



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2006:8

Orografian huomioiminen loka-
huhtikuun sademäärien alueellisissa
analyyseissä

**REIJO SOLANTIE
PENTTI PIRINEN**

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS

No. 2006:8

551.89

556.12

OROGRAFIAN HUOMIOIMINEN LOKA-
HUHTIKUUN SADEMÄÄRIEN ALUEELLISISSA
ANALYYSEISSÄ

Reijo Solantie
Pentti Pirinen

Ilmatieteen laitos
Meteorologiska institutet
Finnish Meteorological Institute

Helsinki 2006

ISBN 951-697-658-1
ISSN 0782-6079

Yliopistopaino
Helsinki 2006



Ilmatieteen laitos
Vuorikatu 24
PL 503
00101 HELSINKI

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi
Raportteja No. 2006:8

Julkaisu-aika
2006

Tekijä(t) Reijo Solantie, Pentti Pirinen		Projektin nimi	
		Toimeksiantaja	
Nimeke OROGRAFIAN HUOMIOIMINEN LOKA–HUHTIKUUN SADEMÄÄRIEN ALUEELLISISSA ANALYYSEISSÄ			
Tiivistelmä Orografiset tekijät, kuten maaston aiheuttama pakotettu nosto, rannikkokonvergenssi ja Kölivuoristo, vaikuttavat loka–huhtikuussa suuresti sademääriin Suomessa. Tässä tutkimuksessa laskettiin orografian keskimääräinen vaikutus sademääriin erilaisilla tuulen suunnilla jokaisessa Suomen 10 • 10 km:n ruudussa sekä eri suuntaisten tuulten esiintymisfrekvensseillä painotettuna keskiarvona. Edelleen laadittiin vastaavat kartat, joissa orografisella efektillä muokatut sademäärät on annettu prosenttisina suhteina tasamaan sademääriin siten, että ne vastaavat keskimääräisiä sateenaikaisia tuulennopeuksia, tiivistymiskerroksen paksuuksia ja lämpötiloja. Tulokset osoittavat että sademäärän alueelliset erot ovat jokaisella tuulensuunnalla huomattavia ja eri tuulensuunnilla erilaisia. Tuloksia voidaan hyödyntää niin sademäärän ja lumensyvyuden alueellisosissa analyyseissä kuin mesoskaalan ennusteissakin.			
Julkaisijayksikkö Ilmasto ja globaalimuutostutkimus			
Luokitus (UDK) 551.89 556.12		Asiasanat Orografinen sade, sademäärä, alueelliset jakaumat	
ISSN ja avainnimeke 0782-6079 Raportteja			
Kieli Suomi		ISBN 951-697-658-1	
Myynti		Sivumäärä 34	Hinta
		Lisätietoja	



Authors Reijo Solantie, Pentti Pirinen	Name of project	
	Commissioned by	
Title CONSIDERATION OF THE OROGRAPHICAL EFFECT IN THE AREAL ANALYSIS OF OCTOBER–MARCH PRECIPITATION		
Abstract Terrain appreciably affects precipitation amounts during the period October to April in Finland, through both orographic lifting, coastal convergence and lee-effect of Scandinavian mountain range. In this study, the average effect of orography on precipitation was calculated for different wind directions for each 10 • 10 km square of Finland, and the mean of the eight values so obtained, weighted by their frequencies of occurrence during precipitation. Further, the corresponding maps were prepared, presenting precipitation affected by orography corresponding to average conditions for the wind speed, and the thickness and mean temperature of the condensed layer, in terms of percentage of the unaffected precipitation. The results show that for each wind direction, the spatial differences are appreciable, and different for different wind directions. Results can be applied to spatial analyses of precipitation and snow depth as well to forecasts in meso-scale.		
Publishing unit Climate and Global Change		
Classification (UDC) 551.89 556.12	Key words Orographical precipitation, areal distribution	
ISSN and series title 0782-6079 Reports		
Language Finnish	ISBN 951-697-658-1	
Sold by	Pages 34	Price
	Note	

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	AINEISTO JA MENETELMÄ	9
2.1	Maasto-orografia	9
2.2	Rannikkoefekti	11
3	TULOKSET	14
3.1	Tuotetut kartat	14
3.2	Orografian vaikutukset sademääriin tuulensuunnittain ja keskimäärin	14
	KIITOKSET	20
	LIITE. Virhetarkastelua: Kausina 1931–1960 ja 1961–1990 käytettyjen korkeuskenttien vertailu	21
	KUVAT (FIGURES)	22
	KIRJALLISUUS (REFERENCES)	34

1 JOHDANTO

Suomessa, missä talvella pilvet ja aurinko ovat matalalla, mutta alailmakehä on verraten lämmin ja kostea, orografia vaikuttaa suuresti sademääriin. Pakotettua nostoa aiheuttavat niin maaston jyrkkyys kuin rannikkokonvergenssi. Lumihiihtaleiden tai tihkupisaroiden putoaminen siirtää vaikutusta tuulen suunnassa noin 5–10 km eteenpäin. Orografisen vaikutuksen huomioimiseksi Solantie (1975) tutki regressioanalyysin avulla 20 • 20 km:n ruudukossa vuosien 1931–1960 loka–huhtikuun keskimääräisen korjatun sademäärän alueellisen vaihtelun riippuvuutta ilmansuuntakoordinaateista, maaston sateenaikaisten tuulensuuntien esiintymisfrekvensseillä painotetuista jyrkkyyksistä ja rannikkokitkasta Etelä- ja Keskipöytäisissä vyöhykkeissä (eli linjalle Suomussalmi–Pello). Sademäärän korjaukset tehtiin aseman avoimuuden ja lumisateen osuuden funktiona (Solantie, 1976, Lemmelä & Solantie, 1977). Tässä vaiheessa korkeuskartan arvot arvioitiin subjektiivisesti silloisesta kartta-aineistosta (Solantie, 1975, s. 57); myöhemmin tehty tarkistuslaskelma on osoittanut, että näin päästiin riittävän tarkkaan korkeuskarttaan.

Solantien (1975) saamat kauden 1931–1960 analyysin tulokset olivat orografian vaikutuksia kuvaavien muuttujien regressiokertoimet 20 • 20 km:n ruudukossa. Edelleen Hyvärinen & al. (1995) selittivät regressioanalyytisesti kauden 1961–1990 loka-huhtikuun korjatut valuma-aluekohtaiset sademäärät keskimääräisten orografiaa kuvaavien muuttujien aluearvoilla, lähtötietoina Maanmittauslaitoksen korkeuskentän 10 • 10 km:n ruudun korkeusarvot. Regressioanalyysiin viedyt arvot olivat ensimmäisessä tutkimuksessa neljän 20 • 20 km:n ruudun arvojen keskiarvoja (aluekoko siis 80 • 80 km), rannikkoefektia laskettaessa kuitenkin yhden ruudun arvoja. Molemmat tutkimukset antoivat orografiefunktioiden kertoimille käytännöllisesti katsoen samat arvot. Maaston noustessa tuulen suunnassa 10 m 10 kilometriä kohti sademäärä on keskimäärin 23 % suurempi kuin tasamaalla, ja tuulen käydessä kohtisuoraan mereltä maalle sataa 20 km rannikolta sisämaahan päin sijaitsevalla vyöhykkeellä keskimäärin 30 % enemmän kuin ilman tätä efektiä. Solantie (1975) esitti kartat rannikkoefektille ja rinne-efektille itä- ja etelätuulilla sekä kaikkien

tuulensuuntien vaikutusten painotettuna keskiarvona; tulokset annettiin prosenttisina lisäyksinä tai vähennyksinä tasamaan sademääristä.

Tässä tutkimuksessa laadittiin vastaavat molempien efektien yhteisvaikutusta kuvaavat kartat jokaiselle kahdeksalle 45 asteen tuulensuunnalle sekä kaikille tuulille keskimäärin. Lähtöarvoina käytetyt maantieteelliset tiedot olivat 10 • 10 km:n ruudukossa, samoin kuin niistä lasketut orografiamuuttujien arvot. Orografiamuuttujat laskettiin periaatteessa samoilla mutta jonkin verran yksityiskohtaisemmilla kaavoilla kuin em. tutkimuksissa oli tehty.

Tulosten esittelyssä pyritään palvelemaan käytännön sovellutuksia entistä paremmin ja havainnollisemmin muutenkin kuin entistä monipuolisempien, tarkempien ja havainnollisempien karttojen avulla. Orografian ottaminen huomioon sademäärän ja lumensyvyyden alueellisissa analyyseissä on entistä tärkeämpää monestakin syystä. Ilmatieteen laitos vähentää sadeasemaverkostoaan seuraavan parin vuoden aikana vajaaseen puoleen entisestä. Havaintojen antaman informaation väheneminen sademäärän alueellisista piirteistä on korvattavissa parhaiten ottamalla orografinen efekti mukaan analyysiin. Kun otetaan huomioon vallitseva tai ennustettu tuulen suunta ja nopeus, voidaan orografiamallia käyttää paitsi pitkäaikaisia keskiarvoja kuvaavien karttojen, myös esim. vuorokauden ja sitä lyhyempien jaksojen alueellisissa analyyseissä sekä alueellisten piirteiden tuomisessa mukaan sademääräennusteisiin, lisäämällä orografinen vaihtelu numeerisilla malleilla ennustettuihin, alueelliselta erottelukyvyltään karkeampiin sademääräkenttiin. Mallia voidaan käyttää myös lumensyvyyden ja vesiärvon analyyseissä. Talvien lauhtuessa sekä ilmakehän kosteussisällön ja kukaties tuulennopeudenkin kasvaessa orografisen efektin aiheuttamat alueelliset vaihtelut saattavat kasvaa. Tämä lisää myös lumensyvyyden alueellisia vaihteluita, joita lisäksi suojailmojen aiheuttamat alueelliset piirteet vahvistavat.

2 AINEISTO JA MENETELMÄ

2.1 Maasto-orografia

Maaston jyrkkyyden vaikutuksia sateeseen kuvaavat orografiakentät laskettiin tuulensuunnittain 45 asteen sektoreissa. Orografiakenttiä on kahdenlaisia: maasto-orografia ja rannikko-orografia. Molemmat laskettiin tuulensuunnittain. Maasto-orografia on mallissa suoraan verrannollinen maaston nousun keskimääräiseen jyrkkyyteen tuulen suunnassa n. 17 km:n matkalla, tuulen yläpuolella tarkasteltavaan paikkaan nähden. Matkan pituus määrittiin siten, että hydrometeorit etenevät tuulen suunnassa keskimäärin 8–9 km. Jyrkkyyksiä J (m/km) approksimoitiin kullekin päällmansuunnalle laskemalla ne peruskoordinaatiston $10 \cdot 10$ km ruutujen keskikorkeuksien h (m) erotuksien ja näiden ruutujen keskipisteiden välisten etäisyyksien (km) suhteen kolmen arvon J_1 , J_2 ja J_3 painotettuna keskiarvona yhtälöstä

$$J = 0.5 \cdot J_1 + 0.25 \cdot J_2 + 0.25 \cdot J_3 \quad (1),$$

jossa

$$J_1 = (h_0 - 0.5 \cdot (h_{31} + h_{32})) / 15, \quad (2a)$$

$$J_2 = (h_0 - h_{22}) / 22,4 \quad (2b)$$

$$J_3 = (h_0 - h_{42}) / 22,4 \quad (2c).$$

Ruutujen numeroinnissa sen ruudun tunnus, jonka sademäärää lasketaan, on 0. Muiden ruutujen tunnuksista ensimmäinen kasvaa lännestä itään ja toinen etelästä pohjoiseen siten, että läntisin tarkasteltavan kentän ruuturiveistä saa arvon 1, samoin eteläisin (kuva 1). Ruudut, joiden keskikorkeudet ovat h_{31} ja h_{32} , sijaitsevat pohjoistuulella suoraan tuulen yläpuolella, edellinen kymmenen ja jälkimmäinen kahdenkymmenen kilometrin päässä tarkasteltavasta ruudusta, jonka keskikorkeus on h_0 (kuva 1). Niiden ruutujen etäisyydet tarkasteltavasta ruudusta (km), joiden keskikorkeudet ovat h_{22} ja h_{42} , ovat $20/\cos(\arctan 0.5) = 20/\cos 26,6^\circ = 22,4$.

