



**SITOWISE**



## **Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiö**

Kantakaupungin vaiheyleiskaava, valtuustokausi 2021-2025

Tampereen kaupunki 11.11.2022

Sitowise / Vilja Larjosto, Pasi Haapakorva, Niklas Sädekoski, Leonardo Soria-Hernández, Christopher Erdman, Kati Kankainen ja Eero Puurunen

ID: 6238123

## Sisällys

Tiivistelmä .....	5
Lämpösaarekeilmiö Tampereen kantakaupungissa .....	5
Kaupunkirakenne .....	6
Haavoittuvuudet.....	7
Suosituksia yleiskaavaan .....	7
1 Johdanto .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn rakenne ja menetelmät.....	8
1.3 Sanasto .....	9
2 Lämpösaarekeilmiö: Tutkimus- ja kirjallisuuskatsaus .....	11
2.1 Kirjallisuuskatsauksen tiivistelmä .....	11
2.2 Lämpösaarekeilmiön esiintyminen, syyt ja tekijät .....	12
2.2.1 Lämpösaarekettä voimistavat tekijät.....	12
2.2.2 Lämpösaarekeilmiön vaihtelu .....	13
2.2.3 Havaintoja pohjoisesta.....	14
2.3 Lämpösaarekeilmiön seuraukset .....	14
2.3.1 Kuolleisuus ja terveyshaitat.....	15
2.3.2 Viilennys .....	16
2.3.3 Vaikutukset ilmanlaatuun .....	16
2.3.4 Vaikutukset kaupunkiluontoon .....	16
2.3.5 Vaikutukset talvikaudella .....	17
2.4 Menetelmät lämpösaarekeilmiön ja sen vaikutusten selvittämiseksi .....	17
2.4.1 Lämpösaarekeilmiön esiintymisen tutkimusmenetelmät.....	17
2.4.2 Haavoittuvuuden arviointi .....	19

2.5	Lämpösaarekeilmiön ehkäiseminen ja siihen varautuminen.....	20
2.5.1	Terveyshaittojen vähentäminen .....	20
2.5.2	Vihreä infrastruktuuri .....	21
2.5.3	Rakennukset ja pintamateriaali .....	22
2.6	Esimerkkejä muista kaupungeista .....	23
2.6.1	Tukholma .....	23
2.6.2	Espoo .....	24
2.6.3	Toronto.....	24
2.6.4	Wien.....	26
2.6.5	Portland .....	28
3	Lämpösaarekkeet Tampereen kantakaupungissa .....	30
3.1	Lämpösaarekekartta .....	30
3.1.1	Kuuman ajankohdan kartta .....	30
3.1.2	Yhdistelmäkartta .....	33
3.1.3	Työssä käytetyt menetelmät ja aineistot.....	36
3.2	Lämpösaarekkeet suhteessa kaupunkirakenteeseen ja kantakaupungin yleiskaavatilanteeseen.....	37
3.2.1	Nykytilanne .....	37
3.2.2	Kantakaupungin —yleiskaavatilanne .....	37
4	Lämpösaarekeilmiötä voimistavat tekijät Tampereella .....	41
4.1	Kaupunkirakenteen analyysi.....	41
4.2	Ilmastonmuutoksen vaikutus lämpötiloihin .....	45
5	Haavoittuvuudet kuumuusjaksoille Tampereella .....	46
5.1	Sosiaalinen haavoittuvuus.....	46
5.1.1	Väestö ja rakennuskanta.....	46
5.1.2	Leikkipaikat .....	49
5.2	Siniviherrakenne ja kaupunkiluonnon haavoittuvuus.....	52
5.2.1	Pienvesien riskikohteet .....	55
6	Eriyisen lämpimät vyöhykkeet ja pääsy viileään .....	57

6.1	Menetelmä ja rajaus .....	57
6.2	Väestön sijoittuminen.....	63
6.3	Kaupunkirakenne.....	63
6.4	Viileät vyöhykkeet .....	64
6.5	Pääsy viileään .....	65
6.5.1	Menetelmän rajoitteet .....	68
7	Kaupunkirakenteen tyypit ja lämpösaarekeilmiön paikallisten vaikutusten mallintaminen .....	70
7.1	Havaintoja neljästä tyypistä .....	70
7.2	Menetelmä .....	79
7.2.1	Maanpeite.....	79
7.2.2	UTCI-pienilmastomallinnus .....	79
7.2.3	Rajoitteet .....	80
8	Suosituksia yleiskaavaan .....	82
8.1	Suosittelavia jatkoselvityksiä .....	88
9	Loppusanat.....	89
10	Lähteet .....	90
11	Liitteet .....	94
	Liite 1. Pintalämpötilan yhdistelmäkartan ajankohtien valinta	
	Liite 2. Kaupunkirakenteen tyypit ja UTCI-mallinnus	
	Liite 3. Kartat	
	Kartta 1. Pintalämpötila ja ilmakehä	
	Kartta 2. Pintalämpötila yhdistelmäkartta	
	Kartta 3. Pintalämpötila ja yleiskaavatilanteen yhdyskuntarakenteen teemakartta	
	Kartta 4. Pintalämpötila ja yleiskaavatilanteen viherympäristön ja vapaa-ajan palveluiden teemakartta	
	Kartta 5. Pintalämpötila ja iäkäs väestö, päiväkodit ja terveysasemat	
	Kartta 6. Pintalämpötila ja rakennukset ennen 1960-lukua	
	Kartta 7. Pintalämpötila ja leikkipaikat	
	Kartta 8. Pintalämpötila ja haavoittuva kaupunkiluonto	

- Kartta 9. Pintalämpötila ja pienvedet päivitetty
- Kartta 10. Pintalämpövyöhykkeet 3.7.2021 kartalla
- Kartta 11. Pintalämpövyöhykkeet sekä asuinrakennukset
- Kartta 12. Pintalämpövyöhykkeet sekä työpaikkarakennukset
- Kartta 13. Pintalämpötila yhdistelmäkartta kuumat vyöhykkeet
- Kartta 14. Pääsy viileään
- Kartta 15. Pääsy viileään ja puusto, osasuurennos

Kannen kuva: Visit Tampere Oy, Laura Vanzo

## Tiivistelmä

### Lämpösaarekeilmiö Tampereen kantakaupungissa

Työssä on raportoitu lämpösaarekeilmiön esiintymistä Tampereen kantakaupungissa. Työn aluksi laadittiin kartta, joka esittää maan pinnan lämpötiloja kuumana kesäpäivänä. Karttaa tutkittiin kaupungin ilmakuvan kanssa. Siitä todettiin, että kuumimpia alueita ovat teollisuusalueet, joilla on suuria rakennuksia ja laajoja kasvittomia pintoja kuten leveää katutilaa. Viileimpiä alueita ovat vesistöjen liepeillä sijaitsevat metsäiset alueet. Työn jatkuessa laadittiin myös yhdistelmäkartta maan pintalämpötiloista kahdeksalta kuumalta ajankohdalta vuosina 2015–2021. Vaikka lämpötilat hieman vaihtelevat, kuumat ja viileät alueet sijaitsevat samoilla alueilla, saman tyyppisessä kaupunkirakenteessa.

Kuuman ajankohdan pintalämpötilakarttaa tarkasteltiin myös kantakaupungin yleiskaavatilanteenkartta-aineiston kanssa. Yhdyskuntarakenteen ja viherverkoston teemakartoilta tunnistettiin kehitysalueita, joilla lämpösaarekeilmiö tulee erityisesti ottaa huomioon: Nykyiset lämpösaarekkeet osuvat josain määrin keskusta-alueille sekä erityisesti merkintöihin ”palvelujen ja työpaikkojen sekoittunut alue tai kohde”. ”Ohjeellisten

viherverkoston yhteystarvealueiden” merkinät sijoittuvat joissain paikoin lämpösaarekealueiden päälle. Niillä voisi jatkossa olla merkityksellinen rooli lämpösaarekeilmiön lieventämisessä erityisesti palvelujen ja työpaikkojen sekoittuneilla alueilla. On myös aiheellista tarkastella, voisiko yleiskaavassa esittää ympäristöönsä kuumempiin aluekeskuksiin muuta viherympäristöä kuin pyörä- ja virkistysyhteyksiä.

Havaintojen, kirjallisuuskatsauksen sekä tilastollisen analyysin avulla tulkittiin Tampereen kantakaupungin lämpösaarekkeeseen vaikuttavia tekijöitä. Näistä merkittävimpiä ovat lämpösaarekkeen pinnan määrä, jonka laaja osuus vaikuttaa selkeästi korkeampiin maan pinnan lämpötiloihin. Runsaalla puuston määrällä todettiin olevan lievä lämpötiloja alentava vaikutus. Tilastoanalyysin avulla ennustettiin kantakaupungin mittakaavassa, millainen vaikutus eri maanpeitteen lisäämisellä olisi maan pinnan lämpötiloihin. Lisäksi esitettiin arvio ilmastonmuutoksen vaikutuksista ilman lämpötilojen nousuun. Hyvin kuumien päivien määrä kasvaa Tampereella n. 64 % vuoteen 2035 mennessä ja vuosisadan lopulla päiviä arvioidaan olevan 50 vuodessa. On myös hyvä huomata, että vaikka kylmärasituskin on oma riskinsä, niin lämpösaarekeilmiö korostuu kaupungeissa verrattuna muihin alueisiin (Ruuhela et al. 2021).

Lämpötilojen jakaumaa tutkittiin suhteessa väestön määriin, ja määriteltiin kartalle

lämpimät vyöhykkeet, joilla lämpösaarekeilmiön lieventämiseen tulisi erityisesti kiinnittää huomiota. Raja-arvoksi valittiin +35 °C. Kuuman ajankohdan kartalla kyseisellä muuta ympäristöä lämpimämmällä vyöhykkeellä asuu yli 60 % Tampereen kaupungin väestöstä. Vyöhykkeen määritelmä perustuu yhteen ajankohtaan, samoin kuin väestömäärät. Yhdistelmäkartan lämpötila on kauttaaltaan pari astetta alhaisempi, ja lämpimimmät vyöhykkeet ovat hieman pienempiä. Ilmaston lämpenemistä ajatellen on kuitenkin perusteltua tarkastella kuumaa ajankohtaa. Jatkossa tarkastelussa voisi kehittää väestöennuste huomioiden.

Työssä määriteltiin myös ns. viileät vyöhykkeet, joiden raja-arvona käytettiin vähintään 0,75 hehtaarin pinta-alaa ja Korkeintaan +26 °C maan pintalämpötila. Keskustassa ei ole lainkaan viileitä vyöhykkeitä, vaan ne sijaitsevat kantakaupungin laitamilla viheralueilla sekä vesistöjen äärellä. Hakeutuminen viileään on yksi kuumuudelta suojautumisen keino. Siirtymät katuverkostoa ja ulkoilureittejä pitkin lähimpään viileään voivat olla mutkaisia.

## Kaupunkirakenne

Tampereen järvien laajat avoimet vesipinnat ja pienemmät järvet mahdollistavat tuulen virtauksen ja ovat vaikuttaneet kaupunkirakenteeseen niin, että se hengittää. Ilmakuvan sekä paikkatietoanalyysin perusteella

lämpösaarekeilmiö korostuu Tampereen kantakaupungissa erityisesti teollisuus- ja keskusta-alueilla. Keskeinen lämpösaareketta voimistava tekijä on läpäisemättömän pinnan sekä rakennusten suuri osuus alueiden pinta-alasta.

