

# Helsingin muuttuvat talvet

Anna Luomaranta, Mikko Laapas, Taru Olsson

Ilmatieteen laitos

Helsinki, kesäkuu 2022

# Sisältö

1 Johdanto .....	3
2 Aineisto ja menetelmät.....	5
2.1 Havaintoaineisto: Kaisaniemi ja Helsinki-Vantaa.....	5
2.2 Toistuvuusajkojen laskenta.....	6
2.3 Ilmastomallidata ja sen käsittely .....	7
3 Tulokset.....	9
3.1 Nykyilmasto .....	9
3.1.1 Nollanylityspäivät ja sadepäivät.....	9
3.1.2 Sademäärät.....	17
3.1.3 Lumensyvyys.....	21
3.1.4 Toistuvuusajat .....	26
3.2 Konvektiiviset rannikkolumisateet.....	28
3.3 Tulevaisuuden lumiolosuhteet.....	30
4 Yhteenveto .....	34
Lähteet.....	36

# 1 Johdanto

Maapallon ilmasto on lämmennyt 1800-luvun lopulta tähän päivään vajaan yhden asteen. Ilmaston lämpeneminen ei jakaannu maapallolla tasaisesti vaan lämpeneminen on voimakkainta pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla leveysasteilla. Lämpenemisen voimakkuus vaihtelee myös eri vuodenaikoina. Suomessa talvet lämpenevät enemmän kuin kesä.

Suomessa keskilämpötila on noussut 1800-luvun lopulta nykypäivään noin 2 astetta (Mikkonen et al., 2015). Talvet ovat lämmenneet vuodenaajoista eniten, jaksolla 1961-2010 noin 2-3 astetta (Ruosteenoja et al., 2013). Lämpenemisen myötä myös sateisuudessa tapahtuu muutoksia. Etenkin talviaikaisten sateiden odotetaan lisääntyvän (Ruosteenoja ja Jylhä, 2022), samalla myös vesisateiden osuus talven sateista kasvaa. Etelä-Suomessa talven vesisademäärän on jo havaittu kasvaneen (Luomaranta et al. 2019). Muuttuvat ilmasto-olosuhteet vaikuttavat moniin yhteiskunnan sektoreihin ja toimijoihin. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia muutamille suomalaisille toimialoille on käsitelty aiemmin mm. seuraavissa raporteissa:

- <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/305992>
- <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/301521>
- <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/255640>
- <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-06-18.pdf>
- <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/170155>

Suomen kokoisella alueella ilmaston lämpenemisen vaikutuksissa on suuria alueellisia eroja. Helsingin sijainti Uudellamaalla, Suomen etelärannikolla vaikuttaa vahvasti säähän ja ilmasto-oloihin siellä. Vuoden keskilämpötila Uudellamaalla vaihtelee +4,5 ja +6 asteen välillä, viileintä on sisämaan pohjoisimmissa osissa (Kersalo ja Pirinen, 2009). Uudellamaalla myös lumiolo vaihtelevat vuodesta toiseen enemmän kuin muualla Suomessa. Lumensyvyys riippuu voimakkaasti talven lämpötilasta ja vallitsevien tuulten suunnasta. Kun merivesi pysyy pitkään lämpimänä ja ilmavirtaukset käyvät lounaasta tuoden mukanaan lauhaa ilmaa, lumipeite jää ohueksi ja saattaa jopa sulaa talven aikana useaan kertaan. Idän- ja kaakonpuoleiset tuulet tuovat tyypillisesti mukanaan kylmempää ilmaa ja myös mahdollisuuden paksumman lumipeitteen muodostumiseen. Pääkaupunkiseudulle pysyvä lumipeite saadaan tavallisesti vasta joulun jälkeen ja se katoaa keskimäärin maalis-huhtikuun vaihteessa. Vähälumisina talvina lumipeiteajat voivat jäädä hyvinkin lyhyiksi. Esimerkiksi Kaisaniemessä useampana talvena lumi on pysynyt maassa vain 3–4 viikkoa

ja vuonna 2008 pisimmilläänkin vain kymmenen päivää peräkkäin. Talvi 2019-2020 taas osoittautui monella tavalla ennätyselliseksi. Helsingissä ei saatu kunnon lumipeitettä koko talven aikana. Lunta oli maassa ohut kerros ainoastaan muutamina yksittäisinä päivinä loppusyksyllä ja keväällä. Toisaalta pisimmät lumitalvet ovat kestäneet useamman kuukauden etelärannikollakin.

Helsingin kokoisessa kaupungissa talven lumiolosuhteet vaikuttavat huomattavasti kaupungin infrastruktuurin toimintaan. Jos esimerkiksi lunta sataa lyhyessä ajassa paljon, se vaikeuttaa merkittävästi varsinkin liikenteen sujuvuutta. Lumiolosuhteiden muuttuessa uusiin olosuhteisiin on osattava varautua ja tarvittaessa sopeutua.

Tässä raportissa tarkastellaan Helsingin talvisia lumi- ja sadeolosuhteita nykyilmastossa ja tulevaisuudessa. Nykyilmaston tulokset perustuvat kahden havaintoaseman, Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan, aineistoihin ja tulevaisuuden muutoksia on arvioitu alueellisen ilmastomalliaineiston pohjalta. Työ on tehty Helsingin kaupungin tilaustyönä.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Havaintoaineisto: Kaisaniemi ja Helsinki-Vantaa

Helsingin nykyilmastoa kuvaavana aineistona käytettiin Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan säähavaintoaseman aineistoja jaksolla 1990-2022. Kaisaniemen säähavaintoasema edusti Etelä-Helsingin talvisia olosuhteita ja Helsinki-Vantaa Pohjois-Helsingin talvisia olosuhteita. Havaintoasemilta käytettiin päivittäistä dataa.

Kaisaniemen havaintoasema on pisimpään yhtäjaksoisesti toiminut säähavaintoasema Suomessa. Nykyisellä paikallaan Helsingin yliopiston kasvitieteellisessä puutarhassa se on toiminut vuodesta 1962 alkaen. Asema on hyvin suojainen ympäröivien puiden ja pensaiden takia. Suojaisuuden takia se soveltuu hyvin sademäärän ja lumensyvyuden mittaamiseen. Helsinki-Vantaan havaintoasema sijaitsee lähes keskellä Helsinki-Vantaan lentoaseman aluetta sorakentällä. Alue on avoin ja tasainen. Avoimuus vaikeuttaa lumensyvyuden mittauksia, ja varsinkin voimakkaalla itätuulella lunta saattaa kasautua mittauspaikalle hieman ympäristöä enemmän.

Työssä käytettiin vuorokauden minimi-, maksimi- ja keskilämpötila-, sademäärä- ja lumensyvyyshavaintoja, ja näistä laskettiin seuraavat suureet:

- Lumensyvyyssumma: talvikauden kaikkien päivien lumensyvyyksien summa. Teoreettinen luku, jolla kuvataan talven lumisuutta.
- Nollanylityspäivien lukumäärä: Nollanylityspäivä on päivä, jonka aikana vuorokauden maksimilämpötila käy nollan yläpuolella ja minimilämpötila nollan alapuolella.
- Lumisadepäivien lukumäärä: Lumisadepäiväksi määriteltiin sellainen päivä, jolloin vuorokauden sademäärä on vähintään 1 mm vedeksi muutettuna ja vuorokauden keskilämpötila on korkeintaan 0 °C. Tällöin sade oletetaan lumisateeksi.
- Sulamispäivien lukumäärä: Sulamispäivä on sellainen lumisadepäivän jälkeinen päivä, jolloin vuorokauden keskilämpötila on suurempi kuin 0 °C.
- Maahanjäämispäivien lukumäärä: Sellaiset lumisadepäivien jälkeiset päivät, jolloin vuorokauden keskilämpötila on korkeintaan 0 °C, eli satanut lumi jää maahan eikä ala sulaa pois.
- Lumisateen määrä (mm vettä): Lumisadepäivänä kertynyt sademäärä vedeksi muutettuna (mm). Lumisateen määrää tarkasteltiin kuukausi- ja vuositasolla laskemalla yhteen lumisadepäivinä kertyneet sademäärät.

- Vesisadepäivien lukumäärä talvella: Sellaisten päivien lukumäärä loka-huhtikuussa, jolloin sademäärä on vähintään 1 mm vettä ja vuorokauden keskilämpötila on suurempi kuin 0 °C.
- Voimakkaimpien 1, 2 ja 3 peräkkäisen vuorokauden lumi- ja vesisadetapausten lukumäärät ja sademäärät. Kahden ja kolmen vuorokauden lumi- ja vesisadetapauksissa sade ei välttämättä ole jatkunut yhtäjaksoisesti kahta tai kolmea vuorokautta. Työssä käytettiin päivittäistä havaintoaineistoa, joten aineisto ei kerro mihin aikaan vuorokautta sademäärä on kertynyt.
- Lumensyvyuden kasvu: Sellaisten tapausten lukumäärä, jolloin kahden peräkkäisen päivän välinen lumensyvyys kasvaa vähintään 10, 15 tai 20 cm. Lisäksi erikseen tarkasteltiin muutamien sellaisten päivien sääolosuhteita, jolloin lumensyvyys kasvoi yli 20 cm vuorokauden aikana.

Rannikkoalueilla Suomen talviin kuuluu myös lumisadeilmiö, jolloin tiettyjen sääolosuhteiden vallitessa saattaa lunta sataa lyhyessä ajassa runsaasti pienelläkin alueella. Työssä esitetään näistä konvektiivisista rannikkolumisateista lyhyt katsaus PREDICT-hankkeen tulosten perusteella.

## 2.2 Toistuvuusaikojen laskenta

Toistuvuusaikoja laskettiin 2, 5, 10 ja 30 vuoden välein toistuville 1, 2 ja 3 vuorokauden lumisateille sekä vuotuiselle lumensyvyyssummalle.

Toistuvuusaikojen laskenta perustuu ns. yleisen ääriarvojakauman eli GEV-jakauman (General Extreme Value) sovittamiseen havaintoaineistosta laskettuihin kunkin suureen vuosittaisista maksimiarvoista koostuvaan aineistoon. GEV-jakauman sovittamiseen käytettiin tilastollisen laskennan ohjelmointikielen R ääriarvoanalyysiin yleisesti käytettyä extRemes-pakettia (Gilleland & Katz, 2016). Jakauman parametrien estimointiin käytettiin nk. suurimman uskottavuuden estimointimenetelmää (maximum likelihood estimate).

GEV-jakauman oletusten mukaisesti käytettävän aineiston tulee olla trenditön. Tämän vuoksi aineistoihin sovitettiin lineaarinen trendi. Niissä tapauksissa, joissa lineaarinen trendi oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ), tehtiin trendimallin residuaalien avulla ns. trendin poisto ennen GEV-jakauman sovittamista kyseiseen aineistoon.

Aineistoihin sovitetuista GEV-jakaumista määritettiin kunkin suureen toistuvuustasot 2, 5, 10 ja 30 vuoden tilastollisille toistuvuusajoille. Näille laskettiin myös 95 % luottamusvälin ala- ja ylärajat ns. profile-log-likelihood-menetelmällä.

## 2.3 Ilmastomallidata ja sen käsittely

Tulevaisuuden talviolosuhteiden kuvaukseen käytettiin alueellista CORDEX-ilmastomalliaineistoa (Giorgi et al., 2009; Jacob et al., 2020). Alueellisilla ilmastomalleilla voidaan simuloida jonkin maantieteellisesti rajatun alueen ilmasto-olosuhteita tarkemmin kuin globaaleilla ilmastomalleilla. Tarkasteltavan alueen reunoilla tarvitaan kuitenkin tietoa ilmasto-olosuhteista alueen ulkopuolella. Tämän vuoksi alueellinen ilmastomalli kytketään jonkin globaalin ilmastomallin kanssa, joka tuottaa reuna-alueiden tiedot alueelliselle ilmastomallille. Alueellisten ilmastomallien resoluutio on tarkempi kuin globaalien ilmastomallien, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin pienempien alueiden ilmaston tarkasteluun.

Taulukko 1. Työssä käytetyt alueellisten ja globaalien mallien yhdistelmät eli mallikokoonpanot.

Alueellinen ilmastomalli	Globaali ilmastomalli
CCLM4-8-17	CNRM-CM5
RACMO22E	CNRM-CM5
RCA4	CNRM-CM5
RACMO22E	EC-EARTH
RCA4	IPSL-CM5A-MR
CCLM4-8-17	HadGEM2-ES
RACMO22E	HadGEM2-ES
RCA4	HadGEM2-ES
CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
RCA4	MPI-ESM-LR

Tässä työssä käytettiin kymmenen eri mallikokoonpanon tuloksia resoluutiossa 0,11 astetta (n. 12,5 km). Kaikki tulevia muutoksia koskevat tulokset laskettiin näiden kymmenen mallikokoonpanon keskiarvoina. Mallikokoonpanot on listattu taulukossa 1.

Tulevaisuuden ilmasto-oloihin vaikuttaa ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksien tuleva kehitys. Tätä kehitystä arvioidaan erilaisilla kasvihuonekaasupitoisuuksien skenaarioilla. Tässä työssä käytettiin kahden eri skenaarion mukaisia ilmastomallituloksia. Skenaario RCP4.5 kuvaa keskimääräistä kasvua kasvihuonekaasupitoisuuksissa. Aluksi hiilidioksidipäästöt kasvavat, mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus tasaantuu teollistumista edeltävään aikaan verrattuna noin kaksinkertaiselle tasolle vuosisadan loppuun mennessä ollen n. 540 ppm. Skenaario RCP8.5:n mukaan kasvihuonekaasupäästöt kasvavat nopeasti ja vuoteen 2100 mennessä ne ovat kolminkertaiset verrattuna vuoteen 2000. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kohoaa yli kolminkertaiseksi verrattuna teollistumista edeltävään aikaan (yli 900 ppm) (Moss et al., 2010, van Vuuren et al., 2011).

CORDEX-ilmastomalliaineistosta laskettiin lumensyvyiden kuukausikeskiarvot ja keskimääräinen vuotuinen maksimilumensyvyys perusjaksolle 1990-2022 sekä kahdelle tulevaisuuden jaksolle 2041-2070 ja 2071-2099 jaksojen keskiarvoina, jotta satunnaista vuosien välistä vaihtelua saatiin tasoitettua pois. Tämän jälkeen ilmastomalliaineistosta laskettiin prosentuaalinen muutos perusjakson ja tarkastelujaksojen välille. Saadun muutosprosentin avulla laskettiin jakson 1990-2022 Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan havaittujen lumensyvyiden kuukausikeskiarvojen ja keskimääräisen maksimilumensyvyyden perusteella arviot tulevaisuuden tarkastelujaksojen lumensyvyyden kuukausikeskiarvoille ja keskimääräiselle maksimilumensyvyydelle. Lisäksi tulevaisuuden lumensyvyyden maksimiarvoille etsittiin haarukka vertaamalla havainnoista laskettua keskimääräistä lumensyvyyden maksimiarvoa jaksolla 1990-2022 jakson suurimpaan ja pienimpään lumensyvyyden maksimiarvoon. Saatujen suhteiden avulla ja keskimääräisen lumensyvyyden perusteella laskettiin tulevaisuuden tarkastelujaksoille pienin ja suurin lumensyvyyden maksimiarvo. Tämä menetelmä olettaa, että lumensyvyyden vuotuisten maksimiarvojen jakauman muoto ei muutu ilmaston lämmitessä.

