

Juuso Suomi

Kaupungin lämpötilojen ajallinen ja alueellinen muutos

Kaupungin lämpötilojen ajallinen ja alueellinen muutos

Juuso Suomi

Tästä on kyse

- Kaupungin lämpösaarekkeen ominaispiirteet vaihtelevat vuorokauden- ja vuodenajasta riippuen.
- Lämpösaarekkeen ajallinen ja alueellinen vaihtelu on jaettavissa säätilasta ja merijäätilanteesta johtuvaan epäsäännölliseen vaihteluun sekä ympäristön muuttumisesta johtuvaan trendinomaiseen kehitykseen.
- Kaupunki-ilmaston sisäinen vaihtelu ja muutosalttius tulisi huomioida käytännön kaupunkisuunnittelussa.

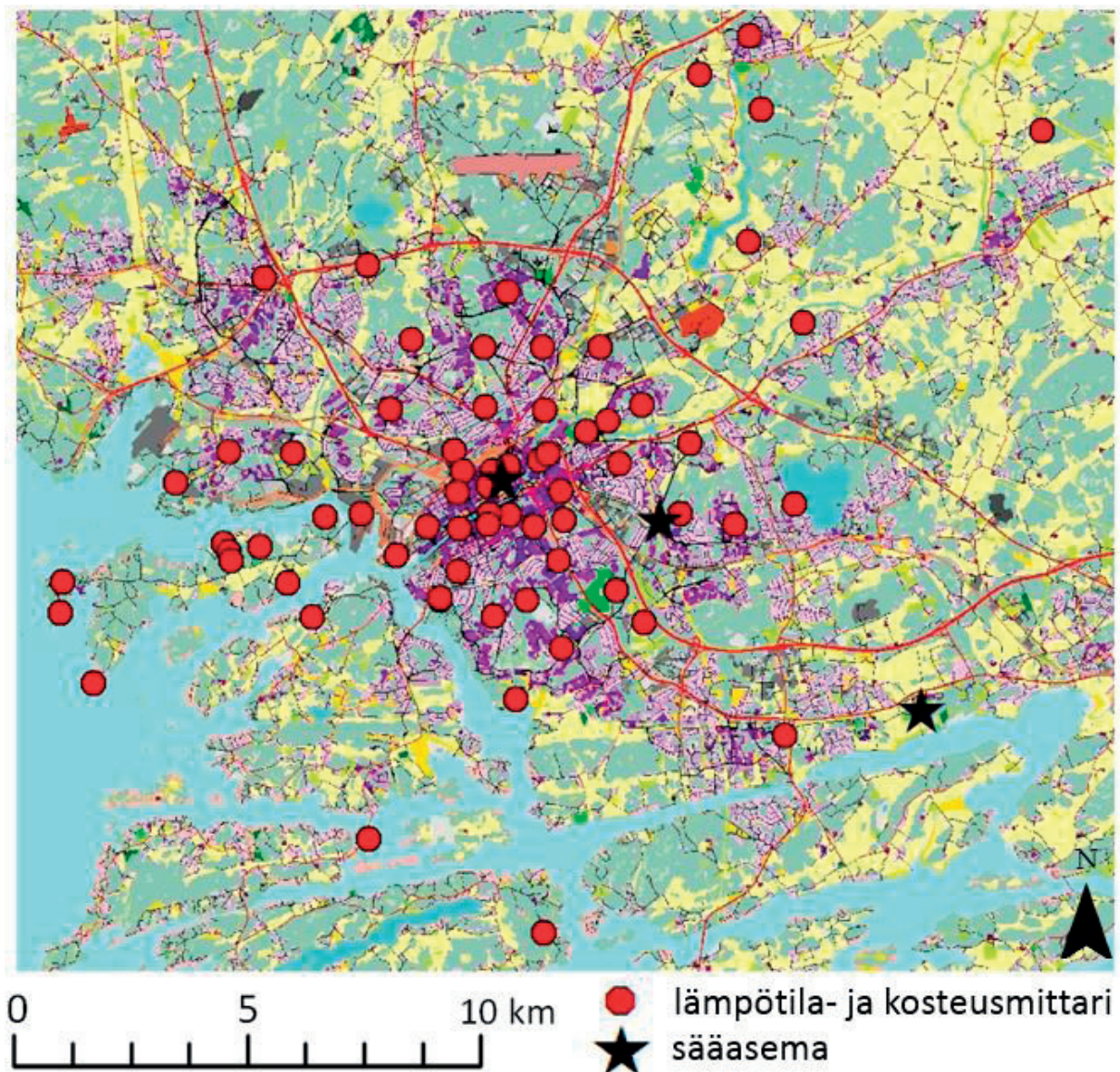
Johdanto

Kaupunkien ilmasto poikkeaa niitä ympäröivien maaseutumaisempien alueiden ilmastosta. Yksi kaupunki-ilmaston ilmenemismuodoista on ns. kaupungin lämpösaareke, jolla tarkoitetaan kaupungin lämpimyyttä verrattuna sitä ympäröiviin maaseutumaisempiin alueisiin. Keskeisimpiä syitä kaupungin lämpimyyteen ovat 1) auringonsäteilyn varastoituminen ja vapautuminen kaupungin rakenteista, 2) ihmistoiminnan aiheuttama hukkalämpö, ja 3) erot haihdunnassa kaupungin ja maaseudun välillä.¹⁻³

Kaupungin lämpösaareke on yleensä voimakkaimmillaan öisin, jolloin kaupungin rakenteet luovuttavat niihin päivällä varastoitunutta lämpöä, mikä hidastaa kaupunkialueiden viilenemistä. Harvaanasutuilla maaseutumaisemilla alueilla taas lämpöä varastoituu päivän aikana vähemmän, ja ne viilenevätkin selvästi kaupunkimaisia alueita nopeammin.⁴ Aamulla ja aamupäivällä kaupunki-alueet vastaavasti lämpenevät maaseutualueita hitaammin, minkä seurauksena kaupunki saattaa olla jonkin aikaa ympäröivää maaseutua viileämpi. Tällöin puhutaan kaupungin kylmäsaarekkeesta. Lämpösaarekkeen voimakkuuden vuorokausivaihtelu on voimakkaampaa ja säännöllisempää kesällä, jolloin auringonsäteily on keskeinen lämpösaarekkeeseen vaikuttava tekijä. Talvella lämpösaarekkeen syntyyn vaikuttaa pääasiassa ihmistoiminnan, kuten liikenteen ja rakennusten lämpövuotojen, aiheuttama hukkalämpö, jota syntyy tasaisemmin vuorokaudenajasta riippumatta. Lämpösaarekkeen vuorokausivaihtelu onkin talvella vähäisempää ja epäsäännöllisempää kuin kesällä, ja lämpösaareke vallitsee yleensä vuorokaudenajasta riippumatta.^{5,6}

Turun paikallisilmastoa on havainnoitu Turun yliopiston TURCLIM-kaupunki-ilmastotutkimusryhmässä vuodesta 2001 alkaen. TURCLIM-säähavaintoverkosto koostuu 75 Hobo Pro -merkkisestä tallentimesta, jotka mittaavat ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta kolmen metrin korkeudella puolen tunnin välein (kuvio 1). Havaintoverkostoa voidaan pitää alueelliselta kattavuudeltaan maailmanlaajuisestikin ainutlaatuisena. Yli 15 vuoden havaintohistoria alkaa mahdollistaa jo aiemmin tutkittujen lämpösaarekkeen ominaispiirteiden ja niihin vaikuttavien ympäristötekijöiden lisäksi myös kaupunki-ilmaston ajallisen muutoksen, ja siihen vaikuttavien

tekijöiden tarkastelun. Tässä tutkimuskatsauksessa tarkastellaan TURCLIM-aineiston pohjalta Turun seudun alueellisia lämpötilaeroja ja niissä havaittuja epäsäännöllisiä ja trendinomaisia vaihteluita ja muutoksia 15 vuoden (2002-2016) ajanjaksolla, sekä arvioidaan, miten muutokset suhteutuvat globaaliin ilmastomuutokseen. Tutkimustulosten soveltamismahdollisuudet kytkeytyvät Turun kaupungin vuoteen 2029 ulottuvan ilmastosuunnitelman toteuttamiseen käytännössä, laajentaen käsitystä ilmastomuutoksen hillinnän ja siihen sopeutumisen keinovalikoimasta.



