

Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa

Seppo Saku

Antti Mäkelä

Kirsti Jylhä

Niina Niinimäki

21.6.2016

**Ennakoiva lyhyen aikavälin sää-, talous- ja ilmastoriskien hallitseminen
(ELASTINEN-hanke)**



ILMATIETEEN LAITOS

Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa

Tiivistelmä

Ilmasto-oppaan interaktiivinen rankkasateiden toistuvuustyökalu¹ perustuu Risto Katajiston vuonna 1969 julkaisemaan tutkimukseen ”Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa” (Katajisto, 1969). Tämän tarkastelun tavoitteena oli tutkia, pätevätkö kyseiset laskelmat edelleen nykyilmastossa vai kaipaako työkalu päivitystä, ja onko rankkasateiden toistuvuusajoissa merkittävää paikallista vaihtelua.

Katajiston (mt) tutkimuksen tausta-aineistona on käytetty Ilmatieteen laitoksen Helsingin Kaisaniemen ja Siikajoen Revonlahden piirtävien sademittarien, ns. pluviograafien, sadehavaintoja. Helsingistä havaintoja oli 43:lta ja Revonlahdelta 34:lta vuodelta. Havaintosarjan tarkkaa ajankohtaa ei ole ilmoitettu. Tätä aineistoa verrattiin uudempaan vastaavaan aineistoon. Pluviograafilla tehtyjä sadeintensiteettimittauksia ei kuitenkaan ole sähköisessä muodossa saatavilla muilta kuin Helsingin Kaisaniemen mittausasemalta. Vertailu suoritettiin siis vain Helsingin Kaisaniemen mittausaikaan vuosilta 1951-2000 (kts. Kilpeläinen et al. 2008). Sekä Katajiston että Helsingin Kaisaniemen vuosien 1951-2000 aineistoa tarkasteltiin ääriarvoanalyysien avulla.

Ääriarvoanalyysien perusteella Helsingin rankkasadeilmastossa ei näytä käytettävissä olevan aineiston perusteella tapahtuneen muutosta kohti yleisempiä ja runsaampia rankkasateita. Katajiston tutkimuksen mukaiset rankkasateiden toistuvuusajat tietyn suuruisille sadeintensiteeteille näyttäisivät pätevän edelleen nykyilmastossa, eikä Ilmasto-oppaan rankkasateiden toistuvuustyökalussa ole siltä osin päivitystarvetta.

Lisäksi tarkasteltiin rankkasateiden alueellista esiintymistä. Koska pluviograafimittauksia ei ole digitaalisessa muodossa saatavilla muualta kuin Helsingin Kaisaniemestä, käytettiin tarkastelussa automaattisten sadeasemien sadeintensiteettihavaintoja vuosilta 2010-2015. Ilmatieteen laitoksen ilmastotietokannasta oli saatavilla 78 eri puolilla Suomea sijaitsevan automaattisen havaintoaseman sadeintensiteetin havainnot. Vuosien 2010-15 touko-syyskuulta poimittiin 10 min keskimääräisen sadeintensiteetin arvoja kultakin asemalta kolmella eri sadeintensiteetin kynnysarvolla: yli 30, yli 15 ja yli 7 mm/h. Pienin kynnysarvo, 7 mm/h, on IL:n käyttämä rankkasateen alaraja. Kynnysarvot ylittävät havainnot laskettiin yhteen koko tarkastelujaksolta. Lisäksi laskettiin kynnysarvot ylittävien sadepäivien lukumäärät.

Rankkasateiden lukumäärissä oli alueellisesti suurta vaihtelua. Suurimmat rankkasateiden lukumäärät painottuivat etupäässä Keski- ja Etelä-Suomen sisämaahan, ja vähiten niitä esiintyi Pohjois-Lapissa. Voimakkaimmat rankkasateet (>30 mm/h) keskittyivät Keski-Suomeen sekä Satakuntaan ja Pohjanmaalle. Myös Uudenmaan rannikkoalueella esiintyi paikoin runsaita rankkasateita.

Koska lyhytkestoiset rankkasateet liittyvät keskeisesti ukkospilviin, voidaan niiden maantieteellisiä eroja arvioida myös salamahavaintojen avulla. Tutkimuksessa tarkasteltiin salamoiden keskimääräistä esiintymistä Suomessa vuosina 1998-2015 Ilmatieteen laitoksen salamanpaikantimen havaintojen perusteella. Myös salamahavaintojen perusteella Lapissa rankkasateita esiintyy vähemmän kuin muualla Suomessa.

Suomen rankkasadeilmasto ei siis ole homogeeninen. Lapissa rankkasateiden todennäköisyys näyttää olevan pienempi kuin muualla Suomessa. Suurin rankkasateiden todennäköisyys on Kainuusta Satakuntaan ulottuvalla vyöhykkeellä, ja keskimääräistä suurempi todennäköisyys niille on myös Uudenmaan rannikolla.

¹ <https://ilmasto-opas.fi/oppimismoduulit/rankkasateiden-toistuvuus/>

Analyysissä käytetty aineisto on kuitenkin hyvin suppea. Rankkasateiden toistuvuusaikojen tarkempaan alueelliseen selvitykseen tarvittaisiin digitoidut pluviograafihavainnot useilta eri puolilla maata sijaitsevilta havaintoasemilta. Tällä hetkellä niitä ei kuitenkaan ole saatavilla.

Viitteet:

Katajisto, R., 1969: Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa. *Rakennushallituksen tiedotuksia* 1969.

Kilpeläinen, T., Tuomenvirta, H., & Jylhä, K. (2008). Climatological characteristics of summer precipitation in Helsinki during the period 1951-2000. *Boreal environment research*, 13(1), 67-80.

Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa

Saku S., Mäkelä A. ja Jylhä K.

1. Johdanto

Rankkasateilla on merkittävät yhteiskunnalliset vaikutukset. Lyhytkestoisten ja erittäin voimakkaiden sateiden tuoma vesimäärä saa viemärit tulvimaan, koska hulevesijärjestelmä ei kykene kuljettamaan vettä riittävän nopeasti pois alueelta. Rankkasade voi huuhtoa mukanaan maata ja lisäksi aiheuttaa vahinkoja viljelyksille. Rakennuksille ongelmat aiheutuvat usein veden tulviessa kellariin tai päästessä sisään kattorakenteiden kautta. Sen lisäksi että nykyilmastomme rankkasateiden hallinta aiheuttaa haasteita, ilmastonmuutoksen arvioidaan lisäävän rankimpien sateiden osuutta Suomessa.

Rankkasateiden havainnointi on haastavaa: ne liittyvät olennaisesti lyhytikäisiin ja pienen mittakaavaan kuuro- ja ukkospilviin. Rankimman sateen alue on yleensä erityisen rajattu (luokkaa 1 km^2), jolloin sen osuminen havaintoasemalle on melko epätodennäköistä. Nykyiset säätutkat kykenevät havaitsemaan sadealueet suurella tarkkuudella, mutta havainnot eivät ole yksiselitteisiä, koska tutka mittaa sadetta ilmakehässä, ei maan pinnalla, ja lisäksi suuret rakeet aiheuttavat väärintulkintoja. Kuinka paljon oikeastaan tiedämme rankkasateiden esiintymisestä?

Ilmiön suuren vaikuttavuuden takia rankkasadetutkimusta on tehty Suomessakin jo useita vuosikymmeniä. Tähän mennessä laajin aihepiirin tutkimus on vuodelta 1969 ("Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa" Katajisto, 1969). Tutkimuksen aineistona on käytetty Ilmatieteen laitoksen piirtävien sademittareiden havaintoja Helsingissä ja Revonlahdella. Vaikka Katajiston (1969) tulokset on julkaistu vuosikymmeniä sitten, ne ovat edelleen laajalti käytössä mm. hulevesien hallinnan suunnittelussa.