Tarkastelua tarkennettiin neljässä erilaisessa kaupunkirakenteen tyyppissä, joissa analysoitiin mallintamalla myös pienilmastoa. Näin tunnistettiin paremmin lämpösaarekeilmiöön vaikuttavien tekijöiden merkitys erilaisissa kaupunkiympäristöissä. Keskeiset havainnot ovat, että tiiviimmin rakennetuilla alueilla rakennukset tarjoavat kesäkuumalla kaivattua varjoa. Tuulisemmilla paikoilla myös tuulen viilentävä vaikutus on merkittävä. Erityisesti Tampereen keskustassa, joka on järvien välisellä kannaksella, on usein tuulista ja keskustan kadut eivät näin ollen ole välttämättä pakahduttavan kuumia. Umpikortteleiden sisäpihat sen sijaan voivat olla hyvin kuumia, jos niillä ei käy tuulen virettä, eikä tarjolla ole varjostavia puita tai rakenteita. Tuulen suotuisa vaikutus nähtiin selkeästi myös Kalevassa, jossa nauhamaisten kerrostalojen avoimet pihat ovat pääasiassa vallitsevien lounaistuulien suuntaisia. Toisaalta täytyy pitää mielessä, että helleaaltojen aikana saatetaan olla tyyntä pitkäänkin, joten tuulen viilentävää vaikutusta ei välttämättä ole tarjolla silloin, kun sitä kaivattaisiin kipeimmin. Lisäksi Tampereen ilmastossa tulee aina punnita myös tasapainoa kesäajan viihtyvyyden ja

talvikauden viihtyvyyden välillä. Tuulen viilentävä vaikutus on yhtä merkittävä tekijä myös talvella.

## Haavoittuvuudet

Haavoittuvuuksien paikallistamiseksi lämpösaarekekartalla tarkasteltiin iäkästä väestöä ja erityisesti pieniin lapsiin liittyviä päiväkotia ja leikkipuistoja, kuumaksi arvioitua vanhaa rakennuskantaa, sekä kaupunkiluonnon kuumuudelle herkkiä elementtejä eli pienvesistöjä ja kuusivaltaisia metsiä. Pienvesistöjen osalta tunnistettiin myös lämpösaarekeilmiölle herkimmät osa-alueet sekä varautumisen kannalta merkittävät arvokohteet. Näin voitiin nostaa esiin jatkotarkastelussa priorisoitavia alueita tai kohteita, joissa on mahdollisesti keskimääräistä suurempi sosiaalinen tai ekologinen haavoittuvuus. Aiheita on tutkittava tarkemmin, sillä kuumuusriskiin vaikuttaa lämpimälle alueella asumisen lisäksi esimerkiksi iäkkään henkilön terveydentila (haavoittuvuutta mahdollisesti lisäävä tekijä) ja asumismuoto (sopeutumismahdollisuudet). Väestön osalta keskeistä on myös arvio eri kaupunginosien demografisesta kehityksestä.

Jatkossa yksittäisiä luonnon monimuotoisuuden kannalta arvokkaimpia kohteita tai arvokkaita kulttuuriympäristöjä voidaan tarkastella sopeutumistoimien priorisoimiseksi. Arvioinnissa on tutkittava kohteiden nykyistä tilaa eli haavoittuvuuden astetta sekä

lämpösaarekeilmiön vaikutuksiin kytkeytyviä kaupunkikehityksen paineita.

## Suosituksia yleiskaavaan

Osana työtä laadittiin suositusten lämpösaarekeilmiön lieventämiseen sekä lämpösaarekeilmiöön varautumiseen Tampereen kantakaupungin vaiheyleiskaavassa.

Kaupunkisuunnittelussa ja -rakentamisessa on useita keinoja, joita voidaan hyödyntää lämpösaarekeilmiön lieventämisessä ja siihen varautumisessa. Yleiskaavassa voidaan erityisesti vaikuttaa kaupunkirakenteen tiiviyyteen ja sitä kautta asukastiheyteen, viheralueiden verkostoon sekä vesienhallintaan yleisellä tasolla, ja yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisen infrastruktuurin ja palveluiden sijaintiin. Suuri osa lämpösaarekeilmiön hillintäkeinoista liittyy yleiskaavaa tarkempiin suunnittelutasoihin, kuten kaupunginosien ja korttelien suunnitteluun.

Monet esitetyt suositukset liittyvät ns. vihreän infrastruktuurin hyödyntämiseen, joka on laajalti käytetty keino lämpösaarekeilmiön lieventämiseen ja siihen varautumiseen. Esiin nousi myös pääsyn helpottaminen viileämmille alueille. Tehokkaimmin lämpösaarekeilmiötä lievennetään yhdistelemällä ja toteuttamalla useita eri keinoja.



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Kaupungit ovat avainroolissa sekä ilmastonmuutoksen hillinnässä että sen vaikutuksiin sopeutumisessa ja varautumisessa. Tampereen kaupunkisuunnittelussa ilmastonmuutoksen hillintä on otettu huomioon monin tavoin. Yksi esimerkki hillintätoimista on Tampereen kaupunkirakenteen täydentäminen ja tiivistäminen. Rakentamista keskitetään jatkossakin hyvien joukkoliikenneyhteyksien, kuten raitiotien, läheisyyteen. Moninaisista hillintätoimista huolimatta ilmasto lämpenee eikä tapahtuvaa muutosta kyetä enää estämään. Siksi kaupunkisuunnittelussa joudutaan Suomen ja Tampereenkin oloissa sopeutumaan ilmastonmuutoksen seurauksena yleistuviin säään ääri-ilmiöihin, kuten helleaaltoihin.

Ilmastonmuutoksen hillitsemisen lisäksi sopeutumisen tärkeys on tunnistettu Tamperella lukuisissa yhteyksissä. Sopeutumisnäkökulma on huomioitu monissa Tampereen kaupungin suunnitelmissa, ohjelmissa ja linjauksissa sekä strategiassa (koostettuna Sitowise 2022). Tampereen yleiskaavoituksessa ilmastonmuutokseen sopeutumista on käsitelty vaiheyleiskaavassa 2017–2021. Vaikutusarvio ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja ilmatoriskien hallinnasta tehtiin vaihekaavan ehdotusvaiheen selvityksenä (Tampereen yleiskaava 2020, Siivonen 2021).

Vuosien 2021–2025 yleiskaavatyössä ilmastonmuutokseen sopeutumisen käsittelyä syvennetään ja laajennetaan. Kantakaupungissa keskeisimmiksi tunnistettujen kysymysten lisäksi tarkastelut liitetään laajempiin yleiskaavatyön ja kaupunkisuunnittelun konteksteihin.

Tämä lämpösaarekeilmiötä koskeva raportti on Kantakaupungin vaiheyleiskaavan 2021–2025 taustaselvitys. Lämpösaarekeilmiön tarkastelu on siis kohdennettu kantakaupungin alueelle. Selvitystyö on laadittu Tampereen kaupungin ilmasto- ja ympäristöpolitiikan yksikön (ILY) tilaaman ilmastonmuutokseen sopeutumisen selvityksen (Tampereen kaupunki 2021) jatkotyönä.

Työtä ovat ohjanneet Tampereen kaupungilta Taru Heikkinen, Lotta Kauppila, Kaisa Mustajärvi, Erno Mäkinen, Pia Hastio sekä Dani Kulonpää.

Sitowise Oy:ssä työn ovat toteuttaneet Vilja Larjosto, Christopher Erdman, Pasi Haapakorva, Kati Kankainen, Eero Puurunen, Leonardo Soria-Hernández ja Niklas Sädekoski.

## 1.2 Työn rakenne ja menetelmät

Selvitys koostuu kahdessa osaprojektissa tehdyistä tarkasteluista, jotka on yhdistetty yhdeksi raportiksi. Työn sisältö kehittyi ja osa aineistoista päivittyi työn edetessä. Kaikkia ensimmäisen vaiheen tarkasteluja ei

kuitenkaan uusittu toisessa vaiheessa, ja ne on jätetty sellaisenaan raporttiin.

Raportin alussa taustoitetaan lämpösaarekeilmiötä yleisesti ja esitellään kaupunkeja, joissa lämpösaarekeilmiötä on tarkasteltu ja kuumuusriskiin sopeutumista on suunniteltu.

Paikkatietopohjaisten analyysien avulla selvityksessä käsitellään Tampereen kantakaupungin alueella ilmenevää lämpösaarekeilmiötä, sekä siihen liittyviä haavoittuvuuksia. Hankkeen alussa laadittua yhden kuumen ajankohdan tarkastelua (3.7.2021) maan pinnan lämpötiloista täydennettiin myöhemmin laatimalla kahdeksan ajankohdan yhdistelmäkartta.

Haavoittuvuusanalyyseissa on käytetty pääasiassa yhden kuumen ajankohdan karttaa kuvaamaan olosuhteita, sillä kuumien päivien määrän ennustetaan yleistyvän ilmastonmuutoksen myötä. Osaprojektissa kaksi tarkasteluun lisättiin päivitettyä tietoa Tampereen kantakaupungin pienvesistöistä.

Työssä tarkastellaan syitä ja tekijöitä Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiölle. Kaupunkirakennetta on analysoitu paikkatieto- ja tilastoanalyysin avulla koko kantakaupungin alueella. Analyysia on tarkennettu eri kaupunkirakenteen tyyppeihin toteutetuilla pienilmastomallinnuksilla.

Lopuksi raportissa esitetään suosituksia yleiskaavaan sekä tarpeita jatkotarkasteluun.

Työn tarkkuustaso keskittyy yleiskaavoitukselle olennaiseksi todettuun mittakaavaan.

Selvitystyö on toteutettu kevään ja syksyn 2022 aikana kahtena kolmen kuukauden projektina. Työn laatimiseen on käytetty kirjallisuustutkimusta, säätilastoja, paikkatietoaineistoja sekä tilasto- ja paikkatietoanalyysijä. Työn menetelmät kuvaillaan eri vaiheissa toteutettujen analyysien yhteydessä niitä koskevissa kappaleissa.

### 1.3 Sanasto

#### **Albedo**

Albedo eli heijastuvuus tai heijastuskyky on pinnan kyky heijastaa siihen osuvaa säteilyä. Pinnasta heijastuneen säteilyn määrän suhde saapuvan säteilyn määrään.

#### **Emissiivisyys**

Emissiivisyys on kappaleen lähettämän säteilyn määrä verrattuna täysin mustan kappaleen säteilyyn.

#### **Evapotranspiraatio**

Evapotranspiraatio eli kokonaishaihdunta kuvaa alueelta eri tavoin haihtuvan veden kokonaismäärää, joka koostuu evaporaatiosta (maanpinnasta tapahtuvasta haihdunnasta) ja

transpiraatiosta (kasvien kautta tapahtuvasta haihdunnasta).