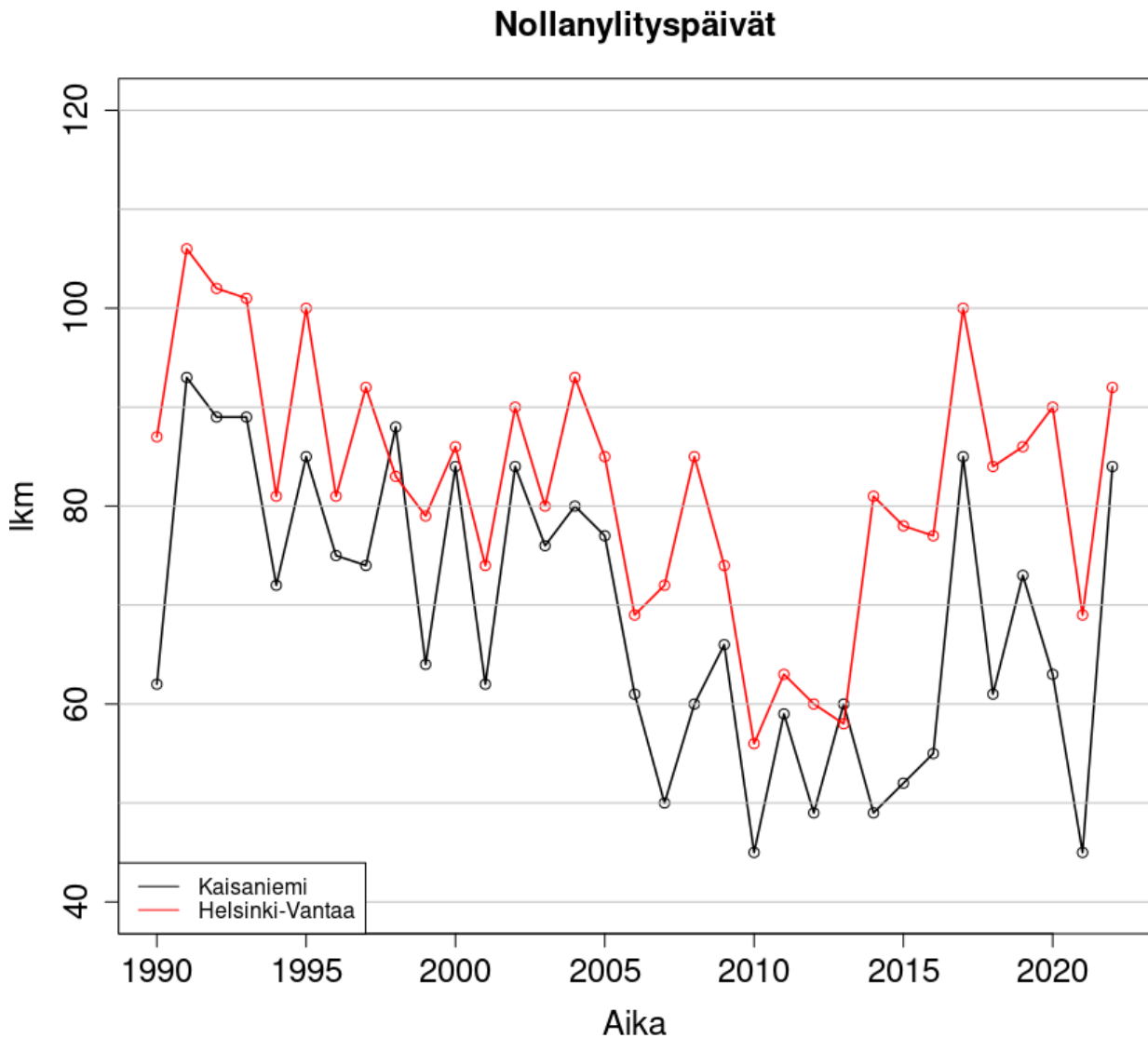
Ilmastomalliaineiston laskelmat tehtiin hilapisteelle, joka malliaineistossa osui Helsinkiä lähimmäksi: 60,4375 N ja 25,5625 E. Tulokset laskettiin kyseisen hilapisteen ja kahdeksan ympäröivän pisteen painotettuna keskiarvona.



### 3 Tulokset

#### 3.1 Nykyilmasto

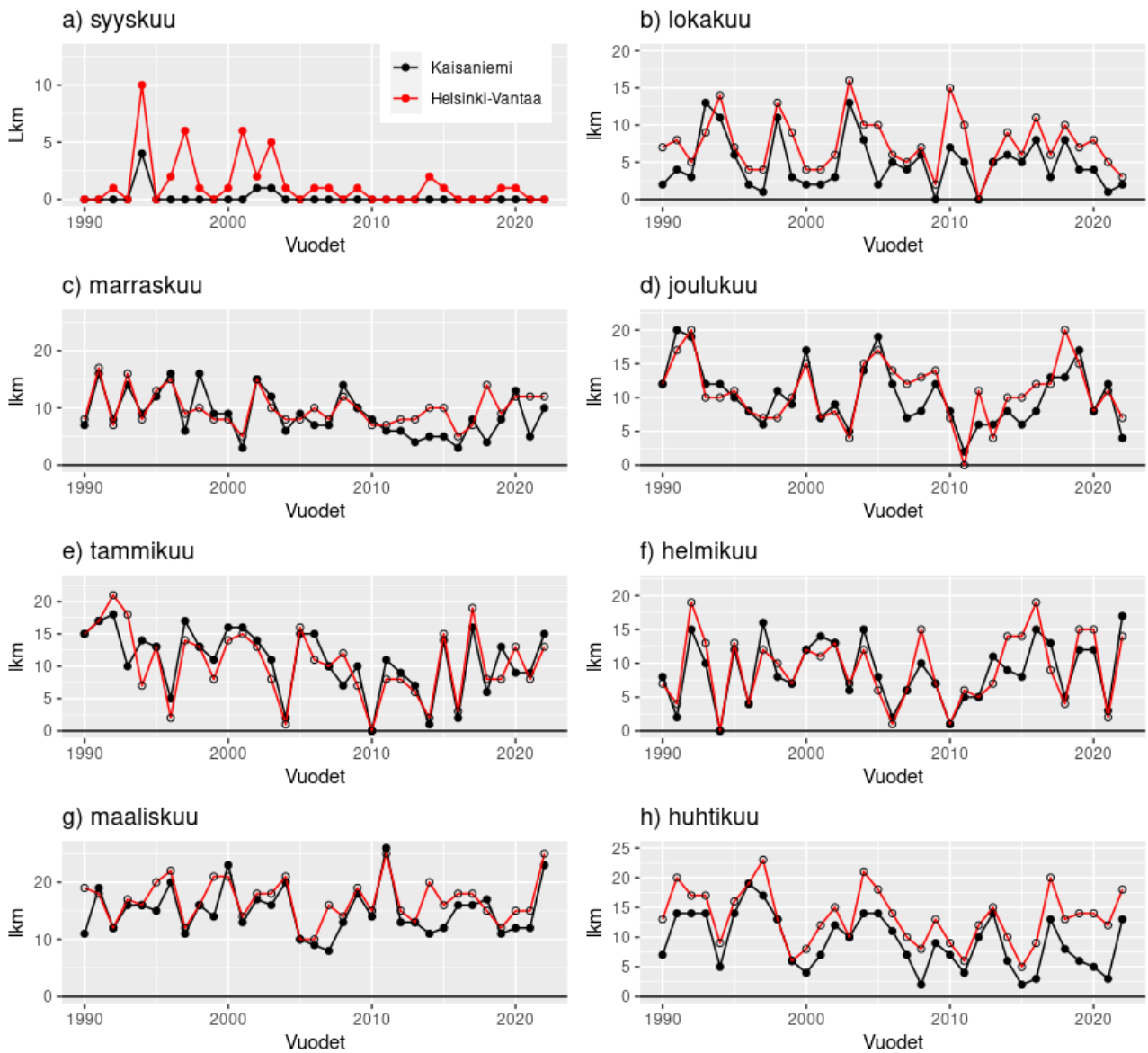
##### 3.1.1 Nollanylityspäivät ja sadepäivät



Kuva 1. Vuotuiset nollanylityspäivät Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan havaintoasemilla jaksolla 1990-2022.

Nollanylityspäiviksi kutsutaan päiviä, joiden aikana vuorokauden minimilämpötila käy pakkasen puolella ja maksimilämpötila plussan puolella. Tässä työssä laskettiin nollanylityspäivien vuotuinen lukumäärä sekä kuukausikohtaiset lukumäärät Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan sääasemilla. Vuotuisia nollanylityspäiviä esiintyy Helsinki-Vantaalla enemmän kuin Kaisaniemessä (Kuva 1).

Vuosien välinen vaihtelu on voimakasta. Alimmillaan nollanylityspäivien lukumäärä tarkastelujaksolla oli Kaisaniemessä vuosina 2010 (talvi 2009-2010) sekä 2021 (talvi 2020-2021), molempina 45 kpl, ja ylimmillään vuonna 1991 (talvi 1990-1991) 93 kpl. Vastaavat lukemat Helsinki-Vantaalla olivat 56 vuonna 2010 ja 106 vuonna 1991. Kaisaniemen Helsinki-Vantaata pienemmät lukemat selittynevät sillä, että kaupungin pohjoisosien nollanylityspäivä voi olla etelämpänä pelkkä plussapäivä. Tuloksissa ei ole havaittavissa selkeää trendiä.

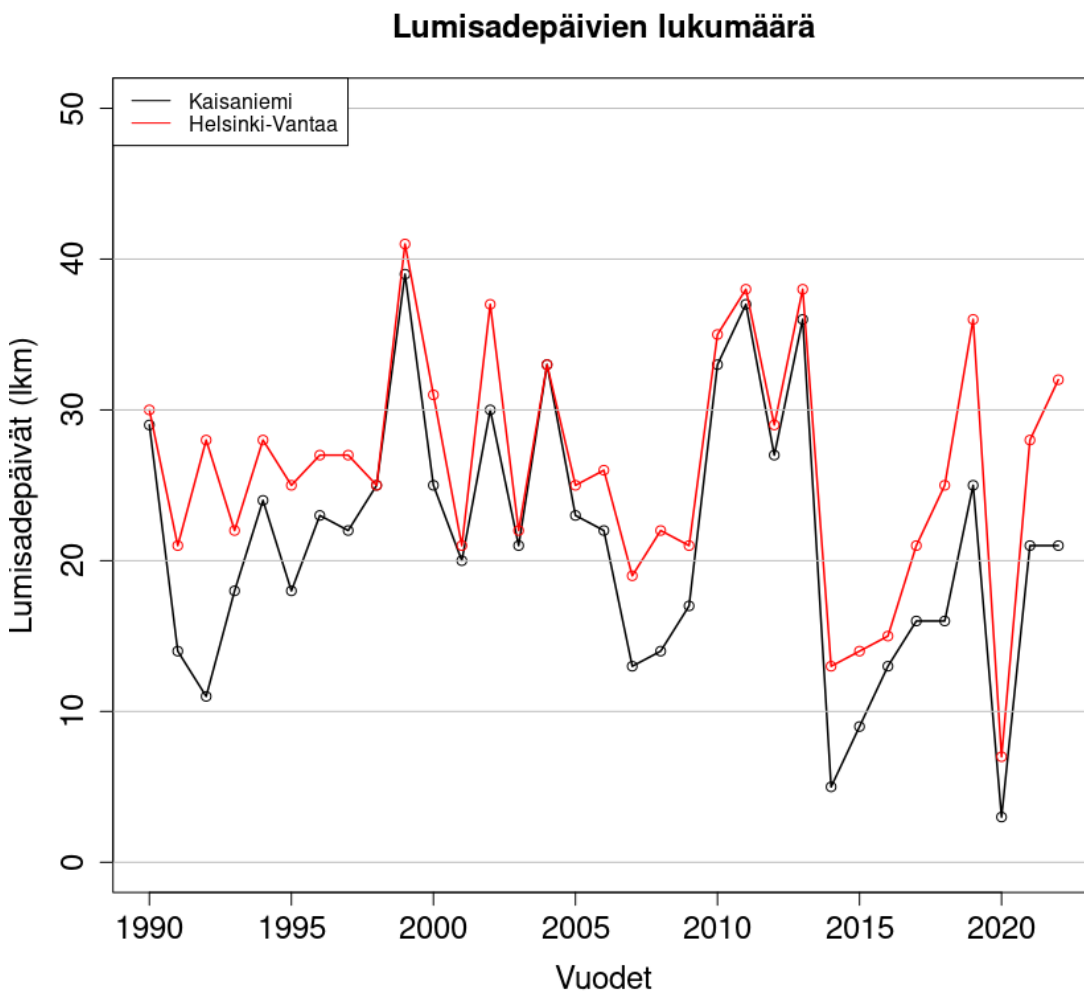


Kuva 2. Nollanylityspäivät talvikauden kuukausina jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

Nollanylityspäiviä tarkasteltiin myös kuukausittain (Kuva 2.). Niitä esiintyy vaihtelevasti läpi talvikauden jokaisena kuukautena. Kaisaniemessä syyskuussa nollanylityspäiviä ei kuitenkaan ole

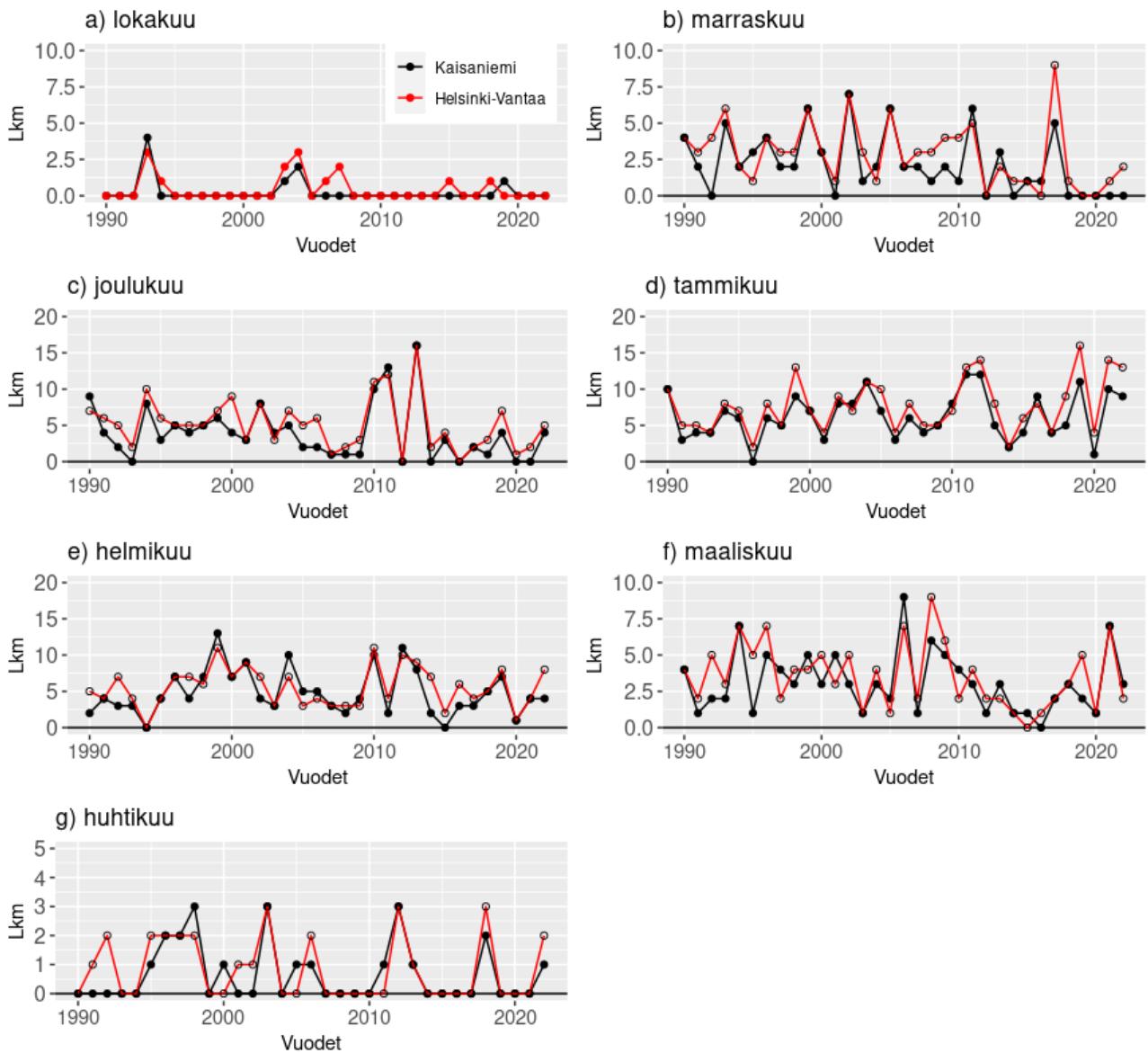
havaittu syksystä 2003 (talvi 2003-2004) eteenpäin. Sekä Kaisaniemessä että Helsinki-Vantaalla lokakuussa vuosien välinen vaihteluväli on ollut 0-16 kpl ja marraskuussa 3-17 kpl. Joului-, tammi- ja helmikuussa on muutamina yksittäisinä vuosina ollut tilanteita, jolloin nollanylituspäiviä ei ole ollut lainkaan. Maksimiarvot näinä kuukausina ovat olleet n. 20 kpl sekä Helsinki-Vantaalla että Kaisaniemessä. Maaliskuussa ja huhtikuussa nollanylituspäiviä on esiintynyt jokaisena vuotena. Maaliskuussa vaihteluväli on ollut 7-26 kpl ja huhtikuussa 4-23 kpl.