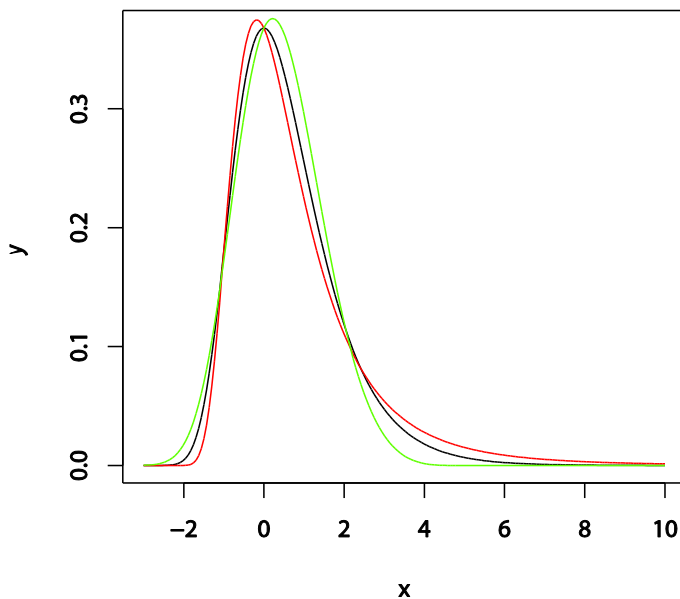
Tässä tutkimuksessa on paneuduttu Katajiston (1969) tuloksiin ja pyritty arvioimaan niiden käyttökelpoisuutta nykyilmastossamme.

2. Ääriarvotarkasteluista lyhyesti

Moniin tutkittaviin ilmiöihin liittyy muista havainnoista poikkeavia tai ääreviä havaintoja. Perinteiset menetelmät sopivat usein huonosti kuvaamaan kokeellisiin havaintoihin perustuvan jakauman häntiä ja antavat epätarkkoja tuloksia ääri-ilmiöistä. Ääriarvoteoria on kehitetty mallintamaan harvinaisia ja poikkeavia havaintoja. Ääriarvoteorian avulla pystytään myös ekstrapoloimaan havaitun aineiston ulkopuolelle paremmin kuin useimmilla muilla menetelmillä.

Ääriarvoteorian alkuvaiheessa kehitettiin jakaumatulokset satunnaismuuttujajoukon maksimiarvolle. Tätä lähestymistapaa kutsutaan jaksomaksimimenetelmäksi (block maxima) ja siihen liittyvää jakaumaa yleistetyksi ääriarvojakaumaksi, GEV (generalised extreme value distribution). Toinen tapa on mallintaa satunnaismuuttujajoukon suurimpia arvoja, jotka ylittävät määrätyn kynnyksarvon. Tätä menetelmää kutsutaan kynnyksarvon ylitysmenetelmäksi ja siinä satunnaismuuttujat noudattavat yleistettyä Pareto-jakaumaa, GPD (generalised pareto distribution).

Ensimmäisinä ääriarvojen rajajakauman ja sen asymptoottiset tulokset ratkaisivat Fisher ja Tippett (1928). He johtivat maksimin raja-arvolauseet, joiden mukaan riippumattomien ja samoin jakautuneiden havaintojen maksimi noudattaa asymptoottisesti joko Frechetin, Weibullin tai Gumbelin jakaumaa (Kuva 1). Jakaumat voidaan yhdistää yksiparametriseksi jakaumaksi, jota kutsutaan yleistetyksi ääriarvojakaumaksi (GEV) ja jonka erikoistapauksia kolme em. jakaumaa ovat. GEV-jakauman suurien arvojen hännän (Kuvan 1 käyrien oikeanpuoleinen pää) käyttäytymisen määrää jakauman muotoparametri. Tässä tarkastelussakin käytetty Gumbel-jakauma voidaan tulkita yleisen ääriarvojakauman raja-arvoksi, kun jakauman muotoparametri lähestyy nollaa.



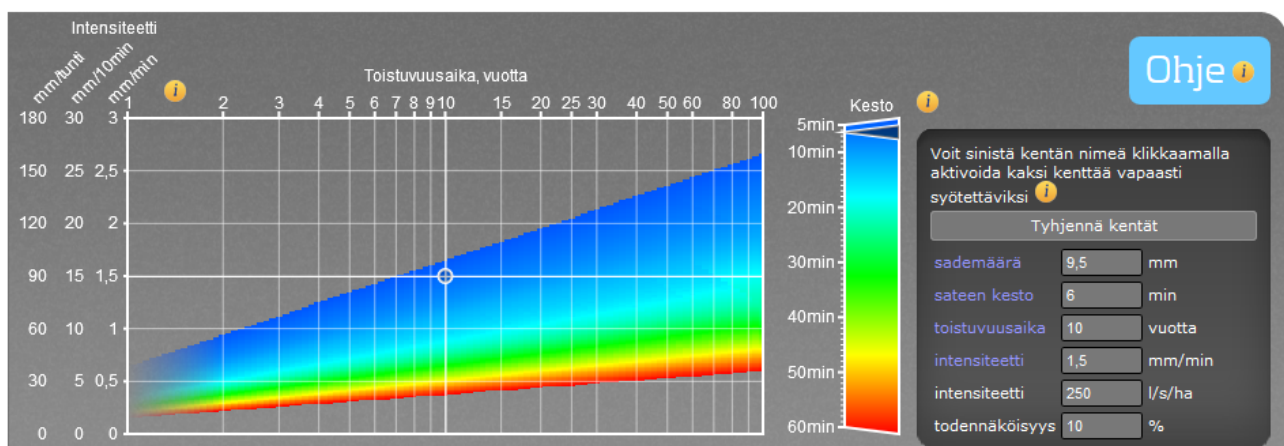
Kuva 1: GEV-jakauman tiheysfunktioita: musta (Gumbel), punainen (Frechet) ja vihreä (Weibull)

3. Ilmasto-oppaan rankkasadekaavion taustat

Ilmasto-oppaassa (<http://ilmasto-opas.fi>) oleva interaktiivisesti toimiva sovellus kuvaa lyhytkestoisten kesäsateiden rankkuutta ja paikallista toistuvuusaikaa Suomessa (kuva 2). Aineisto perustuu v. 1969 Risto Katajiston julkaisemaan tutkimukseen ”Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa” (Katajisto

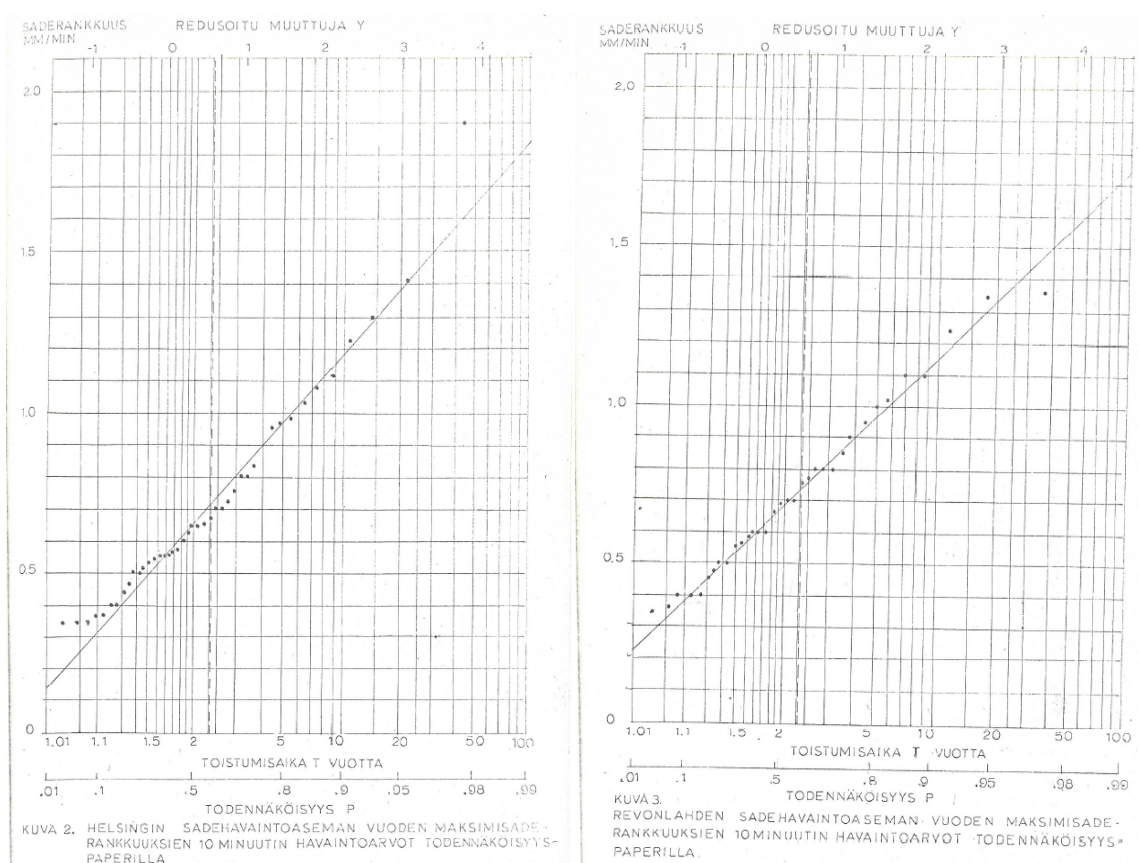
Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuusaika Suomessa