### **Keskisäteilylämpötila**

Keskisäteilylämpötila (mean radiant temperature, MRT) on suure, jolla määritetään kehon kokonaissäteilyvaihto ympäröivien pintojen kanssa. Keskisäteilylämpötilalla ilmoitetaan kaikkiin suuntiin kohdistuvan säteilyvaihdon keskiarvo. Tähän vaikuttavat ympäröivien pintojen ”näkyvyys” (koko ja sijainti) ja näiden lämpötila. Ulkotilassa selkeästi merkittävin keskisäteilylämpötilaan vaikuttava asia on auringon suora säteily.

### **Lieventäminen**

Lieventämisellä tarkoitetaan keinoja ja mahdollisuuksia lämpösaarekeilmiön ja sen vaikutusten pienentämiseksi erityisesti olemassa olevassa kaupunkirakenteessa. Lieventämisessä pääpaino on reagoimisessa jo todettuihin vaikutuksiin (vrt. varautuminen).

### **LST (ks. Maan pintalämpötila)**

LST (Land Surface Temperature) eli maan pintalämpötila.

### **Lämpösaareke**

Lämpösaarekkeella (Urban Heat Island, UHI) tarkoitetaan kaupungin suhteellista lämmitystä verrattuna ympäröiviin maaseutumaiisiin tai luonnontilaisempiin alueisiin.

### **Maan pintalämpötila**

Maan pintalämpötiloja voidaan laskea varsinkin satelliitin lämpökanavan mittaaman säteilyn avulla kuten tässäkin selvityksessä on tehty. Maan pintalämpötila-aineistoa eli LST-dataa on saatavilla satelliittiaineistoista (esim. Landsat 8:n avoin aineisto).

### **Mikroilmasto, pienilmasto**

Mikro- eli pienilmastolla tarkoitetaan pienen maantieteellisen alueen ilmastoa, jota kuvataan säämuuttujista (esim. lämpötila, kosteus, tuulisuus) lasketuilla pitkän ajan keski- ja ääriarvoilla. Mikroilmasto kuvaa olosuhteita metrien mittakaavatasolla. Mikroilmasto voi poiketa ympäröivän alueen ilmastosta.

### **Mesoilmasto**

Meso- eli paikallisilmasto tarkoittaa mikroilmastoa laajemmalla maantieteellisellä alueella, esimerkiksi kaupungissa tai metsäalueella, vallitsevaa ilmastoa, jota kuvataan säämuuttujista (esim. lämpötila, kosteus,

tuulisuus) lasketuilla pitkän ajan keski- ja ääriarvoilla. Mesoilmasto voi poiketa ympäröivän alueen ilmastosta.

### **Sky view factor**

Sky view factor (SVF) kuvaa ylhäältä tulevan valon varjostusten (esim. rakennukset, puut) määrää. Sitä käytetään mm. kaupunkien mikroilmastojen analysoinnissa.

### **UHI (ks. Lämpösaareke)**

UHI (Urban Heat Island) eli lämpösaareke.

### **Varautuminen**

Varautumisella tarkoitetaan lämpösaarekeilmiön ja sen vaikutusten ennakointia, huomiointia ja pienentämistä erilaisin ennakoivoin toimin. Varautumisessa pääpaino on ennakoivalla kaupunkisuunnittelulla (vrt. lieventäminen).

### **Vihreä infrastruktuuri**

Vihreä infrastruktuuri on strategisesti suunniteltu verkosto, johon kuuluu niin luonnollisia kuin ihmisen luomiakin viheralueita, pihojen kasvullisia osia, pienvesiä ja vesialueita ja muita fyysisiä luonnon elementtejä, ja joka on suunniteltu tuottamaan erilaisia

ekosysteemipalveluja ja jota hoidetaan tässä tarkoituksessa.

## **2 Lämpösaarekeilmiö: Tutkimus- ja kirjallisuuskatsaus**

### **2.1 Kirjallisuuskatsauksen tiivistelmä**

Lämpösaarekeilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa kaupungin keskustassa on korkeampi lämpötila kuin ympäröivillä alueilla. Lämpösaarekeilmiö voidaan jaotella kahteen tyyppiin: pintojen lämpösaarekeilmiöön ja ilman lämpösaarekeilmiöön. Lämpösaarekkeen muodostumiseen vaikuttavat useat eri tekijät. Rakennetut alueet, kasvillisuus ja vesistöt ovat keskeisiä selittäviä tekijöitä lämpötilaeroille. Rakennukset ja vettä läpäisemättömät pinnat nostavat pintalämpötiloja, kun taas kasvillisuus ja vesistöt toimivat lämpötilaa laskevin tekijöinä.

Ilmiön spatiaaliset ja ajalliset vuorokausi-, vuodenaika- ja vuosivaihtelut voivat olla suuria. Kaupunkien väliset erot ilmiön voimakkuudessa ovat merkittäviä, ja lämpösaarekeilmiön voimakkuus vaihtelee myös kaupungin eri osissa. Useissa tutkimuksissa teollisuusalueet ja kauppakeskukset ovat osoittautuneet kuumimmiksi alueiksi ja metsät, laajemmat kaupunkipuistot sekä vesistöt

viileimmiksi alueiksi. Ilmastonmuutoksen etenemisen ja helleaaltojen yleistymisen myötä lämpösaarekeilmiön voidaan arvioida yleistyvän kaupungeissa. Lämpöjaksoilla on monenlaisia vaikutuksia muun muassa ihmisten terveyteen ja elämänlaatuun, ja lämpösaarekeilmiö lisää kuolleisuusriskiä.

Lämpösaarekeilmiötä koskevat tutkimukset voidaan karkeasti jakaa menetelmällisesti kahteen pääkategoriaan: 1. ilman in situ -lämpötilamittauksiin perustuviin ja 2. satelliittidataan pohjautuviin, maan pintalämpötilaa (LST, Land Surface Temperature) kuvaaviin tutkimuksiin. Ilmiön arviointi satelliittidatan avulla on menetelmänä yleisesti käytetty, vaikka LST ei suoraan kuvaakaan ilman lämpötilasta aiheutuvaa lämpöstressiä ihmisille. Ilman lämpötilan käyttäminen paikkatietopohjaisissa lämpösaareketutkimuksissa ei ole yhtä yleistä kuin satelliittidatan, ilman lämpötila-aineiston maantieteellisesti harvemman saatavuuden vuoksi. Yhteys näillä kahdella eri menetelmällä tehtyjen tutkimusten välillä ei ole täysin suoraviivainen.

Suomessa lämpösaarekeilmiön esiintymistä on viime vuosina selvitetty ilman lämpötilan mittausten perusteella ainakin Turussa, Lahdessa ja Helsingissä, ja Espoossa pintojen lämpösaarekeilmiötä on tarkasteltu satelliittidatan perusteella. Myös Tukholmassa lämpösaarekeilmiötä on arvioitu satelliittidata-aineistojen pohjalta. Aihetta on tutkittu ja arvioitu myös monissa muissa kaupungeissa.

Esimerkiksi Torontossa, Wienissä ja Portlandissa on toteutettu erilaisia selvityksiä, tutkimuksia ja mallinnuksia aiheesta.

Kaupunkisuunnittelussa ja -rakentamisessa on useita keinoja, joita voidaan hyödyntää lämpösaarekeilmiön ehkäisemisessä ja lieventämisessä. Monet keinoista liittyvät ns. vihreän infrastruktuurin hyödyntämiseen, ja vihreä infra onkin laajalti käytetty keino lämpösaarekeilmiön lieventämiseen. Kiinnittämällä huomiota kaupungeissa käytettäviin pintamateriaaleihin ja niiden ominaisuuksiin voidaan myös pyrkiä hillitsemään lämpösaarekeilmiötä.

## 2.2 Lämpösaarekeilmiön esiintyminen, syyt ja tekijät

Lämpösaarekeilmiö (urban heat island, UHI) tarkoittaa pienilmaston ilmiötä, jossa kaupungin keskustassa on korkeampi lämpötila kuin ympäröivillä maaseutumaisilla tai luonnontilaisemmilla alueilla. Lämpösaarekeilmiö voidaan jaotella kahteen tyyppiin: pintojen lämpösaarekeilmiöön (surface UHI) ja ilman lämpösaarekeilmiöön (atmospheric UHI) (Leal Filho 2021).

### 2.2.1 Lämpösaareketta voimistavat tekijät

Lämpösaarekkeen muodostumiseen vaikuttavat useat eri tekijät. Keskeisimpiä lämpösaarekkeen syntyyn vaikuttavia tekijöitä ovat kaupungin rakennuksiin ja päällystettyihin

pintoihin varastoituneen auringon säteilyenergian vapautuminen lämpönä, ihmistoiminnan aiheuttama hukkalämpö ja kasvipeitteen vähäisyydestä johtuva haihdunnan vähäisyys. Myös korkeilla rakennuksilla on vaikutusta ilmiöön, sillä niiden vuoksi ilma ei pääse liikkumaan vapaasti. Lisäksi muun muassa vuoden- ja vuorokaudenajat, kaupungin maantieteellinen sijainti, koko ja väestötiheys, kaupunkirakenne ja maankäyttö, topografiset tekijät ja pintamateriaalit, kasvillisuus, ilmasto ja vallitsevat meteorologiset olosuhteet sekä ihmis- ja teollisuustoiminnot kaupungissa vaikuttavat lämpösaarekeilmiön muodostumiseen. (Drebs et al. 2014; Tzavali et al. 2015)

Rakennetut alueet, kasvillisuus ja vesistöt ovat keskeisiä selittäviä tekijöitä lämpötilaeroille. Rakennukset ja vettä läpäisemättömät pinnat nostavat pintalämpötiloja, kun taas kasvillisuus ja vesistöt toimivat lämpötilaa laskevina tekijöinä. Lämpösaarekeilmiö esiintyykin todennäköisimmin alueilla, joilla on vähän kasvillisuutta ja paljon vettä läpäisemättömiä ja heijastamattomia pintoja. Myös ihmistoiminnoista aiheutuvaa hukkalämpöä pidetään tutkimusten mukaan merkittävänä tekijänä lämpösaarekeilmiölle (Zhou et al. 2019; Brozovsky et al. 2021; Tzavali et al. 2015)

Kaupungin rakennusmateriaalien lämpöominaisuudet vaikuttavat siihen, miten paljon energiaa varastoituu ja vastaavasti miten paljon rakennukset luovuttavat energiaa

ilmakehään. Materiaaleista esimerkiksi kivi, betoni ja asfaltti absorboivat ja varaavat lämpöä. Viemäröinnin vuoksi kaupungeissa pienempi osa sadevedestä haihtuu vesihöyrynä ilmaan. Koska vesihöyry sitoo itseensä lämpöenergiaa, vähäisempi haihdunta nostaa lämpötiloja kaupungeissa. (Tzavali et al. 2015; Pilli-Sihvola et al. 2018)

### 2.2.2 Lämpösaarekeilmiön vaihtelu

Ilmiön spatiaaliset ja ajalliset vuorokausi-, vuodenaika- ja vuosivaihtelut voivat olla suuria. Satelliittidataan pohjautuvien tutkimusten mukaan erot pintalämpötiloissa kaupungin ja ympäröivien alueiden välillä ovat voimakkaimmillaan kesäisin päiväaikaan, jolloin pintojen lämpötilaero kaupunki- ja maaseutualueilla voi olla jopa yli 10 astetta. Pintalämpötiloihin pohjautuvissa tutkimuksissa ilmiön voimakkuus on muutoinkin keskimäärin suurinta päiväaikaan, kun taas ilman lämpötilamittauksiin perustuvissa tutkimuksissa ilmiö on voimakkaimmillaan yöaikaan. (Zhou et al. 2019)

Kaupunkien väliset erot ilmiön voimakkuudessa ovat merkittäviä, erityisesti päiväaikaan. Lämpösaarekeilmiön voimakkuus vaihtelee myös kaupungin eri osissa. Kaupungin sisäiset lämpötilavaihtelut voivat olla jopa suurempia kuin lämpötilaerot kaupungin ja ympäröivien maaseutumaisempien alueiden välillä. Useissa tutkimuksissa teollisuusalueet ovat osoittautuneet kuumimmiksi alueiksi.

