille (3,8 – 4,7 °C, keskimäärin 4,2 °C). Tämän yhtenäisen käytännön mukaisesti saadaan toistuvuustasot  $M_{T2}$  vuoden minimilämpötilalle yhtälöstä (3) mille tahansa toistuvuusajalle  $T_2$  ja missä päin Suomea tahansa sijoittamalla kulmakertoimen  $b$  arvoksi 7, kun vain tunnetaan jotakin toistuvuusajaa  $T_1$  vastaava toistuvuustaso  $M_{T1}$  tarkasteltavalla paikalla tai sillä ilmastollis-ekologisella alueella, johon paikka kuuluu.

Yhtälön (3) kulmakerroin  $b$  vuoden pakkasennätyksille määritettiin myös laskemalla niiden aluekeskiarvot kausina 1931–1960, 1961–1990 ja 1971–2000 koko kauden 1931–2000 toimineille asemille ( $n = 24$ ) (Kolkki, 1982, Ilmatieteen laitos, 1991 ja Drebs & al., 2001), ja jakamalla 30-vuotiskausien ja 70-vuotiskauden arvojen erotukset luvulla  $\ln 99 - \ln 43$ ; pohjoisboreaalissa käytettiin kausien 1961–1990 ja 1971–2000 aluearvoja laskettaessa kaikkia molempina kausina toimineita asemia. Huomattakoon, että niiden kauden 1931–1990 pakkasennätyksien sattumisvuosi, jotka osuivat kauteen 1961–1990, oli 1966, kun taas vastaava vuosi kautena 1971–2000 oli 1999. Kun alueittaisia erotuksia painotetaan niiden alueiden pinta-alojen mukaan, saadaan tulokseksi, että pakkasennätykset Suomessa olivat 1931–1960 keskimäärin 1,57 astetta, kautena 1961–1990 0,64 astetta ja kautena 1971–2000 1,86 astetta lauhempia kuin 1931–2000. Keskimäärin pakkasennätykset olivat 30-vuotiskausina 1,36 °C lauhempia kuin 1931–2000, tai jos kautta 1931–1960 painotetaan kaksi kertaa niin paljon kuin muita, niin 1,41 °C lauhempia. Edellisellä tavoin saadaan yhtälön (3) kertoimeksi 6,8 ja jälkimmäisellä tavoin 7,0. 30 vuotta pitempien sarjojen vuoden kylmyysennätyksien toistuvuustasoja laskettaessa on siis valittava kertoimeksi 7.

Yhtälön (3) avulla voidaan approksimoida kalenterikuukausittaisten kylmyysennätysten toistuvuustasoja käyttämällä siinä kuukausikohtaisia vakioita. Kylmyysennätykset touko–syyskuussa keskimäärin olivat samoja kausina 1931–1960 ja 1971–2000, joten yhtälön (3) vakio touko–syyskuuksi voidaan laskea myös jakamalla kausien 70-vuotiskauden 1931–2000 ja 30-vuotiskauden 1971–2000 keskimääräisten kylmyysennätysten erotus luvulla  $\ln 99 - \ln 42$ , tulokseksi saadaan 3,8. (toistuvuusajat 99 ja 42 tulevat siitä, että joissakin 70- ja 30-vuotissarjoissa oli pieniä katkoja, joten niiden todelliset pituudet olivat hieman lyhyempiä. Jos olisi käytetty arvoja 30 ja 70 vuotta, olisi yhtälön 3 kertoimeksi saatu sama 3,8).

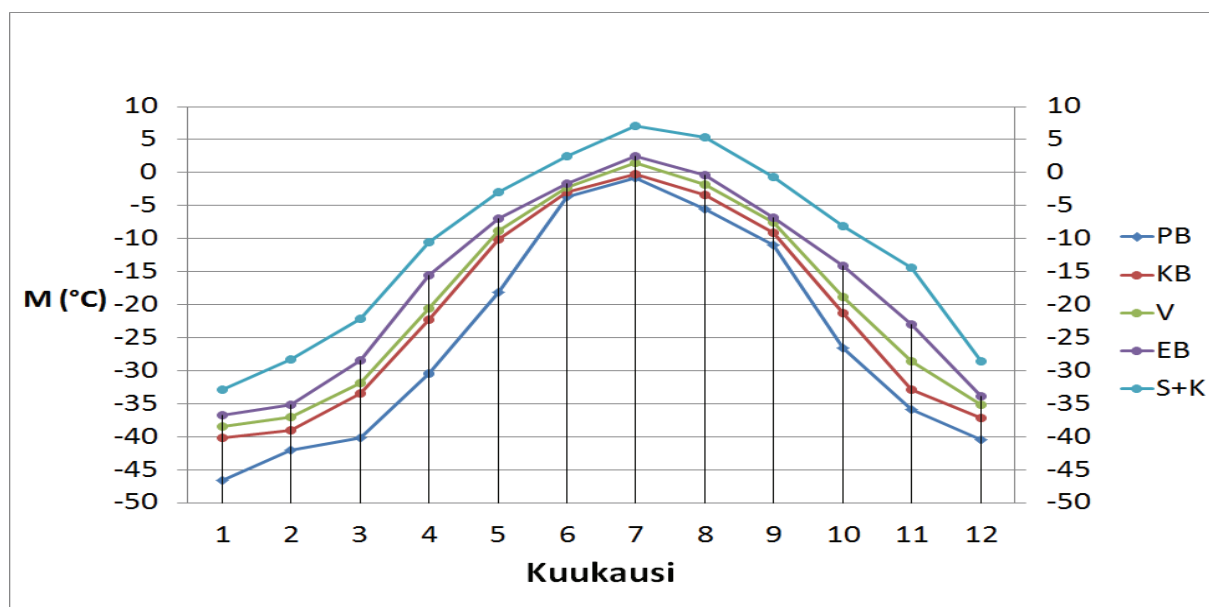
Yhtälön (3) vakion arvot voidaan laskea 30 vuotta lyhyemmille sarjoille niin kokovuositain kuin kalenterikuukausittainkin jakamalla vuosikohtaisten pakkasennätysten keskiarvon ja koko kauden kylmyysennätyksen erotus luvulla  $\ln 43 - \ln 2$ . Kauden 1931–2000 toimineiden asemien joukossa ( $n = 24$ ) koko vuoden pakkasennätyksille saadaan kertoimeksi 1931–1960 5,6 ja 1961–1990 5,3. Edellä mainittuna kautena saadaan tällä tavoin vakioksi touko–syyskuussa keskimäärin 2,5, lokakuussa 4,3 sekä marras–huhtikuussa 6,5.

Yhtälön (3) vakiot niin touko–syyskuun kuin vuoden toistuvuustasoja laskettaessa ovat suuremmat 30 vuotta pidemmille kuin lyhyemmille sarjoille, mikä johtunee siitä, että jakautumat pysyvät rakenteeltaan melko samoina, mutta heilahtelevat keskiarvon heilahtelujen myötä jaksoittain tai trendeittäin. Noin 10–60 vuoden kausille lienee parasta käyttää 30 vuotta pitemmille ja lyhyemmille kausille saatujen vakioiden keskiarvoja; niiksi valittiin siis touko–syyskuussa 3, lokakuussa 4,8 ja marras–huhtikuussa 7 ja koko vuotena 6,5.

## 2.3 TULOKSET

### 2.3.1 Kuukausittaiset kylmyysennätykset 1971–2000

Kuukausittaiset kylmyysennätykset kaudelle 1971–2000 (taulukko 2.2) ovat pohjois- ja keski-boreaalissa pakkasen puolella kaikkina kuukausina, poikkeuksina vain suurten vesistöjen rannat ja mäkisijainnit. Nollan yläpuolella ollaan vaihettumassa ja eteläboreaalissakin vain heinäkuussa (ja silloinkin vaihettumassa vain 2/3:lla asemista, mutta eteläboreaalissa toki 95 %:lla), Ahvenanmantereella heinä- ja elokuussa sekä saaristossa kesä-, heinä- ja elokuussa, ulkosaaristossa jopa syyskuussa. Heinä- ja tammikuun arvojen ero on pienin (34 °C) Ahvenanmantereella ja suurin (46 °C) pohjoisboreaalissa, ja koko Suomessa keskimäärin se on 41,8 °C.



Kuva 2.2 Kauden 1971–2000 absoluuttisten kylmyysennätyksien aluekeskiarvojen vuodenaikaiskulku alueittain. Alueet: PB = pohjoisboreaali, KB = keskiboreaali, V = vaihattuma, EB = eteläboreaali, S + K = saaristo ja Kaisaniemi.

Suurin harppaus kahden kalenterikuukauden askeleessa on keväällä manneralueilla 22–27 °C ja merellisillä alueilla 18–21 °C. Syksyllä vastaava harppaus manneralueilla on 20–25 °C sekä merellisillä alueilla 18–21 °C. Vain Ahvenanmantereella ja saaristossa syysharppaus keskittyy yhden kuukauden askeleeseen, marraskuusta joulukuuhun, koska vasta kylmimpinä joulukuina pääosa saaristovesistä jäätyy. Suurin yhden kuukauden harppaus on keväällä 11–14 °C ja syksyllä 11–16 °C. Yleensä suurimmissa kahden kuukauden harppauksissa molemmat kuukausiharppaukset ovat suunnilleen yhtä suuria. Lokakuu ja huhtikuu ovat kaikilla Suomen manneralueilla joko suuren kaksikuukautisharppauksen alkamisen, keskivälin tai päättymisen kuukausia. Merellisillä alueilla tällaisia kuukausia ovat loka- ja marraskuu. Niinpä vuosi voidaan kylmyysennätysten puolesta jakaa näiden rajakuukausien välisiin talvi- ja kesätasanteisiin. Talvitasanne kattaa useilla alueilla kuukaudet marraskuusta maaliskuuhun, ja kesätasanteeseen kuuluvat touko–syyskuu (taulukko 2.3).

### 2.3.2 Kevät- ja syysharppaukset 1971–2000

Taulukosta 2.1 voidaan huomata, että kahden kuukauden harppauksissa harppauksen aloittavan, lopettavan ja niiden välissä olevan kuukauden kylmyysennätysten keskiarvo on keväällä -23...-17 °C, keskimäärin -19,9 °C, sekä syksyllä -24...-17 °C, keskimäärin -20,0 °C.



Harppausten kytkeytyminen noin -20 asteen lämpötilaan merkitsee myös sitä, että niiden ajankohdat lähestyvät pohjoiseen päin mentäessä keskikesää. Kevätharppauksissa eli 'spring time leap of temperatures' (Solantie & Pirinen, 2005) suurimmat vuorokausivaihtelut siirtyvät kahdessa viikossa kylmimmistä ilmamassoista lämpimimpiin niin, että niissä nolla-asteen lähellä olevat lämpötilat muuttuvat päivämaksimeista yöminimeiksi, kylmyysennätysten lämpötilat (°C) nousevat -22:sta -12:een ja lämpöennätykset noin +9:stä +19 asteeseen (Solantie & Pirinen, 2005). Kaudella 1971–2000 suuren kevätharppauksen kulminaatio eli -20 asteen kylmyysennätys sattui eteläboreaalissa noin 25. maaliskuuta, vaihettumassa maaliskuuhuhtikuun vaihteessa, keskiboreaalissa 5.–15. huhtikuuta, pohjoisboreaalien eteläosassa 20.–25. huhtikuuta ja pohjoisboreaalien pohjoisosassa 5. toukokuuta. Harppaus alkaa 5 vrk kulminaatiota ennen ja päättyy 10 vrk sen jälkeen.

Harppauksilla on selkeä syynsä. Kevät- ja syystalvisissa inversiotilanteissa lämpötila laskee öisin alimmas silloin, kun täyttyy kaksi ehtoa. Ensinnäkin maa on lumen peittämä niin, ettei sen läpi pääse maasta johtumaan lämpöä. Toiseksi lämpötila ei päivälläkään nouse astetta paria enempää nollan yläpuolelle niin, ettei öisin esiinny inversiota heikentävää lumesta päivällä sulaneen veden jäätymistä. Tällaisia tilanteita esiintyy kauimpana keskitalvesta vain kaikkien kylmimmissä ilmamassoissa; tällöin lämpötila laskee päivämaksimista yöminimiin 20–24 °C (Solantie & Pirinen, 2005). Kun edetään niin kauas keskitalvesta, että lämpötila nousee myös arktisten ilmamassojen aikaisissa tyynissä inversiotilanteissa päivällä useita asteita suojalle, lämpötila ei lumen sulamisveden jäätyksen vuoksi laske yöksi läheskään niin paljoa kuin tapauksissa, joissa päivälläkin on pakkasta, etenkin koska jäätyislämpö jää inversion takia alimpaan ilmakerrokseen. Tämä selittää syys- ja kevätharppaukset.

Jo noin puolitoista kuukautta ennen kevätharppausta auringonsäteily pystyy selkeinä päivinä usein hävittämään yöllä muodostuneen inversion. Inversion hävittyä päivällä sekoittuu lämpö nopeasti yhä paksumpaan ilmakerrokseen niin, että lämpötila ei enää pysty paljoa nousemaan, ei edes sulamistilanteissa. Siten maksimaalinen vuorokausiamplitudi saavutetaan jo silloin, kun säteily riittää juuri ja juuri hävittämään inversion.

Jos ilmamassa on kevättalvella hyvin lämmin, ei jäätymisessä vapautuva lämpö yöllä pysty juuri heikentämään inversion muodostumista. Toisaalta päivällä energiaa kuluu niin paljon sulamiseen, ettei inversio pysty täysin häviämään. Siten näissä hyvin lämpimissä kevättalven

selkeissä inversiotilanteissa vuorokausimaksimi on hyvin herkkä sille, kuinka suuri auringonsäteily on ja kuinka suuri osa auringonsäteilystä heijastuu. Koska pohjoiseen päin mentäessä auringonsäteily vähenee ja albedo kasvaa puuston tiheyden vähetessä portaittain (Solantie, 1988a), lämpötilaennätysten aleneminen etelästä pohjoiseen näkyy hyvin selvästi esimerkiksi maaliskuun korkeiden lämpötilojen ennätyksissä 1971–2000. Asemakohtaisten lämpöennätysten alueelliset keskiarvot  $\pm$  hajonnat yli 20 km:n päässä rannikosta olivat eteläboreaalissa  $+13,9 \pm 0,9$  °C, vaihettumassa  $+13,2 \pm 0,8$  °C, keskiboreaalissa  $+10,7 \pm 0,8$  °C, pohjoisboreaalissa  $+8,4 \pm 0,8$  °C sekä tunturikoivikon asemilla (Enontekiön Palojärvi, Utsjoen Nuorgam)  $+6,5 \pm 0,1$  °C. Kevätharppauksen jälkeen runsaskaan sulaminen ei enää pysty estämään inversion häviämistä päivällä, etenkin kun maiden vähittäinen paljastuminen vähentää sulavaa lumimäärää.

Kevätharppaus tarkoittaa ensinnäkin sitä, että sen jälkeen arktisissakin ilmassoissa lämpötila nousee selkeällä ja tynellä säällä selvästi nollan yläpuolelle niin, että sulaveden jäätyminen öisin nostaa nopeasti lämpötiloja kylmimmissä tilanteissa. Lämpimimpien ilmassojen osalta kevätharppaus tarkoittaa taas sitä, että sulaveden öinen jäätyminen ja sen vaikutus inversioon loppuu, ja toisaalta auringonsäteily pystyy jo hävittämään päiväsajan inversion huolimatta suuresta sulamisesta. Sulamiseen kuluvaa energiaa alkaa kevät-harppauksen lämpimien ilmassojen aikana tavallisesti rajoittaa myös maiden osittainen paljastuminen lumesta.

Kevätharppauksen kulminaatioissa keskilämpötilan 30-vuotiskeskiarvo on eteläboreaalissa  $-1,0$  °C, vaihettumassa  $-0,3$  °C, keskiboreaalissa  $+0,5$  °C, pohjoisboreaalien eteläosassa  $+1,0$  °C sekä tunturikoivuvyöhykkeellä  $+1,5$  °C. Se, että kevätharppaus siirtyy pohjoiseen päin mentäessä keskilämpötilaan nähden myöhäisemmäksi, johtuu siitä, että albedo kasvaa ja havaittavan lämmön tuotto vähenee pohjoiseen päin selkeillä säillä, joiden aikana sekä lämpö- että kylmyysennätykset syntyvät.

