



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2007:1

Keskimääräisten kuukauden
minimilämpötilojen alueellinen
jakautuma kautena 1991-2005
Suomessa sekä muutos kaudesta
1961-1990

REIJO SOLANTIE
SIMO JÄRVENOJA
PENTTI PIRINEN

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS

No. 2007:1

551.583.15
551.524.36

KESKIMÄÄRÄISTEN KUUKAUDEN
MINIMILÄMPÖTILOJEN ALUEELLINEN
JAKAUTUMA KAUTENA 1991–2005
SUOMESSA SEKÄ MUUTOS KAUDESTA
1961–1990

Reijo Solantie
Simo Järvenoja
Pentti Pirinen

Ilmatieteen laitos
Meteorologiska institutet
Finnish Meteorological Institute

Helsinki 2007

ISBN 978-951-697-622-1
ISSN 0782-6079

Yliopistopaino
Helsinki 2007



Tekijä(t) Reijo Solantie, Simo Järvenoja, Pentti Pirinen	Projektin nimi	
Nimeke KESKIMÄÄRÄISTEN KUUKAUDEN MINIMILÄMPÖILOJEN ALUEELLINEN JAKAUTUMA KAUTENA 1991–2005 SUOMESSA SEKÄ MUUTOS KAUSTESTA 1961–1990	Toimeksiantaja	
Tiivistelmä <p>Joka kalenterikuukauden alimmalle lämpötilalle keskimäärin vuosina 1991–2005 ('kuukausiminimi') laadittiin kartta Kriging-analyysimenetelmällä, muuttujina ilmansuuntakoordinaatit x, y (sekä x₂, y₂, x • y), korkeus m.p.y, puuston keskikorkeus, järvien osuus, meren osuus ja nevojen osuus. Mukana olivat kaikki asemat paitsi lakimailla ja kylmissä notkoissa sijaitsevat. Puuston vaikutuksella oli päämaksimi maaliskuussa ja sekundääriset maksimit heinä-, elo sekä joulukuussa. Järvien ja meren vaikutuksella oli maksimit elokuussa (järvillä päämaksimi) ja joulukuussa (merellä päämaksimi), nevojen vaikutuksella päämaksimi heinäkuussa.</p> <p>Lisäksi laskettiin kuukausiminimien erot verrattuna kauteen 1961–1990. Minimit olivat lämmenneet muulloin paitsi lokakuussa. Puuston korkeuden ja arktisen värähtelyn indeksin kasvut selittivät pääosan muutoksista; näiden vaikutus oli Lapissa pienempi kuin muualla. Myös jäännöstermi (joka sisältää havainto- ja selitysvirheen lisäksi muut kuin edellä mainitut ilmaston vaihteluun vaikuttavat tekijät, joista ilmeisesti merkittävimmät ovat kasvihuone-ilmaston voimistumisen ja Barentsinmeren sulan alueen laajenemisen vaikutukset), osoitti — enimmäkseen positiivista muutosta, Lapissa suurempaa kuin muualla.</p>		
Julkaisijayksikkö Ilmasto ja globaalimuutostutkimus		
Luokitus (UDK) 551.583.15 551.524.36	Asiasanat Minimilämpötila, Suomi Lämpötilanmuutos	
ISSN ja avainnimeke 0782-6079 Raportteja		
Kieli Suomi	ISBN 978-951-697-622-1	
Myynti	Sivumäärä 59	Hinta
Lisätietoja		



Authors Reijo Solantie, Simo Järvenoja, Pentti Pirinen		Name of project	
		Commissioned by	
Title THE AREAL DISTRIBUTION OF MONTHLY MINIMUM TEMPERATURES 1991–2005 IN FINLAND AND CHANGES FROM THE PERIOD 1961-1990			
Abstract <p>Maps of monthly minimum temperatures averaged for the period 1991–2005 (i.e., the mean of 15 values for each calendar month) were prepared using the Kriging method; this method explains areal variation by the following factors: the spatial coordinates x, y, x_2, y_2, $x \cdot y$, terrain height a.s.l. (m), the mean height of trees (m), the proportion of lakes and the proportion of fens. All stations were used except those on hillsides and in deep valleys. The effect of trees had its main maximum in March and secondary ones in July-August and December. The effect of lakes and sea had its maxima in August (mainly for lakes) and December (mainly for the sea). The effect of fens was highest in July.</p> <p>Secondly, changes in the monthly minima from the period 1961–1990 were calculated. The minima had risen, except in October. The increases in the height of forest stands and in the Arctic oscillation index explain most of the changes, these changes and their effects being smaller in Lapland than elsewhere. Additionally, the residual, consisting of all kinds of other effects in addition to errors in the data and the model, was positive in all months except October, and was greater Lapland than elsewhere. Of the effects included in the residual, the impact of the increase in greenhouse gases and the effect of an increasing open-water area in the Barents Sea, were obviously the most significant.</p>			
Publishing unit Climate and Global Change			
Classification (UDC) 551.583.15 551.524.36		Key words Minimum temperature, Finland Change in temperature	
ISSN and series title 0782-6079 Reports			
Language Finnish		ISBN 978-951-697-622-1	
Sold by		Pages 59	Price
		Note	

SISÄLLYLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	MENETELMÄ JA AINEISTO	9
3	TULOKSET	12
3.1	Kriging-ajojen selittäjät ja niiden vaikutukset kuukausittain	12
3.2	Alueelliset piirteet kuukausittain	20
3.3	Kuukausiminimien muutokset kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005	26
4	TULOSTEN TARKASTELUA	33
5	MUUTOSTEN VAIKUTUKSIA	36
6	TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ	36
	KIITOKSET	37
	SUMMARY	38
	KUVAT - FIGURES	42
	KIRJALLISUUTTA - REFERENCES	58

1 JOHDANTO

Keskimääräinen kuukauden minimilämpötila M tarkoittaa tässä yhtä arvoa kalenterikuukautta kohti, keskiarvo saadaan jakamalla tarkastelukauden vuosien lukumäärällä; lyhyiden vuoksi puhutaan kuukausiminimistä. Tämä muuttuja kuvaa aika paljon lämpötiloja tyypillisissä maanpintainversiotilanteissa etenkin niinä vuodenaikoina, jolloin nämä ovat yleisimpiä. Tämän muuttujan tilastoiminen ja kartoittaminen on tärkeää mm. ekologiassa sekä maa- ja metsätaloudessa tutkittaessa hallariskejä ja pakkasen sietoja. Ilmaston muuttuessa katsottiin aiheelliseksi laatia keskimääräisille kuukausiminimeille kartat juuri päättyneelle 15-vuotiskaudelle 1991–2005.

Solantie & Drebs (2000, 2001) ovat laatineet koko Suomen alueen käsittävät kartat normaalikauden 1961–1990 keskimääräisille kuukausiminimeille touko–syyskuussa sekä vuosiminimeille. He käyttivät karttoja laatiessaan regressioanalyysyjä, joissa huomioitiin leveysaste, korkeus merenpinnasta (kuukausittaiset vakiot kirjallisuudesta), järvien vaikutus, meren vaikutus sekä ojitettujen soiden osuus pinta-alasta. Viimeksi mainitun tekijän vaikutus oli suurin 70-luvulla, kun ojitettuja soita, jotka olivat kylmiä sekä siksi, että niille ei vielä ollut muodostunut puustoa ja siksi, että niiden turve ojituksen takia oli kuivempaa ja eristävämpää kuin luonnontilassa, oli eniten. Kun kautena 1991–2005 suurin osa ojitetuista soista oli jo saanut aika korkean puuston, vaihdettiin tämä muuttuja sekoitusfunktioon, joka kuvaa lähinnä puuston keskikorkeutta metsissä ja puustoisilla soilla, mikä kuvastaa sekoittumiskerroksen paksuutta latvustason alapuolella ja siten myös inversion terävyyttä ja sen vaikutusta lämpötilaan kahden metrin korkeudella.

Myös Vajda & Venäläinen (2003a) analysoivat kesän minimilämpötilan alueellista jakautumaa keskimäärin kautena 1971–2000 Lapissa Kriging-menetelmällä, käyttäen selittäjinä ilmansuuntakoordinaatteja x ja y , sekä niiden johdannaisia. x , y ja x^2 , y^2 , ja lisäksi järvisyyttä, etäisyyttä merestä ja korkeutta merenpinnasta. Vajda & Venäläinen (2003b) käyttivät myöhemmin samaa menetelmää laskemalla vuorokauden keskimääräiset minimilämpötilat vuodenajoittain. Lapissa puusto on kaikkialla aika

harvaa ja matalaa ja suot Lapin lounaiskolkkaa lukuun ottamatta pääosin ojittamattomia, joten puuston ja ojituksen huomiotta jättäminen Lapissa ei ole niin merkityksellistä kuin koko Suomen kattavassa analyysissä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli seurata sitä, poikkesiko kausi 1991–2005 kaudesta 1961–1990. Sellaisilla asemilla, joiden ympäristö oli pysynyt vakaana kautena 1961–2005, verrattiin muutoksia kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005 kuukausittain. Tutkimuksen tarkoituksena oli myös tarkastella sitä, miten järvien jäätyminen ja lumen sulamisen ajoituksen siirtyminen ilmaston lämmitessä vaikuttaa eri kuukausien minimilämpötilojen alueellisiin jakautumiin.

Muutoksia tarkasteltaessa huomioitiin ns. arktinen värähtely. Arktinen värähtely (Arctic Oscillation, AO) on merkittävin ilmakehän virtausolojen vaihtelun moodi pohjoisella pallonpuoliskolla. Se havaitaan länsituulten vuorottaisena voimistumisena ja heikkenemisenä etenkin Atlantin ja Euroopan sektorilla. Länsituulten voimakkuus on taas verrannollinen etelä-pohjoissuuntaisen ilmanpainegradientin suuruuteen. Arktinen värähtely ja sen muutos eri kausien välillä vaihtelevat huomattavasti kuukaudesta toiseen (kuva 4), ja niiden merkitys kuukausiminimien käyttäytymiselle on erittäin suuri, erityisesti Suomessa.

AO-i oli negatiivinen 1960-luvulla, jolloin meillä oli pakkastalvia. Talvesta 1988-1989 alkaen 1990-luvun alkupuolelle AO-i oli huomattavan positiivinen, ja silloin oli hyvin lauhoja, Etelä- ja Länsi-Suomessa vähälumisia talvia. Positiivisuus kauteen 1961–1990 verrattuna on jatkunut, mutta ajan myötä heiketen. Arktinen värähtely on läheinen sukulainen kauemmin tunnetulle Pohjois-Atlantin värähtelylle (NAO), ja on jopa esitetty, että on kyse yhdestä ja samasta ilmiöstä (Wallace, 2000). AO- ja NAO-indeksien välinen korrelaatio onkin yli 0.9.

Myös metsien ja soiden puuston keskikorkeus on Suomessa kasvanut suuresti kolmen viime vuosikymmenen aikana, mikä otettiin muutoksia tarkasteltaessa huomioon. Eteläboreaalissa metsät ovat yleensä järeytyneet, ja Keski-boreaalissa laajoille suo-

ojituksille on kasvanut varveva puusto. Pohjoisboreaalissakin laajat metsien uudistukset ovat johtaneet samansuuntaiseen, joskin paljon vähäisempään kehitykseen.

2 MENETELMÄ JA AINEISTO

Kauden 1991–2005 analyysissä käytettiin Kriging-menetelmää. Analyysissä käytettiin kaikkia tarkasteltavan kauden toimineita havaintoasemia lukuun ottamatta niitä muutamia, jotka sijaitsevat äärevissä paikoissa, siis mäkien lakimailla (Salla, Värriötunturi; Vieremä, Kaarakkala; Rovaniemi, lentoasema, Inari, Rajajooseppi) tai syvissä notkoissa (Kuusamo, Kiutaköngäs, Vihti, Maasoja). Jotta järvien vaikutus saataisiin paremmin esiin, käytettiin lisäksi Järvi-Suomen suurten järvenselkien luodoilla olevia asemia, vaikka niiltä muutama havaintovuosi puuttuikin (Päijänteen Judinsalo 1994–2006 sekä Pyhäselän Tuiskavanluoto ja Haukiveden Rukkasluoto 1998–2006).

Havainnot analysoitiin $10 \cdot 10$ km ruudukossa menetelmällä. Koko pinta-alalla vaikuttavina riippumattomina selittäjät olivat seuraavat:

- x eli itä-länsi-koordinaatti (kansallinen peruskoordinaattisysteemi YKJ, kaista 3, yksikkö 10^3 km, 0-arvo 500 km itään 27. pituusasteesta) sekä x^2
- y eli etelä-pohjois-koordinaatti pohjoiseen päiväntasaajasta (10^3 km), sekä y^2
- $x \cdot y$
- h = korkeus m.p.y (m)

Vesistöjen vaikutusta kuvaavat selittäjät olivat:

- J eli järvien vaikutus = $j - 0.44 \cdot j^2$ (Solantie & Drebs, 2000) missä j = järvien osuus pinta-alasta. Järvien vaikutus ei ole suoraan verrannollinen järvien pinta-alaosuuteen, vaikka järvistä tuleva lämpö suunnilleen onkin, sillä mitä suurempi on lämmitys, sen paksumpaan kerrokseen lämpö sekoittuu
- H eli meren vaikutus, eli meren osuus koko alasta.

Koska nevoja esiintyy pääasiassa lapin aapasuoyhdistymissä, missä ne ovat keväästä pitkälle kesään veden peittämiä, kuvattiin niiden vaikutusta omalla muuttujallaan:

— n = nevojen osuus pinta-alasta (interpoloitu valtakunnan metsien 8. inventointiin perustuvista $50 \cdot 50$ km:n ruutuarvoista, jotka on laskenut Kari Korhonen, Metsäntutkimuslaitos).

Puustoisilla soilla ja metsissä sekoittumiskerroksen paksuutta inversiotilanteissa, inversion terävyyttä ja sen vaikutusta kuukausiminimeihin kuvattiin puuston keskikorkeudella metsissä ja puustoisilla soilla; näiden osuus kokonaisalasta saatiin vähentämällä ykkösestä peltojen osuus (p) sekä nevojen, järvien ja meren osuudet. Koska peltoja on vain 9 % Suomen pinta-alasta, yhdistettiin niiden vaikutus samaan muuttuunaan metsien ja puustoisten soiden vaikutuksen kanssa. Koska sekoittumien pelloilla on vähäisempää kuin runsaspuustoisissa metsissä jotka luonnehtivat Eteläboreaalia, mutta voimakkaampaa kuin karuilla kankailla tai rämeillä, jotka luonnehtivat metsiä ja soita muualla maassa, approksimoitiin sekoittuminen pelloilla ja peltojen vaikutus minimilämpötiloihin samaksi kuin 13 m korkeassa puustossa. Siten sekoittumismuuttuja kokonaisuudessaan on

$$S = (1-n-j-m-p) \cdot P + 13 \cdot p, \text{ missä}$$

P = puuston keskikorkeus (m) metsissä ja soilla ja p = peltojen osuus maa-alasta; tässä peltojen on approksimoitu vastaavan 13 metrin korkuisen puuston vaikutusta; siten pellot ovat Eteläboreaalissa metsiä ja soita kylmempiä ja muualla niitä lämpimämpiä.

Koska puusto korkein eteläisen Järvi-Suomen seuduilla (kuva 1), sekoittuu järvien ja puuston vaikutus helposti toisiinsa. Metsien vaikutuksen paremmin esille saamiseksi ajettiin regressioanalyysi myös siten, että karsittiin pois asemat, joiden ympäristöissä järvisyys on yli 7 %, ja jätettiin järviselittäjä pois. Näin saatua sekoitusfunktiota merkittiin symbolilla S2 (ja ensimmäisessä ajossa saatua symbolilla S1). Nevojen vaikutus muistuttaa järvien vaikutusta, mutta onneksi niitä on runsaasti varsin vähäjärvisillä Pohjois-Suomen seuduilla (kuva 2).

Tutkittaessa minimilämpötilan kuukausittaisia muutoksia kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005 laskettiin lähtöarvot ja muutokset ekologisilmastollisten vyöhykkeiden aluekeskiarvoina siten, että Eteläboreaali jaettiin runsasjärviseen Järvi-Suomeen ja vähäjärviseen Eteläboreaaliin (kuva 3). Kuukausiminimien muutokset laskettiin kautena 1961–2005 jokseenkin muuttumattomissa sijainneissa olleiden Suomen mantereen asemien aluekeskiarvoina Eteläboreaalin vähäjärviselle osalle (17 asemaa), Järvi-Suomelle (14 asemaa), Keski-boreaalille (12 asemaa), näiden yhteisalueelle sekä Pohjoisboreaalille (9 asemaa).

Kuukausiminimien muutoksia selitettiin sekoittumisfunktion S ja arktisen värähtelyn indeksin AO -i kuukausittaisten muutosten ΔS ja ΔAO -i avulla. Jäännöstermi kuvaa muiden efektien muutosten, ilmeisesti lähinnä kasvihuonekaasujen ja Barentsin meren avovesialueen lisääntymisen vaikutuksia, mutta sisältää myös selitysvirheen. Muuttujan S muutoksen laskemiseksi puuston keskikorkeuden muutos kerrottiin maan ja sisävesien yhteenlasketulla alalla kauden 1991–2005 aineistosta regressioanalyysissä saaduilla muuttujan S^2 kuukausittaisilla kertoimilla. Puuston keskikorkeuden muutos kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005 laskettiin valtakunnan metsäinventointien tuloksista (Metsätilastollinen vuosikirja 1977–78 ja *ibid.* 2005) Solantien (2005) menetelmällä. Puuston keskikorkeuden kasvuksi metsissä ja soilla Eteläboreaalissa saatiin 3,8 m ja Keski-boreaalissa 2,7 m, eli kerrottuna metsien ja soiden osuudella maan ja sisävesien yhteenlasketusta alasta korkeuden kasvu on sekä molemmilla Eteläboreaalin alueilla että Keski-boreaalissa noin 2,5 m. Pohjoisboreaalissa vastaava muutos on vain noin 1 m. Laskettaessa puuston muutosten vaikutuksia minimilämpötilan muutoksiin käytettiin lisäajon regressioyhtälöstä saatuja kuukausittaisia muuttujan S kertoimia.

Vähennettäessä muuttujan S^2 vaikutus minimilämpötilan kuukausittaisista kokonaismuutoksista, saadaan arktisen oskillaation ja muiden tekijöiden yhteisvaikutus kuukausittain. Näitä kuukausiarvoja selitettiin regressioyhtälöllä, selittäjänä arktisen värähtelyn eli oskillaation indeksin muutoksen ΔAO -i kuukausiarvot. Kasvihuonekaasujen voimistumisen ja Barentsinmeren koillisen jään reunan vetäytymisen kuukausittaisia vaikutuksia approksimoitiin sitten jäännöstermin kuukausiarvoilla.

Arktisen värähtelyn maantieteellinen kaavio saadaan 1000 hPa:n korkeuden (tai pintapaineen) tärkeimpänä (Thompson and Wallace, 1998, 2000; Thompson et al., 2000), tai toiseksi tärkeimpänä pääkomponenttina riippuen siitä, onko aikasarjasta poistettu vuoden sisäisen vaihtelun aalto vai ei (Järvenoja, 2005). Kaaviossa on negatiivinen keskus pohjoisnavan ympäristössä sekä positiivinen keskus Atlantilla n. 40. leveysasteen tienoilla, samoin Tyynellä merellä. Kun kaavioon liittyvä ajasta riippuva kerroin, Arktisen värähtelyn indeksi, AO-i, on positiivinen, on keskisen Atlantin ja napaseudun välinen paine-ero keskimääräistä suurempi ja siten länsituulet Atlantin ja Euroopan sektorilla keskimääräistä voimakkaammat. Indeksillä ollessa negatiivinen paine-ero on vuorostaan keskimääräistä pienempi ja länsituulet keskimääräistä heikommat. AO-i on siis Atlantin/Euroopan sektorin etelä-pohjoissuuntaisen ilmanpainegradientin ja toisaalta länsituulen voimakkuuden mittari.