Kaaviossa on kuvattu lyhytkestoisten kesäsateiden rankkuutta ja paikallista toistuvuusaikaa Suomessa. Kaaviota voidaan soveltaa yhdessä paikassa tapahtuvien rankkasateiden todennäköisyyksien arviointiin. Esimerkiksi jos 15 minuutin aikana sataa vettä 10 mm, on samanlaisen sateen sattumisen todennäköisyys samassa paikassa 25 % eli keskimäärin kerran 4 vuodessa.



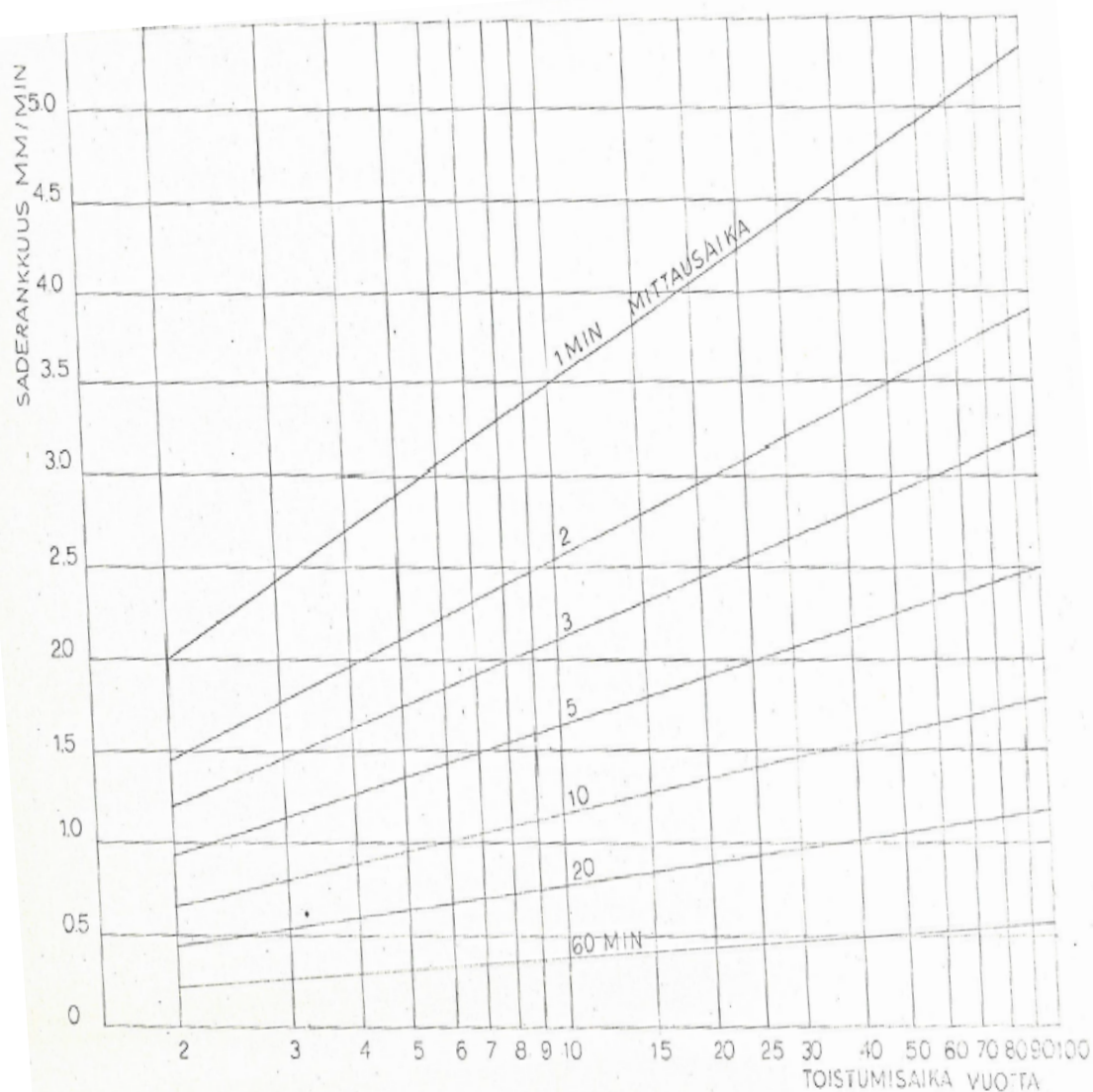
Kuva 2: Kesäsateiden rankkuuden toistuvuusaika ja toistuvuustasot Suomessa. Kuvakaappaus Ilmasto-oppaasta.

1969). Kyseisen tutkimuksen tausta-aineistona on käytetty Ilmatieteen laitoksen Helsingissä (Kaisaniemi) ja Revonlahdella (nykyisin kuuluu Siikajoen kuntaan) piirtävillä sademittareilla, ns. pluviograafeilla saatuja havaintoja. Kyseisessä tutkimuksessa Helsingistä mukana ollut jatkuva mittausaikasarja on 43 vuoden pituinen, mutta sitä, miltä vuosilta mittaukset tarkalleen ottaen ovat, ei ole mainintaa; se on siis peräisin joltakin tutkimuksen julkaisua (v. 1969) edeltävältä ajanjaksolta. Revonlahden aikasarja on 34 vuoden pituinen, ja ajanjaksosta ei myöskään ole tietoa. Molemmista havaintoaikasarjoista on poimittu kunkin vuoden suurin 10 minuutin aikana mitattu sateen voimakkuus. Näin saadut sadeintensiteetin vuosimaksimit on laitettu suuruusjärjestykseen ns. todennäköisyyspaperille. Soveltaen ”Gumbelin ekstreemin arvon 1. lajin asymptoottisen jakauman” graafista menetelmää on saatu kuvaajat rankkasateiden toistumistiheyden ennustamiseksi Helsinkiin ja Revonlahdelle (kuva 3).



Kuva 3: Toistuvuusaikasuorat 10 min rankkasateiden toistumistiheyden ennustamiseksi Helsinkiin (vas.) ja Revonlahdelle (oik.). (Katajisto, 1969). Vaaka-akselilla on esitetty toistuvuusaika (vuosia) ja todennäköisyys. Pystyakselina on sateen rankkuus (mm/min).