Nollanylituspäivien lukumäärän tulkinta on kaksijakoinen. Kylminä talvina niitä on tyypillisesti vähän, kun lämpötila saattaa pysytellä pitkiä aikoja pakkasen puolella. Toisaalta erittäin lauhoina talvina niitä voi myös olla vähän, jos lämpötila pysyttelee pitkiä aikoja nollan yläpuolella. Nollanylituspäivien suuri lukumäärä kertoo lauhasta talvesta, jolloin lämpötila on vaihdellut useasti nollan molemmin puolin.



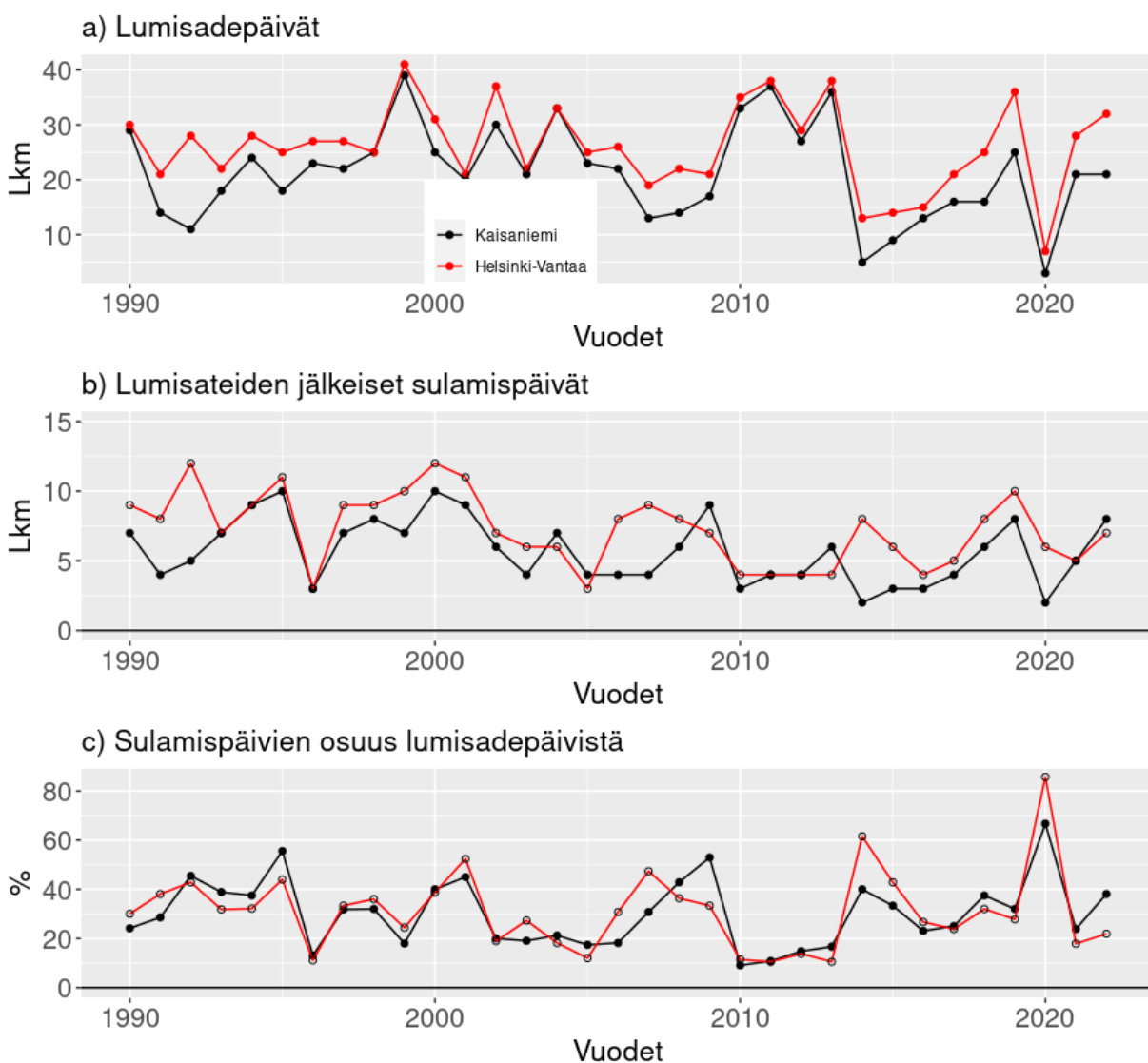
Kuva 3. Vuotuisten lumisadepäivien lukumäärä jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

Vuotuisten lumisadepäivien lukumäärä on esitetty Kuvassa 3. Kaisaniemessä lumisadepäiviä on kauttaaltaan hieman vähemmän kuin Helsinki-Vantaalla. Vuosien välinen vaihtelu on molemmilla havaintoasemilla suurta. Pienin lumisadepäivien määrä oli tarkastelujaksolla Kaisaniemessä vuonna 2020 (talvi 2019-2020), vain 3 kpl ja suurin lukumäärä vuonna 1999 (talvi 1998-1999), 39 kpl. Vastaavat luvut Helsinki-Vantaalla olivat 7 vuonna 2020 ja 41 vuonna 1999.



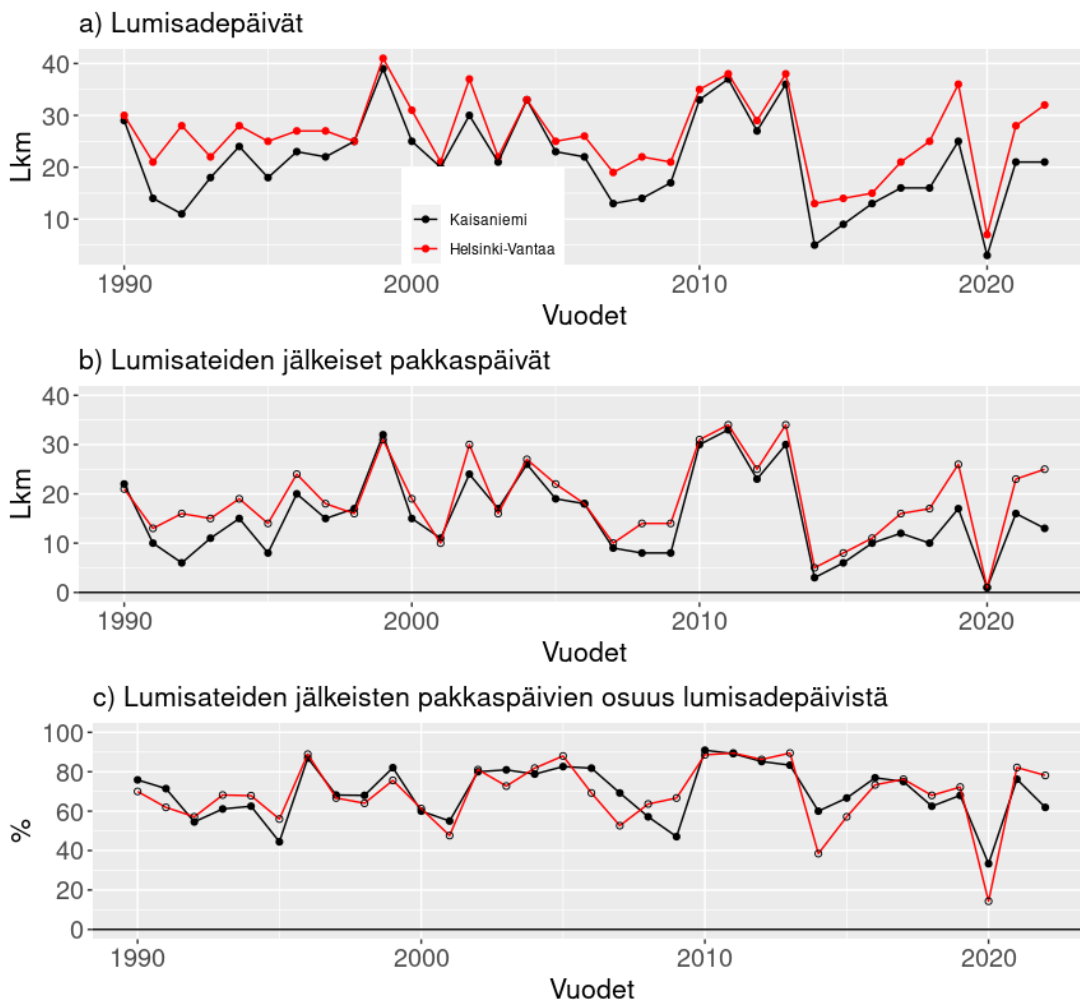
Kuva 4. Lumisadepäivien lukumäärät eri kuukausina jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

Lumisadepäivien lukumäärä talvikauden eri kuukausina on esitetty Kuvassa 4. Lumisadepäiviä on vähiten lokakuussa ja huhtikuussa, 0-4 kpl vuosittain, useana vuonna kuitenkin nolla. Niitä esiintyy eniten joului-, tammi- ja helmikuussa. Vuosien välistä vaihtelua näkyy myös kuukausitasolla. Esimerkiksi joulukuussa lumisadepäivien lukumäärä on sekä Kaisaniemessä että Helsinki-Vantaalla vaihdellut nollan ja 16 välillä. Helmikuussa Kaisaniemessä vaihteluväli oli 0-13 ja Helsinki-Vantaalla 0-11. Kaisaniemen havaintoasemalla lumisadepäivien lukumäärä on kaikkina tarkastelukuukausina ollut vähintään yhtenä vuonna 0. Helsinki-Vantaan havaintoasemalla tammikuu oli tarkastelujakson 1990-2022 ainoa kuukausi, jolloin jokaisena vuonna lumisadepäiviä on esiintynyt.



Kuva 5. a) Vuotuisten lumisadepäivien lukumäärä, b) Vuotuisten sulamispäivien lukumäärä, c) Sulamispäivien prosenttiosuus lumisadepäivistä jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

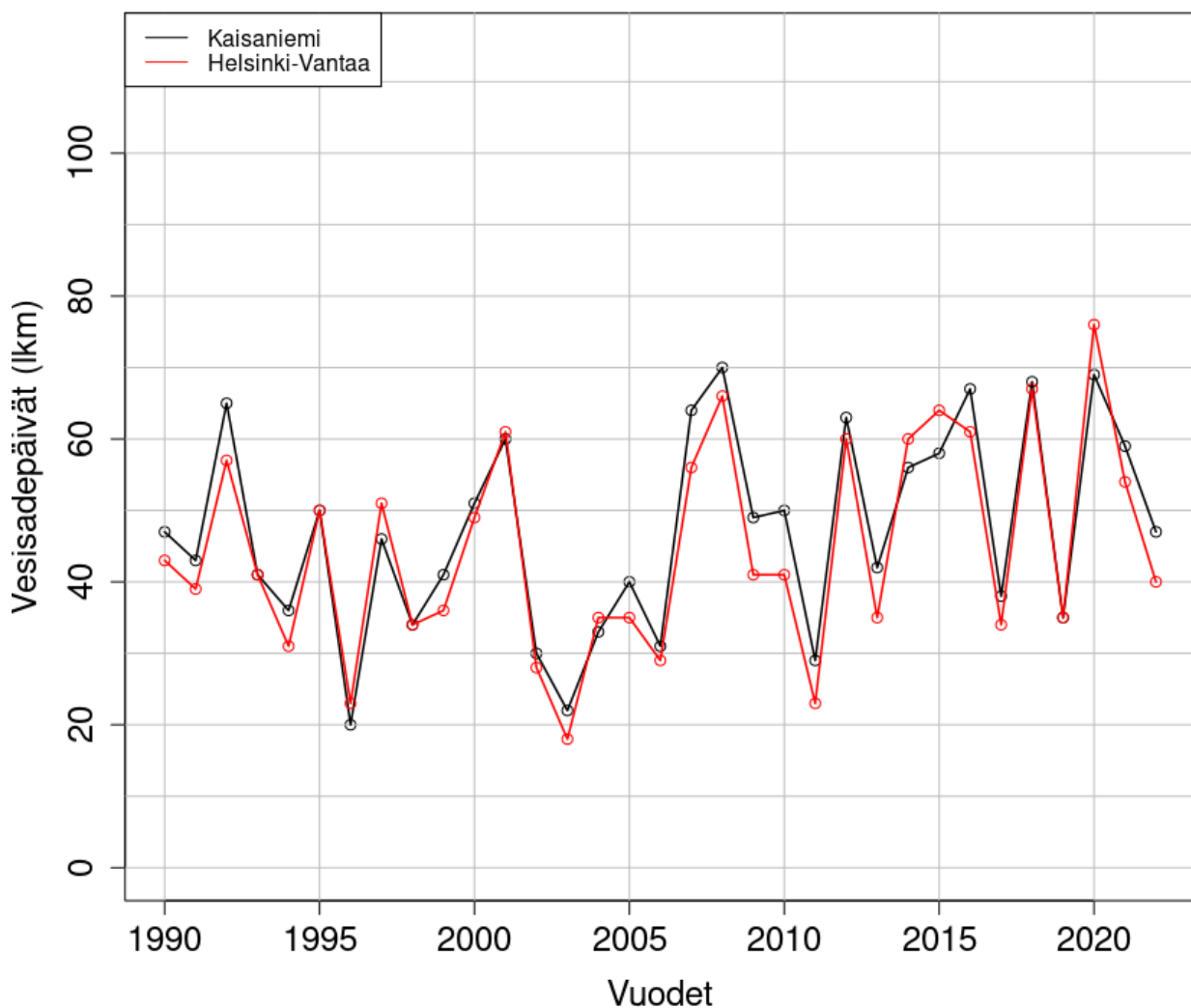
Kun lumisadepäivän jälkeisenä päivänä vuorokauden keskilämpötila on yli nolla astetta, kyseinen päivä on oletettu sulamispäiväksi eli päiväksi jolloin satanut lumi alkaa sulaa heti satamisen jälkeen. Kuvassa 5 on verrattu lumisadepäivien ja sulamispäivien määriä toisiinsa. Vuotuisia lumisadepäiviä (Kuva 5a) on Kaisaniemessä hieman vähemmän kuin Helsinki-Vantaalla. Sulamispäivien lukumäärä (Kuva 5b) vaihteli Kaisaniemessä muutamasta päivästä kymmeneen päivään. Helsinki-Vantaalla vaihteluväli oli tarkastelujaksolla 6-12 päivää. Sulamispäivien osuus lumisadepäivistä oli Kaisaniemessä pääasiassa noin 10-55 % ja Helsinki-Vantaalla noin 10-60 % (Kuva 5c). Talvi 2019-2020 kuitenkin poikkeaa näistä luvuista. Tuolloin Kaisaniemessä sulamispäivien osuus lumisadepäivistä oli lähes 70 % ja Helsinki-Vantaalla lähes 90 %. Toisaalta lumisadepäiviä oli tuona talvena hyvin vähän.