Kuvio 1. TURCLIM-säähavaintoverkostoa Turun keskustassa ja sen lähiympäristössä.

Lämpösaarekkeen muutos ja keskeiset tutkimusmenetelmät

Lämpösaarekettä on tutkittu niin hetkittäisten tilanteiden kuin useiden vuosien ja jopa vuosikymmenten ajanjaksoilla.⁷⁻⁹ Lämpösaarekkeen ominaispiirteiden lisäksi on tarkasteltu lämpösaarekkeen muutosta.¹⁰⁻¹² Etenkin pitkän aikavälin tutkimuksissa haasteena on käytettävissä olevien havaintopisteiden määrä; useimmiten suurtenkin kaupunkien alueella tehdään luotettavia säämittauksia vain muutamassa paikassa, mikä hankaloittaa erityisesti lämpösaarekkeen alueellisten ominaispiirteiden ja niissä esimerkiksi kaupungin kasvun ja globaalin ilmastomuutoksen seurauksena ajan myötä tapahtuvien muutosten tutkimista. Tässä tutkimuksessa käytetty Turun lämpötila-aineisto on havaintopisteiden määrän ja alueellisen kattavuuden osalta ainutlaatuinen. Sen avulla selvitetään miten lämpösaarekkeen alueelliset ominaispiirteet vaihtelevat ja muuttuvat 15 vuoden ajanjaksolla, joka on pituudeltaan puolet ns. kansainvälisestä ilmastollisesta vertailujaksosta, jota käytetään yleisesti eri alueiden keskimääräisen ilmaston kuvaamisessa sekä ilmastomuutoksen etenemisen arvioinnin vertailukohtana. Kaupunki-ilmastoa ja ilmastomuutosta koskevat tutkimustulokset ovat kiinnostavia sekä Turun seudun toimijoille ja päätöksentekijöille että kansainväliselle tiedeyhteisölle.

Tutkimuksessa tarkasteltiin lämpötilojen epäsäännöllistä vaihtelua ja trendinomaista muutosta. Tarkastelu rajattiin havaintopisteisiin, joista oli käytettävissä katkoton havaintosarja joko koko tarkastelujakson tai kulloinkin tarkasteltavana olleen kalenterikuukauden osalta. Havaintopaikkojen määrä vaihteli mainittujen kriteerien pohjalta 25:n ja 42:n välillä. Keskeisenä numeerisena lämpötilojen epäsäännöllistä ja trendinomaista vaihtelua kuvaavana parametrina käytettiin havaintopisteiden keskinäiseen lämpimyyssjärjestykseen perustuvaa järjestyslukua. Epäsäännöllistä vaihtelua tarkasteltiin havaintopistekohtaisen, yksittäisille vuosille ja kuukausille erikseen määriteltävän lämpimimmän ja kylmimmän sijaluvun välisen erotuksen suuruudella. Erotus standardoitiin jakamalla se kulloinkin käytettävissä olevien havaintopisteiden lukumäärällä. Epäsäännöllistä vaihtelua tarkasteltiin lisäksi lämpimyyssjärjestyssijalukujen

sekä maankäyttöön, vesialueisiin ja korkeuseroihin liittyvien ympäristötekijöiden välisellä korrelaatioanalyysillä. Trendinomaista muutosta tarkasteltiin käyttämällä vertailukohtana havaintopisteverkoston muita havaintopisteitä: tavoitteena oli selvittää, ovatko jotkut alueet viilenneet tai lämmenneet suhteessa muihin alueisiin 15 vuoden (2002-2016) aikana. Muutosta arvioitiin sovittamalla kuukausi- ja havaintopistekohtaisesti lineaarinen regressiosuora pienimmän neliösumman menetelmällä havaintopisteiden lämpimyyssjärjestykseen perustuvaan 15 vuoden järjestyslukuaiakasrjaan.

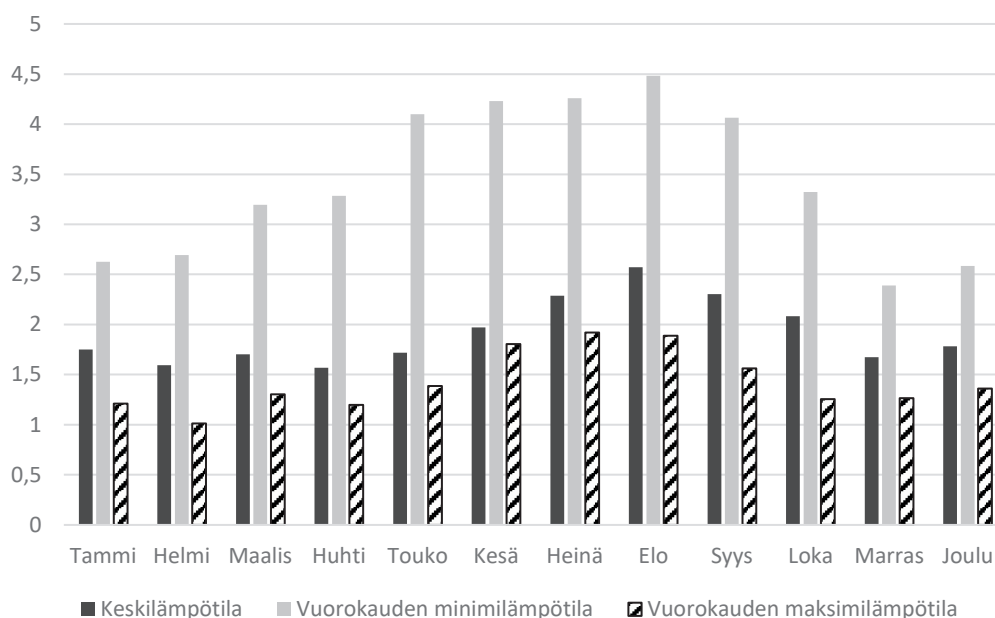
Lämpösaarekkeen voimakkuus (°C) voidaan laskea yksinkertaisimmillaan vähentämällä kaupunkialueella sijaitsevan havaintopisteen lämpötilasta ympäröivällä maaseudulla sijaitsevan havaintopisteen lämpötila.¹³ Ilmastomuutoksen vaikutuksesta lämpösaarekkeen voimakkuuteen vallitsee alan tieteellisessä kirjallisuudessa erilaisia näkemyksiä. Todennäköistä on, että talven lämpösaareke tulee ilmaston lämpenemisen, vähäisemmän lämmitystarpeen ja energiatehokkaamman rakentamisen myötä korkeilla leveysasteilla sijaitsevilla kaupungeissa keskimäärin heikkenemään, mikäli kaupungin ominaispiirteet kuten koko, asukastiheys ja maankäyttö säilyvät kutakuinkin ennallaan. Kesän lämpösaarekkeen on sitä vastoin ennustettu osassa tutkimuksista voimistuvan ja osassa heikkenevän.^{14,15} Vaikka kesän lämpösaareke ilmastomuutoksen myötä heikkenisikin, kohoavat lämpötilat kaupungeissa todennäköisesti siitä huolimatta – vaikkakin hieman maaseutumaisia alueita hitaammin. Koko TURCLIM-havaintoverkostossa tapahtuneiden muutosten lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin lämpösaarekkeen voimakkuuden kehitystä vertailemalla kaupungin keskustan ruutukaava-alueella ja sen ulkopuolella sijaitsevan havaintopaikan lämpötiloja vuosina 2002-2016.