(Zhou et al. 2019) Pintalämpötiloihin pohjautuvissa, kylmien ilmastovyöhykkeiden kaupungeissa toteutetuissa tutkimuksissa kaupakeskukset ja teollisuusalueet ovat osoittautuneet kuumimmiksi alueiksi, kun taas metsät, laajemmat kaupunkipuistot ja vesistöt viileimmiksi alueiksi. (Brozovsky et al. 2021)

### 2.2.3 Havaintoja pohjoisesta

Suomessa lämpösaarekeilmiön esiintymistä on viime vuosina selvitetty ilman lämpötilamittausten perusteella ainakin Turussa, Lahdessa ja Helsingissä (Suomi 2014; Suomi 2018; Drebs 2011). Espoossa pintojen lämpösaarekeilmiötä on puolestaan tarkasteltu satelliittidatan perusteella osana kaupungin siniviherrakenneselvitystä. Kuumimmiksi todettiin teollisuusalueet. (Espoo 2019, ks. myös kappale 2.5.2)

Tutkimusten perusteella Turussa keskusta on keskimäärin lämpimintä aluetta. Lämpötilaero keskustan ulkopuolisiin alueisiin verrattuna on keskimäärin 2 astetta, mutta suurimmillaan lämpösaarekkeen voimakkuus voi olla kymmenenkin astetta. Lämpösaarekeilmiötä ei esiinny Turussa jatkuvasti, vaan ajoittain kaupungin keskusta saattaa olla ympäristöään viileämpi. Tällöin puhutaan kylmäsaarekkeesta. (Suomi 2014) Lahdessa lämpösaarekeilmiön vaikutus on selvin kesällä, ja korkeimmillaan lämpötilat ovat kaupungin keskustassa (Suomi 2018). Helsingissä on laskettu yhden vuoden (7/2009–6/2010) aikana

tehtyjen ilman lämpötilamittausten perusteella alueellinen arvio Helsingin kaupungin lämpösaarekkeesta. Mittausjakson aikana suurimmat erot ilman lämpötiloissa olivat + 4 asteen verran, verrattuna Kaisaniemen havaintoasemaan. Yksittäiset isot rakennukset ja alakeskukset loivat selkeästi omia lämpösaarekkeita. (Drebs 2011)

Tukholmassa lämpösaarekeilmiötä on tutkittu maan pinnan lämpötilaa kuvaavaan aineistoon (Land Surface Temperature, LST) pohjautuvalla menetelmällä (Igergård 2021). Menetelmää kuvataan tarkemmin kappaleessa 2.3.1. Tutkimuksessa havaittiin noin 8 °C eroja keskimääräisissä maksimaalisissa maan pinnan lämpötilanarvoissa. Lämpösaarekeilmiötä selittäviä keskeisiä tekijöitä olivat maanpeite ja kaupunkirakenteen tyypit. Tukholman esimerkki esitellään kappaleessa 2.5.1.

## 2.3 Lämpösaarekeilmiön seuraukset

Ilmastonmuutoksen myötä keskimääräiset lämpötilat kohoavat kaikkialla Suomessa. Ilmastonmuutos tulee lisäämään sään ääri-ilmiöiden, kuten helleaaltojen voimakkuutta ja esiintymistiheyttä. Esimerkiksi Helsingissä on arvioitu, että 2050-luvulle mentäessä kohtalaisen kuumarasituksen tuntimäärät kesäisin lähes kaksinkertaistuvat ilmastonmuutoksen ja tiivistyvän kaupungin vaikutuksesta.



Toteutettujen mallinnusten perusteella kuumarasituksen voimakkuus vaihtelee alueittain. (HSY 2022)

Helleaaltojen yleistymisen myötä lämpösaarekeilmiön voidaan arvioida yleistyvän. Ilmiön yleistymisellä on monenlaisia vaikutuksia kaupungeissa. Esimerkiksi maanpinnan ja rakennusten julkisivujen lämpötiloilla on suora vaikutus ihmisen lämpöviihtyvyyteen ulkona oleillessa. Pinnoista säteilevä lämpö lisää epäviihtyvyyttä helteillä.

Lämpöjaksoilla on vaikutuksia muun muassa ihmisten terveyteen ja elämänlaatuun, ja lämpösaarekeilmiö lisää kuolleisuusriskiä. Lisäksi kuumuus- ja kuivuusjaksot heikentävät joitakin kaupunkiluonnon elinympäristöjä ja eläin- sekä kasvilajien menestymistä. Ne vaikuttavat myös esimerkiksi maatalouden tuotantoon sekä lisäävät viilennykseen käytettävää energiankulutusta.

### 2.3.1 Kuolleisuus ja terveyshaitat

Tuoreen tutkimuksen mukaan Helsingissä kuumuuteen liittyvä kuolleisuusriski on suurempi kuin Helsingin ympäröivällä alueella. Väkilukuun suhteutettuna hellekuolleisuus Helsingissä oli tutkimuksen mukaan noin 2,5-kertainen ympäröivään alueeseen verrattuna. (Ruuhela et al. 2021) Esimerkiksi heinäkuun 2010 helleaalto aiheutti arviolta 60 ylimääräistä kuolemaa HUS:n alueella, joista 30–40 tapahtui Helsingissä. (Pilli-Sihvola et al. 2018)

Kesän 2018 pitkittyneestä helleaallostani aiheutui puolestaan Suomessa noin 380 ennenaikaista kuolemaa (THL 2019).

Kuuman sään kansanterveydelliset haitat ovat kokonaisuudessaan merkittäviä, sillä lämpötilan kohotessa väestön kuolleisuus nousee jyrkästi. Väestön kuolleisuus lisääntyy selvästi vuorokauden keskilämpötilan ylittäessä noin 20 astetta. Helleaallon kestäessä neljä vuorokautta tai pidempään päivittäinen kuolleisuus nousee keskimäärin 10 %. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2021)

Kuolleisuuden lisääntymisen lisäksi kuumuus aiheuttaa myös muita terveyshaittoja, joita on tutkittu vähemmän. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu pitkien, voimakkaiden hellejaksojen lisäävän Suomessa ainakin hengityselinsairauksiin liittyvää sairaalahoidon tarvetta. FINRISKI-tutkimuksen kyselyn perusteella 80 % vastanneista kärsi helteillä ainakin lievistä haittavaikutuksista ja 7 % kertoi kokevansa hengitysoireita ja 6 % sydänoireita. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2021)

Kuumuus myös heikentää työtehoa ja lisää tauottamisen tarvetta, kasvattaen siten työn tekemisen kustannuksia. Esimerkiksi vuonna 2017 maailmanlaajuisesti menetettiin arviolta 153 miljardia työtuntia lämpöaltistumisen vuoksi. (Chavaillaz et al 2019)

Haavoittuvimpia väestöryhmiä kuumuuden haittavaikutuksille ovat erityisesti ikääntyneet, pienet lapset sekä erilaisista



pitkäaikaissairauksista kärsivät. Vakavien haittojen riski kohdistuu erityisesti yli 65-vuotiaisiin, ja väestön ikääntyminen onkin yksi ääriämpötiloista aiheutuvien terveyshaittojen todennäköisyyttä lisäävä tekijä tulevaisuudessa. Kuumuus lisää sekä kotona että terveyden- ja sosiaalihuollon hoitolaitoksissa asuvien ikääntyneiden kuolleisuutta. (Sosi- ja terveysministeriö 2021) Liiallinen kuumuus on erityisesti asuinrakennusten ongelma, koska niissä ei ole yleisesti käytössä koneellista jäähdytystä (Kosonen et al. 2021).

### 2.3.2 Viilennys

Maantieteellisesti Pohjois-Euroopan viileämmät kaupungit vaikuttavat olevan haavoittuvampia lämpöaaltojen vaikutuksille verrattuna ilmiöön paremmin sopeutuneisiin Etelä-Euroopan kaupunkeihin (Ward 2016). Pohjoisessa Euroopassa lämpöaallot ovat harvinaisempia, eivätkä viilennysjärjestelmät rakennuksissa ole siksi yhtä yleisiä kuin lämpimämmillä ilmastovyöhykkeillä. Tämän voidaan arvioida lisäävän pohjoisten kaupunkien haavoittuvuutta lämpösaarekeilmiön terveyshaitoille. (Ruuhela et al 2021).

Terveyshaittojen lisäksi ilmiö lisää energiankulutusta koneellisella jäähdytyksellä varustelluissa rakennuksissa. Monissa tapauksissa koneellinen jäähdytys myös voimistaa osaltaan ilmiötä, kun järjestelmä poistaa lämpöä suoraan ulkoilmaan. Tapaustutkimuksissa lämpösaarekeilmiön aiheuttaman

viilennystarpeen on arvioitu olevan keskimäärin 13 % suurempi kaupungeissa kuin ympäröivillä alueilla (Tzavali et al. 2015). Helleaaltotojen aikana sähkökatkon riski on suuri viilentämisestä ja ilmastoinnista johtuvan ylikuormituksen takia, mikä on riski myös terveydenhuollolle (Wang et al. 2016). Koneellisen jäähdytyksen yleistyessä tämä riski kasvaa myös Suomessa.