Kuva 6. a) Lumisadepäivien vuotuinen lukumäärä, b) Lumen maahanjäämispäivien vuotuinen lukumäärä, c) Maahanjäämispäivien osuus lumisadepäivien lukumäärästä jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

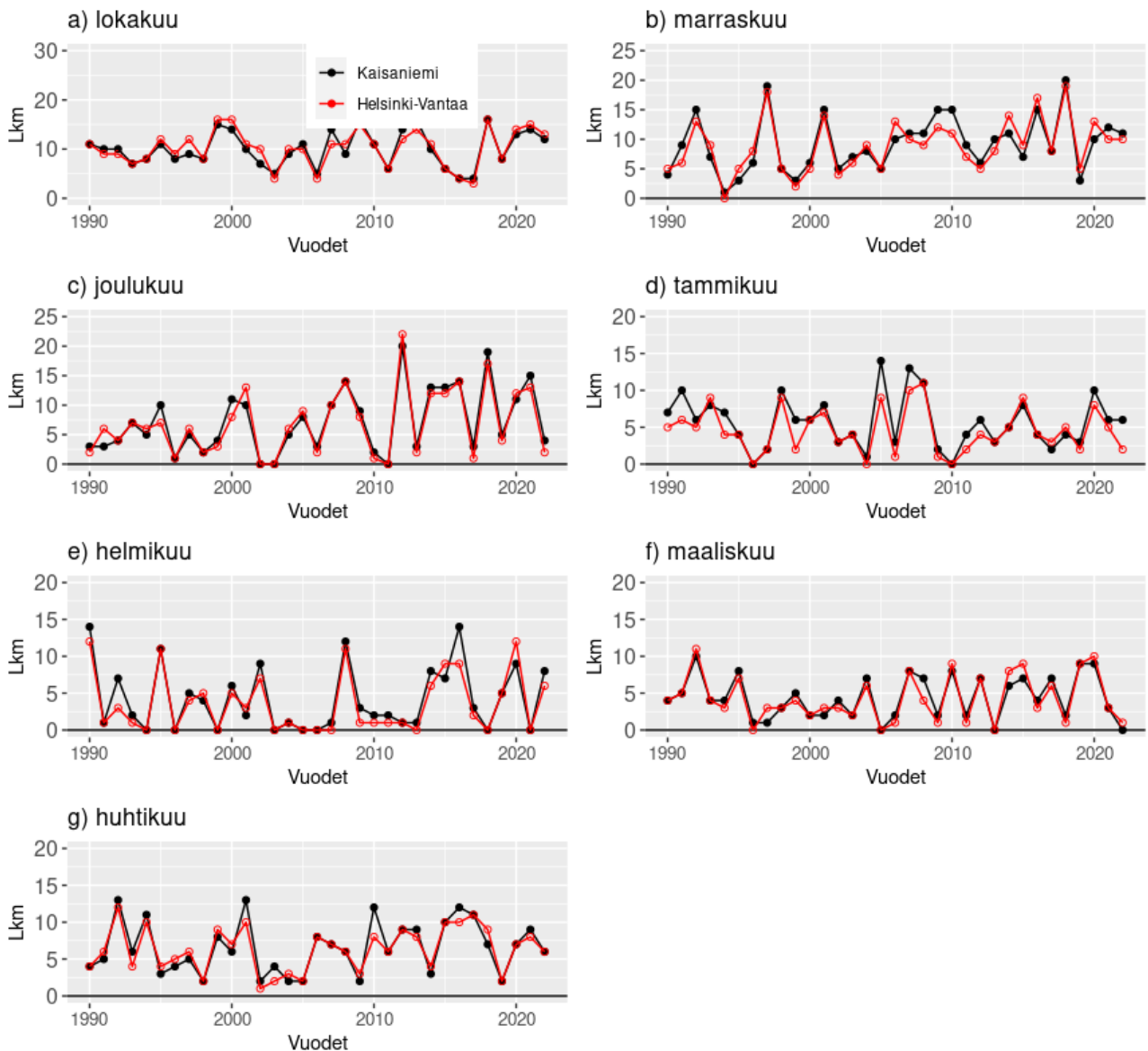
Lumisadepäivien jälkeiset pakkaspäivät, jolloin lumi satamisen jälkeen jää maahan on esitetty kuvassa 6. Näinä maahanjäämispäivinä vuorokauden keskilämpötilan oletetaan olevan pienempi tai yhtä suuri kuin 0 °C. Maahanjäämispäiviä (Kuva 6b) on Kaisaniemessä yleisesti ottaen hieman vähemmän kuin Helsinki-Vantaalla, noin 3-33 kpl vuodessa. Helsinki-Vantaalla kyseisiä päiviä on 5-34 kpl vuodessa. Maahanjäämispäivien osuus lumisadepäivistä vaihtelee sekä Kaisaniemessä että Helsinki-Vantaalla pääasiassa n. 40 ja 90 % välillä (Kuva 6c).

### Vesisadepäivien lukumäärä (loka-huhtikuut)



Kuva 7. Talvikauden vesisadepäivien vuotuinen lukumäärä jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

Helsingissä vesisateet ovat melko yleisiä myös talviaikaan. Tässä työssä vesisadepäiväksi määriteltiin päivä, jonka aikana sademäärä on vähintään 1 mm ja vuorokauden keskilämpötila suurempi kuin 0 °C. Vesisadepäivien vuotuisessa talvikauden lukumäärässä (Kuva 7) ei Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan välillä näy suurta eroa. Molemmilla havaintoasemilla vesisadepäivien vuosien välinen vaihtelu on melko suurta, vesisadepäiviä esiintyy noin 20-75 kpl talvikauden aikana. Eniten vesisadepäiviä on molemmilla havaintoasemilla esiintynyt talvina 2007-2008 ja 2019-2020.



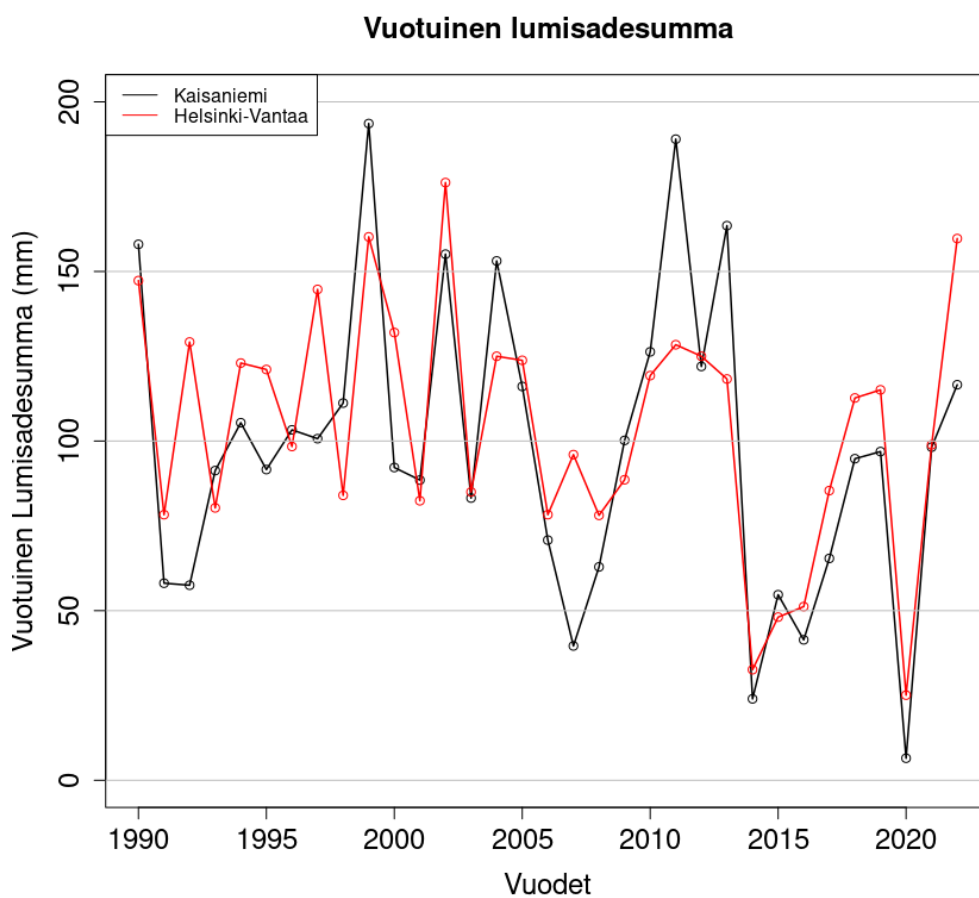
Kuva 8. Vesisadepäivien lukumäärä kuukausittain jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.



Vesisadepäiviä esiintyy pääkaupungissa melko tasaisesti läpi talven (Kuva 8.) Vuosien välinen vaihtelu on kuitenkin eri kuukausina melko suurta. Esimerkiksi joulukuussa sekä Kaisaniemessä että Helsinki-Vantaalla vaihteluväli oli 0-22. Eniten vesisadepäiviä esiintyi joulukuussa 2011 (talvi 2011-2012): Kaisaniemessä 20 kpl ja Helsinki-Vantaalla 22 kpl. Joului-, tammi-, helmi- ja maaliskuussa sekä Kaisaniemessä että Helsinki-Vantaalla esiintyy myös nolla-arvoja. Kaikkina vuosina vesisadepäiviä ei siis ole keskitalvella välttämättä esiintynyt.

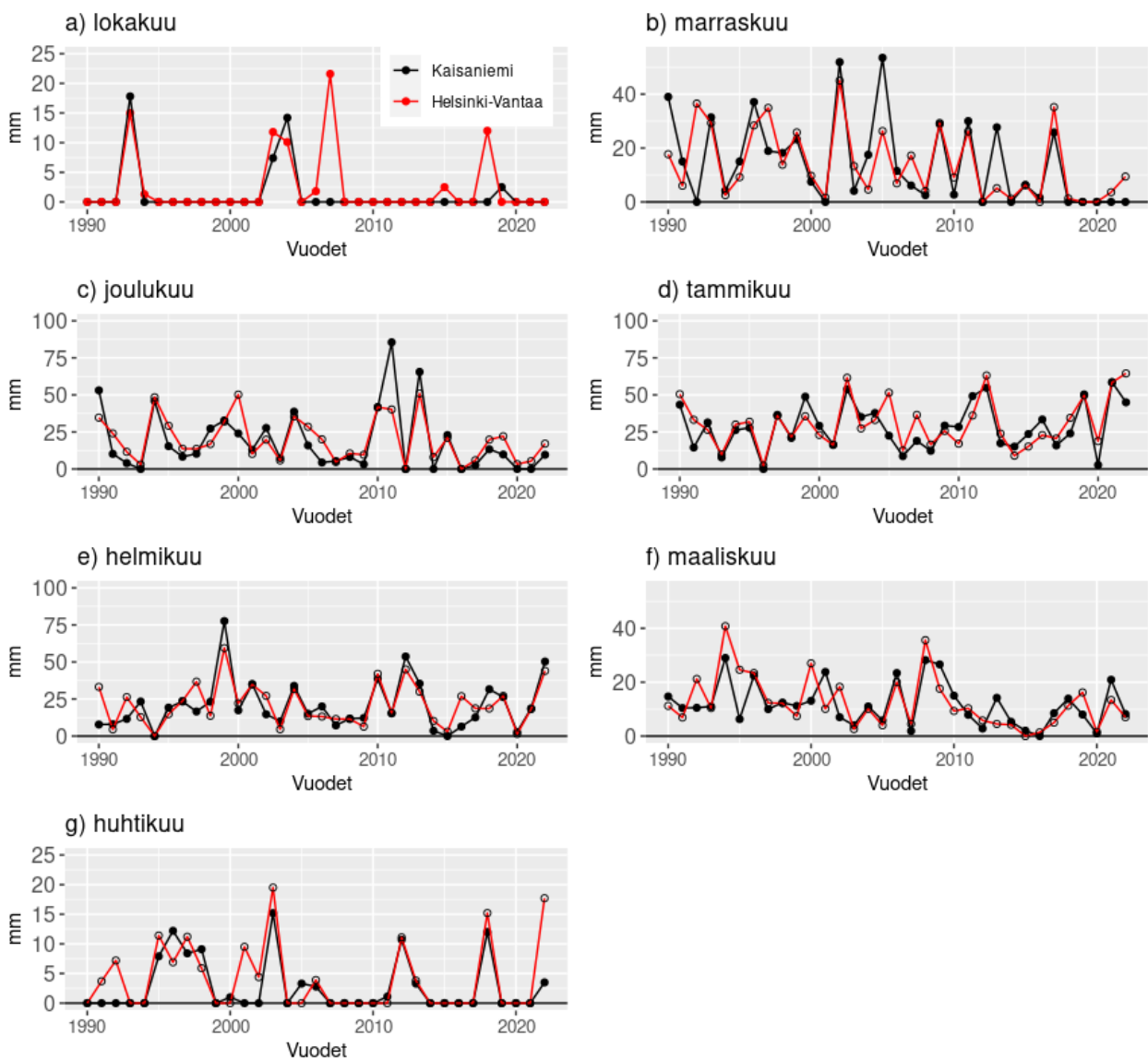
### 3.1.2 Sademäärät

Vuotuinen lumisadesumma (Kuva 9) laskettiin summaamalla yhteen lumisadepäivien sademäärät. Lumisademäärä ilmoitetaan millimetreinä vettä, eli kuinka paljon vettä kertyisi, jos satanut lumi sulatettaisiin. Kaisaniemen havaintoasemalla tarkastelujakson suurin vuotuinen lumisadesumma, n. 190 mm, mitattiin talvella 1998-1999. Tarkastelujakson pienin lumisadesumma, n. 7 mm, mitattiin talvella 2019-2020. Vastaavat lukemat Helsinki-Vantaalla olivat n. 175 mm (2001-2002) ja n. 25 mm (2019-2020).



