



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2009:5

SALAMAHAVAINNOT 2009

LIGHTNING OBSERVATIONS
IN FINLAND, 2009

ANTTI MÄKELÄ
TAPIO J. TUOMI

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPOTS

No. 2009:5

551.506.1 (480)
551.594.221

SALAMAHAVAINNOT 2009

LIGHTNING OBSERVATIONS IN FINLAND, 2009

Antti Mäkelä
Tapio J. Tuomi

Ilmatieteen laitos
Meteorologiska institutet
Finnish Meteorological Institute

Helsinki 2009

ISBN 987-951-697-701-3
ISSN 0782-6079 (Raportteja – Rapporteur – Reports)
ISSN 1235-1466 (Salamahavainnot –
Lightning Observations in Finland)

Julkaisija Ilmatieteen laitos <i>Erik Palménin aukio 1</i> PL 503 00101 Helsinki		Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 2009:5	
		Julkaisuaika Marraskuu 2009	
Tekijä(t) Mäkelä, Antti Tuomi, Tapio J.		Projektin nimi	
		Toimeksiantaja	
Nimeke Salamahavainnot 2009			
Tiivistelmä <p><i>Ilmatieteen laitos on koonnut ja julkaissut salamanlaskijoiden havainnot vuosilta 1960-1997. Vuodesta 1998 lähtien kaikki järjestelmälliset maasalamahavainnot perustuvat salamanpaikantimeen, jonka nykyinen malli aloitti toimintansa elokuussa 1997. Se käsitti 2009 neljä maasalama-anturia, pohjoisin Rovaniemellä, jotka kattavat Suomen lukuun ottamatta Lapin pohjoisosaa. Vuonna 2009 mukana olivat lisäksi Norjan ja Ruotsin anturit, joiden ansiosta koko Lappi katettiin ja suorituskyky parani myös muualla Suomessa, sekä yksi anturi Virossa. Elokuussa 2004 hankittiin keskusyksikkö vastaanottaa myös kolmen Lounais-Suomessa olevan, pilvisalamoiden paikannukseen tarkoitettujen anturien havainnot ja käyttää niitä täydennyksenä maasalamoiden paikannuksessa. Laitteisto paikantaa maasalamoista erikseen jokaisen osaiskun ja ryhmittelee ne kokonaisiksi salamoiksi. Paikannettu salama voi sisältää 1-15 iskua; keskiarvo Suomessa on vajaa kaksi iskua/salama. Tilastoinnin pohjana käytetään salama- eikä iskumääriä, koska salama on ilmastollisesti edustavampi suure. Kesän 2009 aikana paikannettiin Suomen alueella noin 53 700 salamaa, mikä on 39 % keskiarvosta. Toukokuun salamamäärä oli lähellä keskiarvoa; muiden kuukausien salamamäärät jäivät alle 20 000:n, eli selvästi alle keskiarvon.</i></p>			
Julkaisijayksikkö Tutkimus ja kehitys / Uudet havaintomenetelmät			
Luokitus 551.506.1 : 551.594.221 (480)		Avainsanat salama, salamanpaikannin, ukkonen	
ISSN ja avainnimeke ISSN 0782-6079 Raportteja, ISSN 1235-1466 Salamahavainnot			
Kieli suomi – englanti		ISBN ISBN 978-951-697-701-3	
Myynti Ilmatieteen laitos PL 503 00101 Helsinki e-mail: kirjasto@fmi.fi		Sivumäärä 51	Hinta
		Yhteydet p. (09) 1929 4166, f. –3146 e-mail: antti.makela@fmi.fi	

Published by Finnish Meteorological Institute P.O. Box 503 FIN-00101 Helsinki Finland		Series title and number Reports 2009:5	
		Date November 2009	
Author(s) Mäkelä, Antti Tuomi, Tapio J.		Name of project	
		Commissioned by	
Title Lightning Observations in Finland, 2009			
Abstract <i>The Finnish Meteorological Institute has collected and published lightning flash counter results in 1960-1997. Since 1998, all systematic ground lightning observations are based on the location system, the present model of which started its operation in August 1997. In 2009 it had four ground-lightning sensors, which cover the country except for the northernmost part. In 2009, the Norwegian and Swedish sensors were also connected, completing the coverage up to the north and also improving the performance in other parts of Finland. Also, one sensor in Estonia was connected. The central unit installed in August 2004 receives also the data from three cloud-lightning sensors in SW Finland; they are also used in the ground-lightning location procedure. The system locates separately every stroke and groups them into whole flashes. A located flash may contain 1-15 strokes; the mean in Finland is nearly two strokes/flash. The statistics are based on flashes rather than strokes because the flash is a more appropriate climatic quantity. In summer 2009, a total of 53,700 flashes were located within Finland's borders, which is 39 % of the average. The flash number in May was close to the average; in June- September the flash numbers were below 20,000 which is considerably less than the average.</i>			
Publishing unit Research and Development / Earth Observation			
Classification (UDC) 551.506.1 : 551.594.221 (480)		Keywords lightning, lightning location system, thunder	
ISSN and key name ISSN 0782-6079 Reports ISSN 1235-1466 Lightning Observations in Finland			
Language Finnish – English		ISBN ISBN 978-951-697-701-3	
Sold by <i>Finnish Meteorological Institute</i> P.O. Box 503 FIN-00101 Helsinki, Finland e-mail: kirjasto@fmi.fi		Pages 51	Price
		Contact p. (09) 1929 4667, f. –3146 e-mail: antti.makela@fmi.fi	

Sisällys

	p.
1 Johdanto	7
2 Salamahavaintojen yhteenveto 2009	12
3 Kesän 2009 tärkeimmät ukkosjaksot	23
4 Salamoiden kerrannaisuudet ja voimakkuudet	30
5 Salama- ja iskutiheydet vuosina 1960 – 2009	32
Lähdeviitteet	36
Liite 1: Salamanpaikannin	37
Liite 2: Maaiskut ja pilvipurkaukset	40
Liite 3: Salamatiheys 10 km ruudukossa	45

Contents

1 Introduction
2 Summary of lightning observations in 2009
3 Main thunderstorm periods in summer 2009
4 Flash multiplicities and strengths
5 Flash and stroke densities in 1960 – 2009
References
Appendix 1: Lightning location system
Appendix 2: Ground strokes and cloud discharges
Appendix 3: Flash density on a 10-km grid

1 Johdanto

Suomessa käytettiin vuodesta 1959 lähtien salamanlaskijoita, joiden tulokset julkaistiin vuodesta 1960 alkaen. Laskijoita oli vuoteen 1988 toiminnassa 50-60 kpl kesäisin (touko-syyskuu); vuosina 1989-97 laskijatuloksia kerättiin vain Lapista. Salamanlaskijan rakenne on kuvattu ja vuotta 1984 edeltävät salamanlaskijaselosteet lueteltu ensimmäisessä Salamahavainnot-julkaisussa. Salamahavainnot ennen vuotta 2006 ovat ilmestyneet sarjassa Geofysikaalisia julkaisuja; luettelo on tämän kirjan lopussa ennen Raportteja-luettelo.

Vuonna 1984 hankittiin Ilmatieteen laitokselle automaattinen maasalamanpaikannin (ks. Salamahavainnot 1997), joka korvattiin vuonna 1997 samalta valmistajalta hankitulla uudella paikantimella (liite 1). Siitä käytetään anturi-tyyppin mukaisesti tässä nimitystä IMPACT. Vuonna 2001 hankittiin myös Lounais-Suomen kattava SAFIR-pilvisalamanpaikannin, joka toimi aluksi koekäytössä. Elokuussa 2004 IMPACT-verkon keskusyksikkö vaihdettiin uuteen CP8000-yksikköön, joka vastaanottaa myös SAFIR-anturien tiedot.

Maasalamanpaikannin käsitti vuonna 2009 Suomessa seitsemän anturia, joiden havaintoalue kattoi lähes koko maan lukuun ottamatta pohjoisinta Lappia. Lisäksi kuitenkin keskusyksikköön oli kytkettynä noin kaksikymmentä anturia Norjan ja Ruotsin vastaavista IMPACT-verkoista sekä vuonna 2005 asennettu anturi Tartossa. Näiden ansiosta havaintoalue kattoi myös Pohjois-Lapin, ja tarkkuus ja tehokkuus olivat hyvät myös muualla Suomessa. Havaintoverkko- ja alue on esitetty tämän kirjan lopussa (kuva 23).

Järjestelmä paikantaa erikseen salaman jokaisen osaiskun. Tässä julkaisussa

1 Introduction

Lightning flash counters were used in Finland since 1959 and the results were published since 1960. Until 1988 the number of counters was 50-60, and in 1989-97, only northern Finland was covered by a counter network. The normal season was from May to September. A description of the counters and a list of publications before 1984 are given in the first issue of Lightning Observations. All issues before 2006 have appeared in the series Geophysical Publications, listed at the end of this issue before the Reports list.

In 1984, the Finnish Meteorological Institute set up an automatic ground lightning location system (see Lightning Observations, 1997), which in 1997 was replaced by a new system supplied by the same manufacturer (Appendix 1). It is called here IMPACT according to the sensor type. In 2001, a SAFIR cloud lightning location system was installed to cover SW Finland, first for test use. In August 2004, the IMPACT network was furnished by a new CP8000 central unit, which receives also the SAFIR sensor data.

The ground lightning location system had in 2009 seven sensors in Finland, covering almost the whole country except northernmost Lapland. However, about twenty sensors from the corresponding Norwegian and Swedish IMPACT systems were also connected to the central unit, as well as a sensor in Tartu (Estonia) installed in 2005. These extended the coverage to northern Lapland and the efficiency and accuracy were good also elsewhere in Finland. The network is shown at the end of this journal (Fig. 23).

The system locates separately each stroke. In this issue, however, the basis

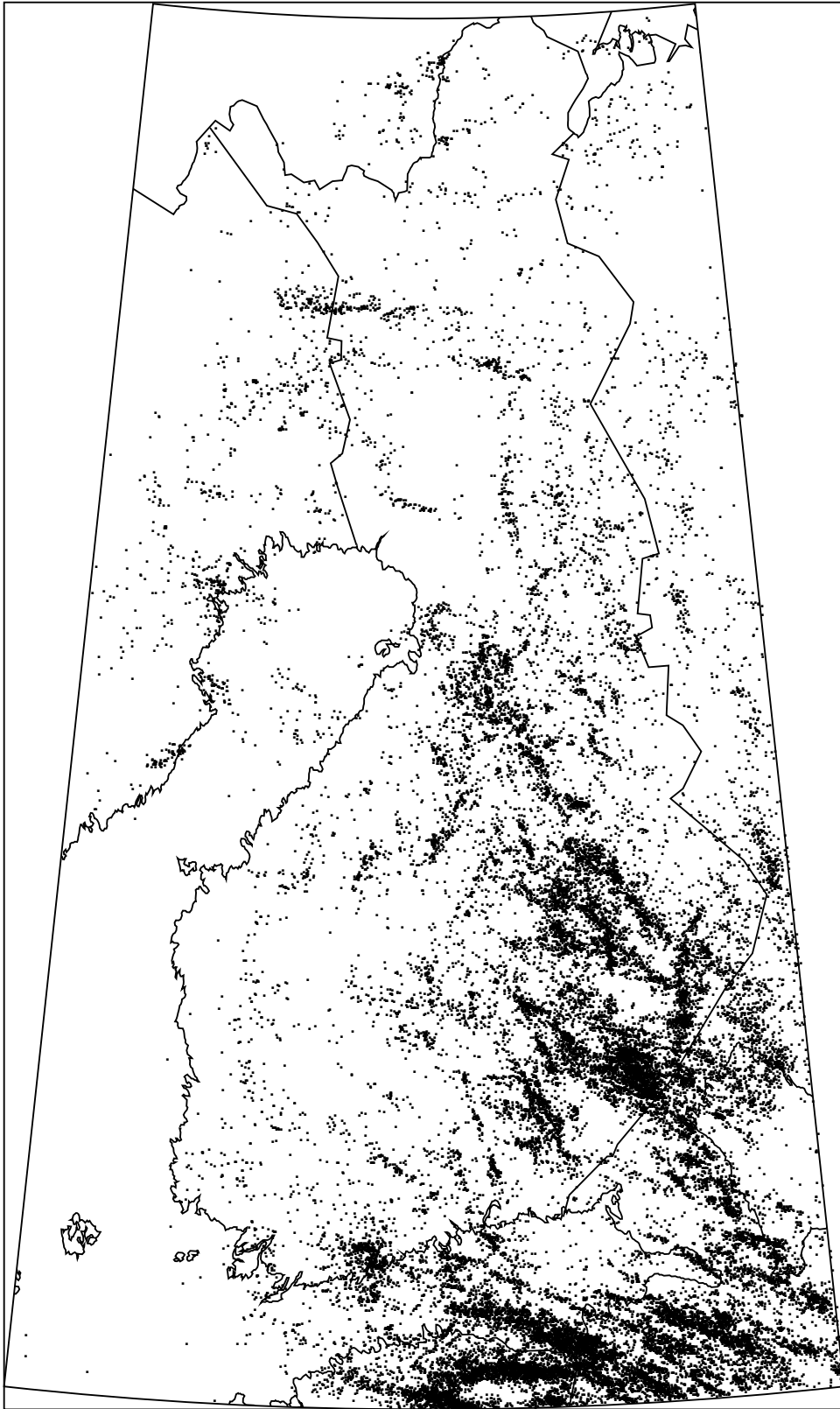
Touko - May ·
Huhti - April ×

Syys - Sept ·
Loka - Oct ×



Kuva 1. Vasen: Huhti- (x) ja toukokuun (·) 2009 paikannetut salammat, yhteensä 5 ja 9252 kpl.
Oikea: Syys- (·) ja lokakuun (x) 2009 paikannetut salammat, yhteensä 4094 ja 224 kpl.

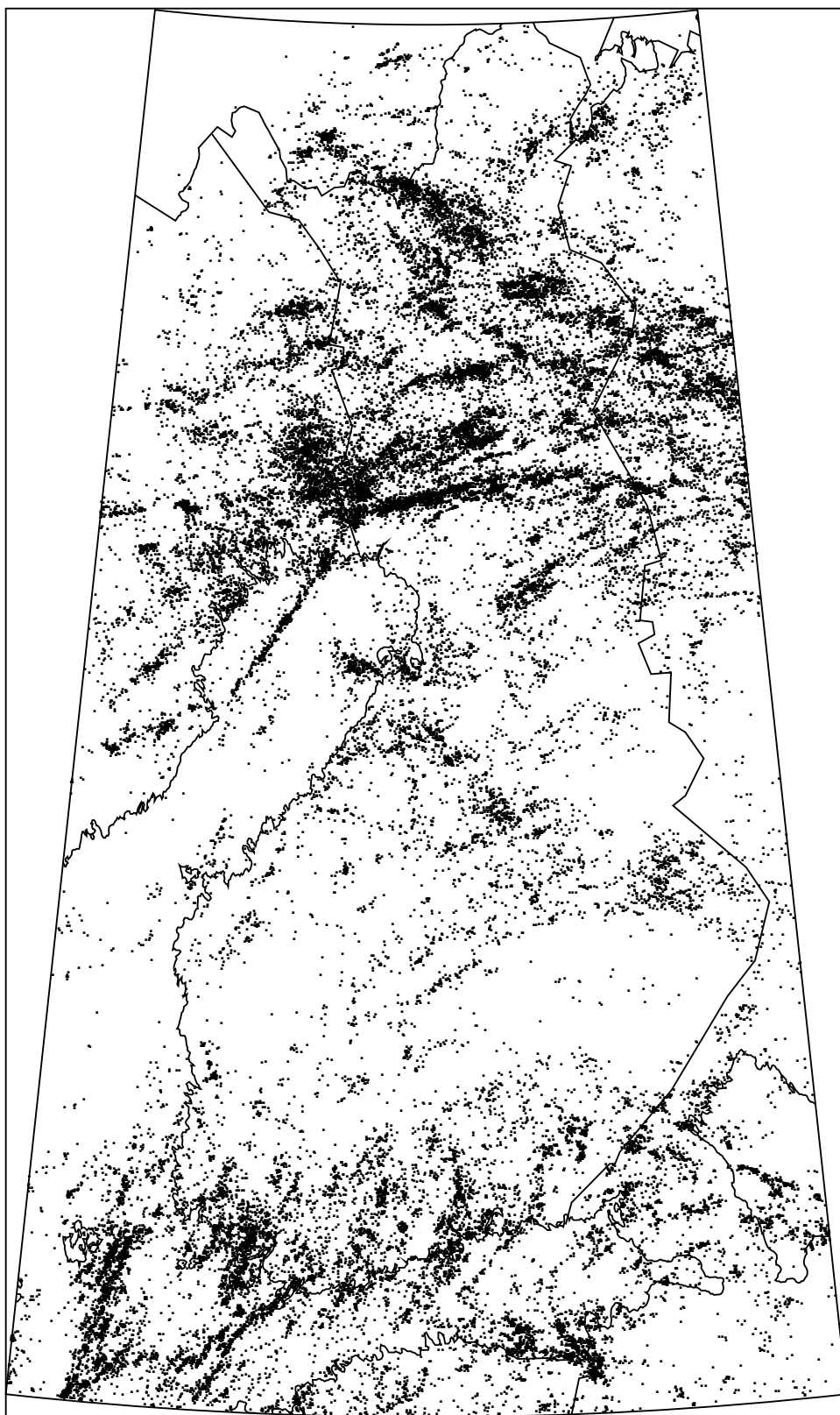
*Fig. 1. Left: Located flashes in April (x) and May (·) 2009. Totals are 5 and 9252.
Right: Located flashes in September (·) and October (x) 2009. Totals are 4094 and 224.*



Kuva 2. Kesäkuun 2009 paikannetut maasalamat, yhteensä 39 781 kpl.
Fig. 2. Located ground flashes in June 2009. Total number is 39,781.



Kuva 3. Heinäkuun 2009 paikannetut maasalamat, yhteensä 67 218 kpl.
Fig. 3. Located ground flashes in July 2009. Total number is 67,218.



Kuva 4. Elokuun 2009 paikannetut maasalamat, yhteensä 46 086 kpl.

Fig. 4. Located ground flashes in August 2009. Total number is 46,086.

kuitenkin tilastoidaan (maa)salamat, sillä salamamäärä on ilmastollisena suurena parempi ja laajemmin käytetty kuin osaiskujen määrä. Salaman aika, paikka, napaisuus ja voimakkuus viittaavat sen ensimmäiseen (tai ainoaan) osaiskuun. Iskumäärä ilmaistaan kerrannaisuudella, mutta haarukoituvien salamoiden paikkaerot jäävät esittämättä. Osaiskujen ja salamoiden lukumäärien suhdetta käsitellään luvussa 4.

Salamahavaintojen yhteenveto vuodelta 2009 on luvussa 2. Luvussa 3 kuvataan paikannustulosten perusteella kesän ukkosjaksoja. Muita paikantimen antamia tuloksia (salamoiden voimakkuus, napaisuus ja kerrannaisuus) esitetään luvussa 4.

Luvussa 5 tehdään yhteenveto kaikista salamamäärämittauksista 1960-2009 korjattuna salamatiheyksiksi. Lisäksi esitetään keskiarvot maasalamoiden alueellisesta ja päivittäisestä jakautumisesta jaksolta 1998-2009. Samoin tehdään selkoa poikkeuksellisen voimakkaista ukkosista viime vuosina.

Salamahavainnot-vuosikirjoissa ei tilastoida pilvisalamoita, vaikka salamanpaikannin havaitsee niitäkin. Liitteessä 3 kerrotaan, millaista tietoa pilvisalamoista saadaan.

Salamanpaikannustuloksia on myös Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilla (www.ilmatieteenlaitos.fi). Ukkosista on ilmestynyt uusi suomenkielinen yleisteos (Tuomi & Mäkelä 2009).

2 Salamahavaintojen yhteenveto 2009

Salamanpaikantimen tulokset voidaan esittää karttoina, joihin jokainen paikannettu osaisku tai salama on merkitty erikseen (kuvat 1-4). Karttojen salamamäärät riippuvat tietysti käytetystä

of the statistics of (ground) lightning is the flash, because it is a more appropriate and widely used climatic quantity. The time, position, polarity and strength of a flash are those of its first (or only) stroke. The number of strokes is expressed as the multiplicity, but the strike-point differences in a forked flash are ignored. The relation between the numbers of strokes and flashes is discussed in Chapter 4.

The lightning observations in 2009 are summarized in Chapter 2. In Chapter 3, the thunderstorm periods are described in terms of the location results. Other results (the strength, polarity and multiplicity of flashes) are given in Chapter 4.

Chapter 5 summarizes all lightning detection data, as corrected flash densities, for 1960-2009. In addition, the average spatial and daily distributions of the ground flashes are presented for 1998-2009. The occurrence of exceptionally violent thunderstorms in recent years is reported.

In Lightning Observations, statistics on cloud flashes are not presented, although they are detected. Appendix 3 describes what kind of cloud-flash data are available.

Lightning location results are also given (in Finnish) on the web pages of FMI (www.fmi.fi). A new popular-level book on lightning has appeared in Finnish (Tuomi & Mäkelä 2009).

2 Summary of lightning observations in 2009

The strokes or flashes detected by the lightning location system can be presented as separate dots on a map (Figs. 1-4). The numbers of flashes on a map depend, of course, on the displayed

kartta-alueesta, ja muiden pohjoismaisten anturien mukaantulo on lisännyt Suomen ulkopuolisia paikannuksia. Tästä syystä tekstissä mainitaan vain Suomen alueen (paitsi avomerien) paikannetut maasalammäärät.

Tilastoitaessa alueellista jakautumista kannattaa paikannetut pisteet jakaa sopivalle karttaruudukolle. Peruskarttaruudukko (ruutukoko $10 \times 10 \text{ km}^2$) on vuosikirjatasen esityksessä tarpeettoman tarkka ja ruutujen lukumäärä on suuri. Yleismaastokartat (mittakaava 1:50 000) perustuvat yleislehtijaon mukaisiin noin $30 \text{ km} \times 40 \text{ km}$ lehtiin, joille tässä käytetään nimitystä *paikalliskarttaruutu*. Yleislehtijaosta poiketen kaikkien ruutujen leveys tässä on $0,75$ pituusastetta ($42\text{-}29 \text{ km}$) ja ala vastaavasti noin $1260\text{-}860 \text{ km}^2$, mutta niille käytetään samaa nelinumeroista numerointia. Ainakaan toistaiseksi ei käytetä uutta ETRS-TM35FIN-järjestelmää (Julkisen hallinnon suositus JHS 154), jonka ruudukko koostuu $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ yksiköistä; perusneliön sivu olisi joko 24 tai 48 km , eli jako olisi selvästi hienompi tai karkeampi kuin nyt käytetty.