### 2.3.3 Vaikutukset ilmanlaatuun

Ilmiö voi myös nostaa otsonin pitoisuuksia maanpinnan tasossa, koska korkeammat lämpötilat lisäävät otsonin muodostumista. Lisäksi korkeammat lämpötilat voivat lisätä savusumun muodostumista kaupungeissa. (Tzavali et al. 2015) Lämpösaarekeilmiö on tyypillisesti voimakkaimmillaan tyynellä säällä, jolloin ilman sekoittuminen on vähäistä. Tällöin huono ilmanlaatu usein vahvistaa lämpösaarekeilmiön negatiivisia terveysvaikutuksia. (Suomi 2018)

### 2.3.4 Vaikutukset kaupunkiluontoon

Yleistyvillä kuumuus- ja kuivuusjaksoilla on monenlaisia vaikutuksia myös luontoon. Suomessa puusto muuttuu lehtipuuvaltaisemmaksi ja erityisesti kuusen selviämistä koettelevat eri vuodenaikoihin liittyvät rasitukset myrskyistä kuivuuteen ja tuholaisiin. Kasvu- ja elämänsykli pitenee, ja lämpimissä kaupungeissa kasvien lajirunsaus ja viljelymahdollisuudet lisääntyvät - mutta tuhohyönteiset, haitalliset

vieraslajit ja kastelutarve lisääntyvät. Kaupunkien lämpenevässä ilmastossa viihtyvät muun muassa sudenkorennot, ketut, kanit, supikoirat ja pesukarhu, sekä lukuiset tuholaishyönteiset, loiset, rotat ja puutiaiset. Osa tulokkaista on haitallisia kotoperäiselle lajistolle tai voi aiheuttaa tauteja. Linnunpoikaset voivat kuolla helteisiin, pienvesien kalalajisto muuttuu. Myös pienissä kosteikoissa elävät sammakkoeläimet, jotka eivät voi siirtyä maateitse parempiin elinympäristöihin, ovat kuivuusjaksoilla vaarassa. (Kotakorpi 2020)

Kesän hellejaksoja seuraavat usein ukkoset ja rankkasateet, jolloin kaupunkien pintavaluma vesistöihin lisääntyy. Tämä merkitsee lisääntyvää, äkillistä haitta-ainekuormitusta myös kesäisin sekä haasteita hulevesien hallinnalle ja kasvillisuudelle. (Kotakorpi 2020)

Negatiivisten vaikutusten lisäksi ilmiöllä voi olla myös positiivisia tai neutraaleja vaikutuksia. Esimerkiksi kasvukausi voi olla kaupunkimaisilla alueilla pidempi korkeampien lämpötilojen vuoksi. Kasvit aloittavat kukinnan aiemmin keväällä ja puutarhaviljely hyötyy pidemmästä kasvukaudesta. Urbanit alueet voivat olla lämpöoloiltaan sopivampia elinympäristöjä myös joillekin luonnon monimuotoisuutta hyvällä tavalla lisääville kasvi- ja eläinlajeille. Esimerkiksi tammi ja tammivyöhykkeen lajiston leviäminen näky Etelä-Suomessa Helsinki-Tampere kaupunkiketjun varrella. Kaupungit saattavat myös kylminä talvina toimia "refugiona" kylmyydestä kärsiville

lajeille ja tukea siten ympäröiviä populaatioita (Kullberg 2022).

### 2.3.5 Vaikutukset talvikaudella

Lämpösaarekeilmiö voi esiintyä kaikkina vuodenaikoina. Kesäaikaiseen lämpösaarekkeeseen verrattuna talvisella lämpösaarekkeella on ihmisen näkökulmasta enemmän myönteisiä vaikutuksia, kuten rakennusten lämmitystarpeen väheneminen ja siten energiankulutuksen pieneminen lämmityskaudella sekä liikenneväylien ylläpitokustannusten pieneminen. Toisaalta talviaikaisen lämpösaarekeilmiön haittavaikutuksiin lukeutuu lisääntyvä nollalämpötilan ylittyminen ja alittuminen, jolloin sulamis- ja jäätymisprosessit voivat esimerkiksi lisätä ongelmia vesiputkistoissa ja vaikeuttaa teiden talvikunnossapitoa (Drebs et al. 2014; Suomi 2014)

## 2.4 Menetelmät lämpösaarekeilmiön ja sen vaikutusten selvittämiseksi

### 2.4.1 Lämpösaarekeilmiön esiintymisen tutkimusmenetelmät

Lämpösaarekeilmiötä koskevat tutkimukset voidaan karkeasti jakaa menetelmällisesti kahteen pääkategoriaan: 1. ilman in situ -lämpötilamittauksiin perustuviin ja 2. satelliittidataan pohjautuviin, maan pintalämpötilaa (LST, Land Surface Temperature) kuvaaviin tutkimuksiin (Zhou et al. 2019).

Satelliittidataan pohjautuvaa maan pinnan lämpötilaa (LST) pidetään tällä hetkellä parhaana tutkimusmenetelmänä lämpösaarekeilmiön arvioimiseksi (Igergård 2021). Menetelmä on yleisesti käytetty, vaikka LST ei suoraan kuvaakaan ilman lämpötilasta aiheutuvaa lämpöstressiä ihmisille (Ward et al. 2016). LST-data soveltuu lämpösaarekeilmiön tutkimiseen, mutta ihmisen kokeman lämpöstressin tutkimiseen LST-data ei sellaisenaan sovellu, koska se ei huomioi ympäristötekijöitä, kuten ilman lämpötilaa ja kosteutta. (Song & Wu 2018)

Enemmistö nykyisistä tutkimuksista pohjautuu satelliittidataan, ja käytetyin satelliittidata lämpösaarekeilmiön tutkimisessa on Landsat. Satelliittidataan pohjautuvien lämpösaareketutkimusten määrä on lisääntynyt eksponentiaalisesti vuoden 2005 jälkeen, mihin on vaikuttanut satelliitti- ja paikkatietoseurannan kehittyminen viime vuosina. Ajallisesti ilmiötä on tutkittu eniten kesäaikaan päivällä. Suurin osa tutkimuksista on tehty yhden yksittäisen ajanhetken LST-dataan pohjautuen. Maantieteellisesti lämpösaarekeilmiötä on tutkittu eniten Aasiassa, Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. (Zhou et al. 2019)

Keskeinen etu satelliittidatan käytössä verrattuna ilman lämpötilan in situ -mittauksiin on, että satelliittien avulla voidaan saada jatkuvaa ja toistettavaa dataa suhteellisen tarkalla resoluutiolla (Zhou et al. 2019). Ilman lämpötilan käyttäminen paikkatietopohjaisissa

lämpösaareketutkimuksissa ei ole yhtä yleistä kuin satelliittidatan aineiston rajallisemman saatavuuden vuoksi. Kaupungeissa ei useinkaan ole valmiina lämpösaarekeilmiön tutkimisen kannalta riittävän tiheää ilman lämpötilan mittausturvastoa (Räsänen et al. 2019).

Yhteys näillä kahdella eri menetelmällä tehtyjen tutkimusten välillä ei ole täysin suoraviivainen. Erot eri menetelmillä tehtyjen tutkimusten tuloksissa riippuvat muun muassa eri pintojen ominaisuuksista (mm. kosteus, albedo, emissiivisyys), vuodenajasta, geografiasta ja vallitsevista sääolosuhteista. (Zhou et al. 2019) Kuumana hellepäivänä (ilman lämpötila 33 °C / 91 °F) tavanomaisen kattomateriaalin lämpötila voi olla jopa 16 °C (60 °F) suurempi kuin ilman lämpötila (EPA 2022). Pintalämpötila reagoi hyvin herkästi pinnan olosuhteiden muutoksiin, minkä vuoksi pintalämpötilamittausten ajallinen ja spatiaalinen vaihtelu on huomattavasti suurempaa kuin ilman lämpötilamittausten. Vaikka ilman lämpötilamittausten ja pintalämpötilamittausten välillä on yhteys, on tärkeää tunnistaa, että kyseessä ovat kaksi erilaista menetelmää lämpösaarekeilmiön tutkimiseksi. (Tzavali et al. 2015)

Lämpösaarekeilmiön voimakkuutta voidaan pyrkiä arvioimaan myös erilaisten laskennallisten indeksien avulla. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa on laskettu 159 kaupungille ns. lämpösaarekkeen intensiteetti -indeksi ja vertailtu indeksilukujen avulla lämpösaarekkeen

intensiteettiä kaupungeissa. Indeksi pohjautuu muun muassa seuraaviin parametreihin:

- albedo
- viheralueiden osuus
- väestötiheys
- rakennusten korkeus
- katujen keskimääräinen leveys

Laskettava indeksiluku kuvaa potentiaalista lämpötilaeroa kaupungin ja sitä ympäröivien alueiden keskilämpötiloissa. (EPA 2022)

Lämpösaarekeilmiön ja lämpötilaeroihin vaikuttavien tekijöiden voimakkuutta voidaan arvioida myös erilaisten mallinnusmenetelmien avulla. Erilaisia mallinnusmenetelmiä on lukuisia. Esimerkiksi Suomi (2018) on väitöstitkimyksessään arvioinut lämpötilaeroihin vaikuttavien tekijöiden voimakkuutta Turussa useiden erilaisten mallinnusmenetelmien avulla, käyttäen eri selittäviä muuttujia ja alueellisia mittakaavoja.

Myös lämpösaarekeilmiöön hillintään liittyviä toimia voidaan arvioida ja vertailla erilaisilla numeerisilla mallinnusmenetelmillä, kuten ENVI-met -ohjelmistolla (Brozovsky et al. 2021; Balany et al. 2020). Edellä mainittu on yksi yleisimmistä, ja soveltuu erityisesti korttelitason pienilmaston mallinnuksiin, jollaisia on toteutettu esimerkiksi tämän raportin kappaleessa 2.5 kuvatuissa Toronton ja Portlandin tapauksissa.

## 2.4.2 Haavoittuvuuden arviointi

Sosiaalista haavoittuvuutta helteiden vaikutuksille voidaan arvioida erilaisten haavoittuvuustekijöiden avulla. Haavoittuvuuteen vaikuttavat ihmisten fyysiset ominaisuudet kuten ikä ja terveydentila, sopeutumiskyky (kyky varautua, kyky selviytyä tilanteen aikana ja kyky palautua) sekä asuinympäristö ja sen ominaisuudet. Haavoittuvuutta voidaan arvioida muun muassa seuraavien tekijöiden perusteella: ikä, tiedon saannin mahdollisuudet, sosiaaliset verkostot, tulotaso, asunnon omistusmuoto, asuntokanta sekä fyysisen ympäristön ominaisuudet. Haavoittuvuustekijöiden erittely auttaa kaupunkeja tunnistamaan keinoja haavoittuvuuden vähentämiseksi. (Kazmierczak & Kankaanpää 2016)

Haavoittuvuuksia lämpösaarekeilmiön vaikutuksille on tarkasteltu esimerkiksi Helsingissä toteutetussa paikkatietopohjaisessa tutkimuksessa, jossa on hyödynnetty LST-dataa lämpösaarekeilmiön arvioimiseksi. Tutkimuksessa haavoittuvuuden indikaattoreina on käytetty seuraavia tekijöitä: ikä (alle 18-vuotiaat ja yli 65-vuotiaiden osuus), sukupuoli (naisten osuus), matala tulotaso, matala koulutustaso, maahanmuuttotausta ja heikot sosiaaliset verkostot (työttömyysaste). (Räsänen et al. 2019)

## 2.5 Lämpösaarekeilmiön ehkäiseminen ja siihen varautuminen

### 2.5.1 Terveyshaittojen vähentäminen

Kuuman sään aiheuttamia terveyshaittoja voidaan torjua lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteiden avulla. Lyhyen aikavälin toimilla tarkoitetaan helleaaltojen aikaisia akuutteja torjuntatoimenpiteitä. Pitkän aikavälin toimiin luokituvat puolestaan liialliselle lämmölle altistumisen vähentämiseen tähtäävät toimenpiteet. Niillä pyritään esimerkiksi parantamaan rakennusten sisälämpötilojen hallintaa tai vähentämään lämpösaarekeilmiön voimakkuutta kaupunkialueilla. Myös yhteiskunnallisen varautumisen kehittäminen, seurannan kehittäminen sekä kansalaisten, viranomaisten ja terveyden- ja sosiaalihuollon toimijoiden tietoisuuden lisääminen helteen terveyshaitoista ja niiden ehkäisystä ovat esimerkkejä pitkän aikavälin toimista.

