

**MITEN SADANTA ON MUUTTUNUT SUOMESSA SADASSA VUODESSA -
MUUTOKSIA SELITTÄVIÄ TEKIJÖITÄ**

LuK-seminaari

2016

Hannu Pesonen

012840258

HELSINGIN YLIOPISTO
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS
MAANTIETEEN OSASTO
PL 64 00014 HELSINGIN YLIOPISTO

Sisällysluettelo

1. Johdanto	3
2. Kaukoyhteys sadannan muutoksia selittävänä tekijänä.....	4
2.1. Kaukoyhteyden käsite.....	4
2.2. Pohjois-Atlantin oskillaatio eli NAO.....	5
2.3. Itä-Atlantin/Länsi-Venäjän kaukoyhteys eli EA/WR.....	6
2.4. Skandinavian kaukoyhteys eli SCA	6
3. Miten sadanta muuttui 1900-luvulla Suomessa - tutkimusmenetelmät ja -päätulokset	6
4. Kaukoyhteyksien vaikutus sadantaan Suomessa	7
5. Sadannan tarkastelua vuodenajoin ja kuukausittain.....	8
6. Sadannan Suomessa vertailu muiden maiden sadantaan.....	11
7. Suomen sisäisistä alueellisista eroista sadannassa.....	12
8. Johtopäätökset ja pohdinta	12
9. Kirjallisuus.....	13

1. Johdanto

Sadanta eli presipitaatio on yleiskäsite eri olomuodoissa sataville vesi- eli H₂O-molekyyleille. Sadanta voi ilmetä vesisateena, lumisateena, räntänä, jäätävänä sateena tai rakeina. Sadanta kuuluu niihin muuttujiin, joita tutkitaan yleensä 30 vuoden tilastojen avulla. Suurkuvassa Suomi saa sateensa Atlantilta. Ns. Ferrelin solusta puhaltaa ns. länsituulia ja niitä kohti puhaltaa puolestaan napa- eli polaarisolun itätuulet. Niiden kohdatessa rajapintaan syntyy polaaririntama. Korkealla rintaman kohdalla, n. 10–12 km korkeudella kulkee polaariset suihkuvirtaukset, 1–2 km ”paksut” (korkeussuunnassa) sekä 160–500 km leveät (pohjois-eteläsuunnassa) (Arbogast 2007). Esim. polaaririntamaan syntyy ns. dynaamisia konvektiosilmukoita (convection loop). Ne muodostuvat korkea- ja matalapaineen keskuksista. Korkeapaineesta ilma virtaa kohti matalapainetta. Matalapaineessa suhteessa lämmin ilma alkaa kohota vastapäivään synnyttäen syklonin. Ilma *saturoituu*, saavuttaa kastepisteen ja muodostaa sadepilviä. Matalapaineiden liikkeessä nuo sadepilvet kantautuvat polaaririntamalta Pohjois-Eurooppaan ja samalla Suomeenkin - tuoden sateita. Suurkuvassa Skandinavian (Norja, Ruotsi ja Tanska), Baltian ja Suomen sadanta muistuttavat paljon toisiaan. Ne ovat kaikki ns. humideja ilmastoja. Suurimmat sateet tällä alueella tulevat loogisesti Skandien länsipuolisilla rinteillä, orografisina sateina. Itämeren valuma-alueella sadannassa on mielenkiintoisia paikallispiirteitä (Jaagus 2009). Jaagus jakoi Itämeren valuma-alueen sadannan osalta neljään eri alueeseen: pohjoinen, itäinen, eteläinen ja läntinen.

Osana ilmastonmuutosta on esitetty, että äärimmäiset sääilmiöt lisääntyvät; myrskyt, joihin voi liittyä voimakkaitakin sateita. On myös yleisesti ennustettu sadannan kasvavan joillakin maapallon alueilla. Irannezhadin ym. (2014) mukaan sadanta on yksi päämuuttujista ilmastonmuutoksen havaitsemisessa paikallisella tasolla. Miten sadanta kaiken kaikkiaan muuttuu, vaatii huolellista tutkimista ja analysointia. Yksinkertaisimmillaan hypoteesi on, että merialueilla kohoavat lämpötilat lisäävät haihduntaa, ja tuulten kuljettaessa kosteaa ilmaa maa-alueille vähintäänkin rannikkoalueiden meri-ilmastoissa sateiden tulisi lisääntyä. Tosiasiassa ilmastoon vaikuttaa niin moni asia yhtä aikaa, että sadannan muutosten ennustaminen on hyvin haastavaa. Onkin mielenkiintoista tutkia, miten sadanta on muuttunut 1900-luvulla Suomessa. Irannezhadin ym. (2014) tutkimus tarjoaa tähän hyvän mahdollisuuden, sillä he tutkivat sadannan kehitystä Suomessa vuosina 1911 - 2011. Samalla on saatu tietoa myös Pohjois-Euroopan sadannan kehittymisen yleiskuvasta. Keskityn siis tässä tutkielmassa sadannan kehittymisen yleiskuvaan, en sään enkä ilmaston ääri-ilmiöihin.

