



Ilmastonkestävä **kaupunki**

Kaupungin lämpösaarekkeen ominaispiirteitä

Sisältö

Mikä on kaupungin lämpösaareke?	2
Säätila ja kaupungin lämpösaareke	3
Tuulen synty	3
Geostrofinen tuuli	3
Kaupungin lämpösaarekkeen ja tuulen voimakkuuden välinen yhteys	3
Lämpösaareke ja vuodenaajat	4
Lämpösaareke ja kaupungin maantieteellinen sijainti	5
Lämpösaareke on voimakkaampi korkeilla leveysasteilla sijaitsevilla kaupungeilla	5
Topografia vaikuttaa lämpötiloihin paikallisesti	5
Vesistöt lauhduttavat ja viilentävät	6
Lämpösaareke on voimakkaampi suurissa kaupungeissa	6
Lämpösaareke ja ilmastonmuutos	8
Kirjallisuutta	9

Mikä on kaupungin lämpösaareke?

Kaupungin lämpösaarekkeella tarkoitetaan kaupungin suhteellista lämpimyyttä verrattuna ympäröiviin maaseutumaisiin alueisiin. Keskeisimmät lämpösaarekkeen syntyyn vaikuttavat tekijät ovat päiväsaikaan kaupungin rakennuksiin ja pääosin asfaltilla päällystettyihin pintoihin varastoituneen auringon säteilyenergian vapautuminen yöaikaan. Korkeat rakennukset lisäksi aiheuttavat sen, että osa lämmöstä jää vangiksi niiden välisiin katukuiluihin. Ihmistoiminnan aiheuttama hukkalämmöllä ja liikenteellä on niin ikään keskeinen merkitys lämpösaarekkeen aiheuttajana etenkin talvisaikaan. Vähäinen kasvipeitteisyys kaupungeissa lisäksi vähentää haihdunnan määrää, jolloin haihdunnan ilmaa viilentävä vaikutus jää kaupungeissa vähäisemmäksi kuin niiden ulkopuolella.

Edellä mainittujen tekijöiden ohella myös vuodenaajat, kaupungin maantieteellinen sijainti ja kaupunkirakenne vaikuttavat lämpösaarekkeen ominaispiirteisiin. Lisäksi monet tekijät ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Tämän tekstin tavoitteena on kaupungin lämpösaarekeilmiöön liittyvän lisätiedon välittäminen. Teksti on osa ILKKA-hankkeen suunnitteluopasta.

TEKIJÄT

Achim Drebs

Ilmatieteen laitos

Juuso Suomi, Risto Väyrynen, Ilkka Kaate

Turun yliopisto

Säätila ja kaupungin lämpösaareke

Tuulen synty

Tuuli syntyy lämpötilaerojen aiheuttamasta ilmanpaineen eroista ja ilmakehän pyrkimyksestä tasoittaa niitä. Tuuli puhaltaa korkeammasta ilmanpaineesta matalaan. Tuulen mukana kulkevat myös suursään ilmamassat. Niiden pääryhmät ovat arktiset, polaariset, keskileveysasteiden ja trooppiset ilmamassat. Ilmamassat voidaan jakaa myös kahteen alaryhmään: merellisiin ja mantereisiin. Meidän säähämme vaikuttavat yleensä arktiset ja keskileveysasteiden ilmamassat.

Maanpinnan lähellä pinnanmuodot ja topografia jarruttavat tuulta ja muodostavat omia tuulijärjestelmiään, kuten meri-maatuulen tai vuoristo-laaksotuulen. Tuulen nopeutta ja suuntaa mitataan tavallisesti 10 metrin korkeudessa lähiesteiden yläpuolella. Koska tuulen mittaaminen on haastavaa, voidaan tuulen voimakkuutta ja sen suuntaa arvioida myös ilmanpaineen avulla. Ilmanpaineesta on olemassa luotettavia mittauksia jo yli sadan vuoden ajalta, jolloin myös menneitä tuuliolosuhteita voidaan arvioida. Kun kahden havaintopisteiden välinen ilmanpaine-ero tunnetaan, voidaan laskea niiden pisteiden keskivaiheella olevan tuulen nopeus. Geostrofisen tuulen kolmio syntyy, kun otetaan laskuihin mukaan vielä kolmannen havaintopisteen ilmanpainehavainnot; näin voidaan laskea kolmion keskipisteeseen nopeuden lisäksi myös tuulen suunta.