Lyhyen aikavälin toimenpiteiden toteutus keskittyy erityisesti sosiaali- ja terveydenhuollon sektorille. Pitkän aikavälin toimenpiteitä voidaan toteuttaa muun muassa rakennus- ja kaupunkisuunnittelussa sekä vanhojen rakennusten korjausrakentamisessa. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2021)

Suomessa on tähän mennessä toteutettu jonkin verran helteen terveyshaittojen torjuntaa edistäviä toimenpiteitä. Yksi esimerkki konkreettisesta toimenpiteestä on

hellevaroitukset, joita Ilmatieteen laitos on antanut vuodesta 2011 lähtien.

Keskeisimmät kehitystarpeet kuumuuden aiheuttamien terveyshaittojen torjumisessa liittyvät sosiaali- ja terveydenhuollon toimintayksiköiden varautumiseen, sillä näiden palvelujen piiriin ja hoito- ja hoivalaitoksiin sijoittuu suuri määrä haittavaikutuksille haavoittuvimpia väestöryhmiä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2021)

Kuuman sään aiheuttamien haitallisten terveysvaikutusten vähentämiseksi tarvitaan sekä toimenpiteitä, joilla voidaan suojella herkimpiä väestöryhmiä, että laajempia yhteiskunnallisia torjunta- ja sopeutumistoimia. Kansalaisten ja terveydenhuollon henkilöstön tietoisuuden lisääminen on keskeistä, samoin päättäjien. Lämpenemisen huomiointi kotien ja hoitolaitosten asuinolosuhteissa sekä kaupunkisuunnittelussa on tärkeää. (Kollanus et al. 2014)

Yksi keskeinen toimenpide lämpösaarekeilmiöön varautumiseksi on rakennusten sisälämpötilojen hallinta. Ihmiset viettävät suuren osan ajastaan sisätiloissa, mikä korostaa rakennusten lämpötilojen merkitystä (WHO 2008). Suomessa asumisterveysasetuksessa (STM 545/2015) on määritelty toimenpideratit huoneilman korkealle lämpötilalle lämmityskauden ulkopuolella, ja sisälämpötiloihin on pyritty vaikuttamaan myös asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta

(YM 1010/2017). Lämpösaarekeilmiö on voimakkaimmillaan teollisuusalueilla, kauppakeskuksissa ja muilla vastaavilla alueilla (Brozovsky et al. 2021). Näillä alueilla ei niinkään asuta, vaan työskennellään. Tämän vuoksi kyseessä olevien alueiden työskentelyolosuhteisiin (työskentelylämpötila, viilennysmahdollisuudet) onkin kiinnitettävä erityistä huomiota (Igergård 2021).

Yleisesti 20–22 °C sisälämpötilaa pidetään sopivana, mutta arvoa ei ole virallisesti määritetty. Asumisterveysasetuksen mukainen huoneilman lämpötilan toimenpideraja kesällä asunnoissa on +32 °C. Hoivakodeissa, palvelutalossa, päiväkodeissa ja muissa vastavissa tiloissa toimenpideraja on alempi, +30 °C (STM545/2015). Hellekesän 2018 aikana tutkittujen rakennusten maksimilämpötilat nousivat jopa 35–38 °C:een. Vuoden 2050 ennustetussa ilmastossa huonelämpötilojen arvioidaan nousevan tästä vielä noin yhdellä asteella niin normaalikesään kuin hellekesään verrattuna. Erityisesti makuuhuoneen lämpötila ja tuuletettavuus ovat lämpöstressin kokemisen kannalta tärkeitä. Makuuhuone kannattaakin sijoittaa rakennuksen viileämmälle puolelle (pohjoinen, koillinen) mikäli mahdollista. (Kosonen et al. 2021, Mikkonen 2021)

### 2.5.2 Vihreä infrastruktuuri

Kaupunkisuunnittelussa ja -rakentamisessa on useita keinoja, joita voidaan hyödyntää lämpösaarekeilmiön ehkäisemisessä ja

lieventämisessä. Esimerkiksi katujen suunta sekä rakennusten korkeuden ja katutilan leveyden suhde vaikuttaa rakennusten ja ulkotilan altistumiseen auringon säteilylle. Monet keinoista liittyvät ns. vihreän infrastruktuurin hyödyntämiseen, ja vihreä infra onkin laajalti käytetty keino lämpösaarekeilmiön lieventämiseen (Balany et al. 2020, Brandenburg et al. 2018, Norton et al. 2013). Termillä tarkoitetaan luonnollisten sekä ihmisen rakentamien viheralueiden ja esimerkiksi katupuiden ja viherkattojen muodostamaa verkostoa, joka vaalii luonnon eliöitä ja prosesseja sekä tuottaa samalla hyötyjä ihmiselle.

Vihreän infrastruktuurin avulla voidaan säädellä pienilmastoa. Auringon säteilyä estävä varjostus vähentää ilman ja maan lämpötilan nousua, ja evapotranspiraatio eli kokonaishaihdunta viilentää ilmaa parantaen ihmisten kokemaa lämpöviihtyvyyttä. Vihreän infrastruktuurin vaikutukset riippuvat kasvillisuuden tyypistä (esim. puut, viherkatot, nurmi) sekä sen sijoittelusta kaupunkirakenteessa. Puusto viilentää ja parantaa lämpöviihtyvyyttä, mutta voi vähentää tuulisuutta. Viherkattoja pidetään parhaana vihreän infrastruktuurin ratkaisuna tiheään rakennetuilla alueilla, joissa viheralueet ovat vähäisiä ja kattopinnat laajoja – ja mikäli katoille saadaan riittävän suurta kasvillisuutta (Balany et al. 2020). Mikäli katot ovat korkealla, niiden vaikutus lämpötilaan maan pinnan lähellä on vähäinen (Makido et al. 2019, Wang et al.



2016). Viherkattojen toteuttamisella voi olla ristiriitaisia vaikutuksia rakentamisen päästöihin. Viherkattoja suositellaan tässä raportissa erityisesti lämpösaarekeilmiön lieventämisen näkökulmasta, ja ne tukevat myös vihreän infrastruktuurin ekologisia ja virkistyskellisiä hyötyjä.

Kasvillisuuden merkitys lämpösaarekeilmiön hillinnän kannalta on ilmeinen. Talvella lehdeettömät kasvit eivät lievennä lämpösaarekeilmiötä. Esimerkiksi kanadalaisten tutkimusten mukaan kasvillisuuden istuttaminen ja lisääntynyt urbaani albedo voivat vähentää lämpösaarekeilmiötä erityisesti päiväaikaan (Brozovsky et al. 2021). Myös Manchesterissa (Gill et al. 2009) 10 % viheralueiden lisäämisen keskusta-alueille ja tiiviille asuinalueille arvioitiin hillitsevän huomattavasti lämpötilan nousua vuoteen 2080 mennessä (0,7 °C) verrattuna siihen, jos viheralueita ei lisätä (1,7 °C) tai jos niitä poistetaan 10 % (7–8 °C). Artikkeleissa ei kerrota millaista viheraluetta paikkatietoanalyysissä käytettiin lisäyksenä.

Joissain tutkimuksissa on havaittu, että puustoiset ja kerrokselliset, mosaiikkirakenteiset viheralueet viilentävät ilmastoa tehokkaammin kuin avoimet viheralueet, jotka saattavat jopa kasvattaa lämpösaarekkeen intensiteettiä kuumina päivinä (Ward et al. 2016, Ingergård 2021). Kaupunkivihreän sekoittaminen muuhun kaupunkirakenteeseen lieventää lämpösaarekkeita tehokkaammin kuin suuret erilliset viheralueet. (Ward et al. 2016) Toiset

tutkimukset korostavat myös viheralueiden laajuuden merkitystä sekä niiden viilentävän vaikutuksen ulottumista lähiympäristön rakennettuihin alueisiin (Siivonen 2021). Ingergård (2021 s. 28-30) huomioi vaikutusten riippuvan siitä, tarkastellaanko kaupunkia kokonaisuutena, vai yksittäisiä kaupunginosia.

Vihreän infrastruktuurin toimivuuden kannalta on tärkeää varmistaa kriittisen luontopääoman ja kokonaisviherpinta-alan säilyminen, sekä parantaa nykyisten viheralueiden laatua ja ekologista toimivuutta, parantaa vihreää infrastruktuuria kunnostus- sekä uudiskoh-teissa. Myös katutilalla on keskeinen rooli. Viheralueiden kasteluntarpeesta on huolehdittava kestäväällä tavalla, jotta vihreä infrastruktuuri toimii. (Brandenburg et al. 2018, Gill et al. 2009, Norton et al. 2013).

Viheralueiden lisäämisellä on muitakin hyötyjä kuin lämpösaarekeilmiön lieventäminen. Viheralueet auttavat myös tulvariskien hallinnassa, ja voivat tukea luonnon monimuotoisuutta sekä lisätä kaupunkien viihtyisyyttä.

### 2.5.3 Rakennukset ja pintamateriaali

Kiinnittämällä huomiota kaupungeissa käytettäviin pintamateriaaleihin ja niiden ominaisuuksiin voidaan myös pyrkiä hillitsemään lämpösaarekeilmiötä. Kaupunkialueilla huomattava osa maanpinnan peitteisyydestä on kattopintoja ja teitä. Erilaisilla heijastavilla kattopinnoitteilla on mahdollista pyrkiä

lieventämään lämpösaarekeilmiötä. Tutkimusten perusteella heijastavalla kattopinnoitteella on kuitenkin vain vähän vaikutusta katutason lämpötilaan, etenkin jos katto on asennettu korkeaan rakennukseen (Mikkonen 2021, Wang et al. 2016, Makido et al. 2019).

Heijastavat katupinnoitteet puolestaan pysyvät pintalämpötiloiltaan viileinä, mutta niistä heijastuva säteily saattaa kuumentaa viereisiä kappaleita, kuten rakennuksia ja rakennelmia, tai kaduilla kulkevia ihmisiä. Heijastavien katupinnoitteiden hyötynäkökulma ei siten ole yksiselitteinen. Sitä vastoin läpäisevien tiepinnoitteiden käytöllä on tutkimusten mukaan positiivisia vaikutuksia sekä lämpösaarekeilmiön että hulevesien hallinnan kannalta. (Mikkonen 2021)

Pizarro (2019) nostaa esiin kaupunkisuunnittelun paradoksin: Kestävän kehityksen mukainen ilmastopäästöjä hillitsevä tiivis, energiatehokas kaupunkirakenne voi olla ristiriidassa ilmastomuutokseen sopeutuvan, resilientin kaupunkirakenteen kanssa. Ihanteellinen kaupunkirakenteen tiiveys ja korkeus riippuu ilmastosta sekä topografisista tekijöistä.

Erityyppisessä kaupunkirakenteessa merkityksellisimmät tulokset saadaan erilaisilla keinoilla. Tutkimusten mukaan lämpösaarekeilmiötä lievennetään tehokkaimmin usean edellä mainitun keinon yhdistelmillä. (Wang

et al. 2016, Makido et al. 2019, Pizarro 2019).