Taulukossa 1 on paikannetut maasalamat (vuosina 1998-2001 osaiskut) ja vastaavat ukkospäiväluvut jaettu paikalliskarttaruudukolle ilman havaintotehokkuuskorjauksia. Kullekin riville on merkitty vastaava karttanumero, kuvaava paikannimi ja pinta-ala. (Numerot ja nimet näkyvät kartoilla kahdella ylimääräisellä sivulla tämän kirjasen lopussa.) Ala on isompi kuin sellainen alue, jolta aistihavainnot (näkö- ja kuulohavainnot) saadaan, joten taulukon 1 ukkospäiväluvut ovat liian suuria. Ukkospäiväkorjausta on käsitelty aikaisemmassa vuosikirjassa (Salamahavainnot 2001); taulukon 1 luvut esitetään korjattuina kuvassa 5.

area, and the contribution from other Nordic sensors has increased the locations outside Finland. For this reason, in the text the numbers of ground flashes refer only to those located within Finland (excluding the seas).

For a statistical evaluation of spatial variations, located points should be distributed on a grid of suitably sized areas. The basic map-square grid (square size $10 \times 10 \text{ km}^2$) is unnecessarily accurate for a yearbook level and the number of squares is large. General topographic maps (scale 1:50,000) are based on sheets of about $30 \text{ km} \times 40 \text{ km}$ size, which are called here *local map squares*. Unlike the squares used in the map sheet system, here the width of all squares is 0.75 degrees of longitude ($42\text{-}29 \text{ km}$) and the areas are respectively about $1260\text{-}860 \text{ km}^2$, but the same four-digit numbering will be used. So far, the new map system ETRS-TM35FIN will not be used; the maps are built from units of $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$, and a basic square needed here would have its side either 24 or 48 km , i.e. the grid would be clearly finer or coarser than that presently used.

In Table 1, located ground flashes (strokes in 1998-2001) and corresponding thunder-day numbers have been distributed on local map squares without detection-efficiency corrections. Each row includes the map number, a descriptive name and the area. (The numbers and names are shown on maps on two extra pages at the end of this issue.) The area is larger than that of human (visual and aural) observations, so the thunder-day numbers of Table 1 are too high. The thunder-day correction has been discussed in a previous yearbook (Lightning Observations, 2001); Fig. 5 shows the numbers from Table 1 corrected.

Taulukko 1. Paikannetut salammat ja ukkospäivät 4-numeroisilla karttaruuduilla 2009.

Table 1. Numbers of located flashes and thunder days on 4-digit map squares in 2009.

No		km ²	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Total	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Tot
2011	Hanko	1257	5	18	11	119	38	191	2	1	3	5	4	15
2013	Jussarö	1257	9	12	6	57	11	95	2	1	3	9	5	20
1012	Mariehamn	1247	1	0	15	45	21	82	1	0	2	4	2	9
1014	Föglö	1247	0	0	1	196	13	210	0	0	1	3	4	8
1032	Korppoo	1247	2	0	14	15	8	39	1	0	1	5	5	12
1034	Nauvo	1247	26	2	20	89	6	143	2	1	3	6	4	16
2012	Kemiö	1247	21	16	7	115	15	174	4	1	2	7	2	16
2014	Tammisaari	1247	10	15	3	106	11	146	3	1	2	6	4	17
2032	Espoo	1247	54	96	6	107	16	279	6	1	4	5	4	20
2034	Helsinki	1247	24	100	20	65	4	213	5	2	5	4	2	18
1021	Geta	1237	3	0	12	23	20	58	2	0	3	4	1	10
1023	Kumlinge	1237	17	0	1	137	2	157	2	0	1	5	1	9
1041	Iniö	1237	0	1	13	59	3	76	0	1	2	4	1	8
1043	Turku	1237	43	2	48	133	10	236	2	1	4	6	3	16
2021	Salo	1237	9	21	16	213	12	271	2	1	3	5	4	15
2023	Suomusj.	1237	12	19	2	85	18	136	3	1	1	5	5	15
2041	Lohja	1237	20	124	6	91	29	270	1	4	4	5	4	18
2043	Kerava	1237	16	31	8	39	7	101	5	2	2	5	3	17
3021	Porvoo	1237	38	17	10	154	0	219	2	1	3	7	0	13
3023	Kotka	1237	60	66	5	47	2	180	2	1	4	5	1	13
1042	Vehmaa	1226	1	2	11	54	3	71	1	2	3	5	3	14
1044	Mynämäki	1226	28	4	38	108	4	182	1	3	3	7	2	16
2022	Marttila	1226	22	6	3	108	2	141	2	1	2	6	1	12
2024	Somero	1226	15	16	1	57	1	90	4	1	1	6	1	13
2042	Karkkila	1226	22	13	5	58	8	106	2	1	3	7	2	15
2044	Hyvinkää	1226	11	24	11	71	2	119	3	2	6	3	2	16
3022	Lapinjärvi	1226	20	31	9	118	3	181	2	2	2	6	2	14
3024	Anj.koski	1226	21	23	4	77	1	126	3	2	1	4	1	11
3042	Hamina	1226	25	8	3	56	9	101	3	2	1	5	1	12
1131	Uusikaup.	1216	0	4	62	49	2	117	0	1	1	7	2	11
1133	Yläne	1216	20	20	109	56	3	208	3	2	3	6	2	16
2111	Loimaa	1216	31	4	4	45	0	84	4	1	2	3	0	10
2113	Forssa	1216	35	5	2	44	2	88	4	1	2	4	2	13
2131	Hämeenl.	1216	19	18	4	85	8	134	4	1	2	5	5	17
2133	Käröklä	1216	43	37	37	75	7	199	4	1	4	7	2	18
3111	Lahti	1216	54	42	9	85	7	197	3	4	3	3	3	16
3113	Kouvola	1216	13	77	23	37	1	151	5	4	1	4	1	15
3131	Luumäki	1216	45	34	21	41	2	143	4	2	2	4	1	13
3133	Ylämaa	1216	22	64	11	23	7	127	3	3	2	3	1	12
1132	Rauma	1206	7	1	23	30	1	62	3	1	3	4	1	12
1134	Kokemäki	1206	26	5	62	19	8	120	3	1	3	3	1	11
2112	Huittinen	1206	23	11	23	13	2	72	4	1	3	4	1	13
2114	Toijala	1206	17	16	8	11	1	53	4	2	4	3	1	14
2132	Hauho	1206	15	16	11	30	2	74	3	1	6	4	1	15
2134	Lammi	1206	32	4	72	36	3	147	4	1	3	5	2	15
3112	Heinola	1206	25	21	20	65	6	137	5	2	1	4	2	14
3114	Jaala	1206	13	37	22	36	1	109	5	2	3	5	1	16
3132	Savitaip.	1206	22	185	10	57	7	281	4	2	3	5	1	15
3134	Lappeenr.	1206	22	19	7	100	7	155	2	2	1	4	2	11
4112	Imatra	1206	7	29	22	100	22	180	4	3	4	4	3	18
1141	Luvia	1195	7	0	22	25	2	56	2	0	1	4	1	8
1143	Pori	1195	27	5	41	12	2	87	4	1	2	3	2	12
2121	Vammala	1195	17	16	16	27	0	76	4	1	3	2	0	10
2123	Tampere	1195	10	6	93	5	8	122	3	2	2	2	2	11

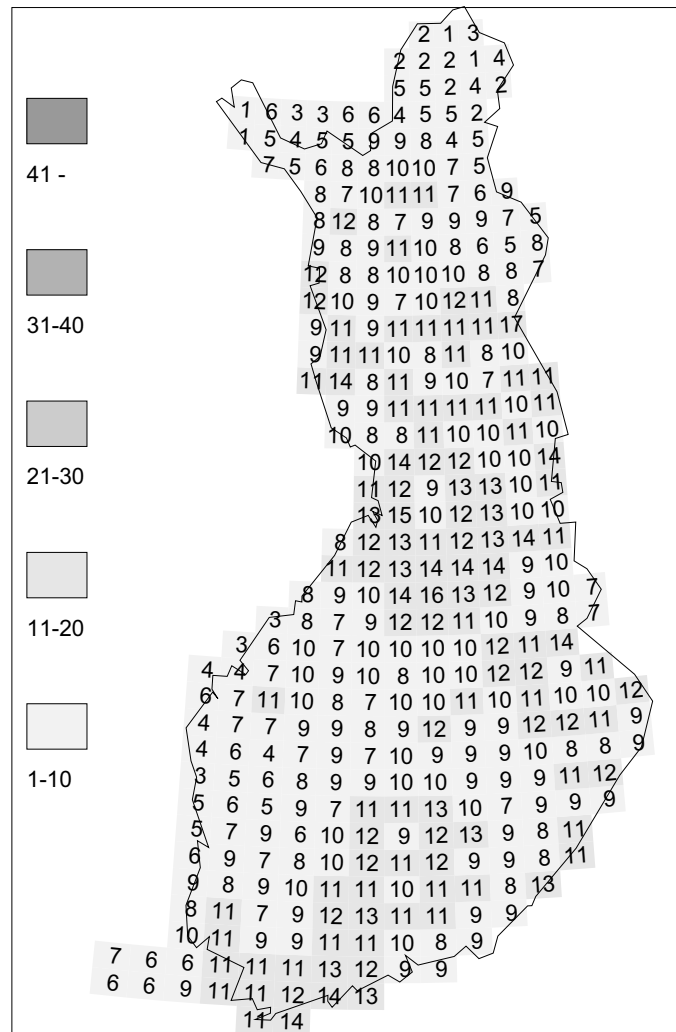
2141	Kangasala	1195	10	7	36	10	3	66	3	1	4	4	2	14
2143	Padasjoki	1195	22	15	50	6	2	95	4	2	5	4	2	17
3121	Sysmä	1195	68	9	51	25	8	161	4	2	4	3	2	15
3123	Mäntyharju	1195	25	55	32	32	6	150	4	2	3	5	2	16
3141	Ristiina	1195	19	196	8	39	7	269	4	2	1	5	1	13
3143	Puumala	1195	17	57	19	27	0	120	2	2	4	4	0	12
4121	Ruokolahti	1195	8	259	2	34	7	310	2	3	2	3	1	11
4123	Parikkala	1195	13	227	31	54	10	335	3	3	4	3	2	15
1142	Ahlainen	1185	2	1	48	4	1	56	1	1	1	3	1	7
1144	Pomarkku	1185	5	8	101	47	0	161	3	2	1	4	0	10
2122	Ikaalinen	1185	3	4	37	9	1	54	3	2	3	4	1	13
2124	Teisko	1185	13	0	86	8	1	108	2	0	4	2	1	9
2142	Orivesi	1185	12	3	37	24	4	80	4	2	3	4	1	14
2144	Kuhmoinen	1185	10	6	45	14	4	79	3	2	5	5	2	17
3122	Joutsa	1185	28	27	30	2	3	90	3	2	4	2	1	12
3124	Hirvens.	1185	24	41	112	18	1	196	5	3	4	4	1	17
3142	Mikkeli	1185	18	139	30	21	4	212	4	3	5	5	1	18
3144	Sulkava	1185	10	189	11	18	0	228	2	3	4	4	0	13
4122	Pihl.vesi	1185	7	356	41	3	0	407	3	2	4	2	0	11
4124	Punkaharju	1185	10	171	82	3	10	276	2	3	7	1	2	15
1231	Merikarvia	1175	1	1	12	9	0	23	1	1	2	3	0	7
1233	Honkajoki	1175	1	8	42	4	0	55	1	3	2	2	0	8
2211	Parkano	1175	0	11	47	3	2	63	0	2	3	1	1	7
2213	Kuru	1175	1	6	81	6	2	96	1	1	6	3	1	12
2231	Mänttä	1175	1	4	82	8	4	99	1	1	4	2	1	9
2233	Jämsä	1175	10	40	49	20	1	120	4	2	5	3	1	15
3211	Korpilahti	1175	20	33	61	14	4	132	3	3	4	4	1	15
3213	Kangasn.	1175	9	42	13	6	7	77	5	3	4	3	3	18
3231	Haukivuori	1175	20	105	17	3	2	147	3	3	5	2	1	14
3233	Juva	1175	26	162	28	1	1	218	2	3	2	1	1	9
4211	Savonlinna	1175	5	112	59	0	1	177	4	3	5	0	1	13
4213	Kerimäki	1175	4	144	83	0	4	235	2	4	5	0	1	12
4231	Kitee	1175	4	41	118	13	14	190	1	4	5	2	1	13
1232	Kristiina	1164	4	0	10	5	1	20	1	0	1	1	1	4
1234	Isojoki	1164	9	7	16	1	2	35	2	1	2	1	1	7
2212	Karvia	1164	3	12	30	1	5	51	2	1	2	1	2	8
2214	Virrat	1164	2	2	65	6	11	86	2	1	4	2	2	11
2232	Keuruu	1164	3	26	42	14	1	86	1	3	5	2	1	12
2234	Petäjavesi	1164	7	41	35	17	1	101	3	3	3	2	1	12
3212	Jyväskylä	1164	17	45	22	7	4	95	3	3	4	2	2	14
3214	Hankasalmi	1164	15	61	6	1	12	95	3	4	3	1	3	14
3232	Pieksämäki	1164	11	116	4	0	3	134	3	4	3	0	2	12
3234	Varkaus	1164	20	103	9	3	20	155	3	3	4	1	2	13
4212	Savonranta	1164	2	36	59	2	9	108	1	4	6	1	1	13
4214	Rääkkylä	1164	2	158	147	5	0	312	2	4	5	4	0	15
4232	Tohmajärvi	1164	26	84	205	1	2	318	4	5	5	1	1	16
1241	Kaskinen	1154	4	0	13	8	1	26	1	0	2	2	1	6
1243	Kauhajoki	1154	15	5	42	14	3	79	2	1	3	1	1	8
2221	Jalasjärvi	1154	2	2	28	0	1	33	1	1	2	0	1	5
2223	Alavus	1154	21	0	73	2	1	99	1	0	5	1	1	9
2241	Ähtäri	1154	23	8	49	20	0	100	2	2	5	3	0	12
2243	Multia	1154	11	24	36	21	0	92	1	4	4	1	0	10
3221	Äänekoski	1154	21	44	13	33	11	122	3	4	4	2	1	14
3223	Rautalampi	1154	17	39	26	16	4	102	3	3	2	2	2	12
3241	Suonenjoki	1154	24	62	10	2	3	101	2	3	5	1	1	12
3243	Leppävirta	1154	28	116	29	4	2	179	3	3	3	2	1	12
4221	Heinävesi	1154	3	198	81	2	2	286	3	3	6	1	1	14
4223	Joensuu	1154	0	89	188	0	3	280	0	5	5	0	1	11
4241	Kiiht.v.	1154	44	141	224	0	0	409	3	4	4	0	0	11
4243	Petkelj.	1154	14	33	178	11	0	236	2	2	5	3	0	12

1242	Korsnäs	1143	4	0	36	5	0	45	2	0	3	1	0	6
1244	Jurva	1143	31	3	63	29	5	131	3	2	3	1	1	10
2222	Seinäajoki	1143	8	6	19	10	2	45	2	2	4	1	1	10
2224	Kuortane	1143	12	1	139	3	1	157	2	1	5	2	1	12
2242	Soini	1143	8	1	111	4	1	126	2	1	5	2	1	12
2244	Saarijärvi	1143	17	5	195	12	2	231	3	2	3	2	1	11
3222	Keitele	1143	4	22	127	30	2	185	3	4	3	1	2	13
3224	Karttula	1143	7	19	71	27	6	130	4	3	4	4	1	16
3242	Kuopio	1143	31	79	56	11	0	177	5	3	4	1	0	13
3244	Vehmers.	1143	22	173	50	2	0	247	4	2	5	2	0	13
4222	Outokumpu	1143	5	167	124	3	1	300	2	4	7	2	1	16
4224	Kontiol.	1143	5	142	114	8	1	270	1	6	7	2	1	17
4242	Eno	1143	23	64	92	19	2	200	3	4	3	3	2	15
4244	Ilomantsi	1143	28	49	173	17	0	267	2	3	5	3	0	13
1331	Vaasa	1133	12	1	7	13	0	33	3	1	3	1	0	8
1333	Laihia	1133	21	2	53	8	0	84	3	2	3	1	0	9
2311	Kauhava	1133	19	13	105	6	0	143	3	2	7	3	0	15
2313	Alajärvi	1133	9	7	147	3	1	167	3	2	5	2	1	13
2331	Kyyjärvi	1133	1	18	71	11	7	108	1	2	4	3	1	11
2333	Kivijärvi	1133	11	4	89	4	0	108	3	2	3	2	0	10
3311	Viitas.	1133	30	15	261	10	2	318	4	3	2	3	1	13
3313	Vesanto	1133	15	44	137	26	0	222	2	4	3	4	0	13
3331	Siilinj.	1133	54	87	43	38	0	222	4	4	4	3	0	15
3333	Juankoski	1133	30	179	83	25	0	317	4	3	4	3	0	14
4311	Sivakkav.	1133	10	199	156	32	0	397	2	4	6	3	0	15
4313	Koli	1133	16	39	190	80	0	325	2	3	6	3	0	14
4331	Koitere	1133	41	19	138	45	0	243	1	4	6	3	0	14
4333	Naarva	1133	13	39	126	29	0	207	5	3	7	2	0	17
1332	Raippal.	1122	1	0	6	20	1	28	1	0	1	2	1	5
1334	Oravainen	1122	23	2	35	11	0	71	2	1	2	1	0	6
2312	Alahärmä	1122	16	9	121	19	1	166	2	2	3	1	1	9
2314	Evijärvi	1122	10	17	134	6	1	168	4	2	5	2	1	14
2332	Perho	1122	7	45	129	19	2	202	3	3	4	1	1	12
2334	Kinnula	1122	10	28	60	8	0	106	2	4	3	4	0	13
3312	Pihtipudas	1122	23	32	118	20	1	194	2	4	1	3	1	11
3314	Pielavesi	1122	8	50	142	20	0	220	4	5	3	2	0	14
3332	Lapinlahti	1122	71	87	55	28	0	241	3	5	3	2	0	13
3334	Nilsinä	1122	33	137	75	38	0	283	3	4	6	3	0	16
4312	Yläluosta	1122	37	126	181	16	0	360	3	4	7	2	0	16
4314	Juuka	1122	13	13	120	67	0	213	2	2	4	4	0	12
4332	Liekka	1122	24	7	85	44	0	160	5	2	6	2	0	15
1343	Vexala	1112	0	0	2	19	1	22	0	0	2	1	1	4
2321	Pietars.	1112	18	2	93	19	0	132	2	1	2	3	0	8
2323	Kaustinen	1112	6	16	222	8	1	253	3	2	2	5	1	13
2341	Lestijärvi	1112	2	6	68	14	14	104	2	2	4	1	1	10
2343	Reisjärvi	1112	29	21	39	29	3	121	2	4	4	3	1	14
3321	Pyhäjärvi	1112	36	51	24	35	1	147	2	5	2	3	1	13
3323	Kiuruvesi	1112	25	32	33	64	0	154	4	2	3	4	0	13
3341	Iisalmi	1112	54	43	75	59	0	231	3	3	5	3	0	14
3343	Rautavaara	1112	12	51	111	25	0	199	4	4	6	2	0	16
4321	Nurmes	1112	20	31	142	11	0	204	4	4	6	1	0	15
4323	Savijärvi	1112	13	17	79	11	0	120	5	4	7	3	0	19
2322	Kokkola	1101	0	2	24	3	0	29	0	1	2	1	0	4
2324	Kannus	1101	5	2	133	38	0	178	3	1	2	5	0	11
2342	Sievi	1101	7	9	66	15	4	101	1	2	3	3	1	10
2344	Nivala	1101	23	9	65	14	1	112	1	4	4	2	1	12
3322	Kärsämäki	1101	29	42	162	13	0	246	4	5	4	3	0	16
3324	Lapinsalo	1101	30	32	48	94	0	204	3	3	5	5	0	16
3342	Vieremä	1101	31	55	65	44	0	195	3	3	6	3	0	15
3344	Pirttimäki	1101	4	131	59	11	0	205	3	3	6	2	0	14