Sijoittamalla yhtälöt (2a), (2b) ja (2c) yhtälöön (1), saadaan

$$J = 0,56 \cdot h_0 - 0,17 \cdot h_{31} - 0,17 \cdot h_{32} - 0,11 \cdot h_{22} - 0,11 \cdot h_{42} \quad (3).$$

Väli-ilmansuunnille vastaavasti (kuva 1)

$$J = 0.5 \cdot J_1 + 0.25 \cdot J_2 + 0.25 \cdot J_3 \quad (4),$$

missä

J on jyrkkyys (m/km) ja

$$J_1 = (h_0 - h_{21}) / 14,1 \quad (5a)$$

$$J_2 = (h_0 - h_{11}) / 22,4 \quad (5b)$$

$$J_3 = (h_0 - h_{22}) / 22,4 \quad (5c).$$

Tässä ruutu, jonka keskikorkeus on h_{11} , on lähin suoraan tuulen yläpuolella tarkasteltavaan ruutuun nähden sijaitsevista ruuduista, etäisyydellä $10 / \cos 45^\circ = 14,1$ km tarkasteltavasta ruudusta (kuva 1). Ruudut, joiden keskikorkeudet ovat h_{11} ja h_{22} , sijaitsevat sen ruudun vieressä, jonka keskikorkeus on h_{21} , etäisyydellä 22,4 km tarkasteltavasta ruudusta. Siten on

$$J = 0.57 \cdot h_0 - 0.35 \cdot h_{21} - 0.11 \cdot h_{11} - 0.11 \cdot h_{22} \quad (6).$$

Kummassakin tapauksessa jyrkkyys lasketaan keskimäärin 17 km:n pituisella janalla. Tämän janan pisteiden keskimääräinen etäisyys sademäärän laskentapisteestä on 8,5 km mikä on se matka jonka hydrometeorit tuulen suunnassa pudotessaan suurin piirtein etenevät (Solantie, 1975, s. 7–8).

Orografiaefektiksi sateenaikaisten tuulten keskinopeudella saatiin kauden 1931–1960 aineistosta $23 \cdot J$ % tasaisen kentän sademäärästä (Solantie, 1975, s. 23) ja kauden 1961–1990 aineistosta $23,7 \cdot J$ % tasaisen kentän sademäärästä (Hyvärinen & al., 1995, s. 33).

Siten maasto-orografian aiheuttama sademäärän lisäys, % tasamaan sademäärästä, saadaan keskimääräisellä sateenaikaisella tuulenopeudella kaavasta

$$100 \cdot (R - R_t) / R_t \sim 23,7 \cdot J \quad (7)$$

missä

R on todellinen sadanta ja R_t on tasaisen alueen sadanta.

Koska orografian vaikutus sadantaan on suunnilleen suoraan verrannollinen tuulennopeuteen, on keskimääräinen orografinen sademäärän lisäys kerrottava tuulennopeuden suhteella sen keskiarvoon. Suomen mantereella sijaitsevilla lentokentillä ja observatorioilla kautena 1971–2000 loka–huhtikuussa havaittujen tuulennopeuksien keskiarvo (tyynet tilanteet, 5 % kaikista, poislukien) on $3,7 \text{ m s}^{-1}$ (Drebs & al., 2002). Koska sateen aikana tuulennopeus on keskimäärin vähän isompi kuin poudalla, approksimoitiin sateenaikaisen tuulen keskinopeudetta arvolla $4,0 \text{ m s}^{-1}$. Siten maasto-orografian vaikutus sademäärään (% tasamaan sademäärästä) saadaan tuulennopeudella $V \text{ (m s}^{-1}\text{)}$ kaavasta

$$100 \cdot (R - R_t) / R_t \sim 23,7 \cdot J \cdot V / 4 \sim 6 \cdot J \cdot V \quad (8),$$

missä

R on todellinen sadanta, R_t on tasaisen alueen sadanta ja V on tuulennopeus (m s^{-1}).

Jos tuulennopeus ilmaistaan painegradienttina $W \text{ (hPa/100 km)}$, saadaan

$$R \sim (R - R_t) / R_t \sim 15 \cdot J \cdot W \quad (9).$$

2.2 Rannikkoefekti

Rannikkoefekti syntyy mereltä maalle puhaltavilla tuulilla. Rannikko-orografia O_c on loka-huhtikuun sademäärän alueellisen jakautuman perusteella maksimissaan 20 km:n päässä tasoitetusta rannikkoviivasta (Solantie, 1975). Merkittäessä rannikkoefektiä kohtisuoraan maalle puhaltavilla tuulilla symbolilla O_{ck} ja sen maksimia 20 km:n päässä rannikosta symbolilla Q_{ckMax} , approksimoitiin muuttujan O_{ck} arvoa etäisyydellä $r \text{ km}$ rannikkoviivasta yhtälöllä

$$O_{ck} = (-0,0025 \cdot r^2 + 0,10 \cdot r) \cdot O_{ckMax} \quad (10).$$

Kaava pätee alueella $0 < r < 40$ km missä O_{ck} on yhtälön (9) mukaan positiivinen. Rannikkoefekti muilla kuin kohtisuoraan mereltä maalle puhaltavilla tuulilla, $O_c(\alpha)$, on suuruudeltaan $O_{ck} \cdot \sin \alpha$, missä α on rantaviivan ja tuulivektorin välinen kulma. Jos esim. $r = 24$ km ja $\alpha = 45^\circ$, on $O_c(\alpha) = 0,85 \cdot O_{ck}$ etäisyydellä $r \cdot \sin \alpha$ eli 17,0 km rantaviivasta. Tuulensuuntasektorissa $\alpha_1 - \alpha_2$ on keskimääräinen orografinen efekti vastaavasti

$$O_c(\alpha_1 - \alpha_2) = \left\{ \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha \, d\alpha \right\} / (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot O_{ck} \quad (11).$$

Esimerkiksi kaikilla mereltä maalle puhaltavilla tuulilla keskimäärin

$$O_c(0^\circ - 180^\circ) = 0,64 \cdot O_{ck}(r).$$

Voimakkaimman rannikkokonvergenssin 45 asteen tuulisektoria tarkasteltaessa

$$O_c(67,5^\circ - 112,5^\circ) = 0,97 \cdot O_{ck}(r) \quad (12)$$

kun taas lievemmän konvergenssin sektoreilla

$$O_c(0^\circ - 67,4^\circ) = O_c(112,6^\circ - 180^\circ) = 0,52 \cdot O_{ck}(r) \quad (13)$$

Vastaavasti 90 asteen sektorin tuulille

$$O_c(45^\circ - 135^\circ) = 0,90 \cdot O_{ck}(r) \quad (14)$$

kun taas lievemmän konvergenssin sektoreilla

$$O_c(0^\circ - 44^\circ) = O_c(136^\circ - 180^\circ) = 0,37 \cdot O_{ck}(r) \quad (15)$$

Solantie (1975, s. 22, 26) havaitsi orografisen rannikko-efektin suuruudeksi 20 km:n päässä rannikosta että $O_c(45^\circ - 135^\circ)(r = 20 \text{ km}) \sim 39 \%$. Tällöin hän approksimoisi että rannikon ympäristöään suurempi sadanta tulisi kokonaisuudessaan sen 90 asteen sektorin tuulilla, joka aiheuttaa voimakkaimman rannikkokonvergenssin. Otettaessa kuitenkin huomioon se, että osa rannikkoefektin aiheuttamasta sademäärän lisäyksestä

saadaan alle 45 asteen ja yli 135 asteen kulmissa mereltä maalle puhaltavilla tuulilla,

saadaan, että $\left\{ \int_{45}^{135} \sin \alpha d\alpha / (135^\circ - 90^\circ) \right\} \cdot O_c(45^\circ - 135^\circ)(r = 20 \text{ km}) =$

$$\left\{ \int_{45}^{135} \sin \alpha d\alpha / (135^\circ - 90^\circ) \right\} / \left\{ \int_{45}^{135} \sin \alpha d\alpha / (135^\circ - 45^\circ) + \int_0^{45} \sin \alpha d\alpha / (45^\circ - 0^\circ) \right\} \cdot 39 \sim 28\% \quad (16)$$

ja että

$$Q_{ckMax} \sim \left\{ 1 / \left\{ \int_{45}^{135} \sin \alpha d\alpha / (135^\circ - 45^\circ) + \int_0^{45} \sin \alpha d\alpha / (45^\circ - 0^\circ) \right\} \right\} \cdot 39 = 31\% \quad (17).$$

Edelleen kaikkien mereltä maalle puhaltavien tuulien aikana keskimäärin

$$O_c(0^\circ - 180^\circ)(r = 20 \text{ km}) = \left\{ \int_0^{180} \sin \alpha d\alpha / (180^\circ - 0^\circ) \right\} \cdot 39 \sim 20\% \quad (18).$$

Jos tuulen suuntasektoria merkitään symbolilla d , saadaan rannikko-orografian aiheuttama sademäärän lisäys (%) keskimääräisellä sateenaikaisella tuulennopeudella kaavasta

$$100 \cdot (R - R_t) / R_t \sim 100 \cdot \{O_c(d)(r)\} \quad (19).$$

Kullakin rantaviivan osuudella laskettiin orografinen efekti jokaiselle kahdeksalle tuulensuuntasektorille rantaviivasta 40 km:n päähän tuulen suunnassa. Rannikon muodosta riippuen saattoi yhteen rannikkovyöhykkeen ruutuun tulla orografista sadetta eri tuulensuunnilla eri rannikko-osuuksien vaikutuksesta. Orografinen rannikko-efekti ruudussa oli tällöin eri rannikko-osuuksien tarkasteltavaan ruutuun aiheuttamien orografisten efektien summa.

Jos tarkastellaan niin lyhyitä kausia, että tuulennopeus poikkeaa selvästi keskimääräisestä, voidaan orografian vaikutusta sadantaan tämän mukaisesti tarkentaa. Approksimoidaan että orografian vaikutus sadantaan on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen V (m s^{-1}) ja että keskimääräinen sateen aikainen tuulennopeus on $4,5 \text{ m s}^{-1}$ (koska mantereen rannikkovyöhykkeessä sijaitsevilla lentosääasemilla kaikkien tuulien keskinopeus loka–huhtikuussa 1971–2000, tyynet poislukien, oli $4,1 \text{ m s}^{-1}$ ja koska sateella tuulennopeus on vähän isompi kuin poudalla). Näin saadaan

$$R \sim (R - R_t) / R_t \sim 22 \cdot V \cdot \{O_c(d) (r)\} \quad (20).$$

Jos tuulennopeus ilmaistaan painegradienttina W (hPa/100 km), saadaan

$$R \sim (R - R_t) / R_t \sim 62 \cdot W \cdot \{O_c(d) (r)\} \quad (21).$$

3 TULOKSET

3.1 Tuotetut kartat

Kullekin kahdeksalle ilmansuunnalle laskettiin keskimääräisiä tuulennopeuksia vastaava rannikko- ja jyrkkyysefektien aiheuttama suhteellinen sademäärän lisäys tai vähennys ΔO , prosentteina tasaisen maaston sademäärästä kaikkiin peruskoordinaatiston $10 \cdot 10$ km:n ruutuihin yhtälöiden (7) ja (19) mukaan laskettuina. Edelleen laskettiin kussakin ruudussa kahdeksan ilmansuunnittaisen arvon sateenaikaisten tuulten frekvensseillä painotettu keskiarvo. Painotuskertoimet olivat pohjoisesta luoteeseen 0,08; 0,11; 0,15; 0,19; 0,20; 0,15; 0,07 ja 0,05 (Korhonen, 1942). Nämä ruutu- ja rivi- arvot ovat käytettävissä kaikenlaisiin sovellutuksiin. Tulokset esitetään keskimääräisiä tuulennopeuksia vastaten myös kuvien 2 – 12 kartoissa Kriging-menetelmällä analysoituina ja tasoitettuina. Pohjois-Lapissa esiintyy joissakin kohdin niin jyrkkiä rinteitä, että laskennallinen negatiivinen orografiaefekti, prosentteina tasaisen maaston sadannasta, jää alle -100 prosentin mikä on mahdottomuus. Siksi kaikki arvoja -74 % pienemmät laskennalliset arvot sulautettiin luokkaan $\Delta O = -74 \% \dots -25 \%$.