Irannezhadin ym. (2014) mukaan vuosittaiset ilmaston variaatiot voivat huolellisen historian datan tutkimisen kautta paljastaa selkeitä kuvioita ilmakehän ja valtamerien ns. anomalioissa, jotka toistuvat samankaltaisina. Anomalian voi sadannan tapauksessa määritellä esim. niin, että se mittaa poikkeamaa perussademäärästä (base value) eli pitkän aikavälin keskimääräisestä sadannasta, eri aikaskaaloilla. Suomihan on pinta-alaltaan suuri maa, jonka alueella on Köppenin ilmastoluokituksen mukaan kahdenlaista, mikrotermaalista ilmastoa: Dfb Etelä- ja Länsi-Suomessa, Dfc Pohjois-Suomessa. Noiden kahden ilmaston rajaviiva on piirretty eri kartoissa eri tavoin. Arbogastin kirjassa (2007) raja kulkee suunnilleen Kokkola-Savonlinna -akselin myötäisesti, toisissa kartoissa etelämpänä. Suomen ilmastosta voidaan myös käyttää kansanomaisempaa käsitettä ”väli-ilmast” - meri- ja mannerilmaston välissä. Ilmeisimpien sadannan muutosten voisi ylläolevan hypoteesin mukaan ajatella osuvan Norjan länsirannikolle, jolloin Suomessa tapahtuvat muutokset kertoisivat itse asiassa *voimakkaammin* ilmastonmuutoksesta. Keskityn tässä tutkielmassa etupäässä Suomeen, mutta vertaan tuloksia myös muihin Euroopan alueisiin, erityisesti kaakkoisen Välimeren alueeseen ja jonkin verran muihin Pohjoismaihin sekä Baltian maihin. Käyn läpi mahdollisia maapallon ilmastoon ja globaaliin ilmakehän kiertoon liittyviä syitä siihen, miksi sadanta on muuttunut Suomessa. Keskeisenä selittäjänä toimii tutkielmassani ns. kaukoyhteysilmiö.

2. Kaukoyhteys sadannan muutoksia selittävänä tekijänä

2.1. Kaukoyhteyden käsite

Kaukoyhteys, engl. teleconnection, viittaa toistuviin ja pysyviin ilmanpaineen ja ilmavirtojen kierron anomalioihin, jotka ulottuvat laajoille alueille (NOAA CPC -tietokanta 2012). Kaukoyhteysmallit kuvaavat pitkän aikavälin vaihtelevuutta ilmakehän kierrossa - useista viikoista useisiin perättäisiin vuosiin. Monet kaukoyhteydet ovat planetaarisia ja kattavat kokonaisia valtamerialtaita ja mantereita. Kaikki kaukoyhteydet kuuluvat luonnollisena osana kaoottiseen ilmakehän systeemiin; ne syntyvät ilmakehän sisäisestä dynamiikasta. Lisäksi osaan kaukoyhteyksistä, erityisesti pohjoisella Tyynellämerellä vaikuttavat ratkaisevasti muutokset merenpinnan lämpötiloissa ja trooppisissa konvektiovirtauksissa, jotka ovat yhteydessä mm. ns. El Niñoon (El Niño eteläinen oskillaatio, El Niño-Southern Oscillation, ”ENSO”) (Kts. esim. Barnston & Livezey 1991). Kaukoyhteydet heijastavat suuria ja useidenkin vuosien mittaisia muutoksia ilmakehän liikkeiden kuten suihkuvirtausten kulkureiteissä ja vaikuttavat mm. lämpötilaan, sateisiin ja myrskyjen kulkureitteihin. Usein

kaukoyhteydet ovat syypää epänormaaleihin säihin, jotka ilmenevät yhtä aikaa kaukana toisistaan. Pohjoisella pallonpuoliskolla voidaan identifioida, tropiikin pohjoispuolella, kymmenen eri kaukoyhteyttä ja kaikkia niitä on käsitelty kirjallisuudessa (kts. esim. Barnston ja Livezey 1987). Esittelen seuraavassa kolme kaukoyhteyttä, jotka ovat relevanteimpia tämän katsaukseni aiheen eli Suomeen tulevan sadannan kannalta: Pohjois-Atlantin oskillaatio eli "NAO" (North Atlantic Oscillation), Itä-Atlantin/Länsi-Venäjän kaukoyhteys "EA/WR" (East Atlantic/Western Russia pattern) sekä Skandinavian kaukoyhteys "SCA"/"SCAND" (Scandinavian Pattern).