Vuoden- ja vuorokauden-aikainen lämpötilojen vaihtelu

Lämpötilojen alueellinen vaihtelu on Turun alueella keskilämpötilojen ja vuorokauden minimilämpötilojen osalta suurimmillaan elokuussa, jolloin lämpötilaero lämpimimmän ja kylmimmän havaintopaikan välillä oli vuosina 2002-2016 vuorokauden minimilämpötilojen osalta 4,5 °C ja keskilämpötilojen osalta 2,6 °C. Vuorokauden mak-

similämpötilojen osalta alueelliset lämpötilaerot ovat suurimmillaan (1,9 °C) heinäkuussa (kuvio 2). Pienimmillään vaihtelu on keskilämpötilojen osalta huhtikuussa, vuorokauden minimilämpötilojen osalta marraskuussa ja vuorokauden maksimilämpötilojen osalta helmikuus-

sa. Alueelliset lämpötilaerot ovat kaikkina kalenterikuu-kausina suurimpia vuorokauden minimilämpötiloissa ja pienimpiä vuorokauden maksimilämpötiloissa, eli toisin sanoen lämpötilan alueellinen vaihtelu on suurempaa yöllä kuin päivällä.



Kuvio 2. Kuukausikohtainen keskimääräinen lämpötilaero (°C) lämpimimmän ja kylmimmän katkottoman havaintosarjan omaavan havaintopisteen (25 kpl) välillä 2002-2016.

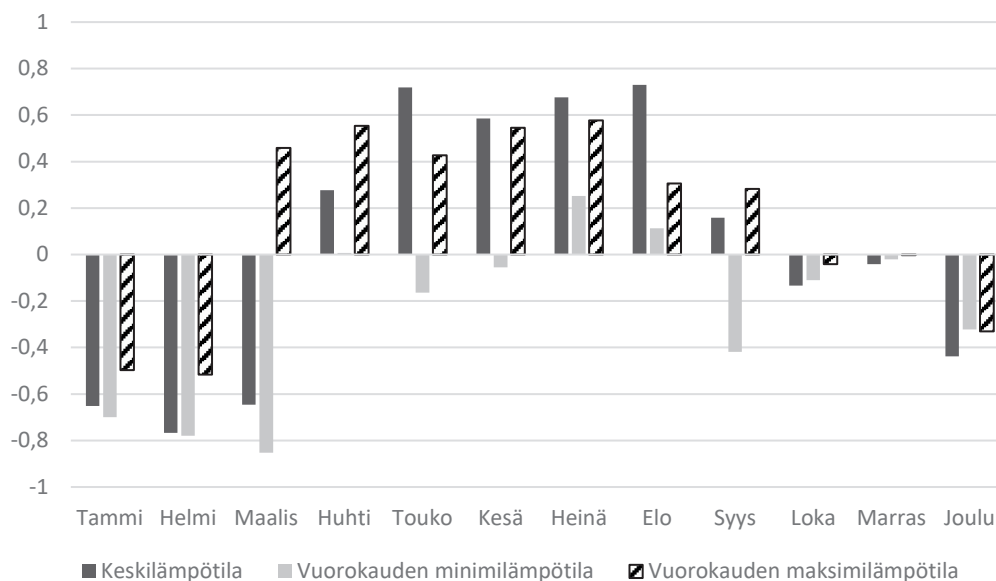
Suurimpien alueellisten lämpötilaerojen esiintyminen vuorokauden minimilämpötilojen ja keskilämpötilojen osalta elokuussa selittyy alueellisiin lämpötilaeroihin keskeisimmin vaikuttavien ympäristötekijöiden, eli maankäytön, vesialueiden ja korkeuserojen yhteisvaikutuksella. Auringonsäteily ja lämmön varastoituminen kaupungin rakenteisiin on vielä elokuussa melko voimakasta, mikä lisää kaupungin ja maaseudun välistä lämpötilaeroa etenkin öisin. Merivesi on yleensä lämpimimmillään heinä-elokuussa, mikä lisää osaltaan kaupungin keskusta-alueen ja sisämaassa sijaitsevien maaseutumaisten alueiden välistä lämpötilaeroa. Korkeuserojen vaikutus lämpötilaan näkyy Turussa selvimmin inversiotilanteissa, joissa lähinnä maanpintaa olevat ilmakehät ovat kaikkein kylmimpiä ja lämpötila kohoaa ylöspäin mentäessä. Tällöin alavat alueet saattavat olla useita asteita ympäristöään viileämpiä.^{7,11} Elokuussa yöt ovat jo selvästi pidempiä kuin kesäpäivän seisauksen aikaan, mikä edesauttaa ilmakehän alimpien kerrosten jäähtymistä ja inversioalttiutta etenkin maaseudulla,

jossa lämpöä ei ole varastoitunut maan pintakerrokseen samassa määrin kuin kaupungin keskustassa, jossa kaupungin rakenteista vapautuva lämpö estää osaltaan inversion muodostumista. Suurimpien lämpötilaerojen esiintyminen elokuussa selittyykin ympäristötekijöiden vaikutusten yhdistelmällä, joka kasvattaa erityisesti kaupungin keskustan ja alavien sisämaassa sijaitsevien maaseutumaisten alueiden välistä lämpötilaeroa.¹¹

Vuoden- ja vuorokaudenajan lisäksi alueelliset lämpötilaerot vaihtelevat säätilanteesta riippuen. Vuosien 2002-2016 yksittäisiä kuukausia tarkasteltaessa sään vaikutus näkyy myös Turussa, ja vaikutuksen ominaispiirteet ovat vuodenaikasidonnaisia. Talvella suurimmat alueelliset lämpötilaerot esiintyvät silloin, kun sää on keskimääräistä kylmempää. Kesällä taas suurimmat lämpötilaerot esiintyvät lämpötilan ollessa keskimääräistä korkeampi (kuvio 3). Ero selittyy pitkälti alueellisiin lämpötilaeroihin kyseisinä vuodenaikoina vaikuttavilla tekijöillä – kesällä auringonsäteilyllä ja talvella ihmistoiminnan aiheutta-

mallalla hukkalämmöllä. Kesällä, jolloin auringonsäteilyn määrä ylipäättäänkin on suurimmillaan, keskimääräistä lämpimämpään säätyyppiin liittyy usein vähäinen pilvisyys, minkä seurauksena lämpöä varastoituu kaupungin rakenteisiin enemmän. Talvella keskimääräistä kylmempi sää lisää rakennusten lämmitystarvetta, mikä lisää

myös lämmityksen aiheuttamaa hukkalämpöä, ja siten alueellisia lämpötilaeroja. Vaikutusta on niin rakennuskohtaisten kuin alueellistenkin lämmöntuotantoprosessien hukkalämmöllä sekä rakennusten rakenteiden läpi vuotavalla lämmöllä. Kun sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero kasvaa, myös hukkalämmön lämmitysvaikutus on suurempi.¹⁶⁻¹⁸

