

Ansa Matikainen

LÄMPÖSAAREKEILMIÖ JA SEN HILLITSEMINEN SUOMESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Ansa Matikainen: Lämpösaarekeilmiö ja sen hillitseminen Suomessa (The Heat Island Phenomenon and its Mitigation in Finland)
Tampereen yliopisto
Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2024

Tässä tutkielmassa tarkastelen kaupungeissa ilmenevän lämpösaarekeilmiön esiintymistä Suomessa ja pohdin keinoja, jolla ilmiötä voitaisiin hillitä. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää lämpösaarekeilmiön taustalla ja selvittää, miksi myös pohjoisessa ilmastossa lämpösaarekeilmiön hillitseminen on tärkeää. Yhtenä tutkimusaineistona käytän Tampereen lämpösaareketutkimusta vuodelta 2022, josta pystyy syventymään lämpösaarekeilmiön vaikutuksiin ja ilmiön tulevaisuuden kuvaan suomalaisessa ilmastossa. Tutkimusmetodinä käytin kirjallisuuskatsausta.

Lämpösaarekeilmiöllä tarkoitetaan meteorologisia eroja kaupunkien pienilmastossa verrattuna kaupunkia ympäröiviin maaseutumaisiin alueisiin. Lämpösaarekeilmiö tekee kaupungeista hieman ympäröiviä alueita lämpimämpiä. Kaupunkilaisille ilmiö on havaittavissa etenkin kesäisin tuulettomina päivinä, jolloin ilmiö voi tehdä kaupungeista hyvinkin kuumia. Tutkimusten mukaan etenkin pohjoisilla leveysasteilla liiasta lämmöstä johtuvat terveyshaitat tulevat lisääntymään lämpenevän ilmaston myötä. Ilmastonmuutos onkin kytköksissä kaupunkien lämpösaarekeilmiöön. Lämpösaarekeilmiö heikentää kaupunkiluonnon elinvoimaisuutta ja sillä voi olla negatiivinen vaikutus kaupungin biodiversiteettiin. Kaupunkilaisten ja kaupunkiluonnon hyvinvointi onkin lämpösaarekeilmiön hillinnän vauhdittajia.

Lämpösaarekeilmiön muodostuminen on monimutkaista ja siihen vaikuttavat aina kaupunkikohtaiset tekijät muun muassa paikan topografia, geologinen sijainti, ilmasto ja vesistöjen läheisyys. Muita lämpösaarekeilmiön tyypillisiä aiheuttajia ovat kaupunki-infrastruktuuriin absorboitunut lämpö ja haihdunnan väheneminen. Yleisesti lämpösaarekeilmiötä pyritään hillitsemään muuttamalla juuri näitä kahta tekijää. Lisäämällä kaupunkiin heijastavia ja vettä läpäiseviä pintoja pystytään vaikuttamaan pintoihin absorboituvan lämmön määrään. Heijastavien pintojen käytössä on kuitenkin myös mahdollisia negatiivisia seurauksia ja ne voivat lisätä esimerkiksi kaupunkilaisten kokeman lämpöstressin määrää. Suomessa vuodenaikojen vaihtelun takia lämpösäteilyn heijastaminen ei ole aina myöskään tarpeellista tai haluttua. Tämän takia haihdunnan lisääminen vettä läpäisevillä pinnoilla ja kasvillisuudella voisi olla parempi keino hillitä lämpösaarekeilmiötä Suomessa. Kasvillisuudella voidaan vaikuttaa myös lämmön absorboitumiseen varjostamalla katutilaa. Lehtipuilla pystytään varjostamaan katuja kesäisin, mutta ne myös päästävät valon lävitseen talvisin, kun niiden lehdet ovat tippuneet.

Avainsanat: Lämpösaarekeilmiö, kaupunkisuunnittelu, ilmastonmuutos, viileät pinnat, vihreä infrastruktuuri

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.JOHDANTO.....	1
2.LÄMPÖSAAREKEILMIÖN MUODOSTUMINEN.....	4
2.1 Lämpövarastojen kertyminen.....	4
2.2 Nettosäteilyn kasvu.....	5
2.3 Haihdunnan väheneminen.....	5
2.4 Vähentynyt lämmön virtaus ja kaupunkituulet.....	6
2.5 Antropogeenisen lämmön lisääntyminen.....	7
2.6 Kaupunkirakenteen vaikutus.....	7
3.LÄMPÖSAAREKEILMIÖN VAIKUTUKSIA.....	8
3.1 Lämpösaarekeilmiön syklistyys.....	8
3.2 Lämpösaarekeilmiön vaikutus kaupungin väestöön.....	9
3.3 Lämpösaarekeilmiön vaikutus kaupunkiluontoon.....	10
4.LÄMPÖSAAREKEILMIÖN HILLITSEMISEN SUOMESSA.....	12
4.1 Esimerkkinä Tampereen lämpösaarekeilmiö.....	13
4.2 Lämpösaarekeilmiön hillitsemiskeinoista.....	16
4.3 Pintojen viilentäminen.....	17
4.4 Viheriöiden vaikutus.....	19
5.JOHTOPÄÄTÖKSET.....	21
LÄHTEET.....	23
KUVALÄHTEET.....	28

1. JOHDANTO

Kaupungin lämpösaarekeilmiö on pienilmaston ilmiö, jolla tarkoitetaan kaupunkialueen meteorologisia eroja verrattuna lähellä sijaitseviin maaseutumaisempiin alueisiin. Rakennettu ympäristö aiheuttaa siis muutoksen kaupungin pienilmastoon ja se näkyy muun muassa muutoksena kaupungin ilma- ja pintalämpötiloissa, ilmankosteudessa, tuulessa ja sademäärässä. Lämpösaarekkeiden muodostumisen keskeisiä syitä ovat lämmön varastoituminen rakennuksiin ja päällystettyihin teihin. Ilmiötä vahvistaa myös kaupungeille ominainen tiivis rakentaminen. Päällystetyt pinnat vievät tilaa kasvillisuudelta, jolloin kasvien aiheuttaman haihdunnan viilentävä vaikutus on pienempää, kuin kaupunkia ympäröivillä metsäisemmillä alueilla. (Drebs et al. 2012, 2023.) Tutkimukset jakautuvat kahteen tyyppiin perustuen niiden mittausmenetelmiin: pintojen lämpösaarekeilmiöön, jossa mitataan pintojen lämpötilaeroja kaupungin ja sen ulkopuolisten alueiden välillä ja ilman lämpösaarekeilmiöön, jossa taas mitataan lämpötiloja maan pinnan yläpuolelta (Sitowise, 2022).

Kaupunkien vaikutus paikalliseen pienilmastoon on ollut tiedossa jo pitkään. Tutkijat olettavat, että jo vuosisatoja sitten oli havaittavissa lämpötila- ja kosteuseroja kaupunkien ja maaseudun välillä (Drebs et al. 2023). Englantilainen kemisti ja amatöörimeteorologi Luke Howard osoitti lämpösaarekeilmiön ensimmäisen kerran vuonna 1818. Monivuotisen tutkimuksensa avulla hän pystyi tunnistamaan muun muassa kaupunkien päivittäisen lämpösaarekkeen $\sim 2,1^{\circ}\text{C}$ intensiteetin ja syyt ilmiön taustalla: ihmisen aiheuttaman hukkalämmön, kaupunkigeometriasta johtuvat lämpövallit, tuulta vaimentavat kaupunkirakenteet ja kosteuden puute, joka vähensi haihtumisen jäähdytysvaikutusta lämpiminä kuukausina. (Howard 1833 Millsin 2008 mukaan.)

Huoli ilmastonmuutoksesta ja sen aiheuttamasta ilmanlämpötilan noususta vauhdittaa nykypäivänä lämpösaarekeilmiöön liittyviä tutkimuksia (Drebs et al. 2023). Ilmastonmuutoksen etenemisen ja sen aiheuttamien helleaaltojen myötä, lämpösaarekeilmiön oletetaan voimistuvan ja yleistyvän kaupungeissa (Sitowise, 2022).

Tällä hetkellä yli puolet maailman väestöstä asuu kaupungeissa ja kaupungistumisen odotetaan yhä vain kasvavan. Vuoteen 2050 mennessä määrän ennustetaan olevan yli 70 %. (YK, 2023.)

Lämpösaarekkeiden ja kaupunki-ilmaston vaikutusta paikalliseen ja alueelliseen ilmastoon on tutkittu paljon, mutta kokonaisuuden ymmärtäminen on vaikeaa (Drebs et al. 2023). Jokainen kaupunki on erilainen ja tämän takia yleispätevää keinoa lämpösaarekeilmiön hillitsemiseksi on mahdotonta suunnitella (Jiachuan Yang et al., 2015). Kaupunki-ilmastoon vaikuttavat mm. kaupungin maantieteellinen sijainti, topografia, väestön tiheys ja vesistöjen läheisyys (Turun yliopisto, 2014). Lämpösaarekeilmiön voimakkuuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa jossain määrin kaupunkisuunnittelulla (Drebs et al. 2023). Monet hillitsemiskeinoista liittyvät vihreän infrastruktuurin hyödyntämiseen ja lämpövarastoina toimivien materiaalien uudelleen tarkasteluun (Sitowise, 2022). Kaupunkisuunnittelulla on siis tärkeä rooli ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja ihmisten sopeutumisessa lämpenevään ilmastoon.