2.2. Pohjois-Atlantin oskillaatio eli NAO

Yksi keskeisimmistä kaikkina vuodenaikoina vaikuttavista kaukoyhteyksistä on NAO. Se koostuu anomalioiden pohjois-etelä-dipolista, yhden keskuksen sijaitessa Grönlannissa ja toisen, vastakkaisen kattaessa Atlantin leveyspiirit 35–40 astetta (NOAA CPC 2012). NAO:n positiivinen vaihe näkyy normaalia matalampina ilmavirtausten korkeutena ja ilmanpaineena kautta Pohjois-Atlantin korkeiden leveysasteiden, johtaen keskimääräistä syvempään tuon alueen matalapaineeseen. Positiivinen vaihe näkyy myös normaalia korkeampina ilmavirtauksina ja ilmanpaineena keskisen Pohjois-Atlantin, itäisen Yhdysvaltain sekä läntisen Euroopan yllä. Nuo tekijät johtavat puolestaan keskimääräistä korkeampaan keskisen Pohjois-Atlantin korkeapaineeseen. NAO:n negatiivinen vaihe heijastaa vastakkaista ilmavirtausten korkeuden ja ilmanpaineen anomalioiden tilannetta em. alueilla. NAO:n molemmat vaiheet ovat yhteydessä koko Atlantin laajuisiin muutoksiin Pohjois-Atlantin suihkuvirtauksen ja myrskyjen kulkureitin intensiteetissä ja sijainnissa ja lisäksi yhteydessä suuriin muutoksiin zonaalisessa ja leveyspiirien suuntaisessa lämmön ja kosteuden kulkeutumisessa (Hurrell 1995). Tästä puolestaan seuraa lämpötilan ja sadannan muutoksia, jotka usein ulottuvat itäisestä Pohjois-Amerikasta läntiseen ja Keski-Eurooppaan.

Voimakkaat NAO:n positiiviset vaiheet ovat tyypillisesti yhteydessä keskimääräistä korkeampiin lämpötiloihin itäisessä USA:ssa ja kautta pohjoisen Euroopan (CPC 2012). Ne ovat puolestaan yhteydessä keskiarvoa matalampiin lämpötiloihin Grönlannissa ja usein halki eteläisen Euroopan sekä Lähi-Idän. Ne ovat myös yhteydessä keskimääräistä suurempaan sadantaan Pohjois-Euroopassa talvella sekä keskimääräistä matalampaan sadantaan Etelä- ja Keski-Euroopassa. NAO:ssa esiintyy huomattavaa vuodenaikojen välistä ja vuosittaista vaihtelevuutta. Pitkät, useiden kuukausienkin mittaiset ajanjaksot ovat tyypillisiä niin NAO:n positiivisissa kuin negatiivisissakin vaiheissa. Talviajan NAO:ssa esiintyy myös merkittävää vuosikymmenien pituista vaihtelua.

2.3. Itä-Atlantin/Länsi-Venäjän kaukoyhteys eli EA/WR

Itä-Atlantin/Länsi-Venäjän (EA/WR) kaukoyhteys on yksi kolmesta keskeisestä kaukoyhteydestä, jotka vaikuttavat Euraasiaan läpi vuoden (CPC 2012). Barnston ja Livezey (1987) viittaavat tähän kaukoyhteyteen nimellä "Eurasia-2". EA/WR koostuu neljästä pääasiallisesta anomaliakeskuksesta. Meteorologiassa puhutaan ns. geopotentialikorkeudesta - ilmanpaineen pinnan todellinen korkeus keskimääräisen merenpinnan tason yläpuolella. Usein geopotentialikorkeuskartoissa ilmoitetaan 500 hPa (eli 500 mbarin) ilmanpaineen korkeus. Positiivinen geopotentialikorkeus tarkoittaa anomaliaa, jossa ilmanpaineen korkeus on tavallista suurempi. EA/WR:n positiivinen vaihe on yhteydessä positiivisiin geopotentialikorkeuden anomalioihin Euroopan ja Pohjois-Kiinan yllä ja negatiivisiin geopotentialikorkeuden anomalioihin keskisellä Pohjois-Atlantilla sekä Kaspianmeren pohjoispuolella. Sadannassa pääasialliset poikkeamat heijastuvat keskimääräistä suurempana sadantana Itä-Kiinassa ja keskimääräistä matalampana sadantana halki Keski-Euroopan.

2.4. Skandinavian kaukoyhteys eli SCA

Skandinavian kaukoyhteys ("SCA") koostuu ensinnäkin Skandinavian yllä vaikuttavasta ilmakehän kierron keskuksesta ja toisekseen heikommista, edellä mainittuun nähden etumerkiltään vastakkaisista keskuksista läntisen Euroopan ja itäisen Venäjän / läntisen Mongolian yllä (CPC 2012). Barnston ja Livezey (1987) viittaavat SCA-kaukoyhteyteen nimellä "Eurasia-1." Tämän kaukoyhteyden positiivinen vaihe on yhteydessä positiivisiin geopotentialikorkeuden anomalioihin Skandinavian ja läntisen Venäjän yllä. Sen sijaan SCA:n negatiivinen vaihe on yhteydessä negatiivisiin geopotentialikorkeuden anomalioihin näillä alueilla. SCA:n positiivinen vaihe on yhteydessä tavallista matalampiin lämpötiloihin kautta keskisen Venäjän ja myös läntisen Euroopan yllä. Se on lisäksi yhteydessä keskimääräistä suurempaan sadantaan Keski- ja Etelä-Euroopassa ja keskimääräistä pienempään sadantaan Skandinaviassa.