3 TULOKSET

3.1 Kriging-ajojen selittäjät ja niiden vaikutukset kuukausittain

Kriging-ajojen selittäjät ja niiden kertoimet kuukausittain annetaan taulukossa 1. Tulokset ovat pääajossa saatuja; ainoastaan sekoitusfunktion S kertoimet sekä ajon selitysvirheet on annettu myös lisäajosta saatuina (pääajolle indeksi 1, lisäajolle 2); lisäajossa on jätetty pois runsasjärvisten seutujen asemat ja järvimuuttuja J. Muuttujat on selitetty edellä.

Taulukko 1. Regressiokertoimet kuukausittain touko–syyskuun keskimääräisiä kuukausiminimejä selitettäessä

Table 1. Regression coefficients for variables explaining the mean monthly minimum temperatures

	tammikuu January	helmikuu February	maaliskuu March	huhtikuu April	toukokuu May	kesäkuu June
vakio	+1108,4	+1118,8	+1104,9	+169,4	+6,1	+56,8
x	-133,0	-161,0	-148,9	-4,6	-7,7	-39,1
x ²	+4,7	+5,3	+4,6	+0,1	-1,0	+1,6
y	-339,3	-343,9	-286,9	-60,7	+23,6	+58,1
y ²	+30,0	+24,7	+17,7	+9,7	-9,6	-13,8
x • y	+16,6	+22,3	+21,6	-2,6	+5,1	+4,3
h	-0,44	-0,21	-0,03	-1,35	-0,89	-0,62
J	+10,9	+9,4	+12,4	+8,8	+9,1	+12,7
H	+0,08	+0,08	+0,09	+0,04	+0,04	+0,04
N	+0,02	+0,02	+0,07	+0,06	+0,03	+0,04
S1	+0,16	+0,12	+0,27	+0,13	+0,04	+0,08
S2	+0,22	+0,17	+0,35	+0,15	+0,14	+0,18
RMS1	1,8	2,1	2,4	1,4	1,5	2,0
RMS2	1,7	2,0	2,2	1,3	1,4	1,8

	heinäkuu July	elokuu August	syyskuu September	lokakuu October	marraskuu November	joulukuu December
vakio	+294,0	+500,1	+540,5	+284,2	+436,8	+1123,0
x	-72,8	-93,9	-87,5	-4,8	-53,4	-152,3
x ²	+4,2	+4,9	+3,4	+0,3	+07	+4,6
y	-8,2	-83,2	-126,3	-138,1	-116,8	-380,4
y ²	-2,6	+5,2	+6,8	+20,7	+5,7	+29,5
x • y	+3,1	+6,0	+10,6	-1,9	+9,1	+22,6
h	-0,72	-0,46	-0,26	-0,54	-0,47	-0,56
J	+13,3	+14,9	+13,8	+14,6	+9,1	+13,1
H	+0,04	+0,06	+0,07	+0,07	+0,06	+0,09
N	+0,08	+0,03	+0,01	-0,01	-0,06	+0,06
S1	+0,07	+0,10	+0,04	+0,06	-0,01	+0,12
S2	+0,27	+0,30	+0,21	+0,17	+0,09	+0,21
RMS1	2,1	2,3	2,1	2,1	1,8	1,9
RMS2	1,8	2,0	2,0	1,9	1,7	1,8

Kuukausiminimin vähete maaston keskikorkeuden mukana ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) on keskimäärin koko vuotena 0,55. Suurin se on huhtikuussa, 1,35, kun kuukauden alussa ylävimmillä alueilla sattuu voimakkaita inversiotilanteita kylmissä ilmassoissa niin, että lumi ei sula päivälläkään, useampina vuosina kuin alempana. Voimakkaiden inversioiden aikahan loppuu tähän aikaan jyrkästi siten, että muutoksen ajankohta etenee alamailta ylämaille ja etelästä pohjoiseen (Solantie & Pirinen, 2005). Toukokuun alussa sama prosessi jatkuu vielä Lapissa niin, että minimin lämpötilavähete korkeuden mukana on vielä suurehko (0,89). Touko–syyskuussa keskimäärin se on 0,59 ja kesä–elokuussa 0,60. Heinäkuussa, kun maa on jo ylämaillakin kuivahkoa, havaitaan sekundäärinen maksimi (0,72).

Heinäkuun jälkeen maat taas kastuvat nopeimmin ylävimmillä mailla, jotka myös alamaihin verrattuna ovat öisin enenevässä määrin sumussa. Syyskuussa saavutetaankin minimi (0,26). Loka–joulukuussa, kun lumipeitteisyys kasvaa korkeuden mukana, on laskunopeus taas suurempi, noin 0,5. Joulukuun jälkeen koko maa on lumen peitossa, mikä pienentää lämpötilan laskunopeutta ylöspäin. Globaalisäteilyn ja vuorokauden lämpötila-amplitudin kasvaessa inversiotilanteissa vaara-asetat erottuvat yhä enemmän ympäristöään lämpimämpinä. Vaikka aineistosta karsittiin selvimmin inversion yläpuolelle jäävät lakimaiden asemat, tavanomaisetkin paikalliset maastonmuodot pääsevät vaikuttamaan lämpötilan korkeusriippuvuutta pienentävästi maaliskuussa, jolloin inversiot ovat yleisimmät ja voimakkaimmat.

Nevoja on lähinnä Lapissa (kuva 2). Alueen harvat ja matalissa puustoissa ovat inversiotilanteissa aukeita kylmempiä. Niinpä nevat aukeina aloina ovat lumipeiteaikana joulukuusta huhtikuusta ympäristöään lämpimämpiä. Näin on etenkin joulukuussa, kun karuilla kankailla ja rämeillä inversiot kestävät vuorokausia auringon säteilyn niihin keskipäivälläkään vaikuttamatta. Lisäksi saattaa asiaan vaikuttaa se, että saraturpeessa oleva vesi jäätyessään tuottaa lämpöä. Vastaavasti nevat erottuvat karuista kankaista ja rämeistä voimakkaimpien ja yleisimpien inversioiden aikaan maaliskuussa ja vielä huhtikuussakin — nevoja, kun on merkittävästi vain pohjoisessa. Näinä kuukausina suhteellinen lämpimyys on 6–7 astetta 100 pinta-alaprosenttia kohti. Vähiten nevat ovat ympäristöään lämpimämpiä toukokuussa kylmien sulavesien työntyessä Pohjois-

Suomen nevoille. Nevanpäälyllysvesien lämmitessä nevojen suhteellinen lämpimyyks kasvaa saavuttaen vuotuisen maksiminsa heinäkuussa. Sen jälkeen vesipinnat ovat jo vähissä niin, että vaikutus pienenee, kääntyen turvepinnoilla loka-marraskuussa jopa negatiiviseksi. Joulukuussa nevojen jäätyessä vaikutus on positiivinen, toiseksi suurin heinäkuun jälkeen. Jäätymisen tapahtuessa voimakkaiden inversioiden vallitessa jää siitä vapautuva lämpö alimpaan ilmakerrokseen.

Minimilämpötilan etelä-pohjoiskoordinaatin ensimmäisen asteen termin y kerroin on joulukuuhun on negatiivinen ja toisen asteen termin kerroin positiivinen. Kerrointen itseisarvot pienenevät talven kuluessa, jyrkimmin maaliskuusta huhtikuuhun. Ensimmäisen ja toisen asteen termien yhteiskäyttäytyminen joulukuusta maaliskuussa kuvaa lämmintä advektiota Suomenlahdelta sisämaahan päin sekä sen pienenemistä sisämaahan päin että heikkenemistä talven mittaan, mihin vaikuttaa maaliskuuhun asti Suomenlahden lisääntyvä jääpeitteisyys. Toukokuuhun tultaessa kerrointen etumerkit vaihtavat paikkaa. Kesäkuussa kertoimet ovat samanmerkkiset kuin toukokuussa. Siten ensimmäisen asteen kerroin on positiivinen ja toisen asteen kerroin negatiivinen, mutta molemmat ovat itseisarvoltaan suuremmat kuin toukokuussa. Tämä kuvastaa mantereen ja Suomenlahden välisen minimilämpötilaeron nopeaa pienenemistä, samoin Etelä- ja Pohjois-Suomen välisen lämpötilaeron pienenemistä kesäyön auringon vaikutuksesta. Aivan pohjoisessa lämpötila laskee taas jyrkemmin kohti Barentsin merta kun kylmät arktiset ilmamassat lämpenevät nopeasti niiden rantauduttua Lappiin (huomaa kuitenkin ympäristöään lämpimämpi Inarin laakso). Heinäkuuhun tultaessa ensimmäisen asteen termin kerroin muuttuu negatiiviseksi ja toisen asteen termin kertoimen negatiivisuus vähenee, mikä kuvastaa öiden alkavaa lyhenemistä sekä arktisten kylmänpurkausten kesyyntymistä. Elokuusta joulukuuhun ensimmäisen asteen termin kertoimen negatiivisuus kasvaa, ja toisen asteen termin kerroin on kasvavasti positiivinen. Lokakuusta marraskuuhun merkkien itseisarvot tosin hieman pienenevät, mikä saattaa johtua siitä, että lokakuussa maa on lumen peitossa usein vain pohjoisessa, mutta marraskuussa myös etelässä.

Minimilämpötilan itä-länsikoordinaatin ensimmäisen asteen termin kerroin on joulukuusta maaliskuuhun voimakkaasti negatiivinen; negatiivisuus heikkenee kuitenkin nopeasti maaliskuusta toukokuuhun. Sensijaan toisen asteen termin kerroin on joulukuusta maaliskuuhun positiivinen; maaliskuusta toukokuuhun se pienenee ollen huhtikuusta lähtien negatiivinen. Ensimmäisen ja toisen asteen termien yhteiskäyttäytyminen kuvaa joulu–helmikuussa lämmintä advektiota Pohjanlahdelta sisämaahan päin sekä maaliskuussa sitä, että maat paljastuvat vähälumisella Pohjanlahden rannikolla usein jo maaliskuussa. Huhti- ja toukokuussa maiden paljastuminen etenee itään päin, mikä pienentää ensimmäisen asteen termin kertoimen itseisarvoa, mutta kääntää toisen asteen termin kertoimen heikosti negatiiviseksi. Toukokuusta elokuuhun ensimmäisen asteen termin kertoimen negatiivisuus kasvaa. Toisen asteen termin kerroin kasvaa ja on kesäkuusta lähtien positiivinen. Termien yhteiskäyttäytymisen trendi kuvaa Pohjanlahden ja mantereen välisen lämpötilaeron kasvua. Syyskuu on lähes elokuun kaltainen; loka- ja marraskuussa molempien kerrointen etumerkit ovat samat kuin syyskuussa, mutta itseisarvot pienempiä, varsinkin lokakuussa. Sumuisuus rannikon läheisessä sisämaassa pienentää lämpötilaeroa meren ja maan välillä.

Meren suhteellinen vaikutus, joka kuvastaa maan ja meren välistä lämpötilaeroa, on suurin joulu–maaliskuussa, 100 prosentin vesipinta-alaa kohti laskettuna 8–9 °C ja pienin huhtikuusta heinäkuuhun, 4 °C; elokuusta marraskuuhun se on 6–7 °C.

Järvien suhteellinen vaikutus avovesikautena on pienin jäiden lähdön aikaan, kasvaa sitten elokuiseen maksimiinsa, pysyttelee syys- ja lokakuussa aika korkeana, on marraskuussa jo alempi, mutta saavuttaa sekundäärisen maksiminsa joulukuussa kun Järvi-Suomen eteläosan suuret ja syvät selät ovat vielä enimmänsä osan ajasta auki, ja lämmönvuo ilmakehään avoveden pinta-alayksikköä kohti suurimmillaan. Järvi-Suomen keskimääräistä järvisyyttä 20 % vastaava lämmitysvaikutus on pääajon tulosten mukaan touko–syyskuussa 2,3 °C ja kesä–elokuussa 2,5 °C. Aikaisemman, asemien ympäristön tarkkaan huomioimiseen perustuvien tutkimuksen mukaan vaikutus olisi touko–syyskuussa 1,3 °C sekä kesä–elokuussa 1,8 °C. Siten lämmityksen ajallinen kaari avovesikautena on kohdallaan, mutta lämmitysvaikutus liian suuri. Tammi–

huhtikuussakin, jolloin järvien ei pitäisi lainkaan nostaa kuukausiminimejä, saadaan keskimääräiseksi lämmitysvaikutukseksi peräti 1,9 °C astetta. Tämä johtunee siitä, että järvimuuttuja on kaapannut itselleen osan sekoitusmuuttujan vaikutuksesta. Tätä pohditaan lähemmin sekoitusmuuttujaa tarkasteltaessa.

Pääajossa sekoittumismuuttujan S_1 kertoimet ovat marraskuuta lukuun ottamatta kautta vuoden positiivisia; marraskuussakin negatiivisuus on merkityksettömän lievää. Kerroin on suurin silloin, kun inversiot ovat voimakkaimmat, ja aukeilla tai vähäpuustoisilla alueilla pintakerros on hyvin eristävä, kuten lumipeite maaliskuussa ja kesäkuiva turve elokuussa. Kerroin on pienin silloin, kun maa on märkää, ja inversiot ovat arktisissa ilmassoissa harvinaisimpia ja heikoimpia, siis touko- ja marraskuussa. Vaikutus on kuitenkin tuskin puolta siitä, mitä erillisissä puuston vaikutusta selvittämissä tutkimuksissa on saatu (Solantie, 2005); etenkin kesällä ristiriita odotusten kanssa on suuri. Toisaalta järvisyyden vaikutus on huomattavasti odotettua suurempi. Lisäksi analyysin antama järvisyyden vaikutus säilyy suurena tammi–huhtikuussa, jolloin sitä ei todellisuudessa käytännöllisesti katsoen lainkaan esiinny. Näyttää siltä, että järvisyys on ottanut selitettäväkseen ainakin puolet sekoittumisfunktion vaikutuksesta. Tämä johtuu ilmeisesti ensinnäkin siitä, että järvisyyden vaihtelu ruudusta toiseen on suurempi kuin sekoitusfunktion: Koska järvisyyden vaihtelu Järvi-Suomen sisällä on suurempi kuin puuston korkeuden, pystyy se mainittuun 'kaappaukseen'. Toiseksi sekoitusfunktio on suurin samalla alueella missä järvisyyskin; puuston keskikorkeus koko maa-alallahan on suurin Järvi-Suomessa.

Lisääjossa saadut kertoimet S_2 olivat jo huomattavasti suurempia (Taulukko 2):

Taulukko 2. Sekoittumismuuttujan kertoimet kuukausittain lisääjossa sekä niiden erotukset pääajon tuloksiin nähden

Table 2. The coefficients for the mixing variable S obtained from the regression analysis in a complementary run explaining monthly minima (left), and the differences compared to the corresponding values in the main run (right)

Kuukausi	Month	kerroin lisääjossa	kertoimien ero lisääjo–perusajo
tammi	Jan	0,22	0,069
helmi	Feb	0,17	0,045
maalis	Mar	0,35	0,081
huhti	Apr	0,15	0,020
touko	May	0,14	0,105
kesä	Jun	0,18	0,138
heinä	Jul	0,27	0,203
elo	Aug	0,30	0,206
syys	Sep	0,21	0,166
loka	Oct	0,17	0,111
marras	Nov	0,09	0,091
joulu	Dec	0,21	0,095
helmi–syys	Feb to Sep	0,22	0,12
touko–syys	May to Sep	0,22	0,17
kesä–elo	Jun to Aug	0,25	0,18
loka–joulu	Oct to Dec	0,16	0,10
tammi–huhti	Jan to Apr	0,22	0,05
vuosi	Year	0,205	0,093

Lisääjon ja perusajon sekoittumismuuttujan kerrointen erojen vuodenaikaiskulku on odotetusti paljolti järvien vaikutuksen vuodenaikaiskulun kaltainen. Lisääjon ja pääajon tulosten ero kesä–elo- ja touko–syyskuussa, kumpanakin 0,7 °C, on jokseenkin yhtä suuri kuin em. Järvi-Suomen järvien vaikutuksen yliarvio, touko–syyskuussa 1,0 °C sekä kesä–elokuussa 0,7 °C. Kun vielä korrelaatiokerroin huhti–joulukuun kertoimien erotusten ja pääajon järvimuuttujan vastaavien kerrointen välillä on 0,72, on hypoteesi siitä, että järvien vaikutus pääajossa käsittää huomattavan osan sekoittumismuuttujan vaikutusta, varsin vankalla pohjalla.

Lisääjossa sekoittumiskerroksen vuodenaikaiskulku vastaa erinomaisesti inversioiden voimakkuuden ja yleisyyden vuodenaikaiskulkua. Maksimit sattuvat maalisi- ja elokuulle siten, että maaliskuun maksimi on hieman isompi. Maksimikuukausina ero esim. etelä- ja keskiboreaalisten metsien ja soiden välillä on puuston keskikorkeuden 5 metrin eroa vastaten 1,5 astetta eli koko maa-alalla noin yksi aste. Kertoimet ovat noin 40 % hyvin kehittyneissä inversioissa havaittuja pienempiä (esim. Solantie, 2005); tällaisia inversioitahan ei suinkaan satu kaikkina maalisi-, heinä- ja elokuisenakaan. Kertoimet ovat todellisten aluekeskiarvojen aliarvioita sikäli, että lähes kaikkialla Suomessa puustoiset alueet peittävät suurimman osan maasta, mutta havaintoasemat sijaitsevat hyvin harvoin metsässä eivätkä aina edes sen reunassa; todellinen ero etelä- ja keskiboreaalin välillä koko maa-alalla on kaksi astetta, inversiotilanteissa kolme.

Kaikkein suurin maantieteellinen ero sekoitusfunktion vaikutuksessa on Etelä- ja keskiboreaalin välillä maaliskuussa, puuston 10 metrin keskikorkeuden eroa vastaten 3–4 astetta

Selitysvirhe oli pääajossa keskimäärin 1,96 astetta ja lisääjossa 1,80 astetta. Ilmeisesti syynä on järvisyyden vaikutuksen epätarkkuus kunkin havaintoaseman ympäristössä koska se vaihtelee usein epäsäännöllisesti ja voimakkaasti eri lailla eri suuntiin asemasta. Tämä näkyy siitäkkin, että järvisyyden vaikutuksen päämaksimin aikaan elokuussa selitysvirhe on pääajossa suurin (2,3 astetta), ja myös sen ero lisääjoon nähden (0,3 astetta); lisäksi selitysvirheellä on sekundäärinen maksiminsa joulukuussa kuten järvien vaikutuksellakin. Selitysvirheen vuodenaikaiskulku on molemmissa ajoissa samanlainen. Se on minimissään huhti-toukokuussa, kasvaa sitten saavuttaen maksiminsa elokuussa, jolloin järvien vaikutus sekä inversiot ovat kasvukautena voimakkaimmillaan. Sitten se pienenee saavuttaen miniminsä marraskuussa, heikon sekundäärisen maksimin joulukuussa ja toisen minimin tammikuussa. Sitten se kasvaa maaliskuiseen maksimiinsa pudotakseen taas huhtikuun minimiinsä.