Kuva 9. Vuotuinen lumisadesumma jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

Suurimmat kuukausittaiset lumisadesummat (Kuva 10) tarkastelujaksolla kertyivät Kaisaniemessä joulukuussa talvella 2010-2011 (n. 85 mm) ja 2012-2013 (n. 65 mm) sekä helmikuussa 1998-1999 (n. 78 mm). Toisaalta Kaisaniemessä on esiintynyt myös melko usein sellaisia vuosia, jolloin varsinkin joulukuussa lumisademäärä on jäänyt pieneksi, 0-10 mm. Tammikuussa ja helmikuussa lumisademäärät ovat Kaisaniemessä pääasiassa vaihdelleet 0 ja n. 60 mm välillä. Helsinki-Vantaalla suurimmat kuukausittaiset lumisadesummat kertyivät tammikuussa talvina 2011-2012 (n. 63 mm) ja 2021-2022 (n. 65 mm) sekä helmikuussa talvella 1998-1999 (n. 60 mm). Kokonaisuudessaan kuukausittaiset lumisademäärät olivat tarkastelujaksolla Helsinki-Vantaalla ja Kaisaniemessä pääosin melko samansuuruisia. Joinakin yksittäisinä vuosina ja kuukausina melko isoja eroja kuitenkin löytyy.

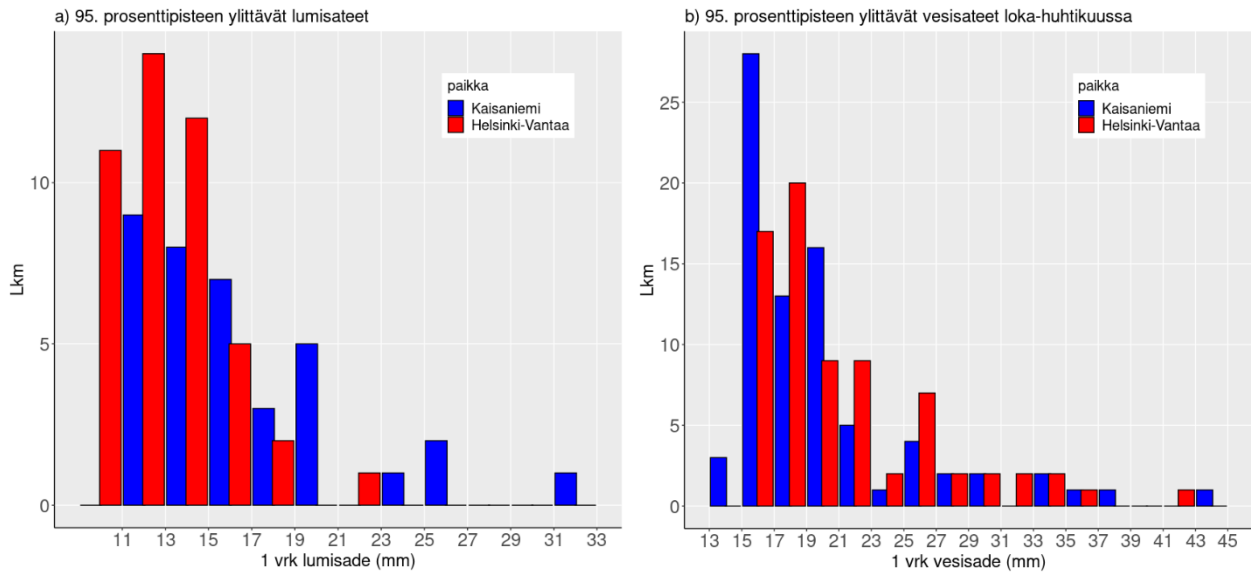


Kuva 10. Lumisadesummat kuukausittain jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

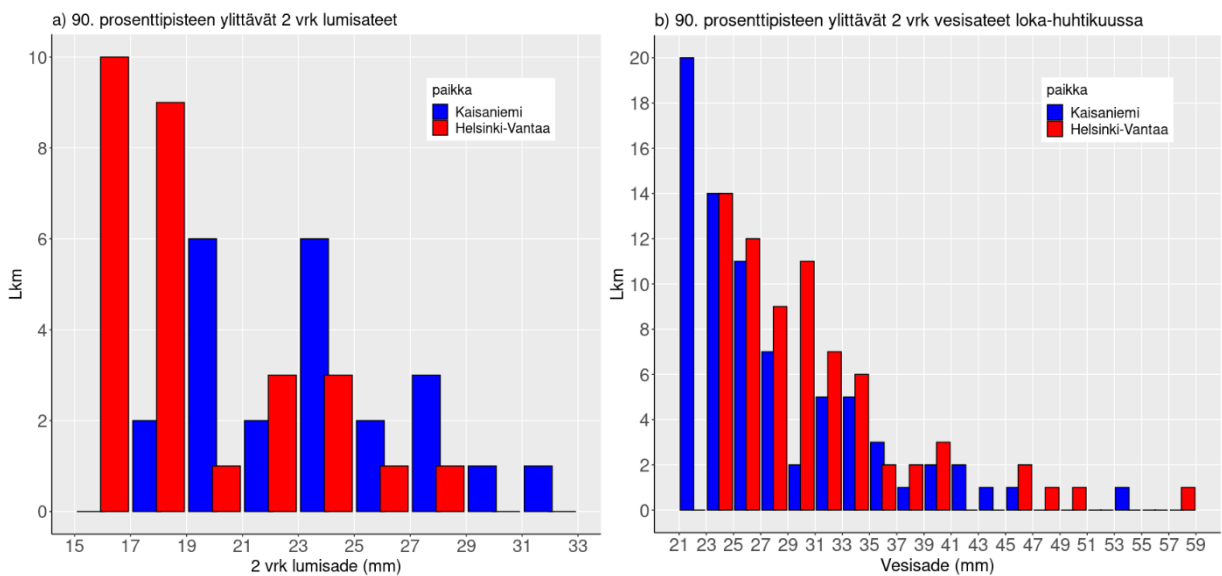
Voimakkaimpia talvikauden lumi- ja vesisateita tarkasteltiin erikseen yhden, kahden ja kolmen vuorokauden pituisilla ajanjaksoilla. Kuvassa 11 on esitetty yhden vuorokauden 95. prosenttipisteen ylittävien lumi- ja vesisateiden jakauma. Tarkastelujaksolla Kaisaniemessä on esiintynyt kaksi tapausta, jolloin vuorokauden lumisademäärä on ollut 25-27 mm ja yksi tapaus, jolloin vuorokauden lumisademäärä on ollut 31-33 mm (Kuva 11a). Helsinki-Vantaalla suurin yhden vuorokauden lumisademäärä on osunut haarukkaan 21-23 mm, ja tällaisia tilanteita on ollut yksi tarkastelujakson aikana. Hieman pienempiä lumisadekertymätilanteita on ollut useammin. Esimerkiksi Helsinki-Vantaalla 11-13 mm suuruisia yhden vuorokauden lumisademääriä on esiintynyt 14 kertaa ja 13-15 mm suuruisia 12 kertaa. Kaisaniemessä vastaavia tapauksia on ollut yhdeksän (11-13 mm) ja kahdeksan (13-15 mm) kappaletta.

Yhden vuorokauden suurin vesisademäärä talvikaudella (Kuva 11b) on ollut Kaisaniemessä 43-45 mm, ja tällaisia tapauksia löytyi tarkastelujaksolta yksi. Helsinki-Vantaalla voimakkain yhden vuorokauden vesisadetilanne osui haarukkaan 41-43 mm, ja myös näitä tapauksia oli yksi tarkastelujaksolla. Suuruudeltaan 20-40 mm yhden vuorokauden vesisademääriä esiintyi Kaisaniemessä 18 kertaa ja Helsinki-Vantaalla 27 kertaa.

Kahden vuorokauden suurimpien lumi- ja vesisademäärien osalta tarkasteltiin 90. prosenttipisteen ylittävää osuutta kaikista kahden vuorokauden lumi- ja vesisateista (Kuva 12). Kaisaniemestä löytyi yksi tapaus, jolloin kahden vuorokauden lumisademäärä oli 31-33 mm (Kuva 12a). Tämän lisäksi tilanteita, jolloin kahden vuorokauden lumisademäärä ylitti 25 mm, löytyi kuusi. Helsinki-Vantaalla suurin kahden vuorokauden lumisademäärä osui haarukkaan 27-29 mm, ja näitä tapauksia löytyi yksi. Lisäksi Helsinki-Vantaalla oli yksi tapaus, jolloin kahden vuorokauden lumisademäärä oli 25-27 mm. Kahden vuorokauden voimakkaimmista vesisateista (Kuva 12b) löytyi sekä Helsinki-Vantaalta että Kaisaniemestä yksi tapaus, jolloin sadekertymä on ollut yli 50 mm. Yli 40 mm ylittäviä tapauksia löytyi molemmilta havaintoasemilta viisi kappaletta.



Kuva 11. 95. prosenttipisteen ylittävien yhden vuorokauden talvikauden a) lumi- ja b) vesisademäärien jakaumat Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla jaksolla 1990-2022.

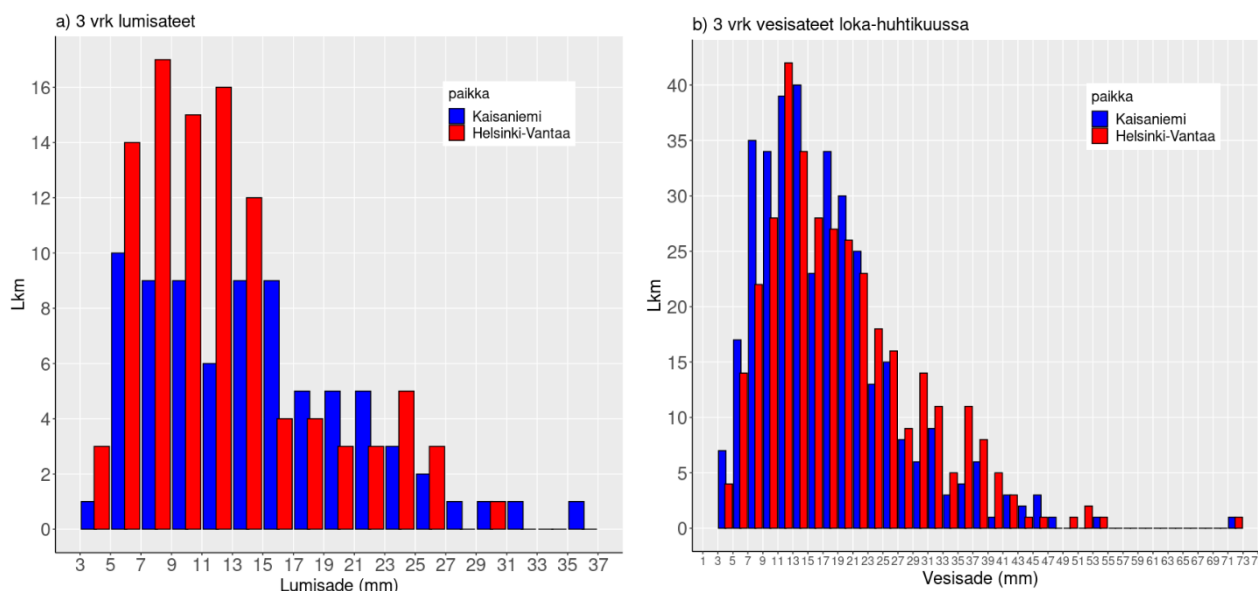


Kuva 12. 90. prosenttipisteen ylittävien kahden vuorokauden talvikauden a) lumi- ja b) vesisademäärien jakaumat Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla jaksolla 1990-2022.

Kolmen peräkkäisen vuorokauden lumi- ja vesisademääristä on esitetty kaikki tapaukset (kuva 13), koska niitä löytyi melko vähän. Suurin osa kolmen vuorokauden lumisadetapauksista osui Kaisaniemessä välille 5-17 mm. Yli 25 mm lumisademääriä löytyi kuusi tapausta, ja näistä yksi oli suuruudeltaan 35-37 mm. Helsinki-Vantaalla voimakkain kolmen vuorokauden lumisadetapaus osui

haarukkaan 29-31 mm. Eniten kolmen vuorokauden lumisateita osui Helsinki-Vantaalla haarukkaan 5-15 mm.

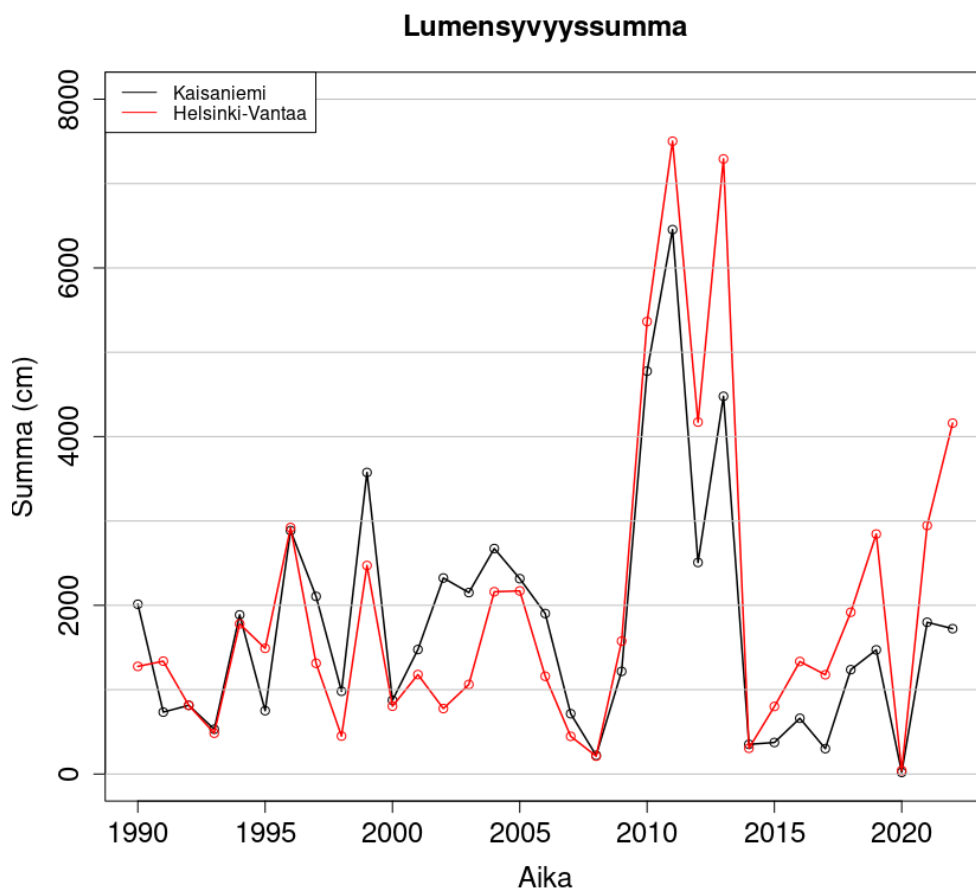
Kolmen peräkkäisen vuorokauden vesisademäärissä löytyi sekä Kaisaniemestä että Helsinki-Vantaalta yksi tapaus, jolloin sademäärä osui välille 71-73 mm.