Syystalvella  $-20$  asteen kulminaatio sattuu kaikkialla silloin kun keskilämpötila sivuuttaa nolla-asteen; suuri harppaus alkaa noin kaksi viikkoa ennen tätä ajankohtaa ja päättyy noin viikkoa sitä myöhemmin. Syystalvella suurten vesistöjen jäätyminen siirtää harppausta eteenpäin saariston ja Ahvenanmantereen lisäksi myös eteläboreaalissa, vähän myös vaihettumassakin, mutta siirtää se termisen talven alkuakin. Kaudesta 1931–1960 lokakuun pakkasen-

nätysten lämpötilat ovat jopa laskeneet, esimerkiksi eteläboreaalissa 2,3 °C. Syysharppauksen aikaan jään reuna Pohjoisella Jäämerellä on aina ollut paljon kauempana kuin keväällä niin, ettei sen syksyisellä sijainnilla ole samanlaista vaikutusta sieltä Suomeen tuleviin ilmassoihin. Pohjanlahtikin on syysharppauksen aikaan kylmimpinäkin jaksoina rannikkoa myöten avoin, kun taas kevätharppauksen aikaan Itämeren jääpeitteen laajuus vaihtelee huomattavasti edellisen talven pakkasista riippuen.

### **2.3.3 Talvikuukausien pakkasennätykset 1971–2000**

Säätilojen voimakkaat vaihtelut talvikaudella vaikuttavat pakkasennätyksiin. Esimerkiksi vuoden 1980 marraskuun lopun pakkaset keskiboreaalien keskiosassa olivat jopa ankarampia kuin marraskuun kylmyysennätykset pohjoisboreaalissa. Pohjoisboreaalissa taas sattui tammikuussa 1999 äärimmäisen kylmä jakso, jonka toistumisaika on paljon pitempi kuin tämän aineiston 28,7-vuotiskauden mukainen 42 vuotta. Esimerkiksi Sodankylän observatoriossa tammi- ja helmikuun minimi kautena 1931–1970 olivat -45,6 °C ja -44,7 °C, kun ne 1971–2000 olivat -49,5 °C ja -44,4 °C. Yhtä harvinainen oli tilanne tammikuussa 1987, jolloin eteläisimpään Suomeen levisi arktinen ilmassa, jossa kylmä kerros oli niin paksu, että kauden ennätyspakkaset syntyivät koillistuulesta huolimatta. Tämä tuotti nimenomaan eteläisissä saaristoissa harvinaisen kovia pakkasia. Esimerkiksi Korppoon Utössä kauden 1931–1970 kylmyysennätys ”lyötiin” peräti 2,8 asteella. Vuosien 1987 ja 1999 tapausten erikoisuus näkyy myös verrattaessa kauden 1971–2000 tammikuun kylmyysennätyksiä pitkien sarjojen asemilla koko havaintosarjoista laskettuihin vuoden minimilämpötiloihin 40 vuoden toistuvuudella; tämä vertailu tehdään luvussa 2.3.9.

### **2.3.4 Kylmyysennätysten vaihtelut alueiden sisällä**

Asemakohtaisten kylmyysennätysten hajonnat alueiden sisällä (taulukko 2.4) ovat manneralueilla keskimäärin ja yleisimmin suurimmat harppauskuukausina huhti–toukokuussa sekä loka–marraskuussa ja pienimmät kesällä kesäkuussa ja talvella joului- tai helmikuussa. Sään oikut matala- ja korkeapainetilanteiden vuorotteluineen vaikuttavat myös alueiden sisäisten hajontojen vuodenaikaisrytmiin, erityisesti talvella. Ilman talvisia sään voimakkaista vaihteluita hajonnan talviminimi kattaisi kaikitenkin laakeasti koko talven. Erityisesti vaihtumassa, mutta myös keski- ja eteläboreaalissa hajonnalla on heinäkuussa sekun-

däärinen maksimi kesäkuun pääminimin ja elokuun sekundäärisen minimin välissä, mikä johtuu ilmeisesti suuresta kontrastista kuivan turpeen aiheuttaman rämeseutujen kylmyyden ja suurten järvien aiheuttaman lämpimyden välillä. Saaristossa hajonta on suurin joului- ja maaliskuussa, kun jääpeite etenee ja peräytyy, ja pienin helmi- ja heinäkuussa. Kaikenkaikkiaan manneralueet ovat sisäisesti varsin homogeenisia ja tilastollisesti (t-testi) erittäin merkitsevästi toisistaan erottuvia (taulukot 2.3–2.5).

### **2.3.5 Kylmyysennätysten erot alueiden välillä**

Kylmyysennätysten aluekeskiarvojen erot (taulukko 2.5) kaikkina kuukausina keskimäärin ovat sekä pohjoisboreaalii ja keskiboreaalii välillä että keski- ja eteläboreaalii välillä runsaat 4 °C, eteläboreaalii ja saariston välillä 5,5 °C. Vaihtuma jää erojen kannalta jokseenkin keski- ja eteläboreaalii puoliväliin, samoin Ahvenanmanner eteläboreaalii ja saariston puoliväliin.

Eri kuukausien kylmyysennätysten aluekeskiarvojen erot manneralueiden välillä ovat suurimmat huhti- ja toukokuussa sekä loka- ja marraskuussa, kun suuret lämpötilaharppaukset etenevät Suomen yli. Marraskuussa ero etelä- ja keskiboreaalii välillä on jopa 10 °C. Syysharppauksen aikaisten suurten alueiden välisten erojen jälkeen minimi saavutetaan heti joulukuussa, jonka päättyessä eteläboreaalii järvet keskimääräisissäkin lämpötiloissa ovat jo jäässä. Joulukuusta erot sitten kasvavat kuukausi kuukaudelta kohti kevätmaksimejaan; erityisen kauniisti tämä ilmiö näkyy verrattaessa keskiboreaalii ja vaihtumaa eteläboreaaliiin. Erojen kasvu kahdella asteella joulukuusta maaliskuuhun liittyy lämpötilan vuorokausivaihtelun kasvuun inversiotilanteissa ja puuston aiheuttaman ilman pystysuoran sekoittumisen kasvuun etelään päin, mikä 'syö' inversion terävyyttä sitä enemmän, mitä suurempi vuorokautinen lämpötilavaihtelu on.

Pienimmillään erot ovat kesäkuussa, kun pohjoiseen päin lyhenevät yöt näitä eroja vähentävät; eteläboreaalii ja saariston välinen ero on kuitenkin pienin toukokuussa, kun merivesi on vielä kylmää jäidenlähdon jälkeen. Heinäkuussa, kun keskiboreaalii rämeiden turve pääsee kuivumaan poutaisilla hellesäillä, on se helkeitä seuraavissa kylmien ilmassojen tilanteissa hyvä eriste niin, että lämpötila laskee siellä pakkaselle (esimerkiksi 24.7.2010 keskisellä Suomenselällä). Ero pohjoisboreaaliiin nähden, jossa heinäkuussa sekä yötön yö että

aapasoiden rimmet lieventävät yöpakkasia, on tällöin mitätön, kun taas keskiboreaalien ero eteläborealaan nähden venähtää heinä- ja elokuussa suuremmaksi kuin kesä- tai syyskuussa. Syyskuussa, kun inversiotilanteita pakkaslumen päällä ei esiinny vielä pohjoisessaakaan, mutta maan märkyys kasvaa pohjoiseen päin, ovat erot manneralueiden välillä minimissään. Ahvenanmantereella ero tammi- ja heinäkuun välillä on pienin koko Suomessa. Ahvenanmannen eroa saaristosta eniten, 5 °C, heinä-syyskuussa. Touko–syyskuussa Ahvenanmannen on hyvin eteläboreaalien kaltainen.

Vierekkäisten alueiden välisten aluekeskiarvojen erojen tilastolliset merkitsevyydet tutkittiin kaksipuolisella t-testillä. Suurin osa eroista oli merkitseviä 99 prosentin tasolla, pieni osa 95 prosentin tasolla (taulukko 2.6). Tapaukset, joissa erot eivät olleet merkitseviä edes 95 prosentin tasolla, olivat pohjois- ja keskiboreaalien välinen ero heinäkuussa (0,6 °C), keskiboreaalien ja vaihettuman välinen ero kesäkuussa (0,6 °C) sekä vaihettuman ja eteläboreaalien väliset erot kesä-, heinä- ja syyskuussa (0,6–1,0 °C).

### 2.3.6 Kylmyysennätysten osa-alueetarkastelua

Pääalueiden sisälläkin on omat alueelliset erikoisuutensa (taulukko 2.7). Helsinki, etenkin keskikaupunki, muodostaa oman erikoisen alueensa, jota Kaisaniemi parhaiten edustaa. Saaristosta erotettiin Kaisaniemi omaksi suurkaupunkiryhmäkseen. Sen havainnoissa näkyy erityisesti keväisten ja kesäisten inversioiden heikkous; koska suurkaupunki lisää alimman ilmakerroksen turbulenssia, häiriintyy erityisesti ohuiden yöllisten maanpintainversioiden kehittyminen. Huhti–heinäkuussa ovat kylmyysennätykset samat kuin saaristossa, ja kaikkina kuukausina keskimäärinkin (-12,2 °C) lähempänä saaristoa (-11,0 °C) kuin Ahvenanmannerta (-13,8 °C). Etelärannikon keskitasosta Kaisaniemen pakkasennätykset jäävät keskimäärin runsaat neljä astetta.

Eteläboreaalien ja vaihettuman runsasjärviset osat erottuvat vähäjärvisistä, ja eteläboreaalissa rannikko (tasoitettusta rantaviivasta 20 km sisämaahan päin) eroaa myös hieman vähäjärvisestä sisämaasta. Näitä alueellisia eroja tarkastellaan seuraavaksi.

Eteläboreaalissa rannikko on vähäjärvisen sisämaahan nähden lämpimin maalisi- ja huhtikuussa, jolloin ero on 1,8 °C. Muina kuukausina rannikko on sisämaata keskimäärin 0,8 °C

lämpimämpi. Runsasjärvinen sisämaa on eteläborealin kolmesta osa-alueesta lämpimin, heinä–marraskuussa vähäjärvistä sisämaata noin 3,3 °C lämpimämpi, maaliskuu- ja kesäkuussa noin 2,2 °C lämpimämpi. Myös muina kuukausina ero on samansuuntainen, keskimäärin 0,8 °C. Runsasjärvisiä seutuja edustavat Lohja, Pälkäne, Heinola, Asikkala, Lappeenranta, Puumala ja Punkaharju. Vuositasolla runsas- ja vähäjärviset seudut poikkeavat eteläborealin keskitasosta asteen suuntaansa, kun taas rannikko on eteläborealin keskitasoa (runsasjärvinen sisämaa -15,2, rannikko -16,3 ja vähäjärvinen sisämaa -17,3 °C).

Vaihtumassa tarkasteltiin ensin erikseen kolmea aluetta: runsasjärvistä sisämaata, vähäjärvistä sisämaata ja Perämeren rannikkoa. Runsasjärvisiä seutuja edustavat Siilinjärvi ja Viitasaari. Runsasjärvinen sisämaa on vähäjärvistä lämpimämpi: ero on kesä–lokakuussa 3–4 °C ja muulloin 1–2 °C sekä kaikkina kuukausina keskimäärin 2,3 °C (ääriarvot -17,1 ja -19,4 °C). Mielenkiintoista on, että runsasjärviset seudut ovat jääpeiteaikanaakin asteen verran vähäjärvisiä lauhempia; tämä saattaa johtua jään läpi johtuvasta lämmöstä, joka inversio-tilanteissa jää alimpaan ilmakerrokseen. Runsasjärvinen vaihtuma on vuositasolla verrattavissa eteläborealin vähäjärviseen sisämaahan. Verrattaessa vaihtuman ja eteläborealin runsasjärvisiä seutuja toisiinsa havaittiin, että vaihtuma on maaliskuu- ja huhtikuussa 4 ja marraskuussa 6 °C eteläborealia kylmempi; muina kuukausina ero 0–2 °C ja koko vuotena 1,9 °C. Perämeren rannikko oli loka- ja marraskuussa 3–4 °C vähäjärvistä vaihtuman sisämaata kylmempi, mikä johtuneekin sään satunnaisista vaihteluista. Esimerkiksi lokakuun viimeisenä yönä 1992 kylmyysennätys saavutettiin melkein koko Etelä- ja Keski-Suomessa paitsi vaihtuman sisämaassa, joka sattui olemaan vailla lumipeitettä ja oli siksi keskiborealia 5 °C lauhempi. Koska Perämeren rannikon ja vaihtuman vähäjärvisen sisämaan välillä tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut kuin marraskuussa (marraskuussa 1980 oli Perämeren rannikolla poikkeuksellisen kylmää), ne päätettiin yhdistää vähäjärviseksi vaihtumaksi (Vvj taulukossa 2.6). Siellä kylmyysennätykset ovat touko–syyskuussa keskimäärin 1,0, loka–huhtikuussa 2,1 ja kaikkina kuukausina 1,6 °C lauhempia kuin keskiboreaalissa. Eteläborealin vähäjärviseen sisämaahan nähden vähäjärvisen vaihtuman keskimääräinen kylmyys on touko–syyskuussa 0,8, joulukuussa–maaliskuussa 1,8, huhtikuussa ja loka–marraskuussa 4,7 sekä koko vuotena 2,1 °C.

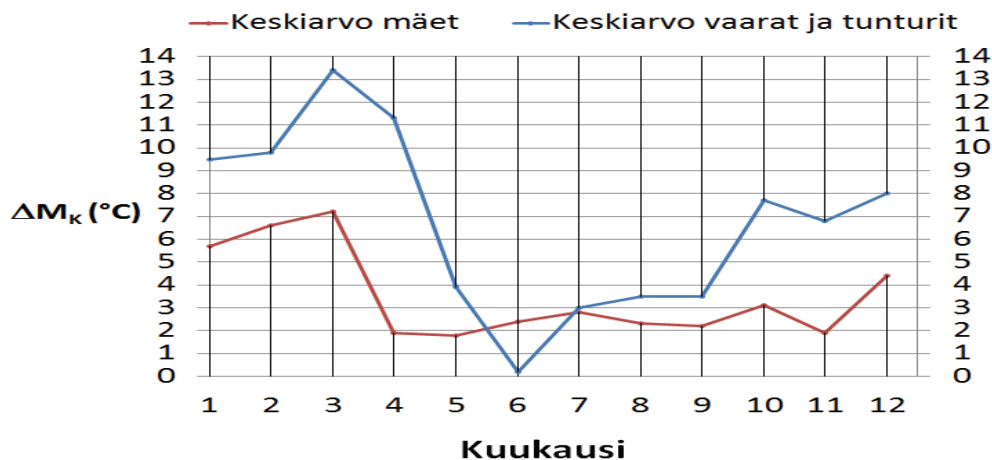
Keskiboreali jaettiin lounais- ja koillisosaan siten, että Pohjois-Karjalan ja Kainuun asemat sekä Pudasjärvi ja Ylitornio kuuluivat koillisosaan ja muut asemat lounaisosaan. Lounaassa

loka–toukokuut olivat keskimäärin 1,4 °C lauhempia mutta kesäkuukaudet 1,1 °C kylmempiä kuin koillisessa. Lounaassa on paljon rämeitä, joiden turve kuivuu kesäisin, kun taas koillisessa on 65. leveysasteesta pohjoiseen rimpisiä aapasointa ja lyhyitä kesäoita ja etelämpänä kohtalaisesti järviä. Kaikkina kuukausina keskimäärin koillinen (-21,3 °C) on vain 0,6 °C lounaista (-20,7 °C) kylmempi.

### **2.3.7 Korkeiden paikkojen kylmyysennätykset**

Mäet, vaarat ja tunturit ovat muuta maastoa lämpimämpiä, koska pintainversiotilanteissa lähinnä maanpintaa oleva kylmin ilma valuu niiltä pois. Taulukossa 2.8 ja kuvassa 2.3 esitetään tällaisten paikkojen pakkasennätysten erot ympäristöönsä nähden kolmella pohjoisimmalla alueella. pohjoisboreaalissa tuntureita edusti Sallan Värriötunturi, jonka arvoja verrattiin Savukosken Värriön ja Sodankylän Lokan keskiarvoihin. Pohjoisboreaalien vaaroja edusti Rovaniemen lentoasema, jota verrattiin Rovaniemen Apukkaan. Keski-boreaalien vaaroja ja mäkiä edusti Pyhännän Viitamäki, jonka arvoja verrattiin Kajaanin, Haapaveden ja Vaalan keskiarvoihin. Vaihettuman mäkiä edusti puolestaan Vieremän Kaarakkala, jonka arvoja verrattiin vaihettuman vähäjärviden sisämaa-asemien keskiarvoihin.