Geostrofisen tuuli

Geostrofisen tuuli on laskennallinen, teoreettinen tuuli. Se on johdettu vapaassa ilmakehässä muutama kilometri maanpinnan yläpuolella puhaltavasta tuulesta. Koska geostrofisen tuuli on vapaan ilmakehän tuuli, sen nopeus on kertaluokkaa suurempi kuin maanpintatuulen. Geostrofisen tuulen ja maanpintatuulen yhteydessä valitsee suoranainen riippuvuus. Kun geostrofisen tuuli puhaltaa kovaa, yleensä myös maanpinnalla tuulee kovaa. Sama koskee myös tuulen suuntaa. Pohjoinen geostrofisen tuuli synnyttää myös pohjoisista suunnista puhaltavan maanpintatuulen. Maanpinnan lähellä puhaltava pohjoistuuli ei välttämättä kuitenkaan ole peräisin suoraan polaariselta alueelta, koska se voi olla sääjärjestelmän kääntämänä peräsin alun perin sekä lännestä että idästä.

Geostrofisen tuulen mallia voidaan käyttää myös maanpinnan läheisen tuulen laskemiseen, kun huomioidaan, että maanpinnan lähellä maapallon pohjoispuoliskolla tuuli kääntyy aina vastapäivään ja tuulen nopeus on huomattavasti pienempi kuin vapaassa ilmakehässä. Silloin käytetään sääasemien ilmanpaineen havaintoja tuulen nopeuden ja suunnan laskemiseen.

Kaupungin lämpösaarekkeen ja tuulen voimakkuuden välinen yhteys

Lämpösaareke on yleensä voimakkaimmillaan pilvettömänä heikkotuulisena aamuyönä. Silloin lämpötilaero tiheään rakennetun ydinkeskustan ja sitä ympäröivän harvemman asutuksen alueen välillä voi nousta jopa 10 celsiusasteeseen. Ilmiö voi esiintyä kaikkina vuodenaikoina. Suuri lämpötilaero voi syntyä eri paikoissa, mutta useimmiten kylmin keskustaa ympäröivästä alueista löytyy tuulensuojaiselta alueelta joko kaupungista tai maaseudulta. Kaupungeissa tällaisia heikkotuulisia paikkoja on erityisesti niillä alueilla, joilla kaupungin rosoisuus edelleen hidastaa tuulen nopeutta. Tärkeää on huomata, että usein paikallisten tuulien, kuten maa-merituulen, voimakkuus voi olla suurempi kuin silloisen säätyypin perustuulen.

Vaikka useimmiten tuuli viilentää ja puhdistaa, on lämpösaarekeilmiön kannalta huomioitava ilmamassan alkuperä: ilmamassa voi olla saapuessaan lämpimämpi kuin paikalla oleva ilmamassa, jolloin viilennystä ei tapahdu. Sama koskee myös epäpuhtauksia, jos alueelle saapuu huomattavasti epäpuhtaampaa ilmaa esimerkiksi naapurimaiden metsäpaloalueilta, ilmansaasteiden määrä voi jopa kasvaa. Myös ilmamassojen kosteudella on merkitystä, sillä kuivempi ilma voi jäähtyä enemmän kuin kostea. Myös tämä vaikuttaa kaupungin lämpösaarekkeen muodostumiseen.

Lämpösaareke ja vuodenaajat

Suomessa on neljä vuodenaikaa. Etelä-Suomessa kesä on pisin vuodenaika (pituus Etelä-Suomessa noin 120 vuorokautta), kun taas Pohjois-Suomessa talvi on vuodenaajoista pisin (Pohjois-Suomessa keskimäärin 180 vuorokautta). Kevät ja syksy ovat koko Suomessa miltei yhtä pitkiä, kevään pituus on keskimäärin 54 vuorokautta ja syksyn 60 vuorokautta. Lämpösaarekeilmiö voi esiintyä kaikkina vuodenaikoina, jolloin esiintyy heikkotuulisia ja vähäpilvisiä säätyyppejä. Lämpösaarekeilmiön vuodenaikaisvaikutus voimistuu tai heikennee lisäksi myös kaupungin sijainnin ja topografian takia.