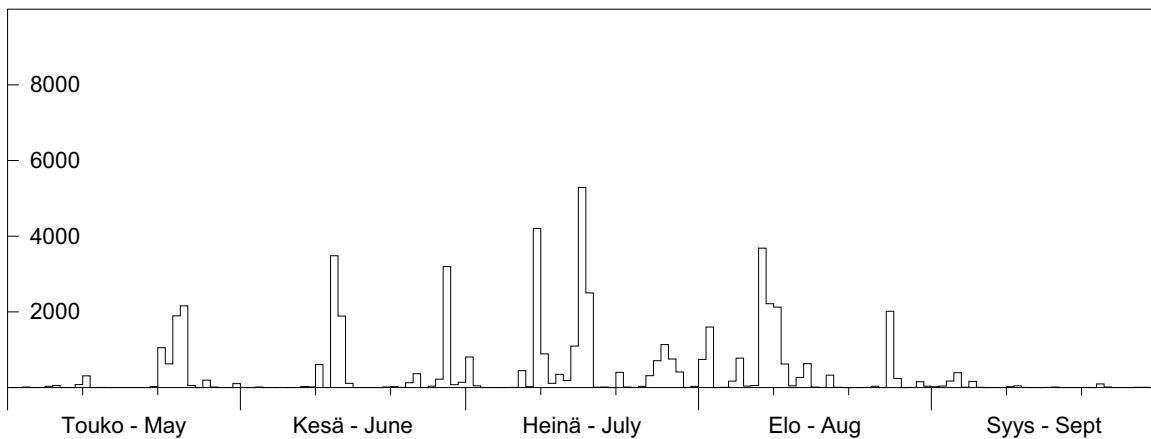
4322	Hiidenp.	1101	14	16	24	2	0	56	3	3	4	2	0	12
4324	Mujejärvi	1101	16	13	29	0	0	58	2	4	5	0	0	11
4342	Ulvinsalo	1101	13	3	55	2	0	73	2	2	5	1	0	10
2413	Kalajoki	1091	2	2	7	33	4	48	2	2	2	4	1	11
2431	Ylivieska	1091	8	1	45	36	3	93	3	1	3	4	1	12
2433	Haapavesi	1091	65	7	109	32	0	213	4	3	4	3	0	14
3411	Piippola	1091	42	65	140	58	0	305	4	5	6	4	0	19
3413	Pyhäntä	1091	40	29	51	30	0	150	5	5	6	6	0	22
3431	Kajaani	1091	8	135	61	15	0	219	4	4	7	2	0	17
3433	Sotkamo	1091	16	32	102	10	0	160	4	4	5	3	0	16
4411	Katerma	1091	10	52	16	2	0	80	3	4	3	2	0	12
4413	Kuhmo	1091	5	7	28	4	0	48	3	2	5	2	0	13
4431	Kotajärvi	1091	13	3	37	1	0	55	2	1	4	1	0	9
2432	Pyhäjoki	1080	13	2	33	56	17	121	4	2	5	3	1	15
2434	Vihanti	1080	61	14	142	95	1	313	4	4	4	3	1	16
3412	Rantsila	1080	11	32	128	63	0	234	4	3	6	5	0	18
3414	Kestilä	1080	38	87	191	12	0	328	5	4	7	3	0	19
3432	Oulujärvi	1080	16	85	97	14	0	212	3	3	8	5	0	19
3434	Ristijärvi	1080	31	27	170	22	0	250	5	3	7	4	0	19
4412	Hirsijärvi	1080	12	33	42	24	0	111	2	2	6	2	0	12
4414	Lentiira	1080	2	8	61	5	0	76	2	2	6	3	0	13
2441	Raahe	1069	4	1	30	23	62	120	1	1	3	5	1	11
2443	Ruukki	1069	18	11	87	28	0	144	5	3	2	6	0	16
3421	Tyrnävä	1069	7	66	92	25	1	191	3	3	6	5	1	18
3423	Utajärvi	1069	22	129	78	5	0	234	5	2	5	3	0	15
3441	Puokiov.	1069	31	34	58	23	0	146	5	3	5	3	0	16
3443	Paljakka	1069	35	44	73	5	0	157	5	3	7	2	0	17
4421	Hyrnsalmi	1069	10	29	62	5	0	106	5	4	7	3	0	19
4423	Alavuokki	1069	24	9	44	4	0	81	4	3	6	2	0	15
2444	Oulu	1059	4	5	29	80	9	127	3	3	4	6	2	18
3422	Ylikiim.	1059	21	25	55	57	1	159	5	3	6	5	1	20
3424	Sanginkylä	1059	63	116	198	27	0	404	4	2	5	2	0	13
3442	Puolanka	1059	51	54	91	30	0	226	3	4	6	3	0	16
3444	Joukokylä	1059	32	28	54	19	0	133	5	4	6	2	0	17
4422	Suomuss.	1059	14	28	57	4	0	103	4	2	5	2	0	13
4424	Kianta	1059	14	32	54	2	0	102	3	2	7	1	0	13
2533	Haukipudas	1048	7	21	55	29	32	144	2	3	3	4	3	15
3511	Kiiminki	1048	51	53	99	47	1	251	4	3	4	4	1	16
3513	Kipinä	1048	53	30	120	22	0	225	2	3	5	2	0	12
3531	Jonku	1048	48	21	64	39	0	172	7	4	5	2	0	18
3533	Siikavaara	1048	39	26	59	13	0	137	5	5	5	2	0	17
4511	Piispaj.	1048	32	28	49	7	0	116	4	1	6	3	0	14
4513	Anttila	1048	27	16	63	19	0	125	4	2	6	3	0	15
2534	Kuivaniemi	1037	10	0	101	14	52	177	3	0	4	5	1	13
3512	Yli-Ii	1037	21	9	90	17	1	138	4	3	5	6	1	19
3514	Pudasjärvi	1037	95	3	248	30	0	376	5	2	5	4	0	16
3532	Iinattij.	1037	24	23	54	121	1	223	5	3	6	1	1	16
3534	Taivalk.	1037	15	28	36	33	0	112	5	2	5	1	0	13
4512	Jokijärvi	1037	14	29	49	32	1	125	2	2	4	4	1	13
4514	Hossa	1037	11	10	18	54	3	96	4	3	5	5	1	18
2541	Kemi	1027	26	0	59	27	8	121	2	0	4	5	1	13
2543	Simo	1027	30	0	208	12	28	278	2	0	4	3	1	10
3521	Oijärvi	1027	33	0	149	4	8	194	3	0	5	2	1	11
3523	Haarahilt.	1027	61	7	123	12	4	207	5	3	3	2	2	15
3541	Rytinki	1027	9	13	23	37	0	82	5	2	4	2	0	13
3543	Loukusa	1027	11	26	18	59	0	114	4	2	4	3	0	13
4521	Kuolio	1027	21	37	28	50	0	136	5	3	4	3	0	15
4523	Poussu	1027	11	12	4	64	0	91	3	3	3	4	0	13
2542	Karunki	1016	13	0	202	129	5	349	2	0	4	5	1	12
2544	Runkaus	1016	21	18	459	32	16	546	3	1	4	3	1	12

3522	Rov.aho	1016	32	9	189	33	15	278	3	3	4	4	1	15
3524	Ranua	1016	42	3	122	4	1	172	4	2	5	2	1	14
3542	Simojärvi	1016	8	37	86	42	1	174	4	3	4	3	1	15
3544	Posio	1016	18	36	35	27	0	116	4	4	3	3	0	14
4522	Vasaraperä	1016	9	22	21	61	0	113	3	2	3	5	0	13
4524	Kuusamo	1016	7	17	14	67	0	105	5	3	2	4	0	14
2613	Ylitornio	1005	5	5	14	239	0	263	1	2	4	7	0	14
2631	Törmäsij.	1005	14	7	226	283	1	531	2	4	4	7	1	18
2633	Muurola	1005	12	8	302	256	4	582	1	1	4	4	1	11
3611	Inginkiv.	1005	59	1	80	238	1	379	3	1	5	5	1	15
3613	Vanttausk.	1005	26	2	95	181	0	304	3	1	4	4	0	12
3631	Pirttik.	1005	7	23	66	122	1	219	2	3	4	3	1	13
3633	Perä-Posio	1005	11	32	67	108	0	218	2	1	4	2	0	9
4611	Kitka	1005	6	12	35	111	0	164	3	3	4	5	0	15
4613	Ruka	1005	12	9	22	107	0	150	2	3	4	5	0	14
2614	Turtola	994	19	6	37	172	1	235	1	4	3	3	1	12
2632	Meltosij.	994	41	18	137	149	1	346	2	4	3	5	1	15
2634	Sinettä	994	16	4	172	177	0	369	3	3	4	5	0	15
3612	Rovaniemi	994	59	1	59	128	0	247	2	1	5	5	0	13
3614	Misi	994	13	0	88	126	0	227	2	0	5	3	0	10
3632	Luusua	994	11	16	42	50	3	122	4	2	4	2	2	14
3634	Karhujärvi	994	5	10	68	50	7	140	2	1	4	1	2	10
4612	Aholanv.	994	32	15	74	35	0	156	3	2	4	4	0	13
2623	(Pello)	983	20	14	17	71	0	122	1	4	2	5	0	12
2641	Pello	983	59	5	73	83	0	220	1	3	3	8	0	15
2643	Meltaus	983	36	1	185	66	0	288	3	1	3	5	0	12
3621	Perunkaj.	983	51	0	81	99	0	231	5	0	4	5	0	14
3623	Nampa	983	53	1	39	227	0	320	5	1	4	4	0	14
3641	Kemijärvi	983	27	13	74	61	2	177	4	2	3	5	1	15
3643	Kursu	983	21	22	41	85	4	173	4	2	3	5	1	15
4621	Salla	983	15	10	70	93	9	197	4	2	6	8	2	22
2624	Sieppij.	973	30	11	57	24	0	122	2	5	3	6	0	16
2642	Pasmajärvi	973	35	6	60	48	1	150	2	4	3	3	1	13
2644	Lohiniva	973	94	4	94	77	0	269	3	3	2	4	0	12
3622	Unari	973	51	1	59	106	0	217	4	1	1	3	0	9
3624	Luosto	973	52	9	37	104	0	202	5	2	3	3	0	13
3642	Pelkosenn.	973	31	37	142	40	6	256	5	2	3	4	1	15
3644	Ahvonselkä	973	18	9	5	47	0	79	4	3	2	5	0	14
4622	Saija	973	27	2	1	125	1	156	4	1	1	4	1	11
2713	Kolari	962	54	26	66	108	0	254	3	7	2	4	0	16
2731	Kurtakko	962	56	13	125	65	0	259	3	3	2	3	0	11
2733	Kaukonen	962	26	2	79	32	0	139	2	2	2	4	0	10
3711	Syväjärvi	962	27	18	92	35	0	172	2	5	2	4	0	13
3713	Sodankylä	962	28	37	27	116	0	208	3	3	3	4	0	13
3731	Kelujärvi	962	26	14	49	119	0	208	3	3	3	4	0	13
3733	Savukoski	962	44	9	3	112	0	168	2	3	1	5	0	11
4711	Maltiot.	962	7	4	0	69	0	80	4	1	0	5	0	10
4713	Sorsat.	962	3	7	1	129	1	141	2	1	1	4	1	9
2714	Kihlanki	951	48	43	38	49	0	178	2	3	3	4	0	12
2732	Ylläs	951	70	31	92	35	0	228	3	2	2	4	0	11
2734	Kittilä	951	27	29	53	53	0	162	4	2	2	4	0	12
3712	Tepsa	951	34	17	116	134	0	301	2	5	2	5	0	14
3714	Petkula	951	11	9	46	58	0	124	3	5	2	3	0	13
3732	Tanhua	951	36	4	9	64	0	113	3	2	2	3	0	10
3734	Seitajärvi	951	3	4	1	67	0	75	2	3	1	2	0	8
4712	Ruuvaoja	951	9	7	1	96	0	113	2	1	1	3	0	7
4714	Värriöt.	951	8	2	6	107	0	123	4	1	1	4	0	10
2723	Muonio	940	23	12	64	38	0	137	2	2	3	3	0	10
2741	Keimiöt.	940	13	4	68	42	1	128	3	2	4	5	1	15
2743	Kiistala	940	16	1	58	67	0	142	3	1	2	4	0	10

3721 Pomokaira	940	52	2	60	103	0	217	1	1	2	5	0	9
3723 Pomovaara	940	6	1	65	39	0	111	3	1	2	5	0	11
3741 Lokka	940	14	9	7	150	0	180	3	2	3	4	0	12
3743 Alaponku	940	47	4	9	173	0	233	4	2	1	4	0	11
4721 Naltiot.	940	41	2	8	30	0	81	4	1	1	3	0	9
4723 Nuorttit.	940	51	0	0	25	1	77	4	0	0	2	1	7
2724 Ounast.	929	23	2	31	20	1	77	2	2	2	3	1	10
2742 Raattama	929	16	0	64	34	0	114	2	0	3	4	0	9
2744 Pulju	929	12	2	34	92	0	140	3	2	2	6	0	13
3722 Pokka	929	25	1	34	117	1	178	2	1	3	7	1	14
3724 Porttip.	929	20	6	21	151	0	198	5	1	2	6	0	14
3742 Vuotso	929	18	4	5	51	0	78	2	1	1	5	0	9
3744 Sokosti	929	72	2	2	33	0	109	2	1	2	3	0	8
4722 Talkkunap.	929	53	4	3	37	0	97	4	2	1	5	0	12
1833 (Karesuv.)	918	0	6	6	24	10	46	0	2	2	4	1	9
1811 Kaaresuv.	918	0	7	20	8	0	35	0	4	1	2	0	7
2813 Enontekiö	918	18	2	15	30	9	74	1	1	2	3	1	8
2831 Peltovuoma	918	6	1	15	25	6	53	1	1	3	4	1	10
2833 Korsat.	918	9	4	8	59	0	80	1	3	2	4	0	10
3811 Jänispää	918	25	3	16	201	0	245	2	3	2	6	0	13
3813 Kuttura	918	3	3	26	150	0	182	2	2	4	5	0	13
3831 Saariselkä	918	0	7	4	47	0	58	0	2	2	5	0	9
3833 Raja-Joos.	918	3	0	11	36	0	50	1	0	1	4	0	6
1832 Ropi	907	0	0	5	0	0	5	0	0	1	0	0	1
1834 Tarju	907	0	2	48	22	5	77	0	1	3	2	1	7
2812 Urtivaara	907	0	1	4	17	0	22	0	1	1	3	0	5
2814 Jierstiv.	907	1	1	1	30	0	33	1	1	1	3	0	6
2832 Porrast.	907	0	1	5	91	1	98	0	1	1	3	1	6
2834 Kietsimä	907	2	4	10	192	4	212	1	2	2	5	1	11
3812 Lemmenjoki	907	1	7	9	89	3	109	1	1	4	4	1	11
3814 Menesjärvi	907	0	8	29	39	0	76	0	2	3	5	0	10
3832 Ivalo	907	0	1	9	31	0	41	0	1	2	2	0	5
3834 Sarmijärvi	907	3	6	9	8	0	26	1	2	1	2	0	6
1841 Kilpisj.	896	0	0	20	0	0	20	0	0	1	0	0	1
1843 Tsaibma	896	0	1	7	8	1	17	0	1	2	3	1	7
2821 Kautokeino	896	0	0	9	103	1	113	0	0	1	2	1	4
2823 Lavvuoaivi	896	0	4	5	94	0	103	0	1	1	2	0	4
2841	896	1	4	9	24	0	38	1	1	2	3	0	7
2843 Galmat	896	1	8	1	16	0	26	1	4	1	2	0	8
3821 Kaisavarri	896	5	10	4	10	0	29	1	1	1	2	0	5
3823 Palloaivi	896	0	6	37	13	0	56	0	1	2	3	0	6
3841 Inari	896	1	0	3	31	0	35	1	0	1	4	0	6
3843 Nellimä	896	0	0	0	59	0	59	0	0	0	3	0	3
3822 Muotka	885	3	2	3	7	0	15	1	2	1	2	0	6
3824 Peltot.	885	0	4	1	10	0	15	0	3	1	2	0	6
3842 Paksumaa	885	0	8	0	3	0	11	0	2	0	1	0	3
3844 Partakko	885	0	5	1	19	0	25	0	2	1	2	0	5
4822 Surnujärvi	885	0	0	0	28	0	28	0	0	0	2	0	2
3911 Outakoski	874	0	31	0	1	0	32	0	1	0	1	0	2
3913 Kuivi	874	0	3	1	8	0	12	0	1	1	1	0	3
3931 Mieras	874	0	1	1	3	0	5	0	1	1	1	0	3
3933 Iijärvi	874	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
4911 Sevettij.	874	3	1	1	6	0	11	1	1	1	2	0	5
3914 Kevo	863	0	1	0	4	0	5	0	1	0	1	0	2
3932 Utsjoki	863	0	0	0	7	0	7	0	0	0	1	0	1
3934 Kaldooaivi	863	0	1	2	5	0	8	0	1	2	1	0	4
Koko maa		6625	10374	19797	15828	1032	53667						



Kuva 5. Taulukosta 1 korjatut ukkospäiväluvut 2009.
 Fig. 5. Thunder day numbers corrected from Table 1 in 2009.



Kuva 6. Vuorokautiset paikannettujen salamoiden määrät Suomessa (kuvan 5 kartalla) 2009.
 Fig. 6. Daily numbers of located flashes in Finland (the area shown in Fig. 5) in 2009.

Taulukko 1 kattaa nimellisesti vain touko-syyskuun, vaikka merkittävää, tosin vähäistä salamointia esiintyy usein huhti- ja lokakuussa. Touko-syyskuun ulkopuoliset lukumäärät on sisällytetty kesän kokonaismääriin ja ovat siis mukana kuvissa 5 ja 7, mutta eivät kuvassa 6.

Taulukosta 1 lasketut koko kauden salamatiheydet (100 km² kohti) esitetään kuvassa 7. Päivittäiset paikannetut koko maan salamamäärät näkyvät kuvassa 6. Kuvassa 7 ovat lukumäärät pohjoisimmissakin ruuduissa luotettavia pohjoismaisten lisäanturien ansiosta. Liitteessä 3 on kuvaa 7 vastaava värikuva 10 km ruudukossa.

Hyvän herkkyuden ja suuren anturimäärän takia laitteisto paikantaa joskus olemattomia salamoita. Ne ovat yleensä vain kahden tai kolmen anturin havaitsemia. Useampi paikannettu salama samalla alueella merkitsee todellista ukkosta, jollaisesta ei mahdollisia harhoja voi yleensä erotella. Vain yksittäisiä paikannettuja salamoita, varsinkin epätodennäköisessä säätilanteessa, on tarkistettu tutkatiedon avulla. Harhoiksi todetutkin on kuitenkin säilytetty tiedostoissa, koska vaikutus ainakin salamatiheyteen on vähäinen (ks. kuitenkin liite 1). Vuonna 2009 on harhapaikannukset vältetty jokseenkin kokonaan tiukennettujen asetusten avulla.

Vuoden ensimmäiset varmat maasalamapaikannukset saatiin 20.3. Kuhmosta. Niihin liittyi myös rakennuspalo. Lappajärven eteläpuolella paikannettiin muutama salama 27.4. Selvemmin ukkoskausi käynnistyi toukokuun puolella. Toukokuun (kuva 1) salamamäärä 6600 on jonkin verran keskiarvon alapuolella. Kesäkuun (kuva 2) salamamäärä, noin 10 000, jäi suunnilleen neljännekseen keskiarvosta. Heinäkuun (kuva 3) määrä oli noin kaksinkertainen, lähes 20 000, mikä puolestaan on kolmasosa heinäkuun keskiarvosta. Elo-

Table 1 nominally covers only the period May-September, although there is often significant (but sparse) lightning in April and October. The numbers outside May-September are included in the totals. Thus, they are included in Figs. 5 and 7, but are not presented in Fig. 6.

The flash densities (per 100 km²) for the whole season, calculated from Table 1, are shown in Fig. 7. The daily numbers of located flashes in the whole country are seen in Fig. 6. The northernmost numbers in Fig. 7 are reliable because of the additional Nordic sensors. Appendix 3 shows a colour map of 10 km resolution corresponding to Fig. 7.

Because of the high sensitivity and great number of sensors, the system sometimes locates false lightning, generally detected by two or three sensors only. Several flashes in the same area mean a true thunderstorm, from which possible false flashes cannot usually be distinguished. Only single located flashes, especially in an improbable weather, have been checked against radar data. The found false flashes have, however, been retained in the files because their effect on at least the flash density is negligible (see, however, Appendix 1). In 2009, however, false flashes have been avoided almost totally with tighter rejection criteria.

The first unambiguous flash detections of the year were made on March 20 near the E border and were associated with a house fire. In the west, a few flashes were located on April 27. A clearer start for the season took place in May, the number of the flashes of the month being 6600 (Fig. 1), somewhat below the average. In June (Fig. 2), the number of flashes, about 10,000, remained at about one fourth of the average. The number of flashes in July (Fig. 3) was about double, almost 20,000 flashes, which is 1/3 of the average. The number

kuun (kuva 4) salamamäärä 16 000 on puolestaan 53 % keskiarvosta. Syyskuun (kuva 1) salamamäärä oli noin 1000. Vuoden kokonaismäärä vajaan 53 700 salamaa on noin 39 % keskiarvosta. Ukkospäiväluvun (kuva 5) keskimäärä 9,0 on myöskin alle keskitason.

3 Kesän 2009 tärkeimmät ukkosjaksot

Seuraavassa kuvaillaan pääpiirteissään ja melko luettelomaisesti runsaimpia ukkospäiviä paikannustulosten perusteella. Todennäköinen säätekijä (rintama tms.) mainitaan monissa tapauksissa. Kuvan 6 kahdeksan tärkeimmän jakson paikannetut salamat on piirretty kartalle kuvissa 8-15 (päiväys on merkitty muodossa kkpp, + on positiivinen salama). Karttojen yhteydessä annetaan koko kartta-alueen salamamäärät, mutta tekstissä lukumäärät tarkoittavat maan rajojen sisällä paikannettuja salamoita. "Salamajono" tarkoittaa tässä kartalle piirtyvää kuviota, jonka muodostavat peräkkäiset ja liikkuvat salamasolut. Yhden solun hetkellinen muoto on pikemminkin pyöreä kuin jonomainen. "Ukkonen" tarkoittaa tässä ukkosen esiintymistä yleensä eikä niinkään yksittäisiä soluja. Useina vuosina merkittävien ukkosjaksojen kuvia on riittänyt myös sivulle 26, mutta vuodelta 2009 sinne on sijoitettu kuva 16, jossa on maasalamosien (ensimmäisten osaiskujen) keskimääräinen paikannusvirhe (km).

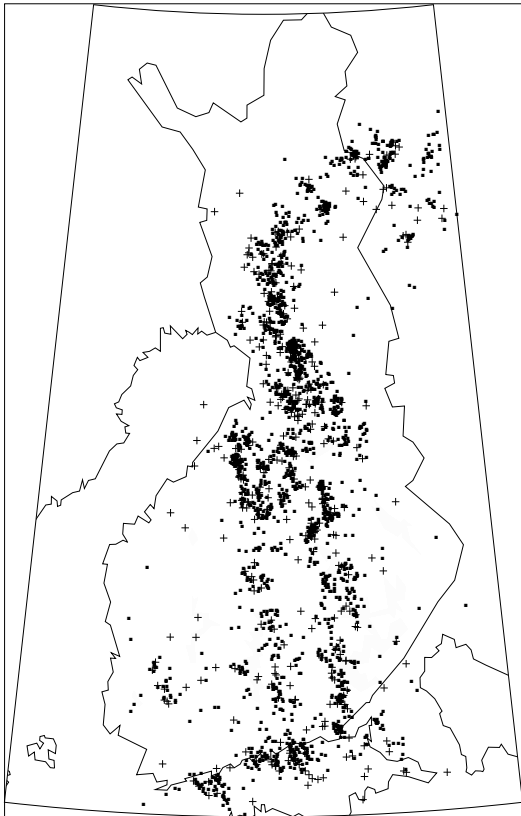
Ilmamassaukkosista (jotka eivät siis liity rintamiin) erotetaan tässä kolme lajia: lämpöukkonen, joka syntyy lämpimässä ilmamassassa; polaariukkonen, joka syntyy viileässä ilmamassassa; pintasolaukkonen (tai kuuronauhaukkonen), joka liittyy matalan paineen pintasolaan useimmiten kylmän rintaman etupuolella.

of flashes in August (Fig. 4), 16,000, is 53 % of the average. In September (Fig.1), the number of flashes was about 1,000. The total number of the season, almost 53,700 flashes, is about 39 % of the average. The mean of the thunder day number (Fig. 5), 9,0, is also below the average.