Kuva 13. Kolmen vuorokauden pituisten a) lumi- ja b) vesisademäärien jakaumat jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

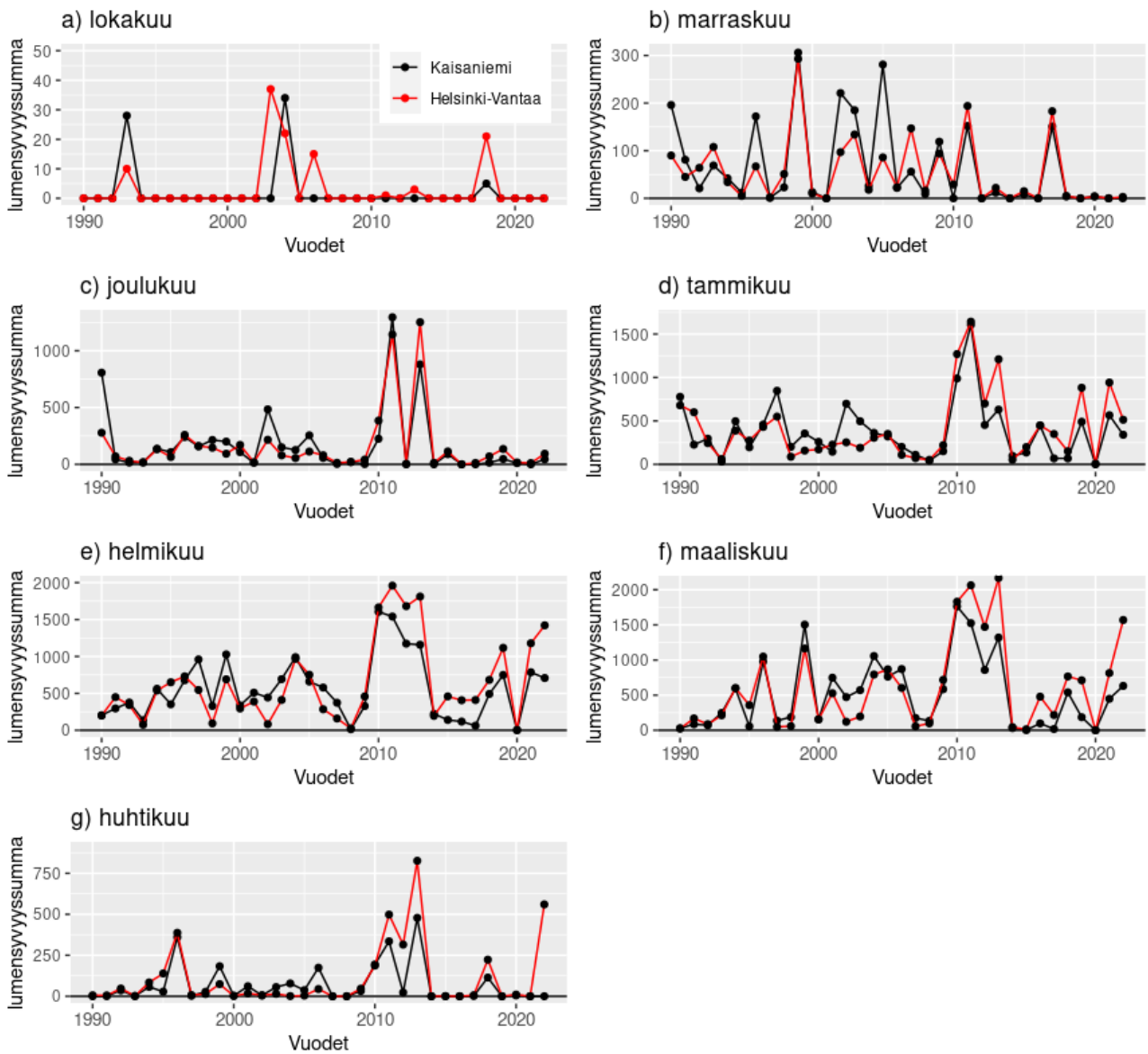
### 3.1.3 Lumensyvyys

Vuotuinen lumensyvyyssumma kuvaa talven runsaslumisuuutta. Kaisaniemessä lumensyvyyssumma on tarkastelujaksolla vaihdellut pääasiassa n. 200 ja 3500 cm välillä (kuva 14). Kuitenkin 2010-luvun alun runsaslumiset talvet erottuvat selkeästi aikasarjasta. Tuolloin kolmena talvena vuotuinen lumensyvyyssumma ylitti 4000 cm. Suurin arvo oli n. 6500 cm talvena 2010-2011. Helsinki-Vantaan havaintoaseman lukemat ovat tarkastelujaksolla pääosin samansuuruisia. 2010-luvun alun runsaslumisina talvina lumensyvyyssummat olivat Helsinki-Vantaalla vielä hieman Kaisaniemeä suurempia. Myös talvesta 2014 eteenpäin lumensyvyyssummat ovat säännönmukaisesti olleet Helsinki-Vantaalla suurempia kuin Kaisaniemessä. Lähes lumettomana talvena 2019-2020 lumensyvyyssumma oli Kaisaniemessä vain 19 cm ja Helsinki-Vantaalla 41 cm.



Kuva 14. Vuotuinen lumensyvyyssumma Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla jaksolla 1990-2022.

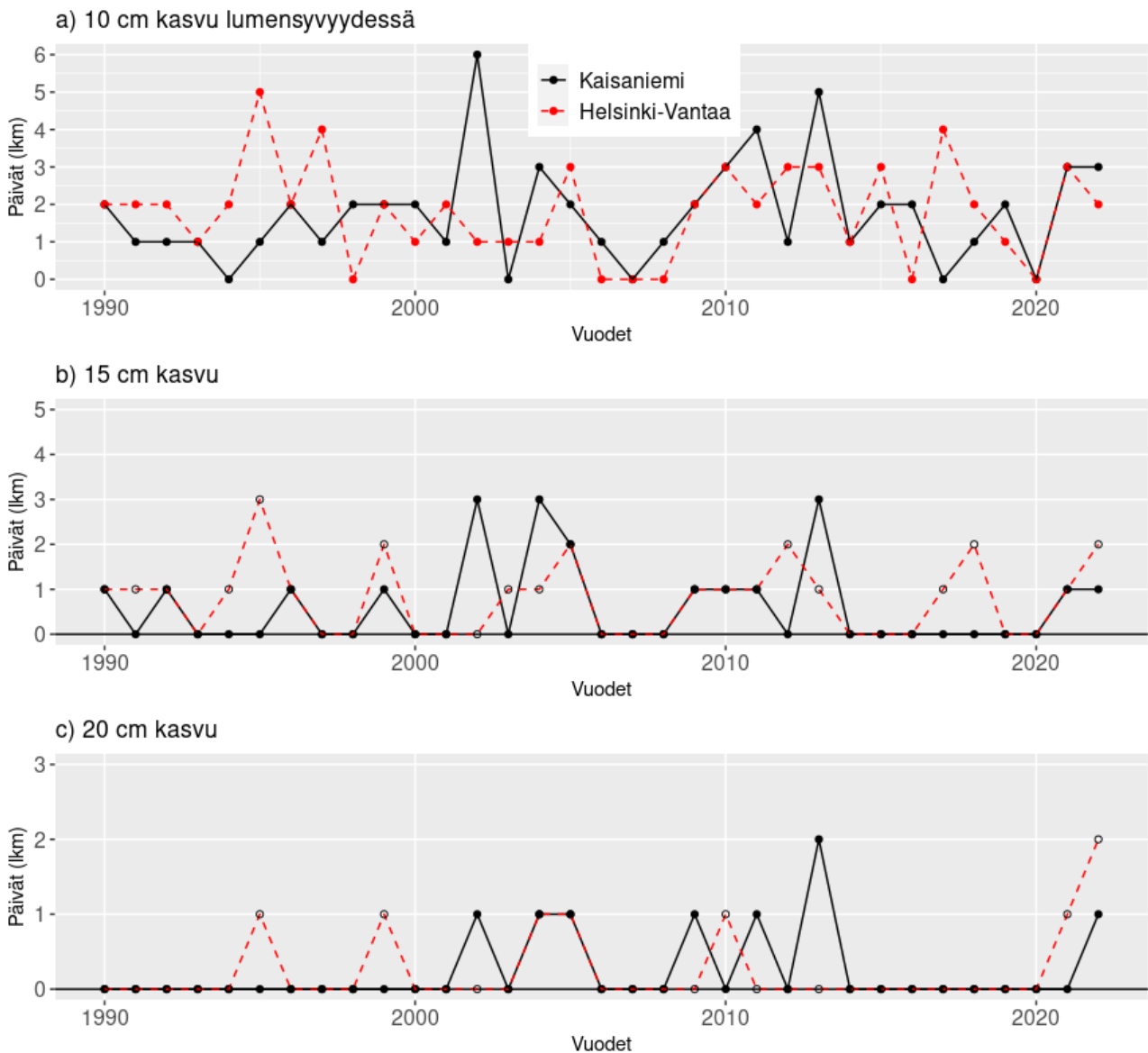
Kuukausittaiset lumensyvyyssummat (Kuva 15) kertovat, että Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla tammikuu ja helmikuu ovat yleensä runsaslumisimmat kuukaudet. Vuosien välinen vaihtelu on kuitenkin suurta ja esimerkiksi yksittäisinä vuosina maaliskuussa lumensyvyyssumma on ylittänyt 1000 cm, kun taas tammikuussa ja helmikuussa lumensyvyyssumma on joinain vuosina jäänyt alle 250 cm. 2010-luvun alun runsaslumiset talvet erottuvat kuukausikohtaisissakin aikasarjoissa selkeästi piikkeinä.



Kuva 15. Lumensyvyyssummat kuukausittain Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla jaksolla 1990-2022.

Lumensyvyysmittauksista voidaan arvioida myös sataneen lumen määrää senttimetreinä. Tässä työssä arvioitiin kertyneen lumisateen määrää laskemalla peräkkäisten päivien lumensyvyyksien erotuksia (Kuva 16.). Tarkastelujaksolla tilanteita, jolloin lumensyvyys on kahden peräkkäisen päivän välillä kasvanut vähintään 10 cm (Kuva 16a) löytyi lähes jokaisena vuonna sekä Helsinki-Vantaalla että Kaisaniemessä. Helsinki-Vantaalla tällaisia tapauksia oli 0-5 kpl vuosittain, nolla-arvoja löytyi kuudelta vuodelta. Kaisaniemessä tapauksia löytyi 0-6 kpl vuosittain, nolla-arvoja löytyi viideltä vuodelta. Tilanteita, jolloin lumensyvyys kasvoi yli 15 cm kahden peräkkäisen päivän välillä oli jo vähemmän. Kolme tällaista tilannetta löytyi Helsinki-Vantaalta talvella 1994-1995 ja Kaisaniemestä talvina 2001-2002, 2003-2004 sekä 2012-2013. Tilanteita, jolloin

lumensyvyys kasvoi yli 20 cm, löytyi sekä Kaisaniemestä että Helsinki-Vantaalta koko tarkastelujaksolla kahdeksan kertaa, viimeisimmät näistä talvelta 2021-2022.



Kuva 16. Niiden tilanteiden lukumäärä vuosittain, jolloin kahden peräkkäisen päivän välinen lumensyvyys on kasvanut vähintään a) 10 cm, b) 15 cm ja c) 20 cm jaksolla 1990-2022 Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla.

Muutamia tilanteita, jolloin lumensyvyys kasvoi kerralla yli 20 cm, tarkasteltiin lisäksi myös muista säähavainnoista. Kaisaniemessä tällaisissa esimerkkitalanteissa lumensyvyys on kasvanut 22, 27 ja 29 cm kahden peräkkäisen päivän välillä (Taulukko 2). Vastaavat sademäärät olivat 7,8, 24,9 ja 27 mm. Tilanteessa, jossa sademäärä on ollut vain 7,8 mm ja lumensyvyys on kasvanut 22 cm, on vuorokauden keskilämpötila ollut lumisateen aikaan lähes -10 astetta. Lumisade on ollut siis kevyttä



pakkaslunta, josta on nopeasti kertynyt 22 cm lunta. Tämä lumimäärä on kuitenkin jo seuraavana päivänä painunut kasaan 7 cm verran. Näiden tilanteiden vertailu havainnollistaa hyvin lämpötilan vaikutuksen kertyvän lumen määrään. Kovilla pakkasilla maahan kertyvän lumen tiheys on pieni, ja suhteellisen pieni satava lumimäärä saattaa nopeasti kerryttää paksunkin lumipeitteen maahan. Tällainen lumikerros painuu melko nopeasti kasaan, jolloin myös sen tiheys kasvaa samalla kuin lumensyvyys pienenee.

Taulukko 2. Kolme tapausta, jolloin lumensyvyys on kasvanut yli 20 cm vuorokaudessa Kaisaniemessä

Lumensyvyyden kasvu: 27 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
2003	12	21	-2.7	-0.3	-6.6	24.9	0
2003	12	22	-7.0	-2.3	-9.2	2.8	27
2003	12	23	-13.0	-8.7	-16.7	0.2	27

Lumensyvyyden kasvu: 29 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
2004	11	19	-5.3	-2.8	-8	0.1	1
2004	11	20	-3.7	0.7	-9.1	27	1
2004	11	21	-6.5	-0.1	-8.9	0	30

Lumensyvyyden kasvu: 22 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
2010	12	18	-10.7	-6.1	-12.5	1.7	38
2010	12	19	-9.8	-8.7	-11.5	7.8	45
2010	12	20	-7.3	-5.1	-10.7	0	67
2010	12	21	-7.3	-5.3	-9.1	2.5	60

Taulukossa 3 on esitetty Helsinki-Vantaan säähavainnot viidessä tilanteessa, joissa lumensyvyys on kasvanut kahden vuorokauden välillä 22, 26, 27, 29 tai 37 cm. Vastaavat sademäärät olivat 5, 13,1 7,7, 13,7 ja 10,7 mm. Helsinki-Vantaan sääasema sijaitsee avoimella paikalla, minkä seurauksena tuuliolosuhteet jonkin verran vaikuttavat havaintoihin. Varsinkin itätuulella lunta saattaa päästä kasautumaan lumensyvyysmittauksen alustalle. Lisäksi aseman avoimuus voi vaikuttaa myös lumisateen mittaamiseen. Tuulisissa tilanteissa sademittariin ei välttämättä pääse kertymään todellista lumikertymää vaan jonkin verran vähemmän.

Taulukko 3. Viisi esimerkkitapausta, jolloin lumensyvyys on kasvanut yli 20 cm vuorokaudessa, Helsinki-Vantaa.