Yleisesti voidaan sanoa, että talvinen lämpösaareke aiheuttaa enemmän myönteisiä asioita esimerkiksi yleisen lämmitystarpeen vähenemisen ja liikenneväylien ylläpitokustannusten pienemisen muodossa. Haittavaikutuksista voidaan mainita lisääntyvä nollalämpötilan ylittäminen ja alittaminen, jolloin sulamis- ja jäätymisprosessit lisäävät ongelmia esimerkiksi vesiputkistoissa ja tekevät teiden kunnossapidosta vaikeampaa.

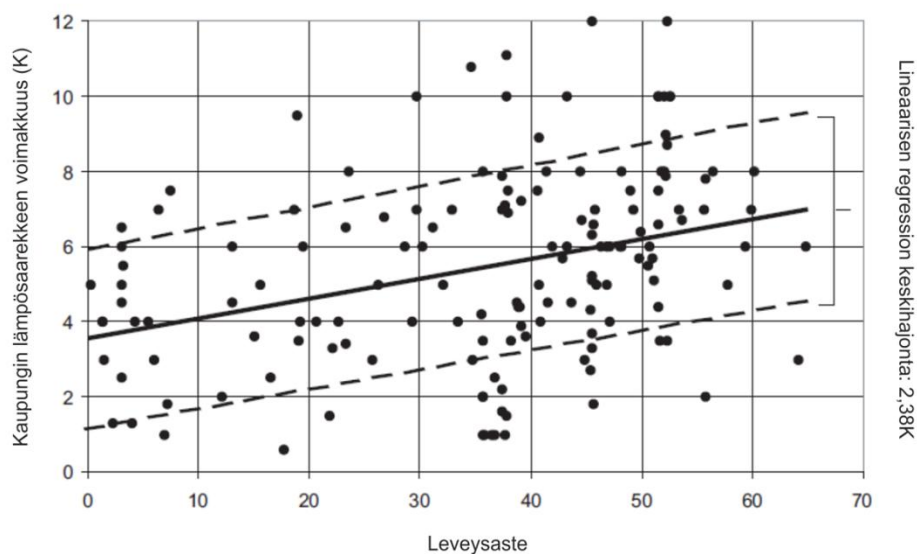
Keväisen lämpösaarekkeen pääpiirre on kasvukauden alkaminen kaupungissa aikaisemmin kuin niitä ympäröivällä alueella. Suotuisissa paikoissa erot voivat olla suuria. Myös topografian vaikutus näkyy, kun etelän sektorille viettävillä rinteillä lämpötilat nousevat suuremman auringonsäteilyn määrän ansiosta korkeiksi. Koska lämpösaareke on pääsääntöisesti öiseen aikaan esiintyvä ilmiö, on lounaisille ja läntisille rinteille osuvalla auringonsäteilyllä suurempi merkitys kuin itäisille ja kaakkoisille rinteille osuvalla säteilyllä. Syksyinen lämpösaareke pidentää kasvukautta kaupungeissa, jolloin esimerkiksi puistojen ylläpitoaika pitenee.

Kesäinen lämpösaareke on yleensä kaikkea muuta kuin mukava. Pitkien päivien ansiosta aurinko voi paistaa pilvettömiltä taivaalta kolmelta ilmansuunnalta. Auringon säteilyenergia siirtyy ja varastoituu tehokasti rakennuksiin ja erilaisiin pintoihin. Rakennusten sisälämpötila kohoaa ja se saattaa myös pysyä pitkään niin korkeana, että erityisesti riskiryhmillä esiintyy lämpöstressin oireita. Tilanne voi lisäksi jatkua pitkäänkin sen jälkeen, kun varsinainen ääriämpösaarekeilmiö on jo ohi. Kaupungin lämpösaarekkeen vuoksi etenkin ilta- ja yölämpötilat ovat kaupungeissa usein korkeita kesäisten hellekausien aikana. Tämä vaikeuttaa asuntojen tuuletusta, mikä edelleen lisää monien asukkaiden lämpöstressin määrää ja vaikeuttaa nukkumista öisin.