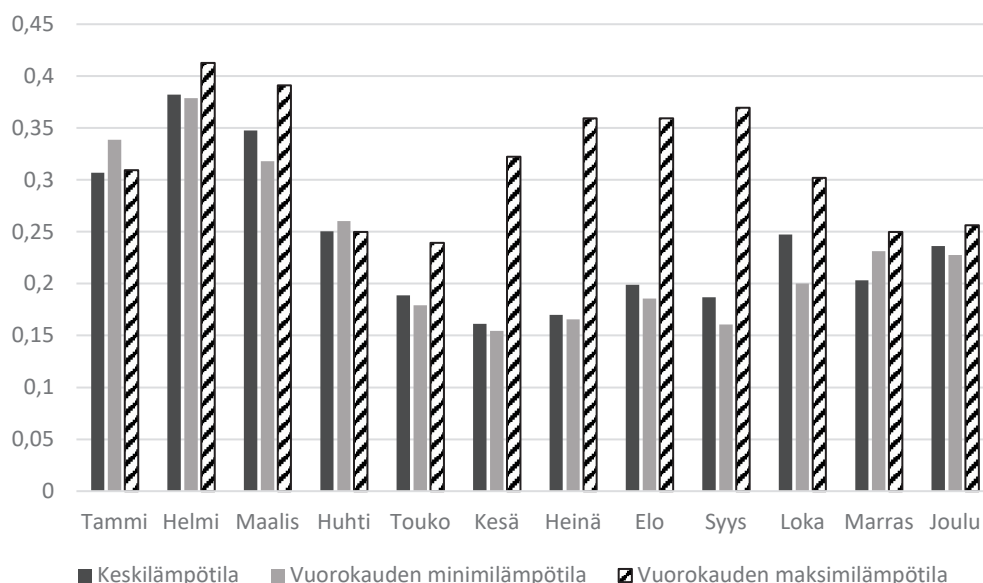


Kuvio 3. Lämpötilojen keskihajonnan ja lämpötilapoikkeaman (kuukauden keskilämpötilan poikkeama jakson 1981-2010 keskiarvosta) väliset kuukausikohtaiset korrelaatiokertoimet 2002-2016.

Havaintopisteiden lämpimyyssjärjestyksen vuodenaikainen vaihtelu

Keskilämpötilojen, vuorokauden minimilämpötilojen ja vuorokauden maksimilämpötilojen lämpimyyssjärjestyksen vaihtelu oli kaikki havaintopisteet huomioiden suurimmillaan helmikuussa (Kuvio 4). Pienintä lämpimyyssjärjestyksen vaihtelu oli keski- ja minimilämpötilojen osalta kesäkuussa ja maksimilämpötilojen osalta toukokuussa. Havaittu vuodenaikainen ero heijastelee loppu-talven merijäätilanteen keskeistä vaikutusta alueellisten lämpötilaerojen ominaispiirteisiin – erityisesti lämpimimpien ja kylmimpien alueiden sijaintien vuosien vä-

lisiin eroihin. Se, että vuorokauden maksimilämpötilojen osalta lämpimyyssjärjestyksen vaihtelu oli pienimmillään toukokuussa, selittyy myös osaltaan meren vaikutuksella; vuodesta riippumatta meriveden pintalämpötila on toukokuussa pääsääntöisesti vuorokauden maksimilämpötiloja alhaisempi, joten meri viilentää säännönmukaisesti rannikolla tai sen lähellä olevia alueita, eikä meren vaikutuksesta tapahtuvia lämpimyyssjärjestyssijalukujen vaihteluita juurikaan esiinny.¹¹



Kuvio 4. Havaintopaikkojen välisten lämpimyyssjestyksen kuukausikohtainen vaihtelu (korkein sijaluku-alhaisin sijaluku/käytettävissä olevien havaintopaikkojen määrä) 2002-2016.

Lämpimyyssjestyksen vaihtelun alueelliset piirteet

Keski- ja minimilämpötilojen osalta lämpimyyssijaluvun vaihtelu on valtaosana kuukausista suurinta Ruissalossa sijaitsevilla havaintopisteillä, mikä kertoo osaltaan merijäätälanteen keskeisestä vaikutuksesta lämpötilaerojen alueellisiin ominaispiirteisiin (Taulukko 1). Ainoastaan syksyllä vaihtelun luonne on satunnaisempaa. Vuorokauden maksimilämpötilojen osalta vaihtelu on talvisin suurinta Ruissalon havaintopisteillä, eli jäätälanteen vaikutus ulottuu myös päivälämpötiloihin. Keväisin maksimilämpötilojen lämpimyyssjestyksen vaihtelu on suurinta ympäristöään korkeammalla sijaitsevilla ha-

vaintopisteissä, mikä saattaa liittyä lumitilanteen vuositaisen vaihtelun vaikutuksella alueelliseen inversioherkkyyteen.^{7,19,20} Kesällä ja syksyllä maksimilämpötilojen lämpimyyssjestyksen vaihtelu on suurinta sisämaassa sijaitsevassa maaseutumaisessa Niuskalan havaintopisteessä, jossa muutos on luonteeltaan trendinomaista ja selitettävissä pitkälti havaintopisteen eteläpuolella sijaitsevan niityn metsittymisellä ja sitä seuranneella säteily- ja haihduntaolosuhteiden muutoksella, mikä on johtanut alueen päivälämpötilojen suhteelliseen viilenemiseen.

Kk/lämpötila	Keskilämpötila	Vuorokauden alin lämpötila	Vuorokauden alin lämpötila
Tammikuu	Ruissalo, Hiiriluoto, mäki	Ruissalo, leirintäalue	Ruissalo, Hiiriluoto, ranta
Helmikuu	Ruissalo, leirintäalue	Ruissalo, leirintäalue	Ruissalo, Kolkka
Maaliskuu	Ruissalo, Kolkka	Ruissalo, leirintäalue	Luolavuori
Huhtikuu	Ruissalo, Hiiriluoto, mäki	Ruissalo, leirintäalue	Luolavuori
Toukokuu	Ruissalo, Hiiriluoto, mäki	Ruissalo, leirintäalue	Luostarivuori
Kesäkuu	Pansio	Ruissalo, kansanpuisto	Niuskala
Heinäkuu	Rieskalähde, koulu	Ruissalo, kansanpuisto	Niuskala
Elokuu	Ruissalo, Hiiriluoto, mäki	Ruissalo, kansanpuisto	Niuskala
Syyskuu	Ruissalo, Hiiriluoto, mäki	Littoinen, Rauhaniemi	Niuskala
Lokakuu	Luostarivuori	Luolavuori	Niuskala
Marraskuu	Impivaara	Artukainen, Messukeskus	Impivaara
Joulukuu	Ruissalo, Hiiriluoto, mäki	Luolavuori	Impivaara

Taulukko 1. Havaintopisteet, joiden lämpimyyssijaluku vaihteli eniten (kylmin sijaluku - lämpimin sijaluku) vuosina 2002-2016.