3. Miten sadanta muuttui 1900-luvulla Suomessa - tutkimusmenetelmät ja - päätulokset

Spatiaalisesti interpoloidut kuukausittaiset sadantatiedot saatiin Irannezhadin ym. (2014) tutkimuksessa aikaväliltä tammikuu 1911 - joulukuu 2011, 165 sääasemalta, joista 32

asemalta saatiin tietoja 101 vuoden ajalta, ns. OIVA-tietokannasta (nykyinen Avoin tieto - palvelu). Tutkijat huomauttavat, että ennen vuotta 1909 Suomen sääasemaverkko oli keho. Tuona vuonna säainstrumentit vaihdettiin, eli luotettavia alueittaisia sadantakeskiarvoja on saatavilla vasta vuodesta 1910 alkaen. Tutkijoiden mukaan haasteena tällaisessa tutkimuksessa on, että data olisi mahdollisimman homogeenistä. Esim. mittausasemien määrän muutokset ovat asiassa haaste. Vääristymää tuloksiin tulee myös mm. siitä, että sadannanmittaustapaa muutettiin vuonna 1980. Tosin tuon vääristymän voi korjata (Solantie ja Junila 1995; Heino 1994), ja Irannezhad ym. kertovat tehneensä tuon korjauksen käyttämäänsä dataan. Tutkimuksen mukaan koko Suomen skaalalla keskimääräinen vuotuinen sadanta koko tutkitulta ajalta oli *601 mm*. Tämä oli siis tutkimuksen ns. perussademäärä (base value). Korkein koko maan mittakaavan vuotuinen sadannan määrä oli 792 mm (2008) ja matalin 402 mm (1941). Tutkijoiden mukaan trendianalyysi osoitti, että vuotuinen sadanta oli koko maan skaalalla lisääntynyt tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) $0,92 \pm 0,50 \text{ mm} / \text{vuosi}$ aikavälillä 1911–2011, Mann–Kendallin ei-parametrisellä testillä testattuna. Tutkijat analysoivat vuotuisen sadannan anomaliaita siten, että koko aikasykli matalasta sadannasta korkeaan (koko maan skaalalla) oli n. 149 vuotta ja vuotta 1964 voitiin pitää käännekohtana matalasta korkeaan moodiin. Tämä siis viittaisi siihen, että tavallista korkeampaa sadantaa jatkuisi Suomessa vielä useita vuosikymmeniä ennen kuin tuo sykli tulisi täyteen.

4. Kaukoyhteyksien vaikutus sadantaan Suomessa

EA/WR oli merkittävin kaukoyhteys, joka vaikutti vuotuiseseen sadantaan koko maan skaalalla Suomessa (kts. Kuva 2 c)). Talven sadanta oli voimakkaasti yhteydessä NAO:hon, kevään ja kesän sadanta puolestaan EA/WR-kaukoyhteyteen ja syksyn sadanta SCA- eli Skandinavian kaukoyhteyteen (Kuva 2 c)). Kaikki em. kaukoyhteyksivaikutukset todettiin tilastollisesti merkitseviksi.

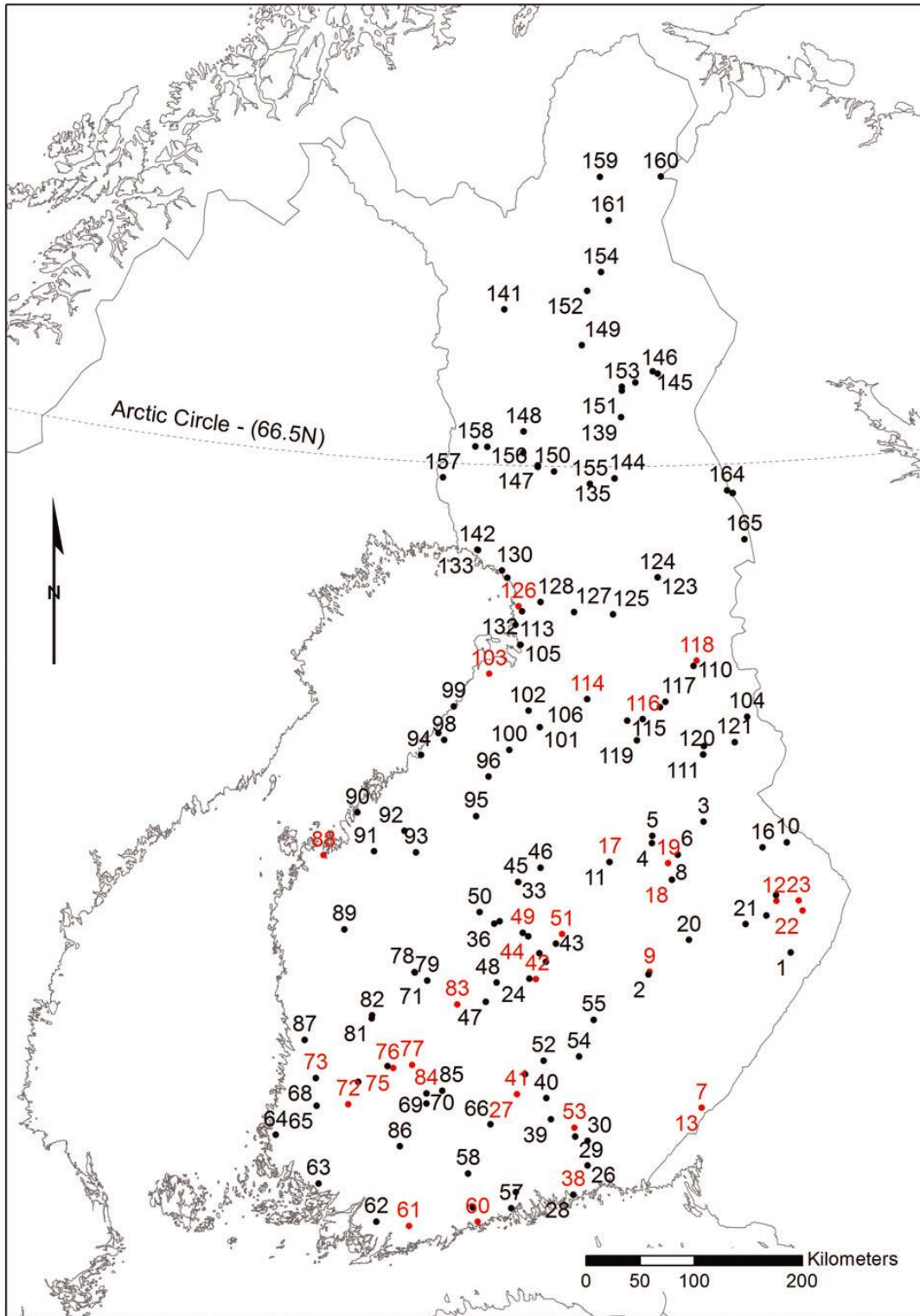
NAO:n ominaiset vaikutukset saivat Irannezhadin ym. (2014) tutkimuksessa vahvistuksen: lisääntynyt sadanta talvella pohjoisen Euroopan ja Skandinavian yllä NAO:n positiivisessa vaiheessa. Vastaavasti vahvistui se, että sadanta lisääntyi talvella eteläisessä Euroopassa ja itäisen Välimeren alueella NAO:n negatiivisen vaiheen aikana. Kolme suurta kaukoyhteyttä vaikuttivat merkittävästi kuukausittaiseen sadantaan Suomessa: SCA (tammi-,