3.2 Orografian vaikutukset sademääriin tuulensuunnittain ja keskimäärin

Orografian vaikutus on eri tuulensuunnilla kovasti erilainen. Siksi yksittäisissä säätilanteissa ja yksittäisinä kuukausinakin tuulensuuntajakautuma kannattaa aina ottaa erikseen huomioon analysoitaessa sademäärän alueellista jakautumaa. Myös sademäärän jakautumien pääpiirteet eri tuulensuunnilla on hyödyllistä tuntea.

Pohjoistuulet (kuva 2). Orografian vaikutus pohjoistuulilla on jokseenkin vastakkainen niin keskimääräiselle kuin etelätuulten aikaisille vaikutukselle. Orografia lisää sademääriä hyvin laajalla alueella Suomenselän ja Pohjanlahden välissä. Suppeamman mutta erittäin voimakkaan maksimin muodostaa Saariselän pohjoisreuna. Muita laajahkoja positiivisia alueita ovat Kokemäenjoen valuma-aleen eteläreuna, Rovaniemen–Kemijärven–Sallan laaksomaiden etelärinne, nousu Sotkamon reitin laaksomailta koillisimmalle Suomenselälle sekä Multian, Toivakan ylämaiden ja Savonselän (Pieksämäen–Juvan ylämaan) pohjoisreunat. Pohjoistuulilla voimakkaasti positiivisen orografian alueet ovat niitä, joilla syksyn aikaisimmat ja kevään myöhäisimmät lumisateet ovat runsaimmat.

Uusimaa muodostaa laajan, yhtenäisen ja voimakkaan minimialueen. Suppeampia mutta erittäin voimakkaita minimialueita ovat pohjoisen päävedenjakajan eteläpuoleiset alueet Enontekiöllä, sekä Inarin–Paatarin laakson luoteisreuna. Suomenselän koillis- ja lounaispään etelärinteet ovat myös voimakkaita minimialueita.

Koillistuulet (kuva 3). Koillistuulilla orografisen efektin alueellinen jakautuma on juovainen kaakkois-luoteis-suunnassa siten, että negatiiviset juovat ovat positiivisia voimakkaampia ja leveämpiä. Positiivinen efekti koillistuulilla indikoi pohjoistuuliakin voimakkaammin kovia lumisateita, silloin kun ne sattuvat mahdollisimman myöhään keväällä tai aikaisin syksyllä. Voimakkaimmin korostuvat maksimit Pohjois-Lapin korkeilla tunturiseuduilla. Etelämpänä tällaisia alueita ovat Ounasjoen itä- ja länsipuoliset vedenjakajamaat, Kuusamon vaara-alueen itäosat, Ruukin–Vihannin seutu, Karjalanselkä, koillinen Suomenselkä, keskinen Suomenselkä Multian ylämaiden pohjoisreunalta Lestijoen latvoille, Evon–Vesijaon ylämaat sekä Kurikan–Kauhajoen ylämaat.

Itätuulet (kuva 4). Itätuulet ovat aika yleisiä etenkin keskimääräistä kylmempinä talvina. Positiiviset ja negatiiviset alueet ovat jokseenkin yhtä laajoja. Lievää pohjois-eteläsuuntaista juovaisuutta esiintyy. Helsinki–Tampere- linjan ja Suomenselän kaakkoispuolinen osa Suomesta on enimmältään lievästi positiivista aluetta. Voimakkaimmin positiiviset alueet ovat täällä Laatokan luoteisreuna, samoin kuin

nousut Päijänteen ja Viitasaaren reitin laaksomailta länteen, samoin nousu Pielisen laaksosta länteen, sekä vielä Kurun ylämaat. Ainoat voimakkaat minimiit ovat Pyhäselän-Oriveden, Kallaveden-Onkiveden ja Pielisen laaksot.

Suomenselältä napapiirille ulottuvalla seudulla efekti on enimmältään negatiivinen, voimakkaimmin Suupohjan rannikolla ja Koillis-Pohjanmaan vaara-alueen juurella; laajin positiivinen alue on taas Koillis-Pohjanmaan vaara-alueen itäreuna. Napapiirin pohjoispuolella efekti on enimmältään positiivinen, voimakkaimmin Ounasjoen itä- ja länsipuolisilla vedenjakajilla, sekä Pohjois-Lapin korkeimmilla tunturialueilla, Saariselkää lukuun ottamatta. Lapissa voimakkaimmat minimiit ovat Kemijärven, Kemihaaran ja Tepaston laaksoissa.

Kaakkoistuulet (kuva 5). Kaakkoistuulet ovat hyvin yleisiä ja siksi merkittäviä. Kaakko on ainoa yleinen tuulensuunta, jonka aikana sademäärät ovat runsaita ja joiden vallitessa ilma on keskimääräistä kylmempää. Positiivinen efekti merkitsee pakkassummaan nähden paksua lumipeitettä ja ohutta routaa, negatiivisuus päinvastoin. Siksi kaakkoistuulten aikaisella orografisella efektillä on etenkin Nurmes–Oulu-linjan eteläpuolella merkitystä kasvillisuudelle (Solantie & Drebs 2006), biologiselle tuotantopotentiaalille sekä puuston korkeudelle ja tiheydelle - mikä vuorostaan vaikuttaa sekoittumiskerroksen paksuuteen ja minimilämpötiloihin inversiotilanteissa (Solantie, 2005a). Alueellinen jakautuma on melko samanlainen kuin itätuulilla. Salpausselkien kaakkoispuolinen alue, Kiskonjoelta lännessä aina Laatokan luoteisreunalle idässä, muodostaa yhtenäisen vahvasti positiivisen alueen. Loka-joulukuussa, Suomenlahden ollessa vielä auki, antaa konvektio merellä oman lisänsä tämän alueen runsaisiin sateisiin kaakkoistuulilla. Siksi täällä loppuvuodesta ovat yli 120 mm:n kuukausisademäärät ovat yleisempiä ja syystulvat suurempia kuin muualla maassamme (Solantie, 2005b). Myös Vuoksen latvavesistöjen laaksojen minimiit ovat heikompia ja alueeltaan pienempiä kuin itätuulilla.

Pohjanmaan laajalla negatiivisella alueella voimakkaita minimeitä on, paitsi Koillis-Pohjanmaan ylängön juurilla ja Suupohjan rannikolla, myös Lappajärven laaksossa ja Lohtajan-Himangan seudulla. Pohjois-Lapissa Raja-Joosepin ja Nellimin seudut ovat vahvasti negatiivisia.

Etelätuulet (kuva 6). Etelätuulella sataa enemmän kuin millään muulla tuulella. Positiiviset alueet ovat paljon laajempia kuin negatiiviset. Kuten kaakkoistuulilla, Salpausselkien kaakkoispuolella on hyvin voimakas ja laaja maksimialue. Myös Pohjois-Satakunnassa sekä Kurun ja Multian ylämailla on vahvat maksimit. Viimeksi mainittujen seutujen ja eteläisimmän Suomen maksimialueiden väliin työntyy kiilana Porin-Rauman seudulta Sydän-Hämeen kautta aina Sysmän seudulle laajahko lievästi negatiivinen alue. Laajin negatiivinen alue on Suomenselän ja Pohjanlahden välinen seutu, joka jatkuu Sotkamon reitin järvilaaksoja myöten itärajalle. Voimakkaimmat ja laajimmat minimi kattavat Kyrönjoen valuma-alueen, Lappajärven laakson, Lestijoen ja Kalajoen valuma-alueet sekä Oulujoen ja Siikajoen suupuolten välisen alueen. Pohjois-Suomessa voimakkaimmat maksimialueet ovat Kemin takamaa sekä Tengeliön ja Kemijoen väliset vedenjakajat, Maltio-, Ylläs- ja Pallastunturien seudut, Pohjoinen päävedenjakaja ja Kaldoaivi sekä Muotka- ja Paistunturit. Lapissa voimakkaita minimeitä esiintyy vain Rovaniemen-Kemijärven-Sallan juotissa, Inarin laakson eteläreunalla ja Mutusjärven-Vaskojoen laaksossa sekä vielä Suomen pohjoisnippukassa.

Lounaistuulet (kuva 7). Lounaistuulilla orografinen efekti on Suomessa myös voittopuolisesti positiivinen. Lounaistuulet ovat hyvin yleisiä, ja ilma on niiden vallitessa huomattavasti keskimääräistä lauhempaa. Siten Etelä- ja Länsi-Suomessa niillä saadaan talvellakin huomattavasti vesisateita. Lounaisilla maksimi-alueilla on lounaistuulten vallitessa huomattava syystalvisten tulvien riski. Koska suojailmat vähenevät lauhoina talvina nopeasti korkeuden kasvaessa, ja orografiakenttä lounaistuulilla on selvästi juovikas kaakkois-luoteis-suunnassa, muodostuu lumensyvyyyteen hyvin suuria gradientteja ylämaiden lounaisrinteille. Niillä alueilla Joensuu-Oulu-linjan koillispuolella, joilla orografinen efekti on voimakkaasti positiivinen mutta lounaistuulillakin on talvella vähänlaisesti suojailmoja ja vesisateita, on paksu lumipeite ja hyvin vähän routaa.

Merkittäviä maksimialueita Suomen eteläpuoliskossa ovat Varsinais-Suomi ja Länsi-Uusimaa, Suomen kaakkoisnurkka, voimakkaimpana kaikista Suupohjan rannikon takamaa, Kurun ylämaa, Multian ylämaa, Suomenselkä Kivijärven länsipuolella, Karjalanselkä sekä Pielisen ja Pyhäselän itäpuoliset takamaat. Voimakkaita minimeitä on vain Viitasaaren reitin järvilaaksoissa, Kyrönjokilaaksossa sekä siitä kaakkoon pitkin Virtain, Mäntän, Jämsän ja Päijänteen laaksomaita.

Pohjois-Suomessa on lounaistuulilla lukuisia voimakkaita maksimeita: Koillis-Pohjanmaan vaara-alue, erityisesti Paljakan ja Syötteen seudut, Perämeren takamaa Oulusta pohjoiseen, erityisesti Kemin koillispuolella, vedenjakajaseudut Ounasjoen kummankin puolen, Maltiotunturit, pohjoisen päävedenjakajan tunturiseudut, erityisesti Enontekiön ylätunturit, sekä Muotkatunturit. Melko voimakkaita minimialueita ovat Vuotoksen allas, Tepaston laakso, Utsjoen laakso ja Suomen pohjoisnipukka, näitä voimakkaampia Saariselän pohjoisjuuret sekä Paatarin ja Vaskon laaksot.

Länsituulet (kuva 8). Länsituulilla sataa aika vähän ja harvoin, paljolti Kölin katveen vuoksi. Etelä- ja Keski-Suomessa efekti on enimmäkseen lievästi negatiivinen Uudellamaalla sekä Järvi-Suomessa Päijänteen ja Viitasaaren reitin laaksoista itään aina Pielisen- Puruveden linjalle asti; negatiivinen efekti on voimakkain nimenomaan Päijänteen, Viitasaaren reitin ja Pielisen laaksoissa. Kohtalaisia positiivisia efektejä on molemmin puolin Pielisen-Puruveden laaksomaita.

Länsi-Suomen laajalla positiivisella alueella on voimakkaasti negatiivinen saareke ainoastaan Virtain järvilaaksossa. Positiivinen efekti on voimakas noin 50 km leveällä rannikkokaistalla, ulottuen Vakka-Suomesta aina Kemiin asti. Positiivinen efekti on kaikkein voimakkain Kiiminkijoen suupuolelta Olhavajoelle sekä Selkämeren pohjoisosan rannikon takamaassa; lievä se on vain Vaasan ja Oulun kohdalla. Pohjanlahden takamaan voimakkaalla positiivisella efektillä on merkitystä syystalvella, kun konvektio Pohjanlahden päällä antaa voimakkaan lisäpanoksensa sademääriin. Tämä meren vaikutus lisää sademääriä myös kauempana sisämaassa sijaitseissa Paljakan-Syötteen, Kuusamon ja Kivalon voimakkaissa orografisissa maksimeissa (kuten lounaistuulillakin), mikä aiheuttaa näille alueille maan pahimmat ja useimmin

toistuvat lumituhot. Lounaistuulisina talvina paksujen lumien ja lauhojen säiden yhdistelmä tekee nämä seudut käytännöllisesti katsoen roudattomiksi.