Meren ja nevojen vaikutus oli lisääjossa niin suuruusluokaltaan kuin vuodenaikaiskulultaan samaa suuruusluokkaa kuin pääajossa. Siksi lisääjon tulosten raportointi on jätetty tässä vain muuttujan S ja selitysvirheen tarkasteluun.

3.2 Alueelliset piirteet kuukausittain

Tammi- ja helmikuussa (kuvat 5 ja 6) kuukusiminimit laskevat pohjoiskoilliseen melko tasaisesti, mikä ilmaisee vallitsevien lounaistuulten vaikutusta, kuitenkin korkeussuhteita ja puuston korkeutta lievästi myötäillen. Meren vaikutus on sitä suurempi mitä useampina vuosina meri on tarkasteltavalla alueella sula.

Helmikuussa (kuva 6) minimi olivat Kuhmo–Oulu-linjan pohjoispuolella samat ja muualla 1–2 astetta alempia kuin tammikuussa.

Maaliskuussa (kuva 7) lounaistuulten vaikutus on pienempi kuin helmikuussa. Meren vaikutus näkyy samanlaisena kuin tammi- ja helmikuussa. Erot etelästä pohjoiseen ovat hieman pienempiä kuin tammi- ja helmikuussa.

Vuorokauden lämpötila-amplitudi on erittäin suuri nimenomaan kylmissä ilmassoissa ja matalapuustoisilla keski- ja pohjoisborealisilla alueilla. Kuukausiminimien isotermit myötäilevätkin paljolti ekologisilmastollisten vyöhykkeiden rajoja.

Minimit nousivat helmikuusta maaliskuuhun vähiten (4 astetta) Pohjois-Lapin tuntureilla ja eniten (8 astetta) Eteläborealin sisämaassa lukuun ottamatta Varsinais-Suomea ja Satakuntaa.

Huhtikuussa (kuva 8) gradientti samoilla korkeuksilla suuntautuu jokseenkin suoraan etelästä pohjoiseen. Merien vaikutus on paljon vähäisempää kuin talvella. Maaliskuuhun verrattuna nähdään jakautumassa monia olennaisia eroja. Pohjoisborealin sisällä nähdään voimakas eteläpohjoissuuntainen gradientti, jonka korkeussuhteet muokkaavat lounais-koillis-suuntaiseksi. Tämä kuvastaa arktisten ilmassojen voimakasta lämpenemistä matkallaan etelään. Toiseksi havaitaan, että keski- ja eteläborealin rajoille muodostuu voimakas gradientti; Etelä-Pohjanmaan, Keski-Suomen, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan sisälle muodostuu kuukausiminimille mahtavat 6 asteen lämpötilaerot. Tämä johtuu siitä, että se kevään vaihe, jossa vuorokausiminimit kaikkein nopeimmin nousevat, etenee juuri maaliskuuhun vaihteessa maan keskiosien yli

pohjoiseen; tämä nopea minimien nousu johtuu siitä, että selkeällä ja tyynellä säällä alkaa tähän vuodenaikaan lämpötila yhä useammin nousta päivällä niin korkeaksi että lumi sulaa päivällä. Havumetsien vaikutuksesta ilman sekoittuminen päivällä ulottuu jo noin 0,5–1,0 kilometrin korkeuteen, samoin sulamisen jäädyttävä vaikutus. Kun lumen pintakerroksen sulavesi yöllä jäätyy, jää kaikki jäätyneen tuottama lämmitys alimpaan ilmakerrokseen (Solantie & Drebs, 2005). Tilanteet, joissa arktisissa ilmassa lämpötila päivälläkin pysyy nollan tienoilla, mikä sallii voimakkaan yöjäähdyttymisen, ovat huhtikuun alkupäivinä Suomenselällä, Karjalanselällä ja itärajalalla paljon yleisempiä kuin heti niiden eteläpuolella Järvi-Suomessa. Edelleen nähdään, että silloin, kun selkeitä inversiotilanteita sattuu vasta myöhemmin huhtikuulla, vastaava ero muodostuu Pohjoisboreaalissakin suurten jokien ja Inarijärven laaksojen ja ylämaiden välille – etenkin, kun ylämailla päiväsaikaista sulamista edistävät havumetsät ovat harvoja tai puuttuvat.

Nämä lumen sulamiseen liittyvien efektien ja lumen sulamisen maantieteellisen etenemisen vaikutus näkyvät myös hyvin voimakkaana lämpötilan vähenteessä korkeuden mukana.

Vähälumisessa Lounais-Suomessa, missä huhtikuun alkupäivinä maa on paljon useammin ja laajemmin paljaana kuin muualla, minimi ovat noin 1–2 astetta korkeammat kuin idempänä samoilla leveysasteilla. Myös Pohjanlahden vähäluminen rannikko erottuu samalla tavoin lämpimänä.

Minimit nousivat maaliskuusta huhtikuuhun vähiten (4 astetta) Tunturi-Lapissa ja eniten (10 astetta) Salpausselän tienoilla Etelä-Suomessa.

Toukokuussa (kuva 9) horisontaalisen gradientin etelä-pohjoiskomponentti on kaikkialla pienempi kuin huhtikuussa. Pohjoisboreaalissa, jossa päivällä sulaneen lumen yöllinen jäätyminen huhtikuun alussa on alueen pohjoisosissa paljon harvinaisempaa kuin sen eteläosissa, pohjois-etelägradientti näkyy selvänä huhtikuussakin. Toukokuussa lähimmät merijäät ovat Karanmerellä koillisessa, mikä aiheuttaa myös huomattavaa länsi-itägradienttia. Siten esimerkiksi lämpötilaero Tornion ja Kuusamon välillä, samoin

kuin Suomussalmen ja Oulun välillä on 8 astetta, sekä eteläisen Suomenselän ja Ilomantsin välillä 4 astetta. Vuorokauden lämpötila-amplitudi arktisissa ilmassoissa on paljon pienempi kuin kevättalvella tai loppukesällä, samoin puuston vaikutus. Sen sijaan merillä ja järvillä on jo lämmittävä vaikutus; ne ovat jo ennen jäidenlähtöä sulavesien peittämiä ja jäidenlähdon jälkeen sumujakin aiheuttavia. Minimit nousivat huhtikuusta toukokuuhun eniten (14 astetta) Inarijärven rannoilla ja vähiten (5 astetta) Varsinais-Suomen ja Satakunnan sisämaassa.

Kesäkuussa (kuva 10) kesäyön aurinko lieventää eroja etelä-pohjois-suunnassa. Länsi-itäsuuntainenkin gradientti on vielä näkyvässä, joskin Karanmeren jääpeitteen sulaminen heikentää hieman sitä toukokuuhun verrattuna. Pohjois-Lapissa, Saariselästä koilliseen, laskee jyrkemmin kohti Karanmerta. Järvien lämpeneminen lisää huomattavasti niiden vaikutusta, jopa Inarin laaksossa. Arktiset massat ovat vielä kesäkuun alussa niin kylmiä, että märkä ja nolla-asteinen maa estää tehokkaasti voimakkaiden pintainversioiden muodostumisen puustosta riippumatta, ei sekoittumismuuttuja ole merkittävä eikä puuston vaikutus iso.

Kesäkuussa minimi on pakkasen puolella Pohjoisboreaalissa lukuun ottamatta suurten jokien ja järvien laaksoja, sekä Keskiporaalin ylämailla ja vedenjakajaseuduilla. Nevojen vaikutus on jo näkyvässä siten, että Pohjois-Pohjanmaalla sekä Länsi-Lapissa on laaja Perämeren kiertävä, pohjoiseen päin laajeneva alue, jossa minimi on nollan yläpuolella.

Minimit nousivat toukokuusta kesäkuuhun eniten (8 astetta) Tunturi-Lapissa ja vähiten (4 astetta) eteläisellä Suomenselällä.

Heinäkuussa (kuva 11) esiintyy jo kaikkialla pientä, mutta selvää etelä-pohjoisgradienttia, mutta ei juurikaan itä-länsigradienttia. Järvien, merien ja metsien vaikutus on suurempi kuin kesäkuussa.

Pirkanmaalla, Keski-Suomessa, Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa ero on 6–7 astetta keskiboreaalisten vedenjakajaseutujen ja suurjärvien rantojen välillä. Myös meren saaristojen ja rannikon läheisen sisämaan välinen ero on aika suuri, noin 4–5 astetta.

Heinäkuussa minimi ei ollut enää missään pakkasen puolella. Se on kuitenkin alle 3 astetta — mikä merkitsee sitä, että pakkasia sattuu useina vuosina — Keskiborealin vedenjakajaseuduilla ja ylämailla, mutta pohjoisempana vain itärajalla, pohjoisella päävedenjakajalla ja Tunturi-Lapissa. Nevojen vaikutus, joka heinäkuussa on suurimmillaan, pitää minimin 3 asteen yläpuolella pääosissa Pohjoisborealia. Minimit nousivat kesäkuusta heinäkuuhun eniten (5 astetta) Inarin saarissa ja Suomen kaakkoiskulmassa sekä kaikkialla muualla 3–4 astetta.

Elokuussa (kuva 12) etelä-pohjoisgradientti on vähän suurempi kuin heinäkuussa, mutta länsi-itägradientti hyvin pieni. Metsien vaikutus on maaliskuun jälkeen suurin, järvien vaikutus vuoden suurin ja merien vaikutuskin jo lähellä syksyn maksimiaan. Pirkanmaalla, Keski-Suomessa, Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa ero on peräti 7 astetta keskiboreaalisten vedenjakajaseutujen ja suurjärvien rantojen välillä. Myös meren saaristojen ja rannikon läheisen sisämaan välinen ero on aika suuri, noin 5 astetta.

Elokuussa (kuva 12) minimi oli Pohjoisboreaalissa hieman pakkasen puolella lukuun ottamatta suurjärvien laaksoja. Keskiboreaalissa se oli muualla kuin suurten vesistöjen lähellä nollan tienoilla (-1 – +2 astetta), hieman laajemmalti nollan ylä- kuin alapuolella.

Minimit laskivat heinäkuusta elokuuhun eniten (3 astetta) Inarissa ja Utsjoella, ja vähiten (asteen) Hämeen suurjärvillä ja meren saaristoissa.

Syyskuussa (kuva 13) etelä-pohjoisgradientti on vähän suurempi kuin heinäkuussa, mutta länsi-itägradientti hyvin pieni. Vuorokauden lämpötila-amplitudi kylmissä massoissa on jo pienempi kuin elokuussa, samoin metsien vaikutus. Järvien ja merien vaikutus on suuri, edellinen hieman pienempi ja jälkimmäinen hieman suurempi kuin elokuussa. Erot meren saaristojen ja rannikon läheisen sisämaan välillä ovat 5–6 asteen

luokkaa, samoin erot Pirkanmaan, Keski-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Kainuun suurjärvien rantojen ja näiden maakuntien keskiboreaalisten vedenjakajaseutujen välillä.

Minimit ovat nollan alapuolella kaikkialla muualla paitsi Eteläborealin suurten vesistöjen äärellä.

Minimit laskivat elokuusta syyskuuhun eniten (7 astetta) Eteläborealin vähäjärvisillä sisämaa-alueilla ja vähiten (4 astetta) Keski- ja Pohjoisborealin vähäjärvisillä seuduilla sekä eteläisissä meren saaristoissa.

Lokakuussa (kuva 14) etelä-pohjoisgradientti on suurempi kuin syyskuussa, mutta länsi-itägradientti hyvin pieni. Metsien vaikutus on vähän pienempi kuin syyskuussa, Järvien vaikutus on toiseksi suurin elokuun jälkeen ja meren vaikutus toiseksi suurin joulukuun jälkeen.

Pirkanmaalla, Keski-Suomessa, Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa ero suurjärvien rantojen ja keskiboreaalisten vedenjakajaseutujen välillä on peräti 7 astetta. Myös meren saaristojen ja rannikon läheisen sisämaan välinen ero on suuri, 5–6 asteen luokkaa.

Minimit laskivat syyskuusta lokakuuhun eniten (13 astetta) Pohjois-Lapissa ja vähiten (8 astetta) meren saaristoissa.

Marraskuussa (kuva 15) sekä etelä-pohjoisgradientti että länsi-itägradientti on suurempi kuin lokakuussa. Metsien vaikutus on pienempi kuin lokakuussa. Järvien ja meren vaikutus ovat suurehko, mutta hieman pienempi kuin lokakuussa.

Pirkanmaalla, Keski-Suomessa, Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa ero suurjärvien rantojen ja keskiboreaalisten vedenjakajaseutujen välillä on 6 astetta. Meren saaristojen ja rannikon läheisen sisämaan välinen ero on 4 asteen luokkaa.

Minimit laskivat lokakuusta marraskuuhun eniten (10 astetta) Pohjois-Lapissa ja vähiten (6 astetta) meren saaristoissa.

Joulukuussa (kuva 16) sekä etelä-pohjoisgradientti että länsi-itägradientti on suurempi kuin marraskuussa.

Joulukuussa meren vaikutus on suurin ja järvien vaikutus toiseksi suurin elokuun jälkeen, koska lämpötilaero sulan veden ja lumen peittämältä maalta vesistöille joutuvan ilman välillä on suurimmillaan. Järvien osalta vaikutus kuitenkin rajoittuu eteläisen Järvi-Suomen suurjärvien osalle; niillä vaikutus on suurempi kuin elokuussa, kun taas pohjoisempana vaikutus on hyvin pieni, rajoittuen lähinnä lumettoman ja ohuehkon jään läpi johtuvaan lämpöön. Ilmastokatsauksia ja järvien jäätymiseen vaikuttavien tekijöiden selvittämistä varten infrapunakanavalla tehtyjen NOAA-satelliittikuvien seurannan ja paikallisen in-situ-verifioinnin avulla tiedetään, että Etelä-Suomessa ovat keskimääräisinä vuosina monet suuret ja syvät järvet auki kuun loppupuolelle, tavallista lauhempina talvina tammikuun lopullekin (Solantie 1982, 1983a, 1983b). Nämä järvet on annettu alaviitteessä ¹⁾.

Eteläisen Järvi-Suomen pohjoisreunalle, noin 62. leveysasteelle, muodostuu noin 6 asteen lämpötilaero. Toinen yhtä suuri ero muodostuu Järvi-Suomen pohjoisosan ja sitä reunustavien vedenjakajaseutujen välille. Siten minimi ero ovat Suur-Saimaan avovesien äärellä 11–12 astetta korkeammat kuin Vuoksen valuma-alueen pohjoisilla vedenjakajilla, missä ei ole koskaan havaittu lumetonta maata joulukuun 20:n jälkeen. Nämä erot eivät johdu pelkästään järvien, vaan myös metsien vaikutuksesta. Metsien vaikutus on joulukuun inversiotilanteissa, kun maa on lumen peitossa, isompi kuin syksyllä maan ollessa märkä ja paljas.

¹⁾Normaalivuosina joulukuulle ja lauhoina talvina tammikuulle auki olevat järvet: Uudellamaalla Lohjanjärvi, Iso-Kisko, Artjärven Pyhäjärvi ja Vitträsk; Kokemäenjoen valuma-alueella Tammelan Pyhäjärvi, Näsijärvi, Kyrösjärvi, Tampereen Pyhäjärvi, Längelmävesi, Tarjannevesi, Jäminki-Palovesi, Toisvesi, Vanajanselkä, Hauhon Pyhäjärvi, Kuohijärvi, Pääjärvi; Kymijoen valuma-alueella Päijänne, Konnivesi, Ruotsalainen, Leininginselkä, Pellinginselkä, Iitin Pyhäjärvi, Vuohijärvi, Kuolimo, Puulaveden Simpiänselkä; Vuoksen valuma-alueella Saimaan Käenniemenselkä–Salonselkä; Puumalan ja Sulkavan salmet, Pihlajavesi, Haukivesi, Puruveden Hummon- ja Ruosteselät, Suvasvesi ja Paasivesi. Järvien jäätyminenkin kuun lopussa tuottaa lämpöä.

Pohjois-Pohjanmaan länsiosan ja Lapin kolmion laajojen nevojen jäätymisen tuottama lämpö ja sen jääminen alimpaan ilmakerrokseen inversiotilanteissa joulukuun loppupuolen kovilla pakkasilla lienee syynä siihen, että minimi näillä alueilla ovat joulukuussa 2 astetta korkeampia kuin Pohjois-Karjalan rajaseuduilla, mutta marras- ja tammikuussa samoja.

Minimit laskivat marraskuusta joulukuuhun eniten (10 astetta) Pohjois-Karjalan ja Ylä-Savon vedenjakajaseuduilla ja vähiten (6 astetta) meren saaristoissa.

Joulukuusta tammikuuhun minimi laskivat eniten (5 astetta) Päijänteen rannoilla ja vähiten (1–2 astetta) Keski- ja Pohjoisboreaalissa. Pohjois-Pohjanmaan länsiosissa ja Lapin kolmiossa lasku oli kuitenkin 3 astetta.

3.3 Kuukausiminimien muutokset kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005

Kuukausiminimien muutoksien alueelliset keskiarvot ja niiden keskivirheet on esitetty taulukossa 3.

Tuloksista (taulukko 3) havaitaan, että molemmat Eteläboreaalien alueet ja Keski- ja Pohjoisboreaalit muodostavat oman alueensa ja Pohjoisboreaalit omansa. Siksi muutoksia tarkasteltiin näiden kahden alueen puitteissa.

Taulukko 3. Kuukauden minimilämpötilojen aluekeskiarvojen erot kausien 1991–2005 ja 1961–1990 välillä \pm niiden keskivirheet.

Alueet (Kuva 1):

EB vähäjärvinen = Eteläboreaalin vähäjärvinen osa

JS (Järvi-Suomi) = Eteläboreaalin runsasjärvinen osa

KB = Keskiporeaali

EB + KB = Etelä- ja Keskiporeaali

PB = Pohjoisboreaali

Table 3. The regional changes in the monthly minimum temperatures from 1961–1990 to 1991–2005, \pm their standard errors.

Regions (Kuva 1):

EB = Southern boreal (ecoclimatic zone)

J-S = Lake-Finland

vähä-j. = EB excluding JS

KB = Middle boreal (ecoclimatic zone)

EB + KB = Southern and Middle boreal (ecoclimatic zones)

PB = Northern boreal (ecoclimatic zone)

	EB vähäjärvinen	EB Järvi-Suomi	KB	EB + KB	PB
I	3,9 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	3,47 \pm 0,08	2,4 \pm 0,3
II	1,8 \pm 0,2	0,7 \pm 0,2	1,5 \pm 0,4	1,34 \pm 0,09	1,5 \pm 0,3
III	3,5 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	2,5 \pm 0,3	3,17 \pm 0,07	2,8 \pm 0,4
IV	1,3 \pm 0,2	1,3 \pm 0,1	0,9 \pm 0,2	1,16 \pm 0,05	0,9 \pm 0,5
V	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1	0,16 \pm 0,4	1,2 \pm 0,2
VI	0,8 \pm 0,1	0,5 \pm 0,2	0,7 \pm 0,2	0,40 \pm 0,05	0,9 \pm 0,2
VII	1,3 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	0,93 \pm 0,04	1,5 \pm 0,2
VII	1,6 \pm 0,1	1,5 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	1,39 \pm 0,05	1,3 \pm 0,1
IX	0,1 \pm 0,1	0,5 \pm 0,2	0,5 \pm 0,2	0,36 \pm 0,05	1,2 \pm 0,2
X	-1,2 \pm 0,1	-1,0 \pm 0,2	-1,5 \pm 0,2	-1,21 \pm 0,05	0,1 \pm 0,2
XI	1,6 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,1	1,66 \pm 0,06	2,5 \pm 0,2
XII	2,1 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	1,3 \pm 0,4	1,52 \pm 0,09	2,0 \pm 0,3
Vuosi	1,43 \pm 0,05	1,20 \pm 0,05	1,03 \pm 0,07	1,22 \pm 0,02	1,51 \pm 0,08

Etelä- ja Keskiporaalissa keskimääräinen muutos on ollut +1,22 astetta. Tammi- ja maaliskuussa muutos on ollut runsaat +3 astetta, elo-, marras-, joului-, helmi- ja huhtikuussa +1,2 – +1,7 astetta sekä lokakuussa -1,2 astetta. Muulloin muutokset ovat olleet +0,2 – +0,9 astetta.