helmi-, kesä-, elo-, syys- ja lokakuussa), EA/WR huhti- ja heinäkuussa sekä NAO maaliskuu- ja joulukuussa.

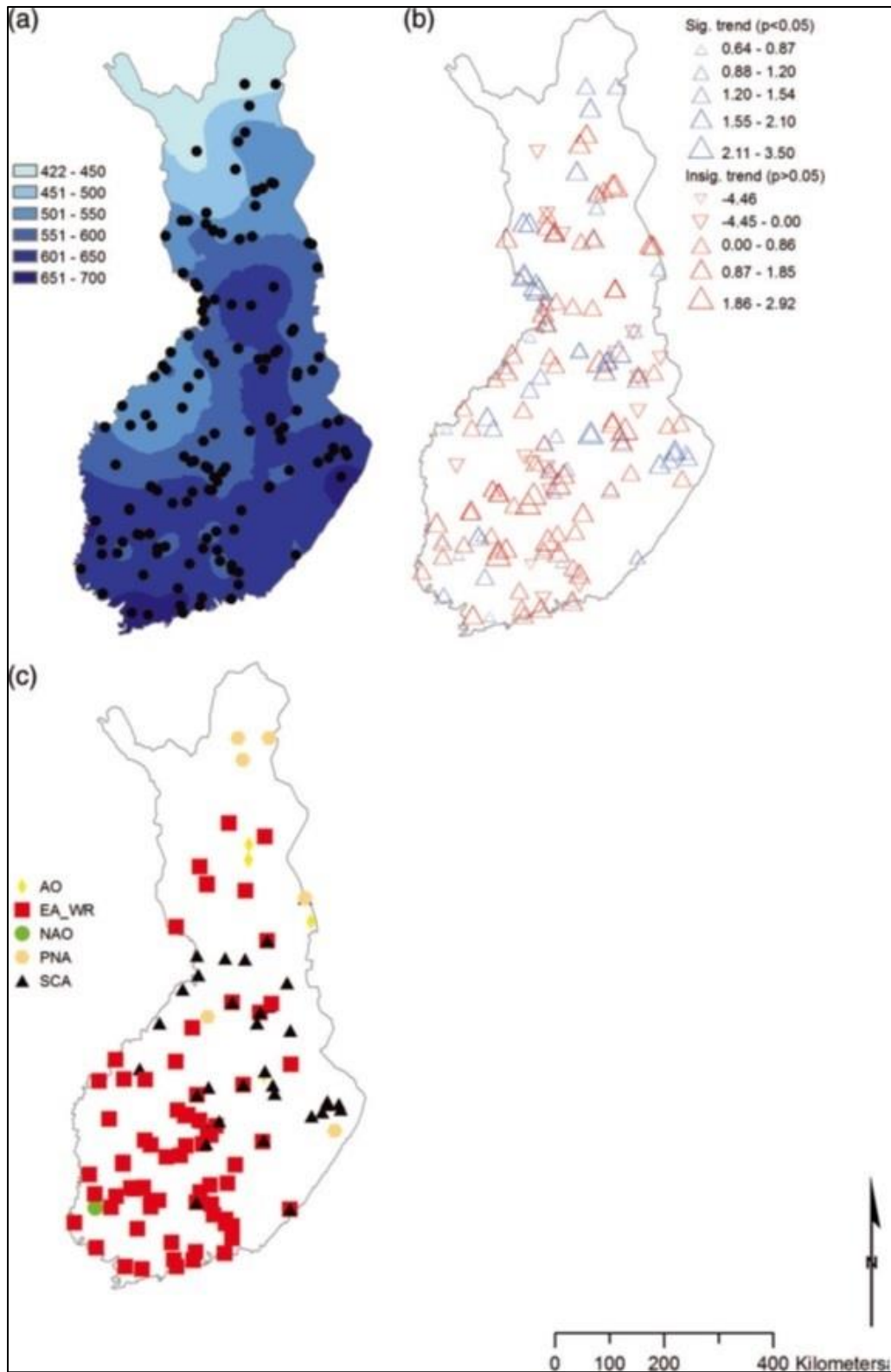
5. Sadannan tarkastelua vuodenajoin ja kuukausittain