Mäkien pakkasennätysten erot ympäristöönsä nähden ovat suurimmillaan juuri ennen suurta kevätharppausta, jolloin voimakkaimmat inversiot esiintyvät vielä kylmissä ilmassoissa (taulukko 2.8, kuva 2.3). Tällöin aurinko hävittää päivisin inversion, kun taas öisin maanpinnan läheinen kerros ehtii kunnolla jäähtyä, mutta vain ohuessa kerroksessa niin, että lämpötila nousee hyvin jyrkästi maanpinnasta ylöspäin. Keväällä lumen sulettua ja suurten vuorokausivaihteluiden siirryttyä kylmistä lämpimiin ilmassoihin (Solantie & Pirinen 2005), korkeiden paikkojen suhteellinen edullisuus vähenee. Tuntureilla, missä kesäyön aurinko ja aapasoiden märkyys heikentävät inversioita, korkeiden paikkojen ja muun maaston välinen lämpötilaero jopa häviää. Heinäkuussa, tuntureilla vasta elokuussa, korkeat paikat ovat jälleen selvästi ympäristöjään lämpimämpiä. Korkeiden paikkojen suhteellinen lämpimyyden pysyy sitten pitkän aikaa suunnilleen samana tai saavuttaa lämpimimmän maan aikaan syyskuussa minimin. Vasta lumien saavuttua korkeiden paikkojen suhteellinen lämpimyyden alkaa ripeästi kasvaa kohti maaliskuista maksimiaan.



Kuva 2.3 Korkeiden paikkojen kylmyysennätysten poikkeamat ympäristöstään  $\Delta M_k$  (°C)

Sydäntalvella, kun inversiot eivät häviä päivälläkään ja ulottuvat korkeammalle kuin kevättalvella, pystysuuntainen lämpötilaero on pienempi kuin kevättalvella. Joulukuun inversio-tilanteissakin on toki keskiboreaalissa havaittu mäkien olevan 7 astetta ympäristöään lämpimämpiä (Solantie & al. 2002), mutta tällöin inversio oli 'tuore' eikä päiväkausia kestänyt kuten kylmyysennätysten sattuessa. Myös 19.10.2002 havaittiin keskiboreaalissa (Alajärvi, Möksy) Huosianmaan mäen ja sitä 18 m alempana olevan Linkkilän ilmastoaseman väliseksi eroiksi 4,9 °C, sekä Huosianmaan ja sitä 20 m alemman rämeen eroiksi 7,9 °C (Solantie & al. 2004).

Vaihettumassa lämpötilaero mäen ja ympäristön välillä oli huhti–marraskuussa keskimäärin 1,8, joului–maaliskuussa 5,9 sekä koko vuotena 3,2 °C. Keskiboreaalissa vastaavat erot ovat 3,0, 6,0 ja 4,0 °C. Pohjoisboreaalissa lämpötilaero vaaran ja ympäristön välillä oli touko–syyskuussa keskimäärin 2,8, loka–huhtikuussa 8,6 ja koko vuotena 6,2 °C. Pohjoisboreaalien tunturissa ero oli kesä–syyskuussa keskimäärin 2,1, loka–toukokuussa 9,8 ja koko vuotena 7,2 °C. Kevättalvella, kun korkeat paikat ovat suhteellisesti lämpimimmät, ero ympäristöön nähden oli pohjoisboreaalissa 13–14 °C sekä keskiboreaalissa ja vaihettumassa 7–8 °C.

Korkeiden paikkojen suhteellinen lämpimyys kasvaa lumipeitekaudena pohjoiseen päin lähinnä siksi, että niiden korkeus ympäristöön nähden kasvaa. Lumipeitekauden ulkopuolella korkeat paikat ovat suhteellisesti lämpimimmät keskiboreaalissa, missä on laajalti rämeitä, joiden turve kuivuu kesäksi, mikä jäähdyttää maanpintaa öisin ja vahvistaa inversioita.

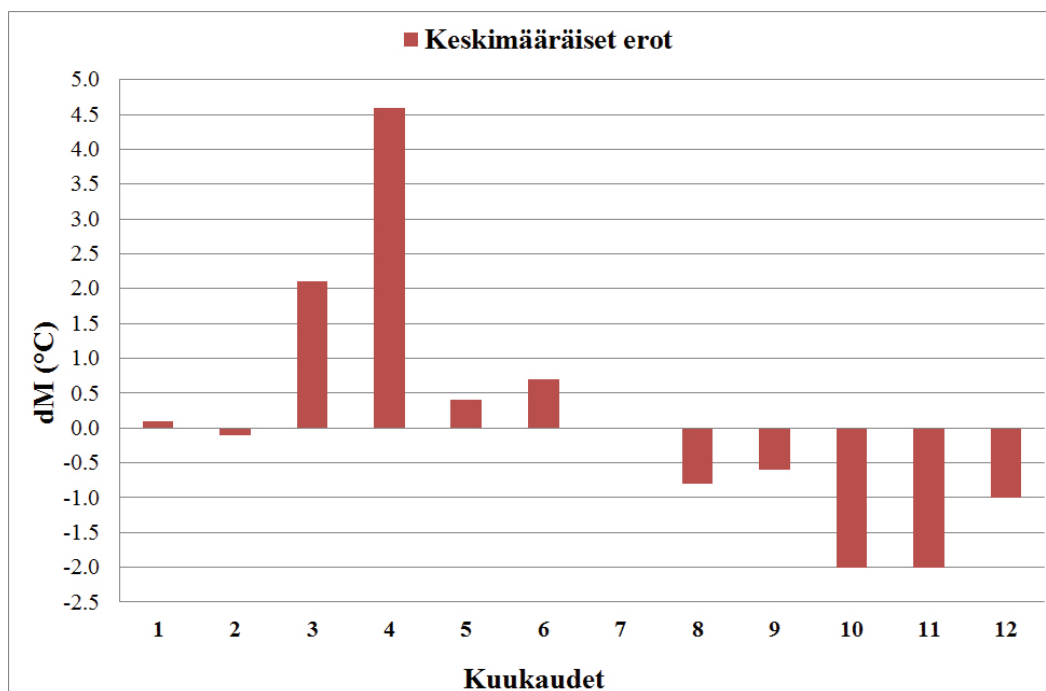


Korkeiden paikkojen suhteellinen lämpimyyden koko vuoden aikana keskimäärin kasvaa pohjoiseen päin suhteellisten korkeuserojen kasvun lisäksi paljolti myös siksi, että lumipeitekausi pitenee pohjoiseen päin.

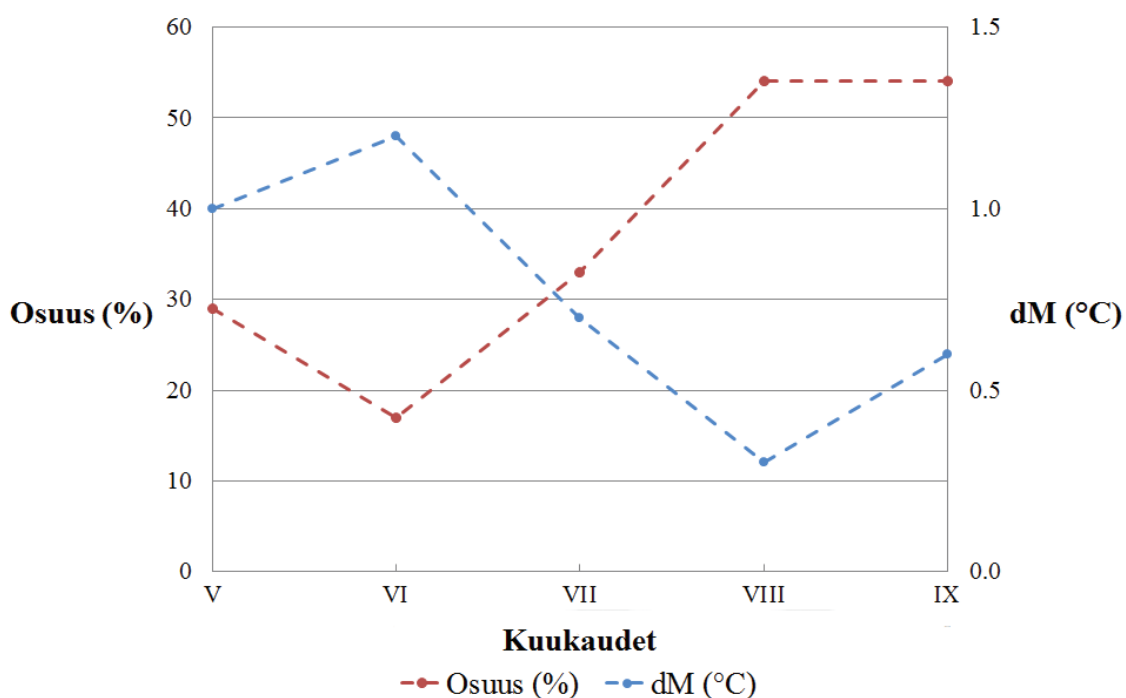
### **2.3.8. Kauden 1971–2000 kylmyysennätykset suhteessa kausiin 1931–1960 ja 1931–2000 sekä kehitys vuosikymmenittäin**

Koko kauden 1931–2000 toimineilla asemilla ( $n = 24$ ) kuukausittaiset kylmyysennätykset kautena 1971–2000 olivat heinäkuussa, tammi- ja helmikuussa, touko–syyskuussa keskimäärin sekä koko vuotena keskimäärin täsmälleen samat kuin 1931–1960. Maalis–kesäkuussa ne olivat lauhempia, eniten huhtikuussa, ja elo–joulukuussa kylmempiä, eniten loka- ja marraskuussa (kuva 2.4). Kausien pituuksien suhteessa odotusarvo sille, kuinka monta prosenttia kauden 1931–2000 kylmyysennätyksistä kasvukauden kalenterikuukausina sattuu kauteen 1971–2000, on 43 %. Prosenttiosuus oli keskimäärin 29 %. Touko–heinäkuussa se oli odotusarvoa pienempi sekä elo- ja syyskuussa odotusarvoa suurempi (kuva 2.5). Odotusarvo sille, kuinka paljon kauden 1971–2000 kasvukauden kalenterikuukausien kylmyysennätykset olivat lauhempia kuin kauden 1931–2000 vastaavat arvot, on 0,6 °C. Havaittu ero oli keskimäärin 0,78 °C. Se oli touko–heinäkuussa odotusarvoa suurempi sekä elo- ja syyskuussa odotusarvoa pienempi (kuva 2.5). Tapahtui siis selvä yöpakkasten ja hallojen painopisteen siirtyminen kasvukauden alku- ja keskipuolelta sen loppupuolelle.

Kauden 1971–2000 kuukausittaisista kylmyysennätyksistä touko–syyskuussa Suomen manneralueella sattui ensimmäisenä vuosikymmenenä 55 %, toisena 34 % ja kolmantena 11 % (mukana kaikki asemat, alueita painotettu pinta-alaosuusina). Trendi oli tällainen jokaisena viitenä kalenterikuukautena; toisin sanoen, elo- ja syyskuussa kylmyysennätysten laskeva trendi kääntyi nousuun 70-luvun ankarien yöpakkasten jälkeen. Koska metsien puuston keski- korkeuden voimakas kasvu kauden 1971–2000 aikana vaikutti huomattavasti keskimääräisten kuukausimimien nousuun (Solantie & al., 2007), on odotettua, että se vaikutti samalla tavoin myös kylmyysennätyksiin. Tähän viittaa sekin, että heinä- ja elokuussa ovat kylmyysennätyksien frekvenssit dekadeittain 60, 33 ja 7 %, mutta muina kasvukauden kuukausina 52, 34 ja 14 %; ne siis ovat laskeneet jyrkimmin niinä kasvukauden kuukausina, joihin inversiot ja rajakerroksen vaikutus niihin ovat voimakkaimmat (Solantie & Pirinen, 2005).



Kuva 2.4 Kausien 1971–2000 ja 1931–1960 asemakohtaisten kylmyysennätysten keskimääräiset erot (dM) kalenterikuukausittain (1–12).



Kuva 2.5 Ne kauden 1971–2000 touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syyskuun asemakohtaiset kylmyysennätykset, jotka olivat samalla koko kauden 1931–2000 kylmyysennätyksiä, prosentteina kaikista samojen kalenterikuukausien kylmyysennätyksistä vm. kautena (punaisella, odotusarvo 43 %), sekä kauden 1971–2000 ja kauden 1931–2000 kylmyysennätysten keskimääräiset erot (sinisellä, odotusarvo 0,6 °C).

Kylmyysennätykset kautena 1971–2000 olivat lokakuussa vain 0,4 °C ja marraskuussa 0,8 °C lauhempia kuin koko kautena 1931–2000 (kuva 2.5); odotettu ero on yhtälön (3) mukaan lokakuussa 1,0 °C ja marraskuussa 1,5 °C. Kylmyysennätykset loka–joulukuussa keskittyivät voimakkaasti yksittäisiin vuosiin (osuus manner-Suomessa lokakuussa v. 1992 69 %, marraskuussa v. 1980 45 % ja joulukuussa v. 1978 70 %). Voimakas kylmeneminen on yhteydessä syysharppauksen varhaistumiseen. Tammikuussa kylmyysennätykset olivat pohjoisboreaalissa sekä keskiboreaalien ja vaihettuman itäosissa kylmempiä kuin 1931–1960 (keskimäärin 2,4 °C) lähinnä vuoden 1999 pakkasten takia, ja muualla lauhempia (keskimäärin 1,7 °C).