## 2.6 Esimerkkejä muista kaupungeista

### 2.6.1 Tukholma

Tukholman lämpösaarekeilmiötä arvioivassa opinnäytetyössä (Ingergård 2021) käytettiin maan pintalämpörasterin (Land Surface Temperature, LST) lisäksi kunnan maanpeiteaineistoa jossain määrin yksinkertaistettuna sekä kaupunkirakenteen tyyppejä (kaupungilta saatua dataa vertailu ilmakehään). Maan pintalämpötilarasterikartalle tuotiin korkeimmat havaitut maanpinnan lämpötilat - ei yleisimmät – yhdistelmänä useammalta ajankohdalta. Aineistosta tunnistettiin ongelmallisiksi alueet, jotka edustavat 5% kuumimmista sekä 10% viileimmistä.

Seuraavaksi tutkimuksessa tarkasteltiin maanpeitteen tilastollista suhdetta maanpinnan lämpötilaan – esim. osuus metsää vs kasvitonta pinta-alaa. Eri kaupunkirakenteen tyypeille laskettiin keskimääräinen LST-arvo. Erityisesti tutkittiin rakennettujen alueiden lämpötiloja. Lisäksi kaupunkirakenteen tyyppejä verrattiin maanpeitteeseen.

Tukholmassa kuumimmat alueet ovat tiheimmin rakennettuja, ja niissä on vähiten kasvillisuutta. Lisäksi niissä on paljon liikennettä ja toimintaa (teollisuusalueet, lentokenttä). Kylmimmät alueet osuvat rannoille ja



luonnonsuojelualueille. Avoimien kasvillisuusalueiden osuudella ei havaittu kovin voimakasta merkitystä lämpösaarekeilmiön lieventämiseen, mutta kasvillisuusalueilla on kuitenkin matalammat lämpötilat kuin rakennetuilla alueilla.

Työn jatkotarkastelussa (Wiborn 2022) kaupungilla on valittu +35 °C maan pintalämpötila kuumuussaarekkeiden (hotspots, heat contours) indikaattoriksi. Saatavilla olleessa aineistossa valinnan perustelua ei ole esitetty. Kuumuussaarekkeet on vektoroitu niin, että niitä voidaan tarkastella esimerkiksi kantakartan päällä ja niiden osalta voidaan tehdä uusia paikkatietoanalyyssejä – esimerkiksi haavoittuvimpien väestönosien, kuten 0-4 vuotiaiden sekä yli 70-vuotiaiden määrä kuumuussaarekkeiden alueella.

Selvitystyössä huomioidaan kuumuutta lieventävänä tekijänä myös asukkaiden pääsy viileään, eli metsien ja järvien osuus kustakin kaupungin tilastollisista alueyksiköistä. Tarkentavat analyysit koskevat esimerkiksi esikoulujen etäisyyttä viileille alueille.

Rakennettua ympäristöä analysoitiin 250x250 m ruuduissa, joista laskettiin maan pintalämpötila, kovien pintojen määrä, puiden latvuspeite, rakennusten korkeudet sekä vesipinnan määrä. Analyysissä todettiin, että kovien pintojen määrä kasvattaa maan pinnan lämpöä, kun taas latvuspeitteisyys alentaa lämpötiloja. Analyysin perusteella kaupunkirakenne

luokiteltiin edellä mainittujen ominaisuuksien ja lämpötilan välisen suhteen perusteella seitsemään erityyppiseen klusteriin eli käytännössä korttelityyppiin.

### 2.6.2 Espoo

Espoon kaupungin Viherkudelman selvityksessä (2019) on tarkasteltu lämpösaarekeilmiötä Landsat 8 -satelliitin aineistolla, tuottamalla kartta maan pintalämpötilasta (LST). Ajankohdaksi on valittu erittäin kuuma päivä, jolloin ilman lämpötila läheisellä Helsinki-Vantaan mittausasemalla oli ylimmillään +29,6 °C. Maan pinnan lämpötila vaihteli tuolloin +21 celsiusasteesta yli +33 asteeseen.

Espoossa meren läheisyys vaikuttaa yleisesti tasaamalla sään kylmiä ja kuumia lämpötiloja. Maan pintalämpötilaa kuvaavalta kartalta voi kuitenkin huomata, että kaupungin kuumimpia alueita sijoittuu myös meren läheisyyteen, missä rakentaminen on tiiviimpää kuin kaupungin pohjoisosissa. Kuumimmiksi osoittautuivat Espoon tarkastelussa ”laajat teollisuusalueet, joilla on paljon yhtenäistä päällystettyjä tummia pintoja”. Lisäksi tarkastelussa huomattiin, että liikuntapuistot tekonurmi-  
neen ovat poikkeuksellisen lämpimiä.

### 2.6.3 Toronto

Wang et al. (2016) tekivät tutkimuksen Torontossa, joka on yksi nopeimmin kaupungistuvista pohjoisista kaupungeista. Kylmässä

ilmastossa lämpösaarekeilmiön seuraukset voivat olla kohtalokkaampia, sillä asukkaat ja kaupunkiluonto eivät ole tottuneet helteisiin. Torontossa keskimäärin 26 päivänä vuodessa keskilämpötila nousee yli +30 celsiusasteeseen, ja vuoteen 2100 mennessä kuumien päivien on ennustettu nousevan 65e:en. Kanadassa päivän keskilämpötilan noustessa yli +20 °C kuolleisuuden on tutkittu lisääntyvän 2,3 % jokaista asteen nousua kohden. Helteestä johtuvien kuolemantapausten on ennustettu kaksinkertaistuvan Torontossa vuoteen 2050 mennessä.

Torontossa lämpösaarekeilmiö ilmenee erityisesti öisin ja talvikuukausina. Järven läheisyys ja tuulet lieventävät ilmiötä. Noin 30 % kaupungin maanpinnoista on asfalttia ja betonia, ja osuus on korkeampi keskusta-alueilla. Maan pintalämpötilakartta (LST) kertoo, että kaikkein kuumimmat alueet ovat kantakaupungin liepeillä, etäämmällä järvestä, missä pinnat varaavat lämpöä. Tiiviisti ja korkeaan rakennetussa kantakaupungissa järven rannalla rakennusten väliin syntyvät ilmavirrat todennäköisesti lieventävät lämpösaarekeilmiötä, ja rakennukset varjostavat päivisin. Puistoissa lämpötilat ovat 3–4 astetta matalampia.

Torontossa lämpösaarekeilmiötä lievennetään Toronto Green Standard -ohjeessa esim. uusille rakennuksille sekä pintamateriaaleille ja hulevesien hallinnalle asetetuin vaatimuksin. Lisäksi kaupungin linjaukset suosittelevat

puuston istuttamista, millä on tutkittu olevan suuremmat vaikutukset kuin kattomateriaaleilla. Pienilmastomallinnuksella kaupunkiin on etsitty teoreettisesti optimaalisen rakentamisen korkeuden ja kadun leveyden suhdetta. Tutkijat ovat myös pohtineet kaupunkirakenteen kehittämistä ilman kierron, aurinkoisuuden ja tuulisuuden optimoimiseksi.

Torontosta aiemmin tehdyistä simulaatioista (Akbari & Taha 1992 sekä Krayenhoff 2003, lainattu tutkimuksessa Wang et al. 2016) kerrotaan, että lisäämällä maan pinnan kasvillisuusalueita 30 % rakennusten jäähdytysenergian tarvetta voitaisiin vähentää 10–20 % Vaaleampien rakennusmateriaalien lisääminen (albedo 0,2) vähensi jäähdytysenergian tarvetta vielä enemmän (30–40 %). Kattopinta-alasta 50 % vaihtaminen viherkattoihin ja korkean albedon (0,6) materiaaleihin ei ollut juurikaan vaikutusta ilman lämpötilaan ainakaan pilvenpiirtäjien korkeudessa eikä oletettavasti maan pinnalla.

Toronto varautuu 2,4 miljoonan asukkaan kasvuun mm. suunnittelemalla korkeaa rakentamista. Voimakkaan kaupungistumisen vuoksi tutkitaan, kuinka kaupunkisuunnittelu vaikuttaa lämpöviihtyvyyteen ja millä keinoin voitaisiin välttää lämpösaarekeilmiön seurauksia. Tutkimukseen (Wang et al 2016) valittiin kolme erilaista kaupunkirakenteen tyyppiä: korkean rakentamisen keskusta-alue, keskikorkeaa rakentamista (tyypillinen lähiö) sekä erillistalojen alue. Näiden alueiden

ominaisuuksia (rakennetut alueet, viheralueet, rakennusten korkeus) käytettiin analyysissä, jossa ENVI-met ohjelmistolla simuloitiin tyypillisen kesä- ja talvipäivän ilmastoa. Toronton mallinnuksessa ei huomioitu rakennusmateriaaleja ja ihmistoimintaa kuten lämmitystä. Nykytilan mallinnuksen lisäksi kaikista alueista tehtiin neljä modifioitua versiota, joissa vaihdettiin maan pinnan materiaaleja, kasvillisuuden määrää, viileämpiä kattoja sekä näiden yhdistelmäversio. Tutkimuksessa havainnollistettiin sekä ilman lämpötilaa (Ta) että säteilylämpötilaa (MRT) ja lisäksi käytettiin RayMan-ohjelmiston avulla laskettua arvoa, joka kuvaa parhaiten ihmisen lämpöviihtyvyyttä (physiological equivalent temperature, PET).

Tutkimuksessa "sky view factor" eli tilan avoimuus vaikuttaa alueelle päiväsaikaan kohdistuvan auringonsäteilyn määrään, ja tutkimuksessa avoimet kaupunkitypologiat ovat kuumempia kuin tiivis korkea kaupunki. Korkeat korttelit varjostavat maanpintaa, mutta varastoivat yöhön enemmän lämpöä. Asfalttipintojen vaihtaminen betoniksi (albedon muutos 0,2) vähensi maanpinnan maksimilämpötilaa yli 7 astetta kaikissa typologioissa, ja eniten lähiössä, sillä siellä on vähemmän katu-tilaa varjostavaa puustoa ja rakennuskantaa. Kattomateriaalien vaihtaminen heijastavammiksi pienensi kattojen lämpötiloja 9.6–11.3 astetta. Kattomateriaali vaikuttaa ihmisten aistimaan lämpötilaan eniten matalan

rakentamisen alueella, missä kattopinnat ovat lähellä maanpintaa. Kasvillisuuden lisääminen 10 % vähentää erityisesti kuumien iltapäivien lämpötilaa kesällä, ja sekä päivällä että yöllä kaikkien alueiden ilman lämpötilaa vähintään 0,8 astetta ja säteilylämpötilaa jopa 6,1–8,3 °C rakentamisalueen tyypistä riippuen. Tutkimuksen mukaan puita kannattaa lisätä erityisesti päivällä vilkkaassa käytössä oleville alueille. Talvella kasvillisuuden merkitys lämpösaarekeilmiöön on pieni, kun puut ovat lehdettömiä. Katto- ja maanpinnan materiaalit yksinään eivät muuta suuresti nykytilaa, vaan tehokkainta oli eri menetelmien yhdistäminen. Menetelmien tehokkuus vaihteli rakennetun ympäristön tyypistä riippuen.