Tämä tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Tutkielman kannalta tärkeänä lähteenä toimi L.Gartlandin kirja *Heat Island – Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas* (2008), joka auttoi perehtymään kattavasti syihin ilmiön taustalla sekä antoi näkemyksen, millaisin keinoin ilmiötä voidaan hillitä. Yang et al. (2015) tutkimus *Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a silver bullet for mitigating urban heat island?* auttoi lämpösaarekeilmiön hillintämekanismien kriittisessä tarkastelussa. Tampereen kaupungin laatima lämpösaarekeilmiötutkimuksen avulla pystyin syventymään Suomessa ilmeneviin lämpösaarekkeisiin ja ymmärtämään paremmin niiden monimutkaista kokonaisuutta.

Luvussa kaksi avaan lämpösaarekeilmiötä käsitteenä ja tarkastelen syitä ilmiön taustalla. Kolmannessa luvussa käsittelen ilmiön esiintymistä kaupungissa ja miten se vaikuttaa kaupungin asukkaisiin ja kaupunkiluontoon. Neljännessä luvussa syvennyn tarkemmin lämpösaarekeilmiön esiintymiseen Suomessa. Esimerkkikaupunkina käytän Tamperetta. Lopuksi käsittelen mahdollisia lämpösaarekeilmiön hillitsemiskeinoja ja pohdin, millaiset keinot sopivat juuri Suomen kaltaiseen ilmastoon.

Tutkimuksessa pyrin vastaamaan kysymyksiin:

- Mistä lämpösaarekeilmiö johtuu ja miten se ilmenee kaupungissa?
- Millä tavalla lämpösaarekeilmiö esiintyy Suomessa?
- Millaisia keinoja lämpösaarekeilmiön hillintään voidaan Suomessa ottaa käyttöön?

2. LÄMPÖSAAREKEILMIÖN MUODOSTUMINEN

Lämpösaarekeilmiön syntymiseen ei ole selitettävissä yhtä johdonmukaista syytä, vaan se on monimutkainen yhdistelmä eri tekijöitä. Ilmiötä tulisi tarkastella kaupunkikohtaisesti, sillä jokainen kaupunki on rakenteelta jollain tavalla uniikki. Kaupunkikohtaiset tekijät, kuten kaupungin maantieteellinen sijainti, maaperä, topografia ja vesistöjen läheisyys voivat joko hillitä tai voimistaa ilmiötä. (Drebs et al. 2023.) Gartland (2008) luettelee tutkimuksessaan viisi (5) pääsyytä, jotka voimistavat lämpösaarekeilmiön esiintymistä: 1. lämpövarastojen kertyminen 2. nettosäteilyn kasvu, 3. haihdunnan väheneminen, 4. lämmön virtauksen vähentyminen ja 5. antropogeenisen lämmön eli ihmisen toiminnasta syntyneen hukkalämmön lisääntyminen. Nämä tekijät ovat vuorovaikutuksessa keskenään ja voimistavat usein myös toinen toisiaan. (Gartland, 2008, 15–23.)

2.1 Lämpövarastojen kertyminen

Yksi keskeisimmistä syistä lämpösaarekeilmiön muodostumiseen on lämmön varastoituminen kaupunki-infrastruktuuriin. Lämpöä varastoituu teihin, rakennuksiin ja muuhun kaupunki-infrastruktuuriin (Sitowise, 2022). Päivän aikana kaupunki-infrastruktuuriin absorboitunut lämpö vapautuu illalla ilman viiletessä ilmatilaan. Näin syntyy lämpötilaero rakennetun kaupunkiympäristön ja kaupunkia luonnonmukaisemman maaseudun välille. Lämpöä absorboivilla materiaaleilla on ominaista niiden läpäisemättömyys ja vesitiiveys, jolloin vesi ei pääse kulkeutumaan materiaalin lävitse ja hajoittamaan auringon lämpöä. Monet yleisesti käytetyt rakennusmateriaalit ovat tyypillisesti myös väritykseltään tummia, jolloin auringon heijastuminen on vähäistä. (Gartland, 2008, 18–19.) Kaupungeissa yleisesti käytetyt materiaalit, kuten betoni, kivi, asfaltti ja tiili ovat ominaisuuksiltaan hyviä lämpövarastoja ja näin ollen voimistavat lämpösaarekeilmiötä (Sitowise, 2022).

Kun halutaan tarkastella lämpösaarekeilmiön muodostumista tarkemmin, on kiinnitettävä huomiota eri materiaalien lämpöominaisuuksiin. Rakennusmateriaaleilla on erilaisia fysikaalisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat lämpövarastojen muodostumiseen. Gartland (2008) on koonnut tietoa yleisesti käytettyjen rakennusmateriaalien lämpöominaisuuksista. Materiaalien lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus vaikuttavat siihen, millaisen lämpövaraston kappale muodostaa. Lämpökapasiteetti kertoo

materiaalin kyvyn varastoida lämpöä itseensä. Lämmönjohtavuus puolestaan määrittää kuinka

syväälle lämpö kulkeutuu materiaalissa. Näiden ominaisuuksien yhteisvaikutus toimii indikaattorina siihen, millainen kappaleen termien diffuusiokerroin on. Korkean diffuusiokerroimen omaavat materiaalit pystyvät varastoimaan lämpöä sisäosiinsa ja pystyvät pitämään lämpötilansa tasaisena pitkään. Gartlandin (2008) keräämien tietojen perusteella monilla yleisesti käytetyillä rakennus ja pinnoitusmateriaaleilla, kuten betonilla, asfaltilla, tiilellä, lasilla, teräksellä ja kivellä on korkea diffuusiokerroin. (Gartland, 2008, 18–19.) Ilmiön voi huomata esimerkiksi kuumen kesäpäivän jälkeen, kun tumma asfalttipinta tuntuu vielä lämpimältä, vaikka aurinko on jo laskenut.

2.2 Nettosäteilyn kasvu

Nettosäteily on summa eri säteilymuotojen vaikutuksista toisiinsa. Tähän vaikuttavat auringosta ja ilmakehästä tuleva säteily sekä pinnasta heijastuva ja pintaan imeytyvä säteily. Nettosäteilyn määrä on usein suurempi kaupunkiympäristöissä kuin maaseutumaisissa ympäristöissä, koska urbaanissa ympäristössä on usein enemmän säteilyä absorboivia pintoja. Säteilyn absorboimiseen vaikuttavat aiemmassa kappaleessa käsitelty diffuusiokerroin ja kappaleen heijastavuus eli albedo. Tuleva säteily, joka ei heijastu materiaalista pois, absorboituu kappaleen sisälle tai kappaleen ympäristöön. Albedon lisäksi materiaalin lämpenemiseen vaikuttaa sen kyky luovuttaa lämpöä itsestään pois. Optimaalinen materiaali lämpösaarekeilmiön hillitsemisen kannalta omaisi suuren albedon ja tehokkaan lämmön luovutuskyvyn, jolloin vain vähän säteilyä pääsee imeytymään kappaleeseen ja imeytyneen säteilyn pois heijastuminen tapahtuu tehokkaasti. Koska nettosäteilyyn vaikuttaa suuresti auringon säteilyenergia, on vallitsevalla säätilalla merkitystä lämpösaarekeilmiön muodostumiseen. Nettosäteily on urbaanissa ympäristössä suurta etenkin päivisin valoisalla säällä (Gartland, 2008, 20–21).

2.3 Haihdunnan väheneminen

Haihdunnalla tarkoitetaan energian siirtymistä pinnalta ilmaan vesihöyryn mukana. Haihdunnassa kasveista vapautuva vesihöyry sitoo itseensä ilmassa olevaa lämpöenergiaa ja näin ollen viilentää ilmaa (Turun yliopisto 2014). Haihdunnan määrä kasvaa, mitä enemmän on kosteutta ja tuulta sekä mitä kuivempaa ja kuumempaa ilma on. Haihdunnalla on ilmaa viilentävä vaikutus ja sen väheneminen on huomattu voimistavan lämpösaarekeilmiötä. Haihdunnan väheneminen on usein yhteydessä

tiivistyvään kaupunkirakentamiseen sillä kaupunki-infrastruktuuri vie tilaa kasveilta. Lämpösaarekeilmiön intensiteetin on huomattu voimistuvan sitä mukaan, kun kaupunki kasvaa ja rakentaminen tiivistyy. Alueet, joilla on vähiten kasvillisuutta ja eniten rakennettua infrastruktuuria, esimerkiksi teollisuusalueet, ovat usein kaupungin kuumimpia. (Gartland, 2008, 17–18.) Kasvillisuuden korvaaminen tavanomaisilla rakennusmateriaaleilla nostaa myös lämpövarastojen määrää sillä kasvit eivät varastoi itseensä yhtä paljon lämpöä kuin useat epäorgaaniset aineet (Drebs et al. 2012). On huomioitavaa, että haihdunnan lisäksi kasvien lämpöominaisuudet ovat optimaaliset estämään lämpösaarekkeiden muodostumisen. Jos kasvillisuudella on tarpeeksi kosteutta ja se ei pääse kuivumaan, pysyy kasveista mitattu lämpötila viileämpänä tai samana, kuin ilmanlämpötila (Gartland, 2008, 17–18). Myös sadevedestä syntyy haihduntaa. Tutkimuksissa on huomattu, että kaupunkien viemärinti pienentää haihdunnan määrää. (Turun yliopisto, 2014.) Haihdunnan määrään vaikuttavat siis paljon myös kaupunkirakenteelliset seikat. Lämpösaarekkeiden muodostumisen monet tekijät ja niiden monimutkaiset yhteisvaikutukset aiheuttavat tilastollisia poikkeuksia. Vaikka joissain kaupungeissa haihdunnan määrä ei ole vähentynyt, on mahdollista, että siellä silti esiintyy lämpösaarekeilmiötä (Gartland, 2008, 17–18).