Lumensyvyyden kasvu: 26 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
1995	1	22	-5.6	-4.4	-7.4	5.8	1
1995	1	23	-2.8	0.5	-5.9	13.1	9
1995	1	24	1.2	1.6	0.2	5.4	35

Kasvu: 22 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
2005	2	12	-1.9	1.4	-6.8	0.1	13
2005	2	13	-2.3	0.2	-3.1	5	13
2005	2	14	-6.4	-2.9	-8.0	0.6	35

Kasvu: 37 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
1999	2	15	0.0	0.6	-0.5	6.4	11
1999	2	16	-0.6	0.3	-1.5	10.7	11
1999	2	17	-2.7	-1.3	-4.0	0.1	48

Kasvu: 27 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
2009	12	20	-7.1	-5.3	-13.2	7.7	3
2009	12	21	-11.4	-9.6	-12.5	3.3	30
2009	12	22	-8.3	-2.2	-14.9	3.9	22
2009	12	23	-1.0	1.9	-5.1	3.5	34

Kasvu: 29 cm

year	month	day	Tmean	Tmax	Tmin	prec	sd
2004	1	31	-4.3	-1.5	-6.6	13.7	18
2004	2	1	-1.1	0.4	-2.2	5.7	47
2004	2	2	-3.9	0.1	-7.1	0	50

### 3.1.4 Toistuvuusajat

Työssä laskettiin toistuvuustasoja 2, 5, 10 ja 30 vuoden välein toistuville yhden, kahden ja kolmen vuorokauden lumisademäärille (mm vettä) sekä vuotuisille lumensyvyyssummille (Taulukko 4). Kaisaniemessä keskimäärin kahden vuoden välein toistuvan yhden vuorokauden lumisademäärä on 14,4 mm vedeksi muutettuna, kahden vuorokauden 17,7 mm ja kolmen vuorokauden 12,8 mm. Kahden vuoden välein toistuvan lumensyvyyssumman suuruus on 1420 cm. Kolmenkymmenen vuoden toistuvuusajalla vastaavat arviot yhden, kahden ja kolmen vuorokauden lumisateelle ovat 28,1, 30,1 ja 34,5 mm ja lumensyvyyssummalle 5617 cm. Pidemmällä toistuvuusajoilla 0,95 % luottamusväli on kuitenkin jo melko iso, esimerkiksi lumensyvyyssummalle 3713-12530 cm.

Helsinki-Vantaalla keskimäärin kahden vuoden välein toistuvan yhden vuorokauden lumisademäärä on 12,1 mm, kahden vuorokauden 15,9 mm ja kolmen vuorokauden 16,6 mm. Kahden vuoden välien toistuvan lumensyvyyssumman suuruus on 1430 cm. Kolmenkymmenen vuoden toistuvuusajalla vastaavat arviot yhden, kahden ja kolmen vuorokauden lumisateelle ovat 18,9, 25,9 ja 27,7 mm ja lumensyvyyssummalle 7245 cm. Varsinkin lumensyvyyssumman luottamusväli on kuitenkin varsin iso, 4325-16523. Sademäärien toistuvuusajoja tarkasteltaessa on hyvä pitää mielessä, että maahan kertyvä lumimäärä riippuu kuitenkin voimakkaasti vallitsevasta ilman lämpötilasta.

Taulukko 4. 2, 5, 10 ja 30 vuoden toistuvuustasot 1, 2 ja 3 vuorokauden suurimmille lumisateille sekä vuotuiselle lumensyvyyssummalle Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan havaintoasemilla. Sarake 0,95 kertoo 0,95 % luottamusvälin toistuvuustasolle.

Kaisaniemi	2 v		5 v		10 v		30 v	
	Paras arvio	0,95	Paras arvio	0,95	Paras arvio	0,95	Paras arvio	0,95
1 vrk lumisade (mm)	14,4	12,4-16,7	20,0	17,4-23,5	23,4	20,4-28,9	28,1	24,1-38,6
2 vrk lumisade (mm)	17,7	15,5-20,9	24,4	22,6-27,3	27,3	25,1-30,8	30,1	28,2-35,9
3 vrk lumisade (mm)	12,8	8,3-17,3	22,4	17,6-28,4	27,7	22,8-40,3	34,5	28,7-68,3
Lumisumma (cm)	1420	1100-1824	2684	1975-3737	3710	2665-6085	5617	3713-12530
Helsinki-Vantaa	2 v		5 v		10 v		30 v	
	Paras arvio	0,95	Paras arvio	0,95	Paras arvio	0,95	Paras arvio	0,95
1 vrk lumisade (mm)	12,1	11,0-13,4	14,9	13,6-16,7	16,6	15,1-19,7	18,9	16,9-25,7
2 vrk lumisade (mm)	15,9	13,6-18,3	21,0	18,8-23,4	23,3	21,3-16,5	25,9	23,9-31,1
3 vrk lumisade (mm)	16,6	14,3-19,3	22,4	20,1-25,0	25,0	23,2-28,2	27,7	25,7-32,9
Lumisumma (cm)	1430	1084-1914	2914	2209-4327	4294	2930-7514	7245	4352-16523

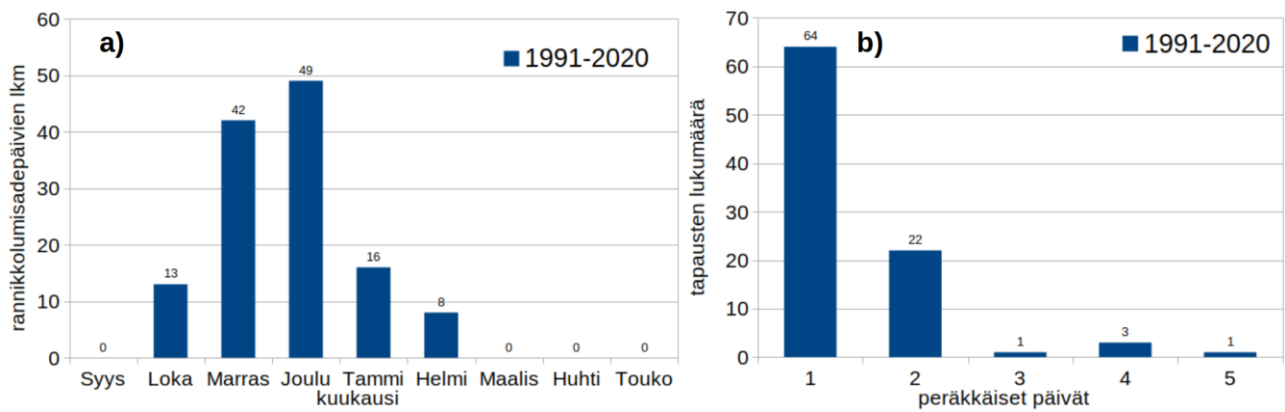
Kun näitä tuloksia verrataan Kuvassa 14 esitettyihin vuotuisiin lumensyvyyssummiin, voidaan todeta, että talvina 2010-2011 ja 2012-2013 Helsinki-Vantaalla kertyneet lumensyvyyssummat

olivat suuruudeltaan keskimäärin n. 30 vuoden välein toistuvia. Kaisaniemessä talven 2010-2011 lumensyvyyssumma, n. 6500 cm, oli suuruudeltaan vielä harvinaisempi kuin paras arvio kerran kolmessakymmenessä vuodessa toistuvasta lumimäärästä.

## 3.2 Konvektiiviset rannikkolumisateet

Suomessa esiintyviä konvektiivisia lumisateita on tutkittu PREDICT-projektissa vuosilta 1991-2020 ERA5-uusanalyysiaineiston avulla. Konvektiivisten lumisateiden synnylle suotuisia olosuhteita esiintyy yleensä lämpimän syksyn jälkeen, kun hyvin kylmää ilmaa pääsee virtaamaan avoimen ja yhä suhteellisen lämpimän meren ylle. Jotta konvektiivisia rannikkolumisateita voi esiintyä eteläisessä Suomessa, täytyy tiettyjen kriteerien täyttyä yhtä aikaa. Nämä kriteerit ovat: Jäätön Suomenlahti, merenpinnan ja ilmamassan (850 hPa eli n. 1,5 km korkeudella) lämpötilaero yli 13 °C, tuulensuunta kohti rannikkoa, tuulennopeus (10m korkeudella) yli 7 m/s, pystysuuntainen tuuliväanne alle 60° (tuulensunnan muutos pystysuunnassa), rajakerroksen korkeus yli 1000 m (rajakerros on ilmakehän alin kerros, jossa maanpinnan kitka vaikuttaa ilmakehän virtauksiin) ja vuorokauden lumisadekertymä vähintään 1,5 mm (Olsson et al., 2020). Lisäksi tarkistettiin Suomen hilamuotoisesta havaintoaineistosta, että yllä olevien ehtojen täyttäminä päivinä Suomen etelärannikolle satoi johonkin kohtaan vähintään 2 cm uutta lunta vuorokaudessa. Tällä varmistettiin, ettei lumisadealue jäänyt kokonaan merelle.

Konvektiivinen lumisade on tyypillisesti hyvin paikallinen ilmiö, joten pelkästään Helsingin sijaan tarkasteltiin koko eteläisen Suomen rannikkoaluetta. Päiviä, jolloin olosuhteet olivat suotuisat konvektiivisen lumisateen esiintymiselle Suomen etelärannikolla (alue Hangosta Vaalimaalle), löytyi ERA5-aineistosta yhteensä 128 kpl vuosien 1991-2020 aikana. Yleisimmin tapauksia esiintyi neljänä päivänä vuodessa (syyskuulta toukokuulle), mutta tapauspäivien vuotuinen lukumäärä vaihteli 0 ja 11 välillä. Suurin osa tapauksista esiintyi marras-joulukuussa (Kuva 17a). Tyypillisesti konvektiivinen lumisadetilanne kesti etelärannikolla yhden päivän, mutta aineistosta löydettiin myös viiden päivän mittainen lumisadejakso (Kuva 17b). Kaikki 3–5 peräkkäisen päivän mittaiset lumisadejaksot esiintyivät marras- ja joulukuussa. Eniten konvektiivisia lumisadepäiviä esiintyi talvina 2010-2011 (11 pv), 2012-2013 (11 pv) ja 2016-2017 (10 pv).



Kuva 17. a) Konvektiivisten rannikkolumisadepäivien kokonaislukumäärä kuukausittain jaksolla 1991-2020 Etelä-Suomessa. b) Peräkkäisten rannikkolumisadepäivien lukumäärä jaksolla 1991-2020.

Konvektiivisiä rannikkolumisateita esiintyy monen eri sääolosuhteen summana eivätkä edes tapausrikkaimmat vuodet ole veljeksiä keskenään:

- 2010-2011 marras-joulukuu oli poikkeuksellisen kylmä, mutta meriveden lämpötila oli lähellä pitkäaikaista keskiarvoa tai hieman sitä korkeampi. Suurin osa (8 pv) konvektiivisista rannikkolumisadepäivistä ilmeni joulukuussa.
- 2012-2013 syksy oli lämmin ja marraskuussa Suomenlahti oli noin kaksi astetta pitkän ajan keskiarvoa lämpimämpi. Joulukuussa ilma oli tavanomaista kylmempää, ja tällöin havaittiin suurin osa kyseisen talven (6 pv) konvektiivisista rannikkolumisadepäivistä.
- 2016-2017 talvi oli suureksi osaksi lauha ja jäätalvi leuto. Marraskuussa ja tammikuussa oli lyhyet kylmät jaksot, joiden aikana kyseisen talven konvektiiviset rannikkolumisadetilanteet syntyivät (6 pv marraskuussa ja 3 pv tammikuussa).

Alueella, jolle rannikkolumisadetilanteen voimakkain sadealue osui, lumensyvyys kasvoi keskimäärin 8-9 cm vuorokaudessa. Koko jakson suurimmat lumensyvyyden kasvut esiintyivät marras- ja joulukuussa ollen 30 ja 35 cm. (Taulukko 5).

Taulukko 5. Etelä-Suomessa esiintyneiden konvektiivisten rannikkolumisadepäivien aikana tapahtunut suurin lumensyvyuden kasvu jossain päin tarkastelualueita. Riveillä: tarkastelujakson yli laskettu keskimääräinen lumensyvyuden suurin kasvu vuorokaudessa, tarkastelujakson rannikkolumisadepäivinä havaittu absoluuttinen suurin lumensyvyuden kasvu vuorokaudessa, sekä sellaisten rannikkolumisadepäivien lukumäärä, jolloin lumensyvyys on kasvanut yli 10 cm vuorokaudessa ja yli 20 cm vuorokaudessa.

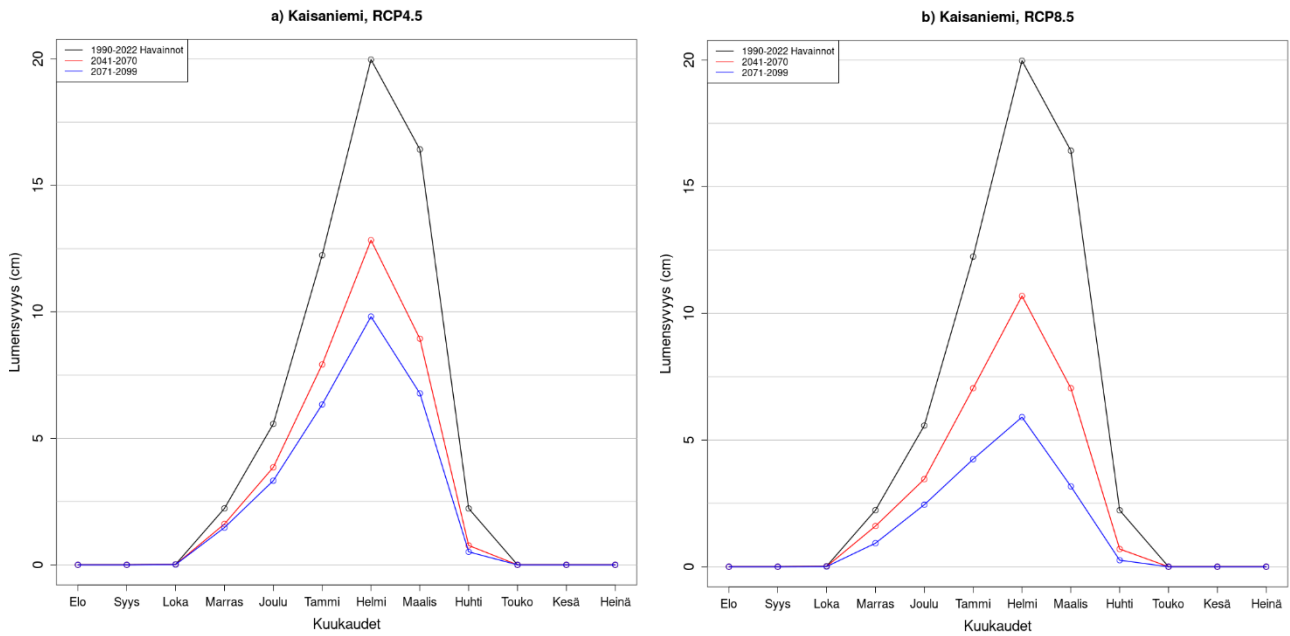
1991-2020	Loka	Marras	Joulu	Tammi	Helmi
Keskiarvo cm/pv	9	8	9	8	9
Maksimi cm/pv	17	30	35	22	24
yli 10 cm/pv	4 pv	11 pv	15 pv	4 pv	2 pv
yli 20 cm/pv	0 pv	2 pv	4 pv	1 pv	1 pv

### 3.3 Tulevaisuuden lumiolosuhteet

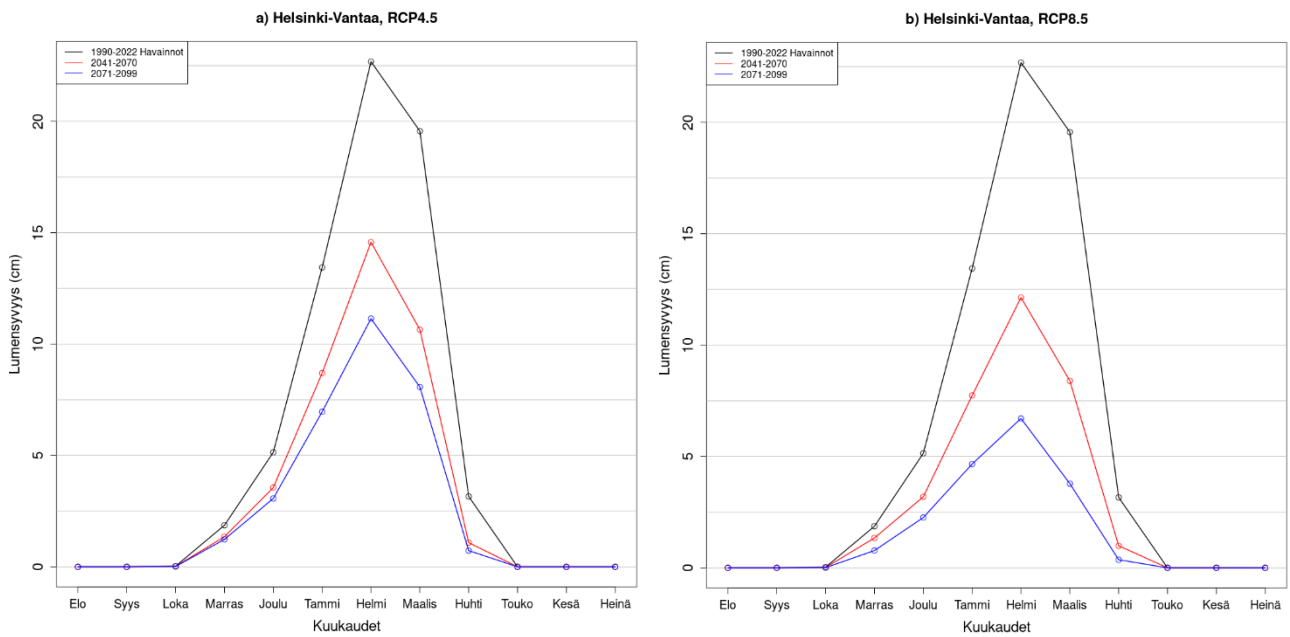
Tulevaisuuden ilmastosta arvioitiin lumensyvyuden kuukausikeskiarvoja ja keskimääräistä vuotuista maksimilumensyvyyttä kahdella tulevalla jaksolla 2041-2070 ja 2071-2099 kahden eri kasvihuonekaasuskenaarion mukaan.