Lapissa jakautuma on suunnilleen samanlainen kuin lounaistuulilla. Uusi piirre on negatiivinen efekti pitkin Tornio- ja Muonionjokilaaksoja ja erityisesti Lätäseno- ja Könkämäeno-jokien laaksoissa. Toinen poikkeavuus on maksimin puuttuminen pohjoiselta päävedenjakajalta Tuutsan latvoja lukuun ottamatta.

Luoteistuulet (kuva 9). Luoteistuulilla sataa kaikkein vähiten sekä Kölin vaikutuksen että arktisten ilmassojen vähäisen absoluuttisen kosteuden takia. Kuten länsituulillakin, on efekti Uudellamaalla ja Päijänteen-Viitasaaren laaksoista Pielisen-Puruveden laaksoihin ulottuvalla alueella enimmäkseen negatiivinen. Negatiivinen efekti on voimakas Päijänteen laaksossa, Uudellamaalla, Pielisen pohjoispään ympärillä sekä Höytiäisen-Viinijärven laaksossa.

Länsi-Suomen positiivisen efektin alue jatkuu pohjoisessa aina Kivalojen sekä Rukan ja Värriötuntureiden maksimeihin asti. Emäjoen ja Kiantajärven laaksot muodostavat tällä laajalla positiivisen efektin alueella ainoan merkittävän negatiivisen saarekkeen. Koko Pohjanlahden rannikkovyöhyke Raumalta Iijoen suuhun on voimakkaan positiivisen efektin aluetta. Maksimeina erottuvat Suupohjan rannikon takamaa ja rannikon takamaa Kannuksen seuduilta Raahen itäpuolelle. Sisämaassa on kaksi huomattavaa maksimialuetta, eteläisempi Suomenselällä Soininseudulla, pohjoisempi Paljakalla. Syksyn kylmänpurkauksissa nämä seudut saavat herkästi paksuja lumipeitteitä etenkin kun konvektio Perämerellä lisää ilman kosteutta, ja kaksi viimeksi mainittua seutua lisäksi korkean sijaintinsa vuoksi.

Kivalo-Värriö-linjan luoteispuolella on efekti voittopuolisesti negatiivinen, hyvin voimakkaasti Inarin, Näätämon ja Ounasjoen yläjuoksun laaksoissa sekä Käsivarressa Kölin katveessa. Voimakasta positiivista efektiä esiintyy vain Ivalojoen suupuolen ja Inarijärven kaakkoispuolella, Saariselän tunturialue mukaan luettuna.

Keskimääräinen orografinen efekti (kuva 10). Sateen aikaisten tuulensuuntien esiintymisfrekvensseillä painotettu ilmansuunnittaisten orografiakenttien keskiarvo on voittopuolisesti positiivinen. Laajoina negatiivisina alueina erottuvat suuret joki- ja järvilaaksot sekä Suomenselän ja Pohjanlahden välinen luoteeseen viettävä alue.

Keskimääräinen orografinen efekti ja gradientti Köliä kohti (kuvat 11 ja 12). Jos orografiseen efektiin lisätään horisontaalinen, jokseenkin tarkoin Köliä kohti suuntautuva gradientti, joka on orografian lisäksi toinen tärkeä loka-huhtikuun sademäärän alueellisen jakautuman selittäjä, havaitaan kuvaan 10 verrattuna erityisesti Pohjanmaan ja Lapin sademäärien vähenevän sekä Uudenmaan maksimin sademäärien kasvavan. Salpausselkien kaakkoispuolella orografian ja gradientin yhteisvaikutus sademääriin on voimakkaimmin ja yhtenäisimmin positiivinen laajalla alueella. Voimakkaimmat maksimit ovat Pohjan Antskogissa ja Nuuksion ylämailla. Huomattavia maksimeita on myös Suomen kaakkoiskulmassa, Rautjärvellä, Multian Sahrajärvellä, Kurun ylämailla, Juukan Timovaaralla, Sotkamon Naulavaaralla, Nurmeksen Mujejärvellä, Puolangan Paljakalla, Pudasjärven Isolla Syötteellä, Maltio- ja Värriötuntureilla, Saariselällä, Muotka- ja Paistuntureilla, pohjoisella päävedenjakajalla Enontekiön koillisnurkassa sekä Enontekiön ylätuntureilla. Sademäärät eivät Lapin maksimeissa ylitä ainakaan Uudenmaan maksimeiden tasoa — Enontekiön ylätuntureita lukuun ottamatta — koska nimenomaan ja vain Uudellamaalla avoimen meren synnyttämät konvektiiviset sateet joutuvat merituulilla orografisen efektin vaikutukseen. Missä maksimissa minäkin vuotena sataa eniten, riippuu kuitenkin niin sään oikuista eli sattumasta kuin vallitsevasta Pohjois-Atlantin indeksistäkin.

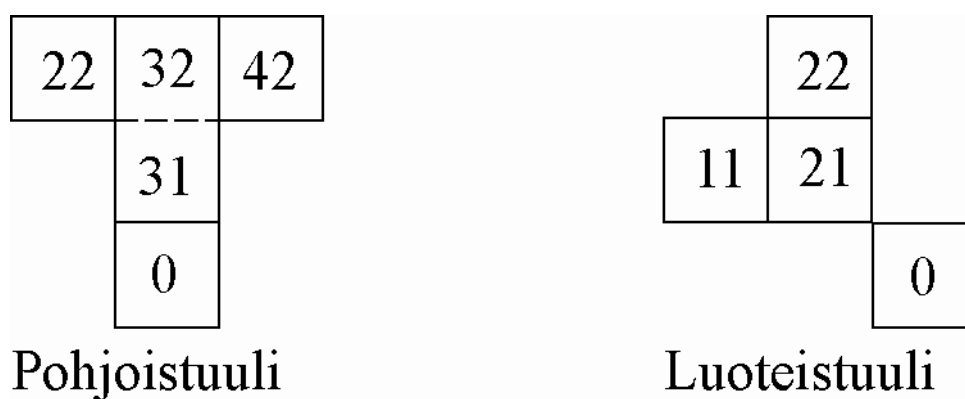
KIITOKSET

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

LIITE. Virhetarkastelua: Kausina 1931–1960 ja 1961–1990 käytettyjen korkeuskenttien vertailu

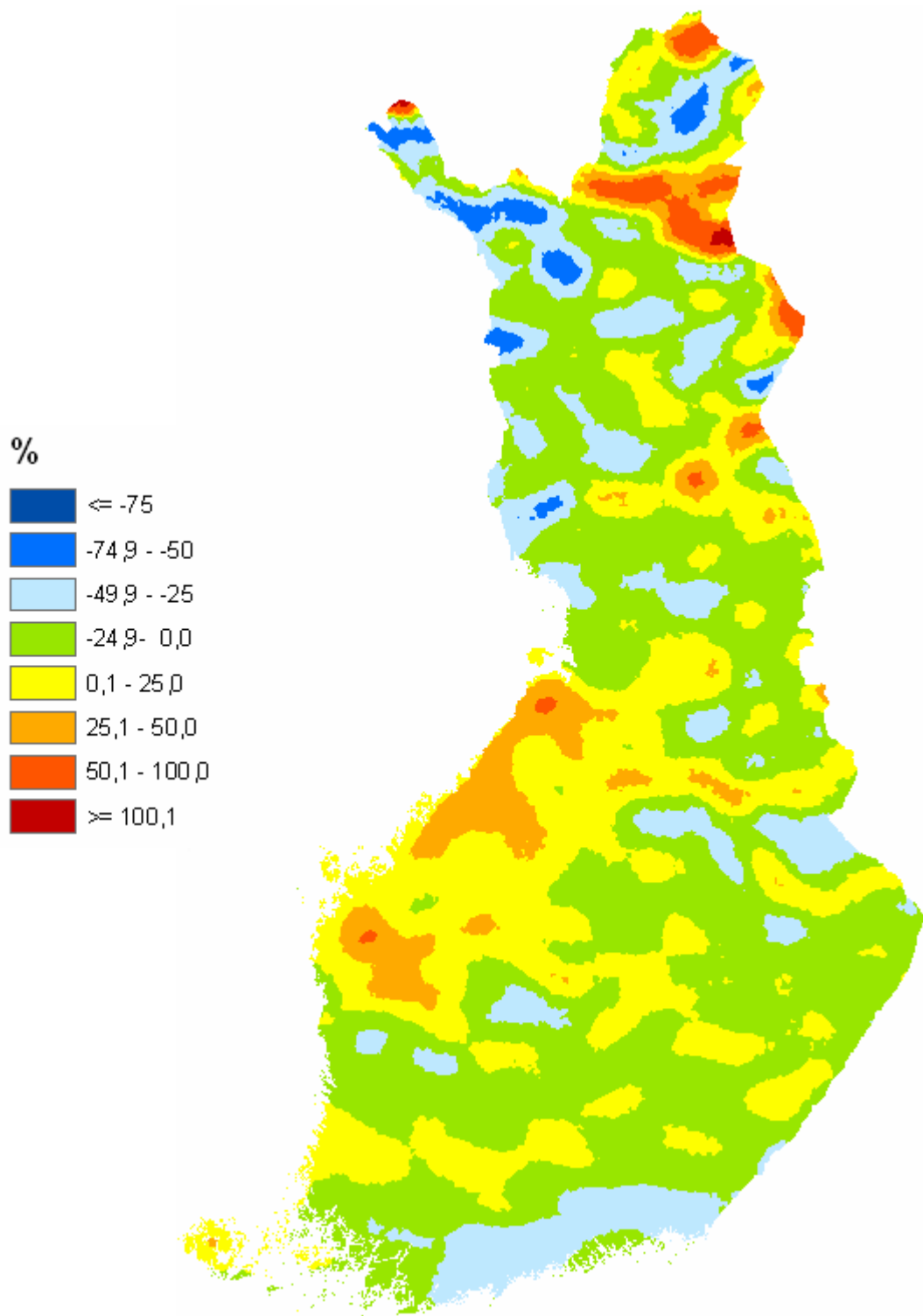
Kauden 1931–1960 analyysissä käytetyn 'vanhan' korkeuskentän ja kauden 1961–1990 analyysissä käytetyn uuden (Maanmittauslaitos, korkeusmalli) keskiarvoja verrattiin keskenään koska vanha korkeuskenttä tuotettiin subjektiivisesti peruskartta- ja yleiskartta-aineistosta. Vertailu tehtiin keskiborealisessa vyöhykkeessä, koska 'vanhan' korkeuskentän laadinnassa saatavissa oleva kartta-aineisto oli keskiborealisissa vajavaisempaa kuin eteläborealisissa. Vertailun tulokset osoittavat vanhan menetelmän tulokset riittävän tarkoiksi. Tarkasteltaessa keskiarvoja 50 • 50 km :n ruudukossa (jolloin ruutujen reunojen yhtymättömyyden aiheuttama näennäisvirhe tasoittuu), on koordinaattiakselien i keskikorkeuksien ero koko keskiborealisissa (n = 45) vain 0,06 m. Ruutuarvojen eron keskihajonta oli 8,5 m mikä oli paljon pienempi kuin ruutuarvojen hajonta 'vanhassa' aineistossa (51,0 m) ja uudessa (51,7 m), eli tarkkuus oli riittävä.