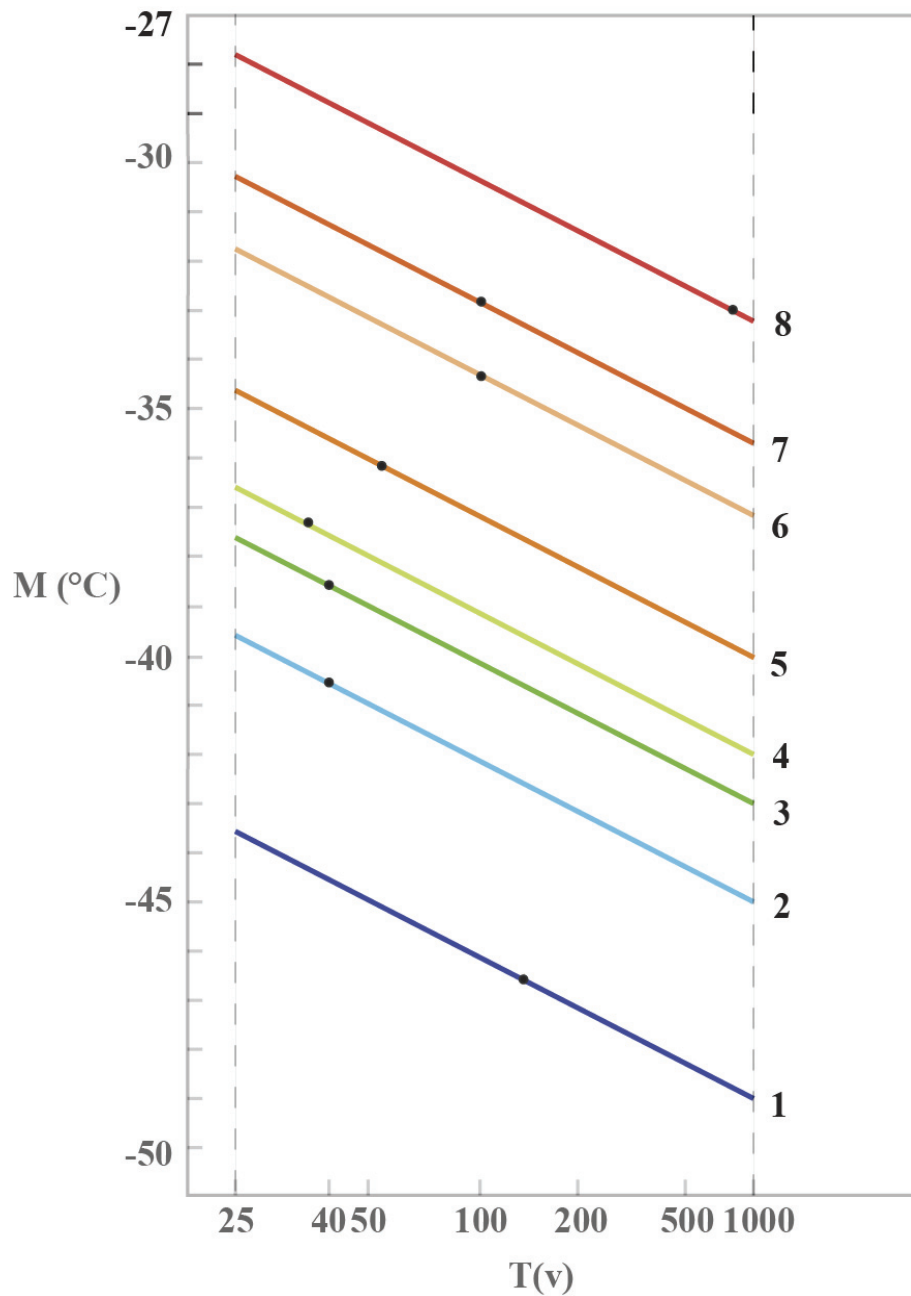
Kevättalvella pakkasennätykset lauhtuivat kaudesta 1931–1960 eteläboreaalien, saariston ja Ahvenanmantereen asemilla maaliskuussa 3,7 °C ja huhtikuussa 6,4 °C, sekä muualla maaliskuussa 1,6 °C ja huhtikuussa 4,1 °C. Jyrkimmillään kevätharppaus oli eteläboreaalissa aiemmin huhtikuussa, mutta kauteen 1971–2000 tultaessa harppauksen kulminaatio siirtyi maaliskuuhun. Tämä siirroksen seurauksena huhtikuun kylmyysennätykset lievenivät siellä suuresti. Maaliskuun pakkasennätysten lauhtuminen koko Suomessa sekä niiden sattuminen kaikissa jo v. 1971 toimineissa kauden 1971–2000 sarjoissa kauteen 1971–1981 viittaa puuston keskikorkeuden kasvun vaikutukseen samoin kuin kasvukautenakin; maaliskuussahan inversiot ja rajakerrosten vaikutus niihin ovat koko vuoden suurimmat.

Kauden 1931–1960 alin lämpötila oli Suomessa keskimäärin jokseenkin sama kuin kauden 1971–2000. Tammikuussa 1940 sattui kuitenkin tilastollisesti harvinaisin Suomessa koskaan havaittu ennätyspakkanen soikiossa, jonka pitempi akseli ulottui Keski-Uudeltamaalta Mikkelin seudulle; Hyvinkäällä, Lahdessa, Heinolassa ja Mikkelissä keskimäärin oli lämpötila tällöin alimmillaan -42,0 °C eli 5,5 °C alempi kuin kertaakaan 1971–2000. Myös vuoden 1966 helmikuussa sattui harvinaisen kova pakkanen keskiboreaalien lounaisosassa sekä vaihettumassa pituusasteen 25,5 länsipuolella. Edellisen alueen asemilla (n = 7) keskimäärin alin lämpötila oli tällöin -42,6 °C eli 3,0 °C alempi kuin kertaakaan 1971–2000, jälkimmäisen asemilla (n = 7) -41,6 °C eli 4,1 °C alempi. Kun vielä vuoden 1987 kovat pakkaset sattuivat kauteen 1961–1990, olivat kylmyysennätykset Suomessa tänä kautena keskimäärin asteen kylmempiä kuin 1931–1960 tai 1971–2000, jääden vain 0,6–0,7 °C koko kauden 1931–2000 ennätyksestä. Koko pohjoisboreaalissa tammikuun 1999 pakkaset olivat koko kauden 1931–2000 kovimmat.

### 2.3.9 Vuoden kylmyysennätykset kautena 1971–2000 sekä niiden toistumisajat sekä 40, 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistumistasot alueellisesti tarkasteltuina

Taulukossa 2.9 nähdään vuotuisten kylmyysennätysten 40, 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuustasot alueittain sekä kauden 1971–2000 absoluuttiset kylmyysennätykset niitä vastaavine toistuvuusaikoinen. Nämä tulokset on esitetty myös kuvassa 2.6. Kautena 1971–2000 jokseenkin kaikki vuoden kylmyysennätykset sattuivat tammikuussa. Siten vuoden kylmyysennätykset olivat saariston, vaihettuman ja pohjoisboreaalien asemilla sekä Kaisaniemessä samat kuin tammikuun (taulukot 2.2 ja 2.9). Eteläboreaalien asemilla keskimäärin vuoden kylmyysennätykset olivat vain 0,2 °C ja keskiboreaalien asemilla 0,3 °C tammikuun ennätyksiä kylmempiä. Ainoastaan Ahvenanmantereella helmikuu ”löi” tammikuun 0,8 asteella ja määrittäi vuoden ennätykset.

Redukoitaessa kauden 1971–2000 vuosiminimit pitkien digitoitujen sarjojen avulla 40 vuoden toistuvuustasoiksi todettiin, että keskimääräiset korjaukset (taulukko 2.9) olivat keskiboreaalissa (havaintovuosia keskimäärin 87), vaihettumassa (83) ja eteläboreaalissa (85) pieniä, yksittäisissä sarjoissakin -1, 0 tai +1 °C. Sen sijaan pohjoisboreaalien, saariston ja Kaisaniemen pitkien sarjojen mukaan korjaus oli 2–4 astetta, eli kauden 1971–2000 kylmyysennätykset olivat tämän verran 40 vuoden toistumistasoja alempia. Pohjoisboreaalissa korjaus oli keskimäärin 2,0 °C, yksittäisissä sarjoissa 1–3 °C. Korjaus oli keskimäärin täsmälleen sama alueen kahdessa hyvin pitkässä sarjassa (vuosia 101) kuin neljässä vähän lyhyemmissä (vuosia 51). Maarianhaminassa (101 vuotta) kauden 1971–2000 kovin pakkaneen sattui helmikuussa 1979 sekä Helsingin Kaisaniemessä (133 vuotta) ja Hangon Russarössä (113 vuotta) tammikuussa 1987; Russarössä korjaus oli peräti 4,2 astetta. Parametrin  $M_{40}$  arvojen ero keski- ja pohjoisboreaalien välillä on huomattavasti pienempi kuin vastaava parametrin  $M_{71-00}$  arvojen ero, ei paljoa suurempi kuin keski- ja eteläboreaalien välillä (taulukko 2.9). Sen sijaan ero saariston ja eteläboreaalien välillä on parametrilla  $M_{40}$  kaksi kertaa niin iso kuin muuttujalla  $M_{71-00}$ , peräti 8,3 astetta. Ahvenanmaahan ja Kaisaniemeen erot eteläboreaalien nähden ovat noin puolta suuremmat kuin parametrilla  $M_{71-00}$ . Parametri  $M_{40}$  on Ahvenanmantereella 2,5 °C alempi kuin saaristossa mutta  $M_{71-00}$  on molemmissa sama. Kaisaniemessä parametrien  $M_{40}$  ja  $M_{71-00}$  arvot ovat puolitoista astetta alempia kuin Ahvenanmantereella.



Kuva 2.6 Alueelliset vuoden kylmyysennätysten toistuvuusaikakuvaajat (värilliset janat) sekä kauden 1971–2000 kylmyysennätykset alueittain (pampulat). (Lukuarvot on esitetty taulukossa 2.9, sivu 91).  $T$  = toistuvuusaika (v) ja  $M$  = alueellinen kylmyysennätys.

Alueet ovat seuraavat:

- 1 = Pohjoisboreaali
- 2 = Keskiporeaali
- 3 = Vaihattuma
- 4 = Eteläboreaalin sisämaa
- 5 = Ereläboreaalin rannikko
- 6 = Kaisaniemi
- 7 = Ahvenanmanner
- 8 = Saaristo

Kausi 1971–2000 oli vuoden kylmyysennätysten puolesta pohjoisboreaalissa, Ahvenanmantereella, saaristossa ja Kaisaniemessä ankarampi kuin sitä edeltävä 60-vuotiskausi ja muualla suunnilleen yhtä ankara (Suomen 23 pitkistä digitoidusta sarjasta 2 kpl alkoi 1800-luvulla ja 9 kpl 1902–1910). Suomen asemien keskimääräiselle kauden 1971–2000 kylmyysennätykselle toistuvuus aika on 65 vuotta. Kauden kylmyysennätysten toistuvuus aika on lyhin keskiborealin lounaisosassa. Keskiborealin lounaisosan lyhyt toistumisaika saattaa johtua osin siitä, että puustoinen alue on siellä valtavasti kasvanut metsäojitusten ansiosta. Siten kauden 1971–2000 lauhuus pitkiin sarjoihin verrattuna saattaa olla pysyvänluonteista. Toisaalta keskiborealin koillisosan arvoihin 1971–2000 vaikuttaa mm. se, että 1999 ankara pakkaneen ulottui kahdelle alueen koillisreunan asemalle eli viidennekselle alueen asemista.

Vielä tutkittiin pitkien digitoitujen sarjojen A alueellista edustavuutta vertaamalla niistä suoraan laskettuja aluearvoja  $M_{40A}$  kaikkiin sarjoihin perustuviin arvoihin  $M_{40}$  (taulukko 2.9). Digitoituja sarjoja, joille on laadittu toistuvuus aika-analyysit (osa 1, taulukko 1.6) ja joista kovin pakkaneen kaudelle 1940–2000 on todettavissa, oli hemiarctisen seudun Kilpisjärvi pois luettuna 23 kpl (aineisto A, taulukko 1.10). Tulokset osoittavat, että huolimatta sarjojen A vähäisestä lukumäärästä niihin perustuvat 40 vuoden toistuvuus tasojen aluekeskiarvot ovat alueellisesti varsin edustavia. Eniten ne poikkesivat kaikkien sarjojen 40 vuoden toistuvuus tasoista  $M_{40}$  vaihettumassa, jossa  $M_{40A}$  oli 1,1 astetta alempi kuin  $M_{40}$ . Siten sarjoja voidaan käyttää tyydyttävän tarkasti suoraan vuoden minimilämpötilan 50 vuoden toistuvuutta vastaavien arvojen isoviiva-analyysiin (osan 1 kuva 1.6); onhan  $M_{50}$  vain noin 0,3 astetta alempi kuin  $M_{40}$ .

Yleensä ennätykset pitkistä digitoiduista sarjoissa (A) ovat samaa suuruusluokkaa kuin muissakin pitkissä sarjoissa (poikkeamat alle asteen), ja eri toistuvuus tasojen erot noudattavat melko hyvin Gumbelin  $\ln \ln T$ -sääntöä. Kuitenkin etelä- ja keskiborealin sekä vaihettuman alueilla toistuvuus tasojen alueelliset piirteet sarjoista A laskettuina ovat merkitsevästi harhaisia ilman digitoimattomien sarjojen (B) mukaanottoa silloin, kun  $T > 100$  v (taulukko 2.9). Kautena 1971–2000 talven kylmyysennätykset etelä- ja keskiborealin sekä vaihettuman käsittävällä alueella olivat aineiston A asemilla keskimäärin 0,8 °C lauhempia kuin aineiston B asemilla ja 0,4 °C lauhempia kuin aineiston A + B asemilla, mutta koko havaintokausina peräti 1,6 °C lauhempia kuin aineiston B asemilla ja 0,8 °C lauhempia kuin aineiston A + B

asemilla (taulukot 2.9 ja 2.10). Aineistossa A koko sarjan havaitut pakkasennätykset olivat 1–2 °C kauden 1971–2000 ennätyksiä kovempia, kun vastaavat erot aineistossa A + B olivat 2–3 °C. Ekstrapoloinnin seurauksena A-sarjojen 500 vuoden toistuvuustasot näillä alueilla ovat 1,0–1,4 °C lauhemmat ja 1000 vuoden toistuvuustasot 1,4–1,8 °C lauhemmat kuin yhdistetyistä pitkistä sarjoista A + B saadut.

Etelä- ja keskiboreaalien sekä vaihettuman kaikkien pitkien sarjojen aineistossa erotus  $M_{40} - M_{100}$  osoittautui jokseenkin samaksi kuin muilla alueilla, joilla toistuvuustasot näyttävät noudattavan varsin hyvin  $\ln T$ -sääntöä. Toisaalta  $M_{40}$  on määriteltävissä tarkemmin kuin toistuvuustasot pitemmille ajoille. Siten lämpötilan vuosiminimin toistuvuustasot voi laskea mille tahansa toistuvuusajalle missä päin Suomea tahansa yhtälöstä luvun 2.2.4 yhtälöstä (3) sijoittamalla sen kulmakertoimeksi tähän tutkimukseen perustuva arvo 7 sekä sijoittamalla muuttujan  $M_{T1}$  arvoiksi muuttujan  $M_{40}$  arvot taulukossa 2.9 sillä alueella, jolla tarkasteltava paikka sijaitsee. Mäkipaikkojen toistuvuustasoihin on lisäksi tehtävä lauhduttava korjaus, vaihettumassa ja keskiboreaalissa 6 °C sekä pohjoisboreaalissa 9,5 °C.

## 2.4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin kuukausittain kylmyysennätysten vuodenaikaisia ja alueellisia jakaumia sekä niiden syitä. Aluejako tehtiin niin, että alueita on mahdollisimman vähän, mutta toisaalta niiden pitää erottua selkeästi toisistaan ja alueiden sisäisten hajontojen pitää olla pieniä. Ilmastollinen aluejako kytkeytyy kiinteästi myös ilmastosta riippuviin luonnonpiirteisiin, kuten metsäluonnon tuotantopotentiaaliin, ekologiaan ja biodiversiteettiin. Tällaisesta aluejaosta on myös hyötyä laskettaessa lämpötilan toistuvuusajoja. Niitä on Suomessa laskettu yksittäisistä havaintosarjoista kuukausittainkin osan 1 menetelmällä ennenkin (Venäläinen & al., 2007). Ääriarvojakaumien ääripäitä voitaisiin tarkentaa laskemalla toistuvuustasojen keskiarvot useista saman ilmastoalueen jakaumista; tämä tasoittaisi yksittäisten säätilojen oikullisuuden ja yksittäisten havaintopaikkojen erityispiirteiden vaikutuksia. Tärkeää on muistaa, että ekstrapolointi toistuvuusajan suhteen on vaarallista etenkin yksittäisiä aikasarjoja käytettäessä. Jakaumia tutkittaessa on tärkeää huomioida suurten kevät- ja syysharppausten labiilisuus ja herkkyyys ilmastonmuutoksille. Ennen harppauksia ja niiden jälkeen jakaumat ovat vakaampia.

Luonnonmukaisten alueiden käyttö niin ilmastoa tarkasteltaessa kuin sen sovellusaloilla, kuten hydrologiassa, maa- ja metsätaloudessa ja ympäristötieteissä, on valitettavan vähäistä. Joko käytetään pistemäisiä arvoja lähimmiltä havaintopaikoilta tai niistä hilapisteisiin interpoloituina, tai sitten hallinnollisia alueita. Molemmilta tavoilta puuttuvat ne sovellusten kannalta keskeiset edut, jotka luonnonmukainen jako tarjoaa. Suomen 20 maakuntaa alueyksikköinä käytettäessä alueiden sisäiset hajonnat ovat suurempia kuin neljää luonnonmukaista manner- ja kahta merialuetta käytettäessä. Maakunnista vain 3 kpl on yhdellä luonnonalueella, 11 kpl jakautuu kahteen luonnonalueeseen, 4 kpl jakautuu kolmeen ja 2 kpl (Pohjanmaan ja Satakunnan maakunnat) peräti neljään. Viimeksi mainituissa maakunnissa kylmyysennätysten sisäinen haarukka on peräti 70 % koko Suomen vaihteluvälistä! Lisäksi hallinnollisten alueiden alituinen muuttaminen sotkee ajallisen seurannan, vaikka se juuri muuttuvassa ilmastossa olisi erityisen tärkeää. Ilmastollis-ekologisten vyöhykkeiden käyttö kylmyysennätysten perustana on perusteltua myös siksi, että samoissa vyöhykkeissä Ruotsissa talven ja kesän kylmyysennätykset ovat jokseenkin samat kuin Suomessa (Solantie, 1992). Vyöhyketarkastelun etuna on myös se, että vyöhykkeiden väliset erot ovat kaikkina kalenterikuukausina samanmerkkisiä. Vaikka ilmasto jokaisella alueella muuttuu, luonnonalueiden väliset erot pysyvät jokseenkin ennallaan, samoin niiden käyttökelpoisuus alueyksikköinä, säilyvähän leveysasteet, korkeudet merenpinnasta sekä järvien ja merien sijainnit ennallaan.