Lämpösaareke ja kaupungin maantieteellinen sijainti

Lämpösaareke on voimakkaampi korkeilla leveysasteilla sijaitsevilla kaupungeilla

Useiden eri kaupunkien lämpösaarekkeita vertailemalla ja muiden tekijöiden vaikutuksia analysoimalla on havaittu, että lämpösaareke on keskimäärin sitä voimakkaampi, mitä korkeammalla leveysasteella kaupunki sijaitsee (kuva 1). On toisaalta myös huomioitava, että riippuvuus on ainoastaan suuntaa-antava. Kaupunkikohtaiset erot ovat yleisiä ja samoilla leveysasteilla sijaitsevien kaupunkien lämpösaarekkeet voivat poiketa toisistaan useilla asteilla.



Kuva 1. Lämpösaarekkeen maksimivoimakkuuden ja leveysasteen välillä havaittu yhteys (Wienert and Kuttler, 2005).

Topografia vaikuttaa lämpötiloihin paikallisesti

Suomessa topografian vaikutus lämpösaarekilmiöön on suuressa mittakaavassa vähäistä, koska korkeuserot ja maastomuodot eivät ole kovin merkittäviä. Toisaalta topografian merkitys voi silti olla paikallisesti suuri. Näin käy etenkin silloin, jos kaupungista tai sen lähiympäristöstä löytyy sellaisia korkeuseroja, jotka edesauttavat paikallisen ns. kylmän ilman järven muodostumista. Tällöin lämpötilaero voi kylmän ilman järven ja muun ympäristön välillä kasvaa hyvinkin suureksi. Kylmän ilman järviä muodostuu kaikkina vuodenaikoina, kun kylmin ja raskain ilma kasautuu maaston painanteisiin. Maanpinnan muodoilla on vaikutusta myös ilmanlaatuun. Etenkin talvella ilmanlaatuongelmat voivat korostua, jos kaupunki sijaitsee tuulensuojaisessa laaksossa. Toisaalta kaupunkien ilmalaatuongelmat ovat vähäisempiä, jos topografia ei erityisemmin estä kaupungin halki puhaltavien ja ilmaa puhdistavien tuulten kulkua.

Vesistöt lauhduttavat ja viilentävät

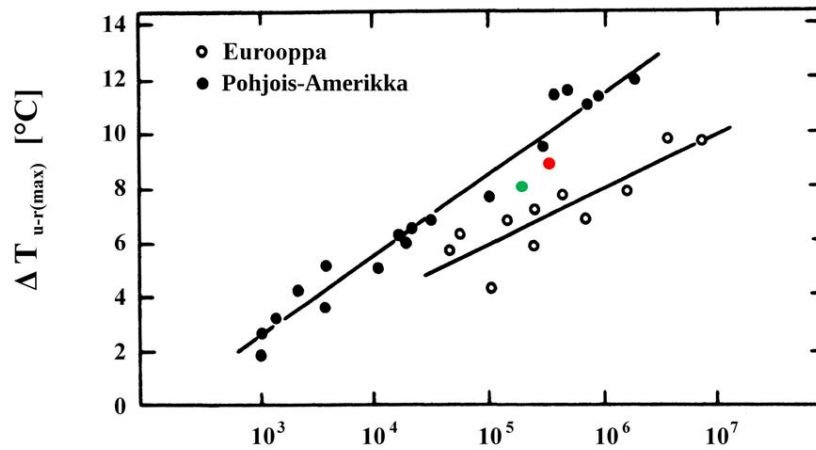
Vesialueet, etenkin meri ja suuret järvet voivat rannikkokaupungeissa joko voimistaa tai heikentää lämpösaarekettä. Esimerkiksi syksyllä, kun vesi on suhteellisen lämmintä, rantaviivan tuntumassa olevan kaupungin lämpösaareke saattaa olla voimakkaampi kuin muina vuodenaikoina. Karkeasti voidaan todeta, että kesäisin veden läheisyys yleensä viilentää etenkin päivittäisiä maksimilämpötiloja. Sen sijaan syksyllä ja alkutalvella meren läheisyys nostaa minimilämpötiloja. Talvella, kun vesistöt ovat jäätyneet ja maa on lumen peitossa, muodostuu helposti alailmakehään inversiokerros, jossa viilein ilma on lähellä maan pintaa.