2.4 Vähentynyt lämmön virtaus ja kaupunkituulet

Lämmön virtaus eli konvektio tarkoittaa lämpötilaerosta johtuvaa energian siirtymistä pystysuuntaisina virtauksina (Turun yliopisto n.d). Tässä tekstissä sillä tarkoitetaan maanpintaan sitoutuneen lämpöenergian siirtymistä ilmaan. Konvektion voimakkuuteen vaikuttavat tuuliolosuhteet ja ilmiö on intensiivisempää, mitä turbulentimpi ja kovempi tuuli vallitsee. Ilmiö tehostuu myös sitä mukaan, kuinka suuri maanpinnan ja ilman lämpötilaero on. Lämpösaarekkeiden ilmeneminen voimakkaampana tyynen ja pilvettömän sään aikaan johtuu vähentyneestä lämmön virtauksesta. Lämpö kulkeutuu tuulen mukana maan pinnasta ilmaan. Tyynellä säällä lämmön virtaus on vähäisempää. Näin ollen lämmön varastoituminen kaupunki infrastruktuuriin on tyynellä säällä suurta. Heikko tuuli hidastaa myös lämmön vapautumista yöaikaan. (Gartland, 2008, 21–22.)

Lämpösaarekeilmiö aiheuttaa muutoksia vallitseviin tuuliin paikallisesti. Kuuma ilma nousee kaupungin ylle ja vetää mukanaan viileämpää ilmaa kaupungin ympäriltä. Tuulien tyyntymistä tai niiden yltymistä on vaikea ennustaa ja ne saattavat myös kumota toisensa. (Gartland, 2008, 21–22) Tuulen nopeus vaikuttaa lämpösaarekkeiden laajuuteen. On havaittu, että heikon tai tyynen tuulen vallitessa lämpösaarekkeita voi

muodostua myös kaupunkien lähiöalueilla. Tuulen ollessa voimakkaampaa, lämpösaarekkeilla on yksi selvempi keskus. Tuulten nopeuteen vaikuttaa isosti kaupunkirakenne. (Turun yliopisto, 2023). Kaupungit ovat yleisesti vähätuulisempia, kuin niitä ympäröivät alueet. Poikkeuksia kuitenkin löytyy. Esimerkiksi korkeat rakennukset saattavat aiheuttaa tuulen voimistumista kaduilla. (Gartland, 2008, 21–22.)

2.5 Antropogeenisen lämmön lisääntyminen

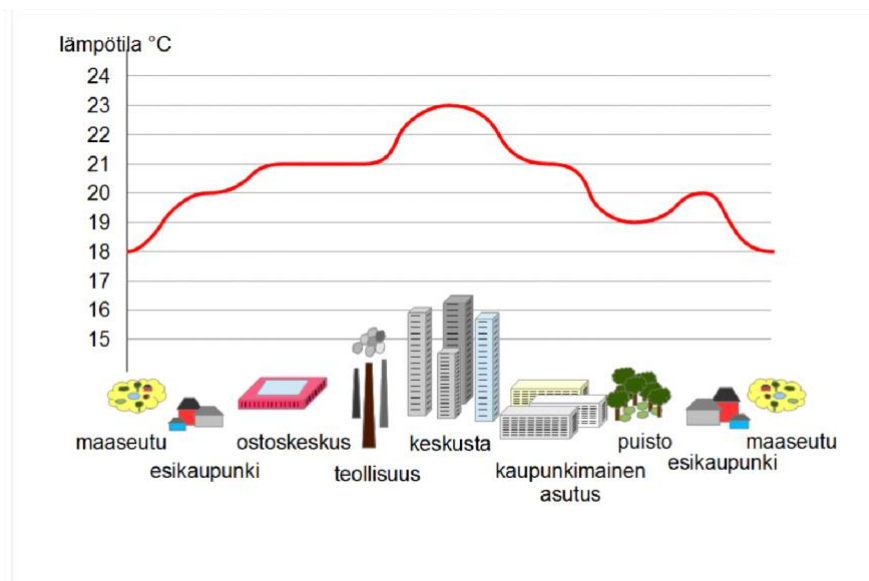
Antropogeenisellä lämmöllä tarkoitetaan ihmisen toiminnasta aiheutuvaa hukkalämpöä. Ihmisen tuottama hukkalämpö aiheutuu monesta eri lähteestä, kuten rakennuksista heijastuvasta lämpösäteilystä, teollisuuden hukkalämmöstä ja autoista. Myös ihmiset itse aiheuttavat kehollaan hukkalämpöä. Usein korkea väestötiheys kasvattaa hukkalämmön määrää. Paikoissa, jossa väestötiheys on harvempaa, hukkalämmön merkitys on usein pieni. Hukkalämmön suuruus vaihtelee isosti vuodenajan mukaan ja on korkeimmillaan usein kylminä kuukausina. (Gartland, 2008, 22–23.) Lämpösaarekeilmiö kasvattaa kuitenkin hukkalämmön määrää kesällä ja energiankulutuksen on huomattu kasvavan. Rakennuksiin varastoituva lämpö kasvattaa ilmastoinnin tarvetta. Koneellinen ilmanvaihto saattaa myös voimistaa ilmiötä, sillä se päästää hukkalämpöä ulkoilmaan. (Sitowise, 2022.) Lämpösaarekeilmiön takia kaupungeissa on 13 % suurempi tarve ilmanvaihdolle kuin kaupunkia ympäröivillä alueilla (Tzavali et al. 2015). Lämpösaarekeilmiöllä on siis suora negatiivinen vaikutus myös kaupunkien päästöihin.

2.6 Kaupunkirakenteen vaikutus

Jokaisella kaupungilla on yksilölliset urbaanit rakenteensa, jolloin niiden vaikutus paikalliseen pienilmastoon on myös kaupunkikohtaista (Drebs et al., 2023). Yleensä kuitenkin lämpösaarekkeet ovat sitä voimakkaampia, mitä suuremmasta kaupungista on kyse. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat myös asukastiheys, kaupungin rakenne ja infrastruktuurin rakennusmateriaalit. Myös kaupungeille tyypillinen korkea rakentaminen voi voimistaa lämpösaarekeilmiötä. Tutkimuksissa on huomattu, että mitä korkeampaa kaupunkirakentaminen on suhteessa rakennusten välisiin teihin, sitä voimakkaampia lämpösaarekkeita kaupungissa syntyy (Turun yliopisto, 2014). Tiiviisti rakennetut korkeat rakennukset jättävät väliinsä lämpövallin, johon auringon säteily jää jumiin ja varastoituu lämpönä (Sitowise, 2022). Mitä syvempi ja leveämpi lämpövalli on, sitä voimakkaampana lämpösaarekeilmiö esiintyy, jos ilmiötä ei kompensoida muilla keinoin (Debs et al. 2023).

3. LÄMPÖSAAREKEILMIÖN VAIKUTUKSIA

Lämpösaarekeilmiö on selkeimmin havaittavissa kuumina hellepäivinä, jolloin se vaikuttaa lämpöolosuhteisiin niin ulkona kuin sisälläkin (Drebs et al. 2023). Alapuolella oleva kaava havainnollistaa, miten ilmanlämpötila kasvaa kaupunkirakenteen tiivistyessä ja muuttuessa korkeammaksi. Lämpötila laskee infrastruktuurin madaltuessa ja alueiden muuttuessa luonnontilaisemmaksi. Kaupunkipuistojen kohdalla on havaittavissa muuta kaupunkia viileämpiä vyöhykkeitä.



Kaavio 1: Kaupungin lämpösaarekeilmiön intensiteetti eri alueilla (Turun Yliopisto, 2014)

3.1 Lämpösaarekeilmiön syklisyys

Lämpösaarekeilmiön voimakkuus on vaihtelevaa alue-, vuorokausi-, vuodenaika-, ja vuositasolla (Sitowise, 2022). Lämpösaarekeilmiön voidaan katsoa noudattavan kuitenkin tiettyä vuorokauden mittaista sykliä. Aamulla auringon noustessa, ilmalämpötilan ero maaseudun ja urbaanin kaupunkiympäristön välillä on pienintä. Ero kasvaa päivän edetessä, ja on suurimmillaan, kun aurinko laskee. Tällöin lämpöä absorboineet materiaalit alkavat luovuttamaan ympärilleen keräämäänsä lämpöä. Maan pinnan lämpötilavaihtelut vuorokauden aikana ovat suurempia kuin ilmalämpötilan. (Gartland, 2008, 2–12) Tampereella tehdyn tutkimuksen perusteella pintalämpötilojen ero kaupungin ja maaseudun välillä on suurinta kesäpäivisin, jolloin ero voi olla jopa 10 celsiusastetta (Sitowise, 2022).

3.2 Lämpösaarekeilmiön vaikutus kaupungin väestöön

Kuumien hellepäivien aiheuttamat yleiset oireet, kuten janon tunne ja hikoilu, ovat monelle tuttuja Suomen kesällä. Ilmastonmuutoksen ja lämpösaarekeilmiön myötä myös vakavampien terveysriskien yleisyys on kasvussa. Helteen aiheuttamat terveyshaitat voimistuvat lämpösaarekeilmiön johdosta (Turun yliopisto, 2014). Lämpösaarekeilmiö vaikuttaa kaupunkilaisten terveyteen nostamalla lämmöstä aiheutuvien oireiden riskiä. Lämmöstä johtuvat terveyshaitat ovat etenkin riskiryhmään kuuluvalla väestöllä vaarallisia. Riskiryhmään kuuluvat muun muassa iäkkäämpi väestö (yli 65-vuotiaat), lapset, fyysisesti heikossa kunnossa oleva väestö esimerkiksi pitkäaikaissairaat sekä heikossa sosioekonomisessa asemassa oleva väestö. (Ikäheimo et al. 2019.) Suomessa lämpösaarekeilmiön aiheuttamia terveyshaittoja tavataan lähinnä vain kesäisin hellejaksojen aikaan (Turun yliopisto, 2014). Ilmastonmuutoksen myötä lämpösaarekeilmiö tulevat voimistumaan kaupunkiympäristöissä ja näin ollen myös lämpörasituksen liittyvät oireet tulee kasvamaan. Tutkimuksen mukaan Helsingissä kuumarasituksen tuntimäärät tulevat kaksinkertaistumaan kesäisin vuoteen 2050 mennessä (Sitowise, 2022).