Kuvassa 3 näkyvien 10 minuutin sadevoimakkuuksien toistuvuusaikoja edustavien suorien tiedot on yhdistetty, ja muodostettu yksi rankkasadetapahtuman ennustekäyrä kuvaamaan koko Suomen 10 minuutin kestoisten rankkasateiden toistumistiheyttä (kuva 4). Perusteena Helsingin ja Revonlahden ennustekäyrien yhdistämiselle on annettu seuraava väittämä: ”Kun verrataan [Helsingin ja Revonlahden] ennustussuoria keskenään, niin voidaan todeta, että näillä kahdella paikkakunnalla odotettavissa olevien sadevoimakkuuksien ero on merkityksetön rakennusteknillistä ja –taloudellista mitoitus silmällä pitäen.”



KUVA 5. ENNUSTE RANKKASATEIDEN TOISTUMISTIHEYDESTÄ SUOMESSA

Kuva 4: Erimittaisten sadekestojen rankkasateiden toistumistiheys Suomessa (Katajisto, 1969). Vaaka-akselilla on esitetty toistuvuus aika (vuosia). Pystyakselina on sateen rankkuus (mm/min).

Kuvaan 4 on piirretty 10 minuutin kestoisen sateen ennustekäyrän lisäksi myös ennustekäyrät 1, 2, 3, 5, 20 ja 60 minuutin mittaisten sateiden kestolle. Näiden kuvaajien sadeintensiteettien toistuvuustasoja edustavat ennustekäyrät on laskettu käyttäen perustana Helsingin ja Revonlahden 10 minuutin ennustekäyrien yhdistelmää ja taulukossa 1 näkyviä kuuden eri puolille Suomea sijoittuvan paikkakunnan (Sodankylä, Revonlahti, Varkaus, Kokemäki, Jokioinen, Helsinki) erimittaisten sadekestojen sadeintensiteettejä. Kutakin sadekestoja vastaavat kuuden paikkakunnan sadeintensiteetit on keskiarvoistettu, ja keskiarvojen avulla on laskettu erimittaisten sadekestojen suhdeluvut. Käyttäen yhdistettyä Helsinki-Revonlahti 10 min sadekeston ennustekäyrää ja em. tavalla saatuja suhdelukuja, on

saatu 1, 2, 3, 5, 20 ja 60 min sadekestojen ennustekuvaajat. Taulukon 1 sadevoimakkuudet ovat peräisin Simojoen (1944) tutkimuksesta, joka käsittelee sateen mittausta Suomessa.

Taulukko 1: Eri puolille Suomea sijoittuvien paikkakuntien erimittaisten sadekestojen sadeintensiteettejä (Katajisto 1969). Ensimmäisessä sarakkeessa on mittauksen kesto aika (min), ja kullekin paikkakunnalle on esitetty sateen voimakkuus (mm/min) sekä havaintojen lukumäärä. Kolme oikeanpuoleisinta saraketta ilmaisevat paikkakuntien intensiteettiarvoista lasketun keskiarvon kyseiselle kestoajalle ja mittausten yhteismäärän sekä keskiarvon suhdeluvun verrattuna 60 minuutin kestoajan intensiteettiin. Esitetyt sateen voimakkuudet perustuvat Simojoen (1944) työhön.

1. mittauksen kesto aika minuuttia
2. sateen voimakkuus mm/min.
3. havaintojen lukumäärä

	Sodankylä		Revonlahti		Varkaus		Kokemäki		Jokioinen		Helsinki		Kaikki		Suhde
t	i	n	i	n	i	n	i	n	i	n	i	n	keskiarvo	$\sum n$	
1	2,12	7	4,73	3	3,22	9	2,82	7	3,43	9	2,52	5	3,01	40	10,00
3	1,63	5	1,79	22	1,63	9	1,77	8	1,60	10	1,60	20	1,66	74	5,52
5	1,28	6	1,40	19	1,54	4	1,30	8	1,22	9	1,46	3	1,34	49	4,46
10	0,96	5	0,97	16	0,84	10	0,91	5	0,86	7	0,98	2	0,90	45	3,00
15	0,69	4	0,73	18	0,72	7	0,78	9	0,73	6	0,87	2	0,73	46	2,43
30	0,46	5	0,42	20	0,47	4	0,49	6	0,47	5	0,44	3	0,45	43	1,49
45	0,37	5	0,31	15	0,53	2	0,37	4	0,37	5	0,29	17	0,33	48	1,10
60	0,31	4	0,28	15	0,41	2	0,28	5	0,31	4	0,27	3	0,30	33	1,00

Taulukko 1. Simojoen /1/ havaitsemia sadevoimakkuuksia sekä näistä lasketut keskiarvot ja voimakkuuksien suhdeluvut.

Osittain omaan tutkimukseensa vedoten ja osittain myös Simojoen (1944) ja Wäreen (1961) tekemiin sadeintensiteettimittauksiin viitaten Katajisto teki johtopäätöksen, että *"erot eri paikkakuntien välillä ovat pieniä ja jopa merkityksettömiä, kun tarkastellaan alle 60 minuutin mittausaikaa ja eri toistumisaikoja vastaavia voimakkuuksia"*. Loppupäätelmänä edellä olevasta Katajisto esitti, että *"Suomea ei ole syytä jakaa saderankkuutta ajatellen eri vyöhykkeisiin, vaan koko maata varten voidaan laatia yhteinen ennuste"*.

Ilmasto-oppaassa esitetyn lyhytaikaisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa –kaavion (kuva 2) tausta-aineistona on käytetty kuvan 4 ennustekäyrästä, joka on siis peräisin Katajiston (1969) julkaisusta. Kuvasta 2 on kuitenkin jätetty pois kuvassa 4 näkyvien 5 minuuttia lyhyempien sadekestojen (1, 2 ja 3 min) ennustekäyrät, koska 5 min lyhyempien sateiden mittaustarkkuus ei ole Katajiston tutkimuksenkaan mukaan kovin luotettava. Ilmasto-oppaan interaktiiviseen saderankkuuskaavioon (Kuva 2) on Katajiston tutkimuksesta saatujen 5, 10, 20 ja 60 minuutin sadekestojen ennustekäyrien välille interpoloitu kaikki muut yllä olevasta kaaviosta saatavat sadekeston ennustekäyrät.

4. Ilmasto-oppaan rankkasadekaavion ajantasaisuuden arviointia

Kuten edellä olevasta kävi ilmi, kuvasta 2 saatavat rankkasateen toistuvuusarvot perustuvat kahdella paikkakunnalla (Helsinki ja Revonlahti) ennen vuotta 1969 tehtyihin mittauksiin. Tämän tarkastelun tehtävänä oli selvittää, ovatko kuvan 2 antamat lyhytkestoisten rankkasateiden toistuvuustasot vielä nykymittaustenkin mukaan ajantasaisia. Piirtävällä sademittarilla (pluviograafi) tehtyjä sadeintensiteettimittauksia on sähköisessä muodossa saatavissa vain Helsingin Kaisaniemen mittausasemalta. Tässä tarkastelussa on siis ollut käytettävissä vain yksi tuoreehko vastaavanlainen pitkä rankkasateen mittausaikaasarja, kuin mitä on ollut käytössä kuvan 2 pohjana, nimittäin 10 minuutin kestoisen sateen vuosimaksimien mittausaikaasarja Helsingin Kaisaniemestä vuosilta 1951-2000 (kts.

Kilpeläinen et al. 2008). Kyseiselle aikasarjalle on tätä tarkastelua varten tehty Gumbel-sovitukseen perustuva ääriarvoanalyysi (ns. extRemes-työkalupaketti R-ohjelmistossa), ja tulos näkyy violettina toistuvuusaikakäyränä (Gum_He_50v) kuvassa 5.