Pohjoisboraalissa keskimääräinen muutos on ollut +1,51 astetta. Marras-, joului-, tammi- ja maaliskuussa muutos on ollut +2,0 – +2,8 astetta, helmi-, touko- ja syyskuussa +1,2 – +1,5 astetta, huhti- ja kesäkuussa +0,9 astetta sekä lokakuussa +0,1 astetta. Muutoksen kasvu lokakuusta tammikuuhun on huomattava, mutta vain puolet siitä mitä Etelä- ja Keskiporaalissa.

Kun kuukausiminimin ajallinen keskihajonta on esim. tammikuussa noin 7 ja heinäkuussa 2 astetta, vastaavat suurimmat muutokset kausien välillä karkeasti puolta ajallisesta keskihajonnasta.

Säännöllisen vuorokausiamplitudin kautena helmi–syyskuussa minimilämpötilan muutoksen ΔM ja sekoitusfunktion kertoimen C_s (Taulukko 2) välinen korrelaatiokerroin on Etelä- ja Keskiporaalin yhteisalueella 0,74 sekä Pohjoisboraalissa 0,76. Sekoitustfunktion muutoksen kuukausittaiset vaikutukset minimilämpötilaan $\Delta M(S)$ on annettu taulukoissa 4 ja 5.

Selitetessä muuttujan $\Delta M - \Delta M(S)$ kuukausiarvoja muuttujalla AO-i saadaan seuraavat regressioyhtälöt:

Etelä- ja Keskiporaalissa

$$\Delta M_A = 0,30 + 0,188 \cdot \Delta AO-i \quad (1);$$

korrelaatiokerroin on 0,71.

Pohjoisboraalissa taas

$$\Delta M_A = 1,12 + 0,099 \cdot \Delta AO-i \quad (2);$$

korrelaatiokerroin on 0,61.

Positiivinen vakiotermi ilmaisee kasvihuone-efektin ja Barentsin meren avovesialueen vaikutuksen suuruusluokkaa.

Kautena 1961–1990 arktisen värähtelyn indeksi oli positiivinen kesäkuun alusta tammikuun puoliväliin, kautena 1991–2005 kesäkuun alusta helmikuun loppuun (kuva 4). Kautena 1961–1990 indeksillä oli sekundäärinen maksimi kesäkuussa ja päämaksimi lokakuussa sekä niiden välissä sekundäärinen minimi elokuussa, kun taas kautena 1991–2005 oli sekundäärinen maksimi elokuussa, päämaksimi tammikuussa ja niiden välissä sekundäärinen minimi lokakuussa. Kautena 1991–2005 minimit ja maksimit sekä niiden väliset erot olivat suurempia kuin 1961–1990.

Sinä osana vuotta, jona AO-i oli negatiivinen, oli molempina kausina minimi huhtikuussa, kautena 1991–2005 hieman syvempi. AO-i ja sen vaikutus minimilämpötilaan kasvoi edellisestä kaudesta jälkimmäiseen tammi- ja helmikuussa erittäin paljon, ja aika paljon myös elo-, marras- ja joulukuussa, maaliskuussakin kohtalaisesti. Lokakuussa taas AO-i pieneni huomattavasti, ja huhtikuussakin jonkin verran. Touko-, kesä-, heinä- ja syyskuussa muutokset olivat vähäisiä.

Taulukko 4. Kuukauden minimilämpötilojen aluekeskiarvojen muutokset kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005, ΔM , Etelä- ja Keskiporaalissa, jaettuna eri vaikutusten osalle.

$\Delta M(S)$ = sekoitusfunktion aiheuttama osuus

$\Delta M(AO-i)$ = arktisen oskillaation indeksin osuus

$\Delta M(G)$ = muiden efektien, lähinnä kasvihuonekaasujen ja Barentsin meren lämmityksen osuus

Table 4. The changes in monthly minimum temperatures from 1961–1990 to 1991–2005, ΔM , in the Southern and Middle boreal zones, apportioned to different effects:

$\Delta M(S)$ = partial change due to the mixing function

$\Delta M(AO-i)$ = partial change due to the arctic oscillation index

$\Delta M(G)$ = partial change due to other effects, mainly greenhouse gases and moisture from the Barents Sea.

Kuukausi/Month	ΔM	$\Delta M(S)$	$\Delta M(AO-i)$	$\Delta M(G)$
1	+3,5	+0,6	+1,8	+1,1
2	+1,3	+0,4	+2,0	-1,0
3	+3,2	+0,9	+0,3	+2,0
4	+1,2	+0,4	-0,4	+1,2
5	+0,2	+0,3	-0,2	+0,1
6	+0,4	+0,4	-0,2	+0,2
7	+0,9	+0,7	+0,1	+0,1
8	+1,4	+0,8	+0,7	-0,1
9	+0,4	+0,5	-0,1	-0,1
10	-1,2	+0,4	-0,8	-0,8
11	+1,7	+0,2	+0,7	+0,7
12	+1,5	+0,5	+0,7	+0,3
12-3	+2,34	+0,5	+1,2	+0,6
6-8	+0,97	+0,6	+0,2	+0,1
5-9	+0,69	+0,5	+0,1	+0,0
1-12	+1,22	+0,5	+0,4	+0,3

Suoritettaessa regressioanalyysit siten, että maaliskuu jätetään pois, saadaan yhtälöiden vastinyhtälöiksi seuraavat:

Etelä- ja Keskiporaalissa

$$\Delta M_A = -0,18 + 0,187 \cdot \Delta AO-i \quad (3);$$

korrelaatiokerroin on 0,78.

Pohjoisboreaalissa taas

$$\Delta M_A = 1,02 + 0,107 \cdot \Delta AO-i \quad (4);$$

korrelaatiokerroin on 0,70.

Taulukko 5. Kuukauden minimilämpötilojen aluekeskiarvojen muutokset kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005, ΔM , Pohjoisboreaalissa, jaettuna eri vaikutusten osalle.

$\Delta M(S)$ = sekoitusfunktion aiheuttama osuus

$\Delta M(AO-i)$ = arktisen oskillaation indeksin osuus

$\Delta M(G)$ = muiden efektien, lähinnä kasvihuonekaasujen ja Barentsin meren lämmityksen osuus.

Table 5 . The changes in monthly minimum temperatures in the Northern boreal zone from 1961–1990 to 1991–2005, ΔM , apportioned to different effects:

$\Delta M(S)$ = partial change due to the mixing function

$\Delta M(AO-i)$ = partial change due to the arctic oscillation index

$\Delta M(G)$ = partial change due to other effects, mainly greenhouse gases and moisture from the Barents Sea.

Kuukausi/Month	ΔM	$\Delta M(S)$	$\Delta M(AO-i)$	$\Delta M(G)$
1	+2,4	+0,3	+1,0	+1,1
2	+1,5	+0,2	+1,0	+0,3
3	+2,8	+0,4	+0,2	+2,2
4	+0,9	+0,2	-0,2	+0,9
5	+1,2	+0,1	-0,1	+1,2
6	+0,9	+0,2	-0,1	+0,8
7	+1,5	+0,3	+0,1	+1,1
8	+1,3	+0,4	+0,4	+0,5
9	+1,2	+0,2	-0,1	+1,1
10	+0,1	+0,1	-0,4	+0,4
11	+2,5	+0,1	+0,4	+2,0
12	+2,0	+0,2	+0,4	+1,4
12-3	+2,18	+0,3	+0,7	+1,2
6-8	+1,23	+0,3	+0,6	+0,8
5-9	+1,22	+0,2	+0,1	+0,9
1-12	+1,51	+0,2	+0,2	+1,1

Vakiot muuttuivat hieman pienemmiksi, ja korrelaatiokerroin kasvoi, mutta regressiokerroin pysyi käytännöllisesti katsoen samana; siksi maaliskuun poisjättäminen ei vaikuta lopputulokseen käytännöllisesti katsoen lainkaan.

Tuloksia tarkasteltaessa (Taulukot 4 ja 5) havaitaan, että Etelä- ja Keskiboreaalissa vuoden aikana keskimäärin sekoitustermin vaikutus muutokseen on +0,5 astetta, arktisen värähtelyn +0,4 astetta ja muiden tekijöiden, +0,3 astetta; vm. jakautuu kasvihuonekaasujen ja Barentsin meren kevättalvisen kosteudenlisäyksen kesken. Joulu–maaliskuussa keskimäärin arktisen värähtelyn vaikutus on +1,2 astetta eli yli puolet koko vaikutuksesta; jäännöstermi ja sekoitustermi ovat samaa suuruusluokkaa. Jäännöstermin suurehko vaihtelu talven sisällä johtunee osin siitä, että kuukausiminimi vaihtelee tällöin eniten, mikä lisää sattumanvaraisuutta sen ja AO-i:n väliseen riippuvuuteen. Maaliskuussa jäännöstermi saattaa olla todellisuudessaakin maksimissaan, koska lumensulamiskausia öisine lumessa olevan sulaveden jäätymisineen ja Lounais-Suomessa jopa paljaan maan tilanteita on sattunut maaliskuun alussa entistä useammin. Kesä-elokuussa ja syys-toukokuussa sekoitustermin vaikutus on suurin, +0,6 astetta. Muiden termien vaikutus yhteensä on kesä-elokuussa vain +0,3 astetta ja touko–syyskuussa +0,1 astetta. Jäännöstermin minimi lokakuussa, -0,8 astetta, johtunee siitä, että lumipeitteitä oli kautena 1991–2005 useammin kuin kautena 1961–1990, etenkin Keskiboreaalissa, missä myös lokakuussa 2002 turve oli harvinaisen kuivaa niin, että vastasi arktisen ilmamassan voimakkaassa inversiossa lumipeitettä. Huomionarvoisaa on kokonaisuutensa voimakas kasvu lokakuun -1,2 asteesta tammikuun +3,5 asteeseen pääosin arktisen värähtelyn indeksin voimakkaan kasvun vuoksi.

Pohjoisboreaalissa vuoden aikana keskimäärin sekoitustermin vaikutus muutokseen on +0,2 astetta, arktisen värähtelyn +0,2 astetta ja muiden tekijöiden +1,1 astetta. Viimeksi mainitussa tärkeimpiä komponentteja ovat ilmeisesti kasvihuonekaasujen muutoksen sekä Barentsin meren aiheuttaman kosteuden ja lämmön lisäpanosten vaikutukset; molemmat lienevät isompia kuin alueella EB + KB, etenkin kesällä joulu–maaliskuussa kokonaisuutensa +2,2 astetta, mistä arktisen oskillaation osalle tulee +0,7 astetta ja sekoitustermin +0,3 astetta sekä kasvihuonekaasujen ja Barentsin meren jäänreunan vetäytymisen osalle +1,2 astetta. Jäännöstermin suuri arvo maaliskuussa (+2,2 astetta)

selittynee siten, että nimenomaan maaliskuussa ilmamassat, joissa minimi saavutetaan, ovat usein peräisin napajäiltä. Lähtöpaikoillaan rutikuiva ilmamassa saa kosteutta Barentsin merta ylittäessään sitä enemmän mitä pitemmän sulan joutuu ylittämään. Minimien ennustaminen on tällöin meteorologien kokemuksen mukaan usein vaikeaa, koska minimi riippuvat suuresti siitä, syntykö Barentsin meren syöttämästä kosteudesta pilviä vai ei. Kesä–elokuussa ja touko–syyskuussa kokonaismuutos on +1,2 astetta, mistä ΔAO -i:n osuus on +0,0 – +0,1 astetta, sekoittumistermin +0,2 – +0,3 astetta, ja loput +0,8 – +0,9 astetta lähinnä kasvihuonekaasujen ja Barentsin meren jäänreunan vetäytymisen vaikutusta. Myös Pohjoisboreaalissa oli jäännöstermillä voimakas minimi lokakuussa.

4 TULOSTEN TARKASTELUA

Muutokset kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005 jaettuna tekijällä 2,25 kuvaavat karkeasti muutosta vuosikymmentä kohti (ΔM /dekadi). Tämän suureen arvoja kolmella ekologisilmastollisella vyöhykkeellä keskimäärin ja vuodenaajoittain (talvi = 1.12.–31.3, jne.) voidaan verrata vuorokauden minimilämpötilan trendeihin (astetta/dekadi) Fennoskandiassa vuodenaajoittaisten kautena 1950–1995 (Tuomenvirta & al., 2000). Tämän tutkimuksen tulokset (astetta), talvella +0,90, keväällä +0,66, kesällä +0,47 ja syksyllä +0,22, ovat suurempia ja vuodenaikaiskulultaan hieman erialaisia kuin Tuomenvirta & al. saivat: talvella +0,34, keväällä +0,40, kesällä +0,07 ja syksyllä -0,14. Nousu dekadia kohti oli tässä tutkimuksessa oli 0,26–0,56 astetta isompi. Tämä johtuu siitä, että nousu alkoi vasta 60-luvun lopulla ja on siitä lähtien kiihtynyt 90-luvun alkupuolelle asti (Tuomenvirta & al., 2000), ja toisaalta siitä, että kuukausiminimien muutokset ovat aina suurempia kuin vuorokausiminimien. Se, että nousun suuremmuus tässä tutkimuksessa oli pienin keväällä, saattaa johtua siitä, että Norjassa ja Ruotsissa on Suomea laajemmalti sellaisia alueita, joissa lämpenemisen kasvu maaliskuun alkua kohti johti lumen sulamiskauden huomattavaan varhaistumiseen.

Lämpötilamuuttujien alueellisten piirteiden esittämisessä hila-aineistoon käytetty Kriging-menetelmä ottaa joustavasti huomioon eri tekijät ilman asemien ympäristökuvauksiin perustuvaa tarkkaa tietoa asemien ympäristön olosuhteista ja ilman ennakkotietoa eri selittäjien vaikutusten kertoimista. Tässä helppoudessa piilee vaaransa: esimerkiksi korkeuden kahdensuuntaista vaikutusta, maaston keskikorkeuden ja mäki- ja rotkosijaintien suhteen ei voi suhtautua huolettomasti. Vaikka Kriging tasoittaa sitä virhettä, joka aiheutuu siitä, että asemien ympäristö ei ole aina sama kuin hilaruudussa keskimäärin, tasoittaa se samalla pois myös todellisia, hiloissa olevan informaation mukaisia alueellisia piirteitä. Tämä puolustaisi menettelyä, jossa asemavot korjattaisiin ennen analyysiä sen mukaan, mikä järvisyys aseman ympäristössä tarkalleen on, etäisyyden mukana vähenevästi. Klimatologisesti tämä kyllä toimisi, mutta yksittäisinä vuosina tarvittaisiin lisäksi ainakin tietoa järvien jäätyneen ja jäänlähden ajankohdista. Toinen mahdollisuus on käyttää pienempää hilaa kuten Vajda & Venäläinen (2003a, 2003b) tekivät. Kesän keskimääräistä minimilämpötilaa Lapissa selittäessään he pääsivät niinkin pieneen keskivirheeseen kuin 1,5 astetta. Tähän vaikutti tietysti myös analysoitavan alueen pienen koko Suomeen verrattuna. Tulos on siten jossain määrin kömpelö. Parempi, mutta huomattavasti työlämpi analyysimenetelmä on sellainen, jota Solantie & Drebs (2001) ovat soveltaneet kauden 1961–1990 keskimääräisiä kesäkuukausien minimejä laskiessaan. He poistivat asemakohtaisista lämpötila-arvoista metsien, soiden ja järvien vaikutuksen erillistutkimuksissa saatuja vakioita käyttäen, ja analysoivat sitten 'puhdistetut' arvot regressioanalyysillä selittäjinä ilmansuuntaiskoordinaatit x ja y sekä hilaruudun keskikorkeus merenpinnasta. Tämän jälkeen he taas 'pukivat' metsien ja soiden vaikutuksen hilaruutujen arvoihin. Tämä menetelmä on sikäli hankala, että järvien, peltojen, nevojen ja metsien osuus sekä puiden keskikorkeus aseman ympäristössä, etäisyyden mukana vähenevin painotuksin aina 5 kilometrin päähän asemasta, on tunnettava. Tehtävän tekee vaikeaksi asemien sijaintien ja niiden ympäristöjen muutokset. Kaukokartoituksen keinot ovat eräs vartenotettava mahdollisuus.

Alueellisiin eroihin kannattaa tosiaan kiinnittää huomiota. Kuukauden minimilämpötilan alueelliset erot yksittäisten maakuntien sisällä olivat Manner-Suomen kussakin 19 maakunnassa (rajat kuvissa 5–16) kaikkina vuoden kuukausina keskimäärin 5,4 astetta

eli 39 % siitä mitä koko Suomessa eli neljä kertaa niin suuria kuin ajalliset muutokset kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005. Neljän tarkasteltavan alueen sisällä vastaava haarukka oli 6,2 astetta. Luonnonalueita käyttäen voidaan tulokset aina esittää tiivistetympin ja jäntevämmin kuin puhtaasti hallinnollisin aluejaoin. Huomattakoon, että kyse ei ole äärevistä paikoista vaan 100 km²:n alueiden keskiarvoista.

Koska mäillä sijaitsevat asemat karsittiin pois alueellisista analyyseistä, tarkastellaan lopuksi sitä, paljonko mäki-asemien keskimääräiset kuukausiminimit poikkeavat ympäristönsä arvoista. Poikkeamia, joita voi käyttää yleisestikin haluttaessa jonkun seudun mäkikylän kuukausiminimit siten, että lisätään ne kartta-arvoihin tarkasteltavan seudun kohdalla, approksimoitiin edustavan ja tyypillisen asemaparin arvojen erotuksilla. Alajärven Möksyssä mäellä ja sitä ympäröivällä tasamaalla sijaitsevien asemien (edellinen 63° 03' N, 24 °17' E, 205 m m.p.y., jälkimmäinen 63° 05' N, 24° 16' E, 171 m m.p.y.) keskimääräisten kuukausiminimien erotukset heinäkuusta 1996 lokakuuhun 2006 (° C) olivat seuraavat:

tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
3,3	4,2	5,0	2,7	2,6	3,2	4,1	3,9	3,3	2,8	1,8	4,7

Erotuksien vuosikeskiarvo on 3,5 astetta. Erotukset ovat sitä suurempia, mitä suurempia ja yleisempiä hyvin kehittyneet inversiot kylmissä ilmassoissa ovat. Siten erotuksella on päämaksimi maaliskuussa, sekundäärinen minimi loppukevällä, sekundäärinen maksimi loppukesällä, pääminimi marraskuussa ja toinen sekundäärinen maksimi joulukuussa, kun inversio pääsee lumipinnan päällä kehittymään päiväkausia globaalisäteilyn aiheuttaman sekoituksen sitä paljoa häiritsemättä. Siten erotuksen vuodenaikaiskulku on jokseenkin sama kuin sekoitusmuuttujan kertoimen eli käytännössä puuston vaikutuksen; niiden välinen korrelaatiokerroin onkin 0,80.