Keskimääräistä kasvihuonekaasupitoisuuksien kasvua kuvaavan RCP4.5-skenaarion mukaan Kaisaniemen lumensyvyys pienenee jokaisena kuukautena (Kuva 18). Talven suurin lumensyvyys saavutetaan Kaisaniemessä tyypillisesti helmikuussa. Havaintojen mukaan helmikuun keskimääräinen lumensyvyys jaksolla 1990-2022 oli n. 20 cm. RCP4.5-skenaarion mukaan jaksolla 2041-2070 keskimääräinen lumensyvyys helmikuussa olisi n. 13 cm ja 2071-2099 hieman alle 10 cm. Lumensyvyuden suhteellinen pieneneminen on RCP4.5-skenaarion mukaan kuitenkin suurinta keväällä huhtikuussa: jaksolla 2041-2070 -66 % ja jaksolla 2071-2099 -77 %.

Voimakkaamman RCP8.5-skenaarion mukaan tulokset ovat samankaltaisia, mutta lumensyvyuden pieneneminen on vielä voimakkaampaa. Helmikuussa 2041-2070 keskimääräinen lumensyvyys olisi n. 11 cm ja vuosisadan lopulla 2071-2099 enää n. 6 cm. Myös RCP8.5 mukaan suhteellinen pieneneminen on voimakkainta huhtikuussa: jaksolle 2041-2070 mentäessä n. -69 % ja jaksolle 2071-2099 mentäessä n. -89 %.



Kuva 18. Kuukauden keskimääräiset lumensyvyudet Kaisaniemen havaintoasemalla jaksolla 1990-2022 havaintojen mukaan sekä jaksoilla 2041-2070 ja 2071-2099 CORDEX-ilmastomalliaineiston mukaan. a) RCP4.5-skenaario, b) RCP8.5-skenaario.



Kuva 19. Kuukauden keskimääräiset lumensyvyudet Helsinki-Vantaan havaintoasemalla jaksolla 1990-2022 havaintojen mukaan sekä jaksoilla 2041-2070 ja 2071-2099 CORDEX-ilmastomalliaineiston mukaan. a) RCP4.5-skenaario, b) RCP8.5-skenaario.

Helsinki-Vantaan lumensyvyuden kuukausikeskiarvojen muutokset ovat hyvin samansuuntaisia kuin Kaisaniemessä (Kuva 19). Jaksolla 1990-2022 havaintojen mukainen helmikuun keskimääräinen lumensyvyys oli hieman yli 20 cm. RCP4.5-skenaarion mukaan jaksolle 2041-2070 mentäessä tämä olisi n. 14 cm ja jaksolle 2071-2099 mentäessä n. 11 cm. Voimakkaamman RCP8.5-skenaarion mukaan jaksolla 2041-2070 helmikuun keskimääräinen lumensyvyys olisi n. 12 cm ja jaksolla 2071-2099 n. 7 cm.

Talven vuotuisista havaituista maksimilumensyvyyksistä laskettu keskimääräinen maksimilumensyvyys jaksolla 1990-2022 oli Kaisaniemessä 33,5 cm ja Helsinki-Vantaalla 38,5 cm (Taulukko 6). Ilmastomalliaineistoista lasketun muutosarvion mukaan tämä keskimääräinen maksimilumensyvyys pienenisi Kaisaniemessä RCP4.5-skenaarion mukaan arvoon 24,1 cm jaksolla 2041-2070 ja 21,0 cm jaksolla 2071-2099. RCP8.5-skenaarion mukaan nämä arvot pienenisivät lukemiin 22,2 cm ja 16,2 cm. Helsinki-Vantaalla RCP4.5 mukaiset lukemat olisivat 27,8 cm ja 24,2, kun taas RCP8.5:n mukaan vuosisadan puolivälin keskimääräinen maksimilumensyvyys olisi 25,6 cm ja vuosisadan lopun 18,7 cm. Taulukossa 6 on esitetty myös muutosprosentit näille keskimääräisen maksimilumensyvyyden muutoksille.

Taulukko 6. Talven keskimääräinen maksimilumensyvyys havaintojen mukaan jaksolla 1990-2022 ja kahden eri RCP-skenaarion mukaan jaksoilla 2041-2070 ja 2071-2099. Suluissa olevat lukemat ovat arviot maksimiarvojen ala- ja ylärajoista. Muutosprosentti kertoo keskimääräisen maksimilumensyvyyden muutoksen suhteessa jakson 1990-2022 havaittujen maksimilumensyvyyksien keskiarvoon.

	Keskimääräinen max lumensyvyys		Muutos (%)
	Kaisaniemi (cm)	Helsinki-Vantaa (cm)	
Havainto 1990-2022	33,5 (3 - 73)	38,5 (8 – 76)	
RCP4.5			
2041-2070	24,1 (2,2 – 52,5)	27,8 (5,8 – 54,9)	-27,9
2071-2099	21,0 (1,9 – 45,8)	24,2 (5,0 – 47,8)	-37,3
RCP8.5			
2041-2070	22,2 (2,0 – 48,4)	25,6 (5,3 - 50,5)	-33,5
2071-2099	16,2 (1,5 - 35,3)	18,7 (3,9 - 36,9)	-51,5



Keskimääräisten maksimilumensyvyyksien lisäksi arvioitiin myös kunkin jakson suurin ja pienin maksimilumensyvyys (suluissa olevat arvo Taulukossa 6). Näitä arvioidessa oletettiin, että havaittu vuotuisten maksimilumensyvyyksien jakauma pysyy samana tulevaisuudessakin. Tämä saattaa olla järkevä arvio vielä vuosisadan puolivälin tienoilla, mutta loppupuolella todennäköisesti jakauman muotokin tulee muuttumaan. Havaintojen mukaan jakson 1990-2022 vuotuisista lumensyvyysmaksimeista suurin oli 73 cm ja pienin vain 3 cm. Taulukossa 6 on suluissa esitetty vastaavat arvot kahdella tulevaisuuden tarkastelujaksolla Kaisaniemessä ja Helsinki-Vantaalla RCP4.5- tai RCP8.5-skenaarion toteutuessa. Käytännössä hyvin pienet lumensyvyyden maksimi-arvot, kuten Kaisaniemessä RCP8.5:n mukaiset alarajat 2,0 cm jaksolla 2041-2070 ja 1,5 cm jaksolla 2071-2099, kertovat hyvin vähälumisesta talvesta. Suurin osa talvesta saattaa olla lumeton, ja joinain yksittäisinä päivinä lunta sataa muutamia senttejä. Toisaalta Taulukon 6 tulosten mukaan yksittäiset runsaslumiset talvet olisivat mahdollisia etelärannikollakin vielä vuosisadan lopulla. Tästä kertovat RCP8.5-skenaarion antamat lumensyvyyden maksimi-arvojen ylärajat 35,5 cm Kaisaniemessä ja 36,9 cm Helsinki-Vantaalla

## 4 Yhteenveto

Tässä työssä tarkasteltiin Helsingin talvisia ilmasto-olosuhteita nykyilmastossa jaksolla 1990-2022 ja tulevaisuudessa jaksoilla 2041-2070 sekä 2071-2099. Nykyilmastossa tarkasteltiin lumensyvyyssummaa, lumi- ja vesisateiden määriä ja esiintyvyyttä, lumensyvyyden muutoksia, lumisateiden ja lumensyvyyssumman toistuvuusajoja sekä lyhyesti rannikkolumisadeilmiötä. Tulevaisuuden talvien osalta tarkasteltiin keskimääräisiä lumensyvyksiä kuukausitasolla sekä keskimääräisiä vuotuisia maksimilumensyvyksiä kahden eri päästöskenaarion mukaan.

Helsingin talvisia sääolosuhteita kuvaa voimakas vuosien välinen vaihtelu. Nykyilmaston tarkastelujaksolla 1990-2022 käsitellyissä suureissa ei ollut havaittavissa merkittäviä trendejä. Tarkastelujaksolle mahtui sekä runsaslumisia talvia että vähälumisia talvia. Esimerkiksi vuotuinen lumensyvyyssumma on Kaisaniemessä vaihdellut tarkastelujaksolla pääosin n. 200 ja 6500 cm välillä ja tammikuiden vuotuinen lumisademäärä on vaihdellut 0 ja n. 60 mm (vettä) välillä. Tarkastelujaksolta löytyi muutamia tapauksia, jolloin lumensyvyys on sekä Kaisaniemessä että Helsinki-Vantaalla kasvanut yli 20 cm kahden peräkkäisen päivän välillä. Myös talviaikaiset vesisateet olivat tarkastelujaksolla melko tavallisia Helsingissä, ja vesisadepäivien vuotuinen lukumäärä sekä tammi- että helmikuussa vaihteli 0 ja 15 kpl välillä.

Tulevaisuuden lumensyvyysarvioita tehtiin vuosisadan puoliväliin sekä loppupuolelle kahden eri kasvihuonekaasupitoisuusskenaarion perusteella alueellista ilmastomalliaineistoa käyttäen. Saatujen tulosten mukaan kuukausien keskimääräinen lumensyvyys pienenee Helsingissä kaikkina talvikauden kuukausina. Suhteellinen pieneminen on suurinta huhtikuussa. Myös keskimääräinen maksimilumensyvyys pienenee vuosisadan puoliväliin mennessä n. 28-38 % ja vuosisadan loppupuolelle mennessä n. 34-52 % kasvihuonekaasuskenaariosta riippuen. Lumisetkin talvet ovat tulosten mukaan tulevaisuudessa edelleen mahdollisia, mutta niiden esiintyminen muuttuu vähitellen harvemmaksi.

Asemahavaintoihin ja ilmastomalliaineistoihin perustuvat tulokset sisältävät myös epävarmuuksia. Sateen ja lumensyvyyden mittaamiseen liittyy haasteita. Kun sadetta mitataan, myös tuuliolosuhteet vaikuttavat mittaukseen varsinkin lumisateen tapauksessa. Vastaavasti lumensyvyyskertymä

mittauspaikalla on herkkä tuulelle. Varsinkin Helsinki-Vantaan havaintoaseman sijainti avoimella paikalla on tietyissä tilanteissa herkkä tuulen aiheuttamille epätarkkuuksille havainnoissa.

Kun tarkastellaan ilmastomalliaineistoja, on tärkeää muistaa, että mallien tulokset eivät ole tarkka kuvaus tulevaisuuden olosuhteista. Ilmastomallien tuloksiin aiheutuu epävarmuutta pääasiassa kolmesta tekijästä: 1) Laskennallisista syistä ilmakehän monimutkaista fysiikkaa joudutaan ilmastomalleissa yksinkertaistamaan, 2) Kasvihuonekaasupäästöjen tulevaa kehitystä ei tiedetä, sitä voidaan ainoastaan arvioida. 3) Maapallon ilmasto vaihtelee luontaisestikin jonkun verran. Tässä työssä lasketut tulevaisuuden arviot perustuivat 10 ilmastomallikokoonpanon tuloksiin, joista laskettiin keskiarvo.

Myös käytetyt menetelmät aiheuttavat tuloksiin jonkun verran epävarmuutta. Lumisateiden erottamisessa kokonaissademäärästä käytettiin lämpötilarajana vuorokauden keskilämpötilalle 0 astetta. Todellisuudessa lumisateita voi kuitenkin tulla, vaikka lämpötila on hieman nollan yläpuolella. Tämä rajaus saattaa siis jättää joitain lumisateita pois. Sateen olomuoto voi lisäksi vaihdella päivän aikana. Tässä työssä kuitenkin oletettiin kaikki yhden päivän aikana kertynyt sade joko lumeksi tai vedeksi, koska käytössä oli päivittäinen havaintodata. Näistä yksinkertaistuksista aiheutuva mahdollinen virhe on todennäköisesti kuitenkin melko pieni.

## Lähteet

- Gilleland, E. ja Katz, R. W. (2016). extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. *Journal of Statistical Software*, 72(8), 1-39. doi:10.18637/jss.v072.i08
- Giorgi F, Jones C, Asrar G (2009) Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bull* 58(3):175–183
- Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S. *et al.* Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Reg Environ Change* **20**, 51 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>
- Kersalo, J. & Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2009:8. 185 s. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15734/2009nro%208.pdf?sequence=1>
- Luomaranta, A, Aalto, J, Jylhä, K. Snow cover trends in Finland over 1961–2014 based on gridded snow depth observations. *Int J Climatol.* 2019; 39: 3147– 3159. <https://doi.org/10.1002/joc.6007>
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H. M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. 2015. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-014-0992-2>
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T et al (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747–756
- Olsson, T., Luomaranta, A., Jylhä, K., Jeworrek, J., Perttula, T., Dieterich, C., Wu, L., and Rutgersson, A.: Sea-effect snowfall statistics along the Finnish coastline based on regional climate model data. Asr-2020-14, Special Issue: 19th EMS Annual Meeting: European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2019, submitted to review, 2020.

Ruosteenoja, K. ja Jylhä, K., 2022: Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations, *Geophysica* (2021), 56 (1), 39–69.

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Jylhä, K., Mäkelä, H., Lehtonen, I., Simola, H., Luomaranta, A., ja Weiher, S., 2013: Maailmanlaajuisiin CMIP3-malleihin perustuvia arvioita Suomen tulevasta ilmastosta, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2013: 4

van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. *et al.* The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* **109**, 5 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>