Kohonnut lämpötila aiheuttaa ihmisen kehossa lämpöstressiä. Lämpöstressi tarkoittaa tilaa, jossa ihminen ei pysty poistamaan ylimääräistä lämpöä kehostaan (Abdel-Ghanu et al., 2013). Kuumuus kuormittaa elimistöä muun muassa laskemalla verenpainetta ja aiheuttamalla voimakasta hikoilua, joka puolestaan muokkaa kehon neste- ja elektrolyyttitasapainoa. Muita korkeasta lämpötilasta johtuvia oireita ovat auringonpistos, äkillinen huimaus, lihaskrampit, ihottuma ja lämpöuupumus, joka voi johtaa hengenvaaralliseen lämpöhalvaukseen (THL, n.d). Helteellä lämpösaarekeilmiön ollessa voimakas, ilmanlaatu on tavallista heikompaa. Tämän johtuu helteelle tyypillisestä tyynestä säästä, jolloin ilma ei pääse sekoittumaan. Heikko ilmanlaatu vaikuttaa myös ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin negatiivisesti. (Turun yliopisto, 2014.) Lämpösaarekeilmiön hillinnässä pyritään lisäämään ihmisten lämpömukavuutta. Tällä tarkoitetaan ihmiselle sopivaa lämpöympäristöä (Emetere, 2022). Ihmiset kokevat lämpömukavuuden lämpöstressin tavoin subjektiivisesti.

Ihmisten kokemaan lämpöstressiin vaikuttavat etenkin totut olosuhteet. Viileämmissä maissa helteen aiheuttamat terveyshaitat alkavat ilmetä väestössä huomattavasti alhaisemmissa lämpötiloissa verrattuna kuumaan ilmastoon tottuneeseen väestöön.

Suomessa vallitsevassa viileässä ilmastossa jo matalat lämpölukemat saattavat nostaa ihmisten kokeman lämpöstressin tasoa sekä siitä aiheutuvien terveysriskien määrää EteläEurooppaan verrattuna (Kollanus, 2016).

Helteiden aiheuttamat terveysriskit tulevat tutkimusten mukaan yleistymään pohjoisilla leveysasteilla, johon Suomikin sijoittuu (Drebs et al. 2023). Suomessa väestön kuolleisuus nousee, kun keskilämpötila on +20 astetta tai enemmän (Sitowise, 2022). Kaupungissa helleaalloista johtuva kuolleisuus on korkeampi kuin kaupunkia ympäröivillä alueilla. Ruuhela et al. (2021) osoittivat, että Helsingissä kuolemien osuus oli väkilukuun suhteutettuna 2,5 kertaa suurempi kuin muualla HUS:n alueella. Helleaaltojen kesto vaikuttaa suoraan kuumarasituksesta aiheutuvien kuolemien määrään. Neljän vuorokauden tai sitä pidempään kestävä helleaallon on tutkittu nostavan kuolleisuutta keskimäärin 10 % (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2021). Kesällä 2018 pitkittynyt helleaalto johti 380 ennenikäiseen kuolemaan Suomessa (Sitowise, 2022). Suomen ikärakenteella on vaikutusta yleistyviin kuumuudesta aiheutuviin terveyshaittoihin. Suomen väestön ikääntyessä väestön haavoittuvuus helteelle tulee nousemaan ja kuumuuden aiheuttamien terveyshaittojen määrä tulee kasvamaan (Ruuhela et al. 2021). Euroopan helleaalloja tutkineessa selvityksessä todettiin, että vuoden 2003 helleaalto aiheutti Euroopassa 70 000 ennenikäistä kuolemaa (Keller, 2013).

3.3 Lämpösaarekeilmiön vaikutus kaupunkiluontoon

Kaupunkiluonnon merkitys ilmastonmuutokseen sopeutumisessa on tärkeä. Muuttuvan ilmaston tuomat haasteet tekevät siitä kuitenkin haavoittuvaisen. Ilmastonmuutoksen ja lämpösaarekeilmiön yhteisvaikutuksen myötä kaupunki-ilmasto tulee muuttumaan kuumemmaksi ja kuivemmaksi. Tämä heikentää kaupunkiluontoa ja monien kasvien ja eläinten selviytymistä. Lämpenevässä kaupunki-ilmastossa viihtyvät monet kotoperäiselle lajistolle haitalliset vieraslajit, joiden selviytymistä vahvistaa muun luonnon heikentynyt asema. (Kotakorpi, 2020.) Korkeat lämpötilat kasvattavat urbaanin vihreän infrastruktuurin haavoittuvuutta taudeille ja tuholaisille (Drebs et al. 2023). Helleaalloja usein seuraavat rankkasateet lisäävät hulevesien määrää ja pintavaluman mukana kulkeutuvien haitallisen aineiden pääsyä luonnonvesistöihin. Kuivuus vaikuttaa vesistöihin ja niiden eliöihin laskemalla vedenpintaa joissa ja pohjavesissä. (Kotakorpi, 2020.)

Negatiivisten muutosten ohella lämpösaarekeilmiöllä voi olla myös positiivisia vaikutuksia kaupunkiluontoon. Kasvukausi on monissa kaupungeissa pidempi, joka tarkoittaa kasvien aikaisempaa kukintoa (Drebs et al. 2023). Tästä on hyötyä esimerkiksi kaupunkiviljelyssä. Lämpimämpi ilmasto saattaa olla sopiva kasvupaikka myös biodiversiteettiä lisääville kasvi- tai eläinlajeille. Esimerkiksi tammivyöhykkeen ja sen lajiston leviäminen on havaittavissa Etelä-Suomessa ja Tampereen alueella. (Sitowise, 2022.)

4. LÄMPÖSAAREKEILMIÖN HILLITSEMINEN SUOMESSA

Suomi kuuluu lumi- ja metsäilmaston kostea- ja kylmätalviseen tyyppiin Köppenin luokituksen mukaan. Tämä tarkoittaa, että lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on $+10^{\circ}\text{C}$ tai sen yli ja kylmimmän kuukauden keskilämpötila on ylintään -3°C (Ilmatieteenlaitos n.d). Lämpösaarekkeisiin liittyvä tutkimus on keskittynyt pitkälti matalille ja keskitason leveysasteille ja pohjoiset leveysasteet ovat jääneet vähemmälle huomiolle (Drebs et al. 2023). Tutkimusten vähäisyys ei kerro kuitenkaan siitä, etteikö lämpösaarekeilmiötä esiintyisi myös Suomessa ja muissa pohjoisissa maissa. Lämpösaarekeilmiö on Suomen ilmastovyöhykkeellä yleinen ja huolimatta pohjoisesta sijainnista, ilmiö voi johtaa korkeisiin lämpölukemiin kesällä (Brozovsky et al. 2021). Suomen kaltaisessa pohjoisessa maassa helteen aiheuttamat oireet voidaan kokea voimakkaampana kuin lämpimämissä maissa. Kaupunkiluonnon suojeleminen on tärkeä syy tutkia lämpösaarekeilmiötä myös Suomessa.

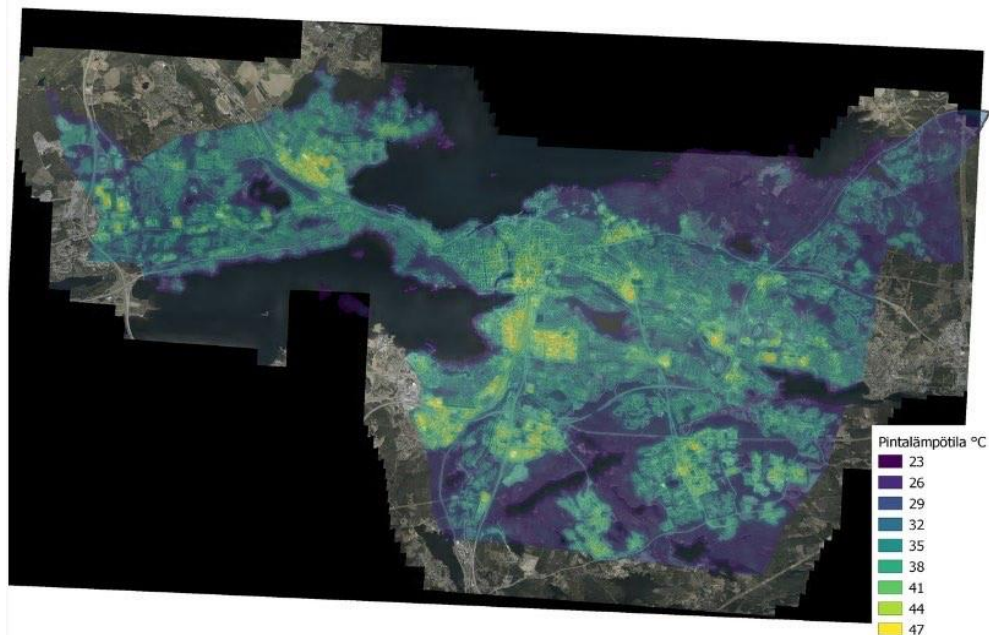
Lämpösaarekeilmiötä on tutkittu suomalaisissa kaupungeissa ilmalämpötiloihin perustuvilla mittauksilla monissa suurissa kaupungeissa. Ilmalämpötilaan perustuvaa tutkimusdataa löytyy ainakin Turusta, Helsingistä, Lahdesta, Joensuusta, Hyvinkäältä ja Oulusta (Drebs et al. 2023). Satelliittikuviin perustuvaa tutkimusta on tehty Espoosta (Sitowise, 2022). Kuten aikaisemmin on käsitelty (ks. kappale 2), paikalliseen pienilmastoon vaikuttavat aina paikan yksilölliset piirteet. Myös Suomen sisällä tehdyissä mittauksissa on havaittavissa eroja kaupunkien välillä. Turun keskusta-alueelta laaditun lämpösaareketutkimuksen mukaan keskusta-alue on keskimäärin noin 2 astetta lämpimämpää, kuin sitä ympäröivät alueet. Voimakkaimmillaan lämpötilavaihtelu voi olla jopa 10 astetta. Ilmiö ei ole Turussa jatkuvaa, vaan ajoittain keskusta-alueella voi esiintyä kylmäsaarekkeita, jolloin lämpötila on kaupungissa keskimäärin kylmempää kuin sen ympäröivillä alueilla. (Suomi, 2014.) Lahden keskusta-alueella esiintyvä lämpösaarekeilmiö on voimakkaimmillaan kesällä (Suomi 2018). Helsingissä tehdystä tutkimuksesta vuoden kestävä mittaussjakson aikana havaittiin suurimmillaan 4 asteen ilmalämpötilaeroja Kaisaniemen havaintoasemaan verrattuna (Drebs, 2011).