Lämpimyyssjärjestyksen vaihtelu suhteessa ympäristötekijöihin

Tarkastelluista ympäristötekijöistä, joita olivat maan käyttö, korkeuserot ja vesialueiden läheisyys, vesialueiden vaikutus oli selvästi voimakkain, ja useana kuu-kautena tilastollisesti merkitsevä. Vesialueiden vaikutus havaintopistekohtaiseen lämpimyyssijaluvun vaihteluun ilmeni selvimmin helmi-maaliskuussa, jolloin merialueiden jääpeitteen laajuudessa ja paksuudessa oli tarkastelujakson aikana huomattavia vuosittaisia eroja. Kylmä alkutalvi edistää jäänmuodostusta, ja riittävän laaja ja paksu jääpeite estää tehokkaasti lämmön johtumista jääkannen läpi, minkä seurauksena rannikko-alueet ja sisäsaaristo muuttuvat ilmastollisesti selvästi mantereisempaan suuntaan. Esimerkiksi helmikuussa 2005, kun alkutalvi oli ollut lauha, Ruissalon leirintäalueen havaintopiste oli keskilämpötiloiltaan käytettävissä olleista 42 havaintopisteestä 5. lämpimin, kun taas helmikuussa 2003, jolloin edeltävät kuukaudet olivat olleet kylmiä, sama havaintopiste oli 37. lämpimin. Yksittäisten havaintopisteiden sijaluvun vaihtelun ohella meren vaikutus ilmeni myös havaintoaineistossa kokonaisuudessaan. Kuukausikeskilämpötilojen ja vuorokauden maksimilämpötilojen kuukausikeskiarvojen osalta korrelaatiokertoimet olivat havaintopistekohtaisen lämpimyyssijaluvun vaihteluvälin pituuden ja havaintopisteen ympäristössä olevan vesialueiden pinta-alan välillä korkeimmillaan helmikuussa, ja vuorokauden minimilämpötilojen osalta maaliskuussa (Taulukko 2). Korrelaatio oli kaikissa näissä tapauksissa tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.01$) ja positiivinen kertoen suurimmas-ta suhteellisen viileyden/lämpimyyden vaihtelusta vesi-alueiden läheisyydessä.

Kk/lämpötila	Keskil.	Vrk-min	Vrk-max
Tammikuu	0,402**	0,384*	0,372*
Helmikuu	0,581**	0,439**	0,574**
Maaliskuu	0,552**	0,602**	0,228
Huhtikuu	0,225	0,431**	-0,359*
Toukokuu	0,094	0,383*	-0,434**
Kesäkuu	0,450**	0,316*	-0,147
Heinäkuu	0,207	0,220	-0,159
Elokuu	0,360*	0,319*	-0,287
Syyskuu	0,437**	0,348*	-0,303
Lokakuu	0,296	0,084	0,09
Marraskuu	0,021	0,051	0,069
Joulukuu	0,195	0,123	0,047

** = korrelaatio on tilastollisesti merkitsevä tasolla $p < 0,01$

* = korrelaatio on tilastollisesti merkitsevä tasolla $p < 0,05$

Taulukko 2. Havaintopistekohtaisen lämpimyyssijaluvun vaihteluvälin pituuden ja havaintopisteen ympäristössä kahden kilometrin säteellä olevien vesialueiden pinta-alan väliset korrelaatiokertoimet.

Alueelliset viilenemis- ja lämpenemistrendit

Lämpimyyssjärjestykseen perustuvia viilenemis- ja lämpenemistrendejä oli havaittavissa kaikkina kalenterikuukausina. Harvinaisinta trendinomainen muutos oli talvella, jolloin vaihtelu oli ylipäättään aaltoilevampaa ja enemmän säätilan vaihtelusta johtuvaa kuin kesälä. Alueellisesti tarkasteltuna keskilämpötilojen osalta tilastollisesti merkitsevä suhteellinen lämpenemistrendi esiintyi useimmiten, kahdeksana kuukautena 12:sta, Kähärissä ja Ruissalon itärannikolla kansanpuiston koillispuolella sijaitsevassa havaintopisteessä, kun taas viilenemistrendi oli yleisin Mikaelinkirkon Puistokadun puoleisella pihalla sijaitsevassa havaintopisteessä. Vuorokauden minimilämpötilojen osalta lämpenemistrendi esiintyi keskilämpötilojen tapaan useimmin Kähärin havaintopisteessä, kun taas viilenemistrendi oli yleisin Saarnitien havaintopisteessä. Vuorokauden maksimilämpötilojen osalta lämpenemistrendi oli yleisin (7/12) Itsenäisyydenaukion havaintopisteessä, ja viilenemistrendi Niuskalassa (6/12). Kaikki lasketut lämpötilasuureet huomioiden lämpenemistrendi esiintyi useimmin Kähärissä, ja viilenemistrendi Mikaelinkirkon ja Rieskalähteen havaintopisteessä. (Taulukko 3.)

Paikka/lämpötila	Keskilämpötila		Vuorokauden alin		Vuorokauden ylin		Yhteensä	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Hautausmaa	1	1	0	0	0	2	1	3
Hiiriluoto, manner	0	4	1	1	0	2	1	7
Hiiriluoto, mäki	0	1	1	0	1	1	2	2
Hirvensalo	0	0	0	1	3	1	3	2
Impivaara	2	1	5	0	1	0	8	1
Itsenäisyydenaukio	3	0	1	0	7	0	11	0
Kauppatori	4	0	3	0	3	0	10	0
Kupittaa	2	0	2	0	2	1	6	1
Kähäri	8	0	4	0	6	0	18	0
Linna	0	0	0	0	0	0	0	0
Luostarivuori	1	0	0	0	3	0	4	0
Messukeskus	0	0	0	0	0	0	0	0
Metsämäki	1	0	2	0	3	3	6	3
Mikaelinkirkko	0	7	0	1	0	3	0	11
Niuskala	0	0	0	0	0	6	0	6
Pansio	0	0	1	1	0	1	1	2
Peltola, siirtolapuutarha	0	0	0	1	2	0	2	1
Perno	2	0	0	0	1	0	3	0
Pääskyvuori	1	0	0	1	6	1	7	2
Raunistula	0	0	0	0	0	3	0	3
Rieskalähde	0	5	0	1	0	5	0	11
Ruissalo, kansanpuisto	8	0	2	0	0	0	10	0
Runosmäki	0	3	0	3	0	2	0	8
Saarnitie	0	4	0	4	0	0	0	8
Vapaavarasto	0	0	0	0	2	0	2	0