Ilmaston lämmitessä tullevat 30–50 vuoden toistuvuuksia vastaavat alimmat ja ylimmät lämpötilat muuttumaan eniten kahden kuukauden pituisten kevät- ja syysarppausten keskimäisinä ja talvenpuolimmaisina kuukausina. Keväällä näin tapahtuu kaikilla manneralueilla huhtikuussa, pohjoisboreaalissa myös toukokuussa sekä muilla alueilla myös maaliskuussa. Syysarppausten varhentuminen tulee vaikuttamaan ääriämpötiloihin eniten marraskuussa, keski- ja pohjoisboreaalissa sekä vaihettumassa myös lokakuussa ja eteläboreaalissa vielä joulukuussa. Saaristossa ja Ahvenanmaalla kaikkien talvikuukausien kylmyysennätykset 30 edellisen vuoden liukuvissa sarjoissa muuttunevat vuoden 1987 kaltaisten jäätalvien jäädessä pois. Toisaalta, vaikka kauden 1971–2000 huhtikuun kylmyysennätykset eteläboreaalissa olivat peräti 7 °C lämpimämpiä kuin 1931–1960, sattui kauden 1971–2000 kylmyysennätys 38 alueen asemasta 20:llä vuonna 1977, mutta peräti 15:llä vasta vuonna 1998. On myös tehtävä selvä ero Suomen ja Keski-Euroopan välillä. Laajoilla alueilla Keski-Eurooppaa ilmaston lämpeneminen aiheuttanee sen, että syys- ja kevätharppaukset, lähestyessään keskitalvea, kohtaavat toisensa, jolloin vuoden kylmyysennätykset lauhtuvat nopeasti.



Sovellettaessa 40 vuoden toistumisaikoja vastaavia lämpötiloja pariin seuraavaan vuosikymmeneen tulisi niiden muuttamiseen suhtautua varovasti. Olivathan vuoden kylmyysennätykset kautena 1971–2000 Lapissa, meren saaristoissa ja Kaisaniemessä 2–4 astetta alempia kuin pitkien sarjojen avulla saadut 40 vuoden toistuvuustasot, ja Lapin ennätykset sattuiivat niin myöhään kuin 1999 tammikuussa. Vuosittaisten kylmyysennätysten nouseva trendi Suomessa kautena 1961–2005 (Laapas, 2008) johtuu lähinnä siitä, että lounaisvirtausten yleistyminen on lisännyt niiden talvien määrää, joiden aikana hyvin kehittyneitä inversioita arktisissa ilmassoissa ei ole päässyt syntymään (Solantie & al., 2007). Se ei ole kuitenkaan estänyt tällaisia tilanteita sattumasta joka vuosikymmenellä 1951–2000. Viimeisen sadan vuoden aikana pitkien sarjojen koko kauden pakkasennätykset ovat syntyneet vuosina 1917, 1940, 1955, 1956, 1966, 1979, 1987 ja 1999. Pisin ennätyksetön jakso oli 1918–1939, oli pitempi kuin 2001–2010, jolloin ei myöskään uusia ennätyksiä tullut. Pitkien digitoitujen sarjojen 23 asemakohtaisesta pakkasennätyksestä vuoteen 2008 mennessä kaikki kolmea lukuunottamatta ovat sattuneet kautena 1955–1999, vaikka sarjoista 11 on alkanut jo kautena 1844–1910. Kauden 1971–2000 kolmen vuosikymmenen kylmyysennätykset Sodankylässä, Ylistarossa, Siilinjärvellä ja Jokioisissa keskimäärin ovat aikajärjestyksessä -38,7, -39,5 ja -39,4 °C, eli trendiä ei ole ollut. Kuitenkin kautena 2001–2010 vastaava arvo oli -35,2 °C.

Eräs kovimpiin pakkasiin liittyvä sovellus on koristekasvien ja hedelmäpuiden vyöhykejako (Solantie, 1988b). Se perustuu paljolti ns. normipakkasiin, jotka ovat kolmen kylmimmän lukeman keskiarvoja kauden 1959–1987 täysistä tai lähes täysistä sarjoista laskettuina ja joiden pitäisi siten vastata 19 vuoden toistuvuuksia. Näistä vyöhykkeistä 1a ja 1b vastaavat saaristoa ja Ahvenanmannerta, 2 ja 3 eteläboreaalia, 4 vaihettumaa, 5 ja 6 keskiboreaalia sekä 7 ja 8 pohjoisboreaalia. Normipakkasia vastaavien lämpötilojen ja parametrin  $M_{40}$  arvojen keskimääräinen ero oli mereisillä alueilla -2,6 °C, eteläboreaalissa +0,5 °C, vaihettumassa -0,6 °C, keskiboreaalissa -1,0 °C, pohjoisboreaalissa -0,5 °C ja keskimäärin -0,8 °C. Kauden 1959–1987 normipakkaset olivat siis enimmäkseen hieman ankarampia kuin 40 vuoden toistuvuuksia vastaavat vuosiminimit, vaikka niiden pitäisi olla noin 1,5 °C lievempiä. Siten normipakkaset vastaavatkin paremmin 40 kuin 20 vuoden toistuvuusajoja, saaristossa pitempiäkin. Pakkaset, joihin olisi puutarhoissa varauduttava, on siis arvioitu varmuuden takia hieman liian koviksi. Kun vyöhykkeiden keskimääräinen leveys normipakkasissa on 1,9 °C, herää kysymys, olisiko syytä siirtää kullekin lajikkeelle suositeltavaa pohjoisinta vyöhykettä seuraavaksi pohjoisempaan vyöhykkeeseen.

Ratkaisevaa kovimpiin talvipakkasiin liittyvien sovellusten kannalta on, onko aiheellista seuraavien parin vuosikymmenen aikana muuttaa parametrin  $M_{50}$  arvot sellaisiksi, jotka ovat nykyään parametreillä  $M_{20}$  tai  $M_{15}$ . Tarkastellaan vielä lyhyesti, mitä viitteitä kauden 2001–2010 kylmyysennätykset tulevaisuudesta antavat. Tämän pituisen kauden vuoden kylmyysennätysten odotusarvon  $M_{15}$  pitäisi olla  $2,5\text{ °C}$  lauhempi kuin  $M_{50}$ , mutta se olikin  $+4,7\text{ °C}$  lauhempi. *Keskimääräinen poikkeama vuoden kylmyysennätysten odotusarvoista oli siten  $+2,2\text{ °C}$ , kun se kautena 1971–2000 oli ollut  $-0,6\text{ °C}$ .* Paljolti säiden vaihtelevaisuuden takia poikkeama vaihteli alueellisesti; hieman yli puolessa Suomea (pohjoisboreaalissa, eteläboreaalissa ja Kaisaniemessä) vuoden kylmyysennätys 2001–2010 oli  $3\text{–}4\text{ °C}$  odotettua lauhempi, mutta muualla odotetun suuruinen. Yleisin vuoden pakkasennätyksen ajankohta kautena 2001–2010, tammikuu 2003, sopii yhteen sen kanssa, että arktisen oskillaation indeksillä oli vuodenvaihteessa 2002–2003 kauden 2001–2009 voimakkain minimi.

Kuukausittaiset kylmyysennätykset kautena 2001–2010 koko Suomessa keskimäärin olivat kaikkina kuukausina lauhemmat kuin 1971–2000; ero oli tammikuussa  $5,2$ , helmikuussa  $4,0\text{–}4,5$ , kesäkuussa  $1,2$ , heinäkuussa  $1,4$  ja elo-joulukuussa  $2,8\text{–}3,9\text{ °C}$ . Keskimäärin kaikkina kuukausina ero oli koko Suomessa  $3,4\text{ °C}$ , pohjoisboreaalissa  $4,1\text{ °C}$  ja muilla alueilla  $3,1\text{ °C}$ . Kun näistä vähennetään kylmyysennätysten odotusarvojen arvioidut erot kausien 2001–2010 ja 1971–2000 välillä (tammikuussa  $2,8$ , marras-, joulukuussa, helmi- ja maaliskuussa  $2,0$ , lokakuussa  $1,5$  ja touko–syyskuussa  $1,0\text{ °C}$ ), huomataan, että kautena 2001–2010 keskimääräiset kylmyysennätykset Suomessa ovat olleet vain kesä- ja heinäkuussa odotetun suuruisia, mutta tammi–toukokuussa  $2,0\text{–}2,9\text{ °C}$  ja elo-joulukuussa  $1,3\text{–}2,4\text{ °C}$  lauhempia. Jos ”perusarvoja” approksimoidaan kauden 1931–2000 ennätyksillä, saadaan luvun 2.3.8 perusteella kauden 2001–2010 kylmyysennätysten keskimääräisiksi poikkeamiksi odotusarvoistaan kesä- ja heinäkuussa  $+0,5\text{ °C}$ , elo–joulukuussa  $+1,5\text{ °C}$ , helmi–maaliskuussa  $+2,5\text{ °C}$ , tammi- ja toukokuussa  $+3,0\text{ °C}$  sekä huhtikuussa  $+4,5\text{ °C}$ .

Eniten yleiskuvasta poikkeaa lokakuu eteläboreaalissa (kylmyysennätys  $0,2\text{ °C}$  kylmempi kuin 1971–2000 eli odotettua  $1,7\text{ °C}$  kylmempi, yltyen lokakuussa 2002 Uudellamaalla, Hämeessä ja Kymenlaaksossa vähäjärvisillä seuduilla  $16\text{–}17$  asteen ja runsasjärvisillä seuduilla  $11\text{–}14$  asteen ennätyspakkasiin). Muita poikkeuksia yleiskuvasta ovat vaihettuman itäosan  $27\text{–}32$  asteen ja Valassaarten  $15,6$  asteen ennätyspakkaset marraskuussa 2002, Oulun seudun  $37\text{–}38$  asteen ennätyspakkaset joulukuussa 2002 sekä Ahvenanmantereen pakkas-

ennätykset kesäkuussa 2001 (Maarianhaminassa  $-1,3\text{ °C}$ , entinen ennätys  $-1,1\text{ °C}$ ) ja marras-  
kuussa 2010 (Maarianhaminassa  $-20,0\text{ °C}$ , entinen ennätys  $-18,1\text{ °C}$  v. 1957).

Kevätharppauksen jatkuvasta varhaistumisesta todistaa myös se, että vuonna 2007 mitattiin laajalti uusia maaliskuun lämpöennätyksiä, jotka olivat koko maassa n.  $1,5\text{ °C}$  korkeampia kuin 1971–2000, jääden Etelä-Suomessa vain muutaman asteen päähän kevätharppauksen päättymistä osoittavasta arvosta  $+19\text{ °C}$  (Helsinki-Vantaalla 27.3.  $+17,5\text{ °C}$ ). Vastaavasti pohjoisboreaalissa toukokuun pakkasennätys kautena 2001–2009 oli keskimäärin peräti  $8,7\text{ °C}$  lauhempi kuin 1971–2000 (muualla Suomessa vain  $2,7\text{ °C}$  lauhempi, odotusarvoa  $1,5\text{ °C}$  lauhempi), mikä viittaa kevätharppauksen kulminaation siirtymiseen pohjoisboreaalissa huhtikuun puolelle.

Odotusarvoja lauhempien kylmyysennätysten esiintyminen peräti kymmenenä kalenterikuukautena viittaa vahvasti pysyväluntoiseen muutokseen. Se, että poikkeamat odotetusta ovat 2000-luvulla olleet suuria talvikuukausina erityisesti pohjoisboreaalissa, viittaa siihen, että sulavesialueen laajuus Fennoskandian ja Jäämeren jääpeitteen välillä olisi tärkeä, etenkin talvella, koska kevättalvella jääpeite on lähinnä Fennoskandiaa ja koska syys- ja keskitalvella kosteuden ja lämmön vuot merestä ilmakehään ovat suurimpia.

Vaikka vielä ei ole syytä muuttaa vuoden tai yksittäisten kuukausien tietyn pituisten jaksojen kylmyysennätysten odotusarvoja, niin kuitenkin jo 5–10 vuoden päästä sitä on harkittava. Jos vuoden kylmyysennätyksen 500 (100) vuoden toistuvuusajan lämpötila-arviota nostetaan  $2\text{ °C}$ , on tällaisen lämpötilan toistuvuus aika nykyilmastossa 100 (30) vuotta.

## **KIITOKSET**

Jaakko Forsiukselle kiitokset tekstin ja kuvien tietoteknisestä viimeistelystä.

## KIRJALLISUUSVIITTEET

Ahti, T., Hämet-Ahti, L & Jalas, T. 1968. Vegetation and their sections in northwestern Europe. *Ann. Bot. Fenn.* 5, p. 169 – 211.

Beard, L. R. 1943. Statistical analysis in Hydrology. *Trans. Amer. Soc. Civ. Eng.* 108, p. 1110 – 1160.

Drebs, A., Nordlund, A., Karlsson, P. Helminen, J. & Rissanen, P. 2001. Tilastoja Suomen ilmastosta 1971 – 2000. *Ilmastotilastoja Suomesta 2002:1*. Ilmatieteen laitos, 94 s.

Heino, R. 1976. Taulukoita Suomen ilmasto-oloista kaudelta 1961 – 1975. *Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan . Nide 75 Osa 1a- 1975*. Ilmatieteen laitos, 41 s.

Ilmatieteen laitos 1991. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961–1990. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 90, osa 1 – 1990, 125 s.

Kalela, E. 1961. Waldvegetationszonen und ihre klimatischen Paralleltypen. *Arch. Soc. 'Vanamo', suppl.*, S. 65 – 83.

Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista 1931 – 1960. *Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan . Nide 65 Osa 1a- 1965*. Ilmatieteen laitos, 42 s.

Laapas, M. 2008. Puutarhakasvien talvehtiminen manner-Suomen ilmastossa – nyt ja tulevaisuudessa. Pro gradu-tutkielma. Meteorologia. Helsingin yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos 62 s.

Makkonen, L. 2006. Plotting Positions in Extreme Value Analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 2006, 45: 334 – 340.

Solantie, R. 1988a. Albedo in Finland on the basis of observations on aircraft. *Meteorological Publications 12 1988*. Finnish meteorological Institute, 106 p.

Solantie, R. 1988b. Täydennystä Suomen hedelmäpuiden ja puuvartisten koristekasvien menestymisvyöhykkeisiin. *Sorbifolia 19(3) 1988*,. s. 124 – 126.

Solantie, R. 1992. Counterparts of Finnish climate zones in Sweden. *Meteorological publications 21*. Finnish Meteorological Institute, 54 p.

Solantie, R., 2003. On definition of ecoclimatic zones in Finland. *Reports 2003:2*. Ilmatieteen laitos, p. 44.

Solantie, R. 2005. Productivity of boreal forests in relation to climate and vegetation zones. *Boreal Environment Research 10*, p. 275– 297.

Solantie, R. 2009a. Kuukausittaiset kylmyysennätykset Suomessa 1971–2000. Osa I. *Ilmastokatsaus 5/2009*. Ilmatieteen laitos.

Solantie, R. 2009b Kuukausittaiset kylmyysennätykset Suomessa 1971–2000. Osa II. *Ilmas-tokatsaus 6/2009*. Ilmatieteen laitos.

Solantie, R., Drebs, A. & Kaukoranta, J.-P., 2002. Lämpötiloja eri vuodenaikoina ja eri maastotyypeissä Alajärven Möksyssä. *Raportteja 2002:1*. Ilmatieteen laitos, 57 s.

Solantie, R., Drebs, A. & Kaukoranta, J.-P., 2004. Regular diurnal temperature variation in the Möksy experimental field in summer 2002, in the relation to the production of sensible heat. *Raportteja 2004:1*. Ilmatieteen laitos, 69 s.