4.1 Esimerkkinä Tampereen lämpösaarekeilmiö

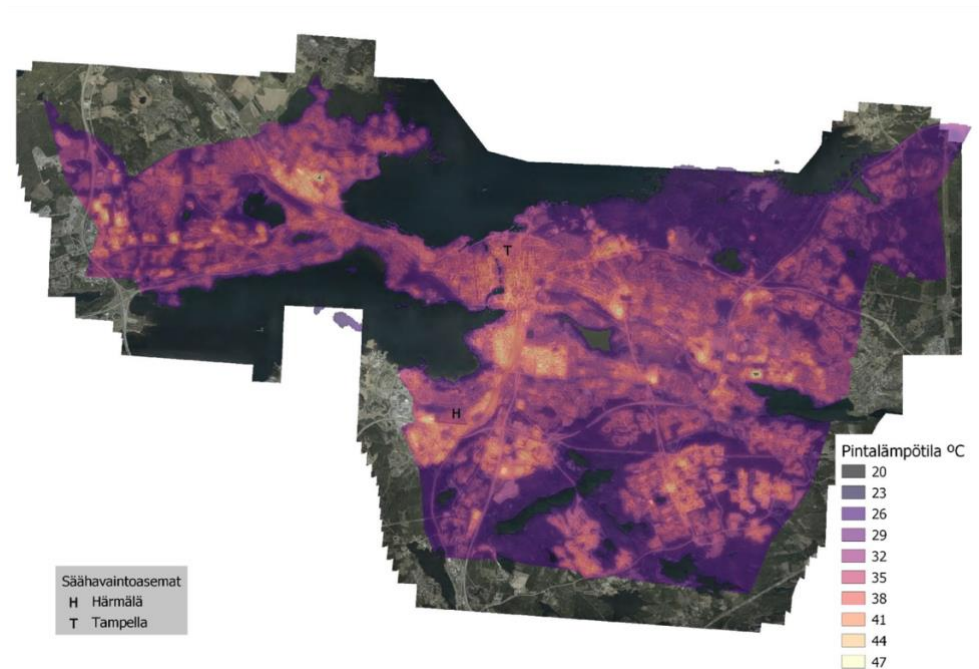
Tampereen kaupungin laatimassa ja Sitowisen toteuttamassa Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiötutkimuksessa mitattiin maanpinnan ja ilman lämpötiloja kuumina kesäpäivinä vuosina 2015–2021. Tutkimus tarkastelee keskusta-alueen lämpösaarekeilmiön voimistumista valitulla ajanjaksolla ja antaa myös näkemyksen siitä, miten ilmiö tulee kehittymään vuoteen 2035 mennessä. Tutkimus esitti myös syitä Tampereen lämpösaarekeilmiön takana. Tutkimusainestoa verrattiin yleiskaavan kartta-aineiston kanssa. Aineistosta pystyttiin nostamaan esiin ongelmakohtia, jossa lämpösaarekeilmiöön pitäisi kiinnittää erityistä huomiota. Tutkimuksen alussa laadittiin kartta yhdeltä kuumalta päivältä (3.7.2021), jossa tarkasteltiin satelliittidatan perusteella maan pinnan lämpötilaeroja. Vaihteluväli kantakaupungin maanpinnan lämpötiloissa oli +23 asteesta yli +47 asteeseen. Mittauspäivänä ilmalämpötila oli korkeimmillaan +28°C 2 metrin korkeudella (Kartta 1). Tutkimuksessa laadittiin myös yhdistelmäkartta, jossa tutkittiin maan pintalämpötiloja vuosilta 2015–2021 (Kartta 2). Yhdistelmäkartta esittää maan pintalämpötiloja kuumimpina kesäpäivinä sillä tavoitteena oli havainnollistaa Tampereen kaupunkia juuri kuumina ajankohtina. On huomattavaa, että maanpinnan lämpötila on monin paikoin lämpimämpää, kuin ilmanlämpötila 2 metrin korkeudelta mitattuna. Tutkimuksessa viileät alueet määriteltiin käyttäen +26°C raja-arvoa maanpinnan lämpötilaa mitattaessa ja alueen ollessa vähintään 0,75 hehtaarin kokoinen. Kuumien alueiden maanpinnan lämpötilan raja-arvoksi määritettiin +35°C. Selvityksen mukaan muuta ympäristöä lämpimämmällä vyöhykkeellä asuu Tampereen kaupungin väestöstä yli 60 %. Maanpinnan lämpötilaero keskusta-alueen ja lähimaaseutualueen välillä on paikoin jopa 18°C. Tutkimus arvioi Tampereen lämpösaarekeilmiön voimistuvan ilmastonmuutoksen etenemisen myötä. (Sitowise, 2022)

Tämänhetkiset lämpösaarekkeet osuvat kaupungin teollisuusalueille ja palveluiden ja työpaikkojen alueille. Näille ominaista ovat laajat asfalttipinnoitetut alueet ja korkeat rakennukset. Tutkimuksen mukaan yksi merkittävimmistä syistä Tampereen lämpösaarekeilmiöön onkin läpäisemättömän pinnan määrä ja niiden laajuus sekä tiivis rakentaminen suhteessa alueen pinta-alaan. Laajojen vesistöjen läheisyys Tampereen keskusta-alueella vaikuttaa lieventävästi paikalliseen lämpösaarekeilmiöön. Keskustan sijainti kahden suuren järven välisellä kangaksella vaikuttaa myös kaupungissa vallitseviin tuuliin. Tuulen viilentävä vaikutus on paikoin merkittävä erityisesti keskustan kaduilla, joihin tuuli kuljettaa järviltä kosteaa ja viileää ilmaa. Sen sijaan tuulettomilla

paikoilla, kuten rakennusten sisäpihoilla voi lämpötilat käydä hyvinkin tukaliksi. Kalevassa kerrostaloalueet asettuvat monin paikoin pitkittäin vallitsevien tuulten suuntaisesti, jolloin piha-alueet pysyvät viileinä tuulisina päivinä. Täytyy huomata, että helteellä tuuli on usein tyyntä, jolloin sen viilentävä vaikutus ei ole merkittävä. Lisäksi tuulten viilentävä vaikutus koskee myös talviaikaa, jolloin ilmiötä ei koeta yleisesti miellyttävänä. Selvityksessä huomattiin, että puuston ja viheralueiden määrällä on lievä viilentävä vaikutus. Metsäiset alueet vesistön lähellä olivat huomattavasti viileämpiä kuin muut lähialueet. (Sitowise, 2022)



Kartta 1. Ilmakuva yhdeltä kuumalta päivältä (3.7.2021). (Sitowise, 2022)



Kartta 2. Yhdistelmäkartta vuosilta 2015–2021. (Sitowise, 2022)

Tampereen keskusta-alueella on monin paikoin otettu huomioon ilmastonmuutoksen hillitseminen. On kuitenkin väistämätöntä, että globaali ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan myös Tampereen kaupungissa. Tutkimuksen mukaan Tampereella hyvin kuumien päivien määrä tulee kasvamaan vuoteen 2035 mennessä noin 64 % ja vuoteen 2090 jopa 80 %. Vuosisadan loppuun mennessä hyvin kuumia päiviä tulee olemaan Tampereella noin 50 vuodessa. Raja-arvona mittauksessa käytettiin $+22,2^{\circ}\text{C}$. Tulevaisuuden skenaarioita on arvioitu käyttämällä IPCC:n (Intergovernmental Climate Change) arviointiraporttia, jossa ilmastonmuutosta on onnistuttu hillitsemään kohtalaisesti. Tulokset sisältävät siis jonkin verran epävarmuutta. (Sitowise, 2022)

Tutkimus teki selvityksen siitä, miten lämpösaarekeilmiö ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat sään ääri-ilmiöt tulevat vaikuttamaan Tampereen kantakaupungin siniviherrakenteeseen ja kaupunkiluontoon. Kuumuudesta ja kuivuudesta kärsivät erityisesti pienvesistöt ja kuusimetsät. Kuuset ovat erityisen haavoittuvaisessa asemassa sillä niitä koettelee kuumuuden ja kuivuuden lisäksi tulvat, myrskyt ja tuholaiset. Kuusi on tärkeä osa Suomalaisen luonnon biodiversiteettiä ja se toimii pesä- ja suojapaikkana monille pieneläimille mm. uhanalaiselle liito-oravalle. Tampereen kantakaupungin metsäalueella kuusi on hyvin yleinen puulaji. Kuusimetsät sijoittuvat suurilta osin viilleille alueille.