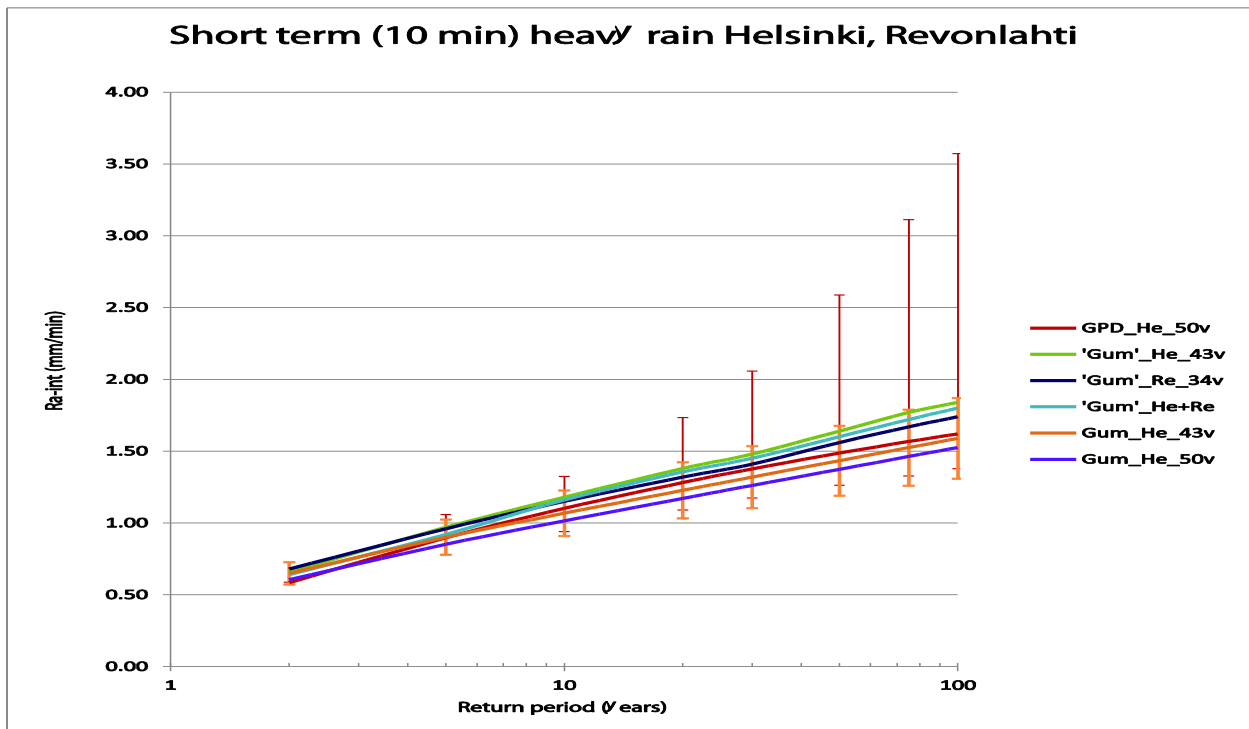
Katajisto on käyttänyt omassa ääriarvoanalyysissään niin ikään "Gumbel"-nimistä sovitetta, joka ei ilmeisesti kuitenkaan ole sama Gumbel-sovite kuin mitä extRemes-paketti käyttää. Nämä Katajiston "Gumbel" sovitteella tekemät toistuvuusaikakäyrät on myös piirretty Kuvaan 5: vihreä käyrä ('Gum'_He_43v) on Helsingin 43 vuoden aikasarja, tummansininen ('Gum'_Re_34v) on Revonlahden 34 vuoden aikasarja ja vaaleansininen ('Gum'_He+Re), jonka Katajisto oli saanut yhdistämällä Helsingin ja Revonlahden 10 minuutin sadekeston vuosimaksimihavainnot. Kuvasta nähdään, että kaikki kolme em. toistuvuusaikakäyrää ovat hyvin lähellä toisiaan: Helsingin käyrä kulkee ylimpänä, Revonlahden käyrä alimpana ja näiden yhdelmä niiden välissä. Näistä toistuvuusaikakäyrästä voidaan nähdä, että samaa toistuvuusaikaa vastaava sadeintensiteetin toistuvuustaso on Helsingissä vähän suurempi kuin Oulun korkeudella olevan Revonlahden vastaava arvo Katajiston tekemän tutkimuksen mukaan. Toisin sanoen tietyn suuruisen rankkasateen toistuvuustason toistuvuusaika on Helsingissä lyhyempi kuin Revonlahdella, eli näiden kuvaajien perusteella näyttää siltä, että pohjoisessa (Revonlahdella) on pienempi rankkasateen esiintymistodennäköisyys kuin etelässä (Helsingissä). Se, mikä tämän kahden paikkakunnan välisen eron selittää, ei ole kuitenkaan selvää. Se voi johtua joko sattumasta tai sitten todellisesta ilmastollisesta erosta.

Katajiston tutkimukseen sisältyviä mittaustuloksia ei ollut käytettävissä muuten kuin Katajiston (1969) tutkimuksen graafeissa. Kun Katajiston tutkimuksen tuloksista poimitaan 43 vuodelta olevaa (ennen v. 1969) 10 minuutin sadekeston vuosimaksimiarvot ja tehdään niille extRemes -ohjelmistopakettin avulla uusi Gumbel-sovite, niin saadaan kuvassa 5 näkyvä oranssi toistuvuuskäyrä (Gum_He_43v), jolle on myös laskettu 95%:n luottamusrajat. Tämä käyrä kulkee ylempänä kuin vastaavalla tavalla laskettu, jo aiemmin myös kuvassa 5 esitetty violetti toistuvuusaikakäyrä (Gum_He_50v), joka perustuu siis pidempään ja tuoreempaan (v. 1951-2000) aineistoon. Eroavaisuus saattaa johtua siitä, että Gum_He_43v -aineistossa on mukana yksi kaikista muista arvoista poikkeava huomattavan suuri arvo, joka ei ole mukana Gum_He_50v -aikasarjassa. Kuvasta 5 nähdään, että kaikki Katajiston "Gumbel" sovitteella tehdyt toistuvuuskäyrät (vihreä, tummansininen ja sininen) sekä myös extRemes-paketilla Helsingin 50 vuoden havainnoilla tehty toistuvuuskäyrä (violetti) jäävät Helsingin 43 vuoden havainnoilla saadun Gum_He_43v – kuvaajan 95%:n luottamusrajojen sisään. Kuvaan 5 on piirretty vertailun vuoksi myös extRemes-paketin GPD-sovitukseen perustuva toistuvuuskäyrä punaisella (GPD_He_50v) ja tämän 95 %:n luottamusrajat. Kuvasta nähdään, että **kaikki edellä mainitut toistuvuusaikakäyrät jäävät selvästi viimeksi mainitun toistuvuuskäyrän 95 %:n luottamusrajojen väliin.**