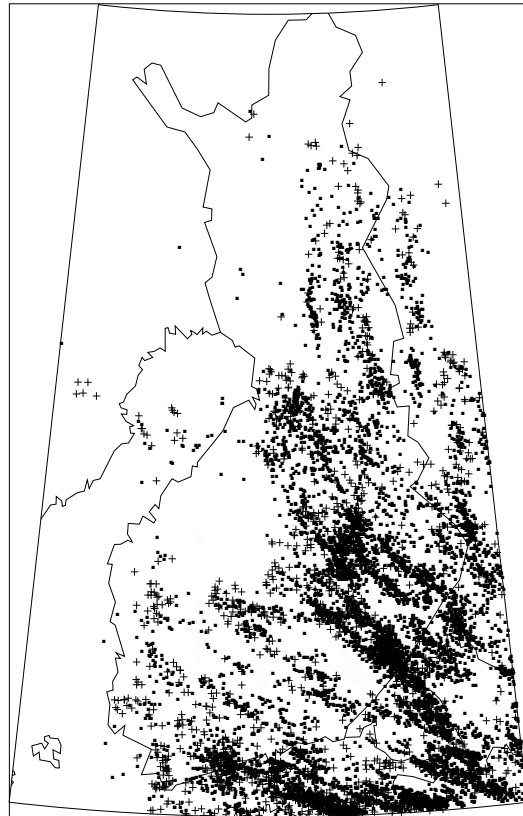
3 Main thunderstorm periods in summer 2009

A qualitative and cursory description of the most notable thunderstorms, based on the location data, is given below. The probable weather situation (front etc.) is mentioned in many cases. For the twelve most active periods in Fig. 6, the located flashes are shown in Figs. 8-19 (the date format is mmdd; + is a positive flash). Each map gives the number of flashes in the whole map area, but the text refers to those inside the country. Abbreviations C (centre), E (east), etc., refer to parts of the southern half of the country, and M (middle) is the "waist" between the southern half and Lapland. A "lightning trail" means a stretched cluster of flashes on a map, formed by successive and moving flash cells. The instantaneous shape of a cell is round rather than elongated. "(Thunder)storm" means here thundering activity in general rather than separate cells. For many years, significant thunderstorm periods have also been presented on page 26, but for 2009 the page shows Fig. 16, the mean location error (km) of the ground flashes (first strokes).

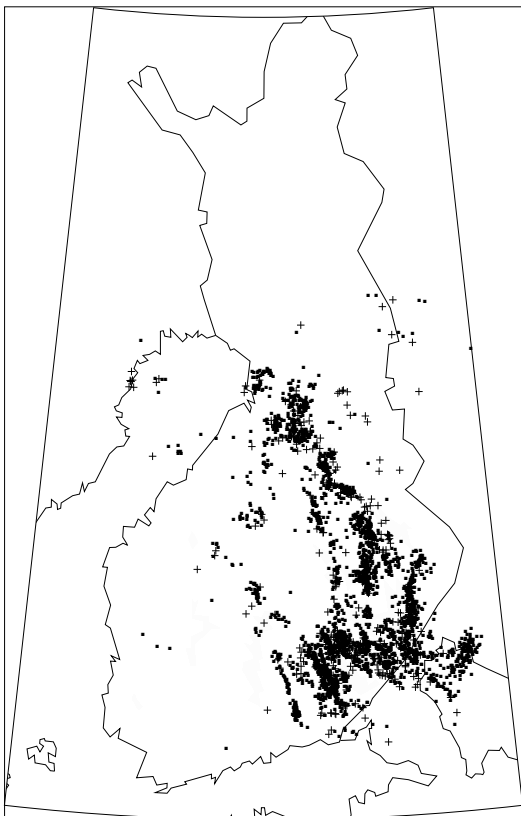
Air-mass thunderstorms (i.e., those not associated with fronts) are divided here into three types: warm-mass storm, developing in warm air mass; polar thunderstorm, developing in cool air mass; surface-trough storm (or squall-line storm), associated with a low-pressure surface trough, usually preceding a cold front.



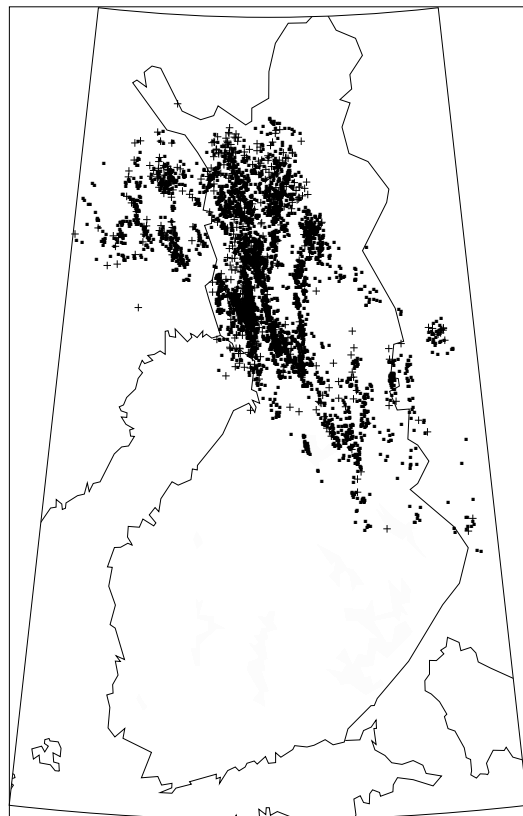
Kuva 8. Päivä 0524, 2459 salamaa.
 Fig. 8. Day 0524, 2459 flashes.



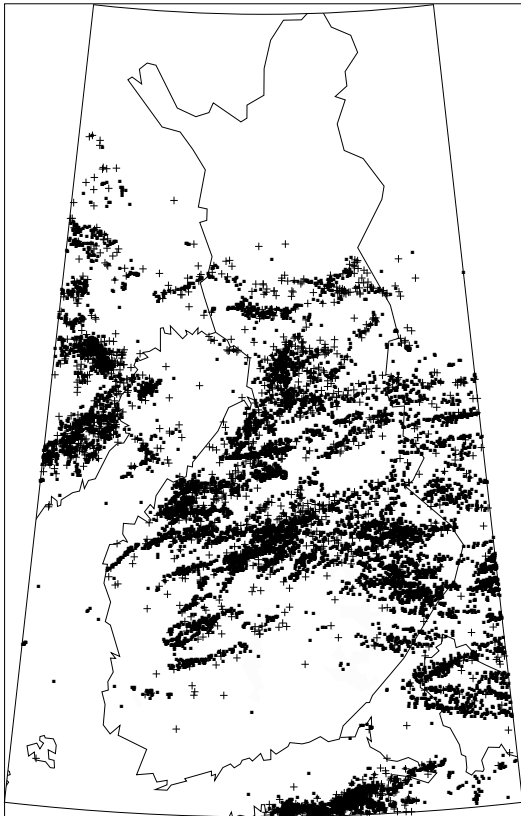
Kuva 9. Päivät 0613 - 0614, 10148 salamaa.
 Fig. 9. Days 0613 - 0614, 10148 flashes.



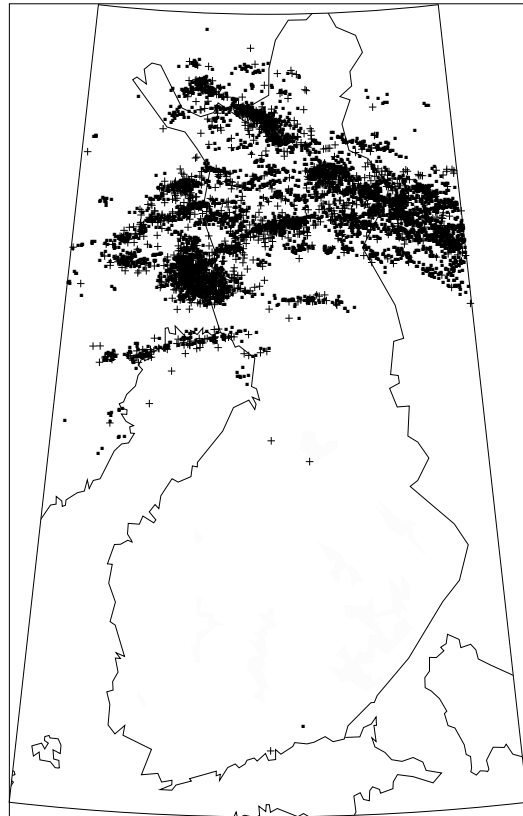
Kuva 10. Päivä 0628, 3479 salamaa.
 Fig. 10. Day 0628, 3479 flashes.



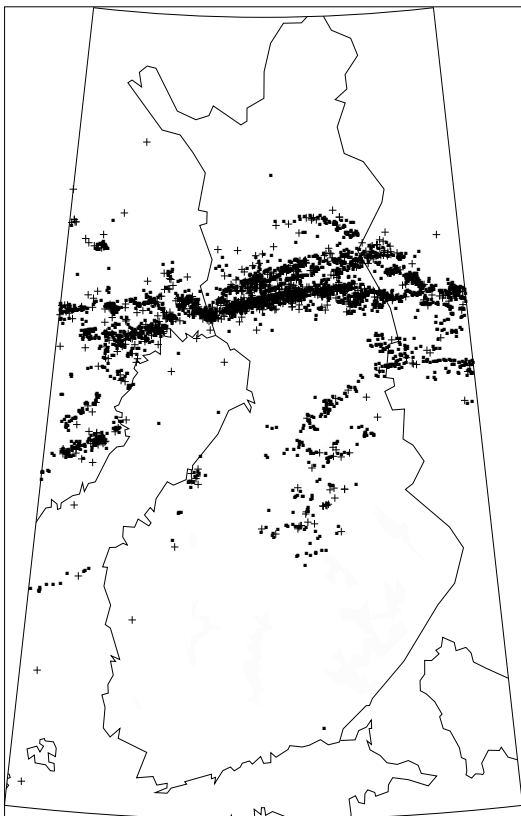
Kuva 11. Päivä 0710, 4839 salamaa.
 Fig. 11. Day 0710, 4839 flashes.



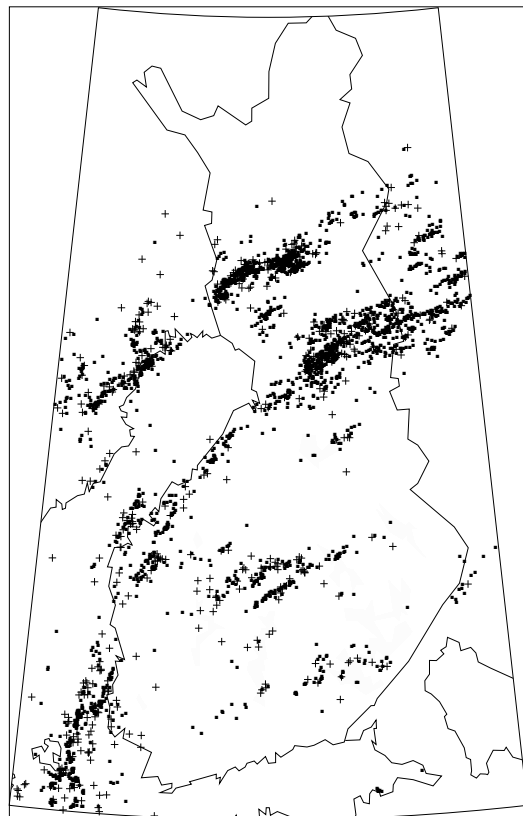
Kuva 12. Päivät 0716 - 0717, 13683 salamaa.
Fig. 12. Days 0716 - 0717, 13683 flashes.



Kuva 13. Päivä 0809, 6346 salamaa.
Fig. 13. Day 0809, 6346 flashes.



Kuva 14. Päivä 0810, 3790 salamaa.
Fig. 14. Day 0810, 3790 flashes.

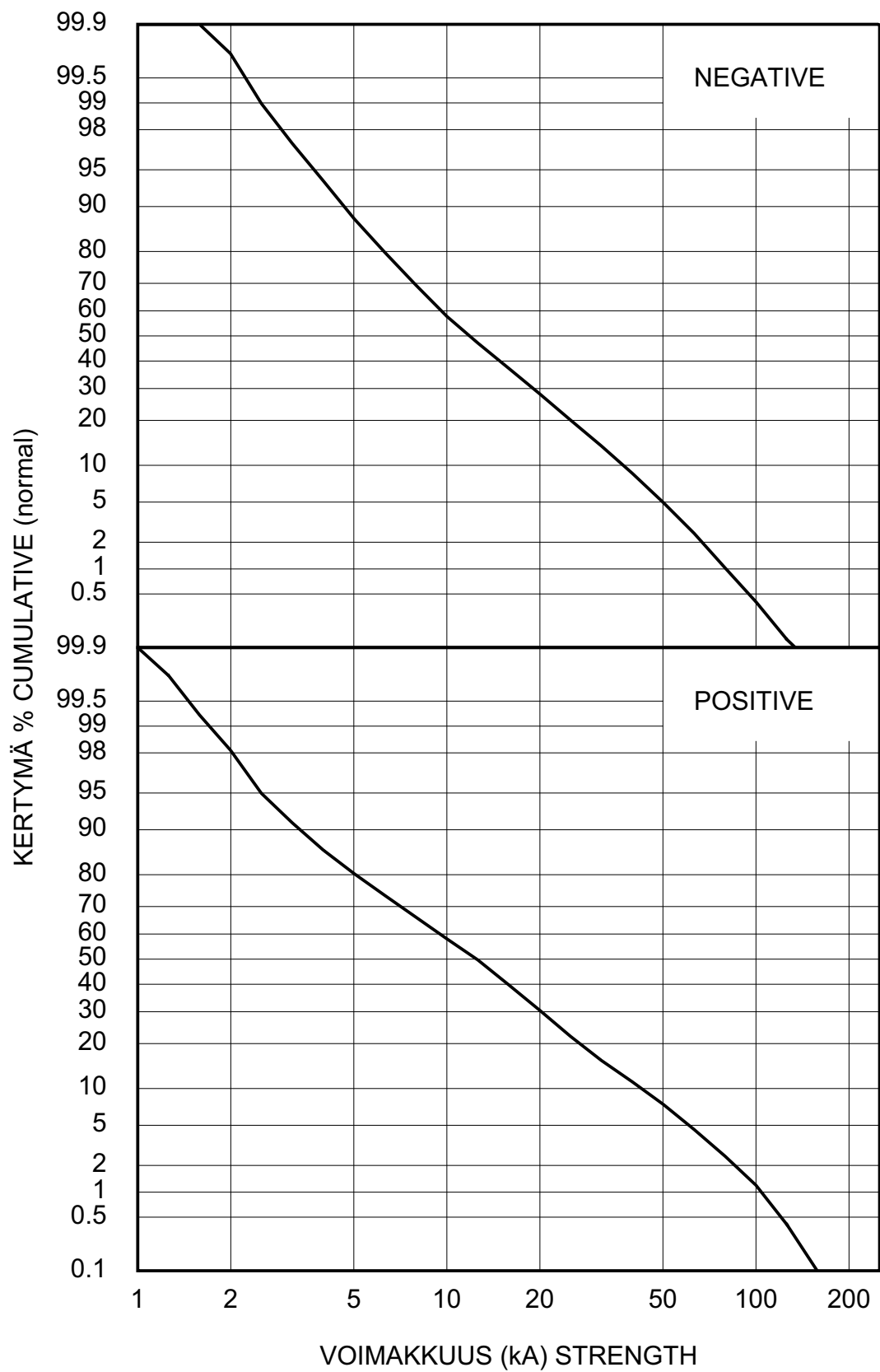


Kuva 15. Päivä 0811, 3004 salamaa.
Fig. 15. Day 0811, 3004 flashes.

				4.9	1.9	1.0	2.1	2.0	2.8	1.4	5.5	5.3	1.3	6.3	2.3	1.9	
				1.3	2.3	3.2	5.9	1.3	3.1	5.3	4.1	4.5	0.6	4.2	1.4	3.4	3.7
				9.1	4.7	2.3	2.0	2.5	1.7	4.9	5.9	5.4	2.4	3.0	3.3	3.8	3.5
2.1	3.9	2.6	4.5	2.8	1.5	1.6	3.8	5.8	7.2	8.0	1.5	2.1	5.3	5.2	3.5		
2.8	7.8	4.0	2.8	2.4	1.0	2.4	3.7	7.5	5.1	7.4	2.7	1.8	3.1	4.1	6.3		
7.3	2.9	6.0	2.6	3.3	3.5	3.3	4.3	6.4	5.3	2.4	3.0	3.4	2.1	2.1	4.5		
0.6	1.4	2.7	6.8	1.6	6.4	5.3	7.2	5.1	3.8	2.9	3.0	3.7	3.0	3.5	3.0		
2.2	2.4	2.4	3.1	4.7	2.2	4.7	4.3	5.0	3.6	3.5	5.8	3.2	3.4	1.8	1.9		
2.4	1.9	1.8	2.5	3.1	2.8	2.8	2.8	2.3	4.0	3.8	4.9	4.3	2.3	2.4	2.7		
3.0	3.0	3.1	3.7	3.9	2.8	2.8	3.0	3.1	3.1	3.0	2.4	5.1	4.1	2.8	2.5		
1.9	3.8	3.7	2.9	4.1	3.6	3.3	3.1	3.1	3.3	2.3	4.9	3.5	4.7	2.8	2.7		
1.8	3.5	2.9	3.8	3.6	5.4	2.7	2.8	3.2	3.0	2.8	2.7	5.0	4.0	2.9	3.6		
3.7	3.6	3.7	4.2	5.0	6.3	2.1	2.5	3.8	2.7	3.5	4.2	4.3	4.4	3.4	1.9		
1.4	3.3	2.9	3.3	5.2	6.5	2.6	2.3	2.6	2.1	3.3	3.4	5.0	4.3	4.0	2.2		
2.0	2.4	3.7	4.4	5.2	3.8	2.2	1.8	2.3	2.3	3.0	3.7	4.6	6.2	5.5	2.7		
2.6	4.7	3.6	6.2	5.2	2.9	5.5	2.9	2.2	2.2	3.5	4.4	4.9	4.9	3.5	2.9		
3.5	6.0	3.3	3.1	2.2	2.8	4.6	2.8	3.6	1.8	2.6	2.8	2.9	4.3	2.9	2.4		
4.8	4.5	3.2	4.7	1.7	4.3	3.2	3.1	3.0	1.9	2.2	2.4	2.5	3.4	3.8	4.7		
2.9	3.2	4.7	1.8	3.9	3.8	1.9	3.0	4.8	2.0	2.0	2.8	2.8	4.9	5.0	3.9		
2.4	3.2	2.1	1.9	3.1	3.6	2.7	2.8	3.2	1.9	1.9	2.3	2.2	4.1	5.8	5.3		
1.6	1.5	1.9	2.1	2.6	4.4	3.4	2.6	2.6	1.5	1.3	2.0	2.4	5.3	4.5	6.1		
1.3	1.6	2.6	1.9	4.2	5.3	3.0	2.3	1.8	1.6	1.5	1.8	2.7	5.5	4.3	4.2		
1.9	2.2	0.5	2.4	2.9	3.3	3.6	2.8	1.3	2.3	2.4	1.4	3.5	6.0	6.9	6.6		
1.7	8.1	0.9	4.4	2.9	2.6	3.6	3.3	2.9	2.4	2.2	2.4	3.3	4.8	5.5	5.8		
6.9	0.5	1.1	2.5	2.5	2.9	2.6	3.2	2.4	1.9	2.4	3.4	3.0	3.9	6.1	7.2		
5.5	1.6	1.8	1.8	2.7	3.6	4.1	2.4	1.5	1.5	2.7	4.0	2.7	3.6	5.3	7.5		
9.3	3.1	0.9	1.8	2.3	2.7	2.5	2.1	1.8	1.3	3.2	3.8	3.2	3.0	5.0	5.9		
6.9	0.5	2.4	2.3	2.1	2.2	2.1	2.8	2.4	1.9	3.2	2.5	2.5	3.1	4.4	5.8		
	0.6	1.3	2.2	1.6	1.3	2.7	1.6	2.8	1.5	2.1	2.1	2.8	4.3	5.3	6.1		
7.5	6.0	1.8	1.3	0.8	1.5	1.5	2.1	2.0	2.6	2.0	2.6	3.8	5.1	5.7	5.6		
6.0	4.5	1.4	1.9	3.2	1.2	1.3	1.9	1.4	1.5	1.6	3.4	4.0	5.3	6.3	7.2		
0.5	7.9	1.7	1.8	3.6	1.2	1.8	1.5	1.4	1.5	1.4	2.4	4.2	5.2	6.0	5.7		
0.9	2.3	2.0	1.5	2.1	3.1	2.7	1.4	1.1	1.7	1.2	1.1	2.6	5.0	5.2	4.7		
5.9	1.7	1.5	1.9	2.7	2.8	2.2	1.5	1.2	1.1	1.5	1.6	1.9	2.9	3.5	2.8		
3.7	1.2	2.2	1.8	3.1	3.8	2.9	1.0	0.8	1.5	2.3	1.2	1.6	2.4	2.6	2.4		
3.2	0.9	2.2	2.2	1.8	2.8	1.2	1.8	1.1	1.8	2.7	1.3	2.9	2.5	2.8	2.2		
2.4	1.1	4.5	1.4	2.8	2.1	1.5	2.0	1.2	1.4	1.8	1.9	1.4	2.2	3.1	2.8		
1.8	1.3	3.6	2.5	1.7	1.6	2.0	2.2	1.5	1.3	1.7	1.9	1.7	2.3	4.8	4.3		

Kuva 16. Keskimääräiset paikannusvirheet 2009 (km). Ruutujen keskiarvo on 2.9 km ja mediaani 0.8 km.

Fig. 16. Mean location errors in 2009 (km). The mean value is 2.9 km and median 0.8 km.



Kuva 17. Voimakkuuksien (kA) kertymäjakautumat: osuus (%) jolla arvo ylitetään.
 Fig. 17. Cumulative distributions of strengths (kA): percentage of value exceeded.

Seuraava tekstiosuus on luettavuuden helpottamiseksi otsikoitu kuukausittain, ja kuukauden päivä lihavoituna (**pp**) aloittaa aina uuden kappaleen.

Toukokuu

- 11** (300 salamaa). Hajanaisia polaariukkosia Etelä-Suomessa.
21 (1050 salamaa). Hajanaisia polaariukkosia lähes koko maassa.
22 (640 salamaa). Hajanaisia polaariukkosia keski- ja pohjoisosissa.
23 (1900 salamaa). Runsaita polaariukkosia Lapissa ja okluusiorintaman ukkosta lounaassa.
24 (2100 salamaa, kuva 8). Polaariukkosia maan halki Keski-Lapista etelärannikolle.
27 (190 salamaa). Ilmamassaukkosia lähinnä Pohjois-Savossa.

Kesäkuu

- 11** (600 salamaa). Polaariukkosia maan keskiosassa.
13-14 (3330 + 1940 salamaa, kuva 9). Pintasolaukkosta kaakosta, hiipui keskiyön jälkeen lännessä ja jatkui idässä.
24 (380 salamaa). Kylmän pisaran polaariukkosia maan keski- ja itäosissa.
27 (210 salamaa). Stationaaririntaman ukkosia Lapissa.
28 (3140 salamaa, kuva 10). Kylmän rintaman ukkosia maan keskiosasta kaakkoon. Pohjois-Savossa syöksyvirtaukset ja supersolu aiheuttivat tuhoja.