+ = havaintopiste on lämmennyt muihin havaintopisteisiin nähden

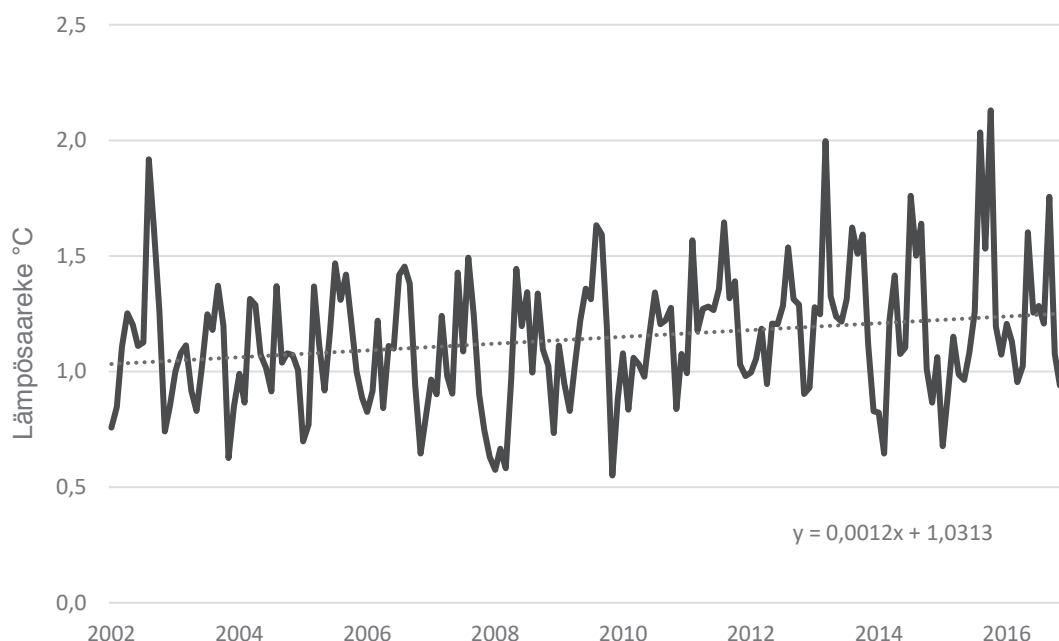
- = havaintopiste on viilentynyt muihin havaintopisteisiin verrattuna

Taulukko 3. Kuukausikohtaisten tilastollisesti merkitsevien ($p < 0.05$) suhteellisten lämpenemis- ja viilenemistrendien lukumäärät katkottomat havaintosarjat omaavien havaintopisteiden osalta ajanjaksolla 2002-2016.

Lämpösaarekkeen voimakkuuden ajallinen muutos

Lämpösaarekkeen voimakkuuden kehitystä 15 vuoden jaksolla tarkasteltiin vertaamalla lähiympäristöltään suhteellisen muuttumattomina pysyneiden Kauppatorilla ja Peltolan siirtolapuutarhassa sijaitsevien havaintopisteiden lämpötiloja. Kauppatori edustaa Turun keskustan ruutukaava-aluetta, ja Peltolan siirtolapuutarha esikaupunkialuetta. Tarkastelujaksona lämpösaarekkeen voimakkuudessa oli heikko nouseva trendi, noin 0,14 °C vuosikymmenessä (Kuvio 5). Havaittu lämpö-

saarekkeen voimistumiskehitys selittyy suurelta osin kaupungin kasvulla, mutta myös säiden luontaisella vaihtelulla sekä globaalilla ilmastomuutoksella saat-
taa olla vaikutusta asiaan. Havaintosarjojen pidetessä lämpösaarekkeen voimakkuuden kehitystä, siinä mahdollisesti ilmeneviä vuodenaikaisia eroja, kehitystä selittäviä ympäristötekijöitä sekä muutoksen yhteyksiä globaaliin ilmastomuutokseen voidaan arvioida luotettavammin.

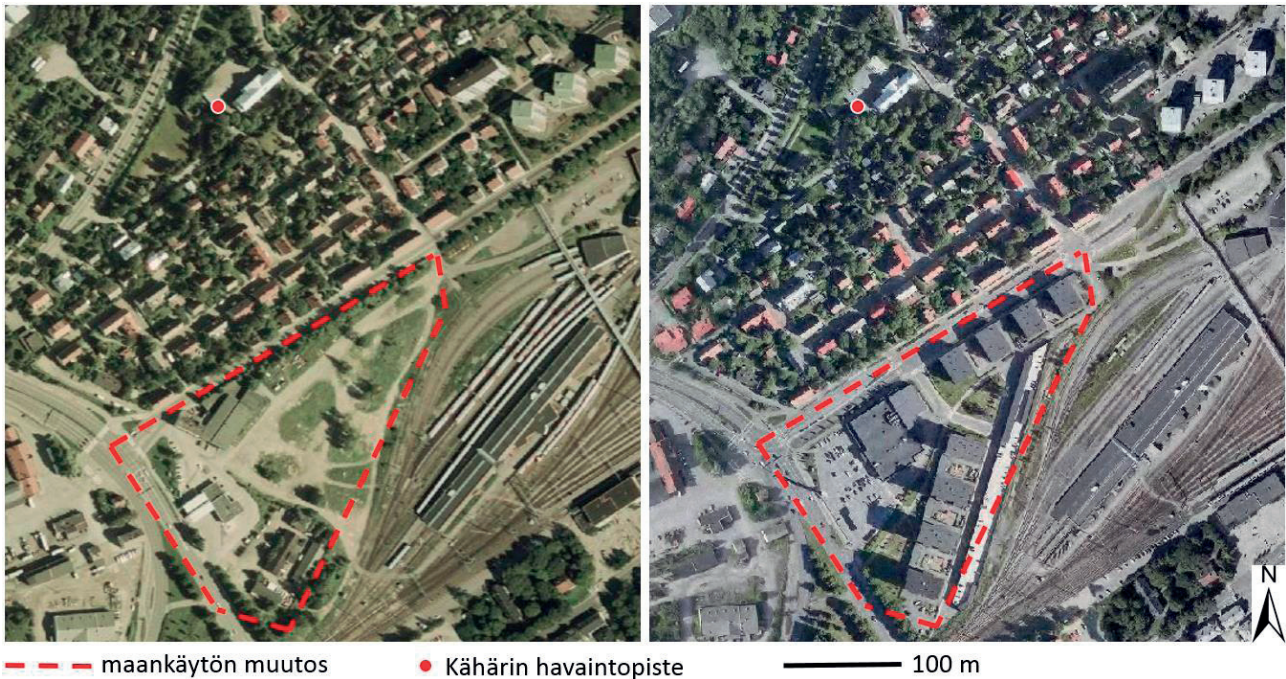


Kuvio 5. Lämpösaarekkeen (Kauppatori-Peltolan siirtolapuutarha) voimakkuuden (°C) kehitys 2002-2016.

Johtopäätökset

Tutkimus osoittaa, että Turun seudun alueellisissa lämpötilaeroissa on viidentoista vuoden tarkastelujaksolla havaittavissa havaintopisteestä ja vuodenajasta riippuen trendinomaista viilenemis- tai lämpenemiskehitystä, ja toisaalta satunnaisempaa, erityisesti vuosittaiseen säätilan vaihteluun liittyvää vaihtelua. Lämpenemistrendit ovat yleisimpiä keskustan ruutukaava-alueen läheisyydessä olevissa havaintopisteissä, joiden lähi-alueilla on rakennettu paljon tarkastelujakson aikana, kun taas havaintopisteille, joiden ympäristössä on havaittavissa viilenemistrendejä, on yhteistä niiden lähiympäristön pysyminen kutakuinkin muuttumattomana. Esimerkkinä lämpenemistrendin omaavista havaintopisteistä ja alueista on keskustan ruutukaava-alueen

luoteispuolella sijaitseva Kähärin kaupunginosa. Etenkin sen eteläkaakkoispuolelle rautatieaseman rata-
pihan ja Köydenpunojankadun väliselle alueelle noin 200-400 metrin etäisyydelle havaintopaikasta on rakennettu tarkastelujakson aikana runsaasti kerrostaloja (Kuvio 6). Kupittaaan puistoalueella sijaitseva havaintopiste on niin ikään lämmennyt tarkastelujakson aikana puiston Lemminkäisenkatuun ja Itäiseen pitkäkatuun rajautuvissa pohjoisosissa sekä Turku-Helsinki -rautatie- ja -moottoritien lähistöllä tapahtuneen täydennysrakentamisen seurauksena. Muutos ei ole kuitenkaan yhtä selvä kuin Kähärin alueella.