Solantie, R. & Pirinen, P 2005. Diurnal temperature variations in inversion situations. *Raportteja 2005:4*. Ilmatieteen laitos, 33 s.

Solantie, R., Järvenoja, S. & Pirinen, P., 2007. Keskimääräisten kuukauden minimilämpötilojen jakauma kautena 1991–2005 Suomessa sekä muutos kaudesta 1961–1990. *Raportteja 2007: 1*. Ilmatieteen laitos, 59 s.

Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A., 2010. Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology* 30 (15), 2247-2256, doi:10.1002/joc.204.

Venäläinen, A., Saku, S., Kilpeläinen, T., Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Vajda, A., Ruosteenoja, K. & Räisänen, J. 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa. *Raportteja 2007:4*. Ilmatieteen laitos, 81 s.

Ympäristöhallinto, Merenkulkuhallitus & Maanmittauslaitos 2010. Suomen järvien syvyyskarttoitus. In: *Maanmittauslaitos/kansalaisen karttapaikka.fi*.

## TAULUKOT

Päätulokset on annettu taulukoissa 2.2, 2.5, 2.7, 2.8 ja 2.9. Muissa taulukoissa on lähtöaineistoa, sivutuloksia sekä tutkimusmenetelmään liittyviä tietoja.

Taulukoissa lämpötilojen yksikkö on °C. Alueiden (kuva 2.1) lyhenteet ovat:

PB = pohjoisboreaali

KB = keskiboreaali

V = vaihettuma

EB = eteläboreaali

MS = Manner-Suomi (yllä olevat alueet)

A = Ahvenanmanner

S + K = saaristo ja Kaisaniemi

S = saaristo

Manner-Suomen aluekeskiarvoja laskettaessa on sen alueiden arvoja painotettu niiden maapinta-alojen osuuksien suhteessa (osuudet pohjoisesta etelään 31, 32, 14 ja 23 %)

Taulukko 2.1. Osassa 2 käytetyt asemat.

Osa-alueennukset:

M = mäki-, vaara- tai tunturiasema

R = rannikkoasema eteläboreaalissa

P = Perämeren rannikkoasema vaihettumassa

vj = vähäjärvinen sisämaa-asema eteläboreaalissa ja vaihettumassa

rj = runsasjärvinen sisämaa-asema eteläboreaalissa ja vaihettumassa

K = keskiboreaalinen koillisosa

L = keskiboreaalinen lounaisosa

Pitkät sarjat 40, 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistuvuustasojen aluearvoja laskettaessa

A = digitoidut ja B = digitoimattomat asemat

Sarakkeen 1971–2000 rastit ilmaisevat aseman olleen mukana tämän kauden

kuukausiennätysten aluearvojen laskennassa

Alue	Osa- alue	Asema	Pitkät sarjat	1971-2000
Saaristo		0002 Korppoo, Utö	A	x
		0101 Hanko, Russarö		x
		0202 Hanko, Tvärminne		x
		0302 Inkoo, Bågaskär		x
		0501 Kotka, Rankki		x
		1002 Rauma, Kuuskajaskari		x
		3003 Mustasaari, Valassaaaret		x
Kaisaniemi		0301 Helsinki, Kaisaniemi	A	x
Ahvenanmanner		0001 Maarianhamina lentoasema/Jomala	A	x
		0011 Jomala, Jomalaby		x
Eteläboreaalinen	R	0103 Piikkiö, Yltöinen	B	x
	vj	0205 Salo, Kärkkä	A	x
	R	0301 Helsinki-Vantaan lentoasema		x
	rj	0307 Lohja, Porla		x
	vj	0309 Vihti, Maasoja		x
	vj	0405 Tuusula, Ruotsinkylä	B	x
	R	0406 Porvoo, Järnböle		x
	R	0502 Ruotsinpyhtää, Keitala		x
	R	1001 Pori, lentoasema		x
	R	1003 Mietoinen, Saari		x
	R	1101 Turku, lentoasema/Rusko	A	x
	vj	1103 Huittinen, Lauttakylä		x
	vj	1104 Kokemäki, Peipohja, Hyrkölä	A	x
	vj	1201 Jokioinen, Observatorio	B	x
	vj	1202 Tampere, Härmälä	B	x
	vj	1215 Tampere, Pirkkalan lentoasema		x
	vj	1302 Hyvinkää, Mutila	B	x
	vj	1303 Hattula, Leteensuu	B	x
	vj	1304 Hattula, Lepaa	B	x
	rj	1306 Pälkäne, Myttäälä	B	x
vj	1401 Lahti, Laune	B	x	

	vj	1402 Orimattila, Käkelä		x
	vj	1403 Lammi, Biologinen asema		x
	rj	1405 Asikkala, Pulkkilanharju		x
	vj	1413 Lammi, Vestola		x
	vj	1501 Utti, lentokenttä/Valkeala		x
	vj	1503 Lapinjärvi, Ingermanninkylä		x
	vj	1504 Anjalankoski, Anjala	B	x
	rj	1506 Heinola, Plaani	A	x
	rj	1701 Lappeenranta, lentoasema	B	x
	vj	1702 Ruokolahti, Kotaniemi		x
	vj	2101 Kankaanpää, Niinisalo		x
	vj	2501 Leivonmäki, Savenaho		x
	vj	2528 Pertunmaa, Laukkala		x
	vj	2602 Mikkelin mlk, Suonsaari	B	x
	rj	2701 Puumala, Sorjola		x
	rj	2801 Punkaharju, Laukansaari	A	x
	R	3001 Vaasa, lentoasema	A	x
Vaihettuma	vj	2201 Kuru, Länsi-Aure		x
	vj	2303 Juupajoki, Hyytiälä		x
	vj	2401 Jyväskylän lentoasema/Jyväskylän mlk	A	x
	vj	2403 Jyväskylän keskusta	B	x
	vj	2604 Varkaus, Käpykangas	A	x
	vj	2902 Tohmajärvi, Kemie	B	x
	rj	3101 Ylistaro, Pelma		x
	vj	3401 Viitasaari kk, Haapaniemi	A	x
	vj	3502 Vesanto kk		x
	rj	3512 Rautalampi, Rastu		x
	vj	3601 Kuopion lentoasema/Siilinjärvi	A	x
	vj	3603 Maaninka, Halola	A	x
	M	3801 Joensuun lentoasema, Liperi		
	P	4602 Vieremä, Kaarakkala	B	x
	P	5301 Hailuoto, Ojakylä		x
	P	5401 Oulun lentoasema/Oulunsalo	B	x
	P	5404 Oulu, Linnanmaa		x
		6301 Kemi-Tornion lentoasema		
Keskiboreaali	L	2103 Karvia, Alkkila		x
	L	3201 Kauhava, lentokenttä	B	x
	L	3301 Ähtäri, Myllymäki	A	x
	L	3303 Alajärvi, Linkkilä		x
	L	3313 Halsua, kk		x
	K	3802 Juuka, Niemelä		x
	K	3902 Ilomantsi, kk		x
	K	3904 Lieksa, Lampela		x
	L	4201 Kruunupyyn lentoasema		x
	L	4302 Nivala		x
	L	4312 Oulainen, Ohineva		x



	L	4402 Haapavesi, Kotitalousoppilaitos		x
	M	4514 Pyhäntä, Viitamäki		
	K	4601 Kajaani, lentoasema	A	x
	K	4701 Valtimo, kk		x
	K	4802 Kuhmo, keskusta		x
	K	5402 Ruukki, Revonlashti	A	x
	L	5403 Muhos, kk, Laitasaari		x
	K	5502 Vaala, Pelso		x
	K	5601 Pudasjärvi, Kurenalus		x
	K	5801 Suomussalmi, kk		x
	K	6201 Ylitornio, Porimojärvi		x
Pohjoisboreaali		6701 Taivalkoski, kk	A	x
		6801 Kuusamo, lentoasema	A	x
		6802 Kuusamo, Kiutaköngäs		x
		7307 Pello, kk		x
		7308 Kittilä, Kaukonen		x
	M	7401 Rovaniemi, lentoasema		
		7501 Sodankylä, Lapin Ilmatiet. tutkimuskeskus	A	x
		7502 Rovaniemen mlk, Apukka		x
		7503 Sodankylä, Lisma-aaapa		x
		7701 Salla, kk		x
		7702 Savukoski, kk	A	x
		8201 Muonio, kk, Alamuonio		x
		8305 Kittilä, Pulju		x
		8305 Kittilä, Pokka		x
		8601 Sodankylä, Lokka		x
	M	8602 Sodankylä, Vuotso		
		8803 Salla, Väriötunturi		x
		9202 Enontekiö, Palojärvi	A	x
		9601 Inari/Ivalon lentoasema		x
		9602 Inari, Toivoniemi	A	x
		9603 Utsjoki, Kevo		x
		9604 Utsjoki, Nuorgam		x
		9701 Inari, Nellim		

Taulukko 2.2. Jakson 1971 – 2000 kylmyysennätykset kalenterikuukausittain aluekeskiarvoina taulukon 10 havaintojen perusteella. Jyrkimpien kahden kuukauden nousujen ja laskujen alkamis-, loppumis- ja keskimmäisten kuukausien arvot on lihavoitu. Suurin yhden kuukauden muutos on alleviivattu.

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ka
PB	-46,6	-42,1	-40,1	<b>-30,4</b>	<b>-18,1</b>	<b>-3,6</b>	-0,8	-5,5	<b>-11,0</b>	<b>-26,6</b>	<b>-35,9</b>	-40,4	-25,1
KB	-40,2	-39,0	<b>-33,5</b>	<b>-22,3</b>	<b>-10,1</b>	-2,9	-0,2	-3,4	<b>-9,1</b>	<b>-21,3</b>	<b>-32,9</b>	-37,1	-21,0
V	-38,5	-37,0	<b>-31,9</b>	<b>-20,5</b>	<b>-8,8</b>	-2,3	+1,5	-1,8	<b>-7,6</b>	<b>-18,8</b>	<b>-28,6</b>	-35,1	-19,1
EB	-36,8	-35,1	<b>-28,4</b>	<b>-15,5</b>	<b>-6,9</b>	-1,7	+2,5	-0,4	-6,8	<b>-14,1</b>	<b>-23,0</b>	<b>-33,9</b>	-16,7
MS	-41,3	-38,8	<b>-34,1</b>	<b>-23,0</b>	<b>-11,7</b>	-2,8	+0,5	-3,1	<b>-8,9</b>	<b>-20,9</b>	<b>-31,0</b>	-37,1	-21,0
A	-32,1	<b>-33,0</b>	<b>-22,9</b>	<b>-11,7</b>	-6,0	-0,9	+2,3	+0,7	-6,1	<b>-11,4</b>	<b>-16,4</b>	<b>-29,7</b>	-13,9
S+K	-32,9	<b>-28,3</b>	<b>-22,1</b>	<b>-10,6</b>	-2,9	+2,5	+7,1	+5,4	-0,7	<b>-8,1</b>	<b>-14,4</b>	<b>-28,6</b>	-11,2
S	-32,7	<b>-28,6</b>	<b>-22,3</b>	<b>-10,6</b>	-2,9	+2,6	+7,1	+5,7	-0,2	<b>-7,7</b>	<b>-13,8</b>	<b>-28,4</b>	-11,0

Taulukko 2.3. Kauden 1971–2000 kylmyysennätyksien alueittaiset vuodenaikaiskeskiarvot (ka), keskihajonnat (s) ja vuodenaikaiskeskiarvojen keskivirheet s(ka), sekä kaikkien kuukausien keskimääräisten pakkasennätyksien vastaavat arvot.

	marras-maaliskuu			huhti- ja lokakuu			touko-syyskuu			kaikki kuukaudet		
	ka	s	s(ka)	ka	s	s(ka)	ka	s	s(ka)	ka	s	s(ka)
PB	-41,0	1,2	0,3	-28,5	1,4	0,3	-7,8	1,2	0,3	-25,1	1,0	0,21
KB	-36,5	1,2	0,3	-21,8	1,5	0,3	-5,1	0,9	0,2	-21,0	1,0	0,23
V	-34,3	1,4	0,4	-19,7	1,5	0,4	-3,6	1,5	0,4	-19,1	1,1	0,30
EB	-31,4	1,4	0,2	-14,8	1,8	0,2	-2,7	1,3	0,2	-16,7	1,2	0,20
MS	-36,5	4,1	0,43	-22,0	5,8	0,60	-5,1	2,3	0,24	-21,0	3,6	0,37
	joulu-maaliskuu			huhti-, loka-, marrask.			touko-syyskuu			vuosi		
A	-29,5			-13,2			-2,0			-13,9		
S	-28,0	1,9	0,7	-11,0	1,9	0,7	+2,3	0,9	0,3	-11,0	1,4	0,53

Taulukko 2.4. Kylmyysennätyksien alueensisäiset keskihajonnat 1971–2000 kuukausittain, ja niiden vuosikeskiarvot. Koko manneralueella hajonta on laskettu sekä asemakohtaisista arvoista suoraan (MSas), josta koko maan keskiarvon keskivirhe on 10 %, että maapinta-alallisella painotuksella (MSal), joka kuvaa todellista vaihtelua. Alimmalla rivillä on hajonta saaristoasemilla, poisluettuna Kaisaniemi. Suurimmat ja pienimmät kuukausiarvot on lihavoitu.

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ka
PB	2,6	1,2	1,8	1,7	<b>3,1</b>	<b>0,9</b>	1,2	1,7	1,7	2,0	1,6	1,6	1,8
KB	1,9	1,4	2,2	2,1	1,3	1,3	1,4	<b>1,1</b>	1,2	1,9	<b>2,7</b>	1,3	1,7
V	1,9	2,0	<b>1,2</b>	1,4	1,8	1,4	2,0	1,5	1,4	<b>2,7</b>	2,3	1,5	1,8
EB	1,5	1,6	1,4	2,0	1,4	<b>1,2</b>	1,6	1,5	1,8	<b>2,3</b>	2,1	1,3	1,6
<b>MSas</b>	4,3	3,2	5,0	6,3	4,9	<b>1,4</b>	2,2	2,2	2,4	5,6	<b>6,1</b>	3,1	4,2
<b>MSal</b>	4,3	3,0	4,7	5,9	4,9	<b>1,4</b>	2,0	2,4	2,2	5,1	<b>5,4</b>	2,9	4,0
S+K	2,4	2,1	2,6	1,8	1,1	0,8	<b>0,7</b>	1,2	2,1	2,2	2,6	<b>3,3</b>	1,9
S	2,5	2,0	2,7	2,0	1,2	0,9	<b>0,7</b>	0,9	1,5	1,8	2,9	<b>3,6</b>	1,9

Taulukko 2.5. Kylmyysennätyksien kuukausittaisten aluekeskiarvojen ja niiden keskiarvojen (n = 12) erot keskivirheeseen yli Suomen pohjoisesta. Manneralueiden välisten erojen kuukausikulun kevät- ja syysmaksimit sekä kesäminimit on lihavoitu, samoin eteläborealin ja saariston välisen eron pääminimi ja päämaksimi.

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ka
KB- PB	6,1 ±0,7	3,1 ±0,4	6,6 ±0,6	<b>8,1</b> ±0,6	8,0 ±0,7	0,7 ±0,4	<b>0,6</b> ±0,4	2,1 ±0,4	1,9 ±0,5	<b>5,3</b> ±0,6	3,0 ±0,7	3,3 ±0,5	4,1 ±0,4
EB- KB	3,7 ±0,5	3,9 ±0,4	5,1 ±0,5	<b>6,8</b> ±0,6	3,2 ±0,4	<b>1,2</b> ±0,4	2,7 ±0,4	3,0 ±0,3	2,3 ±0,4	7,2 ±0,6	<b>9,9</b> ±0,7	3,2 ±0,4	4,3 ±0,3
V- KB	1,7 ±0,6	<b>2,0</b> ±0,6	1,6 ±0,6	1,8 ±0,6	1,3 ±0,5	<b>0,6</b> ±0,4	1,7 ±0,6	1,6 ±0,4	1,5 ±0,4	2,5 ±0,8	<b>4,3</b> ±0,8	2,0 ±0,5	1,9 ±0,4
EB- V	1,7 ±0,5	1,9 ±0,6	3,5 ±0,4	<b>5,0</b> ±0,5	1,9 ±0,5	<b>0,6</b> ±0,4	1,0 ±0,6	1,4 ±0,4	0,8 ±0,5	4,7 ±0,8	<b>5,6</b> ±0,7	1,2 ±0,4	2,4 ±0,4
S-EB	3,8 ±0,9	6,5 ±0,4	6,3 ±1,0	4,9 ±0,8	<b>4,0</b> ±0,5	4,2 ±0,4	4,6 ±0,4	5,8 ±0,5	6,1 ±0,8	6,0 ±0,9	<b>8,6</b> ±1,0	5,3 ±1,3	5,5 ±0,6

Taulukko 2.6. Aluekeskiarvojen erojen (taulukko 2.5) tilastolliset merkitsevyytasetot kuukausittain (% , 2-puolinen t-testi).