Pienvesistöjen, kuten lampien tai purojen haavoittuvuus on suurta kevään loppupuolella tai kesällä, kun pitkät helle- ja kuivuusjaksot alkavat yleistyä. Kuumilla alueilla sijaitsevat lammet tai purot voivat kuivua kokonaan, jolloin niiden eliöt ja kasvillisuus on vaarassa kadota. Myös veden lämpötilannousu on pienvesistöjen lajistolle uhka. Veden lämpötilannousu voisi myös rehevöittää pienvesien vesikasvillisuuden. Tällöin veden virtaus voisi vähentyä ja tulvariski kasvaa. Tutkimusalueella sijaitsevista pienvesistöistä Härmälänoja, Vihiojan alajuoksu sekä Pyhäojan keskiosa sijoittuvat kuumien lämpösaarekkeiden alueelle. Tutkimus nosti esiin myös mahdollisessa vaarassa olevia pienvesistöjä, jotka olivat laskuoja Iidesjärveltä Pyhäjärvelle ja Ruskon teollisuusalueen vierellä sijaitseva Tauskonoja. (Sitowise 2021.) On mahdollista, että kuumeneva maanpinta vaikuttaa myös pohjaveteen (Brozovsky et al. 2021).

Tutkimus tarkastelee myös sosiaalista haavoittuvuutta suhteessa lämpösaarekeilmiöön. Kuumille lämpösaarekkeille altistuvia vanhuksia (+ 75 v) asuu eniten Hervannassa, Linnanmaan terveysaseman lähistössä ja keskusta-alueella. Päiväkodit sijoittuvat Tampereen keskusta-alueella pääosin lämpösaarekkeiden ja viileiden alueiden välille. Toisaalta monet Tampereen keskusta-alueen leikkipaikat sijoittuivat kuumille alueille, joissa maanpintalämpötila oli +35–40°C. (Sitowise, 2021.) Lapset ja vanhukset kuuluvat riskiryhmään, jolle lämpöstressi on erityisen vaarallista (Ikäheimo et al. 2019). Kunnalliset terveysasemat sekä Tampereen yliopistollinen sairaala (TAYS) sijoittuvat kaikki lämpösaarekkeiden sisälle ja maanpintalämpötilaltaan kuumimpiin kotiin, jossa lämpötila on +40°C tai enemmän. Täytyy kuitenkin huomioida, että maan pintalämpötilaa mittaavassa tutkimuksessa ei olla otettu huomioon puiden antamaa aurinkosuojaa tai tuulten viilentävää vaikutusta. (Sitowise, 2021.)

4.2 Lämpösaarekeilmiön hillitsemiskeinoista

Vaikka lämpösaarekkeiden muodostuminen on monimutkaista hahmottaa ja ilmiöllä voi olla paikasta riippuen hyvin erilaisia muodostumissyytä, lämpösaarekkeiden hillitsemiskeinot toistuvat usein samanlaisina. Yleisimmät hillitsemiskeinot liittyvät heijastavien pintojen ja vihreän infrastruktuurin hyödyntämiseen (Gartland, 2008, 43–53). Hillitsemiskeinojen yleisyydestä ei voi kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä siitä, kuinka hyvin ne toimivat tietyssä ympäristössä. Yang et al. (2015) tutkimus tarkastelee kriittisesti heijastavien pintojen hyödyllisyyttä lämpösaarekeilmiön hillitsemisessä. Moni tutkimustulos perustuu simulaatiokokeisiin, jolloin voi jäädä huomaamatta tulokseen vaikuttavat paikkakohtaiset tekijät (Yang et al. 2015). Onkin selvää, että tutkimustuloksiin

täytyy suhtautua kriittisesti ja ratkaisu lämpösaarekkeiden hillitsemiseksi täytyy suunnitella kaupunkikohtaisesti. Tarpeelliset keinot lämpösaarekkeiden hillitsemiseen voivat poiketa eri ilmastovyöhykkeellä tehdyissä tutkimuksissa. Suomessa vuodenaikojen vaihtelu aiheuttaa kesällä viilennyksen tarpeen, mutta talvella auringon lämpö onkin kaivattua. Tampereen lämpösaareketutkimuksen kaltaisia laajoja kaupunkikohtaisia tutkimuksia on tehty myös muualla pohjoisessa. Tutkimusta on tehty esimerkiksi Tukholmassa (Ingergård, 2021) ja Torontossa (Wang et al. 2016).

Arkkitehti tai kaupunkisuunnittelija pystyy vaikuttamaan lämpösaarekeilmiön hillitsemiseen erilaisin suunnitelmallisoin keinoin. Kaupunkilaisten lämpömukavuuden tukemiseksi ja kaupunkiluonnon ylläpitämiseksi näiden suunnittelukeinojen toteuttaminen on erittäin tärkeää. Kartoittamalla erilaisia väestöryhmiä voidaan kiinnittää erityishuomiota paikkoihin, joissa sijaitsee haavoittuvaisessa asemassa olevaa väestöä. Myös kaupunkiluonnon haavoittuvuutta voidaan kartoittaa ja sen perusteella tehdä tarvittavia toimenpiteitä. Arkkitehti tai kaupunkisuunnittelija voi vaikuttaa lämpömukavuuden tukemiseen pienentämällä lämpövarastojen määrää valitsemalla lämpöominaisuuksiltaan sopivia materiaaleja (Sitowise, 2022).

4.3 Pintojen viilentäminen

Asfaltti- tai betonipinnoitteiset tiet ja jalkakäytävät ovat osa yleistä kaupunki-infrastruktuuria. Vettä läpäisemättömien ja lämpöä absorboivien materiaalien määrä kaupungissa on suuri ja niiden vaikutus lämpösaarekeilmiöön on merkittävä. Kuten kappaleessa 2.1 todettiin, asfaltin ja betonin lämpöominaisuudet ovat otollisia lämpösaarekkeiden muodostumisen kannalta. Pintojen kuumentuminen kuumina päivinä on ongelma myös pohjoisilla leveysasteilla. Tampereen lämpösaareketutkimuksessa korkein pintalämpötilan mittaustulos oli yli 40°C (Sitowise, 2021). Lämpösaarekeilmiötä voidaan hillitä muuttamalla pintojen fysikaalisia ominaisuuksia esimerkiksi lisäämällä niiden albedoa tai pienentämällä niiden kykyä varastoida lämpöä (Gartland, 2008, 51–52).

Suomessa asfalttipeite on mustan tai tummanharmaan värinen ja se muuttuu vaaleammaksi vanhetessaan. Tumman värin takia sen albedo on pieni ja se absorboi itseensä erittäin hyvin lämpöä etenkin, kun asfaltti on vielä tuoretta. Asfalttipeitteen albedon lisääminen on yleistynyt käytäntö, jolla pyritään viilentämään katutilaa.

Vaalennus tapahtuu korvaamalla asfaltin tummat sidosaineet vaaleammalla, jolloin lopputuloksena saadaan joko vaalean harmaa tai beige tienpinta. Asfaltti voidaan myös pinnoittaa vaalealla päällysteellä. Heijastavien pintojen lisäämisellä pyritään vähentämään lämmön absorboitumista kaupunkirakenteisiin ja lisäämään lämmön heijastumista takaisin ilmaan. (Gartland, 2008, 51–52.) Heijastavia pintoja on tieverkoston lisäksi lisätty myös katoille. Heijastavat kattorakenteet ovat olleet nousevassa suosiossa Euroopassa, Aasiassa sekä Etelä-Amerikassa (Yang et al. 2015).

Heijastavien pintojen hyötyjen ja haittojen punnitseminen on tärkeää. Hyödyt heijastavien kattorakenteiden kohdalla riippuvat rakennuksen sijainnista, rakenteista sekä ympäröivistä ilmasto-olosuhteista. Tutkimusten perusteella heijastavilla kattorakenteilla voisi kesähelteillä saavuttaa noin 2°C viileämmän sisälämpötilan, joka tarkoittaisi myös energian kulutuksen vähenemistä. (Yang et al. 2015.) Kuten luvussa 3 kuvattiin, kaupungeilla on vaikutus paikalliseen mikroilmastoon. Heijastavien pintojen lisääminen tuo uuden osan mikroilmaston muodostumiseen ja kaikki muutoksesta aiheutuneet tapahtumat eivät ole mieluisia. Heijastavien pintojen yleistynyt käyttö kaupungeissa on pystytty yhdistämään niiden pienilmaston muutoksiin esimerkiksi sateiden vähentymiseen ja ilmanlaadun heikkenemiseen (Yang et al. 2015). On tärkeää ottaa myös ihmisten kokemus huomioon ja selvittää, millaisia vaikutuksia heijastavilla pinnoilla on kaupungin käyttäjiin. Yang et al. huomioivat, että heijastavilla pinnoilla voi olla tavoiteltua viileämpää katutilaa päivittäisistä vaikutuksista sen käyttäjille. Pinnat heijastavat ja voimistavat näkyvän valon lisäksi myös muita auringon säteilymuotoja, kuten ultraviolettisäteilyä (UV) ja infrapunasäteilyä (Yang et al. 2015). UV-säteilyllä on ihmisille haitallista ja kasvattaa ihosyöpäriskiä (Duodecim, 2023). Pinnoilta pois heijastuva säteily voi kohdistua siis kadun käyttäjiin ja näin ollen heijastavien pintojen kaupunki-ilmastoa viilentävä vaikutus ei ole kaupunkilasten koettavissa.