KUVAT (FIGURES)



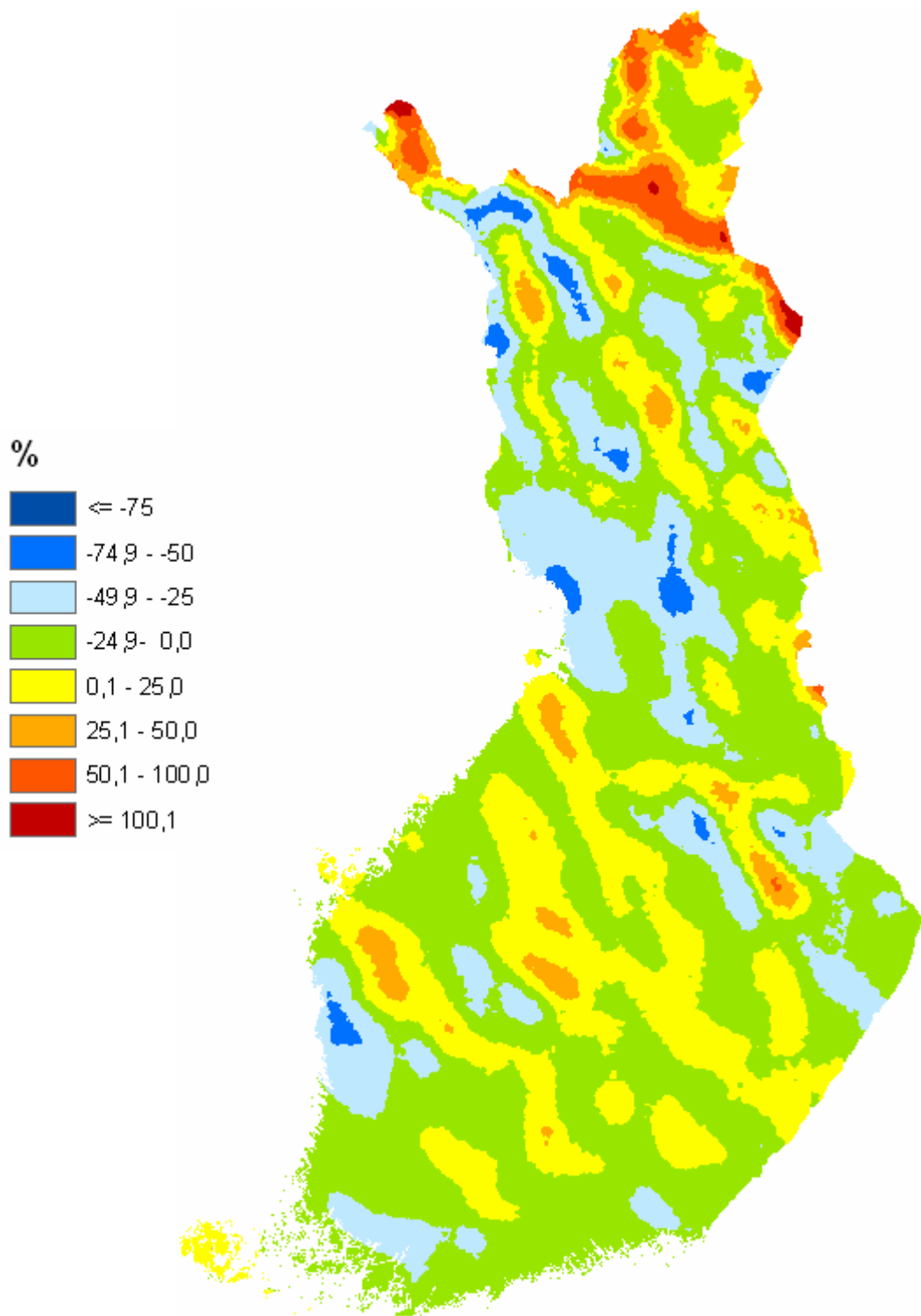
Kuva 1. Niiden $10 \cdot 10$ km:n ruutujen 0, 31, 32, 22 ja 42 sijainnit toisiinsa nähden, joiden korkeuksia h_0 , h_{31} , h_{32} , h_{22} ja h_{42} tarvittiin orografisen efektin laskemiseen pohjoistuulilla ruudussa 0 (vasen kaavio) sekä niiden $10 \cdot 10$ km:n ruutujen 0, 21, 11 ja 22 sijainnit toisiinsa nähden, joiden korkeuksia h_0 , h_{21} , h_{11} , ja h_{22} tarvittiin orografisen efektin laskemiseen luoteistuulilla ruudussa 0 (oikea kaavio). Pohjoissuunta on ylöspäin.

Fig.1. Mutual locations of the $10 \cdot 10$ km grids, denoted by 0, 31, 32, 22, and 42, whose heights h_0 , h_{31} , h_{32} , h_{22} and h_{42} were used in the calculation of the orographical effect during northerly winds in grid 0 (left), and the mutual locations of those $10 \cdot 10$ km grids, denoted by 0, 21, 11, and 22, whose heights h_0 , h_{21} , h_{11} and h_{22} were used in the calculation of the orographical effect during north-westerly winds in grid 0 (right).



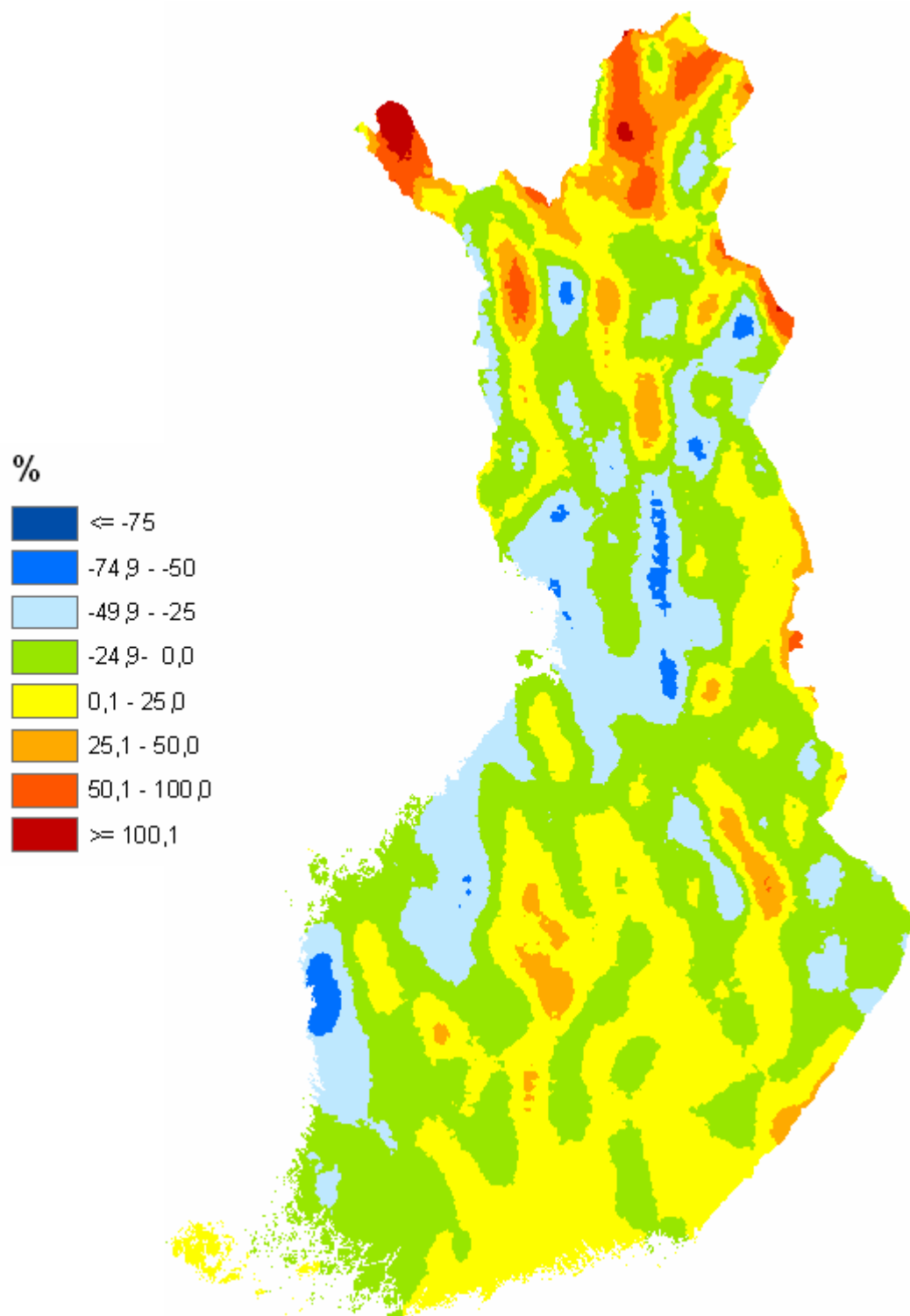
Kuva 2. Orografian vaikutus pohjoistuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 2. The orographical effect on precipitation during northerly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



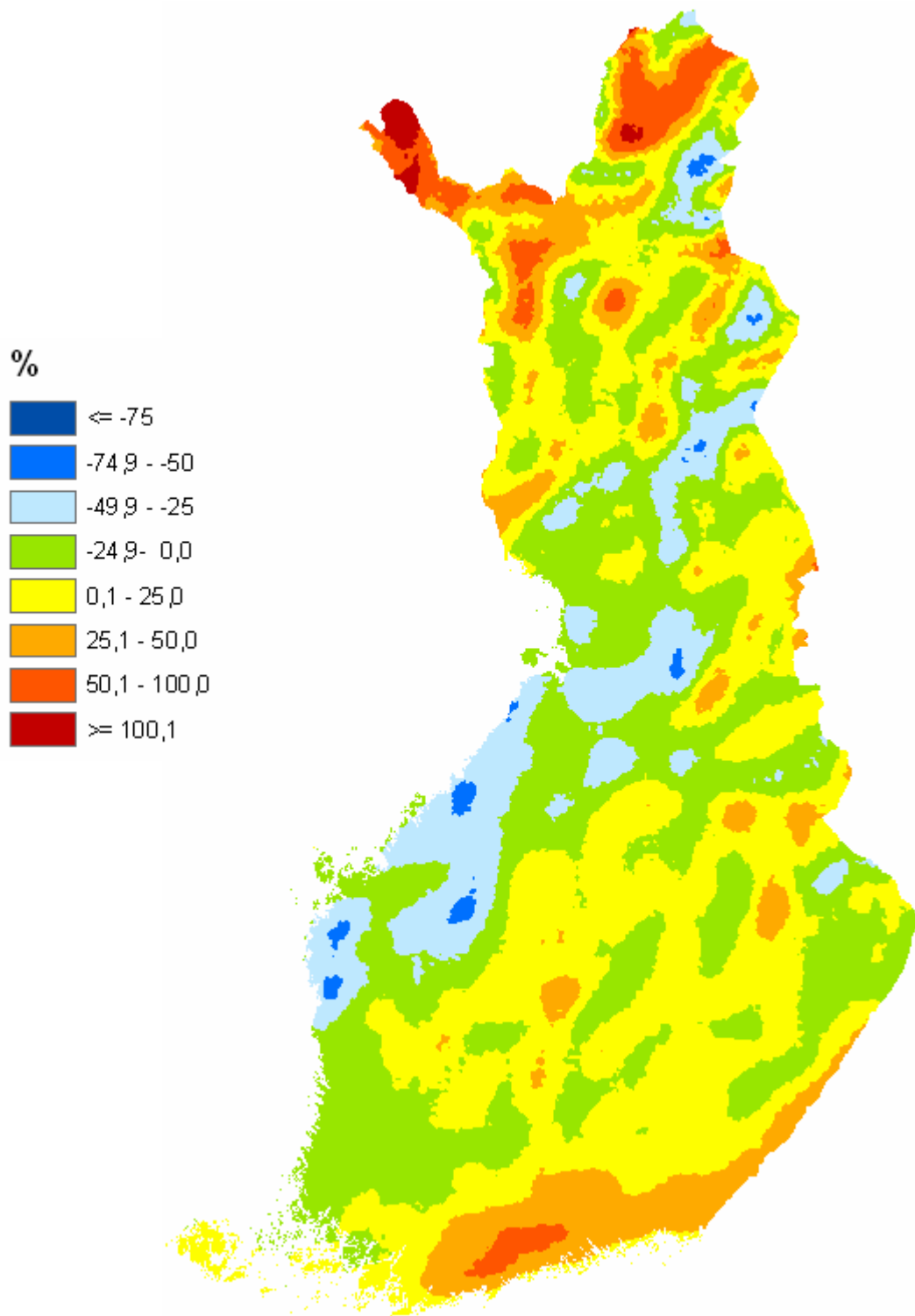
Kuva 3. Orografian vaikutus koillistuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 3. The orographical effect on precipitation during north–easterly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