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PB - KB	99	99	99	99	99	<b>95</b>	<b>&lt;95</b>	99	99	99	99	99
KB - V	99	99	<b>95</b>	99	<b>95</b>	<b>&lt;95</b>	99	99	99	99	99	99
V - EB	99	99	99	99	99	<b>&lt;95</b>	<b>&lt;95</b>	99	<b>&lt;95</b>	99	99	99
KB - EB	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
EB - S	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99

Taulukko 2.7. Kauden 1971 – 2000 ennätykset osa-alueittain. Jyrkimpien 2 kuukauden nousujen ja laskujen alkamis-, loppumis- ja keskimmäisten kuukausien arvot on alleviivattu. Osa-alueiden lyhenteitä: K = Kaisaniemi, S = saaristo, r = rannikko, vj = vähäjärvinen, rj = runsasjärvinen, lo = lounaisosa, ko = koillisosa.

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ka
<b>Saaristo</b>	-32,7	-29,0	<u>-22,3</u>	<u>-10,6</u>	<u>-2,9</u>	+2,6	+7,1	+5,7	-0,2	<u>-7,7</u>	<u>-13,8</u>	<u>-28,5</u>	-11,0
Kaisaniemi	-34,3	-26,0	<u>-20,5</u>	<u>-10,5</u>	<u>-3,1</u>	+2,1	+7,1	+3,4	-4,5	<u>-11,6</u>	<u>-18,6</u>	<u>-29,5</u>	-12,2
<b>Eteläboreaali</b>													
EBr	-35,6	-34,7	<u>-27,4</u>	<u>-14,2</u>	<u>-6,5</u>	-1,8	+2,7	-0,3	-7,1	<u>-14,8</u>	<u>-22,5</u>	<u>-33,9</u>	-16,3
EBvj	-37,2	-35,4	<u>-29,2</u>	<u>-16,0</u>	<u>-7,4</u>	-2,2	+1,6	-1,2	-7,5	<u>-14,7</u>	<u>-23,9</u>	<u>-34,2</u>	-17,3
EBrj	-36,9	-34,6	<u>-27,1</u>	<u>-15,6</u>	<u>-6,1</u>	+0,1	+4,9	+2,2	-4,1	<u>-11,3</u>	<u>-20,7</u>	<u>-33,1</u>	-15,2
<b>Vaihettuma</b>													
Vrj	-38,2	-35,9	<u>-30,8</u>	<u>-19,7</u>	<u>-7,5</u>	+0,1	+4,7	+1,5	<u>-4,7</u>	<u>-13,4</u>	<u>-27,1</u>	-33,9	-17,1
Vvj sisämaa	-39,3	-37,3	<u>-32,1</u>	<u>-21,2</u>	<u>-9,1</u>	-2,9	+0,7	-2,3	<u>-8,0</u>	<u>-18,3</u>	<u>-27,8</u>	-35,7	-19,4
V Perämeri	-36,8	-36,8	<u>-31,9</u>	<u>-19,8</u>	<u>-8,6</u>	-1,9	+2,2	-2,1	<u>-8,1</u>	<u>-21,1</u>	<u>-31,5</u>	-34,3	-19,2
Vvj	-38,5	-37,2	<u>-32,0</u>	<u>-20,8</u>	<u>-9,0</u>	-2,6	+1,1	-2,2	<u>-8,0</u>	<u>-19,1</u>	<u>-28,9</u>	-35,3	-19,4
<b>Keskibor.</b>													
KBlo	-38,8	-38,6	<u>-32,6</u>	<u>-21,2</u>	<u>-9,4</u>	-3,6	-0,6	-3,8	<u>-9,1</u>	<u>-21,0</u>	<u>-32,8</u>	-36,8	-20,7
KBko	-41,7	-39,4	<u>-34,6</u>	<u>-24,0</u>	<u>-10,8</u>	-2,1	+0,4	-2,9	<u>-9,0</u>	<u>-21,8</u>	<u>-32,9</u>	-37,4	-21,3

Taulukko 2.8. Korkeiden paikkojen kylmyysennätysten poikkeamat ympäristöstään. Kummallakin ”Keskiarvo” - rivillä on kahden niiden yläpuolella olevan rivin arvojen keskiarvot. Poikkeamien suurimmat ja pienimmät kuukausiarvot on lihavoitu.

kk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ka
V, mäki	5,4	<b>7,0</b>	6,8	2,0	<b>1,5</b>	2,1	2,8	1,4	0,6	2,3	1,9	4,3	3,2
KB, mäki	5,9	6,2	<b>7,6</b>	<b>1,8</b>	2,2	2,7	2,8	3,2	3,9	3,9	1,9	4,4	4,0
Keskiarvo	5,7	6,6	<b>7,2</b>	1,9	<b>1,8</b>	2,4	2,8	2,3	2,2	3,1	1,9	4,4	3,6
PB, vaara	9,4	8,7	<b>12,9</b>	10,0	2,1	<b>0,1</b>	5,1	3,4	3,3	6,6	6,2	6,5	6,2
PB, tunturi	9,6	10,9	<b>13,9</b>	12,6	5,7	<b>0,3</b>	0,8	3,5	3,7	8,8	7,4	9,4	7,2
Keskiarvo	9,5	9,8	<b>13,4</b>	11,3	3,9	<b>0,2</b>	3,0	3,5	3,5	7,7	6,8	8,0	6,7

Taulukko 2.9. Kylmyysennätysten aluekeskiarvot kautena 1971–2000 ( $M_{71-00}$ ) sekä vastaavat digitoitujen pitkien sarjojen A avulla 40-vuoden toistuvuutta vastaaviksi korjatut vuosiminimit ( $M_{40}$ ) ja vastaavat arvot suoraan pitkistä sarjoista laskettuina ( $M_{40A}$ ). Lisäksi annetaan 50, 100, 500 ja 1000 vuoden toistumisaikojä vastaaviksi korjatut aluearvot  $M_{50}$ ,  $M_{100}$ ,  $M_{500}$  ja  $M_{1000}$ . Oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa on muuttujan  $M_{71-00}$  toistumisaika  $T_{71-00}$  (vuotta).  $N(A)$  on aineiston A-asemien lukumäärä (yhteensä 23 kappaletta) alueittain. Lihavointi tuo näkyviin toistuvuustasot.

Alue	N(A)	$M_{71-00}$	korjaus	$M_{40}$	$M_{40A}$	$M_{50}$	$M_{100}$	$M_{500}$	$M_{1000}$	$T_{71-00}$
Pohjoisboreaali	6	-46,6	+2,0	<b>-44,6</b>	-45,3	<b>-45,0</b>	<b>-46,2</b>	<b>-48,3</b>	<b>-49,0</b>	130
Keskiboreaali	3	-40,5	-0,1	<b>-40,5</b>	-40,6	<b>-40,9</b>	<b>-42,1</b>	<b>-44,2</b>	<b>-45,0</b>	40
KB, koillisosa	1	-41,7	+1,1	<b>-40,6</b>	-40,9	<b>-41,0</b>	<b>-42,2</b>	<b>-44,3</b>	<b>-45,1</b>	70
KB, lounaisosa	2	-39,3	-1,1	<b>-40,4</b>	-40,4	<b>-40,8</b>	<b>-42,0</b>	<b>-44,1</b>	<b>-44,9</b>	25
Vaihettuma	5	-38,5	-0,2	<b>-38,5</b>	-39,6	<b>-38,9</b>	<b>-40,1</b>	<b>-42,2</b>	<b>-43,0</b>	40
Eteläboreaali	6	-37,0	+0,1	<b>-37,0</b>	-37,2	<b>-37,4</b>	<b>-38,6</b>	<b>-40,7</b>	<b>-41,5</b>	40
EB, sisämaa	4	-37,3	-0,2	<b>-37,5</b>	-38,1	<b>-37,9</b>	<b>-39,1</b>	<b>-41,2</b>	<b>-42,0</b>	35
EB, rannikko	2	-36,0	+0,5	<b>-35,5</b>	-35,0	<b>-35,9</b>	<b>-37,1</b>	<b>-39,2</b>	<b>-40,0</b>	50
Ahvenanmanner	1	-32,9	+1,7	<b>-31,3</b>	-31,2	<b>-31,7</b>	<b>-32,9</b>	<b>-35,0</b>	<b>-35,7</b>	100
Saaristo	1	-32,9	+4,2	<b>-28,7</b>	-29,4	<b>-29,1</b>	<b>-30,3</b>	<b>-32,4</b>	<b>-33,1</b>	800
Kaisaniemi	1	-34,3	+1,6	<b>-32,7</b>	-32,7	<b>-33,1</b>	<b>-34,3</b>	<b>-36,4</b>	<b>-37,1</b>	100

Taulukko 2.10. Alueellisten toistuvuustasojen perusteita.

Kauden 1971–2000 kylmyysennätysten aluearvot laskettuna kaikkien asemien havainnoista ( $M_{71-00}$  kaikki), kaikkien pitkien sarjojen asemien havainnoista ( $M_{71-00}$  A+B) sekä pitkien digitoitujen sarjojen asemien havainnoista ( $M_{71-00}$  A). Lisäksi on annettu koko havaintokausien kylmyysennätysten ( $M_e$ ) ja kauden 1971–2000 kylmyysennätysten ( $M_{71-00}$ ) erot sekä aineistosta A että aineistosta A + B laskettuna niille alueille, joilla aineiston A+B arvot vastaavat paremmin yhtälön (3) mukaisia toistuvuustasoja kuin aineiston A arvot. Lisäksi annetaan lopullisten toistuvuustasojen  $M_{40}$ ,  $M_{100}$ ,  $M_{500}$  ja  $M_{1000}$  ja vastaavien digitoiduista sarjoista A laadituilta kuvaajilta luettujen toistuvuustasojen  $M_{40A}$ ,  $M_{100A}$ ,  $M_{500A}$  ja  $M_{1000A}$  erot.

	$M_{40}$	$M_{71-00}$ kaikki	$M_{71-00}$ A+B	$M_{71-00A}$	$M_eA-$ $M_{71-00A}$	$M_eA+B-$ $M_{71-00}$ A+B	$M_{40}-M_{40A}$	$M_{100}-$ $M_{100A}$	$M_{500}-$ $M_{500A}$	$M_{1000}-$ $M_{1000A}$
Eteläboreaali	-37,0	-37,0	-36,9	-37,1	-1,9	-2,5	+0,1	-0,5	-1,4	-1,8
EB sisämaa	-37,5	-37,3								
EB rannikko	-35,5	-36,0								
Vaihattuma	-38,5	-38,5	-38,5	-39,4	-1,0	-2,0	+1,1	+0,2	-1,1	-1,7
Keskiboreaali	-40,5	-40,5	-40,0	-40,4	-1,9	-2,8	+0,1	-0,3	-1,0	-1,4
PB	-44,6	-46,6		-47,4			+0,7	+0,7	+0,5	+0,5
Saaristo	-28,7	-32,9		-33,6			+0,7	+0,8	+1,0	+1,0
Ahvenanmanner	-31,3	-33,0		-32,9			-0,1	-0,1	-0,1	-0,2
Kaisaniemi	-32,7	-34,3		-34,3			0	-0,20	-0,5	-0,6

## RAPORTTEJA — RAPPORTER — REPORTS

- 1986:
1. Savolainen, Anna Liisa et al., 1986. Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden aikana. Väliaikainen raportti. 39 s.
  2. Savolainen, Anna Liisa et al., 1986. Dispersion of radioactive release following the Chernobyl nuclear power plant accident. Interim report. 44 p.
  3. Ahti, Kari, 1986. Rakennussääpalvelukokeilu 1985-1986. Väliraportti Helsingin ympäristön talvikokeilusta 18.11.-13.3.1986. 26 s.
  4. Korhonen, Ossi, 1986. Pintatuulen vertailumittauksia lentoasemilla. 38 s.
- 1987:
1. Karppinen, Ari et al., 1987. Description and application of a system for calculating radiation doses due to long range transport of radioactive releases. 50 p.
  2. Venäläinen, Ari, 1987. Ilmastohavaintoihin perustuva arvio jyrshinturpeen tuotantoedellytyksistä Suomessa. 35 s.
  3. Kukkonen, Jaakko ja Savolainen, Anna Liisa, 1987. Myrkyllisten kaasujen päästöt ja leviäminen onnettomuustilanteissa. 172 s.
  4. Nordlund, Göran ja Rantakrans, Erkki, 1987. Matemaattisfysikaalisten ilmanlaadun arviointimallien luotettavuus. 29 s.
  5. Ahti, Kari, 1987. Rakennussäätutkimuksen loppuraportti. 45 s.
  6. Hakola, Hannele et al., 1987. Otsonin vaihteluista Suomessa yhden vuoden havaintoaineiston valossa. 64 s.
  7. Tammelin, Bengt ja Erkiö, Eero, 1987. Energialaskennan säätiedot – suomalainen testivuosi. 108 s.
- 1988:
1. Eerola, Kalle, 1988. Havaintojen merkityksestä numeerisessa sääennustuksessa. 36 s.
  2. Fredrikson, Liisa, 1988. Tunturisääprojekti 1986-1987. Loppuraportti. 31 s.
  3. Salmi, Timo and Joffre, Sylvain, 1988. Airborne pollutant measurements over the Baltic Sea: meteorological interpretation. 55 p.
  4. Hongisto, Marke, Wallin, Markku ja Kaila, Juhani, 1988. Rikkipäästöjen vähentämistoimenpiteiden taloudellisesti tehokas valinta. 80 s.

5. Elomaa, Esko et al., 1988. Ilmatieteen laitoksen automaattisten merisääasemien käyttövarmuuden parantaminen. 55 s.
  6. Venäläinen, Ari ja Nordlund, Anneli, 1988. Kasvukauden ilmastotiedotteen sisältö ja käyttö. 63 s.
  7. Nieminen, Rauno, 1988. Numeeristen paine- ja korkeuskenttäennusteiden objektiivinen verifointisysteemi sekä sen antamia tuloksia vuosilta 1985 ja 1986. 35 s.
- 1989:
1. Ilvessalo, Pekko, 1989. Yksittäisestä piipusta ilmaan pääsevien epäpuhtauksien suurimpien tuntipitoisuuksien arviointimenetelmä. 21 s.
- 1992:
1. Mhita, M.S. and Venäläinen, Ari, 1991. The variability of rainfall in Tanzania. 32 p.
  2. Anttila, Pia (toim.), 1992. Rikki- ja typpilaskeuman kehitys Suomessa 1980-1990. 28 s.
- 1993:
1. Hongisto, Marke ja Valtanen Kalevi, 1993. Rikin ja typen yhdisteiden kaukokulkeutumismallin kehittäminen HIRLAM-sääennustemallin yhteyteen. 49 s.
  2. Karlsson, Vuokko, 1993. Kansalliset rikkidioksidin analyysivertailut 1979 - 1991. 27 s.
- 1994:
1. Komulainen, Marja-Leena, 1995. Myrsky Itämerellä 28.9.1994. Säätilan kehitys Pohjois-Itämerellä M/S Estonian onnettomuusyönä. 42 s.
  2. Komulainen, Marja-Leena, 1995. The Baltic Sea Storm on 28.9.1994. An investigation into the weather situation which developed in the northern Baltic at the time of the accident to m/s Estonia. 42 p.
- 1995:
1. Aurela, Mika, 1995. Mikrometeorologiset vuomittausmenetelmät - sovelluksena otsonin mittaaminen suoralla menetelmällä. 88 s.
  2. Valkonen, Esko, Mäkelä, Kari ja Rantakrans, Erkki, 1995. Liikenteen päästöjen leviäminen katukuilussa - AIG-mallin soveltuvuus maamme oloihin. 25 s.
  3. Virkkula, Aki, Lättilä, Heikki ja Koskinen, Timo, 1995. Otsonin maanpintapitoisuuden mittaaminen UV-säteilyn absorptiolla: DOAS-menetelmän vertailu suljettua näytteenottoalaa käyttävään menetelmään. 29 s.
  4. Bremer, Pia, Ilvessalo, Pekko, Pohjola, Veijo, Saari, Helena ja Valtanen, Kalevi, 1995. Ilmanlaatuennusteiden ja -indeksin kehittäminen Helsingin Käpylässä suoritettujen mittausten perusteella. 81 s.