Heinäkuu

- 01** (840 salamaa). Lämpöukkosia maan keski- ja itäosassa.
08 (440 salamaa). Okluusiorintaman ukkosta Etelä-Lapissa ja lämpöukkosia lounaiskolkassa.
10 (4160 salamaa, kuva 11). Raju okluusiorintaman ukkonen Länsi-Lapissa.
11 (900 salamaa). Polaariukkosia länsirannikolla ja Hämeessä.
13 (340 salamaa). Polaariukkosia Lapissa ja kylmän rintaman ukkosta

To facilitate reading, the following text part has headings according to the months, and the month's day in boldface (**dd**) starts a new paragraph.

May

- 11** (330 flashes). Scattered polar thunderstorms in the south.
21 (1050 flashes). Scattered polar thunderstorms almost everywhere.
22 (640 flashes). Scattered polar thunderstorms in C and Lapland.
23 (1900 flashes). Abundant polar thunderstorms in Lapland and occluded-front thunderstorms in SW.
24 (2100 flashes, Fig 8). Polar thunderstorms through the country from C Lapland to S coast.
27 (190 flashes). Air-mass thunderstorms mainly in NE.

June

- 11** (600 flashes). Polar thunderstorms in the C part.
13-14 (3330 + 1940 flashes, Fig. 9). Squall-line thunderstorms from SE, dissipated after midnight in W and continued in E.
24 (380 flashes). Cold-drop polar thunderstorms in C and E.
27 (210 flashes). Stationary-front thunderstorms in Lapland.
28 (3140 flashes, Fig. 10). Cold-front thunderstorms from C to SE. In the east, downbursts and a supercell caused severe damage.

July

- 01** (840 flashes). Warm-mass thunderstorms in C and E.
08 (440 flashes). Occluded-front thunderstorms in S Lapland and warm-mass thunderstorms in SW.
10 (4160 flashes, Fig. 11). Violent occluded-front thunderstorm in W Lapland.
11 (900 flashes). Polar thunderstorms on the W coast and in C.
13 (340 flashes). Polar thunderstorm in Lapland and cold-front storm in SE.

kaakossa.

15 (1130 salamaa). Melko voimakasta stationaaririntaman ukkosta Etelä-Lapissa ja lämpöukkosia maan etelä- ja keskiosassa.

16-17 (5300 + 2500 salamaa, kuva 12). Melko voimakas pintasolaukkonen maan keskiosassa.

19 Voimakas ukkonen Baltiassa hipoi Suomen etelärannikkoa.

21 (400 salamaa). Lämpöukkosia Päijänteen seudulla.

25-26 (310 + 720 salamaa). Lämpöukkosia hieman pohjoisempana.

27 (1000 salamaa). Lämpöukkosta Länsi-Lapissa.

28 (760 salamaa). Stationaaririntaman ukkosta idässä.

29 (420 salamaa). Hajanaisia oklusiiorintaman ukkosia pitkin maata.

Elokuu

01 (780 salamaa). Oklusiiorintaman ukkosia maan keskiosassa ja lämpöukkosia lounaassa.

02 (1600 salamaa). Oklusiiorintaman ukkosia maan etelä- ja keskiosassa.

05 (180 salamaa). Hiukan ukkosia Lapissa ja etelärannikolla.

06 (740 salamaa). Polaariukkosta Lapissa.

09 (3000 salamaa, kuva 13). Voimakas lämpöukkonen Keski-Lapissa.

10 (2200 salamaa, kuva 14). Voimakas lämpöukkonen Etelä-Lapissa.

11 (2000 salamaa, kuva 15). Lämpö- ja rintamaukkosia maan eri puolilla.

12 (670 salamaa). Ukkosia maan keski- ja pohjoisosassa.

15 (600 salamaa). Polaariukkosta Lapissa.

18 (320 salamaa). Paikallinen ukkonen Lounais-Suomessa.

26 (1800 salamaa). Pintasolaukkonen etelärannikolla.

27 (230 salamaa). Edellisen päivän ukkosen jäänteitä eteläosissa.

30 (150 salamaa). Hiukan ukkosia etelässä ja keskiosissa.

15 (1130 flashes). Rather intense stationary-front thunderstorms in southern Lapland and warm-mass storms S and C parts.

16-17 (5300 + 2500 flashes, Fig. 12). Rather intense squall-line thunderstorm in the C part.

19 An intense thunderstorm in the Baltic countries grazed the S coast of Finland.

21 (400 flashes). Warm-mass storms in S.

25-26 (310 + 720 flashes). Warm-mass storms a little more to the north.

27 (1000 flashes). Warm-mass thunderstorm in W Lapland.

28 (760 flashes). Stationary-front thunderstorm in E.

29 (420 flashes). Scattered occluded-front storms along the country.

August

01 (780 flashes). Occluded-front thunderstorms in C and warm-mass storms in SW.

02 (1600 flashes). Occluded-front thunderstorms in S and C.

05 (180 flashes). Modest thunderstorms in Lapland and the S coast.

06 (740 flashes). Polar thunderstorm in Lapland.

09 (3000 flashes, Fig. 13). Violent warm-mass thunderstorm in C Lapland.

10 (2200 flashes, Fig. 14). Violent warm-mass thunderstorm in S Lapland.

11 (2000 flashes, Fig. 15). Warm-mass and frontal storms in various parts.

12 (670 flashes). Thunderstorms in C and N parts of the country.

15 (600 flashes). Polar thunderstorm in Lapland.

18 (320 flashes). Local thunderstorm in SW.

26 (1800 flashes). Squall-line thunderstorm in the southern coast.

27 (230 flashes). Yesterdays remnants in the southern parts.

30 (150 flashes). Modest thunderstorms in S and C.

Syyskuu

03 (150 salamaa). Hajanaista ukkosta etelässä.

04 (370 salamaa). Kohtalaisen voimakas ukkosalue Perämereltä Lappiin.

06 (160 flashes). Ukkosia Ahvenanmaalla ja Lounais-Suomessa.

23 (100 salamaa). Hajanaista ukkosta etelä-, länsi- ja itäosissa.

4 Salamoiden kerrannaisuudet ja voimakkuudet

Koska paikannin havaitsee salaman osaiskut erikseen, se käsittelee kokonaista salamaa toissijaisena suureena, joka saadaan ryhmittelemällä iskuja tiettyjen ehtojen puitteissa. Paikannusvirheiden takia samaan pisteeseen maassa osuvat iskut paikantuvat hieman eri kohtiin, mutta usein salaman eri iskut myös todella haarukoituvat ja voivat osua jopa kilometrien päähän toisistaan. Paikantimessa on etäisyysrajaksi asetettu 10 km. Paikkaeron lisäksi tärkeä on aikaero: peräkkäisille iskuille oletetaan enintään 0,5 sekuntia. Haarukoitumista on käsitelty aikaisemmassa vuosikirjassa (Salamahavainnot 1999).

Maasalamat ovat napaisuudeltaan negatiivisia tai positiivisia riippuen siitä, kumman merkkisestä pilven varausalueesta ne tuovat varausta. Negatiivinen päävaraus on pilven keskellä syntyvissä (lumi)rakeissa ja positiivinen pilven huipussa pienissä jääkiteissä. Jonkin verran positiivista varausta on myös aivan pilven alaosassa. Erinapaisten salamoiden purkausmekanismi on hieman erilainen, ja niinpä negatiivinen on usein moni-iskuinen kun taas positiivinen salama on useimmiten vain yksi-iskuinen. Osaiskujen lukumäärää salamassa sanotaan kerrannaisuudeksi. Salamissa esiintyy toisinaan kummankin

September

03 (150 flashes). Scattered lightning in the southern parts.

04 (370 flashes). Modest thunderstorm from the Gulf of Bothnia to Lapland.

06 (160 flashes). Weak thunderstorms in the Åland Islands and SW.

23 (100 flashes). Scattered lightning in S, W and E.

4 Flash multiplicities and strengths

Because the location system detects the strokes separately, it treats a whole flash as a secondary quantity, which is obtained by grouping strokes under certain conditions. Due to location errors, strokes to the same point at the ground are located slightly separated, but often different strokes of a flash indeed undergo forking and may hit at points several kilometres apart. In the location system, 10 km has been set as a limit for a flash. In addition to the strike-point separation, the interstroke interval is important: at most 0.5 s is assumed. Forking has been discussed in an earlier yearbook (Lightning Observations 1999).

Ground flashes are negative or positive depending on the polarity of their source region in the cloud. The main negative charge resides on graupel and hail particles in the middle of the cloud, and the main positive charge is carried by small ice crystals at the cloud top. There is also some positive charge near the lower edge of the cloud. The discharge mechanisms of negative and positive lightning are slightly different, and a negative flash is often multiple while a positive flash usually consists of only one stroke. The number of strokes in a flash is called the multiplicity. Sometimes, strokes of both polarities may

merkkisiä osaiskuja, jolloin napaisuuden määrää ensimmäinen osaisku.

Negatiivisten salamoiden kerrannaisuusjakautuma sisältää yleensä noin puolet yksinkertaisia eli yksi-iskuisia salamoita, kaksinkertaisia on neljäsosa jne. Vuonna 2009 oli yksi-iskuisia 58 % ja yli 10-kertaisia 0,1 %. Positiivisista salamoista 87 % oli yksinkertaisia.

Positiivisia salamoita havaittiin Suomen alueella 17,2 %; salamoiden keskimääräiset kerrannaisuudet olivat 1,8 (negat.) ja 1,2 (posit.).

Salaman voimakkuutta kuvataan osaiskun (pääsalaman) sähkövirran huippu-arvolla, yksikkönä kiloampeeri (kA). Paikannin laskee sen normittamalla anturien havaitsemat voimakkuudet 540 km etäisyydelle. Anturien herkkyys ja suuri lukumäärä saavat paikantimen havaitsemaan toisinaan runsaasti heikkoja iskuja, varsinkin positiivisia, sekä suoraan pilvisalamoiksi luokiteltuja. Heikkojen positiivisten määrää on jo vuonna 2006 vähennetty tiukemmilla asetuksilla. Nykyisellä keskusyksiköllä (elokuusta 2004 lähtien) pilvisalamoiksi luokitellut mutta maasalamanpaikannuksella havaitut salamat on karsittu maasalamatilastoista (liite 1).

Kuva 17 esittää negatiivisten ja positiivisten salamoiden (1. osaiskujen) voimakkuusjakautumat siten, että pystyasteikko on normaalijakautuman kertymä ja vaaka-asteikko on voimakkuus logaritmisena. 50 % negatiivisista salamoista ylittää 11,8 kA ja positiivisten mediaaniarvo on 12,5 kA. Negatiivisista salamoista 0,4 % ylitti voimakkuudeltaan (itseisarvo) 100 kA, positiivisista 1,2 %, yhteensä 0,5 % kaikista (negatiivisten lukumäärä oli luokkaa 200, positiivisten 130). Voimakkuuden 160 kA ylitti 12 negatiivista (0,02 %) ja 3 positiivista (0,02 %) salamaa, yhteensä 0,02 % kaikista salamoista.

occur in a flash; then the polarity of the flash refers to that of its first stroke.

In the multiplicity distribution of negative flashes, generally about 50 % are single-stroke, one fourth are two-stroke, etc. In 2009, the single-stroke fraction was 58 %, and multiplicity 10 was exceeded in 0.1 % of the cases. Of positive flashes, 87 % were single.

Within Finland, 17.2 % of the flashes were positive; the mean multiplicities were 1.8 (negative) and 1.2 (positive).

The strength of a lightning discharge is described as the peak electric current of the (return) stroke, in units of a kilo-ampere (kA). The system computes it by normalizing the signal strengths from the sensors at a distance of 540 km. The sensitivity and high number of the sensors make the system detect sometimes a lot of weak strokes, especially positive ones, and some directly interpreted as cloud flashes. The number of weak positive has already been reduced in 2006 by tighter settings. The flashes with cloud-flash interpretation by the present central unit (since August 2004) have been removed from the ground-flash statistics (Appendix 1).

Fig. 17 shows the peak-current distributions of negative and positive flashes (first strokes) so that the vertical scale is normal cumulative and the horizontal scale is logarithmic peak current. 50 % of negative flashes exceed 11.8 kA, and for positive flashes the median value is 12.5 kA. Of the negative flashes, 0.4 % exceeded the (absolute) value 100 kA; of the positive flashes, 1.2 %; together 0.5 % of all flashes (the numbers were around 200 [neg.] and 130 [pos.]). The peak current 160 kA was exceeded by 12 negative (0.02 %) and 3 positive (0.02 %) flashes, altogether 0.02 % of all flashes.

Negatiivisten salamoiden (eli ensimmäisten osaiskujen) keskiarvo on $-17,4$ kA ja positiivisten $18,7$ kA. Myöhempien osaiskujen keskivoimakkuus negatiivisilla salamoilla on $-10,7$ kA ja positiivisilla $16,0$ kA.

Paikantimen havaintotehokkuutta kuvaa, moniko anturi keskimäärin on mukana salaman paikannuksessa. Suomessa ja lähiympäristössä keskilukumäärä vuonna 2009 oli $6,0$ anturia.

5 Salama- ja iskutiheydet vuosina 1960 – 2009

Aikaisemmassa vuosikirjassa (Salama-havainnot 2001) esitettiin vuodesta 1960 lähtien kootut salamatiheyksien yhteenvedot $315\,000$ km² pinta-alalle, joka vastaa 5-aseamisen maasalamanpaikantimen havaintoaluetta vuosina 1998-2001. Vuodesta 2002 tehokas havaintoalue on käsittänyt koko maan, jolloin karttaruutujen yhteispinta-ala on $377\,000$ km². Jos vuoden 2009 keskihavaintotehokkuudeksi oletetaan 96% , lasketaan salamatiheys (100 km² kohti) jakamalla paikannettu salamamäärä luvulla 3619 . Salamatiheys, eikä salamoiden kokonaismäärä, säilyttää vertailukelpoisuuden niihin vuosiin, jolloin Lappi oli huonommin katettu.

Edellisessä vuosikirjassa (Salama-havainnot 2008, liite 2) tarkasteltiin havaintotehokkuuden laskemista ja sen arvioitua muuttumista vuosina 2000-2006. Tämän perusteella voitaisiin näille ja myös aikaisemmille vuosille laskea entistä tarkemmat salamatiheyskorjaukset. Toisaalta vuodesta 1960 alkavan tilastointijakson salamatiheydet sisältävät tähänastisissa korjauksissa sen verran epävarmuustekijöitä, että lisäkorjaus ei välttämättä tuo etua. Päinvastoin, vakiintuneet luvut ovat joka tapauksessa suuntaa-antavia ja tarjoavat

The mean peak current of the negative flashes (i.e. first strokes) is -17.4 kA, and for positive flashes it is 18.7 kA. The mean peak current of subsequent strokes is -10.7 kA for negative and 16.0 kA for positive.

The detection efficiency of the location system is characterized by the average number of sensors detecting a flash. In Finland and surroundings, the mean in 2009 was 6.0 sensors.

5 Flash and stroke densities in 1960 – 2009

In a previous report (Lightning Observations 2001) the summaries of flash densities since 1960 were given for an area of $315,000$ km², corresponding to the detection area of the 5-sensor location system in 1998-2001. Since 2002 the high-efficiency area has covered the whole country, for which the total map-square area is $377,000$ km². If the mean detection efficiency for 2009 is assumed 96% , the flash density (per 100 km²) is calculated by dividing the number of located flashes by 3619 . Flash density, calculated for the proper area, rather than the total number of flashes, preserves the comparability with the years when Lapland was worse covered.

In the previous report (Lightning Observations 2008, Appendix 2), we considered the calculation of the detection efficiency and its estimated change during 2000-2006. The result might be used to calculate better flash-density corrections for these years and also for earlier ones. On the other hand, the flash densities since 1960, the beginning of the flash-statistics period, contain uncertainties which may make the advantage of further corrections questionable. Rather, the established figures are in any case indicative and

hyödyllisen vertailupohjan, jos niitä ei muutella.

Vuosien 1960-2009 kuukausittaiset salamatiheydet sekä vuotuiset ukkospäiväluvut ovat taulukossa 2 (osaiskutiheys on nyt jätetty pois, se on 1,8 kertaa salamatiheys). Vuoden 2009 ukkospäiväluku 9,0 on kuvan 5 lukujen keskiarvo. Se on selvästi pitkäaikaisen keskiarvon (11,7) alapuolella.

Kuvassa 18 on salamanpaikantimen tulosten vuosikeskiarvo jaksolta 1998-2009. Ukkospäiväluvut on korjattu kuten kuvassa 5. Vuodesta 2000 lähtien salamatiheydet ovat korjaamattomia, aikaisemmat on kerrottu 1,34:llä. Edellisessä vuosikirjassa laskettuja havaintotehokkuuksia ei ole toistaiseksi tässä käytetty. Toisaalta maasalamaluvut ennen vuotta 2005 sisältävät tunnistamattomia pilvisalamoita, jotka näennäisesti parantavat havaintotehokkuutta. Pohjois-Lapin luvut ovat edelleen liian pieniä (samoin koko maan keskisalammäärä), koska sieltä on paikannettuja salamoita vain vuodesta 2002 lähtien; kuva 7 antaa sen osalta toistaiseksi paremman käsityksen. Liitteessä 3 on vastaava kartta 10 km x 10 km ruudukolla, tosin vain 5-värisellä asteikolla ilman ruutukohtaisia lukuja. Siinä on myös Lapin taso korjattu jättämällä ensimmäiset vuodet pois. Vuorokautiset keskiarvot kuvan 18 alaosassa ovat hyvin vaihtelevia, koska runsaimmat ukkoset osuvat eri vuosina yleensä eri päiville.

Useissa aikaisemmissa Salamahavainnoissa (1999, 2000, 2001, 2003) on tarkasteltu käsitettä "ukkosen voimakkuus". Vaikka rajuilmailla tuhoja aiheuttavat myös rankkasade ja voimakas tuuli, ukkosen kannalta luonteva ja selkeä voimakkuussuure on salamatiheys, jonka yksikkönä tässä käytetään (paikannettuja maa-)salamoita/100 km². Ukkoskautta kuvataan myös ilmoittamalla *poikkeuksellisen rajujen ukkosten*

provide a useful basis for comparisons if they are kept unchanged.

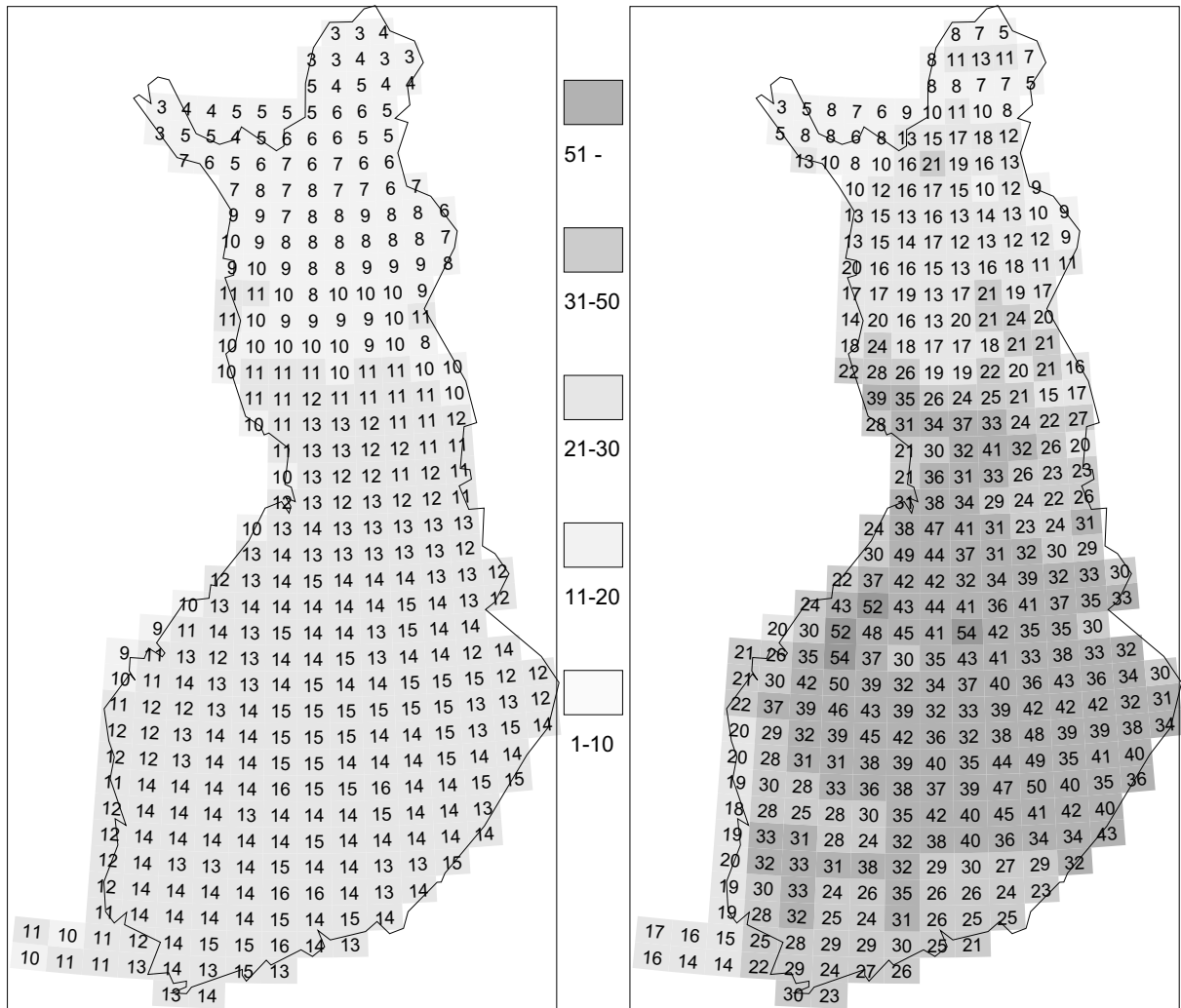
The monthly flash densities for 1960-2009 and the annual thunder day numbers are given in Table 2 (the stroke density is now omitted, it is 1.8 times the flash density). The thunder-day number in 2009, 9.0, is the mean of the numbers in Fig. 5. It is well below the long-term average (11.7).

Fig. 18 shows the annual mean of the location results for 1998-2009. The thunder-day numbers have been corrected as in Fig. 5. The flash densities since 2000 are uncorrected and the earlier ones have been multiplied by 1.34. The detection efficiencies calculated in previous yearbook have not been used here so far. On the other hand, ground flash numbers before 2005 contain unidentified cloud flashes, which improve the apparent detection efficiency. The numbers in northern Lapland (as well as the total mean number of flashes in the country) are still too small, because there flashes were not detected until 2002; Fig. 7 is more representative in this respect. Appendix 3 gives a corresponding map with 10 km x 10 km grid, but only using a 5-colour scale without the associated numbers. It also has the level of Lapland corrected by ignoring the first years. The daily means in the lower panel of Fig. 18 are very variable because the most active days are generally different in different years.