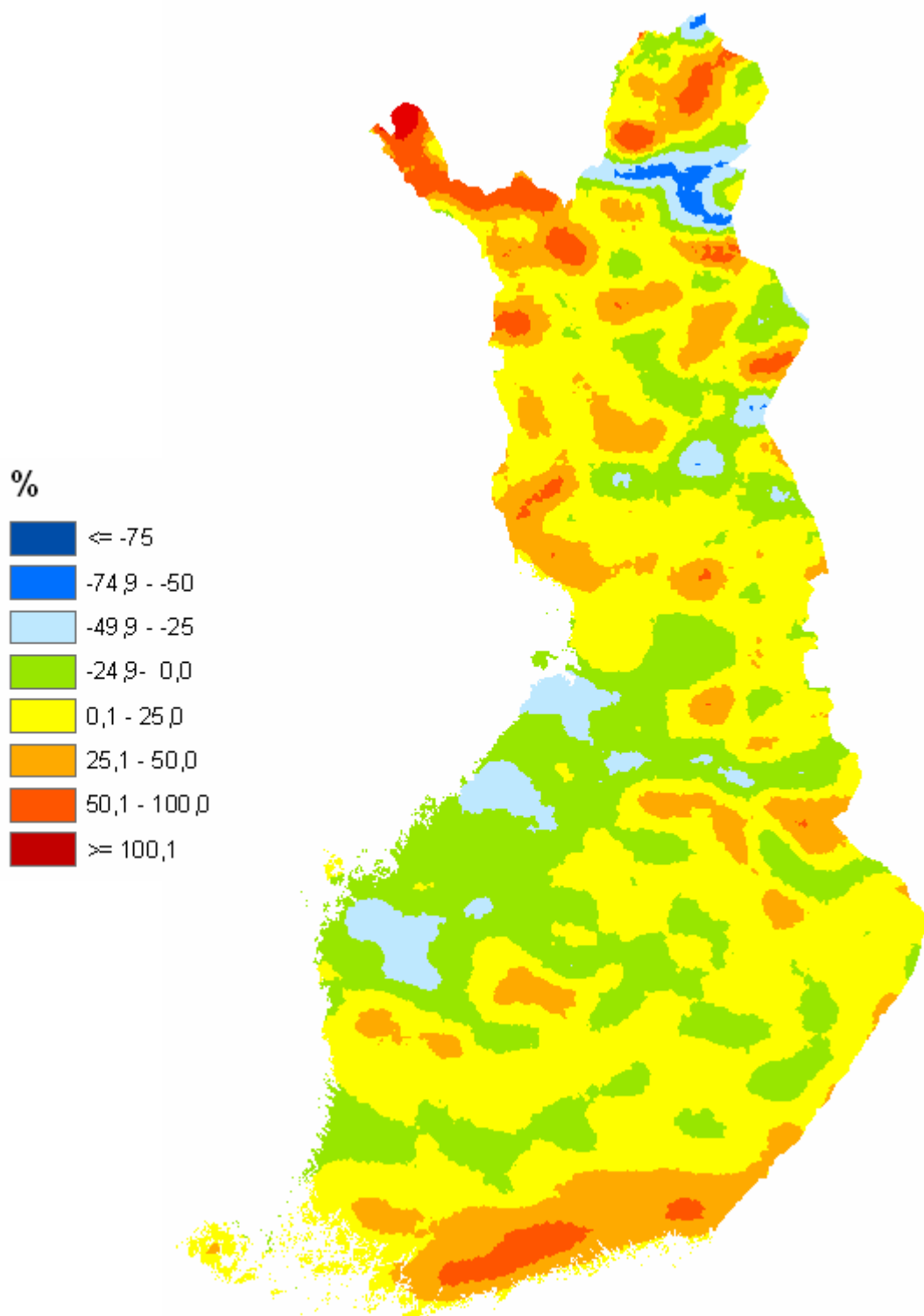
Kuva 4. Orografian vaikutus itätuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 4. The orographical effect on precipitation during easterly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



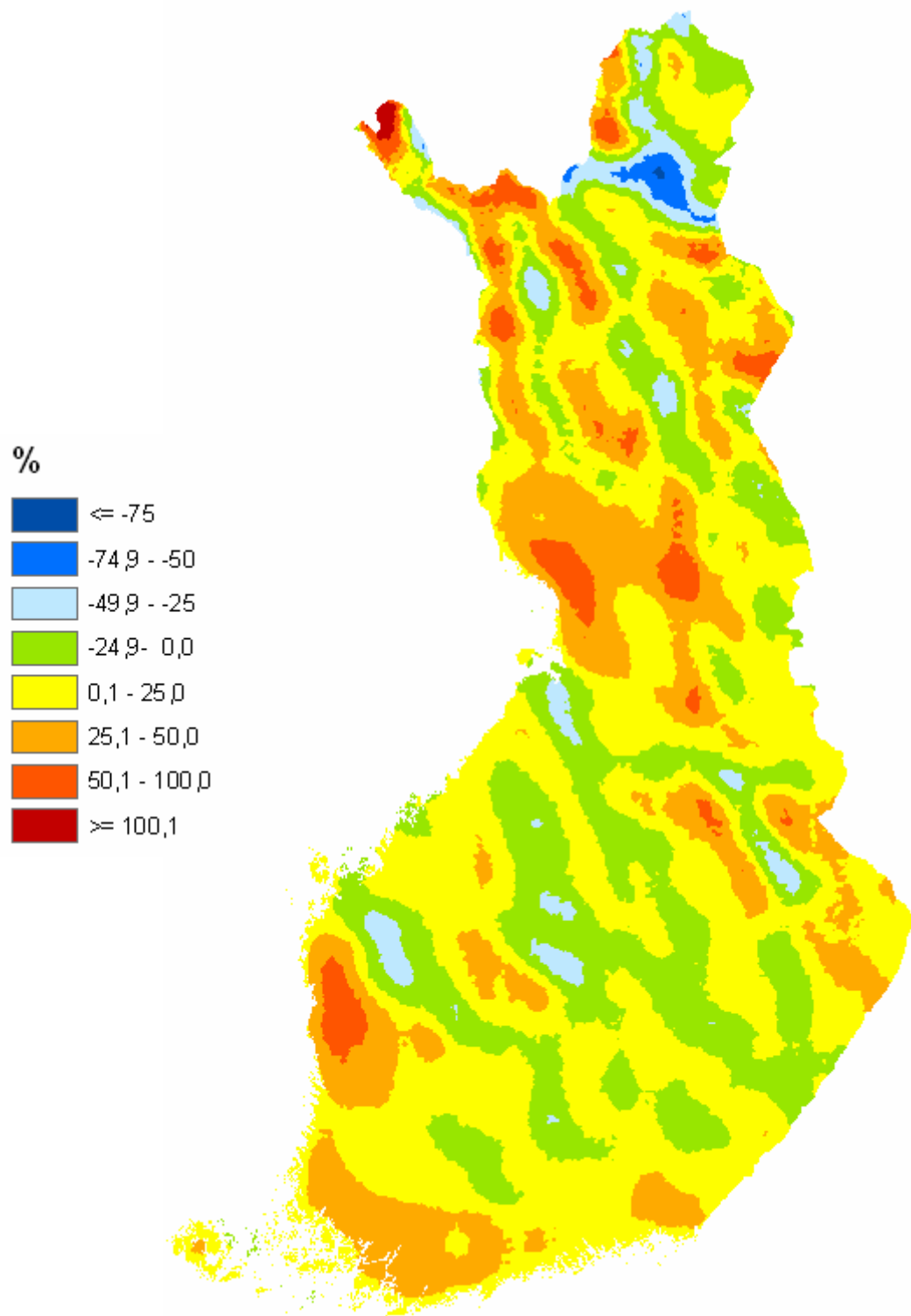
Kuva 5. Orografian vaikutus kaakkoistuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 5. The orographical effect on precipitation during south-easterly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



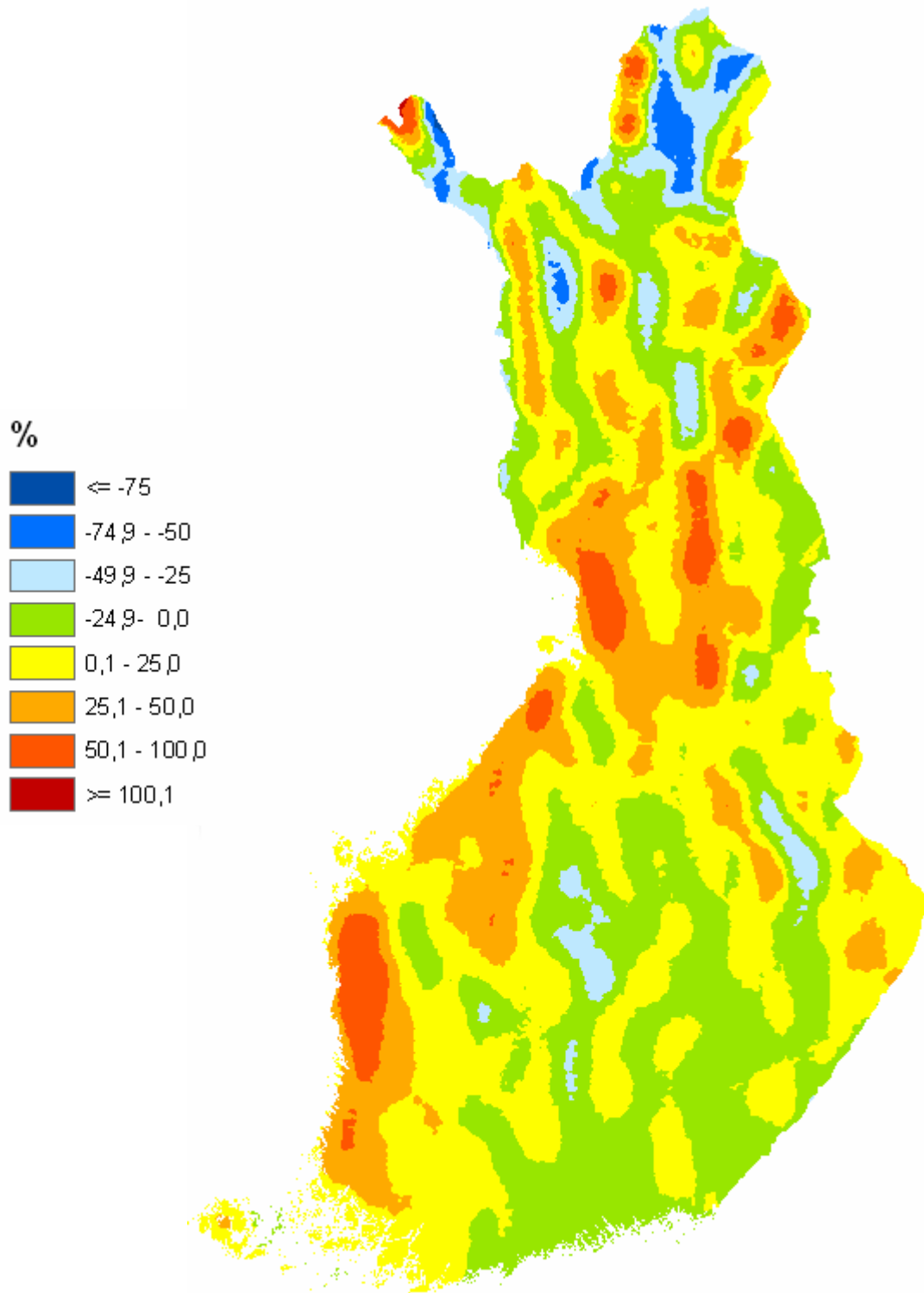
Kuva 6. Orografian vaikutus etelätuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 6. The orographical effect on precipitation during southerly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