5 MUUTOSTEN VAIKUTUKSIA

Lopuksi tarkastellaan lämpötilan muutoksien vaikutuksia, kun muutokset ovat suurimmat, siis loka-huhtikuussa sekä elokuussa. Lämpötilan jäähtyminen lokakuussa sekä sen muuttuminen voimakkaaksi nousuksi tammikuuhun mennessä on aiheuttanut sen, että talven ensimmäisen ja pysyvän lumipeitteen tulon välinen aika on Etelä- ja Länsi-Suomessa huomattavasti pidentynyt. Toisaalta sellaiset luontoa ankarasti koettelevat tapaukset, joissa yli 32 asteen pakkasia sattuu ohuen lumipeitteen aikaan, ovat 90-luvun alusta lähtien huomattavasti vähentyneet ja laajoilta Etelä- ja Itä-Suomen alueilta lähes hävinneet, mikä on mustikalle voimakas kilpailuetu puolukkaan nähden (Solantie & Drebs, 2006). Tämä on myös vähentänyt hedelmäpuiden ja puuvartisten koristekasvien talvivaurioita. Pohjoisboreaalissa talvien lauhtuminen erityisesti kylmimpinä jaksoina on merkinnyt roudan vähenemistä, mikä on kasvattanut biologista tuotantoa ja lisännyt puuston kasvua, mutta myös metsien lumi-, tuuli- ja hyönteistuhoja sekä lahoppuun muodostumista. Itä- ja Pohjois-Lapissa esiintyvän kuusen alalajin, *Picea abies subsp. obovata*, esiintyvän kuusen oksiston peittämän alan pienuus on mielestäni seurausta siitä, että oksisto jättää huomattavan osan juuristosta oksiston alaisen vähän lumipeitteen ja paksun roudan ulkopuolelle alueilla, joilla sattuu hyvin kovia pakkasia. Kausi 1991–2005 saattaa merkitä alkua tämän kuusen alalajin esiintymisrajan vetäytymiselle koilliseen.

Elokuun minimien nousu 1,2–1,6 asteella on merkinnyt ensimmäisten syyspakkasten myöhentymistä noin 10 päivällä, millä on ollut edullinen vaikutus maataloudelle ja puutarhaviljelylle.

6 TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ

Suomessa minimilämpötilojen kasvu ilmaston lämmitessä on huomattavassa määrin sidoksissa Arktisen värähtelyn indeksiin. Malliajot osoittavat, että indeksi tulee kasvamaan kasvihuonekaasujen vaikutuksen kasvaessa (Fyfe & al., 1999, Järvenoja, 2005, Shindell & al., 1999). Koska molempien kasvu on suurinta talvella, tulee

ilmastonmuutos pääpiirteittäin yhä voimistamaan niitä muutoksia, jotka jo tapahtuivat kaudesta 1961–1990 kauteen 1991–2005. Suuret ja syvät järvet tulevat yhä yleisemmin olemaan auki ja nostamaan lämpötilaminimejä pohjoisessa Järvi-Suomessa joulukuussa sekä eteläisessä Järvi-Suomessa tammikuussa. Lumen kevät sulamisen varhaistuminen tulee siirtämään vuorokausiminimien jyrkimmän nousun vaiheen Etelä-Suomessa maaliskuun loppupuolelta sen alkuun, mikä nostaa siellä maaliskuun kuukausiminimejä. Vastaavasti Keskiporeaalin ylämailla tämän vaiheen siirtyminen maaliskuun puolelle nostaa siellä kovasti huhtikuun minimejä. Jäämeren jääpeitteen supistuminen tulee edelleen lisäämään arkisten ilmamassojen pilvisyyttä maaliskuussa, mikä vaikuttaa samaan suuntaan. Ilmaston lauhtuminen tulee koko maassa nostamaan edelleen puuston keskikorkeutta, mikä nostaa minimejä koko maassa kaikkina kuukausina, eniten maaliskuussa ja elokuussa. Samaan suuntaan vaikuttaa myös kovan pakkasen ja vähän lumen tuhoisien yhdistelmien väheneminen, mikä myös suosii mustikkaa puolukan kustannuksella.

Tässä yhteydessä on kuitenkin muistutettava siitä, että Arktinen värähtely, huolimatta lisääntyvästä trendistään, tulee edelleenkin jaksottaisesti vaihtelevaan, mikä aiheuttanee minimien nousussa epätasaisuutta. Esimerkiksi kauden 1991–2005 korkean AO-indeksin vaihe alkoi hyvin jyrkästi talvesta 1988–1989, ja on siitä lähtien vähin pienentynyt.

KIITOKSET

Tekijät kiittävät Jaakko Forsiusta raportin tietoteknisestä viimeistelystä ja Robin Kingiä englanninkielen tarkastuksesta.

SUMMARY

Monthly minimum temperatures in a 10•10 km grid averaged for the period 1991–2005 were analysed areally by the Kriging method, used to explain the variation by the following variables:

- x (east-west) and y (south–north)-coordinates, x^2 , y^2 , and $x \cdot y$
- a mixing variable S (the mean height of forest stands over the whole area; agricultural fields, covering 9 % of Finland, were approximated to correspond to a forest stand height of 13 m)
- terrain height above sea level (stations with hill-side situations were excluded), denoted by h
- a modification $j - 0.44 \cdot j^2$, of the areal proportion of lakes j ,
- the areal proportion of fens, denoted by n
- the areal proportion of sea (in coastal areas), denoted by H .

Monthly maps are shown in Figs. 4 to 15. The monthly coefficients obtained by the Kriging method are given in Table 1 for all the involved variables (main run) and in Table 2 for the variable S (complementary run). Maps were prepared using the results of the main run. The complementary run was made in order to obtain a better estimate of the effect of forest stands than in the main run. This was necessary because the areal distribution of the proportion of lakes is very similar to the height of forest stands, so that a great deal of S was captured by the lake effect. In the complementary run, all stations for which $j > 0.07$ in their surroundings were rejected, and was also the lake variable.

The effect of the sea is highest in December and lowest from April to July.

The coefficient for the lake effect has a maximum in July and a secondary maximum in December, as the difference in temperature between water and air is highest in the latter month, and the freezing-over of the lakes releases heat.

The effect of forest stands (Fig. 1), called the mixing variable, is highest in March and August as the diurnal variation in inversion situations during cold air masses is then also greatest.

The effect of fens, occurring mostly in certain regions of northern Finland (Fig. 2) and mainly having a water surface until around midsummer, is very similar to that of lakes, having a maximum in July and a secondary maximum in December.

The effect of height above sea level is mostly -0.4 to -0.7 °C/100 m, on average -0.55 °C/100 m.

Maps of average monthly minima for 1991–2005 are given in Figs 5–16

The monthly changes from the period 1961–1990 to 1991–2005 were calculated for those stations that functioned for the whole period 1961–2005. The station-wise changes were then averaged over the corresponding ecoclimatic regions (Fig. 3), i.e., the Southern, Middle and Northern boreal zones, the first being sub-divided into Lake-Finland and a region having less lakes. Noting, however, that the annual course of the changes (Table 3) was clearly different in the Northern boreal zone, but mutually much more similar in the two other regions, two regional groups were formed for further study of the changes. In the combined Southern and Middle boreal areas, the average annual change was $+1.22$ °C. In January and March the change even exceeded $+3$ °C, while in August, November, December, February and April it was $+1.2$ – $+1.7$ °C and in October -1.2 °C. In the other months the changes were $+0.2$ – $+0.9$ °C.

In the Northern boreal zone, the average annual change was $+1.51$ °C. In November, December, January and March the change was 2.0 – 2.8 °C, in February, May and September $+1.2$ – $+1.5$ °C, in April and June $+0.9$ °C and in October $+0.1$ °C.

Noting that, over the whole area, the mean height of forest stands between the two periods had increased by 2.5 m in the Southern and Middle boreal regions and by about 1 m in the Northern boreal, and using monthly coefficients for this variable obtained in the complementary run (Table 1), we obtain the partial changes due to this effect. The effect of the increased height of forest stands in the Southern and Middle Boreal regions is even greater than the other effects, while in the Northern boreal it is smaller. These monthly partial changes were then subtracted from the total changes; the resulting monthly differences were explained using regression analysis by the monthly changes in the index of the Arctic oscillation (AO-i); this is highly effective in Finland, and causes

greater monthly variations than any other effect (Fig. 4). Subtracting further these partial changes, we obtain monthly residuals suggesting the effect of an increase in concentrations of green house gases and the withdrawal of the ice-edge in the Barents Sea (the residual also including other effects and errors of all kinds). All three partial changes are given monthly in Tables 4 and 5. The effects of the changes in AO-i are highly positive in winter and in August, highly negative in October and slightly positive at other times of the year. The effect of green house gases and withdrawal of the ice-edge is greater in winter than in summer, and greater in the Northern boreal than in the Southern and Middle boreal zones. The rather large positive residual in March clearly includes two separate effects. The increased open water area between the polar ice and Fennoscandia has added moisture to and caused increasing cloudiness in the arctic air masses with the lowest minima in March. In addition, minimum temperatures under an inversion are strongly affected by the occurrence of snow melt during the day-time, followed by and refreezing at night. The earlier start of this period has raised minima at this time of the year in southern and western Finland.

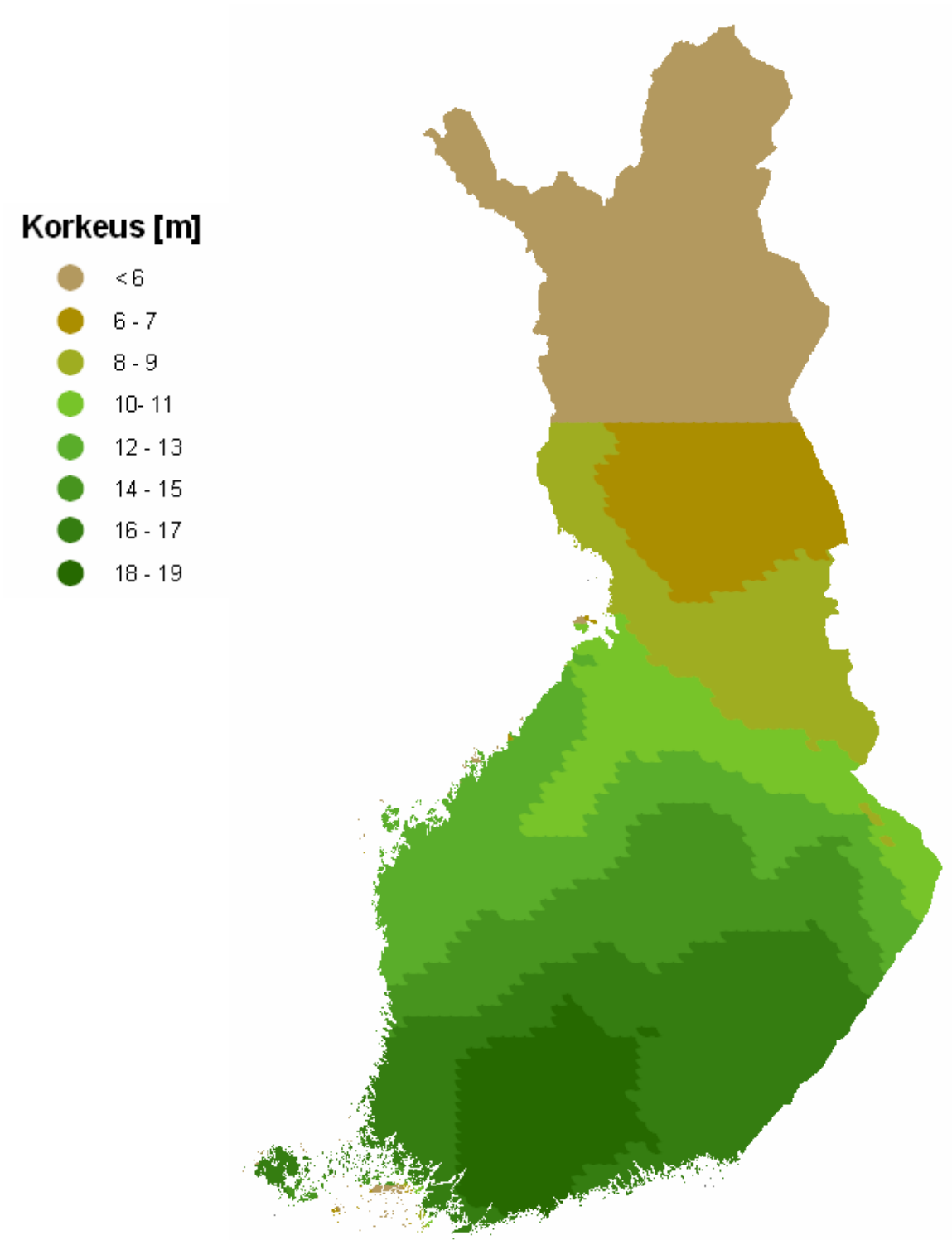
The temperature change that has occurred from the period 1961–1990 to 1991–2005 has had consequences, some of which may be now mentioned. The relative fall of the minimum temperature in October and its relative rise in early winter are connected to the increased duration of the period between the occurrence of the first total-covering snow cover and the emergence of a permanent snow cover in southern and western Finland. Further, periods during which the temperature is below $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ but the snow cover is too thin to give protection, and that are so harsh for lower vegetation and tree roots, have appreciably decreased or even vanished. This also favours bilberry (*Vaccinium myrtillus*) at the expense of lingonberry (*Vaccinium vitis idaea*). In the Northern boreal region, higher temperatures during the coldest periods have decreased soil frost. Decreasing soil frost enhances biological production and the growth of forest stands, but is also more favourable for the occurrence of snow-, wind- and insect-damage and the formation of rotten wood. The decrease of hard periods also favours a retreat of the geographical limit of the particular subspecies of Norwegian spruce, *Picea abies subsp. obovata*, occurring from Northern and Eastern Lapland in the west

eastwards towards Siberia. It covers a particularly small area with its branches, so that its roots that extend beyond this need to be sheltered by snow.

The higher minima in winter have also decreased frost damage to fruit trees and woody-stemmed ornamental plants.

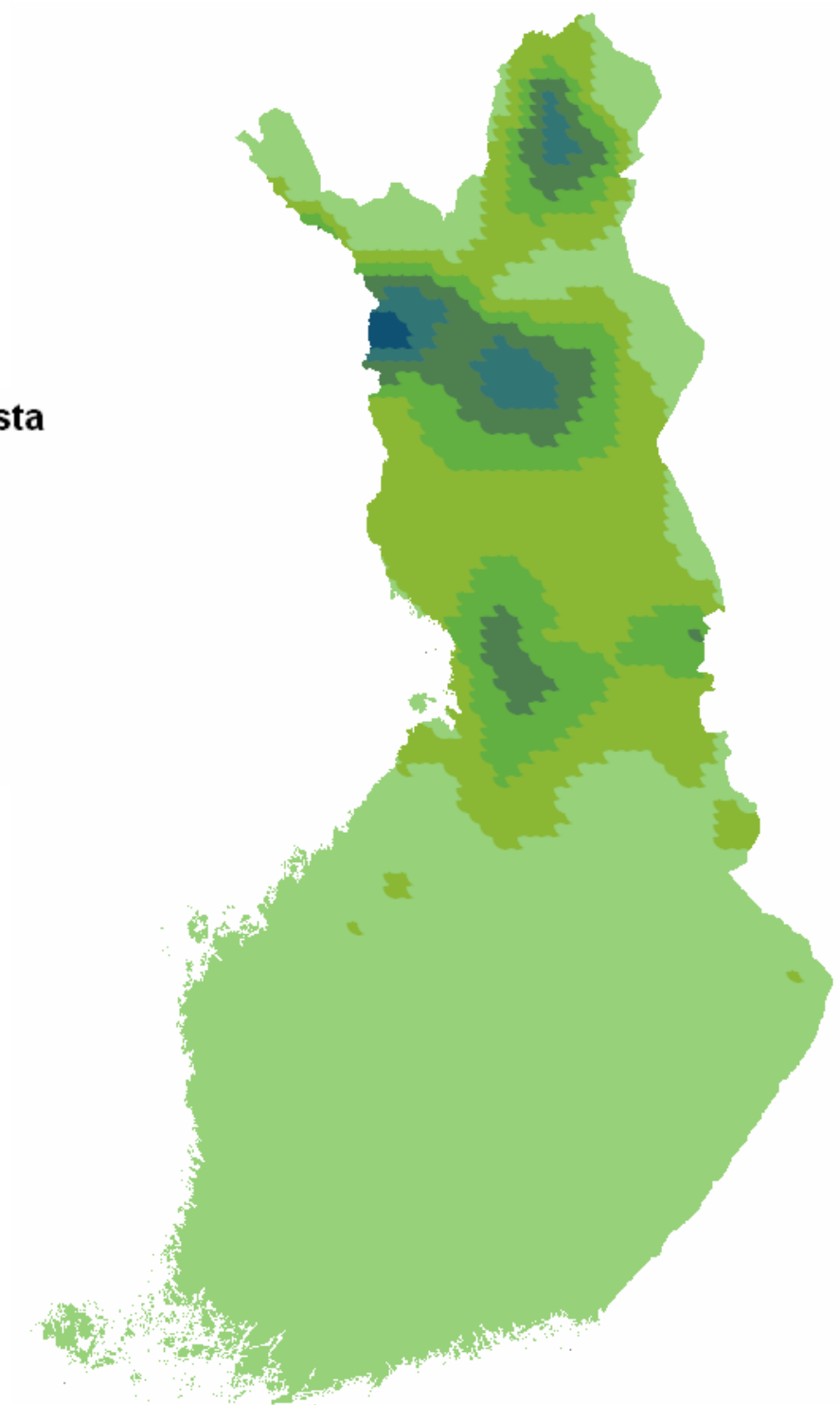
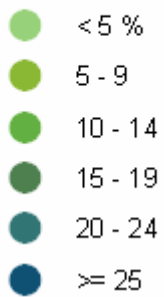
The increase in the August temperature minima by 1.3–1.4 °C means that the onset of the first damaging frosts in the Middle and Northern Boreal zones has been postponed by about 10 days, which is an advantage for agriculture and horticulture.