Keväällä ja alkukesällä, kun vesien lämpötilat ovat vielä ilman lämpötilaa alhaisemmat, vesialueet voivat pitää rannikkokaupunkien keskustat viileinä. Tämä saattaa johtaa lämpösaarekkeen vastakkaisilmiöön eli kylmäsaarekkeeseen, jolloin kaupungin keskusta on ympäröivää aluetta kylmempi. Kylmäsaareke on usein heikempi kuin lämpösaareke ja se on ilmiönä selvästi harvinaisempi. Myös joet vaikuttavat paikallisilmastoon, mutta niiden vaikutus on yleensä vähäinen ja ranta-alueisiin rajoittuva. Toisaalta joet ovat avoimia ”käytäviä”, jotka toimivat ilman virtausväylinä, mikä omalta osaltaan vaikuttaa kaupungin lämpösaarekkeen muodostumiseen ja sen voimakkuuteen.

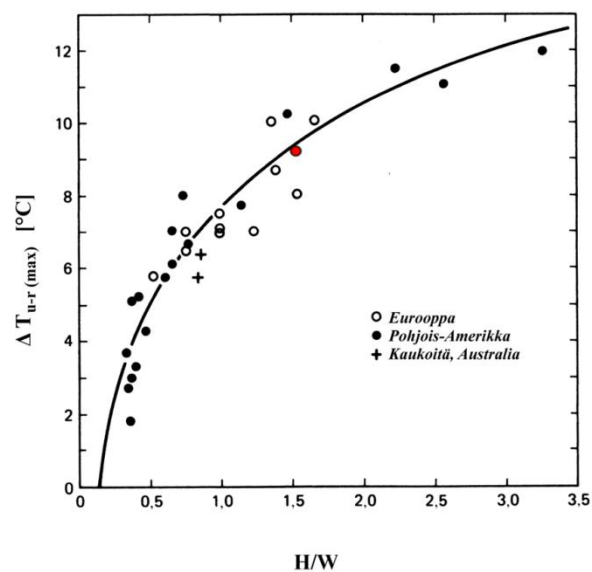
Lämpösaareke on voimakkaampi suurissa kaupungeissa

Lämpösaareke on yleensä sitä voimakkaampi, mitä suuremmasta kaupungista on kyse (kuva 2). Lämpösaarekkeen voimakkuus ei kuitenkaan kasva loputtomiin, sillä lopulta suuret lämpötilaerot aikaansaavat lopulta paikallistuulen, joka alkaa osaltaan heikentää lämpösaarekettä. Lämpösaarekkeen voimakkuuteen vaikuttava kaupunkirakenteeseen ja asukastiheyteen liittyvä tekijä on rakennusten korkeuden ja katujen leveyden välinen suhde; mitä korkeampia rakennukset ovat suhteessa katujen leveyteen, sitä voimakkaampi on yleensä myös lämpösaareke (kuva 3). Tämä johtuu suuremman rakennusmassan lämmönvarauskyvystä, suuremmasta ihmistoiminnan aiheuttamasta hukkalämmöstä, sekä korkeiden katukuilujen ulossäteilyä hidastavasta vaikutuksesta.

Kaupunkirakenne saattaa vaikuttaa myös lämpösaarekkeen alueelliseen ilmenemiseen. Mikäli keskustan ja lähiöiden välissä on väljemmin rakennettuja alueita, saattavat lähiöt etenkin heikkotuulisella säällä muodostaa omia erillisiä lämpösaarekkeitaan. Tällöin puhutaan moniytimisestä lämpösaarekkeesta. Kaupungeissa, joissa on yksi yhtenäinen keskusta ja jonka ympärillä ei ole muita merkittäviä tiheästi rakennettuja alueita, lämpösaarekkeellakin on havaittavissa tavallisesti vain yksi selvä ydin.