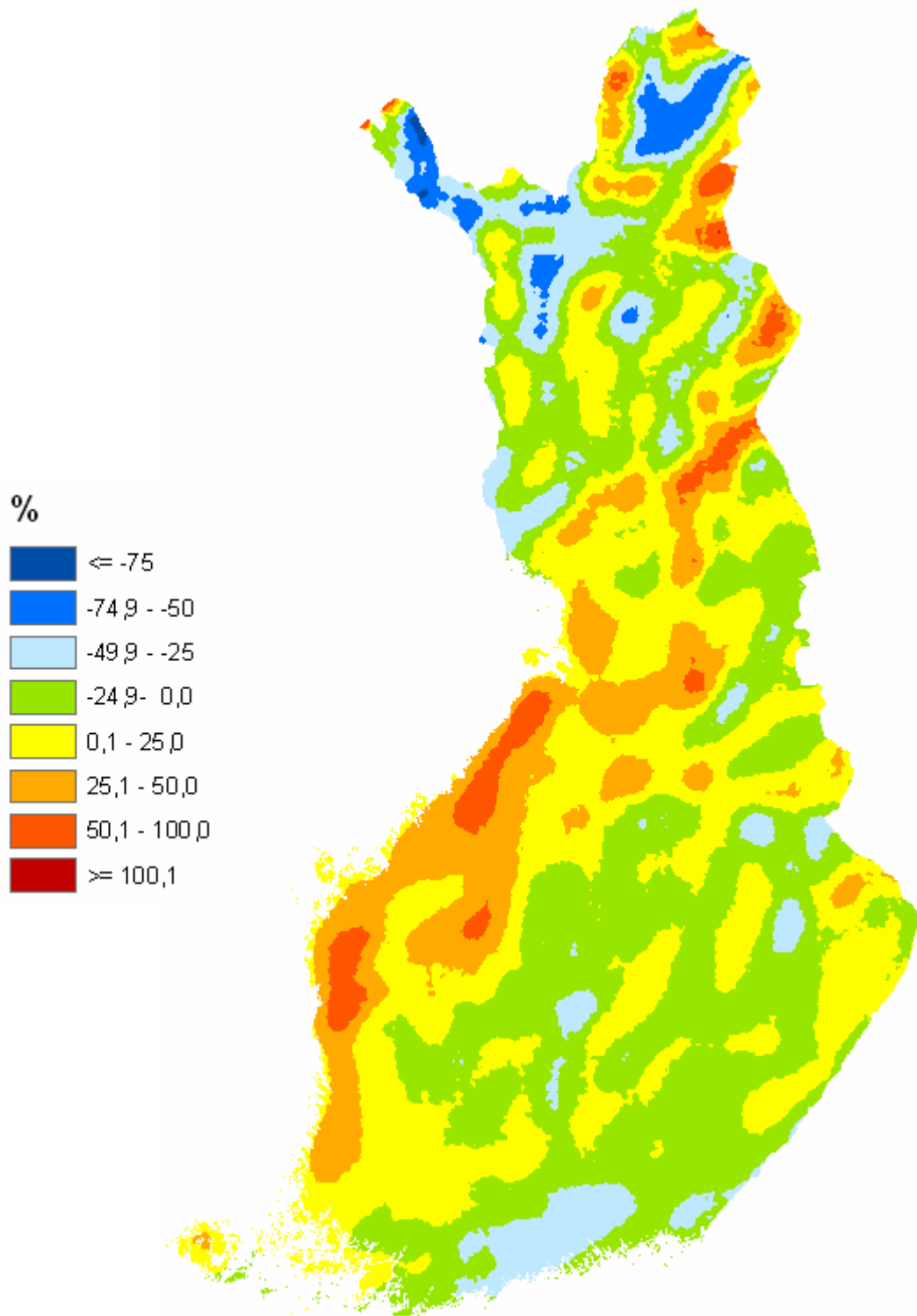
Kuva 7. Orografian vaikutus lounaistuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 7. The orographical effect on precipitation during south-westerly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



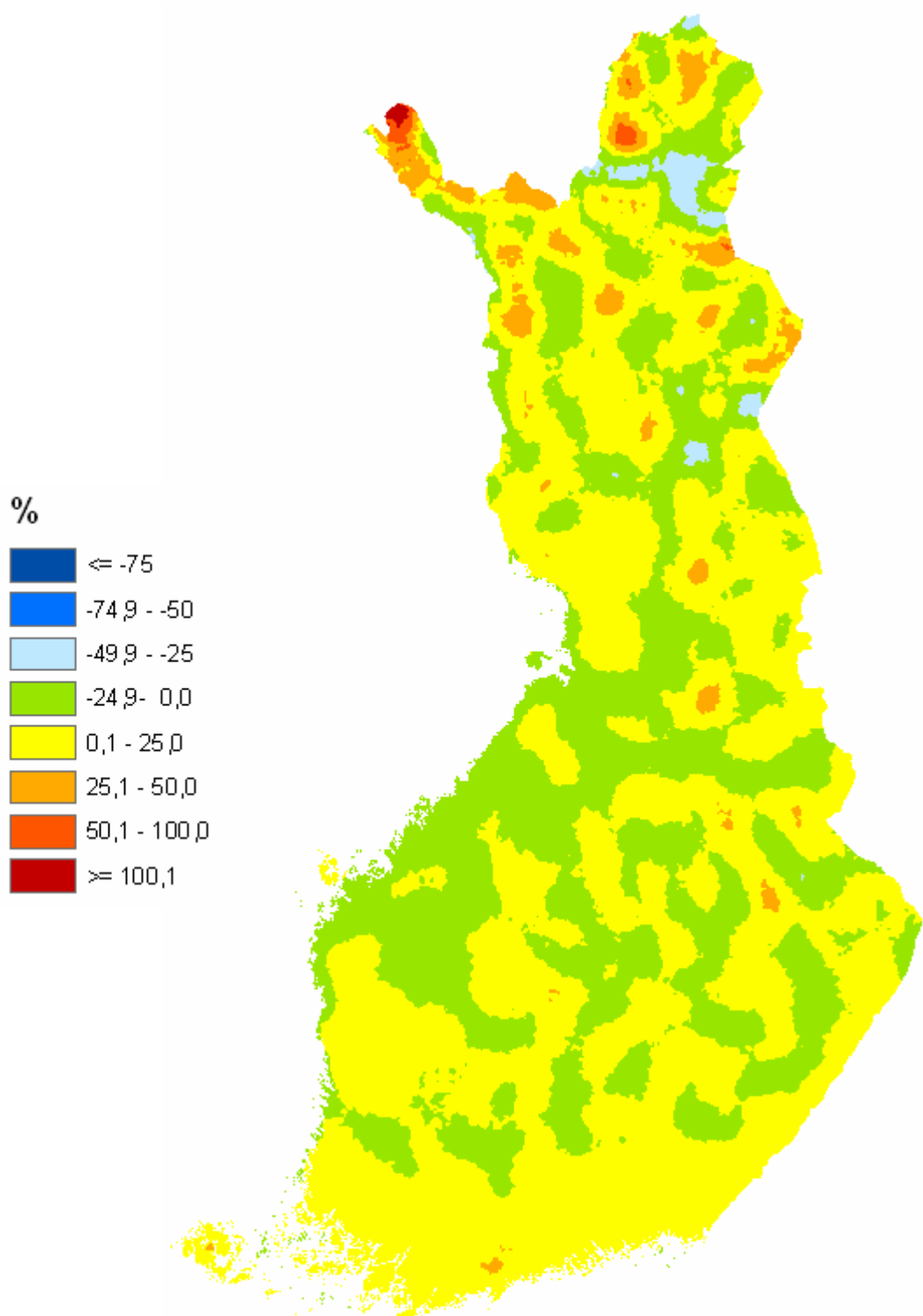
Kuva 8. Orografian vaikutus länsituulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 8. The orographical effect on precipitation during westerly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



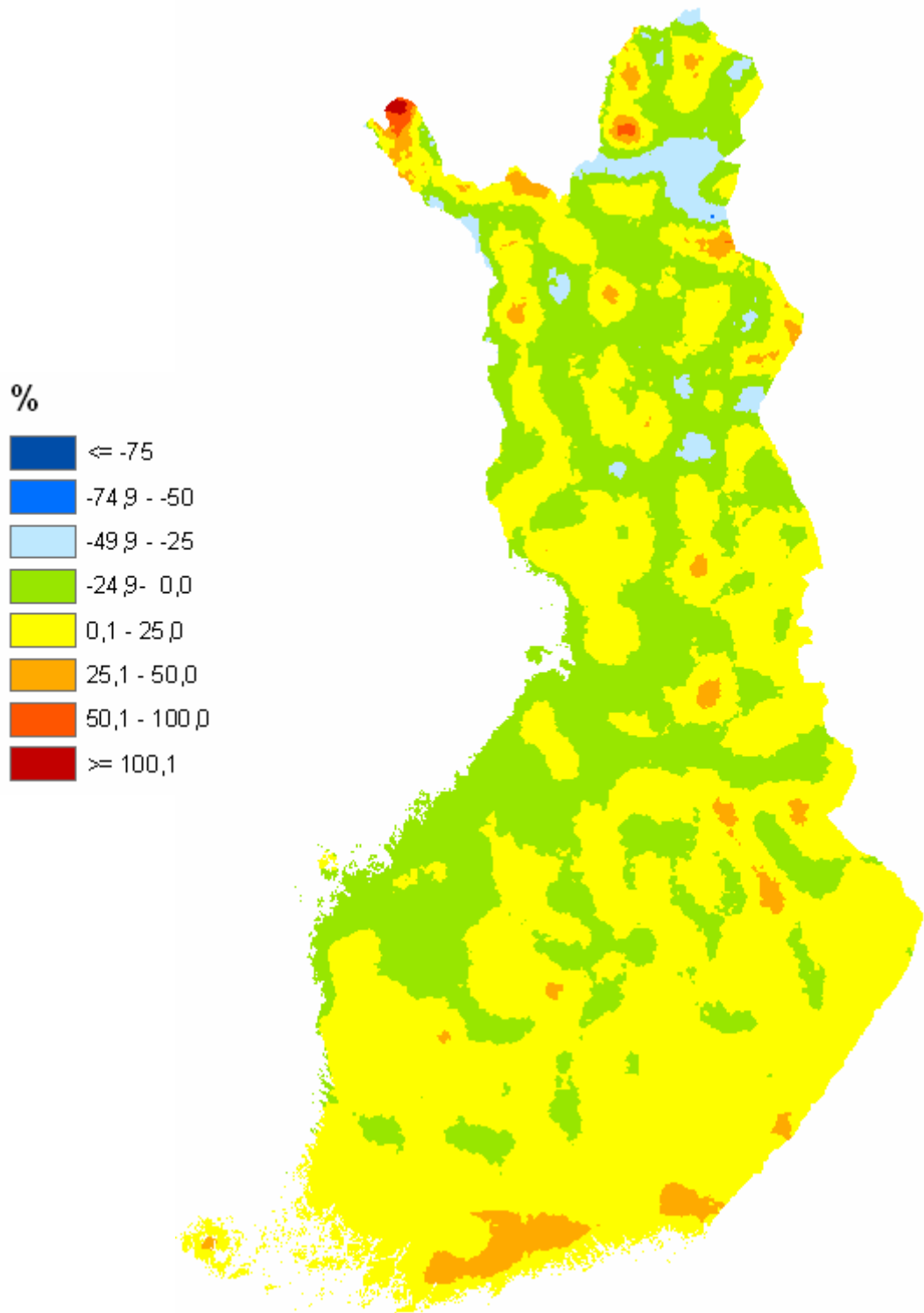
Kuva 9. Orografian vaikutus luoteistuulilla loka–huhtikuun sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista.

Fig. 9. The orographical effect on precipitation during north-westerly winds during the period October–April as a percentage of the precipitation on level ground.