Kesät olivat Suomessa Irannezhadin ym. (2014) aineiston mukaan muita vuodenaikoja runsassateisempia, perussademäärän ollessa 209 mm. Sen sijaan matalinta sadanta oli keväisin, jolloin perussademäärä oli 103 mm. Trendianalyysin mukaan talvista ja kesistä on tutkitulla aikajaksolla tullut tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.05$) runsassateisempia. Talvien osalta muutos oli $0,46 \pm 0,19$ mm ja kesän osalta $0,32 \pm 0,29$ mm / vuosi. Kevään ja syksyn sadannan osalta ei löytynyt selkeää trendiä. Koko maan skaalalla talven sadannassa havaittiin pisin aikasykli, 198 vuoden kierto (λ), kun taas kaikkien muiden vuodenaikojen aikasyklin arvioitiin olevan 6 vuotta. Korkein kuukausittainen sadanta koko Suomen skaalalla oli tutkimuksen mukaan elokuussa, 77 mm, ja matalin maaliskuussa, 29 mm.

Tilastollisesti merkitsevä trendi ($p < 0.05$) kuukausittaisessa sadannassa (koko maan skaalalla) löydettiin tutkimuksessa tammi-, maaliskuu-, heinä- ja joulukuulle eikä muille kuukausille. Korkein trendi koko maan skaalalla kuukausittaiselle sadannalle löydettiin heinäkuulle, $0,27 \pm 0,19$ mm / vuosi, ja matalin maaliskuulle, $0,13 \pm 0,08$ mm / vuosi) ($p < 0.05$). Yksittäisten kuukausien sadannan muutoksissa havaittiin koko maan skaalalla 49 vuoden aikasykli helmikuulle ja 112 vuoden aikasykli maaliskuulle. Sen sijaan kuukausille huhtikuusta joulukuuhun löydettiin vain 2–7 vuoden aikasyklit. Sadannan vaihteluväli koko maan skaalalla oli talven osalta 91–151 mm, kevään osalta 65–116 mm, kesän osalta 74–233 mm ja syksyn osalta 152–201 mm.



Kuva 1. Sadannan mittaamiseen käytettyjen asemien sijainti (Yht. 165), joista on saatu yli 30 vuoden ajalta säätiietoja. Punaisella on kuvattuna asemat, joiden antamat tiedot kattavat 101 vuotta sadantatietoa (1911–2011) eli koko tutkimusjaksolta. (Irannezhad ym. 2014)



Kuva 2. (a) Sadannan vuosittaiset perussademäärät (base values) tutkimusjaksolla eli 1911–2011. Perussademäärät vaihtelivat huomattavasti kautta Suomen. (b) Sadannan trendit. Tilastollisesti merkitsevät trendit ($p < 0,05$) merkittynä sinisellä ja ei-merkitsevät punaisella. Huom. Vain osasta tutkimuksen sääasemia saatiin dataa koko tutkimusajalta. Vrt. Kuva 1. (c) Kaukoyhteydet, jotka vaikuttivat vuotuisen sadantaan: erityisesti EA/WR, SCA ja NAO. Ne esitellään tarkemmin tekstissä (Irannezhad ym. 2014).

6. Sadannan Suomessa vertailu muiden maiden sadantaan

0,92 mm per vuosi -tulos on ristiriidassa Tuomenvirran (2004) tulosten kanssa - hän ei löytänyt tilastollisesti merkitsevää trendiä vuosittaisessa sadannassa koko maan skaalalla 1900-luvun osalta. Tämä ristiriita tuloksissa voi Irannezhadin ym. (2014) mukaan liittyä 2000-luvun alun erittäin sateisiin vuosiin, jotka sisältyivät tähän tutkimukseen toisin kuin Tuomenvirran tutkimukseen. Tutkijat huomauttavat sitä paitsi, että uudet ilmastonmuutoskkenaariot ennustavat vuotuisen sadannan tulevan kasvamaan Suomessa 0–15 % 2020-lukuun mennessä, 0–30 % 2050-lukuun mennessä ja 5–40 % 2080-lukuun mennessä. Vuodenajoittain tarkasteltuna ilmastomallit ennustavat Jylhän ym. (2004) mukaan Suomeen tukevaa kasvua talven sadannalle (4–57 %) ja kevään sadannalle (1–37 %) ajanjaksona 2040–2069 ja syksyn osalta 3–35 %:n kasvua 2070–2099 ajanjaksona. Sen sijaan kesän sadannan osalta Jylhä ym. eivät havainneet tilastollisesti merkitsevää trendiä tälle vuosisadalle.