Tutkimustulokset vaihtelevat sen mukaan, minkälaista indeksiä halutaan tarkastella. Yang et al. (2015) huomasivat ristiriidan tarkastellessaan heijastavien pinnoitteiden hyötyjä viilentää katutilaa. Tutkimuksessa, jossa mitattiin heijastavien tienpintojen viilentävää vaikutusta Ateenassa sijaitsevassa kaupunkipuistossa, oli käytössä ilmalämpötilaa ja tuulennopeutta mittaava indeksi. Lopputulokset olivat positiivisia ja hyvin kuumasta alueesta oli mittaustulosten perusteella pystytty saamaan melko kuuma alue. New Yorkissa tehdyssä tutkimuksessa hyödynnettiin heijastavia tiepinnoitteita,

jotta jalankulkijoiden lämpöstressiä pystyttäisiin pienentämään. Tutkimuksessa käytetyn indeksin mukaan jalankulkijoiden lämpöstressi tulisi pahentumaan heijastavista tiepinnoitteista sillä heijastavat pinnat lisäävät ihmisiin kohdistuvaa lämpösäteilyä. (Yang et al. 2015.) On siis syytä tarkastella kriittisesti simulaationa tehtyjä tutkimuksia ja huomioida niiden käyttämät tutkimusmenetelmät. Lämpöstressin kokemuksen subjektiivisuus hankaloittaa myös arviointia siitä, mikä luokitellaan hyvin kuumaksi ja mikä melko kuumaksi.

Katujen viilentäminen on mahdollista toteuttaa myös hyödyntämällä haihduntaa. Mekanismi perustuu samaan menetelmään kuin kasveilla. tekevät (ks. kappale 2.3). Markkinoille on kehitetty erilaisia huokoisia laatta- ja harkkopintoja, jotka läpäisevät vettä ja mahdollistavat veden imeytymisen maaperään. Sateella vesi pääsee kulkeutumaan huokosten läpi maahan, josta se haihtuu ilman kuivuessa ja kuumentuessa takaisin ilmaan (Gartland, 2008, 51). Äärisääilmiöiden, kuten rankkasateiden lisääntyessä ilmastomuutoksen seurauksena, on kiinnitettävä huomiota myös hulevesien imeytymiseen kaupungeissa. Huokoiset pinnoitteet helpottavat hulevesien imeyttämistä maaperään ja niiden avulla on myös mahdollista johdattaa hulevedet halutulle alueelle. Huokoisuuden takia pinnoitteet eivät kestä kovaa kulutusta asfaltin tapaan. Huokoiset pinnoitteet sopivat vähäliikenteisille kaduille, parkkipaikoille, toriaukioille ja pelastusteille. (Gartland, 2008, 52.) Huokoiset pinnoitteet voisivat helpottaa lämpörasitusta esimerkiksi päiväkotien tai vanhainkotien pihoilla.

4.4 Viheriöiden vaikutus

Osa lämpösaarekeilmiön hillitsemiskeinoista perustuvat vihreän infrastruktuurin lisäämiseen ja sen strategiseen asetteluun kaupungissa. Vihreän infrastruktuurin viilentävä vaikutus perustuu kasvien haihduntaan (ks. kappale 2.3) ja varjostamiseen. Tampereen lämpösaarekeilmiötutkimuksessa onkin nähtävissä, miten viileimmät kaupunkitilat sijaitsevat vihreillä puistoalueilla tai kaupunkivesistöjen luona (Sitowise, 2023). Lämpösaarekeilmiön lieventämisen lisäksi, vihreällä infrastruktuurilla voidaan vaikuttaa positiivisesti kaupunkien viihtyvyyteen, ilmanlaatuun ja hulevesien hallintaan (Gartland, 2008, 52–52).

Vihreä infrastruktuuri käsitteenä voidaan ymmärtää luontoperäisten tekijöiden hyödyntämisenä ympäristön ja yhteiskunnan hyväksi (Euroopan komissio 2013).

Kaupunkisuunnittelun näkökulmasta vihreällä infrastruktuurilla tarkoitetaan muun muassa kaupunkipuiden ja -puistojen, viherkattojen ja -seinämien sekä kattopuutarhojen hyödyntämistä osana kaupunkisuunnittelua. Vihreän infrastruktuurin hyödyntäminen kaupunkisuunnittelussa on hidas, mutta pitkäjänteinen keino vaikuttaa lämpösaarekeilmiön lieventämiseen ja lämpömukavuuden paranemiseen (Bowler et al. 2010). Yang et al. (2015) tutkimusraportin mukaan kylmässä ilmastossa viherkatot ovat heijastavia kattoja tehokkaampi tapa lieventää lämpösaarekeilmiötä. Suomessa vihreällä infrastruktuurilla voisi olla siis merkittävä osa lämpösaarekeilmiön hillitsemisessä.

Usein näkyvin viherinfrastruktuurin osa ovat kaupunkipuut. Saarioni et al. (2018) tutkimus korostaa kuitenkin eri kasvilajien hyödyntämisen tärkeyden. Kerrostamalla erityyppisiä lajistoja, voidaan saavuttaa viherinfrastruktuurin maksimaalinen hyöty (Saarioni et al. 2018). Viherinfrastruktuuria suunnitellessa on otettava huomioon myös sen strateginen sijoittaminen sillä haihdunnan lisäksi kaupunkipuut viilentävät katuja tuomalla varjoja. Lehtipuita voidaan käyttää parkkipaikoilla ja kaduilla tuomaan välitöntä aurinkosuojaa jalankulkijoille sekä estämään lämmön varastoitumista tienpinnoille (Gartland, 2008, 52–53). Suomessa lehtipuut mahdollistavat myös kaivatun auringon valon tulon tienpintoihin talviaikaan sillä puut pudottavat lehtensä syksyisin. Monien koulujen, tarhojen ja vanhainkotien pihat ovat avoimia ja vailla kaivattua aurinkosuojaa. Tämä näkyy myös Tampereen lämpösaareketutkimuksessa, jossa huomattiin, että kyseiset toiminnot sijoittuvat usein kuumimmille lämpösaarekkeille (Sitowise, 2021). Tämä on huolestuttavaa sillä kuumudelle altistuvat tällöin juuri haavoittuvaisimmat väestöryhmät. Suomessa koulut ovat tavallisesti vuoden kuumimpaan aikaan kiinni, mutta päiväkodeissa ja vanhainkodeissa on ympärivuotista toimintaa. Gartlandin (2008) tutkimuksen mukaan jo muutaman puun strateginen sijoittaminen voisi tuoda merkittävän helpotuksen lämpöstressin lieventämiseen.

Viileämpään kaupunkitilaan kulkevat reitit ovat osa lämpösaarekeilmiön huomioon ottavaa kaupunkisuunnittelua. Kaupungin sisällä esiintyvät lämpösaarekevyöhykkeet voivat olla laajoja ja viilentymisalueelle voi olla pitkä matka. Reitti viileämpään ilmatilaan voi olla myös hankalakulkuinen ja näin ollen ei saavutettavissa kaikille. Tampereen lämpösaarekeilmiötutkimuksessa huomioitiin myös viilentymisalueille kulkevat reitit. Viilentymisalueella tarkoitetaan tavallista kaupunkitilaa viileämpää aluetta esimerkiksi kaupunkipuistoa tai vesistöä. Reitit kuumilta lämpösaarekkeilta viileämmille alueille tulisi suunnitella esteettömiksi ja mahdollisimman lyhyiksi. (Sitowise, 2022)

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Lämpösaarekeilmiön hillitseminen on osa globaalin ilmastonmuutoksen hillintää. Hillitsemistoimet ovat osa kaupunkien laajempaa kokonaisuutta sopeutua ilmastonmuutoksen aiheuttamaan ilmaston lämpenemiseen. Kaupunkien sisällä tapahtuvalla lämpösaarekeilmiön hillitsemisellä ei ole siis vain kaupungin käyttäjille mieluisia lämpöstressiä vähentäviä seurauksia, vaan oikealla suunnittelulla pystytään vaikuttamaan ilmastonmuutoksen hillintään ja varautumaan ilmastonmuutoksesta syntyviin muutoksiin. Lämpösaarekeilmiön hillitseminen voi edesauttaa kaupunkien päästöjen vähentämisessä esimerkiksi ilmanvaihdon vähentyneen tarpeen myötä. Osa hillitsemiskeinoista edesauttaa myös kaupunkiluonnon ja sen biodiversiteetin ylläpidossa.

Lämpösaarekeilmiön hillitsemiskeinojen toimivuutta Suomessa on vaikea tarkastella puuttuvan informaation vuoksi. On selvää, että osa muualla käytetyistä metodeista ei sovellu Suomen ilmastoon ja saattaisi aiheuttaa ei-toivottuja seurauksia. Esimerkiksi heijastavien pintojen käyttö ei ole täysin riskitön. Heijastavat katupinnat voivat lisätä kaupungilla kävelijän lämpöstressiä ja lisätä lämmön heijastumista esimerkiksi viereisiin rakennuksiin. Heijastavien pintojen käyttöä on syytä tarkastella kriittisesti sillä kaupunkien tulisi olla turvallisia sen kaikille käyttäjille. Lisäksi Suomen vuodenaikojen vaihtelu aiheuttaa ongelmia heijastavien pintojen käytössä sillä talvella pintoihin absorboituva lämpö voi olla toivottua. Rakennuksiin esimerkiksi mustan katon kautta imeytyvä lämpö voi auttaa säästämään energian kulutusta kylminä kuukausina.