KUVAT - FIGURES



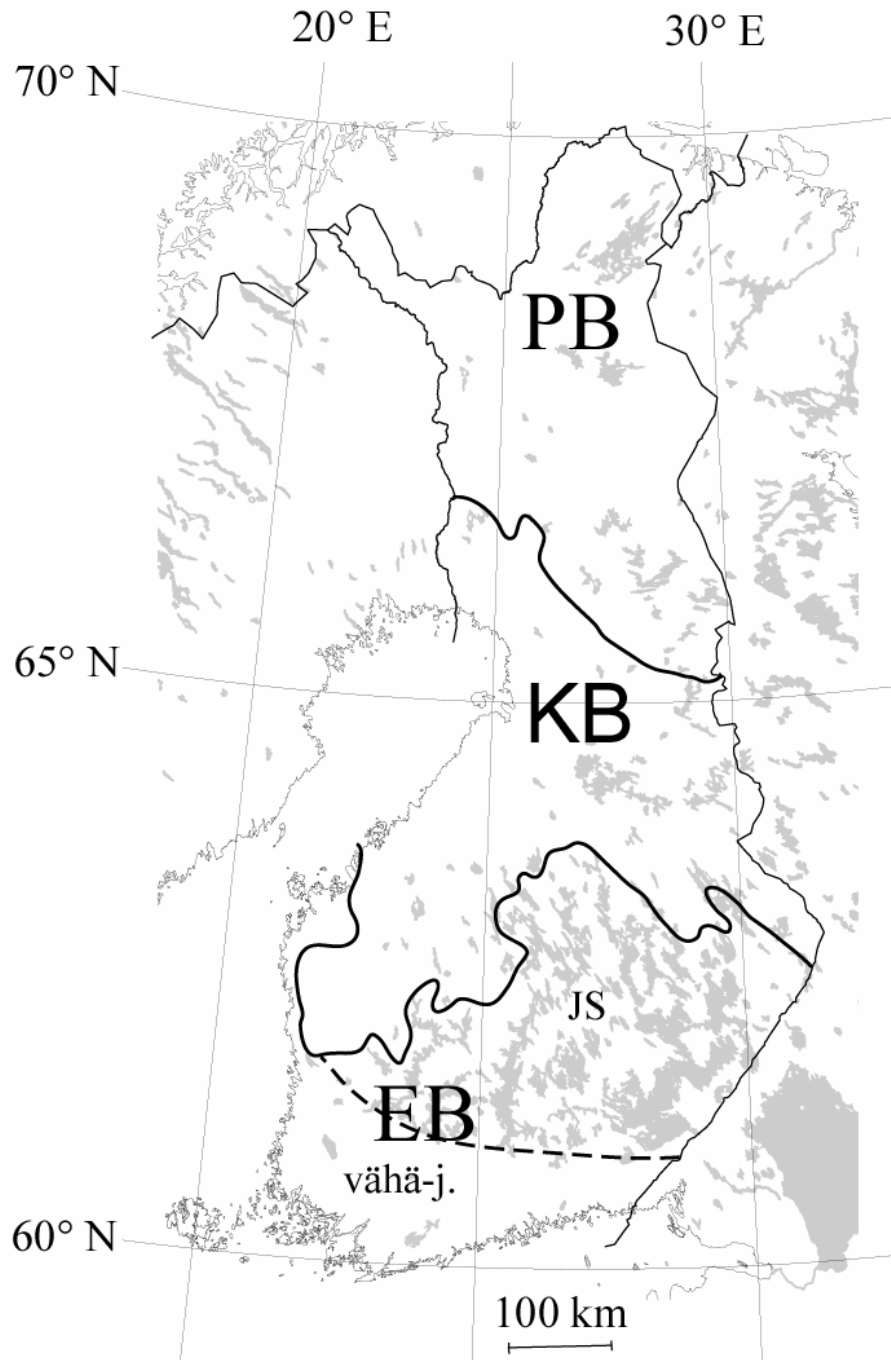
Kuva 1. Puuston keskipuuteisuus metsissä ja soilla keskimäärin kautena 1991–2005.
Fig. 1. The mean height of forest stands in forests and mires averaged for 1991–2005.

**Osuus pinta-alasta
[%]**



Kuva 2. Nevojen osuus kokonaispinta-alasta (%) vuosina 1983–1993 suoritetun valtakunnan metsien 8. inventoinnin mukaan (Kari Korhonen, Metsäntutkimuslaitos)

Fig. 2. The areal proportion of fens (%) according to the 8th national forest inventory 1983–1993 (Kari Korhonen, Finnish Forest Research Institute)



Kuva 3. Aluejako tutkimuksessa

EB = Eteläboreaali(nen ekoklimaattinen vyöyke)

JS = Järvi-Suomi

vähä-j. = vähäjärvinen osa Eteläboreaalista (muu kuin JS)

KB= Keskiboreaali(nen ekoklimaattinen vyöyke)

PB= Pohjoisboreaali(nen ekoklimaattinen vyöyke)

Fig. 3. Division into regions

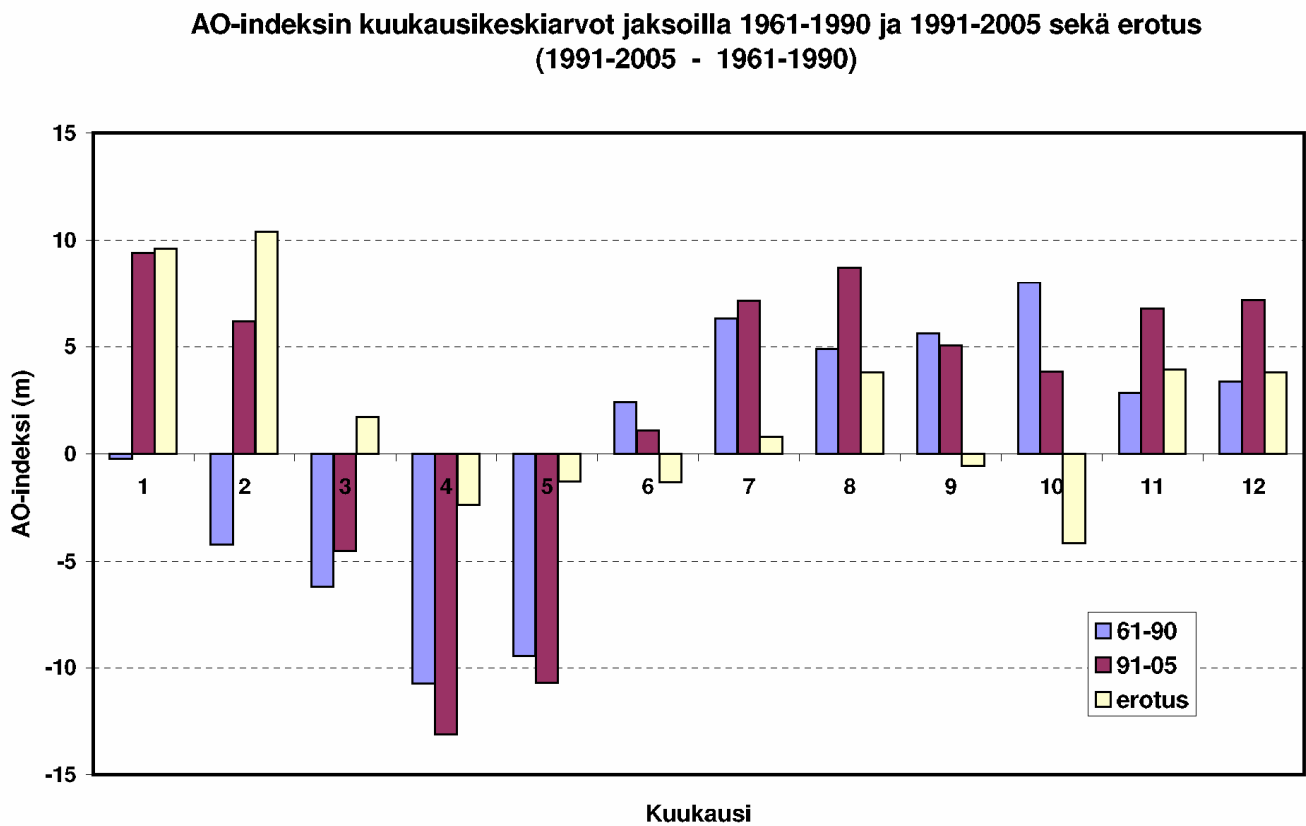
EB = Southern boreal (ecoclimatic zone)

JS = Lake-Finland

vähä-j. = EB excluding JS

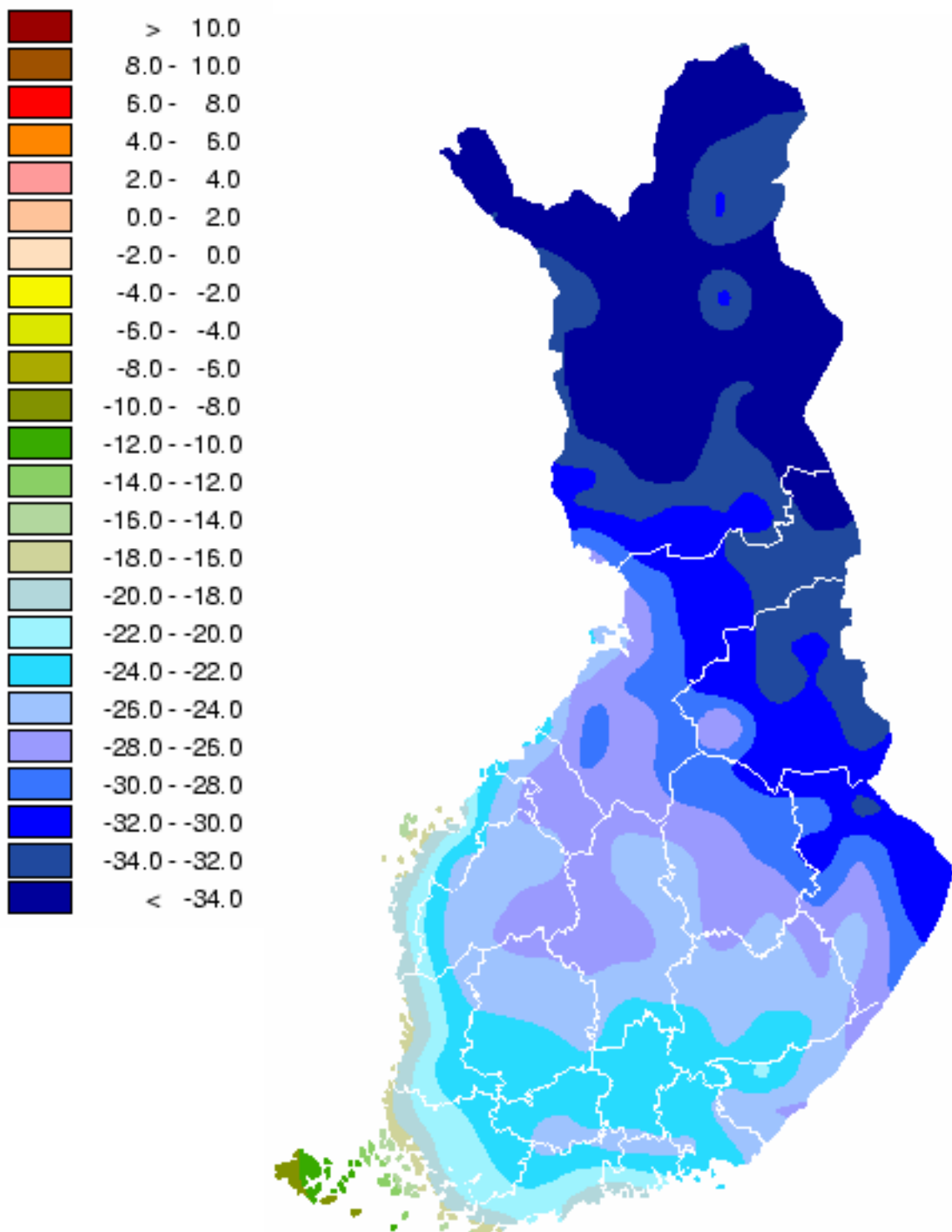
KB= Middle boreal (ecoclimatic zone)

PB= Northern boreal (ecoclimatic zone)

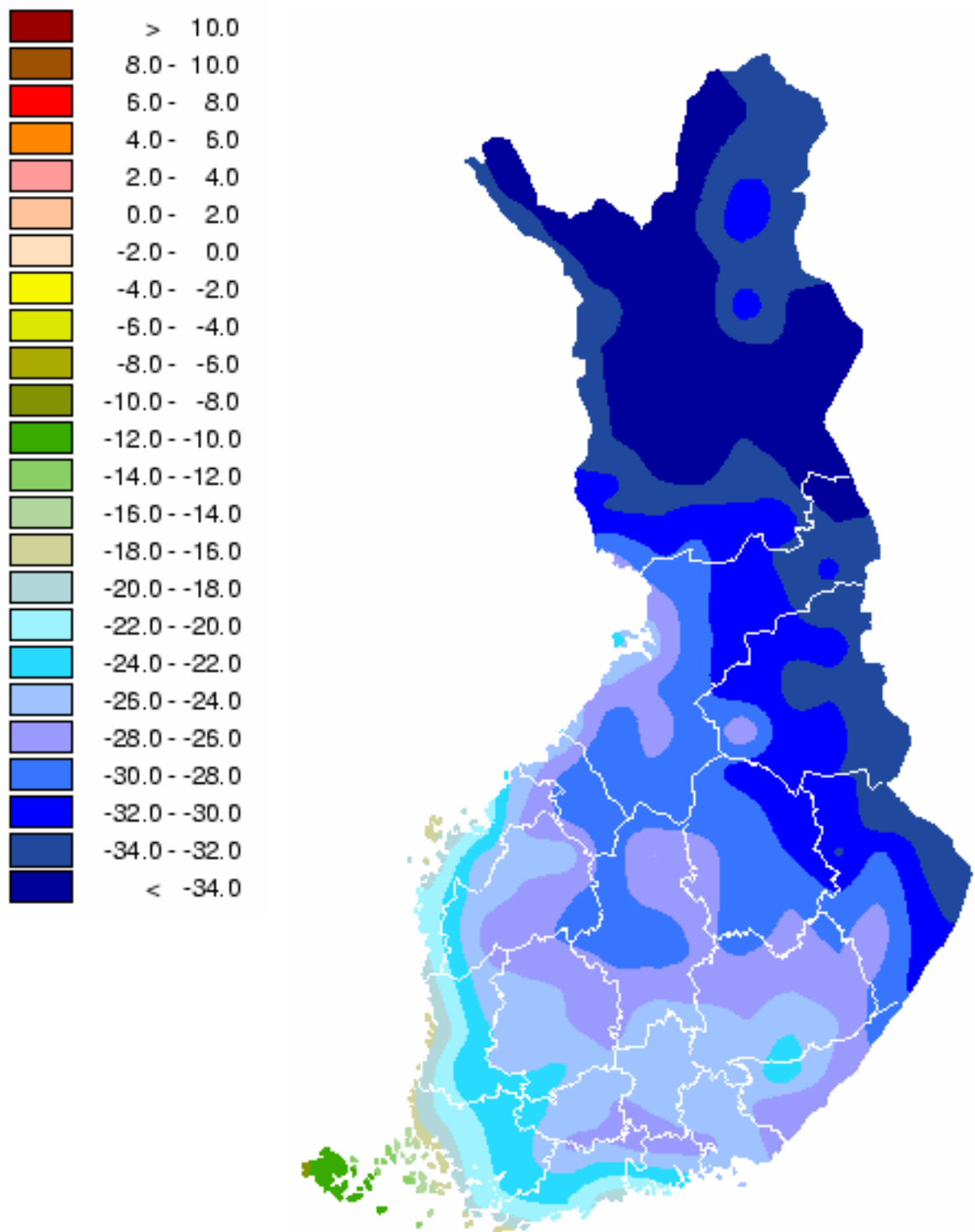


Kuva 4. Arktisen värähtelyn indeksi AO-i kuukausittain keskimäärin kausina 1961–1990 ja 1991–2005 sekä sen muutos kausien välillä.

Fig. 4. Monthly variation of the arctic oscillation index (AO-i) on the average during the periods 1961–1990 and 1991–2005, and its change ('erotus') between the periods.

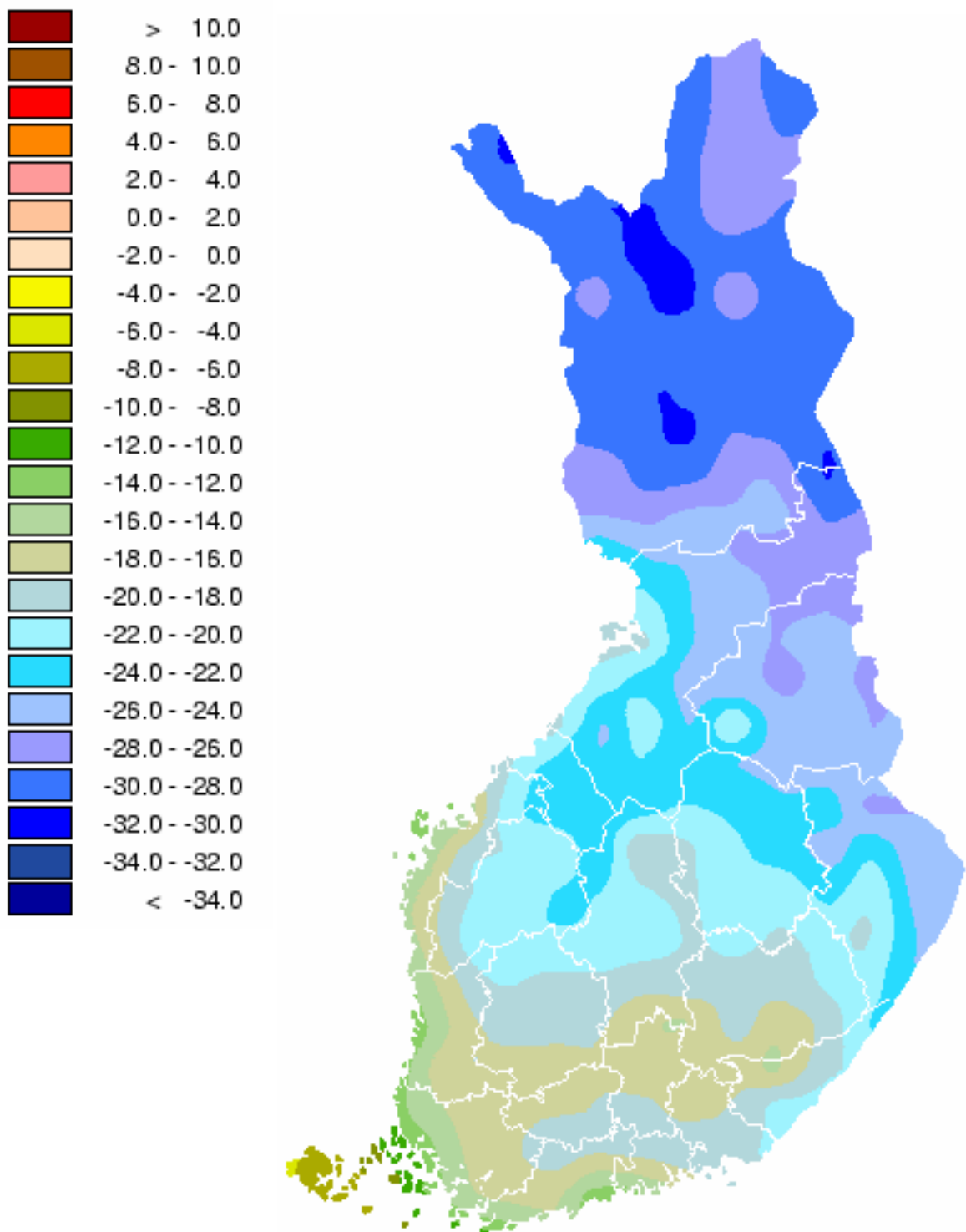


Kuva 5. Tammikuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005
Fig. 5. Average January minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