Monet tutkimukset ovat tutkineet globaalia sadannan vaihtelua viime vuosisadan aikana. Tulosten summana on viitteitä lisääntyvistä trendeistä vuotuisessa sadannassa korkeilla leveysasteilla (55°N – 85 °N) ja laskevia trendejä suurimmassa osassa Välimeren aluetta ja lisäksi Lähi-Idässä (kts. esim. Dai ym. (1997), Amanatidis ym. (1993); Türkes (1996)).

Euroopan osalta on havaittu tilastollisesti merkitseviä kasvavia trendejä sadannassa mantereen koillis- ja lounaisosissa. Nämä kasvavat trendit merkitsevät yli 14 mm kasvua sadannassa / vuosikymmen Skandinavian ja Baltian maiden yllä ja jopa 70 mm kasvua / vuosikymmen Norjan länsiosissa (Hanssen-Bauer ym. 1995; Klok & Klein Tank 2009). Tässä saa siis vahvistusta edellä kuvaamani hypoteesi Länsi-Norjan erityisasemasta sadannan muutoksissa. Verrattuna ajanjaksoon 1951–1975 BACC (2008) havaitsi myös alueellisesti epätasaista kasvua vuotuisessa sadannassa Itämeren valuma-alueella vuosina 1976–2000. Suhteellisesti suurinta kasvu oli Ruotsin yllä ja Itämeren itärannoilla. Sen sijaan suhteessa matalinta kasvu oli eteläisessä Puolassa (BACC 2008). Keskimääräinen vuotuinen sadanta kasvoi n. 100 mm ajanjaksolla 1900–2000 Ruotsissa (SMHI 2001) ja maksimissaan 100 mm samalla ajanjaksolla Virossa ja Venäjän Karjalassa.

Muissa tutkimuksissa sadannan on havaittu lisääntyneen viime vuosisadan aikana talvien ja syksyjen osalta keski- ja korkeilla leveysasteilla pohjoisella pallonpuoliskolla, tosin on havaittu ajasta ja paikasta riippuvaa vaihtelua (Dore 2005). Schmidli & Frei (2005) havaitsivat tilastollisesti merkitseviä kasvavia trendejä talven ja syksyn sadannassa

ajanjaksona 1901–2000 Sveitsissä, Phillips & Denning (2007) Englannissa ja Uvo (2003) Pohjois-Euroopassa. BACC:n tutkimuksessa (2008) havaittiin, että talvisin sadanta oli kasvanut aikakausien 1951–1975 ja 1976–2000 välillä Baltian maiden ja läntisen Venäjän ja Suomen yllä. BACC (2008) havaitsi myös, että kevään sadanta oli kasvanut suurella alueella Itämeren ympärillä ja kesän sadanta eteläisen Suomen yllä.

Vuotuisen sadannan aikasykliä analyysi osoitti, että ajanjakso 1911–1964 oli verrattain kuiva jakso Suomessa, keskimääräisen vuotuisen sadannan ollessa 575 mm. Vuodet 1965–2011 olivat puolestaan verrattain sateinen ajanjakso, keskimääräisen sadannan ollessa 631 mm. Heino (1994) teki vastaavia havaintoja. Tutkijat viittaavat Türkesin (1996) tutkimukseen, jonka mukaan Turkissa trendi oli jokseenkin päinvastainen - se 1900-luvun jakso joka meillä oli kuiva, oli Turkissa sateinen ja toisinpäin. Tutkijoiden mukaan on siis näyttöä siitä, että on samoja syitä, jotka johtavat kuiva/sateinen -sykleihin ainakin tällä Pohjois-Eurooppa/Etelä-Eurooppa -akselilla.

7. Suomen sisäisistä alueellisista eroista sadannassa

Irannezhadin ym. (2014) tutkimuksen tulokset vahvistavat Ilmatieteen laitoksen (2012) tulokset: keskimääräinen vuotuinen sadanta on pienempää Suomen pohjoisilla ja rannikkoalueilla (400–500 mm) kuin Etelä- ja Keski-Suomessa (600–700 mm). Tutkijat huomauttavat, että vuotuisesta sadannasta sataa alas lumena 50–70 % Pohjois-Suomessa ja 30 % Etelä-Suomessa. Tutkimuksessa löydettiin vain tilastollisesti merkitseviä nousevia trendejä sekä talven että kesän sadannassa kautta Suomen. Vuosittaiset sadannan peruslukemat vaihtelivat huomattavasti kautta Suomen. (Kuva 2 a)). Etelä- ja Keski-Suomessa sadannan vuotuinen keskiarvo oli korkea, 651–700 mm. Sen sijaan länsirannikolla ja Pohjois-Suomessa pitkän aikavälin keskiarvo oli alle 550 mm. Yleisesti ottaen tilastollisesti merkitsevistä vuotuisen sadannan (mm/a) nousevista trendeistä voimakkaimmat havaittiin Keski- ja Pohjois-Suomessa sijaitsevilla sääasemilla (Kuva 2 b)).