Ihmisten ja luonnon hyvinvoinnin pitäisi olla etusijalla kaupunkisuunnittelussa. Tästä syystä vihreän infrastruktuurin hyödyntäminen ja vettä läpäisevien pintojen käyttö voisi sopia Suomessa lämpösaarekeilmiön hillitsemiseen. Tiiviissä kaupungissa vihreän infrastruktuurin sijoittaminen on haastavaa. Ratkaisu voisi löytyä viherkattojen ja kattopuutarhoja hyödyntämällä. Myös erilaiset viherseinämät ja pergolat toimivat hyvin ahtaammilla alueilla. Suomessa viherinfrastruktuurin hyödyntäminen mahdollistaa myös kaivatun auringonvalon pääsyn talvella tienpintoihin. Lehtipuut tuovat varjoa kesäisin ja päästävät valon lävitseen talvisin. Vettä läpäisevien pinnat ovat tehokas tapa hillitä lämpösaarekeilmiötä. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin niiden hauraus. Erilaisia ruohokiviä ja huokoisia laattoja voitaisiin hyödyntää alueilla, jossa ei ole paljoa

autoliikennettä esimerkiksi päiväkotien pihilla sekä torialueilla. Vihreän infrastruktuurin potentiaalin maksimoimiseksi, vihreäinfrastruktuuri on otettava huomioon kokonaisvaltaisessa kaupunkisuunnittelussa.

Vaikka lämpösaarekeilmiön hillitseminen on Suomen kaupungeissa vasta alussa, on ilmiö ja sen hillitsemiskeinot otettava vakavasti tutkintaan. Tutkimusten mukaan pohjoisen väestön haavoittuvuus kuumuuden aiheuttamalle lämpöstressille ja siitä aiheutuville oireille on suuri verrattuna lämpimän ilmaston väestöön. Suomessa tapahtuvan voimakkaan kaupungistumisen voidaan olettaa vaikuttavan lämpöstressin aiheuttamien terveysriskien määrään. Tampereen lämpösaarekeilmiötutkimuksen kaltaiset tietopaketit edistävät kaupunkikohtaisten lämpösaarekeilmiön hillitsemiskeinojen löytymistä. Tutkimusten avulla pystytään reaktiivisen suunnittelun sijaan toteuttamaan ennakoivaa suunnittelua.

LÄHTEET

Abdel-Ghany. A.M, Al-Helal. I.M, Shady. M.R. (2013) Human Thermal Comfort and Heat Stress in an Outdoor Urban Arid Environment: A Case Study, *Advances in meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2013/693541>

Akobari. H, Menon. S, Rosenfield. A. (2009) Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO2. *Clim. Change*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-008-9515-9>

Bowler. D, Buyung-Ali. L, Knight. T.M, Pullin. A.S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*. s. 147–155.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204610001234>

Brozovsky. J, Gaitani. N, Gustavsen. A. (2021) A systematic review of urban climate research in cold and polar climate regions, NTNU – Norwegian University of Science and Technology.
https://www.researchgate.net/publication/346869714_A_systematic_review_of_urban_climate_research_in_cold_and_polar_climate_regions

Drebs. A, Suomi. J, Mäkelä. A. (2023). Urban heat island research at high latitudes — utilising Finland as an example, *Boreal environment research*. s. 81–96.
<http://www.borenv.net/BER/archive/pdfs/ber28/ber28-081-096.pdf>

Drebs. A, Suomi. J, Väyrynen. R, Kaate. I. (2012) Kaupungin lämpösaarekkeen ominaispiirteitä. Ilmastokestävä kaupunki.
<https://ilmastotyokalut.fi/files/2014/10/Lämpösaarekkeen-ominaispiirteet.pdf>

Drebs. A. (2011) Helsingin lämpösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä. Pro gradu tutkielma, Helsingin yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/items/c6280825-1f94-4348-b8c201bfb3686433>

Emetere. M.E. (2022), Typical environmental challenges. Numerical Methods in Environmental Data Analysis. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/thermal-comfort>

Euroopan komissio (2013). Green infrastructure (GI) – Enhancing Europe's natural capital. Verkkosivu. Viitattu: 8.4.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52013DC0249>

Gartland. L. (2008). Heat Islands – Understanding and Mitigating Heat in urban Area, Oxon ja New York: Earthscan.

Howard. L. (1833). The Climate of London, Reprint International Association for Urban Climate.

Igergård. F. (2021). Addressing the urban heat island effect in Stockholm. An analysis of its presence and relation to land cover and urban planning. Opinnäytetyö, Kunliga Tekniska Högskolan (KTH), School of Architecture and the Built Environment (ABE). <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1570312&dswid=5751>

Ikäheimo. T, Jaakkola. J. (2019) Ulkoilman ääriämpötilojen terveysvaikutukset ja niihin varautuminen. Duodecim-lehti. <https://www.duodecimlehti.fi/duo15206>

Ilmatieteenlaitos (n.d). Suomen ilmastovyöhykkeet. Nettiaartikkeli viitattu 19.3.2024 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ilmastovyohykkeet>

Keller. R. (2013). Place Matters: Mortality, Space, and Urban Form in the 2003 Paris Heat Wave Disaster, French Historical Studies. s. 299–330.

<https://read.dukeupress.edu/french-historical-studies/article-abstract/36/2/299/9746/Place-Matters-Mortality-Space-and-Urban-Form-in?redirectedFrom=fulltext>

Kollanus. V. (2016). Hyvä paha helle. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL).
Nettiartikkeli viitattu 10.3.2024. <https://blogi.thl.fi/hyva-paha-helle/>

Mills. G. (2008). Luke Howard and The Climate of London, Weather. Dublin: UCD

Ruuhela.R, Votsis. A, Kukkonen. J, Jylhä. K, Kankaanpää. S, Perrels. A. (2021)
Temperature-Related Mortality in Helsinki Compared to Its Surrounding Region Over
Two Decades, with Special Emphasis on Intensive Heatwaves, Atmosphere.
<https://www.mdpi.com/2073-4433/12/1/46>

Saaroni. H, Amorim. J.H, Hiemstra. J.A, Pearlmutter. D. (2018) Urban Green
Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and
findings across different climatic regions, Urban climate s. 94-110.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095518300579>

Sitowise (2022). Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiö, Tampereen kaupunki.
https://www.tampere.fi/sites/default/files/2023-02/yk051_Lämpösaarekeilmiö_11.11.2022__0.pdf

Sosiaali- ja terveysministeriö (2021). Ilmastonmuutos sosiaali- ja terveyssektorilla.
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163160/STM_2021_20_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Suomi. J. (2018). Extreme temperature differences in the city of Lahti, southern Finland:
Intensity, seasonality and environmental drivers, Weather and Climate Extremes.
<https://www.utupub.fi/handle/10024/160432?show=full>

Suomi. J. (2014). Characteristics of urban heat island (uhi) in a high -latitude coastal city – a case study of Turku, SW Finland, Turun yliopisto. <https://www.utupub.fi/handle/10024/101035>

Terveyden ja hyvinvoinninlaito (THL) (n.d.). Helteen terveystaitat. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2024. <https://thl.fi/aiheet/ymparistoterveys/helle/helteen-terveyshaitat>

Terveyskirjasto (2023). Duodecim. Nettiartikkeli viitattu 4.4.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00682>

Turun yliopisto (n.d). Konvektio. Nettiartikkeli viitattu 9.4.2024. <https://www.astro.utu.fi/zubi/phys/convect.htm>

Turun yliopisto (2014). Lämpösaarekeilmiön ymmärtäminen tukee kaupunkisuunnittelua. Nettiartikkeli viitattu 12.3.2024. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/lamposaarekeilmion-ymmartaminen-tukee-kaupunkisuunnittelua>

Tzavali. A, Paravantis. J, Mihalakakous. G, Fotiadi. A.E, Stigka. E. (2015). Urban heat island intensity: a literature review. Fresenius Environmental Bulletin. s. 4536–4550 https://www.researchgate.net/publication/298083233_Urban_heat_island_intensity_A_literature_review

Wang. Y, Berardi. U, Akbari. H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. Energy and Buildings. s. 2–19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881530075X>

Yang. J, Wang. Z, Kaloush. K.E. (2015). Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a ´silver bullet for mitigating urban heat island?, School of Sustainable Engineering and the Build Environment. s. 830–843. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115002452>

Yhdistyneet kansakunnat, YK (2023). Kestävät kaupungit ja yhteisöt. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2024. <https://unric.org/fi/tavoite-11/>

KUVALÄHTEET

Kaavio 1: Turun Yliopisto, 2014. Kaupungin lämpösaarekeilmiön intensiteetti eri alueilla
Saatavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/lamposaarekeilmion-ymmartamentukee-kaupunkisuunnittelua>

Kartta 1: Sitowise, 2022. Ilmakuva yhdeltä kuumalta päivältä (3.7.2021). Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiö. Saatavissa: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2023-02/yk051_Lämpösaarekeilmiö_11.11.2022__0.pdf

Kartta 2: Sitowise, 2022. Yhdistelmäkartta vuosilta 2015–2021. Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiö. Saatavissa: https://www.tampere.fi/sites/default/files/202302/yk051_Lämpösaarekeilmiö_11.11.2022__0.pdf