Kuvio 6. Maankäytön muutos Kähärin havaintopisteen eteläkaakkoispuolella. Muokattu Turun seudun karttapalvelun ilmakuvien (2002 ja 2013) pohjalta.

Esimerkkeinä viilenemistrendin omaavista havaintopaikoista ovat Mikaelinkirkon Puistokadun puoleinen piha, Runosmäen lähiön keskellä sijaitseva, vuoden 2014 joulukuussa suljetun koulun piha sekä pientaloalueen keskellä kulkevan Saarnitien vierus. Kyseisten paikkojen suhteellista viilenemistrendiä selittää pitkälti niiden lähiympäristön pysyminen kutakuinkin muuttumattomana. Kun monilla muilla alueilla on rakennettu, on niissä ihmistoiminnan aiheuttama hukkalämpö lisääntynyt ja rakennusmateriaalien lämmönvarauskapasiteetti kasvanut, mikä näkyy lämpenemiskehityksenä muuttumattomina pysyneisiin alueisiin verrattuna.^{1,2} Suhteellisen viilenemistrendin omaavien, lähiympäristöltään kutakuinkin muuttumattomina pysyneiden havaintopisteiden voidaankin katsoa edustavan hyvin alueen yleistä ilmaston kehitystä tarkastelujakson aikana.

Vuorokauden maksimilämpötilojen osalta kasvillisuuteen liittyvillä muutoksilla näyttäisi olevan keskeinen merkitys havaintopisteiden trendinomaisessa lämpötilakehityksessä. Tästä selvimpänä esimerkkinä on Jäkärlän eteläpuolella harvaanasutulla alueella sijaitseva

Niuskala, jossa havaintopisteen eteläpuolella oleva matalaa kasvillisuutta sisältänyt niitty on tarkastelujakson aikana vähitellen metsitty, mikä on johtanut puiden varjostusvaikutuksen lisääntyessä maanpinnan saaman auringonsäteilyn määrän vähenemiseen ja siten havaintopisteen suhteelliseen viilenemiseen. Ilmiö on havaittavissa huhtikuun ja lokakuun välisenä aikana, jolloin puusto on pääasiassa lehdessä ja auringonsäteilyn vaikutus päivälämpötiloihin suurimmillaan. Säteilyolojen muutosten lisäksi osa viilenemiskehityksestä saattaa selittyä haihtumisen lisääntymisellä, minkä seurauksena aiempaa suurempi osa lämmöstä on ns. sensiibelin lämmön sijasta latentissa muodossa, eli sitoutuneena vesihöyryyn.³

Tuloksia tulkittaessa on syytä huomioida, että osa havaituista viilenemis- ja/tai lämpenemistrendeistä saattaa selittyä joidenkin havaintopisteiden keskimääräistä suuremmalla, pitkälti ympäristötekijöillä selittyvällä sääherkkyydellä, minkä seurauksena tietyt kuukaudet ovat tarkasteltujen lämpötilasuureiden osalta kehittyneet joidenkin havaintopisteiden suhteellista lämpimyyttä tai viileyttä suosivaan suuntaan. Esimerkiksi

rannikon läheisyydessä sijaitsevat alueet saattavat muuttua talvisin vähitellen suhteellisesti lämpimämmiksi jääpeitteen kestoajan lyhentyessä sekä jään laajuuden ja paksuuden pienetessä.⁷ Jääpeitteen muutokset taas saattavat liittyä säätilan muutoksiin, kuten matalapainevoittoisten talvien yleistymiseen tai globaaliin ilmaston lämpenemiseen, tai niiden yhteisvaikutukseen. Havaintojen aikasarjojen pidentyessä edellä mainittujen tekijöiden vaikutusten suhteellista merkitystä pystytään arvioimaan yhä paremmin.

Alueiden käytön suunnittelua ajatellen ilmaston globaalilla tai paikallisilla muutoksilla saattaa olla vaikutusta esimerkiksi luonnonsuojelualueiden optimaaliseen sijaintiin. Suojelualueita perustetaan yleensä luontoarvoiltaan erityislaatuksille ja monimuotoisille alueille ajatuksella, että alue pysyy suojeltuna pidemmän aikaa. Ilmaston muuttuessa suojeltavien luontoarvojen kannalta olennaisten eliölajien esiintymisalueet saattavat kuitenkin muuttua. Ilmastomuutoksen aiheuttamien muutosten lisäksi luonnonsuojelusuunnitelmissa olisikin hyvä huomioida myös paikallisilmastollisten tekijöiden aiheuttamien muutosten todennäköisyys ja niiden oletetut biogeografiset vaikutukset.^{22,23} Esimerkiksi suurelta osin luonnontilaisessa Turun Ruissalossa talvet saattavat ilmastomuutoksen ja meren jääpeitteen vähenemisen yhteisvaikutuksesta lämmitä sisämaassa sijaitsevia alueita nopeammin, minkä seurauksena alueen ekologiin riskeihin on perusteltua kiinnittää tavallista enemmän huomiota.

Kansainvälisen tieteellisen kaupunki-ilmastotiedon karttumista ajatellen tutkimus on osoittanut, että jo hyvin dokumentoitujen vuoden- ja vuorokaudenaikaisten sekä säätilaan liittyvien vaihtelujen lisäksi kaupunkien paikallisilmastossa saattaa tapahtua 15 vuoden ajanjaksona myös trendinomaista muutosta. Osa muutoksesta on selitettävissä kaupungin kasvulla, kun taas osa muutoksesta johtuu todennäköisesti sekä globaalista ilmastomuutoksesta että suursäätilan vuositaisesta vaihtelusta, ja niiden paikallisilmastollisesti epäyhtenevistä vaikutuksista. Ilmastomuutokseen liittyvissä tutkimusasetelmissa olisikin tulevaisuudessa suositeltavaa huomioida riittävästi myös ilmastomuutoksen paikallisilmastollinen ulottuvuus.

Tulosten soveltamis-mahdollisuudet

Tutkimustulokset puoltavat paikallisilmaston ja sen sisäisen vaihtelun integroimista enenevässä määrin osaksi käytännön kaupunkisuunnittelua. Esimerkiksi kaupungin toimintojen sijainnin suunnittelussa sairaanhoito- ja vanhuspalvelujen osalta on hyvä pyrkiä välttämään kaikkein lämpimimpiä alueita sekä alueita, joissa lämpenemiskehitys on ollut lähialueita nopeampaa. Näin voidaan vähentää ilmastomuutoksen myötä yleistyvien kesäisten hellejaksojen aiheuttamia terveysriskejä. Samalla rakennusten jäähdytystarve vähenee, mikä vähentää osaltaan kasvihuonekaasupäästöjä ja hillitsee näin ilmastomuutosta. Kaavoitusratkaisujen ohella hellejaksojen aiheuttamia alueellisia terveysriskejä voidaan pyrkiä vähentämään lämpösaarekelta heikentävällä viheraluesuunnittelulla. Talviurheiluun liittyviä toimintoja taas on tarkoituksenmukaista suunnitella keskimääräistä kylmemmille alueille tai alueille, jotka ovat lähialueisiin verrattuna viilenneet.