In several previous issues of this series (1999, 2000, 2001, 2003), the concept "thunderstorm intensity" has been discussed. Although damages are also caused by heavy precipitation and strong wind, a natural and clear measure of thunderstorm intensity is the flash density, which is here expressed in units of (located ground) flashes/100 km². The thunderstorm season is also characterized by giving the *number of*

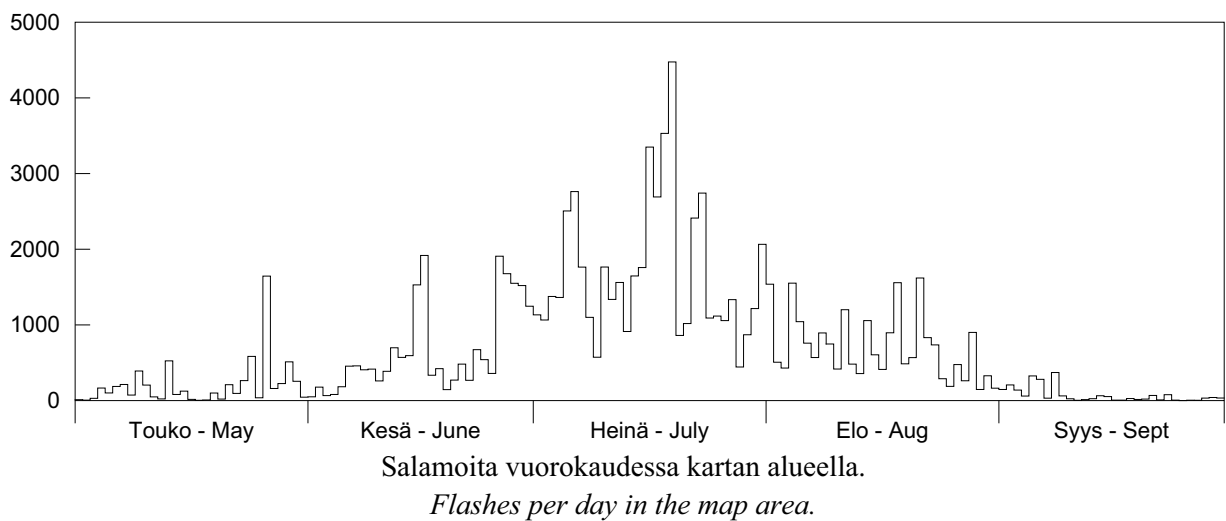
Taulukko 2. Keskimääräiset salamatiheydet (sataa neliökilometriä kohti) ja ukkospäivät.
 Table 2. Mean flash densities (per one hundred square kilometres) and thunder days.

Vuosi Year	Touko May	Kesä June	Heinä July	Elo Aug	Syys Sept	Kausi Season	Ukkospv Th days
1960	0.3	3.3	20.2	3.7	0.3	27.7	11.5
1961	0.0	25.8	18.6	13.2	0.0	57.7	15.0
1962	0.5	5.3	8.5	4.1	0.8	19.2	10.0
1963	10.5	4.5	7.5	9.2	5.5	37.2	11.0
1964	1.9	4.7	4.0	8.2	0.6	19.5	7.0
1965	0.3	5.2	5.3	4.2	1.5	16.5	8.0
1966	0.9	7.1	14.0	3.0	0.4	25.4	10.0
1967	2.9	4.8	9.2	11.4	3.7	31.9	10.0
1968	0.4	8.7	2.9	20.3	5.5	37.8	8.5
1969	2.1	8.7	14.2	7.6	0.3	33.0	8.0
1970	2.0	6.2	23.6	2.8	2.9	37.4	9.5
1971	3.5	10.1	7.7	14.8	0.5	36.5	10.0
1972	4.7	11.3	65.6	23.5	3.6	108.7	16.0
1973	2.0	9.1	42.2	23.1	0.6	76.9	12.5
1974	0.1	22.9	27.3	9.4	4.0	63.7	15.0
1975	4.5	3.2	19.3	6.0	3.3	36.4	10.0
1976	0.8	10.7	6.6	2.1	1.2	21.4	6.0
1977	4.5	9.4	17.4	11.0	1.3	43.7	10.0
1978	0.9	7.0	13.2	15.5	0.3	37.0	9.5
1979	3.8	11.0	28.9	9.9	1.1	54.8	16.5
1980	0.4	26.8	6.6	14.6	0.6	49.0	11.0
1981	1.8	18.4	35.8	4.5	0.1	60.6	13.0
1982	2.7	6.2	11.8	14.2	1.7	36.6	14.0
1983	7.1	12.7	8.8	1.1	2.0	31.8	10.5
1984	9.1	14.9	20.1	6.5	0.7	51.3	21.5
1985	1.3	19.2	8.4	16.1	1.5	46.4	15.5
1986	1.1	4.3	5.5	13.0	1.7	25.6	11.5
1987	1.8	3.2	8.0	3.3	0.6	17.0	9.2
1988	4.4	52.1	38.2	3.2	1.1	99.0	18.1
1989	0.6	21.9	3.8	4.6	3.7	34.6	11.6
1990	1.5	1.8	6.5	2.9	0.0	12.6	9.8
1991	0.7	10.3	8.8	14.0	0.5	34.2	12.9
1992	0.7	6.5	13.8	9.3	2.9	33.2	12.6
1993	2.3	2.1	11.3	2.0	0.1	17.7	10.5
1994	0.1	1.7	34.1	14.9	1.5	52.3	10.9
1995	9.9	34.8	4.1	2.4	2.6	53.8	11.5
1996	0.0	1.0	7.9	1.8	0.0	10.8	6.0
1997	0.2	5.7	31.6	3.0	0.5	41.1	17.2
1998	0.5	16.9	16.5	2.7	0.1	36.7	12.0
1999	0.6	17.6	17.4	2.3	1.5	39.4	11.5
2000	1.1	11.2	18.5	4.8	0.4	35.9	13.3
2001	0.3	1.7	22.3	3.7	0.2	28.3	10.6
2002	2.4	9.1	12.6	10.1	1.9	36.1	15.6
2003	5.9	1.5	47.3	10.1	0.6	65.4	16.7
2004	3.8	3.3	15.7	14.3	1.6	38.7	17.5
2005	1.6	2.6	12.5	2.4	0.2	19.3	11.7
2006	0.8	1.7	10.8	5.3	0.1	18.9	8.5
2007	2.8	0.6	4.2	8.6	0.6	16.9	9.0
2008	0.2	5.1	5.3	6.6	0.2	17.5	9.5
2009	1.8	2.9	5.5	4.4	0.3	14.8	9.0
60-09	2.3	9.9	16.2	8.2	1.3	38.0	11.7



Ukkospäivät (pinta-alakorjatut).
 Thunder days (area-corrected).

Salammat sataa neliökilometriä kohti.
 Flashes per one hundred square kilometres.



Kuva 18. Vuosikeskiarvoja jaksolta 1998-2009 (kokonaismäärä 103421 salamaa vuodessa).
 Fig. 18. Annual means for the period 1998-2009 (total number 103421 flashes per year).

määrä. Tätä varten etsitään suurimmat vuorokautiset salamatiheydet. Tässä vuosikirjassa tilastointiin käytetyt noin 1000 km²:n kokoiset paikalliskarttaruudut kuitenkin tasoittavat salamoiden huipputiheyksiä liiaksi. Salamasolun kokoa vastaava sopiva karttaruutu on kooltaan 20 km x 20 km. "Ukkonen" tässä mielessä määritellään salamoiden esiintymisenä mainitussa ruudussa vuorokauden aikana (0-24 UTC). Jos tiheys ylittää 80 salamaa/100 km², ukkosta sanotaan poikkeuksellisen rajuksi. Vuodesta 2000 lähtien niitä on esiintynyt seuraavasti:

vuosi	ruutuja	päiviä	suurin tih.
2000	3	1	194
2001	7	2	137
2002	0	0	74
2003	23	4	233
2004	3	1	95
2005	0	0	67
2006	0	0	62
2007	2	1	84
2008	0	0	80
2009	0	0	50

Esiintymispaikat olivat Tornion lähialue (2000, 2005), Etelä-Suomi (2001), Pohjois-Lappi (2002), Pohjanmaa (2003), Pohjoisin Lappi (2004), Häme (2006), Espoo ja Kotka (2007), Oulu (2008) sekä Suomenlahti (2009).

Jakson 1998-2007 ukkosia on tarkasteltu ilmastollisesta näkökulmasta julkaisussa TUOMI & MÄKELÄ (2008b).

Lähdeviitteet

CUMMINS, K.L., M.J. MURPHY, E.A. BARDO, W.L. HISCOX, R.B. PYLE & A.E. PIFER, 1998. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. *J. Geophys. Res.* 103, 9035-9044.

exceptionally violent thunderstorms. For this, the maximum daily flash densities are sought. However, the local map squares of about 1000 km² size, used as the basis for the statistics in this yearbook, smooth down the peak flash densities too much. A map square appropriate for the size of a flash cell is 20 km x 20 km. A "thunderstorm" in this sense is defined as the occurrence of flashes in this square during a day (0-24 UTC). If the density exceeds 80 flashes/100 km², the storm is called exceptionally violent. Since 2000, such cases have occurred as follows:

year	squares	days	max dens.
2000	3	1	194
2001	7	2	137
2002	0	0	74
2003	23	4	233
2004	3	1	95
2005	0	0	67
2006	0	0	62
2007	2	1	84
2008	0	0	80
2009	0	0	50

The regions were the north end of the Gulf of Bothnia (2000, 2005), southern Finland (2001), Ostrobothnia (2003), northern Lapland (2004), SW inland (2006), the south coast (2007), Oulu (2008), and the Gulf of Finland (2009).

The thunderstorms of the period 1998-2007 have been studied from the climatic point of view by TUOMI & MÄKELÄ (2008b).

References

CUMMINS, K.L., M.J. MURPHY, E.A. BARDO, W.L. HISCOX, R.B. PYLE & A.E. PIFER, 1998. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network. *J. Geophys. Res.* 103, 9035-9044.

TUOMI, T.J. & A. MÄKELÄ, 2008a. Binomial model of lightning detection efficiency. *J. Lightning Res.*, **1**, 1-8.

TUOMI, T.J. & A. MÄKELÄ, 2008b. Thunderstorm climate of Finland 1998-2007. *Geophysica* **44**(1-2), 29-42.

TUOMI, T.J. & A. MÄKELÄ, 2009. *Ukkosta ilmassa*. Ursa.

Salamahavainnot YYYY. (Luettelo näistä on tämän julkaisun lopussa.)

Liite 1: Salamanpaikannin

Salamanpaikantimien suurin valmistaja on Vaisala Inc., Tucson, Arizona, USA. Ilmatieteen laitoksen nykyinen maasalamanpaikannin hankittiin 1997, jolloin se elokuusta lähtien korvasi vanhemman mallin (ks. Salamahavainnot 1997). Se käsittää viisi IMPACT-mallista anturia (IMProved Accuracy by Combined Technology), joista vuonna 2009 oli käytössä neljä.

Vaisala on hankkinut omistukseensa myös SAFIR-pilvisalamanpaikantimen (surveillance et alerte foudre par interférométrie radioélectrique) valmistuksen, ja Ilmatieteen laitos asensi sellaisen kolmianturisena Lounais-Suomeen. Vaisalan uudempi keskusyksikkö CP8000, joka vastaanottaa molempien anturimallien tietoja, asennettiin 11.8.2004.

Paikantimen anturi koostuu sähkömagneettisten aaltojen suuntimesta sekä satelliittipaikantimen (GPS) vastaanottimesta. IMPACT-anturi käsittää matalataajuusalueen (LF) magneetti- ja sähkökentän antennit sekä signaalia testaavan ja muokkaavan elektroniikan. Jos signaali näyttää olevan peräisin maasalaman pääsalamasta, tiedot siitä, mm. tulosuunta ja voimakkuus, lähetetään keskusyksikölle. GPS-kellon avulla mu-

TUOMI, T.J. & A. MÄKELÄ, 2008a. Binomial model of lightning detection efficiency. *J. Lightning Res.*, **1**, 1-8.

TUOMI, T.J. & A. MÄKELÄ, 2008b. Thunderstorm climate of Finland 1998-2007. *Geophysica* **44**(1-2), 29-42.

TUOMI, T.J. & A. MÄKELÄ, 2009. *Ukkosta ilmassa*. Ursa. (In Finnish)

Lightning Observations YYYY. (These are listed at the end of this issue.)

Appendix 1: Lightning location system

The largest manufacturer of lightning location systems is Vaisala Inc., Tucson, Arizona, USA. FMI purchased the present system for ground lightning in 1997; since August, it replaced the older model (see Lightning Observations 1997). It is based on five IMPACT-type sensors (IMProved Accuracy by Combined Technology), of which four were in operation in 2009.

Vaisala has acquired also the manufacturing of the SAFIR cloud lightning location system (surveillance et alerte foudre par interférométrie radioélectrique), and FMI installed a three-sensor system in SW Finland. Vaisala's newer central unit CP8000 receives data from both types of sensors. FMI installed the new unit on August 11, 2004.

A sensor of the location system consists of a direction finder of electromagnetic waves and a GPS satellite receiver. The IMPACT sensor has magnetic and electric low-frequency (LF) antennae and electronics for testing and processing the signal. If the signal seems to have originated from a ground stroke, its data, e.g. bearing of arrival and strength, are sent to the central unit. The GPS clock provides an accurate time stamp

kaan liitetään tarkka aikaleima. Jos vähintään kahdelta anturilta tulee tarpeeksi yhtäaikainen havainto, keskusyksikkö laskee suuntien leikkauspisteen, ja käyttää lisäksi aikaeroja paikannuksen tarkentamiseen sekä paikannusvirheen arvioimiseen. IMPACT-anturin nimitys viittaa näiden kahden riippumattoman paikannusmenetelmän (suuntimisen ja aikaeron) yhdistämiseen. Ks. CUMMINS & *al.* (1998).

SAFIR-anturi perustuu radioaaltojen havaitsemiseen hyvin korkeilla taajuuksilla (VHF). Antenni koostuu viidestä tähtimuodostelmassa olevasta dipoli-antennista, ja anturi mittaa antennisignaalien vaihe-eroista interferometrisesti radioaallon tulosuunnan. Anturin mastossa on myös matalilla taajuuksilla (LF) toimiva sähkökenttäantenni, joka havaitsee, onko radioaallossa mahdollisesti mukana pääsalamasta peräisin oleva pulssi. Uusi keskusyksikkö käyttää tätä matalataajuushavaintoa, GPS-aikaleimalla varustettuna, IMPACT-anturitietojen ohella maasalamoiden paikannuksessa. VHF-havainnot paikannetaan erikseen näistä riippumatta pilvisalamoiksi, joita tässä vuosikirjassa ei tilastoida. Maa- ja pilvisalamahavaintojen suhteita käsitellään kuitenkin liitteessä 2.

Pohjoisimmat IMPACT-asetat ovat Rovaniemi ja Utajärvi. Muut ovat Etelä- ja Keski-Suomessa: Kuopio ja Utti. Anturit ovat maanpinnan tasossa. SAFIR-asetat ovat Jokioinen, Korppoo ja Upinniemi, ja antennit ovat korkeassa mastossa. Kuten monena vuotena aikaisemminkin, vuonna 2009 Ilmatieteen laitos oli yhteistyössä Norjan, Ruotsin ja Viron salamanpaikanninoperaattorien kanssa niin, että keskusyksikköön oli liitetty noin 30 anturin verkko.

Salamanpaikantimen havaintotehokkuus eli paikannettujen ja todellisten sala-

for the event. If sufficiently simultaneous observations arrive from at least two sensors, the central unit computes the intersection of the directions, and utilizes also the time-of-arrival differences to improve the location accuracy and to estimate the error. The name of the IMPACT sensor refers to a combination of these two independent methods (direction finding and time-of-arrival). See CUMMINS & *al.* (1998).

The SAFIR sensor is based on the detection of radio waves at very high frequencies (VHF). The antenna consists of five dipole antennas in a star-like assembly and measures the arrival direction of the radio wave interferometrically from the phase differences of the antenna signals. The mast of the sensor also includes a low-frequency (LF) electric-field antenna, which detects a possible pulse originating from a return stroke. The new central unit uses this low-frequency information, provided with a GPS time stamp, together with the IMPACT data in locating ground flashes. The VHF data are used separately to locate cloud flashes, which are not used in the statistics of this yearbook. The relations between cloud- and ground-lightning observations are, however, discussed in Appendix 2.

The northernmost IMPACT sites are Rovaniemi and Utajärvi. The others are in the central and southern parts: Kuopio and Utti. The sensors are at the ground level. The SAFIR sites are Jokioinen, Korppoo and Upinniemi, and the antennae sit on high masts. Like several previous years, in 2009 FMI had a cooperation with the LLS operators in Norway, Sweden and Estonia so that there was a network of about 30 sensors connected to the central unit.

The detection efficiency of the location system, or the ratio of located to true

moiden lukumäärien suhde on vaikea määrittää, ja pääosa tuloksista esitetäänkin ilman korjauksia. Joka tapauksessa paikannukseen tarvitaan vähintään kahden anturin havainto (kun kyse on suuntimisesta; pelkässä aikaeropaikannuksessa tarvittaisiin neljä). Nykyään havaintotehokkuusprosenttia suositumpi mitta suorituskyvylle on paikannukseen osallistuvien anturien keskilukumäärä salamaa kohti eli anturikeskiluku ANSR, joka Suomessa vuonna 2004 oli 4,3 ja on kasvanut arvoon 6,0 vuonna 2009 mm. SAFIR-anturien myötä. Tämä on suoraan mitattu eikä oletettu luku. Anturikeskiluvun ja havaintotehokkuuden välistä suhdetta on tutkittu (TUOMI & MÄKELÄ, 2008a).

Myös paikannustarkkuus on parantunut. SAFIR-anturien mukaantulon jälkeen virheen mediaani on lähes koko maassa alle 2 km, keskiosissa alle 1 km. Virheellä tarkoitetaan sellaisen ellipsin isoakselin puolikasta, jonka keskipiste on laskettu paikka ja jonka sisällä todellinen paikka on 50 % todennäköisyydellä. Alustavien vertailujen perusteella paikka-arvio on realistinen; noin puolet paikannuksista näyttäisi olevan paikantimen ilmoittaman 50 %:n virhe-ellipsin sisällä.

Laitteisto paikantaa jonkin verran myös harhoja, esim. Etelä-Euroopan ukkosesta voi jokin paikannus harhautua Suomen alueelle, tai Suomessa oleva salama voi paikantua reilusti virhearviota etäämmäksi. Vähäsalamaisessa tilanteessa asia voidaan tarkistaa säätutkista, mutta yleensä harhojen tunnistaminen on toivoton tehtävä. Ne ovat tavallisesti 2-3 anturin paikannuksia, mutta toisaalta kaikki tällaiset eivät ole harhoja. Pääosa harhoista on nyt poistunut heikkojen positiivisten salamoiden myötä sekä sallitun paikannusvirherajan alentamisella (ennen 50 km, nyt 25 km).

flashes, is difficult to estimate, and therefore most of the results are given uncorrected. In any case, finding a location requires the detection by at least two sensors (in direction finding; mere time-of-arrival would need four). Presently, instead of the detection efficiency percentage, a more popular measure for the performance is the average number of sensors reporting a located flash (ANSR), which in Finland in 2004 was 4.3 and has increased to 6.0 in 2009 by the addition of the SAFIR sensors, among other factors. This is a directly measured number and not an assumption. The relation between ANSR and detection efficiency has been studied (TUOMI & MÄKELÄ, 2008a).

The location accuracy has also improved. After the addition of the SAFIR sensors, the median error in almost the whole country is below 2 km, and in the central part below 1 km. The error is defined as the semimajor axis of an ellipse whose centre is the calculated location and within which the true location is with 50 % probability. Preliminary comparisons suggest the uncertainty estimate to be realistic; about half of the locations are found to be inside the 50 % uncertainty ellipse.

The system locates also a number of outliers, say a flash in a south-European thunderstorm may be located in the Finnish territory, or a flash in Finland may be located well beyond the range of the estimated error. In a quiet situation the matter can be checked by weather radars, but generally the identification of outliers is hopeless. They have usually been detected by 2-3 sensors, but all of these are not outliers. Most of the outliers have now disappeared with the weak positive strokes as well as by decreasing the limit of allowed location error (earlier 50 km, now 25 km).

Ongelmallisia paikannuksia esiintyy kuitenkin. Kesällä 2007 noin 10 % maasalama-antureilla havaituista salamoista järjestelmä tulkitsi pilvisalamoiksi, joiden pulssinpituus on lyhyempi mutta esim. voimakkuus ei selkeästi eroa maasalamoista. Nykyään matalataajuisten pilvisalamoiden osuus kaikista matalataajuushavainnoista on reilu neljäsosa (28 % vuonna 2009). Koska paikannin luokittelee pilvi- ja maasalama-pulssit erikseen, voidaan esim. tilastot laskea ainoastaan maasalamoille (kuten tässä julkaisussa on tehty).

Liite 2: Maaiskut ja pilvipurkaukset

Hyvin korkeita kohteita lukuun ottamatta maasalama saa alkunsa pilvestä, jossa esisalama lähtee kasvamaan niin, että kanavan toinen pää etenee kohti varauskeskusta ja toinen kohti maata. Salamalajista riippuen maanpuoleinen pää varautuu negatiiviseksi tai positiiviseksi ja neutraloituu varsinaisessa pääsalamassa.

Vaikka pääsalama on koko salaman kestoon nähden nopea välähdys, se säteilee pääasiassa matalia radioaajuuksia (LF), joita IMPACT-anturit on viritetty havaitsemaan. Esisalama-vaiheessa, kanavan päiden ja haarojen kasvaessa ja varautuessa, neitseellistä ilmaa repivät purkaukset ovat suhteellisen heikkoja ja nopeita, säteillen voimakkaimmin hyvin korkeilla radioaajuuksilla (VHF). Nopeita purkauksia syntyy paitsi esisalamassa myös pääsalaman virtasysäysten ajamina kanavien päissä, ja myös pääsalamoiden välissä. SAFIR-anturi pystyy havaitsemaan VHF-pulsseja noin sata sekunnissa, mikä tosin on vielä murto-osa herkimmillä laitteilla mitatuista pilvensisäisistä purkauksista. Näin ollen SAFIR-otos on liian harva antaakseen

However, problematic locations do occur. In summer 2007, about 10 % of flashes detected as ground flashes were interpreted by the system as cloud flashes, whose pulse length is shorter but e.g. the strength does not differ clearly from ground flashes. At present, the ratio of low frequency cloud pulses from all low frequency detections is about 25 % (28 % in 2009). Because the system classifies low frequency cloud and ground pulses separately, cloud pulses can be discriminated e.g. from the statistics (as have been done in this report).

Appendix 2: Ground strokes and cloud discharges

Except for very tall objects, a ground flash is initiated within the cloud, where the leader starts its growth with one end proceeding towards the charge centre and the other towards the ground. Depending on the flash type, the ground-bound end is charged negative or positive and is neutralized by the return stroke.