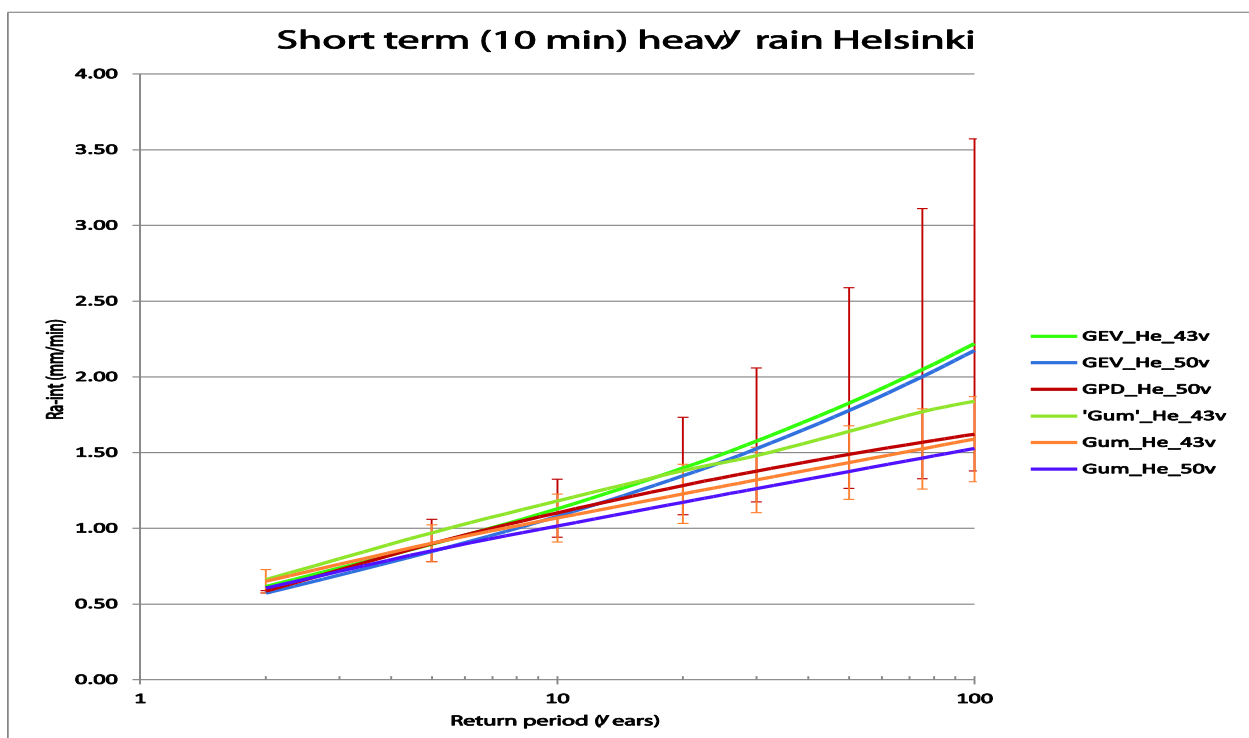
Seuraavaksi tarkastellaan GEV-sovitukseen perustuvia ääriarvoanalyysijä sekä Katajiston Helsingin 43 vuoden aineistolle että uudemmalta 50 vuoden aineistolle (kuva 6). Nähdään, että kumpikaan näistä GEV-kuvaajista ei ole muiden kuvaajien tavoin suoria vaan ylöspäin kaartuvia, mikä johtuu GEV:llä tehdyn sovitteen positiivisesta muotoparametrasta. Kuvaajat ovat samanmuotoisia ja kulkevat hyvin lähellä toisiaan. Vihreä kuvaaja (GEV_He_43v) kulkee kuitenkin hieman sinisen kuvaajan (GEV_He_50v) yläpuolella vastaavalla tavalla kuin samoilla aineistoilla saadut Gumbel-sovitteen kuvaajat (Kuva 5). Kyseisen eron selittänee sama jo edellä mainittu GEV_He_43v –aineistoon sisältyvä yksi poikkeuksellisen suuri havaintoarvo.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että **Helsingin rankkasadeilmastossa ei näytä käytettävissä olevan aineiston perusteella tapahtuneen ainakaan muutosta kohti yleisempiä ja runsaampia rankkasateita.** Siis

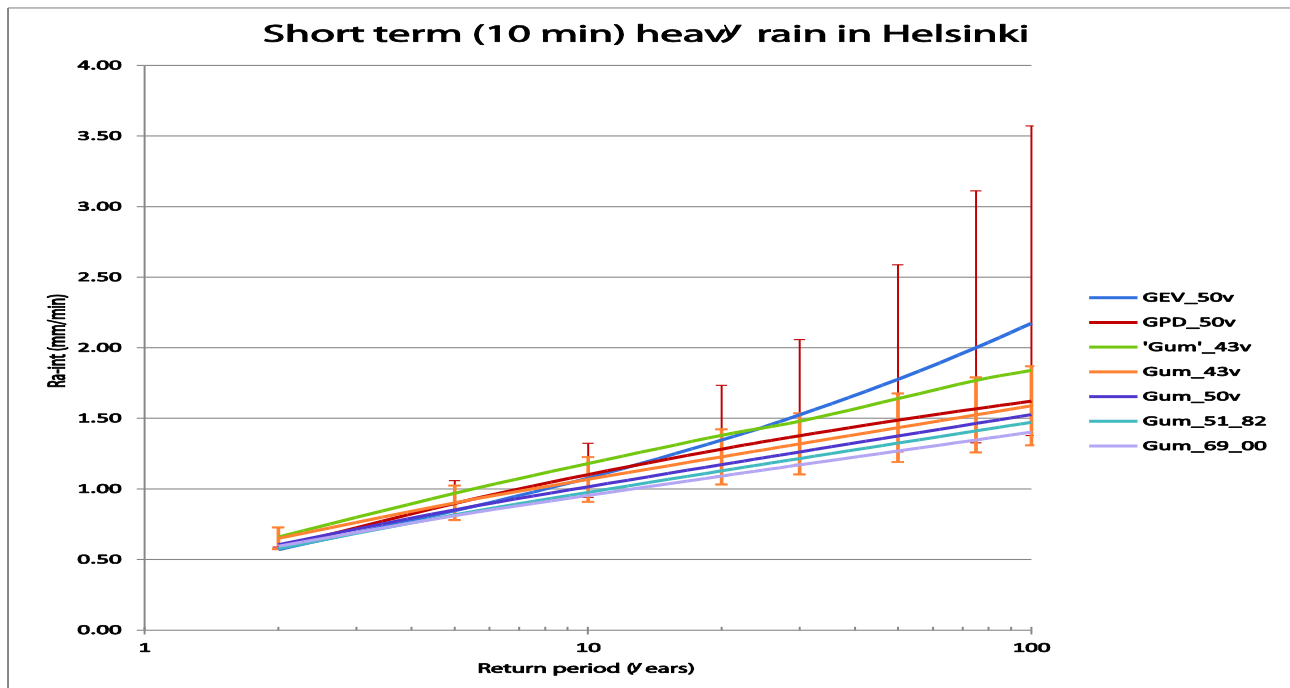
Katajiston tulosten ja Ilmasto-oppaassa olevan kaavion (Kuva 2) antamat rankkasateiden toistuvuusajat tietyn suuruisille sadeintensiteeteille näyttäisivät uudemmallakin rankkasadeaineistolla tarkasteltuna olevan edelleen voimassa.



Kuva 5: Rankkasateen toistuvuusaikakäyriä (Gumbel- ja GPD-sovitteita) 10 min kestoiselle sateelle Helsingissä ja Revonlahdella. "GPD_He_50v" Helsingin 50 vuoden aikasarja, "Gum'_He_43v" Katajiston 'Gumbel' ja 43 vuoden Helsingin aikasarja, "'Gum'_Re_34v" Katajiston 'Gumbel' ja Revonlahden 34 vuoden aikasarja, "'Gum'_He+Re" Katajiston 'Gumbel' ja Helsingin ja Revonlahden yhdistelmä, "Gum_He_43v" Katajiston 43 vuoden Helsingin aikasarja, "Gum_He_50v" Helsingin 50 vuoden aikasarja.



Kuva 6: Rankkasateen toistuvuusaikakäyriä (Gumbel- GEV-, GPD-sovitteita) 10 min kestoiselle sateelle Helsingissä. "GEV_He_43v" Katajiston 43 vuoden aikasarja, "GEV_He_50v" 1951-2000 aikasarja, "GPD_He_50v" 1951-2000 aikasarja, "'Gum'_He_43v" Katajiston 'Gumbel' ja 43 vuoden aikasarja, "Gum_He_43v" Katajiston 43 vuoden aikasarja, "Gum_He_50v" 1951-2000 aikasarja.



Kuva 7: Rankkasateen toistuvuusaikakäyriä (Gumbel- GPD- ja GEV-sovitteita) 10 min kestoiselle sateelle Helsingissä. "GEV_He_50v" 1951-2000 aikasarja, "GPD_He_50v" 1951-2000 aikasarja, "'Gum'_43v" Katajiston 'Gumbel' ja aineisto; "Gum_50v" 1951-2000 aikasarja, "Gum_51_82" 50 vuodesta jakso 1951-82, "Gum_69_00" 50 vuodesta jakso 1969-2000.