Kuva 2. Voimakkaimman lämpösaarekkeen, $\Delta T_{u-r}(\max)$, ja kaupungin asukasmäärän välinen suhde eurooppalaisissa ja pohjoisamerikkalaisissa kaupungeissa (muokattu kuvasta Oke, 1973). **Punainen piste:** Helsingin suurin lämpösaarekkeen havainto Drebsin (2006) mukaan (+9 °C). **Vihreä piste:** Turun voimakkaimpien lämpösaarekkeiden keskimääräinen arvo TURCLIM-projektin (2008) mukaan (+8 °C). TURCLIM-projektin maksimilämpösaarekkeen arvon määrittämisessä on käytetty voimakkaimpien lämpösaarekkeiden keskiarvoa tutkimusasetelmien yhteismitallistamiseksi.



Kuva 3. Lämpösaarekkeen maksimivoimakkuuden, sekä rakennusten korkeuden ja katujen leveyden välisen suhteen (engl. H/W ratio) välinen riippuvuus (muokattu kuvasta Oke, 1987). Mustat pisteet kuvastavat kaupunkeja Pohjois-Amerikassa, avoimet pallot Euroopassa ja ristit Australiassa. Punainen piste: Helsingin lämpösaarekkeen maksimivoimakkuus suhteessa Uudenmaankadun H/W-suhteeseen Drebsin (2006) mukaan.

Lämpösaareke ja ilmastonmuutos

Kaupunki-ilmastoa tutkitaan maailmalla ahkerasti, mutta suoranaisia yhteyksiä ilmastonmuutokseen on vielä tutkittu melko vähän. Syyt tähän löytyvät kaupungeista itsestään; kaupunkien kasvu ja kehitys on hyvin erilaista tuottaen erilaisia kaupunki-ilmastoja. Suurin yksittäinen syy löytyy nopeasta maankäytön muutoksesta. Jo pieni muutos esimerkiksi täydennysrakentamisessa estää tai lisää alueen lämpenemistä tai viilenemistä. Tähän vaikuttavat oleellisesti rakennusten aikaansaamat ilmajvirtausten muutokset tai varjostus.

Erityisesti kaupunkien kasvu ja yleinen muuttoliike asutuskeskittymiin nostavat esille ajatuksia siitä, miten paljon näiden alueiden paikallisilmaston muutokset myötävaikuttavat maailmanlaajuiseen ilmastonmuutokseen. Vaikka kaupunki-ilmaston monitoroinnista on tullut osa arkipäivää, mittauksia suoritetaan monella eri tavalla ja erilaisilla mittalaitteilla. Kansainvälinen meteorologinen järjestö (WMO) yrittää koordinoita mittauksia antamalla erilaisia suosituksia (WMO/TD-No. 1250, 2006). Kaupunkien vaikutusta globaaliin ilmastoon on tutkittu ja arvioitu viimeisissä IPCC:n raporteissa pariin otteeseen. Seuraava tarkastelu keskittyy viimeiseen vuonna 2013 julkaistun viidennen arviointiraportin (Hartmann et al., 2013) maankäytön muutosta ja lämpösaareketta käsittelevään osioon.

Lämpösaarekeilmiö on karkea mitta verrattaessa kaupunkeja ja niiden ilmastoja keskenään, koska ilmiön arvioidaan olevan nimenomaan tulosta maanpintaan johtuvasta ja varastoituvasta energiasta, sekä veden että ilmajvirtausten yhteisestä vaikutuksesta. Selvimmillään ilmiö havaitaan voimakkaana lämpötilaerona tiheästi rakennetun kaupungin ydinkeskustan ja sitä ympäröivän alueen välillä. Koska kaupungit kuitenkin koostuvat ydinkeskustan lisäksi myös pienemmistä aluekeskuksista, joilla on oma pienempi lämpösaarekkeensa, koko lämpötilakartta koostuu monesta erikokoisesta lämpösaarekeilmiöstä (Drebs, 2011). Kaupunkien ydinkeskustat ja alakeskukset peittävät kuitenkin vain murto-osan kaupunkien pinta-aloista, jolloin myös lämpötilan suurimmat vaikutukset kohdistuvat näille alueille. Sen lisäksi keskikokoisella kaupungilla ja tiheästi rakennetulla ydinkeskustalla voi olla yhtä voimakas lämpösaarekeilmiö.