8. Johtopäätökset ja pohdinta

Sadanta on siis kasvanut Suomessa viimeksi kuluneiden n. 100 vuoden aikana, tosin alle 1 mm vuodessa. Vastaavia tuloksia on saatu naapurimaistamme. Irannezhadin ym. (2014) mukaan talvista ja kesistä on kyseisellä aikajaksolla tullut tilastollisesti merkitsevästi aiempaa runsassateisempia. Kevään ja syksyn sadannan osalta ei löytynyt selkeää trendiä. Kesä on tutkimuksen mukaan runsassateisin vuodenaika Suomessa. EA/WR oli merkittävin

kaukoyhteys, joka vaikutti vuotuisen sadantaan koko maan skaalalla Suomessa. Talven sadanta oli voimakkaasti yhteydessä NAO:hon, kevään ja kesän sadanta puolestaan EA/WR-kaukoyhteyteen ja syksyn sadanta SCA- eli Skandinavian kaukoyhteyteen.

Sadannalla ja sen muutoksilla on luonnollisesti valtava vaikutus ihmisen toiminnalle, mitä olisi mielenkiintoista tutkia lisää kirjallisuudesta. Parhaiten sadannan muutosten vaikutus näkyy epäilemättä maataloudessa. Suomessa vallitsee humidi ilmasto, joten täällä ei yleensä tarvitse jännittää, että viljelykasvit kuivuisivat kesken kasvukauden. Samat kaukoyhteydet, jotka tuovat Suomeen sateita, voivat kuitenkin muualla, etenkin eteläisessä Euroopassa, aiheuttaa ankaraa kuivuutta ja mittavia menetyksiä maataloudelle. Sadannan muutosten ennusteiden perusteella olisi kiinnostavaa tutkia maatalouden tuottavuuden mahdollisia muutoksia lähivuosikymmeninä. Toinen, vähemmän ilmeinen seuraus kaukoyhteyksien vaiheiden muuttumisesta on talviemme lumisuuden vaihteluiden aiheuttama talvimatkailun vaihteleva menestys muualla Suomessa. Lapissa lumiset talvet ovat tosin edelleen taattu asia. Kolmas mielenkiintoinen jatkotutkimuksen kohde olisivat säiden ääri-ilmiöiden muutokset ja niiden syiden selvittely. Sadannan ja kaukoyhteyksien välisen linkin tutkiminen antaa nähdäkseni tukevan pohjan tuollaiselle jatkotutkimukselle. Tosin sehän vaatii myös, että meteorologian ilmiöt otetaan tarkemmin mukaan tarkasteluun. Eräs järkevä rajaus voisi olla talvimyrskyjen esiintyminen Suomessa ja ilmiön mahdolliset yhteydet kaukoyhteyksiin.

9. Kirjallisuus

Amanatidis G.T., A.G. Paliatsos, C.C. Repapis & J.G. Bartzis (1993). Decreasing precipitation trend in the Marathon area, Greece. *International Journal of Climatology* 13: 191–201.

BACC (2008). *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. 474 s. Springer Verlag: Heidelberg.

Barnston, A. G. & R. E. Livezey (1987) Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 115. 1083–1126.

Dai A., I.Y. Fung & A.D. Del Genio (1997). Surface observed global land precipitation variations during 1900–1988. *Journal of Climate* 10: 2943–2962.

Dore, M.H.I. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment International* 31 (8): 1167–1181.

Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland & O.E. Tveito (1995). Trends and variability in annual precipitation in Norway. DNMI-Report 27/95 KLIMA: Norway.

Heino, R. (1994). Climate in Finland During the Period of Meteorological Observations. *Finnish Meteorological Institute Contributions* 12. 209 s. Ilmatieteen laitos: Helsinki.

Jaagus, J. (2009). Regionalisation of the precipitation pattern in the Baltic Sea drainage basin and its dependence on large-scale atmospheric circulation. *Boreal Environ. Res.* 14: 31–44.

Irannezhad, M., H. Marttila, B. Kløve (2014). Long-term variations and trends in precipitation in Finland. *International Journal of Climatology* 34: 3139–3153.

Jylhä K, H. Tuomenvirta & K. Ruosteenoja (2004). Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environ. Res.* 9: 127–152.

Klok E.J. & A.M.G. Klein Tank (2009). Updated and extended European dataset of daily climate observations. *International Journal of Climatology* 29: 1182–1191.

Phillips, I.D. & H. Denning (2007). Winter daily precipitation variability over the South West Peninsula of England. *Theor. Appl. Climatol.* 87: 103–122.

Schmidli, J. & C. Frei. (2005). Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *International Journal of Climatology.* 25: 753–771.

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut SMHI (2001). Väder och Vatten under ett århundrade 1900–1999. (1999, päivitetty 2001).

<http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.1433!/sekelvader%5B1%5D.pdf> 13.12.2016

Solantie, R. & P. Junila (1995). *Sademäärien korjaaminen Tretjakovin ja Wildin sademittarien vertailumittausten avulla*. 67 s. *Meteorologisia julkaisuja* 33: 142. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

Türkes, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology* 16: 1057–1076.

Türkes, M. & E. Erlat (2003). Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930–2000. *International Journal of Climatology* 23: 1771–1796.

US National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center (NOAA CPC). 2005. Northern hemisphere teleconnection patterns.

<<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>>. 12.12.2016

Uvo, C.B. (2003). Analysis and regionalization of northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology* 19: 253–269.