Kuvaan 7 on piirretty neljä Gumbel-sovitteella (R-extRemes) tehtyä Helsingin rankkasateiden vuosimaksimeihin perustuvaa toistuvuusaikakäyrää: oranssi, Gum_43v (Katajiston aineisto); violetti, Gum_50v (jakson 1951-2000 aineisto). Alimpina on esitetty jakson 1951-2000 aineisto jaettuna kahteen 32 vuoden mittaiseen aineistoon (Gum_51_82 [1951-82] ja Gum_69_00 [1969-00]). Kahdesta viime mainitusta käyrästä nähdään, että tuoreimpienkaan havaintojen pohjalta laaditun toistuvuusaikakäyrän mukaan rankkasateen toistuvuustasot eivät ole nousseet, vaan vaalean violetti käyrä (Gum_69_00) kulkee turkoosin käyrän (Gum_51_82) alapuolella. Kyseinen ero johtuu jälleen ilmeisesti Gum_51_82 –aineiston sisältämästä yhdestä poikkeavan suuresta havainnosta. Kuvasta 7 nähdään myös, että varhaisinta eli Katajiston havaintoaineistoa ja hänen omaa 'Gumbel' sovitetta käyttäen saatava vihreä 'Gum'_43v –käyrä kulkee Gumbel-sovitteista ylimpinä. Katajiston aineistolla ja R-extRemesin Gumbel-sovitteella saatuun oranssiin käyrään (Gum_43v) on piirretty myös 95 %:n luottamusrajat. Nähdään, että kaikki muut Gumbel-sovitteilla saadut toistuvuusaikakäyrät jäävät ko. luottamusrajojen väliin.

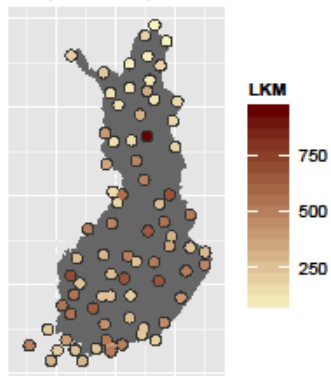
Johtopäätöksenä edellä olevasta voidaan todeta, että **kuvasta 2 saatavat lyhytkestoisten sateiden toistuvuusajat eivät näyttäisi tämänkään vertailun perusteella olevan aliarvioita.** Kuvaan 7 on piirretty vertailun vuoksi myös Helsingin 50 vuoden aineistolla analysoidut GPD – ja GEV –sovitteen toistuvuusaikakäyrät.

5. Rankkasateiden alueellinen vaihtelu

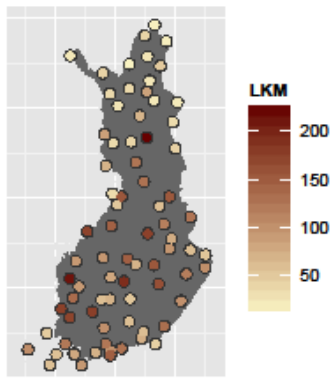
Ilmasto-oppaan rankkasadekaaviosta (kuva 2) saatava lyhytkestoisten rankkasateiden paikallinen toistumistiheys on siis edellä tehdyn tarkastelun perusteella vielä voimassa. Katajisto totesi kuitenkin omassa tutkimuksessaan (Katajisto, 1969), että *”Suomea ei ole syytä jakaa saderankkuutta ajatellen eri vyöhykkeisiin”*. Olisi kuitenkin syytä vielä tarkastella onko tuoreimpien mittaustietojen valossa lyhytkestoisten rankkasateiden esiintymistodennäköisyydessä olemassa alueellisia eroja. Jotta tähän kysymykseen voitaisiin vastata, niin meillä pitäisi olla käytössä myös muualta Suomesta vastaavanlaisia usean vuosikymmenen pituisia sadeintensiteettien aikasarjoja kuin edellä olevassa tarkastelussa käytetty Helsinki Kaisaniemen 50 vuoden mittainen aikasarja. Kaisaniemen havaintoja vastaavia mittauksia on olemassa tallennettuna pluviogrammeina noin kymmeneltä Ilmatieteen laitoksen mittausasemalta eri puolilta Suomea (mm. Sodankylä). Näitä havaintoaikasarjoja ei kuitenkaan ollut tutkimuksen tekohetkellä käytettävissä, sillä paperiliuskoilla olevaa mittaussaineistoa ei ole digitoitu sähköiseen muotoon. Niillä IL:n sadeasemilla, missä pluviograafimittauksia on aikaisemmin tehty, on näistä mittauksista 2000-luvulle tultaessa asteittain luovuttu. Kaikilla sademittausasemilla on viimeistään vuoteen 2010 mennessä siirrytty automaattisiin sademittauksiin. Ilmatieteen laitoksella on vuosien 2010-15 aikana ollut eri puolilla Suomea toiminnassa 78 automaattista sadeasemaa, joilla mitataan sateen intensiteettiä. Näiltä asemilta tallennetaan IL:n ilmastotietokantaan mm. 10 minuutin keskimääräinen sadeintensiteetti –nimistä suuretta.

Pitkäaikaisemman sadeintensiteettiaineiston puuttuessa rankkasateiden alueellisen vaihtelun arviointiin on tässä tarkastelussa tyydyttävä käyttämään kyseisiä kuudelta vuodelta olevia havaintoarvoja. Näiltä vuosien 2010-15 touko-syyskuulta on 10 min keskimääräisen sadeintensiteetin arvoja poimittu kultakin 78 asemalta kolmella eri sadeintensiteetin kynnysarvolla, >30, >15 ja >7 mm/h (7 mm/h on IL:n käyttämä rankkasateen alaraja), ja sitten on kultakin asemalta laskettu yhteen em. tapausten lukumäärät sekä kynnysarvon ylittävien päivien lukumäärä per kuusi vuotta. Kyseisellä tavalla määriteltujen tapausten lukumäärät on piirretty havaintoasemittain kartalle ja tulokset esitetty värikoodeilla (Kuva 8).