Kaupunki-ilmaston aikasarjat alkavat pääasiassa toisen maailmansodan jälkeen. Kuitenkin jo 1830 -luvulla englantilainen luonnontieteilijä Luke Howard julkisti tekemiänsä havaintoja Lontoon lämpösaarekkeesta. Sen myötä Lontoosta on tullut yksi tutkituimmista lämpösaarekekaupungeista maailmassa. Viimeiset tutkimukset osoittavat, että Suur-Lontoon alueen muuttuva ilmasto ei aina kehity samalla tavalla kuin Lontoon kaupungin lämpösaareke (Jones & Lister, 2009). Syitä tähän kehitykseen haetaan Lontoon kaupungin taloudellisesta ja väestöllisestä kehityksestä. Erityisesti McKitrick ja Michaels (2004) että de Laat ja Maurellis (2006) osoittavat, että juuri kansalliset ja sosioekonomiset syyt yhdistettynä maankäyttömuutoksiin aiheuttavat suurempia alueellisia muutoksia kaupunki-ilmastossa kuin maailmalajajuinen ilmastonmuutos itse.

Kirjallisuutta

Atkinson, B. W. (2003). Numerical Modelling on Urban Heat-Island Intensity. *Boundary-Layer Meteorology* 109, 285–310

De Laat, A.T.J. & Maurellis, A.N. (2006). Evidence for influence of anthropogenic surface processes on lower tropospheric and surface temperature trends. *International Journal of Climatology* 26, 897–913.

Drebs, A. (2011). Helsingin lämpösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä, Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos, <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201201121058>

EPA, United States Environmental Protection Agency. (2014). Heat Island Effect. <http://www.epa.gov/heatislands/index.htm> [Viitattu 23.7.2014].

Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, (2013): Observations: Atmosphere and Surface. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [toim. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Huovinen, M. (2012) Sääolosuhteiden ja muiden alueellisten ominaispiirteiden vaikutus ilmanlaatuun Turun seudulla. Julkaisematon pro gradu -tutkielma. 92 sivua. Maantieteen ja geologian laitos, Turun yliopisto.

Jones, P.D., & Lister, D.H. (2009). The urban heat island in Central London and urban-related warming trends in Central London since 1900. *Weather* 64: 323–327.

Lai L.-W. & Cheng W.-L. (2009). Air Quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. *Science of the Total Environment* 407: 2724–2733. DOI:10.1016/j.scitotenv.2008.12.002

McKittrick, R., Michaels, P. J. (2004). A test of corrections for extraneous signals in gridded surface temperature data. *Climate Research* 26: 159–173.

Oke, T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7: 769–779. DOI:10.1016/0004-6981(73)90140-6

Oke, T.R. (1981). Canyon geometry and the urban heat island: comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology* 1: 237–254. DOI: 10.1002/joc.3370010304

Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*, 2nd edition. 435 pp. Routledge, London.

- Skelhorn C., Lindley S. & Levermore G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning* 121: 129–140. [dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012)
- Sobrino, J.A., Oltra-Carrió, R., Jiménez-Muñoz, J.C., Julien, Y., Sòria, G., Franch, B. & Mattar, C. (2012). Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach: Application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 141–147. [doi:10.1016/j.jag.2012.01.022](https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.022)
- Solecki, W.D., Rosenzweig C., Pope G., Chopping M., Goldberg R. & Polissar A. (2004). Urban heat island and climate change: an assessment of interacting and possible adaptations in the Camden, New Jersey Region. *Environmental Assessment and Risk Analysis Element. Research Project Summary*. 5 pp.
- Stull, R.B. (2000). *Meteorology for Scientists and Engineers*. Second edition. Cengage Learning Emea, ~750 p.
- 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. [DOI:10.1002/joc.2277](https://doi.org/10.1002/joc.2277)
- Voogt, J.A. & Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86: 370–384. [DOI:10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64: 335–344. [DOI:10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007)
- Wienert, U. & Kuttler, W. (2005). The dependence of the urban heat island intensity on latitude – a statistical approach. *Meteorologische Zeitschrift* 14(5): 677–686.