Sairaanhoito- ja vanhuspalveluja koskevissa kaavoitusratkaisuissa kannattaa kesäisiä terveysriskejä lisäävien lämpimimpien alueiden lisäksi pyrkiä välttämään alueita, joissa on talvisin odotettavissa tulevaisuudessa sellaisia sulamis-jäätymis-syklin muutoksia, jotka lisäävät liukkaudentorjunnan kannalta haasteellisten jalankulkuolosuhteiden ja liukastumistapaturmien todennäköisyyttä, ja hankaloittavat siten ilmastomuutokseen sopeutumista. Ilmastomuutoksen edetessä talvikuukausien keskimääräiset päivälämpötilat kohoavat Turun alueella vähitellen 0 °C:n yläpuolelle. Vuorokauden keskimääräiset alimmat lämpötilat pysyvät kuitenkin vielä pitkään 0 °C:n alapuolella. Muutoksen seurauksena liukkaudentorjunnan kannalta haastavat olosuhteet, joissa lämpötila vaihtelee lyhyessä ajassa useasti suojan ja pakkasen välillä, tulevat tulevaisuudessa lisääntymään. Muutoksessa on kuitenkin alueellisia eroja, jotka on hyvä ottaa liikennesuunnittelussa ja tienpidossa huomioon.

Kaupungin lämpösaareketta voidaan pitää korkeilla leveysasteilla talvisin sikäli myönteisenä ilmiönä, että

se vähentää kaupunkialueiden lämmitystarvetta. Energiatehokkuutta ja ilmastonmuutoksen hillintää ajatellen kannattaakin tavoitella tiiviistä kaupunkirakennetta. Suuri rakennustiheys saattaa kuitenkin talven lämmityssäästöjen vastapainona lisätä kesäisten hellejaksojen aiheuttamia terveysriskejä. Ilmasto- ja pohjautuvassa kaupunkisuunnittelussa onkin perusteltua arvioida erilaisten ratkaisujen vaikutusta talven ja kesän osalta erikseen. Usein saattaa olla tarkoituksenmukaista tehdä kompromisseja tilanteissa, joissa suunnitteluratkaisun odotettu vaikutus olisi kesäolosuhteita ajatellen myönteinen, mutta talviolosuhteita ajatellen kielteinen, tai päinvastoin.

Edellä mainituilla tutkimustuloksiin liittyvillä sovel-lusmahdollisuuksilla on monia yhtymäkohtia Turun kaupungin vuoteen 2029 ulottuvaan ilmastosuunnitelmaan. Tutkimuksen aikana onkin tehty yhteistyötä kaupungin kanssa ja tuloksia on tarkoitus hyödyntää suunnitelman käytännön toteutuksessa niin ilmastonmuutoksen alueellisesti erilaisten ilmenemismuotojen huomioimisen, ilmastonmuutoksen hillinnän kuin ilmastonmuutokseen sopeutumisenkin osalta. Kuten tutkimus osoittaa, kaupungin ilmastolliset ominaispiirteet saattavat ajan myötä muuttua, minkä suunnitelma pyrkii ottamaan huomioon.

Lähdeviitteet

- 1 Landsberg, H. E. (1981). *The Urban Climate*. Academic Press, London.
- 2 Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates*, second ed. Routledge, London.
- 3 Erell, E., Pearlmutter, D. & Williamson, T. (2011). *Urban Microclimate. Designing the Spaces between Buildings*. Earthscan, London.
- 4 Oke, T. R. & Maxwell G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment* 9: 191–200.
- 5 Atkinson, B. W. (1985). *The urban atmosphere*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 6 Steinecke, K. (1999). Urban climatological studies in Reykjavik subarctic environment, Iceland. *Atmospheric Environment* 33: 4157–4162.
- 7 Hjort, J., Suomi, J. & Käyhkö J. (2016). Extreme urban–rural temperatures in the coastal city of Turku, Finland: Quantification and visualization based on a generalized additive model. *Science of the Total Environment* 569–570: 507–517.
- 8 Sachindra, D. A., Ng, A. W. M., Muthukumaran, S. & Perera, B. J. C. (2016). Impact of climate change on urban heat island effect and extreme temperatures: a case-study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 142: 172–186.
- 9 Hardin, A. W., Liu, Y., Cao, G. & Vanos, J.K. (2018). Urban heat island intensity and spatial variability by synoptic weather type in the northeast U.S. *Urban Climate* 24: 747–762.
- 10 Magee N., Curtis J. & Wendler G. (1999). The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and applied climatology* 64: 39–47.
- 11 Suomi, J. & Käyhkö, J. (2012). The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku. SW Finland. *International Journal of Climatology* 32: 451–463.
- 12 Suomi, J. (2018). Extreme temperature differences in the city of Lahti, southern Finland: Intensity, seasonality and environmental drivers. *Weather and Climate Extremes* 19: 20–28.
- 13 Emmanuel, R. & Krüger, E. (2012). Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment* 53: 137–149.
- 14 Wilby, R. L. (2007). A Review of Climate Change Impacts on the Built Environment. *Built Environment* 33(1): 31–45.
- 15 Oleson, K. W., Bonan, G. B., Feddema, J. & Jackson, T. (2011). An examination of urban heat island characteristics in a global climate model. *International Journal of Climatology* 31: 1848–1865.
- 16 Unger, J. (1996). Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* 54: 147–151.
- 17 Morris C.J.G. & Simmonds I. (2000). Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne. Australia. *International Journal of Climatology* 20: 1931–1954.
- 18 Hinkel K.M., Nelson F.E., Klene A.E. & Bell J.H. (2003). The urban heat island in winter at Barrow, Alaska. *International Journal of Climatology* 23: 1889–1905.
- 19 Overland, E.O. & Guest, P.S. (1991). The Arctic snow and air temperature budget over sea ice during winter. *Journal of Geophysical Research* 96 (C3): 4651–4662.
- 20 Pavelsky, T.M., Boé, J., Hall, A. & Fetzer, E.J. (2011). Atmospheric inversion strength over polar oceans in winter regulated by sea ice. *Climate Dynamics* 36 (5): 945–955.
- 21 Väyrynen, R., Suomi, J. & Käyhkö, J. (2017). Fine-scale analysis of sea effect on coastal air temperatures at different time scales. *Boreal Environment Research* 22: 369–383.
- 22 Dockerty, T., Lovett, A. & Watkinson, A. (2003). Climate change and nature reserves: examining the potential impacts, with examples from Great Britain. *Global Environmental Change* 13: 125–135.
- 23 Liang, J., Xing, W., Guangming, Z., Li, X., Peng, Y., Li, X., Gao, X. & He, X. (2018). Where will threatened migratory birds go under climate change? Implications for China's national nature reserves. *Science of the Total Environment* 645: 1040–1047.

Tutkimuskatsauksia on Turun kaupunkitutkimusohjelman julkaisusarja. Siinä julkaistaan ytimekkäitä katsauksia kaupunkitutkimuksen ja -kehittämisen ajankohtaisista aiheista. Kirjoittajat ovat tutkijoita. Esitetyt väitteet eivät välttämättä vastaa kaupungin virallista näkemystä.

FT, KTM **Juuso Suomi** toimii yliopisto-opettajana Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksella. Suomi tutkii kaupungin lämpösaarekkeen ajallista ja alueellista vaihtelua paikkatietoaineistojen ja -menetelmien avulla. Suomi sai Turun kaupunkitutkimusohjelman tutkijastipendin vuonna 2016.