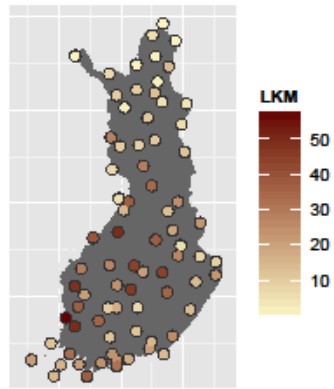
R int (>7mm/h) cases 2010–15



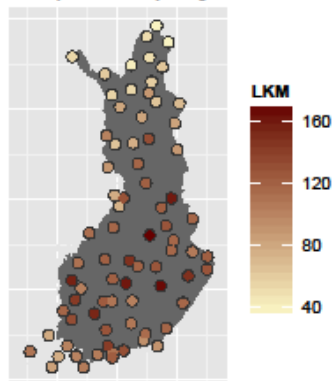
R int (>15mm/h) cases 2010–15



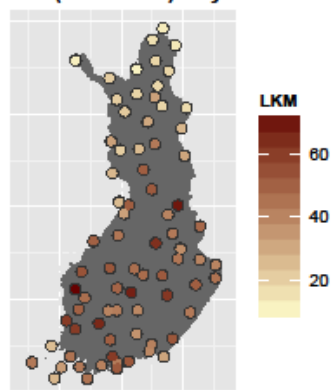
R int (>30mm/h) cases 2010–15



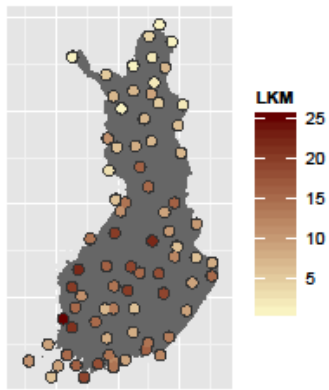
R int (>7mm/h) days 2010–15



R int (>15mm/h) days 2010–15



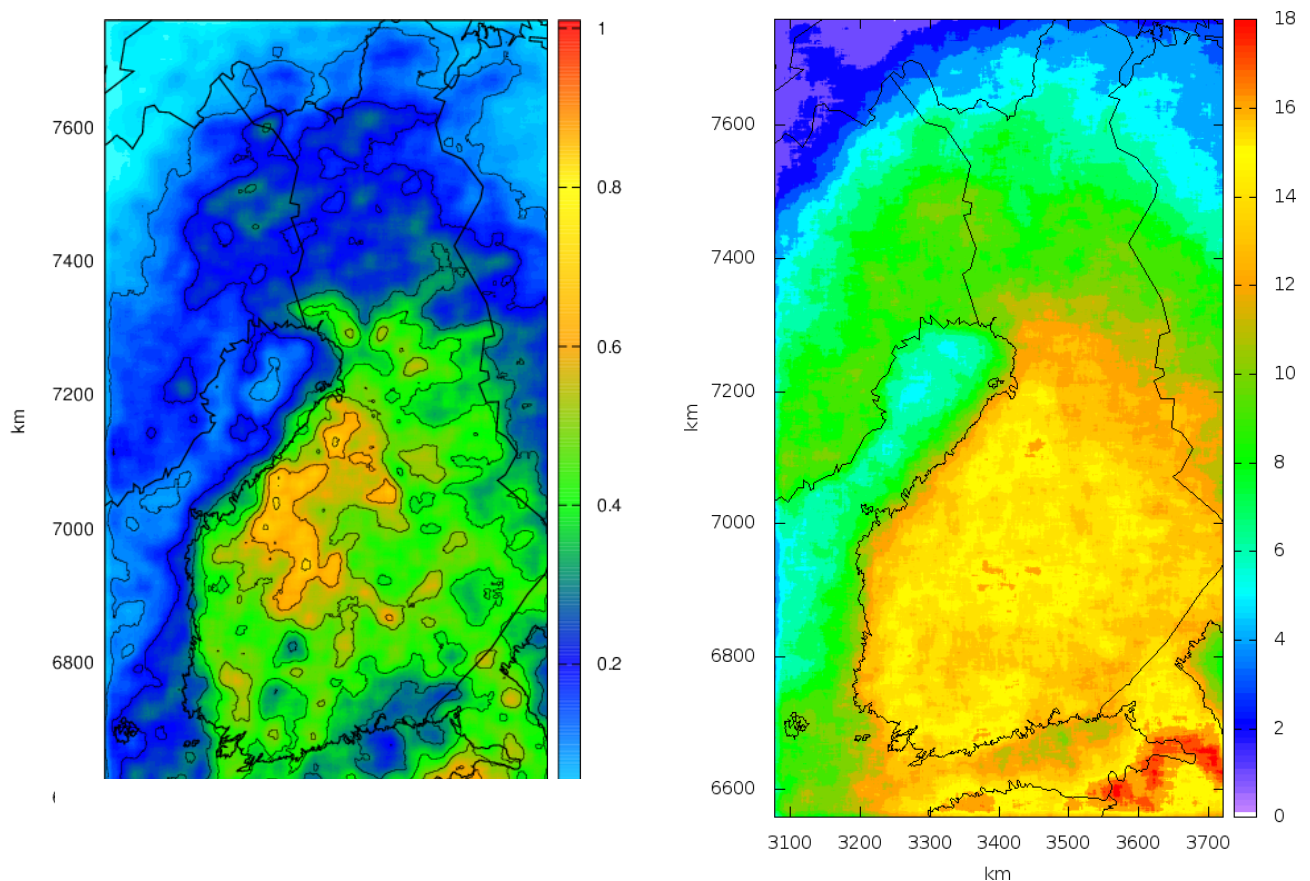
R int (>30mm/h) days 2010–15



Kuva 8: Rankkasadetapahtumien kokonaislukumäärät (ylärivi) ja rankkasadepäivien lukumäärät (alarivi) perustuen jakson 2010–2015 automaattisadeasemien mittauksiin kuukausilta touko-syys.

Kuva 8 osoittaa, että **rankkasateiden lukumäärissä on alueellisesti suhteellisen suurta vaihtelua**. Suurimmat rankkasateiden lukumäärät painottuvat etupäässä Keski- ja Etelä-Suomen sisämaahan, ja vähiten niitä esiintyy Pohjois-Lapissa. Tästä huolimatta ja rankkasateiden satunnaisuutta kuvaten Kemijärven mittaustaikka erottuu kuitenkin selvästi kaikkien rankkasateiksi luokiteltujen (>7 mm/h) sateiden suurimmalla lukumäärällään. Voimakkaimmat rankkasateet (>30 mm/h) näyttäisivät keskittyvän Keski-Suomeen sekä Satakuntaan ja Pohjanmaalle. Myös Uudenmaan rannikkoalueella esiintyy paikoin runsaita rankkasateita. Kuvassa 7 esitetyt ns. rankkasadepäivien jakaumat ovat hyvin samankaltaiset kuin rankkasadelukumäärien alueelliset jakaumat: Lapissa rankkasadepäiviä on vähiten ja eniten niitä esiintyy Kainuusta Satakuntaan ulottuvalla vyöhykkeellä sekä toisaalta Uudenmaan rannikolla. Helsingin osalta voidaan todeta, että kun kaikkien 78 mittausaseman tiedot listataan suurimmasta pienimpään, niin Kaisaniemi on kaikkien rankkasateiden lukumäärän listalla sijaluvulla 8. Tarkasteltaessa >15 mm/h tai suurempien rankkasateiden listaa Kaisaniemen sijaluvuksi tulee 13 ja rajauksella >30 mm/h tai suurempien rankkasateiden listalla sijaluku on 17.

Koska lyhytkestoiset rankkasateet liittyvät keskeisesti ukkospilviin, voidaan niiden maantieteellisiä eroja arvioida myös salamahavaintojen avulla. Kuvassa 9 on esitetty salamoiden keskimääräinen esiintyminen Suomessa 1998-2015 Ilmatieteen salamanpaikantimen havaintojen pohjalta. Kuva 9 vahvistaa saman jo edellä todettua asian, että Lapissa rankkasata esiintyy vähemmän kuin muualla Suomessa.



Kuva 9: Maasalamiheys ($\text{km}^{-2} \text{a}^{-1}$, vasen) ja keskimääräinen ukkospäivien vuosilukumäärä jaksolla 1998-2015.

6. Yhteenveto

Katajiston (1969) tutkimus osoittaa, että jopa erittäin harvinainen lyhytkestoinen rankkasade voi esiintyä missä päin Suomea tahansa. Tässä tutkimuksessa kuitenkin todettiin, että itse asiassa Pohjois-Suomessa rankkasadetapahtumien lukumäärä on pienempi kuin muualla, mikä tarkoittaa sitä, että kutakin rankkasadeluokkaa esiintyy Pohjois-Suomessa harvemmin (toistuvuus aika suurempi). Pohjois-Suomen tietyn suuruisten rankkasateiden toistuvuus aikojen tarkempaan selvitykseen tarvittaisiin digitoidut pluviograafihavainnot Lapin asemilta, joita ei ole tällä hetkellä ollut saatavilla.

Tässä tutkimuksessa käytetty hyvin suppea kuusivuotinen automaattiasemilla mitattu rankkasadeaineisto antaa viitteitä siitä, että Suomen rankkasadeilmasto ei ole homogeeninen. Lapissa rankkasateiden todennäköisyys näyttää olevan pienempi kuin muualla Suomessa. Suurin rankkasateiden todennäköisyys on Kainuusta Satakuntaan ulottuvalla vyöhykkeellä, ja keskimääräistä suurempi todennäköisyys niille on myös Uudenmaan rannikolla.

Viitteet:

Katajisto, R., 1969: Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa. *Rakennushallituksen tiedotuksia* 1969.

Kilpeläinen, T., Tuomenvirta, H., & Jylhä, K. (2008). Climatological characteristics of summer precipitation in Helsinki during the period 1951-2000. *Boreal environment research*, 13(1), 67-80.