Although the return stroke is a rapid bolt compared with the total flash duration, it radiates mainly low-frequency (LF) radio waves, to be detected by IMPACT sensors. In the leader phase, when the channel ends and branches are growing and charging, the discharges tearing the virgin air are relatively weak and rapid, radiating most intensely at very high radiofrequencies (VHF). Rapid discharges are created not only in the leader but also at the channel ends due to current pulses from the return stroke, and also between the return strokes. The SAFIR sensor is able to detect about one hundred VHF pulses per second, yet this is only a fraction of intracloud discharges detected by the most sensitive instruments. Hence the SAFIR sample is

selvää kuvaa koko purkaukanaviston hämähäkkimäisestä rakenteesta.

Pilvisalama purkautuu tyypillisesti pilven keskiosan negatiivisen ja yläosan positiivisen varauskeskuksen välillä. Kumpaankin keskukseen tunkeutuu haaroittuva, vastakkaismerkkinen esisalamakanavan pää. Näitä vaakasuoria purkaukerroksia yhdistää pystysuora kanavarunko, jossa kulkee matalampi-taajuisia neutraloivia pulsseja. Pilvisalama tuottaa, kuten maasalamanakin, kanavien kasvuun liittyviä VHF-pulsseja ja neutralointiin liittyviä LF-pulsseja. Nämä LF-pulssit ovat keskimäärin lyhyempiä kuin maasalamoiden pääsalamapulssit, minkä perusteella IMPACT-järjestelmä luokittelee osan LF-havainnoista pilvisalamaperäisiksi.

VHF-pulssiryöpyt ovat maa- ja pilvisalamoilla hyvin samanlaisia, ja eri salamalajit erotetaan toisistaan vain LF-pulssien perusteella. Vaikka maasalama käytännössä "määritellään" havaittuna LF-pulssiryhmänä, antavat siihen liittyvät VHF-ryöpyt mielenkiintoista lisätietoa. Kun maasalama voi iskeä vain yhteen tai haarukoituvana enintään muutamaa kohtaan, VHF-purkaukset levittäytyvät pilvessä tyypillisesti 10 km laajuudelle, kuten tullaan näkemään. VHF-purkaukset antavat myös salaman kestosta selvemmän kuvan kuin nopeat pääsalamat.

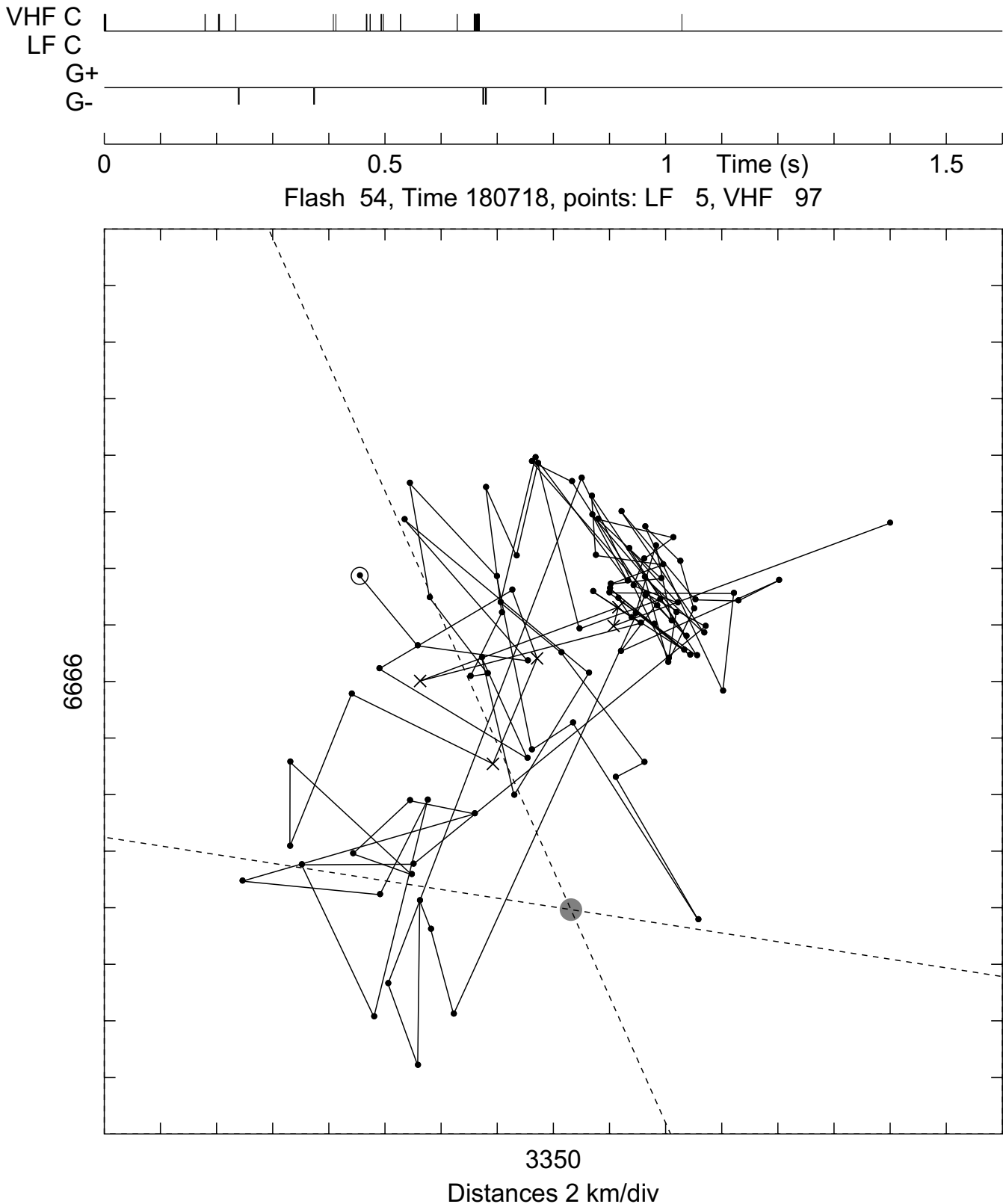
Kuvassa 19 on 5-iskuinen negatiivinen maasalama 13.6.2009 klo 18:07:18 UTC. Alaosassa VHF- ja LF-pisteet ovat itä-pohjois-yhtenäiskoordinaatistossa 2 km etäisyysjaolla, ja ne on yhdistetty janoilla aikajärjestyksessä, ensimmäinen piste ympyröitynä. Huomattakoon, että janat eivät kuvaa purkaukanavia. VHF-purkaukset on merkitty pisteillä ja negatiiviset maaiskut x:llä. Yläosassa aikakehitys on

too sparse to give a clear picture of the spider-like structure of the whole discharge channel system.

A cloud flash typically discharges between the negative and positive main charge centres in the middle and top parts, respectively. A branching, oppositely charged leader end penetrates into each charge centre. These horizontal discharge layers are connected by a vertical channel stem which carries neutralizing pulses of lower frequency. The cloud flash, as well as the ground flash, produces VHF pulses from channel growth and LF pulses from neutralization. These LF pulses are, on the average, shorter than those of the ground return strokes, which enables the IMPACT system to assign part of the LF observations with cloud flashes.

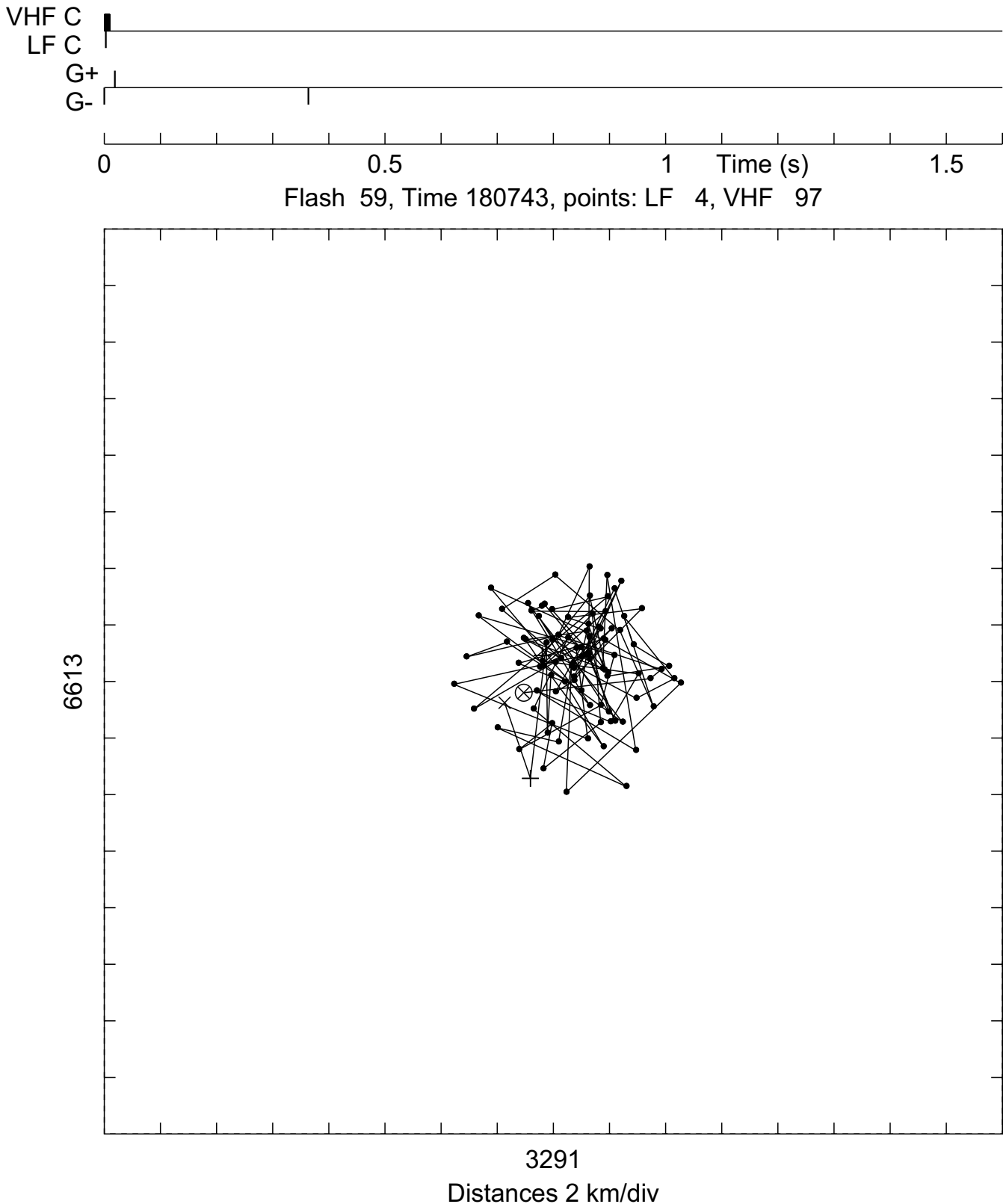
The VHF bursts are very similar in ground and cloud flashes, and the different flash types can only be distinguished by the LF pulses. Although a ground flash is in practice "defined" as a detected group of LF pulses, the associated VHF bursts provide interesting further information. While a ground flash can hit only one point or be forked into just a few points, VHF discharges in the cloud are typically spread over an extent of 10 km as we will see. VHF discharges also give a clearer picture of the duration of the flash than do the rapid return strokes.

Fig. 19 shows a 5-stroke negative ground flash on June 13, 2009, 18:07:18 UTC. In the lower part, the points are plotted into an east-north coordinate system with 2-km division, and they are connected by line segments in temporal order, the first point circled. Note that the line segments do not correspond to discharge channels. VHF discharges are denoted by points and negative ground strokes by x. In the upper part, time



Kuva 19. 5-iskuinen maasalama. Alaosassa itä- ja pohjoiskoordinaatit 2 km jaolla; pisteet on yhdistetty janoilla aikajärjestyksessä. Katkoviivat ovat asemien yhdysviivoja, tässä leikkauspiste on Upinniemi. Yläosassa aikakehitys: C on pilvipiste, G on maaisku (x).

Fig. 19. A 5-stroke ground flash. Lower part: east and north coordinates with 2 km division; the points are joined by lines in time order. Dashed lines are station baselines, here the intersection is Upinniemi. Upper part: time development. C is cloud point, G is ground stroke (x).



Kuva 20. Maasalama, jossa on kaksi negatiivista ja yksi positiivinen osaisku sekä pilvipurkaukseksi tulkittu matalataajuuspaikannus (LF C). Lähes 100 VHF-pilvipistettä muodostavat ajallisesti ja paikallisesti harvinaisen tiiviin rykelmän. Alkupiste on ympyröity.

Fig. 20. A ground flash with two negative strokes and a positive one and a low-frequency fix interpreted as a cloud discharge (LF C). Almost 100 VHF cloud points form a temporally and spatially unusually tight cluster. The first point is circled.

ilmaistu seuraavasti: ylinnä VHF-pilvipisteet (VHF C), sen alla pilvisalamatulkittut LF-pisteet (LF C, tässä ei ole yhtään); seuraavana positiiviset (G+, 0 kpl) ja negatiiviset (G-, 5 kpl) maaiskut. Harmaa ympyrä on Upinniemen SAFIR-anturi ja katkoviivat ovat asemien välisiä yhdysviivoja.

VHF-pisteiden kokonaiskesto on tässä noin yksi sekunti, mutta pisteet ryhmittyvät ryöpyiksi, jotka usein osuvat ajallisesti maaiskun tuntumaan. Maaiskujen tyypillinen aikaväli on 0,03-0,05 s, mutta tässä välit ovat pitempiä, paitsi 3. ja 4. iskujen väli, joka on vain viitisen millisekuntia. Pistejoukon paikallinen laajuus on länsi-itäsuunnassa 10 km luokkaa, mutta venyy etelä-pohjoissuunnassa 20 km:iin. Vähäisen anturimäärän takia VHF-pisteet ovat alttiita paikkavirheille, ja on vaikea sanoa, paljonko rykelmän venyminen ja hajaantuminen johtuu luonnollisista syistä ja paljonko virheistä. Pidämme pistejoukon lyhyempää halkaisijaa luotettavampana mittana purkauksen vaakasuoralle laajudelle.

Kuvassa 20 on paikallisesti harvinaisen tiivis ja säännöllinen salama, halkaisijaltaan 8 km, VHF-kesto vain 0,01 s. LF-pisteitä on neljä, joista yksi on luokiteltu pilvipurkaukseksi (LF C) ja kaksi negatiivisiksi maaiskuiksi (voimakkuudeltaan normaaleja, -7 ja -21 kA). Niiden aikaväli on harvinaisen pitkä, melkein 0,4 s, vaikka paikat (x) ovat hyvin lähekkäin. Kummastusta herättää niiden välissä esiintyvä erittäin voimakas positiivinen maaisku (+166 kA), joka on 14 anturin havaitsema ja on osunut pari kilometriä etelään negatiivisista, eivätkä pilvipisteet viittaa ainakaan vaakasuorassa suunnassa erilliseen varauskeskukseen. Selvästi harhaton kaksinapainen maasalama, jossa on siis negatiivisia ja positiivisia osaiskuja, on harvinaisen ja kiistanalainen tapaus.

development is expressed as follows: uppermost, VHF cloud points (VHF C); then LF points interpreted as cloud discharges (LF C, none here); next, positive (G+, none) and negative (G-, 5 points) ground strokes. The grey circle is the Upinniemi SAFIR sensor and the dashed lines are sensor baselines.

The total duration of the VHF points is here about one second, but the points tend to be grouped into bursts, often temporally close to a ground stroke. The typical interval between ground strokes is 0.03-0.05 s, but here the intervals are longer, except for that of strokes 3 and 4, where it is only about 5 ms. The spatial extent of the group is about 10 km in the E-W direction but is stretched into 20 km in the N-S direction. Due to the low number of sensors, the VHF points are subject to position errors, and it is difficult to say how much of the stretch and scatter of the cluster is natural and how much comes from errors. We consider the shorter diameter of the cluster as a more reliable measure of the horizontal extent.

Fig. 20 shows a spatially unusually dense and regular flash, with 8 km diameter and VHF duration only 0.01 s. There are four LF points, one of which is classified as a cloud discharge (LF C) and two a negative ground strokes (with normal peak currents of -7 and -21 kA, respectively): Their interval is unusually long, almost 0.4 s, although the locations (x) are very close. An amazing feature is a very strong positive ground stroke (+166 kA) between them, detected by 14 sensors and hit a couple of kilometres south of them; and the cloud points do not suggest a separate charge centre, at least in a horizontal direction. A good-quality dipolar ground flash, i.e. one including negative and positive strokes, is a rare and controversial case.

Vuodesta 2008 lähtien, jolloin VHF-anturien herkkyyks on ollut hyvä, on Lounais-Suomen salamoille saatu seuraavanlaisia keskimääräisiä ominaisuuksia (mukana eivät ole muutaman pisteen VHF-pilvisalamat eivätkä harvinaiset VHF-pisteettömät maasalamat):

Pilvisalama: 40 VHF-pistettä, mukana 0-2 LF-C-pistettä. Kesto 0,4 s ja laajuus 10 km.

Maasalama: 50 VHF-pistettä ja 3 LF-iskua, kesto 0,5 s ja laajuus 9 km. Maaisku on ensimmäinen piste neljäsosassa tapauksista, keskimäärin ensimmäinen maaisku on 23:s piste. VHF-pisteet eivät siis ainakaan aina ole peräisin ensimmäisestä (askeltavasta) esisalamasta vaan pikeminkin pääsalaman sysäämästä kanavan lisäkasvusta.

Liite 3: Salamatiheys 10 km ruudukossa

Kuvat 7 ja 18 esittävät vuoden 2009 ja kauden 1998-2009 salamatiheyksiä paikalliskarttaruudukossa. Tiheys voidaan tietysti laskea myös tarkemmassa ruudukossa, esim. 10 km x 10 km, varsinkin kun keskimääräinen paikannustarkkuus on olennaisesti tätä parempi. Silloin salamamäärä ruutua kohti pienenee, jolloin ilmastollisen ja maastollisen vaihtelun päälle tulee satunnaisempi sään vaihtelun aiheuttama "kohina", jota 12 vuoden keskiarvo ei vielä täysin tasoita (1 km ruudukossa kohina on täysin vallitseva piirre, josta maaston vaikutusta on erittäin vaikea erottaa). Toisaalta on myös mahdollista, että aikasarjan kasvaessa Suomestakin voidaan erottaa "salamaherkemmät" alueet.

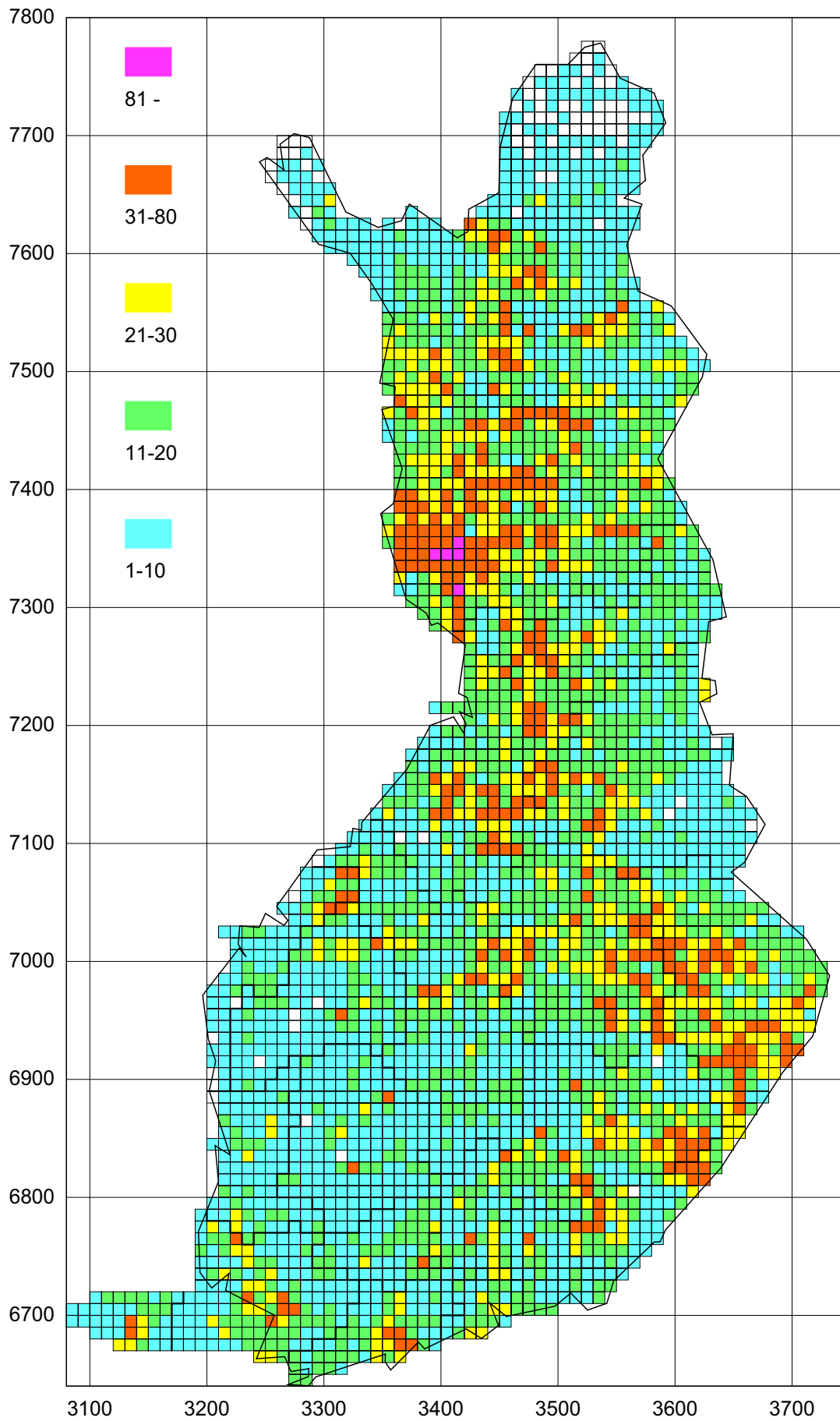
Since 2008, with highly sensitive VHF sensors, the flashes in SW Finland have been studied to some extent and the following average properties have been deduced (excluding VHF cloud flashes with a few points only, and rare ground flashes without associated VHF):

Cloud flash: 40 VHF points and 0-2 LF-C points. Duration 0.4 s and extent 10 km.