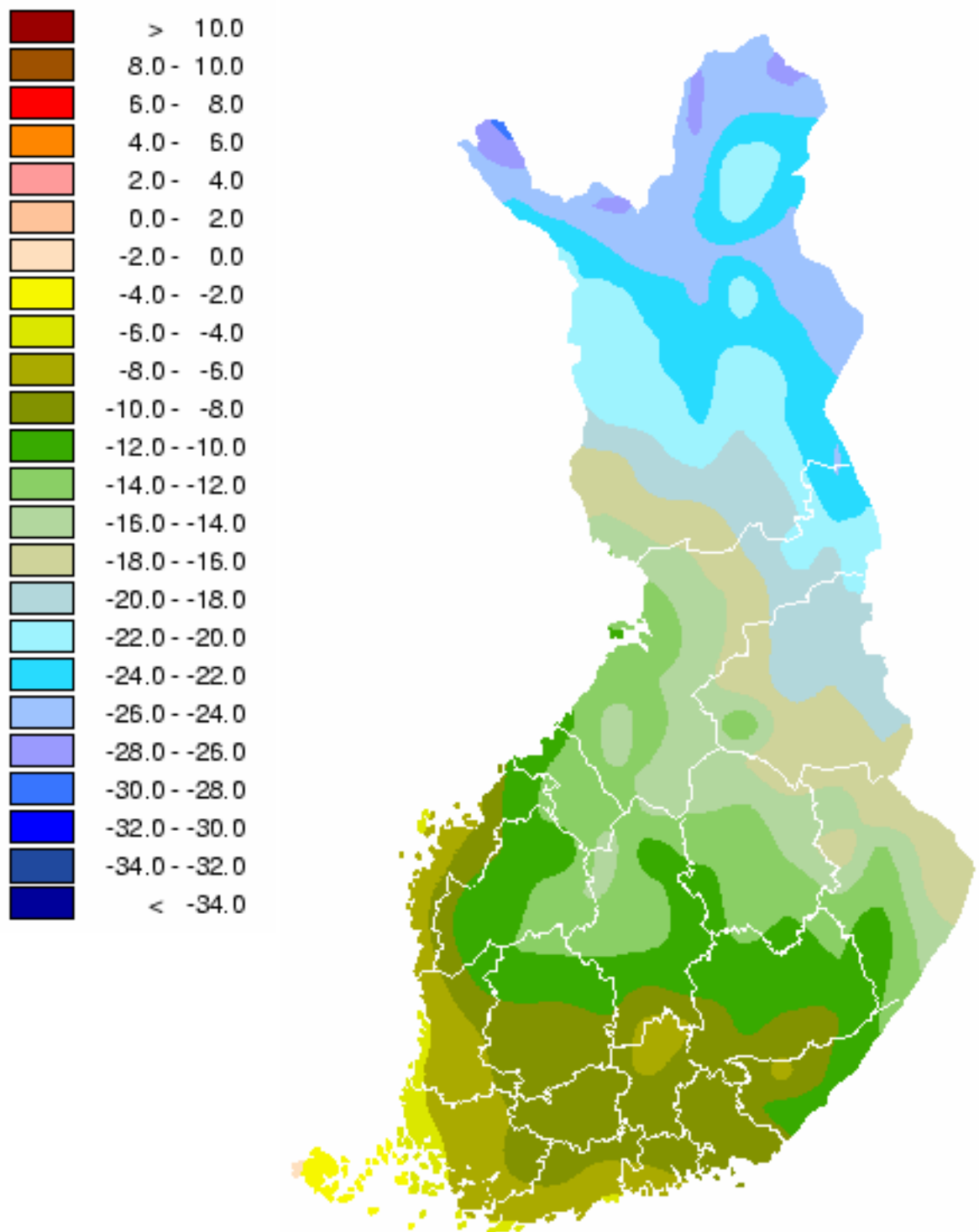
Kuva 6. Helmikuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 6. Average February minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



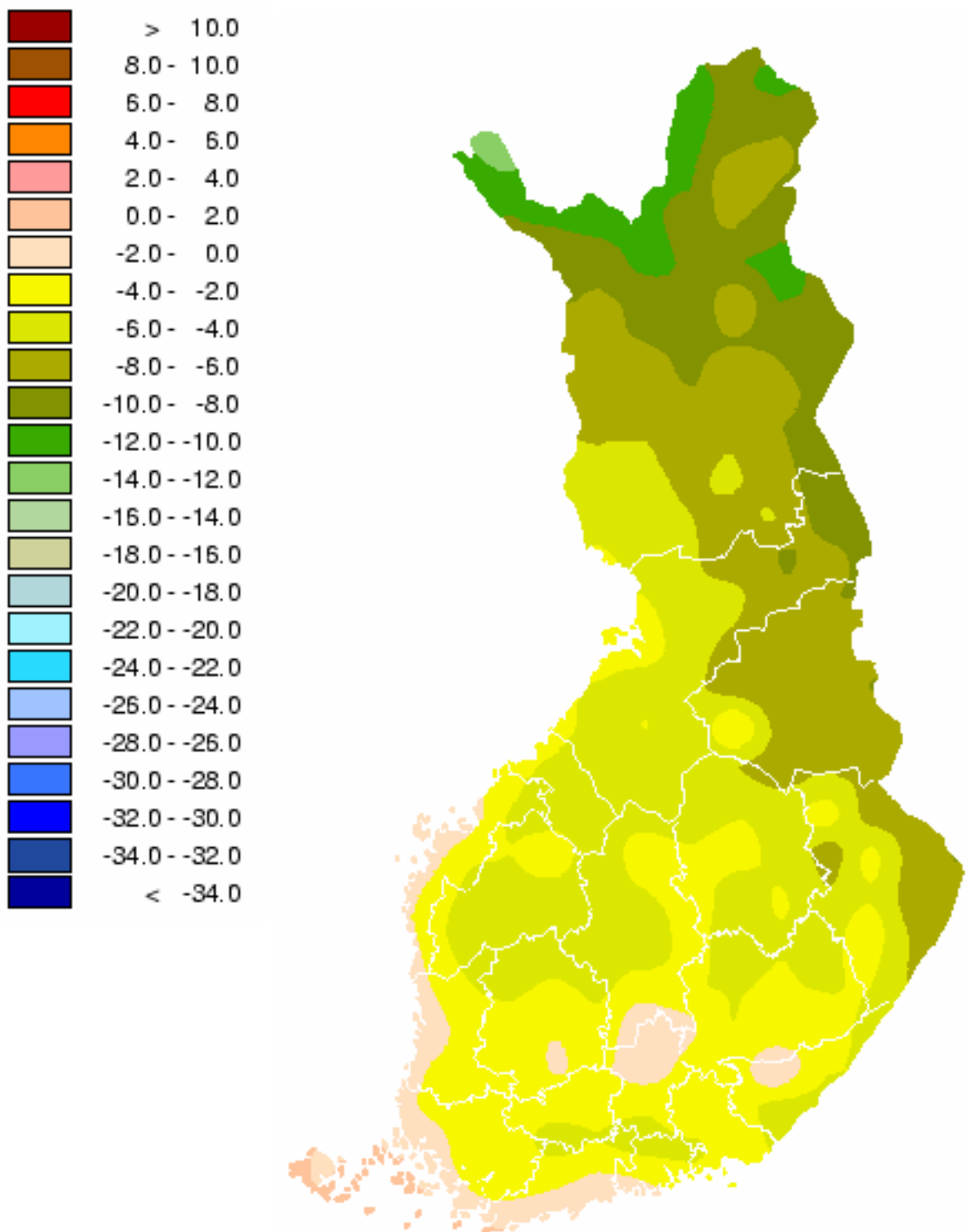
Kuva 7. Maaliskuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 7. Average March minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



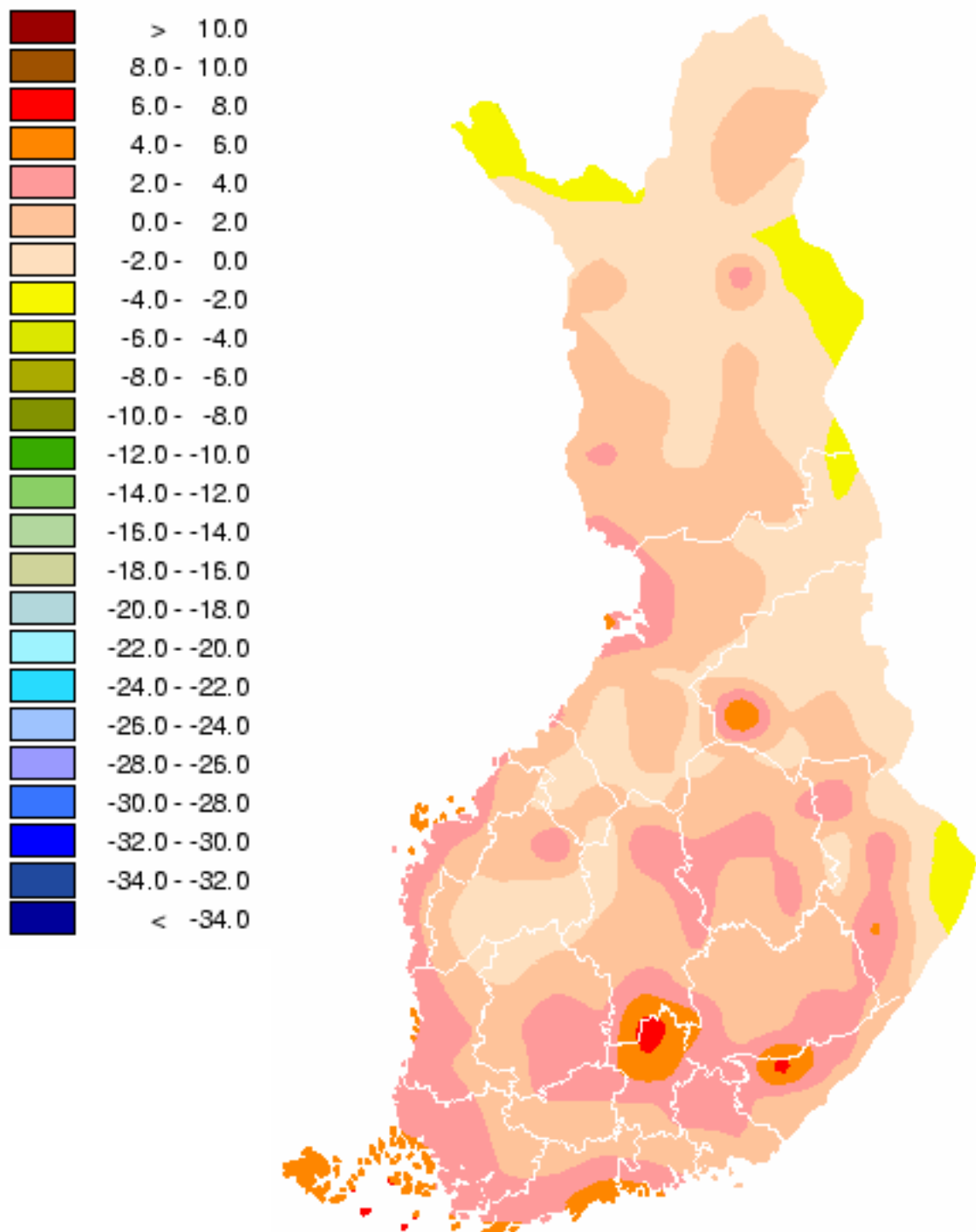
Kuva 8. Huhtikuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 8. Average April minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



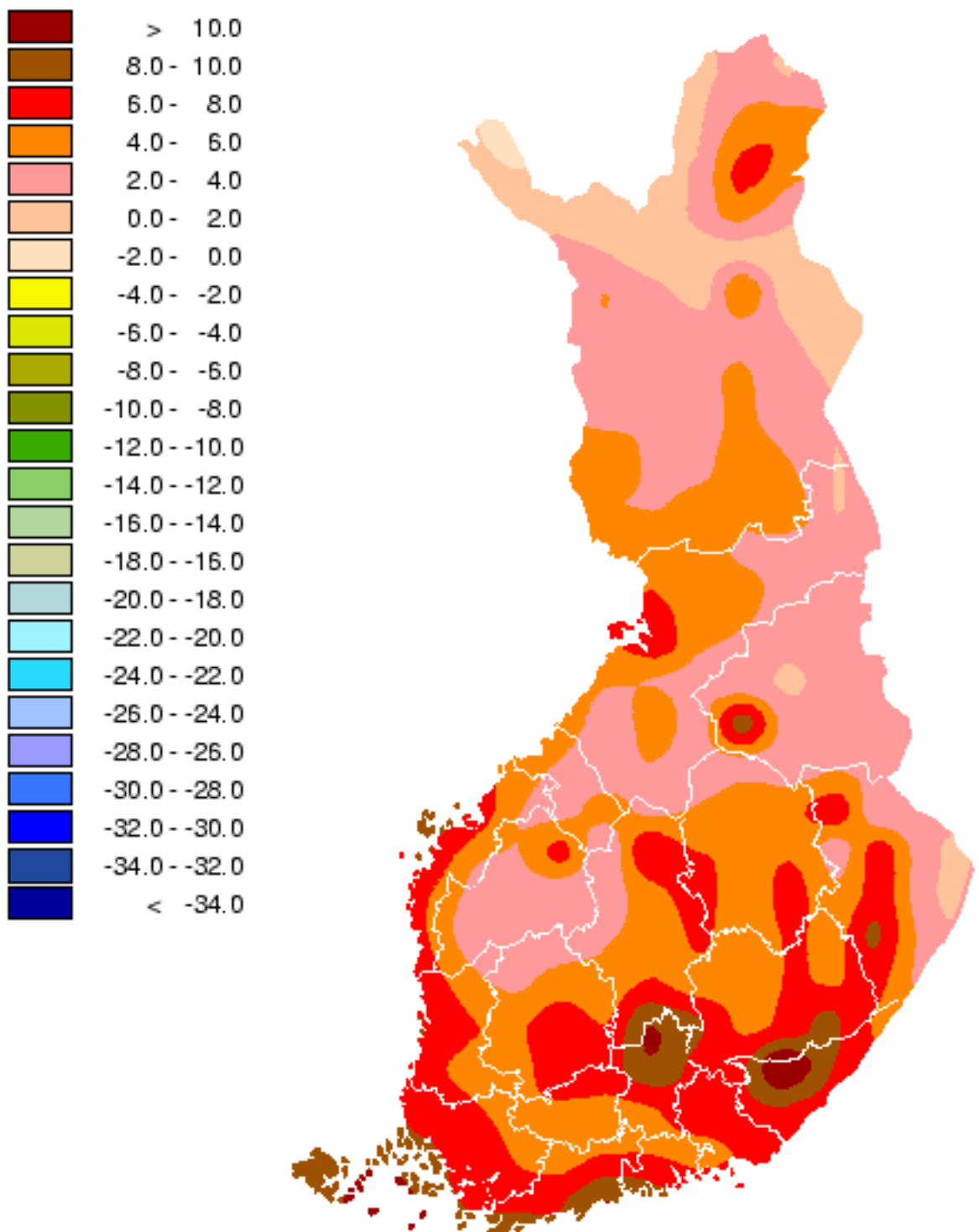
Kuva 9. Toukokuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 9. Average May minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



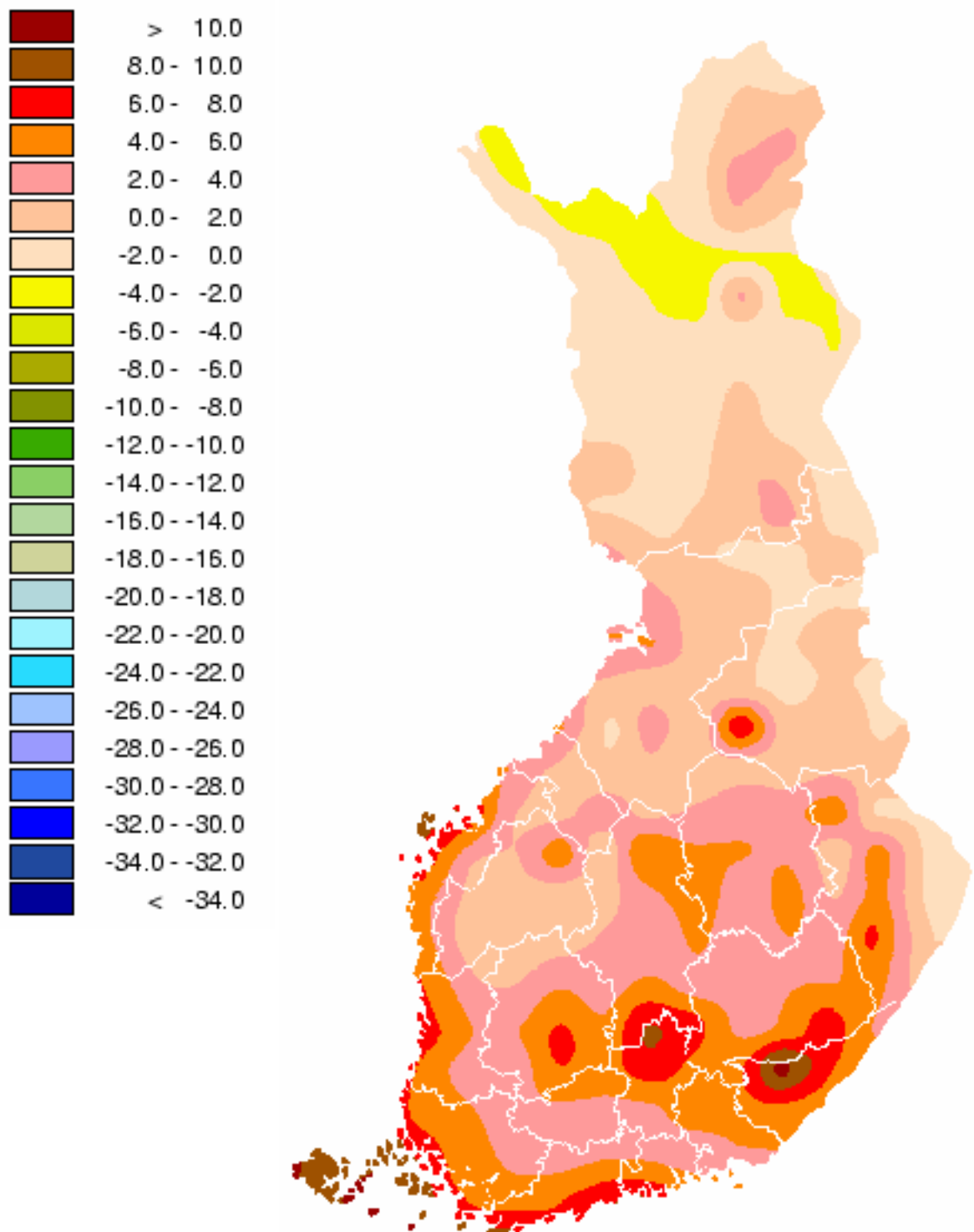
Kuva 10. Kesäkuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 10. Average June minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