- 1996: 1. Saari, Helena, Salmi, Timo ja Kartastenpää, Raimo, 1996. Taajamien ilmanlaatu suhteessa uusiin ohjearvoihin. 98 s.
- 1997: 1. Solantie, Reijo, 1997. Keväthallojen alueellisista piirteistä ja vähän talvipakkastenkin. 28 s.
- 1998: 1 Paatero, Jussi, Hatakka, Juha and Viisanen, Yrjö, 1998. Concurrent measurements of airborne radon-222, lead-210 and beryllium-7 at the Pallas-Sodankylä GAW station, Northern Finland. 26 p.
- 2 Venäläinen, Ari ja Helminen, Jaakko, 1998. Maanteiden talvikunnossapidon sääindeksi. 47 s.
- 3 Kallio, Esa, Koskinen, Hannu ja Mälkki, Anssi, 1998. VII Suomen avaruustutkijoiden COSPAR-kokous, Tiivistelmät. 40 s.
- 4 Koskinen, H. and Pulkkinen, T., 1998. State of the art of space weather modelling and proposed ESA strategy. 66 p.
- 5 Venäläinen, Ari ja Tuomenvirta Heikki, 1998. Arvio ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta teiden talvikunnossapidon kustannuksiin. 19 s.
- 1999: 1 Mälkki, Anssi, 1999. Near earth electron environment modelling tool user/software requirements document. 43 p.
- 2 Pulkkinen, Antti, 1999. Geomagneettisesti indusoidut virrat Suomen maakaasuverkostossa. 46 s.
- 3 Venäläinen, Ari, 1999. Talven lämpötilan ja maanteiden suolauksen välinen riippuvuus Suomessa. 16 s.
- 4 Koskinen, H., Eliasson, L., Holback, B., Andersson, L., Eriksson, A., Mälkki, A., Nordberg, O., Pulkkinen, T., Viljanen, A., Wahlund, J.-E., Wu, J.-G., 1999. Space weather and interactions with spacecraft : spee final report. 191 p.
- 2000: 1 Solantie, Reijo ja Drebs, Achim, 2000. Kauden 1961 - 1990 lämpöoloista kasvukautena alustan vaikutus huomioiden, 38 s.
- 2 Pulkkinen, Antti, Viljanen, Ari, Pirjola, Risto, and Bear working group, 2000. Large geomagnetically induced currents in the Finnish high-voltage power system. 99 p.
- 3 Solantie, R. ja Uusitalo, K., 2000. Patoturvallisuuden mitoitussadannat: Suomen suurimpien 1, 5 ja 14 vrk:n piste- ja aluesadantojen analysointi vuodet 1959 - 1998 kattavasta aineistosta. 77 s.

- 4 Tuomenvirta, Heikki, Uusitalo, Kimmo, Vehviläinen, Bertel, Carter, Timothy, 2000. Ilmastonmuutos, mitoitussadanta ja patoturvallisuus: arvio sadannan ja sen ääriarvojen sekä lämpötilan muutoksista Suomessa vuoteen 2100. 65 s.
  - 5 Viljanen, Ari, Pirjola, Risto and Tuomi, Tapio, 2000. Abstracts of the URSI XXV national convention on radio science. 108 p.
  - 6 Solantie, Reijo ja Drebs, Achim, 2000. Keskimääräinen vuoden ylin ja alin lämpötila Suomessa 1961 - 90. 31 s.
  - 7 Korhonen, Kimmo, 2000. Geomagneettiset mallit ja IGRF-appletti. 85 s.
- 2001:
- 1 Koskinen, H., Tanskanen, E., Pirjola, R., Pulkkinen, A., Dyer, C., Rodgers, D., Cannon, P., Mandeville, J.-C. and Boscher, D., 2001. Space weather effects catalogue. 41 p.
  - 2 Koskinen, H., Tanskanen, E., Pirjola, R., Pulkkinen, A., Dyer, C., Rodgers, D., Cannon, P., Mandeville, J.-C. and Boscher, D., 2001. Rationale for a european space weather programme. 53 p.
  - 3 Paatero, J., Valkama, I., Makkonen, U., Laurén, M., Salminen, K., Raittila, J. and Viisanen, Y., 2001. Inorganic components of the ground-level air and meteorological parameters at Hyytiälä, Finland during the BIOFOR project 1998-1999. 48 p.
  - 4 Solantie, Reijo, Drebs, Achim, 2001. Maps of daily and monthly minimum temperatures in Finland for June, July, and August 1961-1990, considering the effect of the underlying surface. 28 p.
  - 5 Sahlgren, Vesa, 2001. Tuulikentän alueellisesta vaihtelusta Längelmävesi-Roine -järvialueella. 33 s.
  - 6 Tammelin, Bengt, Heimo, Alain, Leroy, Michel, Rast, Jacques and Säntti, Kristiina, 2001. Meteorological measurements under icing conditions : EUMETNET SWS II project. 52 p.
- 2002:
- 1 Solantie, Reijo, Drebs, Achim, Kaukoranta, Juho-Pekka, 2002. Lämpötiloja eri vuodenaikoina ja eri maastotyypeissä Alajärven Möksyssä. 57 s.
  2. Tammelin, Bengt, Forsius, John, Jylhä, Kirsti, Järvinen, Pekka, Koskela, Jaakko, Tuomenvirta, Heikki, Turunen, Merja A., Vehviläinen, Bertel, Venäläinen, Ari, 2002. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. 121 s.
- 2003:
1. Vajda, Andrea and Venäläinen, Ari, 2003. Small-scale spatial variation of climate in northern Finland. 34 p.

2. Solantie, Reijo, 2003. On definition of ecoclimatic zones in Finland. 44 p.
  3. Pulkkinen, T.I., 2003. Chapman conference on physics and modelling of the inner magnetosphere Helsinki, Finland, August 25 -29, 2003. Book of abstracts. 110 p.
  4. Pulkkinen, T. I., 2003. Chapman conference on physics and modelling of the inner magnetosphere Helsinki, Finland, August 25 -29, 2003. Conference program. 16 p.
  5. Merikallio, Sini, 2003. Available solar energy on the dusty Martian atmosphere and surface. 84 p.
  6. Solantie, Reijo, 2003. Regular diurnal temperature variation in the Southern and Middle boreal zones in Finland in relation to the production of sensible heat. 63 p.
- 2004:
1. Solantie, Reijo, Drebs, Achim and Kaukoranta, Juho-Pekka, 2004. Regular diurnal temperature variation in various landtypes in the Möksy experimental field in summer 2002, in relation to the production of sensible heat. 69 p.
  2. Toivanen, Petri, Janhunen, Pekka and Koskinen, Hannu, 2004. Magnetospheric propulsion (eMPii). Final report issue 1.3. 78 p.
  3. Tammelin, Bengt et al., 2004. Improvements of severe weather measurements and sensors – EUMETNET SWS II project. 101 p.
  4. Nevanlinna, Heikki, 2004. Auringon aktiivisuus ja maapallon lämpötilan vaihtelut 1856 - 2003. 43 s.
  5. Ganushkina, Natalia and Pulkkinen, Tuija, 2004. Substorms-7: Proceedings of the 7th International Conference on Substorms. 235 p.
  6. Venäläinen, Ari, Sarkkula, Seppo, Wiljander, Mats, Heikkinen, Jyrki, Ervasto, Erkki, Poussu, Teemu ja Storås, Roger, 2004. Espoon kaupungin talvikunnossapidon sääindeksi. 17 s.
  7. Paatero, Jussi and Holmen, Kim (eds.), 2004. The First Ny-Ålesund - Pallas-Sodankylä atmospheric research workshop, Pallas, Finland 1 - 3 March 2004 - Extended abstracts. 61 p.
  8. Holopainen, Jari, 2004. Turun varhainen ilmastollinen havaintosarja. 59 s.
- 2005:
1. Ruuhela, Reija, Ruotsalainen, Johanna, Kangas, Markku, Aschan, Carita, Rajamäki, Erkki, Hirvonen, Mikko ja Mannelin, Tarmo, 2005. Kelimallin kehittäminen talvijaankulun turvallisuuden parantamiseksi. 47 s.

2. Laurila, Tuomas, Lohila, Annalea, Tuovinen, Juha-Pekka, Hatakka, Juha, Aurela, Mika, Thum, Tea, Walden, Jari, Kuronen, Pirjo, Talka, Markus, Pesonen, Risto, Pihlatie, Mari, Rinne, Janne, Vesala, Timo, Ettala, Matti, 2005. Kaatopaikkojen kaasupäästöjen ja haihdunnan mikrometeorologisten mittausten kehittämisen (MIKROMETKAA). Tekesin Streams – ohjelman hankkeen loppuraportti. 34 s. (Ei julkaistu – Not published)
  3. Siili, Tero, Huttunen, Emilia, Koskinen, Hannu ja Toivanen, Petri (toim.), 2005. Kymmenes Suomen avaruustutkijoiden kokous (FinCospar) Kokousjulkaisu. 57 s.
  4. Solantie, Reijo and Pirinen, Pentti, 2005. Diurnal temperature variation in inversion situations. 34 s.
  5. Venäläinen, Ari, Tuomenvirta, Heikki, Pirinen, Pentti and Drebs, Achim, 2005. A basic Finnish climate data set 1961 – 2000 – description and illustrations. 24 p.
  6. Tammelin, Bengt, Säntti, Kristiina, Dobeck, Hartwig, Durstewich, Michel, Ganander, Hans, Kury, Georg, Laakso, Timo, Peltola, Esa, Ronsten, Göran, 2005. Wind turbines in icing environment: improvement of tools for siting, certification and operation – NEW ICETOOLS. 127 p.
- 2006:
1. Mälkki, Anssi, Kauristie, Kirsti and Viljanen Ari, 2006. Auroras Now! Final Report, Volume I. 73 p.
  2. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2003. 47 p.
  3. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2004. 47 p.
  4. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2005. 49 p.
  5. Viljanen, A. (toim.), 2006. Sähkömagnetiikka 2006. Tiivistelmät – Abstracts. 30 s.
  6. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2006. Salamahavainnot 2006 - Lightning observations in Finland, 2006. 39 p.
  7. Merikallio, Sini, 2006. Preliminary report of the analysis and visualisation software for SMART-1 SPEDE and EPDP instruments. 70 p.
  8. Solantie, Reijo, Pirinen, Pentti, 2006. Orografian huomioiminen loka-huhtikuun sademäärien alueellisissa analyyseissä. 34 s.
  9. Ruosteenoja, Kimmo, Jylhä, Kirsti, Räisänen, Petri, 2006. Climate projections for the Nordic CE project – an analysis of an extended set of global regional climate model runs. 28 p.

10. Merikallio, Sini, 2006. Analysis and visualisation software for DEMETER Langmuir Probe instrument. 31 p.
- 2007:
1. Solantie, Reijo, Järvenoja, Simo, Pirinen, Pentti, 2007. Keskimääräisten kuukauden minimilämpötilojen alueellinen jakauma kautena 1992 – 2005 Suomessa sekä muutos kaudesta 1961 – 1990. 59 s.
  2. Pulkkinen, Tuija, Hari, Ari-Matti, Haukka, Harri, Leinonen, Jussi, Toivanen, Petri, Koskinen, Hannu, André, Mats, Balasis, Georgios, Boscher, Daniel, Dandouras, Iannis, Grande, Mauel, De Keyser, John, Glassmeier, Karl-Heinz, Hapgood, Mike, Horne, Richard, Ivchenko, Nikolay, Santolik, Ondrej, Torkar, Klaus; Trotignon, Jean Gabriel, Vennerstrøm, Susanne, 2007. Waves and acceleration of relativistic particles (WARP). 36 p.
  3. Harri, A-M., Leinonen, J., Merikallio, S., Paton, M., Haukka, H., Polkko, J., Linkin, V., Lipatov, V., Pichkadze, K., Polyakov, A., Uspensky, M., Vasquez, L., Guerrero, H., Crisp, D., Haberle, R., Calcutt, S., Wilson, C., Taylor, P., Lange, C., Daly, M., Richter, L., Jaumann, R., Pommereau, J-P., Forget, F., Lognonne, Ph., Zarnecki, J., 2007. MetNet – In situ observational network and orbital platform to investigate the Martian environment. 35 p.
  4. Venäläinen, Ari, Saku, Seppo, Kilpeläinen, Tiina, Jylhä, Kirsti, Tuomenvirta, Heikki, Vajda, Andrea, Räisänen, Jouni, Ruosteenoja, Kimmo, 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa. 81 s.
  5. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2007. Salamahavainnot 2007 - Lightning observations in Finland, 2007. 47 p.
  6. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2007. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2006. 49 p.
- 2008:
1. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2008. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2007. 49 p.
  2. Verronen, Pekka T. (ed), 2008. 1<sup>st</sup> international HEPPA workshop 2008, Book of abstracts. 81 p.
  3. Gregow, Hilppa, Venäläinen, Ari, Laine, Mikko, Niinimäki, Niina, Seitola, Teija, Tuomenvirta, Heikki, Jylhä, Kirsti, Tuomi, Tapio ja Mäkelä, Antti, 2008. Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. 99 s.
  4. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2008. Salamahavainnot 2008 – Lightning observations in Finland, 2008. 49 p.
  5. Heino, Raino and Tolonen-Kivimäki, Outi (eds), 2008. Finnish national report on systematic observations for climate – 2008. 27 p.

6. Paatero, Jussi et al., 2008. Effects of Kola air pollution on the environment in the western part of the Kola peninsula and Finnish Lapland : final report. 26 p.
- 2009:
1. Nevanlinna, H., 2009. Geomagnetismin ABC-kirja. 204 s.
  2. Nevanlinna, H. (toim.), 2009. Ilmatieteen laitos 170 vuotta, 1838 - 2008. 69 s.
  3. Nevanlinna, Heikki, 2009. Revontulihavainnot Suomessa 1748 – 2009. 88 s.
  4. Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. 102 p.
  5. Mäkelä, Antti & Tuomi, Tapio, J., 2009. Salamahavainnot 2009 – Lightning observations in Finland, 2009. 51 p.
  6. Verronen, Pekka (ed.), 2009. 5<sup>th</sup> International Atmospheric Limb Conference and Workshop : Book of abstracts. 92 p.
  7. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2009. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2008. 48 p.
  8. Kersalo, Juha and Pirinen, Pentti (eds), 2009. Suomen maakuntien ilmasto. 185 s.
- 2010:
1. Rauhala, Jenni & Mäntyniemi, Päivi, 2010. Luonnononnettomuuksien vaikutus ja niihin vaikuttaminen. (valmisteilla).
  2. Pilli-Sihvola, K. Löwendahl, E., Ollikainen, M., van Oort, B., Rummukainen, M. & Tuomenvirta, H., 2010. Survey on the use of climate scenarios and climate change research information in decision making in Finland, Sweden and Norway. Report for the project Climate change adaption in Norway, Sweden and Finland – do research, policy and practice meet? (CAREPol). 57 p.
  3. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2010. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2009. 48 p.
  4. Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. and Laaksonen, A. 2010. Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. 23 s.
  5. Mäkelä, Antti, 2010. Salamahavainnot 2010 – Lightning observations in Finland, 2010. 50 p.
- 2011:
1. Saku, Seppo, Solantie, Reijo, Jylhä, Kirsti, Venäläinen, Ari ja Valta, Hannu, 2011. Ääriämpötilojen alueellinen vaihtelu Suomessa. 92 s.



Ilmatieteen laitos  
Erik Palménin aukio 1, Helsinki  
tel. (09) 19 291  
[www.fmi.fi](http://www.fmi.fi)

ISBN 978-951-697-723-5 (nid.)  
ISBN 978-951-697-72 4-2 (pdf)  
ISSN 0782-6079  
Unigrafia Oy  
Helsinki 2011