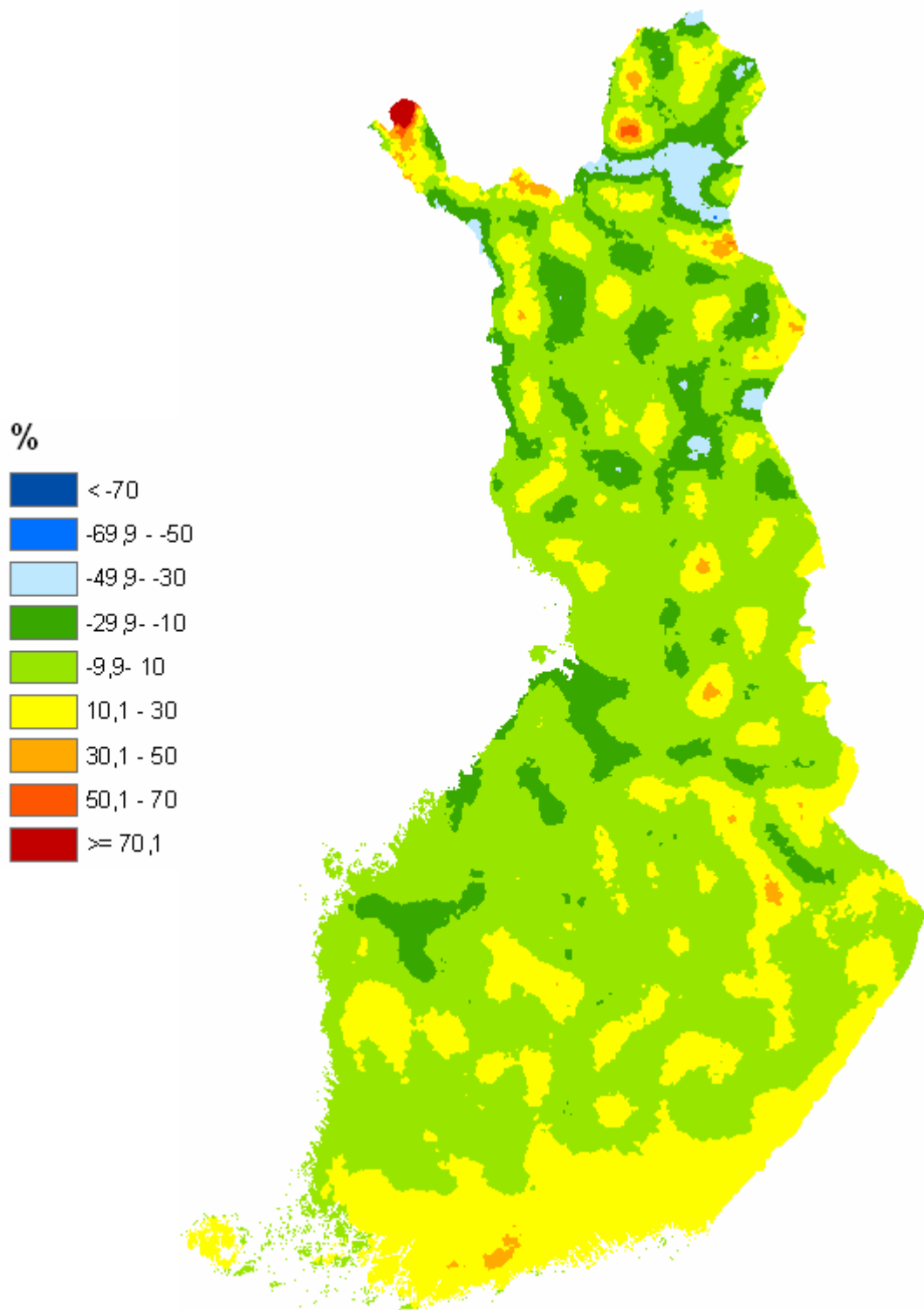
Kuva 10. Orografian keskimääräinen vaikutus sademääriin prosentteina tasaisen maan sadannoista loka–huhtikuussa.

Fig.10. The average orographical effect on precipitation as a percentage of the precipitation on level ground during the period October–April.



Kuva 11. Orografian ja sadannan gradientin keskimääräinen vaikutus sadantaan prosentteina tasaisen maan sadannoista loka–huhtikuussa.

Fig. 11. The average effect of orography and gradient on precipitation as a percentage of the precipitation on level ground during the period October–April.



Kuva 12. Orografian ja sadannan gradientin keskim. vaikutus sadantaan prosentteina tasaisen maan sadannoista loka–huhtikuussa. Luokkarajat toiset kuin kuvassa 11.

Fig. 12. The average effect of orography and gradient on precipitation as a percentage of the precipitation on level ground during the period October–April with different class boundaries from those in Fig. 11.

KIRJALLISUUS (REFERENCES)

Drebs, A., Nordlund, A., Karlsson, P., Helminen, J. & Rissanen, P., 2002. Tilastoja Suomen ilmastosta 1971–2000. *Ilmastotilastoja Suomesta 2002:1*. Ilmatieteen laitos, 99 s.

Hyvärinen, V., Solantie, R., Aitamurto, S., & Drebs, A. 1995. Suomen vesitase 1961 – 1990 valuma-alueittain. English Abstract. *Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja — sarja A 220*, s. 1–68.

Korhonen, V. V., 1942. Die verteilung der Niederschläge, besonders der Schneefälle, auf die Verschiedenen Windrichtungen in Finnland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Ser. I, Mathematica–Physica 13*, s. 1–54.

Lemmelä, R. & Solantie, R., 1977. Maps of Finlands Water Balance Elements. *Nordic Hydrology 8*, p. 281–288.

Solantie, R., 1975. Talvikauden sademäärän ja maaliskuun lumensyvyyden alueellinen jakautuma Suomessa. The areal distribution of winter precipitation and snow depth in March in Finland (Summary). *Ilmatieteellisen laitoksen tiedonantoja 28*. Helsinki 1975, 66 s.

Solantie, R., 1976. Vesitaseen laskeminen Suomessa kaudelle 1931–1960. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, Geofysiikan laitos, 393 s.

Solantie, R., 2005a. Productivity of boreal forests in relation to climate and vegetation zones. *Boreal Environment Research 10*, s. 275–298.

Solantie, R., 2005b. Suurista kesäsateista. *Vesitalous 5/2005*, s. 6–9.

Solantie, R. & Drebs, A., 2006. Kova pakkanen ja ohut lumipeite – tuhoisa yhdistelmä matalille kasveille ja puiden juurille. English Abstract. *Sorbifolia 37 (3)*, s 99–105.

RAPORTTEJA — RAPPORTER — REPORTS

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

5. Elomaa, Esko et al., 1988. Ilmatieteen laitoksen automaattisten merisääasemien käyttövarmuuden parantaminen. 55 s.
 6. Venäläinen, Ari ja Nordlund, Anneli, 1988. Kasvukauden ilmastotiedotteen sisältö ja käyttö. 63 s.
 7. Nieminen, Rauno, 1988. Numeeristen paine- ja 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 typen yhdisteiden kaukokulkeutumismallin kehittäminen HIRLAM-sääennustemallin yhteyteen. 49 s.
 2. Karlsson, Vuokko, 1993. Kansalliset rikkidioksidin analyysivertailut 1979 - 1991. 27 s.
- 1994:
1. Komulainen, Marja-Leena, 1995. Myrsky Itämerellä 28.9.1994. Säätilan kehitys Pohjois-Itämerellä M/S Estonian onnettomuusyönä. 42 s.
 2. Komulainen, Marja-Leena, 1995. The Baltic Sea Storm on 28.9.1994. An investigation into the weather situation which developed in the northern Baltic at the time of the accident to m/s Estonia. 42 p.
- 1995:
1. Aurela, Mika, 1995. Mikrometeorologiset vuomittausmenetelmät - sovelluksena otsonin mittaaminen suoralla menetelmällä. 88 s.
 2. Valkonen, Esko, Mäkelä, Kari ja Rantakrans, Erkki, 1995. Liikenteen päästöjen leviäminen katukuilussa - AIG-mallin soveltuvuus maamme oloihin. 25 s.
 3. Virkkula, Aki, Lättilä, Heikki ja Koskinen, Timo, 1995. Otsonin maanpintapitoisuuden mittaaminen UV-säteilyn absorptiolla: DOAS-menetelmän vertailu suljettua 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. Ilmastomuutos, mitoitussadanta ja patoturvallisuus: arvio sadannan ja sen ääriarvojen sekä lämpötilan muutoksista Suomessa vuoteen 2100. 65 s.
 - 5 Viljanen, Ari, Pirjola, Risto and Tuomi, Tapio, 2000. Abstracts of the URSI XXV national convention on radio science. 108 p.
 - 6 Solantie, Reijo ja Drebs, Achim, 2000. Keskimääräinen vuoden ylin ja alin lämpötila Suomessa 1961 - 90. 31 s.
 - 7 Korhonen, Kimmo, 2000. Geomagneettiset mallit ja IGRF-appletti. 85 s.
- 2001:
- 1 Koskinen, H., Tanskanen, E., Pirjola, R., Pulkkinen, A., Dyer, C., Rodgers, D., Cannon, P., Mandeville, J.-C. and Boscher, D., 2001. Space weather effects catalogue. 41 p.
 - 2 Koskinen, H., Tanskanen, E., Pirjola, R., Pulkkinen, A., Dyer, C., Rodgers, D., Cannon, P., Mandeville, J.-C. and Boscher, D., 2001. Rationale for a european space weather programme. 53 p.
 - 3 Paatero, J., Valkama, I., Makkonen, U., Laurén, M., Salminen, K., Raittila, J. and Viisanen, Y., 2001. Inorganic components of the ground-level air and meteorological parameters at Hyytiälä, Finland during the BIOFOR project 1998-1999. 48 p.
 - 4 Solantie, Reijo, Drebs, Achim, 2001. Maps of daily and monthly minimum temperatures in Finland for June, July, and August 1961-1990, considering the effect of the underlying surface. 28 p.
 - 5 Sahlgren, Vesa, 2001. Tuulikentän alueellisesta vaihtelusta Längelmävesi-Roine -järvialueella. 33 s.
 - 6 Tammelin, Bengt, Heimo, Alain, Leroy, Michel, Rast, Jacques and Säntti, Kristiina, 2001. Meteorological measurements under icing conditions : EUMETNET SWS II project. 52 p.
- 2002:
- 1 Solantie, Reijo, Drebs, Achim, Kaukoranta, Juho-Pekka, 2002. Lämpötiloja eri vuodenaikoina ja eri maastotyypeissä Alajärven Möksyssä. 57 s.
 2. Tammelin, Bengt, Forsius, John, Jylhä, Kirsti, Järvinen, Pekka, Koskela, Jaakko, Tuomenvirta, Heikki, Turunen, Merja A., Vehviläinen, Bertel, Venäläinen, Ari, 2002. Ilmastomuutoksen vaikutuksia energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. 121 s.
- 2003:
1. Vajda, Andrea and Venäläinen, Ari, 2003. Small-scale spatial variation of climate in northern Finland. 34 p.

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

2. Laurila, Tuomas, Lohila, Annalea, Tuovinen, Juha-Pekka, Hatakka, Juha, Aurela, Mika, Thum, Tea, Walden, Jari, Kuronen, Pirjo, Talka, Markus, Pesonen, Risto, Pihlatie, Mari, Rinne, Janne, Vesala, Timo, Ettala, Matti, 2005. Kaatopaikkojen kaasupäästöjen ja haihdunnan mikrometeorologisten 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, Säntti, Kristiina, Dobeck, Hartwig, Durstewich, Michel, Ganander, Hans, Kury, Georg, Laakso, Timo, Peltola, Esa, Ronsten, Göran, 2005. Wind turbines in icing environment: improvement of tools for siting, certification and operation – NEW ICETOOLS. 127 p.
- 2006:
1. Mälkki, Anssi, Kauristie, Kirsti and Viljanen Ari, 2006. Auroras Now! Final Report, Volume I. 73 p.
 2. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds.), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2003. 47 p.
 3. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds.), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2004. 47 p.
 4. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds.), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2005. 49 p.
 5. Viljanen, A. (toim.), 2006. Sähkömagnetiikka 2006. Tiivistelmät – Abstracts. 30 s.
 6. Tuomi, Tapio J.& Mäkelä, Antti, 2006. Salamahavainnot 2005 - Lightning observations in Finland, 2006. 39 p.
 7. Not yet published.
 8. Solantie, Reijo ja Pirinen Pentti, 2006. Orografian huomioiminen loka-huhtikuun sademäärien alueellisissa analyysissä. 35 s.

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

ISBN 951-697-658-1
ISSN 0782-6079
Yliopistopaino
Helsinki