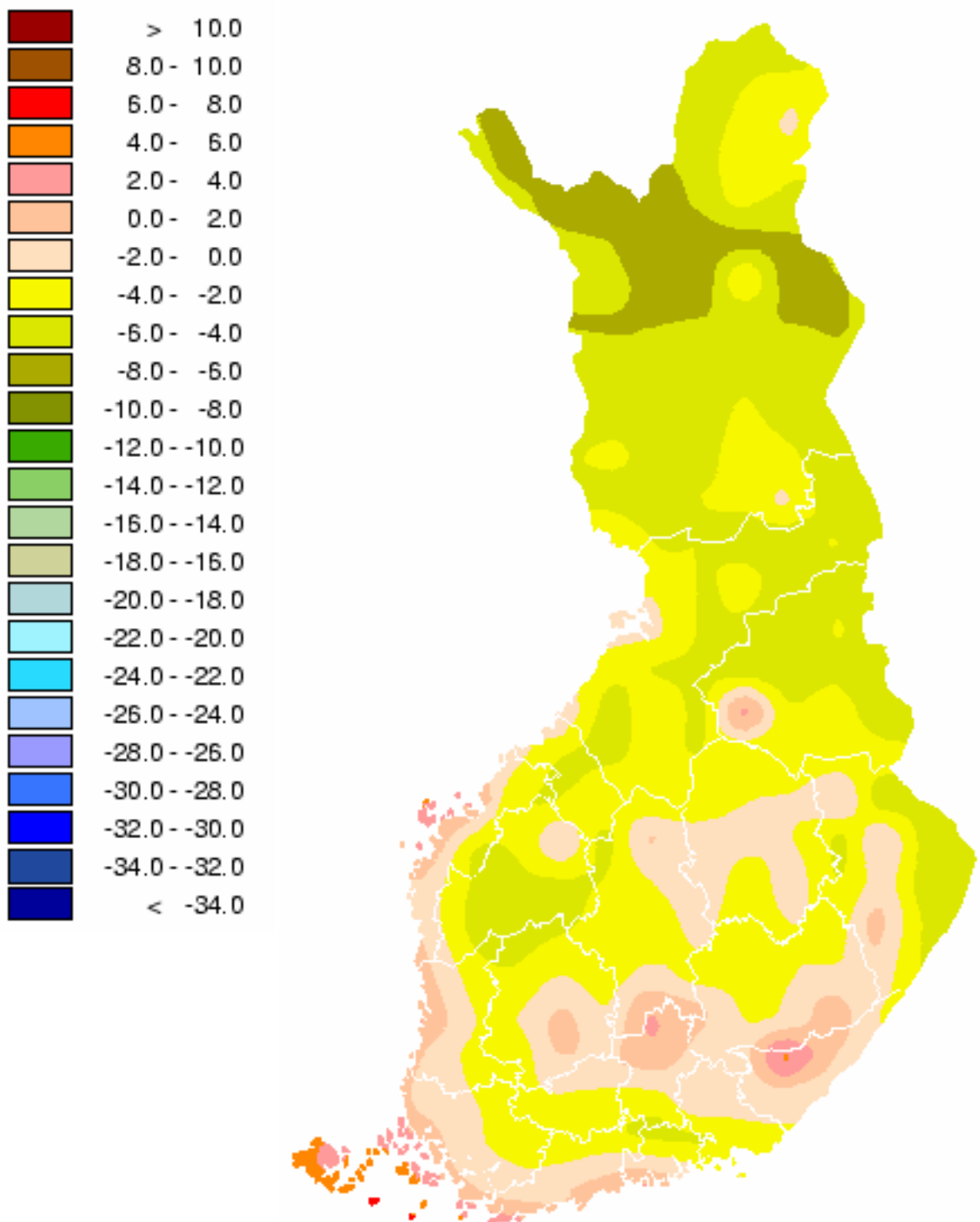
Kuva 11. Heinäkuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 11. The July minimum temperature (°C) on the average during the period 1991–2005



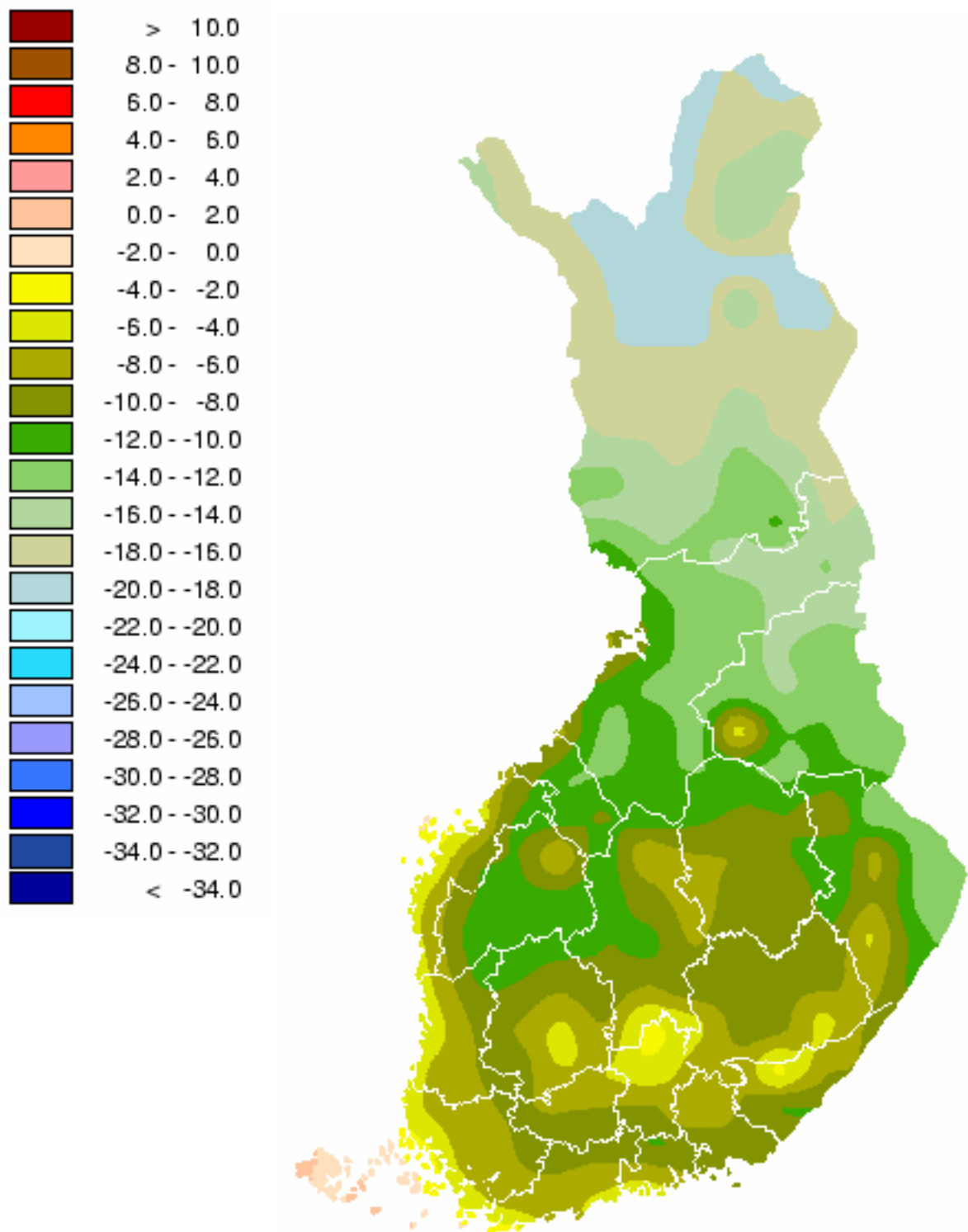
Kuva 12. Elokuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 12. Average August minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



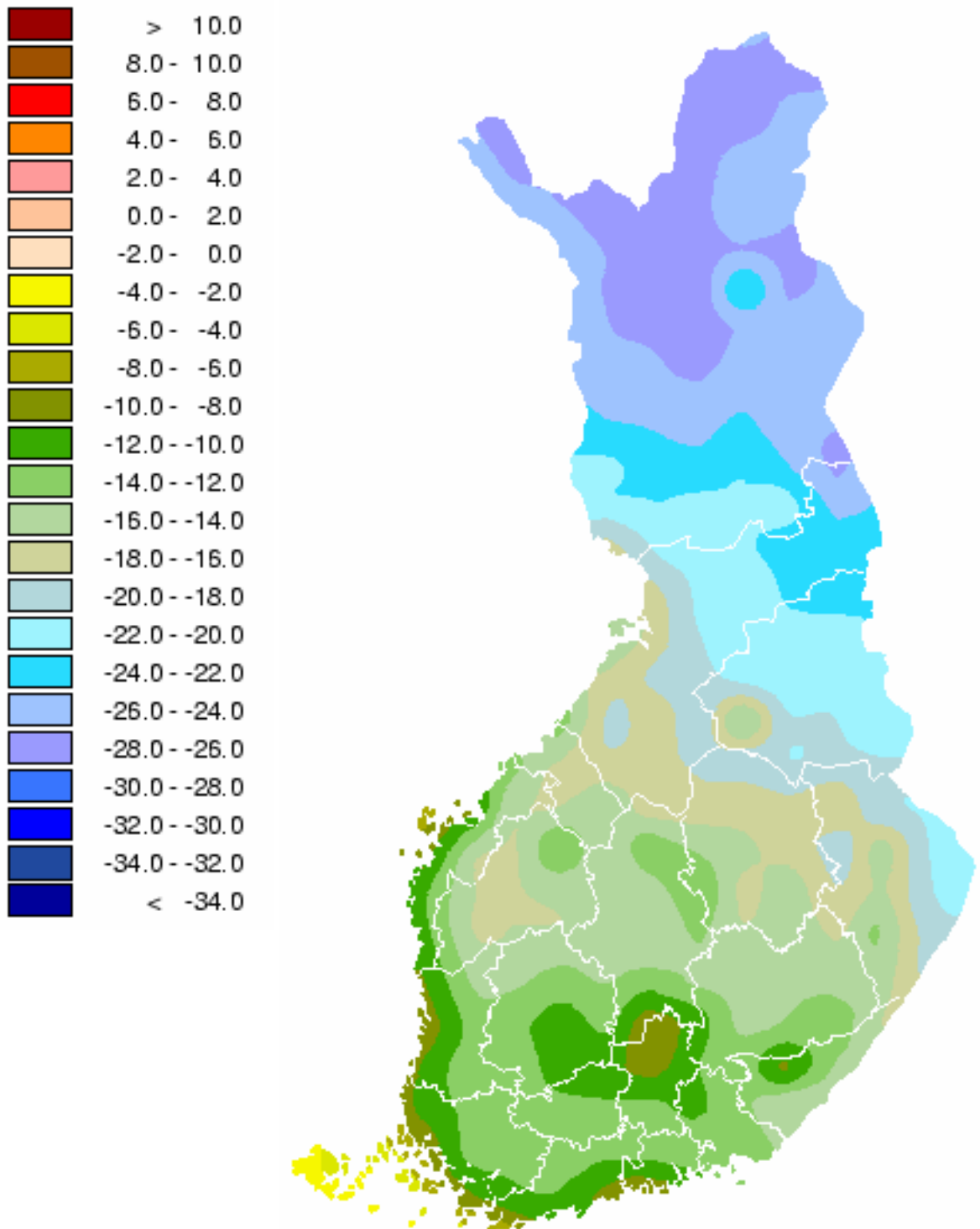
Kuva 13. Syyskuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 13. Average September minimum temperature (°C) during the period 1991–2005

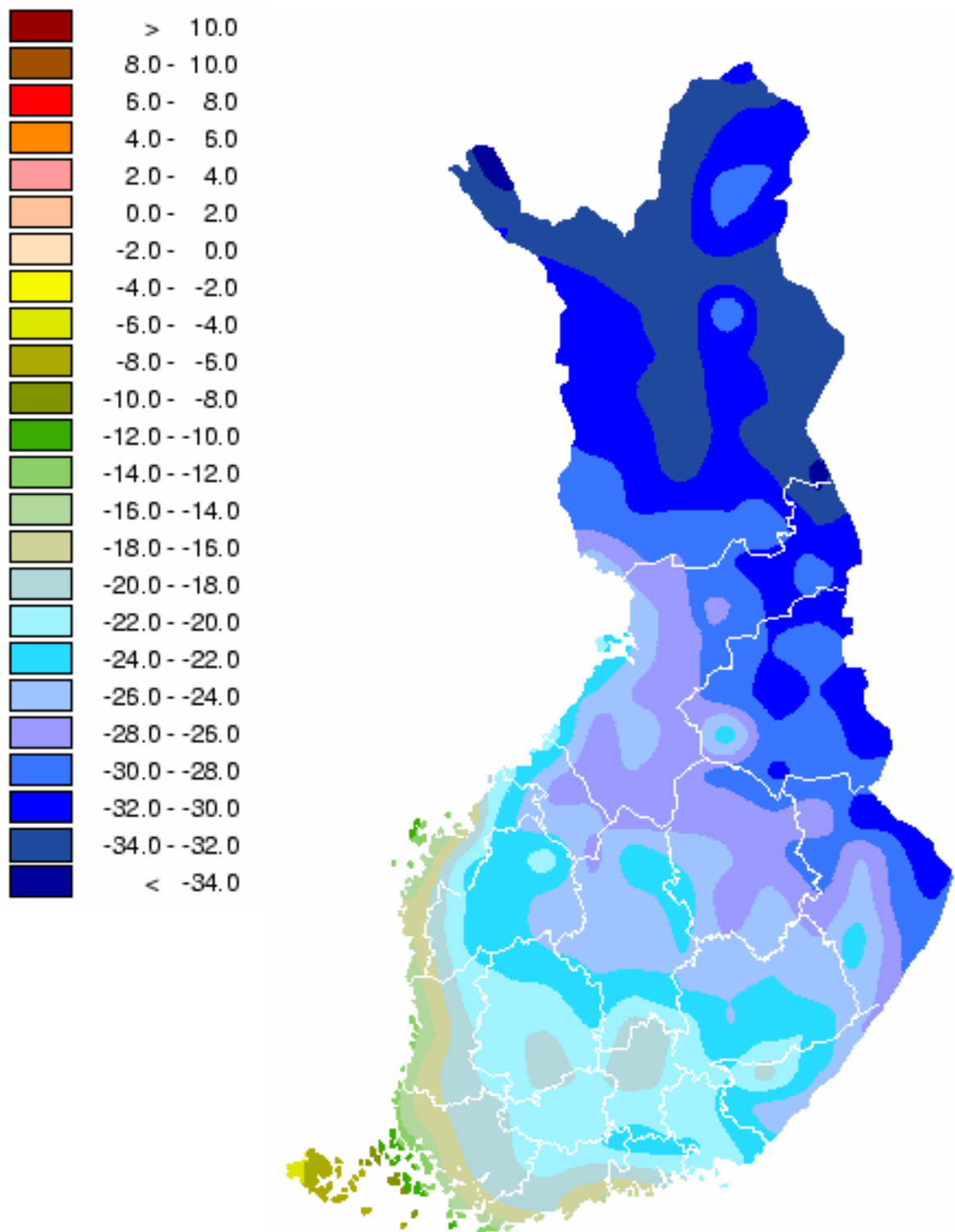


Kuva 14. Lokakuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005

Fig. 14. Average October minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



Kuva 15. Marraskuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005
 Fig. 15. Average November minimum temperature (°C) during the period 1991–2005



Kuva 16. Joulukuun minimilämpötila (°C) keskimäärin kautena 1991–2005
 Fig. 16. Average December minimum temperature (°C) during the period 1991–2005

KIRJALLISUUTTA - REFERENCES

Fyfe, J.C., Boer, G.J. & Flato, G.M., 1999. The Arctic and Antarctic Oscillations and their projected changes under global warming. *Geophys. Res. Lett.*, 26, p. 1601–1604.

Järvenoja, S., 2005: Arctic Oscillation and its impact on Finland's climate. XXII Geofysiikan Päivät, 19–20.5.2005. Helsinki, p. 57–62.

Metsätilastollinen vuosikirja – Yearbook of Forest Statistics 1977–1978. *Folia Forestalia* 375, 197 s. Metsäntutkimuslaitos – Finnish Forest Research Institute 1979.

Metsätilastollinen vuosikirja – Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2005. SVT. *Maa- ja metsätalous 2005:45*, 424 s. Metsäntutkimuslaitos – Finnish Forest Research Institute 2005.

Shindell, D.T, Miller, R.L., Schmidt, G.A. & Pandolfo, L., 1999. Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse-gas forcing. *Nature*, 399, p. 452–455.

Solantie, R., 1982. Järvien jäätyminen. In: *Kuukausikatsaus, joulukuu 1982*. Ilmatieteen laitos.

Solantie, R., 1983a. Järvien jäätyminen. In: *Kuukausikatsaus, tammikuu 1983*. Ilmatieteen laitos.

Solantie, R., 1983b. Järvien jäätymisajankohdan riippuvuus niiden keskisyvyydestä, pinta-alasta ja pakkassummasta. *Vesitalous 1/1983*, s. 25–28.

Solantie, R. & Drebs, A., 2000. Keskimääräinen vuoden ylin ja alin lämpötila Suomessa 1961–1990. *Raportteja 2000:6*. Ilmatieteen laitos, 32 s.

Solantie, R., & Drebs, A., 2001. Maps of daily and monthly minimum temperatures in Finland for June, July, and August 1961–1990, considering the effect of underlying surface. *Raportteja 2001:4*. Finnish Meteorological Institute, 28 p.

Solantie, R., & Drebs, A., 2006. Kova pakkanen ja ohut lumipeite – tuhoisa yhdistelmä matalille kasveille ja puiden juurille. Abstract: hard frost and thin snow cover– a fatal combination for small perennials and tree roots. *Sorbifolia Vol. 37 3/2006*, s. 99–105.

Solantie, R. & Pirinen P. 2005. Diurnal temperature variation in inversion situations. *Raportteja 2005:4*. Finnish Meteorological Institute, 34 p.

Solantie, R., Drebs, A. & Kaukoranta, J.-P., 2004. Regular diurnal temperature variation in various landtypes in the Möksy experimental field in summer 2002, in relation to the production of sensible heat. *Raportteja 2004:1*. Finnish Meteorological Institute, 69 p.

Thompson, D.J.W. and Wallace, J.M., 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 25, p. 1297–1300.

Thompson, D.J.W. and Wallace, J.M., 2000: Annular modes in the extratropical circulation, Part I: Month-to-month variability. *J. Climate*, 13, p. 1000-1016.

Thompson, D.J.W., Wallace, J.M. and Hegerl, G.C., 2000: Annular modes in the extratropical circulation, Part II: Trends. *J. Climate*, 13, p. 1018–1036.

Tuomenvirta, H., Alexandersson, H., Drebs, A., Frich, P. & Nordli, P.O., 2000. Trends in Nordic and Arctic Temperature Extremes and Ranges. *Journal of climate*. American Meteorological Society, p. 977–990.

Vajda, A. & Venäläinen, A., 2003. Small scale spatial variation of climate in Finnish Lapland. *Reports 2003:1*. Finnish Meteorological Institute, 34 p.

Vajda, A. & Venäläinen, A., 2003. The influence of natural conditions on the spatial variation of climate in Lapland, northern Finland. *International Journal of Climatology* 23, p. 1011–1022.

Wallace, J.M., 2000. North Atlantic Oscillation/annular mode: Two paradigms - one phenomenon. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 126, p. 791–805.

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. Tammelinen, 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 merisääsääsien 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 verifiointisysteemi 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 tyypin yhdisteiden kaukokulkeutumismallin kehittäminen HIRLAM-säännustemallin 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 näytteenottotilaa 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 indusoituvat 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 -järvalueella. 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 talvijalankulun 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 mittausmenetelmien kehittäminen (MIKROMETKAA). Tekesin Streams – ohjelman hankkeen loppuraportti. 34 s.
 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, Sääntti, 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 2005 - 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 jakautuma kautena 1991–2005 Suomessa sekä muutos kaudesta 1961–1990. 59 s.

Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1, Helsinki
tel. (09) 19 291
www.fmi.fi

ISBN 978-951-697-622-1
ISSN 0782-6079
Yliopistopaino
Helsinki