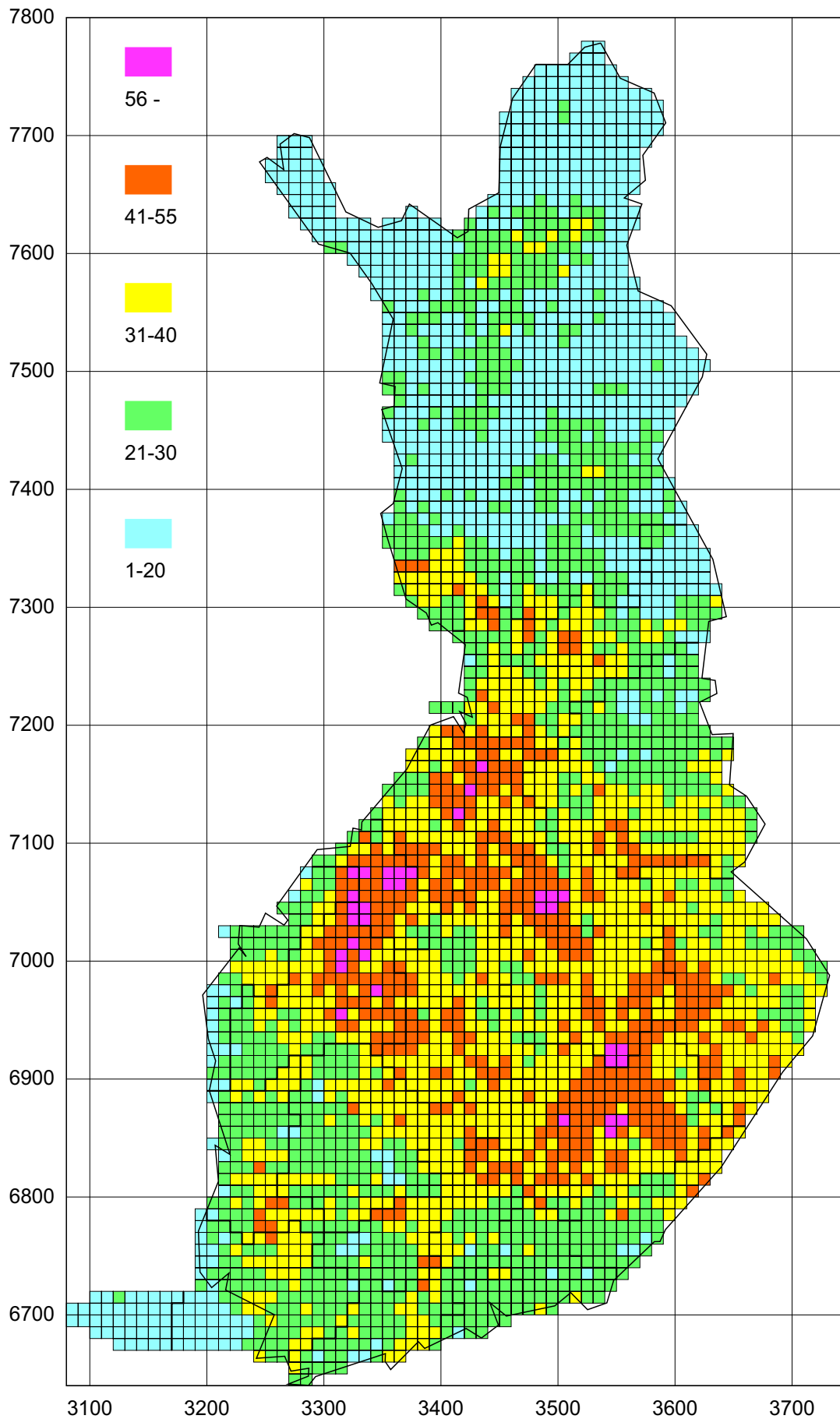
Ground flash: 50 VHF points and 3 LF strokes, duration 0.5 s and extent 9 km. A ground stroke is the first point in one fourth of the cases; on the average the first ground stroke is the 23rd point. Thus, VHF points do not always originate from the first (stepped) leader but rather from a further channel growth induced by the return stroke.

Appendix 3: Flash density on a 10-km grid

Figs. 7 and 18 present the flash densities of year 2009 and the period 1998-2009 on the local map-square grid. The density can, of course, be calculated also on a more accurate grid, say 10 km x 10 km, especially because the mean location accuracy is essentially better. Then the number of flashes per square is reduced, causing "noise" from random weather variation, superposed on the climatic and topographic variation. A 12-year mean does not yet smooth out this noise (on a 1-km grid, the noise is dominant, and topographic effects are very difficult to separate). However, with several more years in the data set, it may be possible to pinpoint certain small-scale features in Finland, which favour lightning.



Kuva 21. Salammat 10 km x 10 km ruuduilla 2009. Yhteensä 50106.
Fig. 21. Flashes on 10 km x 10 km squares in 2009. Total 50106.



Kuva 22. Salammat 10 km x 10 km ruuduilla 1998-2009. Yhteensä 99726 vuodessa.
 Fig. 22. Flashes on 10 km x 10 km squares in 1998-2009. Total 99726 per year.

10 km tarkkuudella lasketut tiheydet näkyvät kuvissa 21 (vuosi 2009) ja 22 (vuosien 1998-2009 keskiarvo). Suurinta tiheysluokkaa (violetti) edustava ruutumäärä jää vähäiseksi, koska viiden viimeisimmän vuoden taso on jäänyt noin puoleen keskiarvosta.

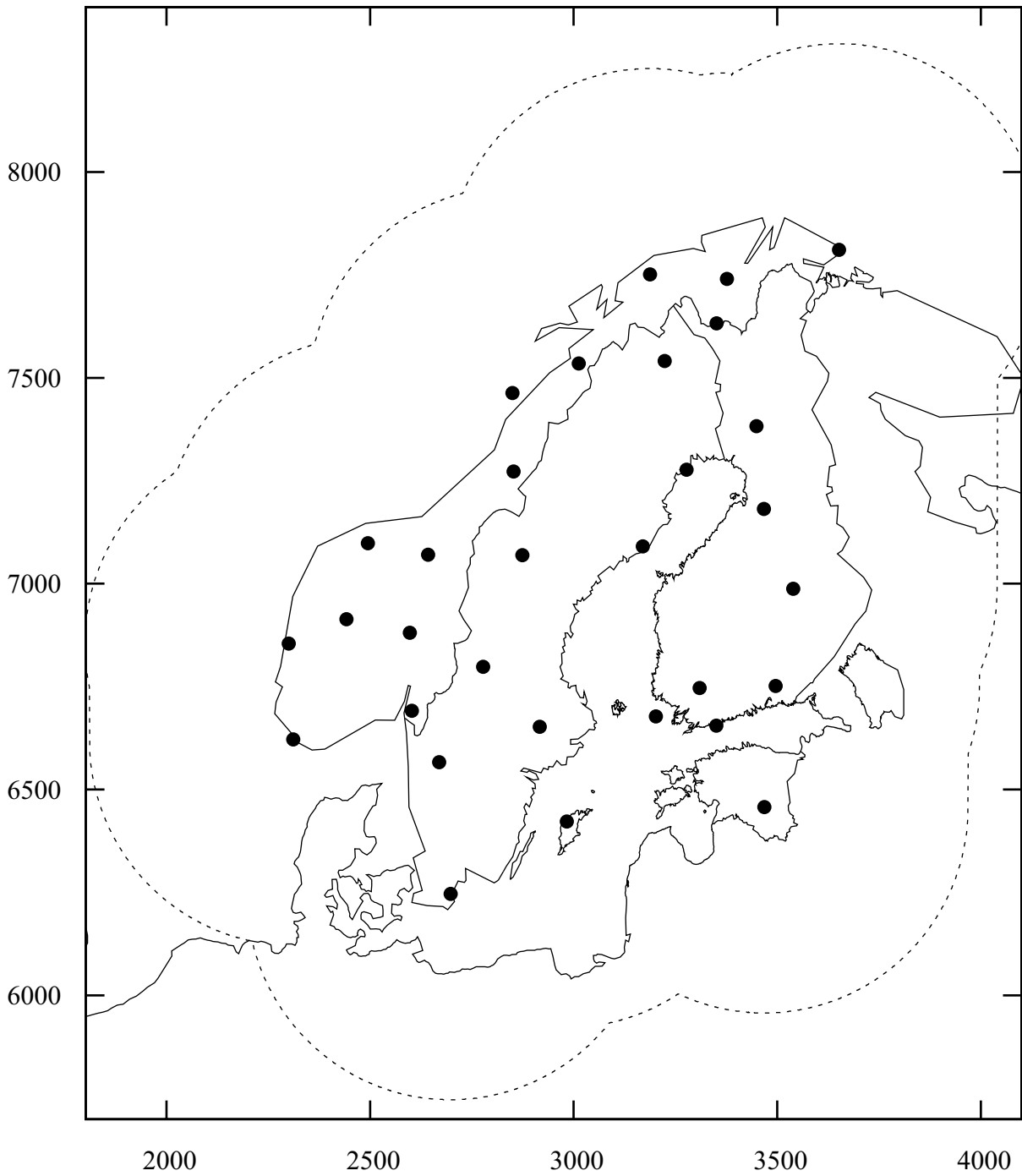
Kuvissa näkyvä ristikko viittaa yhtenäiskoordinaatistoon, jonka perusteella voidaan haluttu ruutu tunnistaa kartoilta.

Maan kokonaissalamamäärä poikkeaa jonkin verran paikalliskartta-ruudukolle lasketusta kokonaismäärästä, koska rannikko- ja raja- viivat otetaan huomioon erilaisilla tarkkuuksilla.

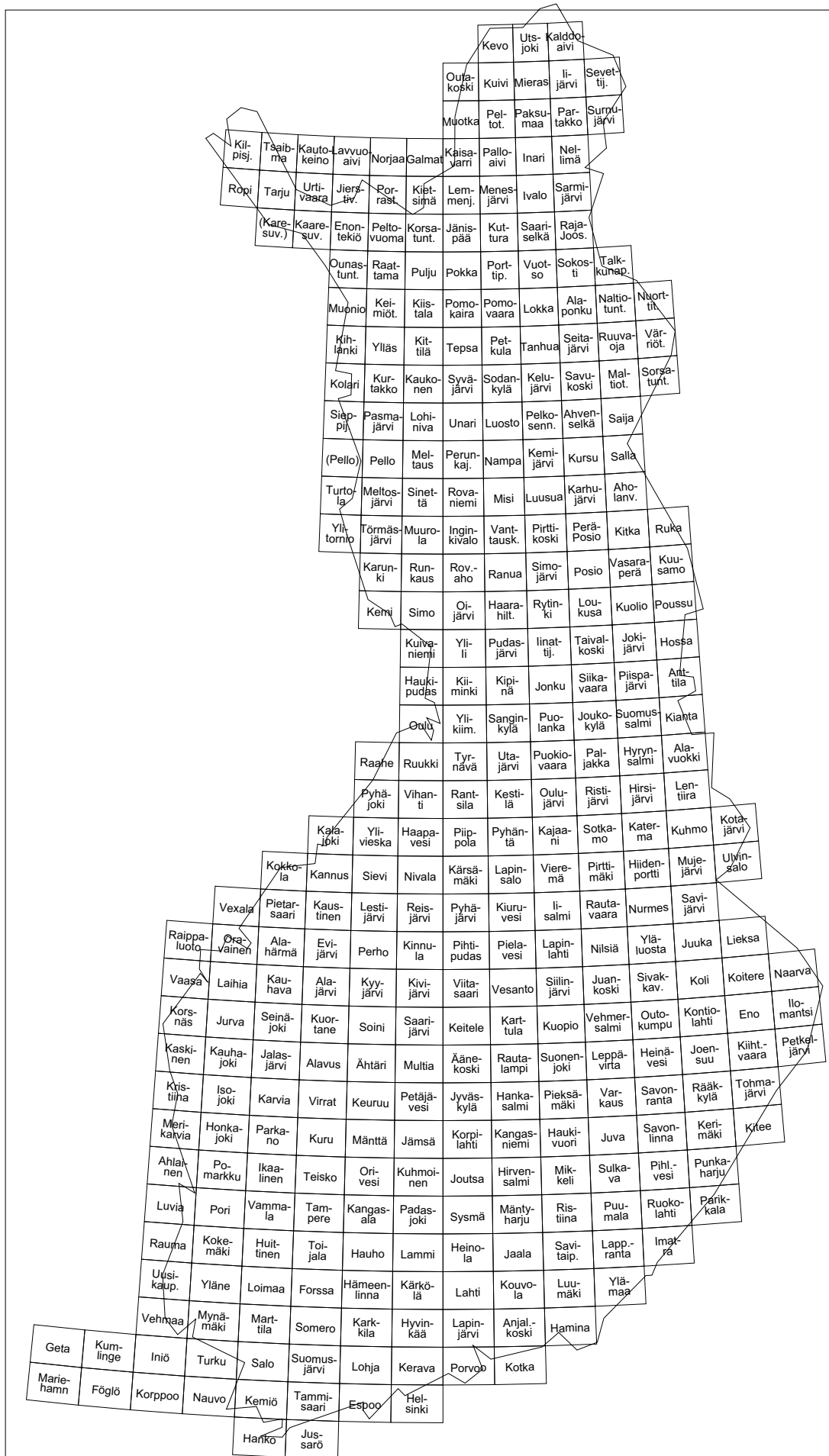
The densities with 10-km accuracy are shown in Figs. 21 (year 2009) and 22 (average of period 1998-2009). The number of squares in the highest density class (violet) remains low because the level of activity during the last five years has remained near half the average.

The grid in the figures refers to a Finnish coordinate system which helps identification of a desired square on the maps.

The total number of flashes in the country differs somewhat from that calculated in the local map square grid, because the coastal and border lines are taken into account with different accuracies.



Kuva 23. Pohjoismainen salamanpaikannusverkko. Katkoviiva kuvaa havaintoaluetta.
Fig. 23. Nordic lightning location network. Dashed line indicates the area of detection.



Nelinumeroisten karttaruutujen nimitykset.

Names of four-digit map squares.

Salamahavainnot - Lightning Observations in Finland

Geofysikaalisia julkaisuja - Geophysical Publications - Geofysikaliska publikationer

Tuomi, Tapio J., 1987. Salamahavainnot 1984-1986 - Lightning Observations in Finland 1984-1986. 4, 47 p.

Tuomi, Tapio J., 1988. Salamahavainnot 1987 - Lightning Observations in Finland 1987. 5, 37 p.

Tuomi, Tapio J., 1989. Salamahavainnot 1988 - Lightning Observations in Finland, 1988. 8, 34 p.

Tuomi, Tapio J., 1989. Salamahavainnot 1989 - Lightning Observations in Finland, 1989. 11, 39 p.

Tuomi, Tapio J., 1990. Salamahavainnot 1990 - Lightning Observations in Finland, 1990. 18, 28 p.

Tuomi, Tapio J., 1991. Salamahavainnot 1991 - Lightning Observations in Finland, 1991. 25, 28 p.

Tuomi, Tapio J., 1992. Salamahavainnot 1992 - Lightning Observations in Finland, 1992. 29, 36 p.

Tuomi, Tapio J., 1993. Salamahavainnot 1993 - Lightning Observations in Finland, 1993. 34, 33 p.

Tuomi, Tapio J., 1994. Salamahavainnot 1994 - Lightning Observations in Finland, 1994. 37, 32 p.

Tuomi, Tapio J., 1995. Salamahavainnot 1995 - Lightning Observations in Finland, 1995. 40, 32 p.

Tuomi, Tapio J., 1996. Salamahavainnot 1996 - Lightning Observations in Finland, 1996. 42, 36 p.

Tuomi, Tapio J., 1997. Salamahavainnot 1997 - Lightning Observations in Finland, 1997. 44, 40 p.

Tuomi, Tapio J., 1998. Salamahavainnot 1998 - Lightning Observations in Finland, 1998. 47, 45 p.

Tuomi, Tapio J., 1999. Salamahavainnot 1999 - Lightning Observations in Finland, 1999. 50, 43 p.

Tuomi, Tapio J., 2000. Salamahavainnot 2000 - Lightning Observations in Finland, 2000. 51, 44 p.

Tuomi, Tapio J., 2001. Salamahavainnot 2001 – Lightning Observations in Finland, 2001. 55, 41 p.

Tuomi, Tapio J., 2002. Salamahavainnot 2002 – Lightning Observations in Finland, 2002. 56, 42 p.

Tuomi, Tapio J., 2003. Salamahavainnot 2003 – Lightning Observations in Finland, 2003. 57, 42 p.

Tuomi, Tapio J., 2004. Salamahavainnot 2004 – Lightning Observations in Finland, 2004. 58, 40 p.

Tuomi, Tapio J., 2005. Salamahavainnot 2005 – Lightning Observations in Finland, 2005. 59, 40 p.

Raportteja - Rapportier - Reports

Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2006. Salamahavainnot 2006 - Lightning observations in Finland, 2006. 2006:6, 39 p.

Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2007. Salamahavainnot 2007 - Lightning observations in Finland, 2007. 2007:5, 47 p.

Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2008. Salamahavainnot 2008 - Lightning observations in Finland, 2008. 2008:4, 49 p.

Mäkelä, Antti & Tuomi, Tapio J., 2009. Salamahavainnot 2009 - Lightning observations in Finland, 2009:?, ?? p.

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. Väiliraportti 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 jyrksinturpeen 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 säänennustuksessa. 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 merisääsemien 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 näytteenottoalaa käyttävään menetelmään. 29 s.
 4. Bremer, Pia, Ilvessalo, Pekko, Pohjola, Veijo, Saari, Helena ja Valtanen, Kalevi, 1995. Ilmanlaatuennusteiden ja -indeksin kehittäminen Helsingin Käpylässä suoritettujen mittausten perusteella. 81 s.
- 1996:
1. Saari, Helena, Salmi, Timo ja Kartastenpää, Raimo, 1996. Taajamien ilmanlaatu suhteessa uusiin ohjearvoihin. 98 s.

- 1997: 1. Solantie, Reijo, 1997. Keväthallojen alueellisista piirteistä ja vähän talvipakkastenkin. 28 s.
- 1998: 1 Paatero, Jussi, Hatakka, Juha and Viisanen, Yrjö, 1998. Concurrent measurements of airborne radon-222, lead-210 and beryllium-7 at the Pallas-Sodankylä GAW station, Northern Finland. 26 p.
- 2 Venäläinen, Ari ja Helminen, Jaakko, 1998. Maanteiden talvikunnossapidon sääindeksi. 47 s.
- 3 Kallio, Esa, Koskinen, Hannu ja Mälkki, Anssi, 1998. VII Suomen avaruustutkijoiden COSPAR-kokous, Tiivistelmät. 40 s.
- 4 Koskinen, H. and Pulkkinen, T., 1998. State of the art of space weather modelling and proposed ESA strategy. 66 p.
- 5 Venäläinen, Ari ja Tuomenvirta Heikki, 1998. Arvio ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta teiden talvikunnossapidon kustannuksiin. 19 s.
- 1999: 1 Mälkki, Anssi, 1999. Near earth electron environment modelling tool user/software requirements document. 43 p.
- 2 Pulkkinen, Antti, 1999. Geomagneettisesti 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 -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 mittausten menetelmien 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 2006 - Lightning observations in Finland, 2006. 39 p.

7. Merikallio, Sini, 2006. Preliminary report of the analysis and visualisation software for SMART-1 SPEDE and EPDP instruments. 70 p.

8. Solantie, Reijo, Pirinen, Pentti, 2006. Orografian huomioiminen loka- huhtikuun sademäärien alueellisissa analyysissä. 34 s.

9. Ruosteenoja, Kimmo, Jylhä, Kirsti, Räisänen, Petri, 2006. Climate projections for the Nordic CE project – an analysis of an extended set of global regional climate model runs. 28 p.

10. Merikallio, Sini, 2006. Analysis and visualisation software for DEMETER Langmuir Probe instrument. 31 p.

2007:

1. Solantie, Reijo, Järvenoja, Simo, Pirinen, Pentti, 2007. Keskimääräisten kuukauden minimilämpötilojen alueellinen jakauma kautena 1992 – 2005 Suomessa sekä muutos kaudesta 1961 – 1990. 59 s.

2. Pulkkinen, Tuija, Hari, Ari-Matti, Haukka, Harri, Leinonen, Jussi, Toivanen, Petri, Koskinen, Hannu, André, Mats, Balasis, Georgios, Boscher, Daniel, Dandouras, Iannis, Grande, Mael, De Keyser, John,

Glassmeier, Karl-Heinz, Hapgood, Mike, Horne, Richard, Ivchenko, Nikolay, Santolik, Ondrej, Torkar, Klaus; Trotignon, Jean Gabriel, Vennerstrøm, Susanne, 2007. Waves and acceleration of relativistic particles (WARP). 36 p.

3. Harri, A-M., Leinonen, J., Merikallio, S., Paton, M., Haukka, H., Polkko, J., Linkin, V., Lipatov, V., Pichkadze, K., Polyakov, A., Uspensky, M., Vasquez, L., Guerrero, H., Crisp, D., Haberle, R., Calcutt, S., Wilson, C., Taylor, P., Lange, C., Daly, M., Richter, L., Jaumann, R., Pommereau, J-P., Forget, F., Lognonne, Ph., Zarnecki, J., 2007. MetNet – In situ observational network and orbital platform to investigate the Martian environment. 35 p.

4. Venäläinen, A., Saku, S., Kilpeläinen, T., Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Vajda, A., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., 2007. Sään ääri-ilmiöistä, Suomessa. 81 p.

5. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2007. Salamahavainnot 2007 - Lightning observations in Finland, 2007. 47 p.

6. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2007. Nurnijärvi Geophysical Observatory: Magnetic results 2006. 49 p.

2008: 1. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2008. Nurnijärvi Geophysical Observatory: Magnetic results 2007. 49 p.

2. Verronen, Pekka T. (ed), 2008. 1st international HEPPA workshop 2008, Book of abstracts. 81 p.

3. Gregow, Hilppa, Venäläinen, Ari, Laine, Mikko, Niinimäki, Niina, Seitola, Teija, Tuomenvirta, Heikki, Jylhä, Kirsti, Tuomi, Tapio ja Mäkelä, Antti, 2008. Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. 99 s.

4. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2008. Salamahavainnot 2008 - Lightning observations in Finland, 2008. 49 p.

2009: 1. Nevanlinna, Heikki, 2009. Geomagnetismin ABC-kirja. 204 p.

2. Nevanlinna, Heikki (toim.), 2009. Ilmatieteen laitos 170 vuotta 1838 - 2008. 69 p.

3. Nevanlinna, Heikki, 2009. Revontulihavainnot Suomessa 1748 - 2009. 88 p.

4. Jylhä, K., Ruosteenoja K., Räisänen J., Venäläinen A., Tuomenvirta H., Ruokolainen L., Saku S. ja Seitola T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. 102 p.

5. Mäkelä, Antti & Tuomi, Tapio J., 2009. Salamahavainnot 2009 - Lightning observations in Finland, 2009. 51 p.

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

ISBN 978-951-697-701-3
ISSN 0782-6079
Yliopistopaino
Helsinki 2009