#### 2.6.4 Wien

Wienin kaupunki on laatinut tutkimusyhteistyössä lämpösaarekeilmiöön varautumisen strategian, joka ohjaa rakennetun ympäristön suunnittelijoita ja sidosryhmiä (Brandenburg et al. 2018). Strategia ohjaa menettelyjä sekä konkreettisia toimia lämpösaarekeilmiön torjumiseksi niin strategisessa kaupunkisuunnittelussa kuin yksittäisten kohteiden toteutuksessa. Strategiassa korostuu ilmastotyön sekä poliittisten linjausten ja taloudellisten keinojen rinnalla yleis- ja asemakaavoituksen rooli laillisesti sitovina kaupunkikehityksen ohjajina. Ne määrittelevät kaupunki- ja viherrakenteen. Yleiskaavoitukseen suositellaan lämpösaarekeilmiön huomioimista läpi koko

prosessin, selvityksistä ja tavoitteiden asettamisesta kaava-aineiston suunnitteluun ja käytönpanoon sekä seurannan suunnitteluun.

Wienissä yleis- ja asemakaavoituksessa hyödynnetään ilmastoasiantuntijoita sekä esimerkiksi suunnittelukilpailuja, kuullaan osallisia sektoreita sekä maanomistajia. Pienilmastoanalyysit kuuluvat vakiona rakennushankkeiden vaikutusten arviointiin, erityisesti asemakaavatasolla. Viheralueiden riittävyyteen on erityisesti kiinnitettävä huomiota, ja niiden tarkemmassa suunnittelussa on tarjouspyyntöihin lisättävä vaatimuksia lämpösaarekkeiden lieventämisestä. Lisäksi Wienin kaupunki pyrkii rakennushankkeissaan toimimaan ilmastoviisaan suunnittelun edelläkävijänä ja roolimallina yksityisille rakennuttajille. Kaupunki vaikuttaa sopeutumistoimiin esimerkiksi tonttikilpailujen ehdoilla ja myöntämällä rahoitusta muun muassa viherkattohankkeisiin.

Wienin strategiassa esitetään lukuisia toimenpiteitä lämpösaarekeilmiön ehkäisemiseksi ja lieventämiseksi. Jokaisen toimen edut mikro- ja mesoilmaston, luonnon monimuotoisuuden ja elämänlaadun kannalta sekä toteutus- ja ylläpitokustannukset on arvioitu spiderwebdiagrammilla. Lisäksi on tunnistettu yksittäisten toimien haasteet. Toimet on jaoteltu strategisiin sekä käytännön sovelluksiin.

Strategiset toimet, joita tarkastellaan koko kaupungin mittakaavassa (sis. 13 toimenpidettä):

- Ilmavirtausten ja avointen viheralueiden turvaaminen kaupungissa
- Kaupunkirakenteen sopeuttaminen (kadut, rakennukset)
- Vaaleammat rakennus- ja pintamateriaalit sekä läpäisevien pintojen lisääminen
- Viheralueiden turvaaminen ja laajentaminen
- (Katu)puiden suojelu ja lisääminen

Käytännön toimet, tekniset ja rakenteelliset ratkaisut ulkotiloihin ja rakennuksiin (sis. 24 toimenpidettä)

- Katuvihreän lisääminen ja joutomaiden kehittäminen
- Rakennusten viherryttäminen ja viilentäminen
- Veden lisääminen kaupungissa
- Ulkotilojen ja kulkureittien varjostaminen
- Julkisen liikenteen viilentäminen

Näiden toimien lisäksi Wienin strategiaan sisältyy tietoisuuden lisäämistä kansalaisten sekä suunnittelijoiden, poliitikkojen ja muiden kaupunkikehityksen sidosryhmien parissa.

### 2.6.5 Portland

Portlandissa on välimerellinen ilmasto, mutta kesät ovat merivirtojen vuoksi viileämpiä kuin Välimeren kaupungeissa. Tutkimuksessa (Makido et al 2019) mallinnettiin vihreää infrastruktuuria kuudelle erilaisen maankäytön alueelle. Mallinnuksessa käytettiin ENVI-met®- ohjelmistoa, joka analysoi mikroilmastoa simuloimalla lämpötiloja erilaisiin rakennetun ympäristön skenaarioihin. Ohjelma on laajemman kirjallisuuden mukaan yksi yleisimmistä ja tarkimmista mallinnustyökaluista. Tutkimuksessa käytettiin kuutta aiemmassa tutkimuksessa merkitykselliseksi havaittua maanpeitteen muuttujaa: 1) latvuspeitteen määrä 2) kasvillisuuden määrä 3) biomassan tiheys 4) keskimääräinen rakentamisen korkeus 5) rakentamisen kokonaisuudessa 6) rakennusten korkeuden muutos. Perustuen Portlandille tyypilliseen korttelien rakeisuuteen tutkimusalue jaettiin 100 m ruutuihin, joista analysoitiin yksinkertaistamalla (cluster analysis) lämpösaarekkeen ilmenemiseen vaikuttavat maisemalliset tekijät. Analyysiin käytettiin R-ohjelman MCLUST-pakettia. Tutkimuksesta jätettiin pois vesi, suojellut metsät ja tiivis liikekeskusta, joihin ei ole tulossa muutoksia ja jotka ovat maankäytön poikkeustapauksia. Jatkotutkimukseen valittiin kuusi erilaista klusteria maankäytön perusteella, sisältäen teollisuusalueita ja erilaisten kasvillisuustyyppien kaupunkiympäristöjä. ENVI-metin syötettiin niiden nykytilan

muuttajat kuten rakennukset, kasvillisuus, ja erilaiset maanpeitteet. Sen jälkeen kuhunkin korttelityyppiin mallinnettiin muutoksia lisäämällä kasvillisuutta, viherkattoja sekä kasvatamalla kattojen ja maanpintojen albedoa. Lisäksi mallinnettiin näiden yhdistelmä sekä vaihtoehto, jossa kasvillisuus poistettiin ja maan pinnat korvattiin asfaltilla. Viimeisin nosti iltapäivän ilman lämpötiloja 1,4 metrin korkeudella kaikissa korttelityypeissä.

Kaikki sopeutumistoimenpiteet alensivat ilman lämpötiloja, ja eniten vaikutusta oli kasvillisuuden lisäämisellä sekä toimien yhdistelmällä. Eri sopeutumistoimenpiteiden vaikutukset vaihtelivat eri korttelityypeissä. Viherkattojen lisäämisellä oli vähiten vaikutusta kaikissa korttelityypeissä, mutta ne toimivat parhaiten alueilla, joissa on laajoja kattopintoja. Samoin kattojen ja katupintojen albedon lisääminen vaikutti parhaiten (0,9–1,4°C vähennys lämpötilassa) teollisuusalueilla ja urbaaneilla kasvittomilla alueilla. Yksittäisistä keinoista eniten lämpötilaa alentavaa vaikutusta oli katupuiden ja kasvipintojen lisäämisellä (1,0–2,6 °C) - lukuun ottamatta korttelityyppiä, jossa oli ennestään suuri latvuspeiteisyys. Yksittäisiä sopeutumiskeinoja ei todettu yhtä tehokkaaksi kuin keinojen yhdistelmää, joka alensi ilman lämpötilaa 1,7–3,4 °C kaikissa muissa tyypeissä ja 0,7 °C suuren latvuspeiteisyyden alueella. Tuloksia ei voi suoraan verrata muihin kaupunkeihin, mutta ne antavat käsitystä erilaisten

luontopohjaisten ratkaisujen sekä materiaali-  
valintojen vaikutuksesta erilaisissa kaupun-  
kiympäristöissä. Tutkimus antaa yleisiä suun-  
taviivoja, ja sen pohjalta on suositeltavaa  
käyttää mallinnusta eri vaihtoehtojen vaiku-  
tusten tutkimiseen kaupunkisuunnittelussa.  
Tutkimus muistuttaa, että lämpösaarekeil-  
miön hillinnän lisäksi vihreällä infrastruktuu-  
rilla on muita hyötyjä kaupunkiympäristön  
muutoskestävyyden ja viihtyisyyden kasvat-  
tamisessa.

### 3 Lämpösaarekkeet Tampereen kantakaupungissa

#### 3.1 Lämpösaarekekartta

##### 3.1.1 Kuumen ajankohdan kartta

Selvitystyön aluksi laadittiin kartta, joka esittää maan pintalämpötilaa Tampereen kantakaupungissa 3.7.2021 (Kartta 1). Landsat-8 satelliitin lämpökanavan mittaaman säteilyn avulla lasketut maan pintalämpötilat tarkastelualueella vaihtelivat valittuna ajankohtana +23 celsiusasteesta yli +47 asteeseen. Aineisto ei sisällä vesistöjä.

Kartan ajankohdaksi on valittu tavanomaista kuumempi kesäpäivä, sillä selvityksen tavoitteena on muodostaa alustava käsitys Tampereen kantakaupungin lämpöoloista kuumina kesäpäivinä. Suomessa puhutaan helteestä, kun päivän ylin lämpötila ylittää +25 °C. Päivän keskilämpötila Tampellan mittausasemalla 3.7.2021 oli +24 °C ja ylin ilman lämpötila 2 metrin korkeudella +28 °C (Ilmatieteenlaitos, www a). Härmälän sääasemalla päivän ylin ilman lämpötila 3.7.2021 oli +27,9 °C. Ajankohtaa edelsi 15 päivän jakso, jolloin vuorokauden ylin lämpötila ylitti hellerajan tai nousi sen tuntumaan, ja vain yhtenä päivistä ylin lämpötila oli alle sen (Ilmatieteenlaitoksen säätiedot Härmälän asemalta).

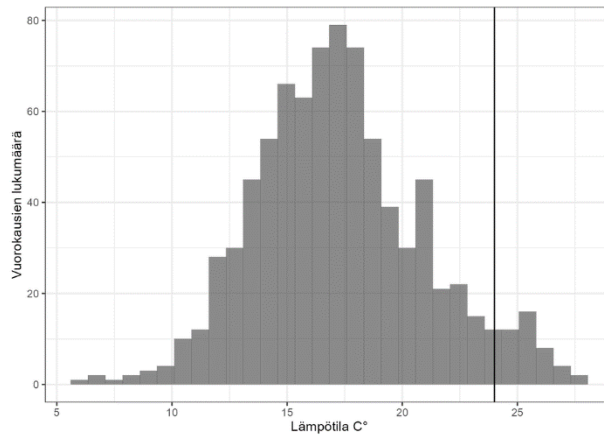
Vuonna 2021 Tampellan sääasemalla mitattuna oli 13 vuorokautta, jolloin ilman keskilämpötila nousi +24 asteeseen tai yli (Kuva 1). Keskilämpötila heinäkuussa vuosina 1991-2021 on ollut Tampereella 17.4 °C, ja poikkeamat näkyvät kuvassa 2 (Ilmatieteen laitos, www b). Keskilämpötiloja kuvaava diagrammi osoittaa myös aiempaa kuumempien päivien määrän lisääntyvän trendin.

Kuvausajankohtana selvityksen ensimmäisessä vaiheessa käytettiin mahdollisimman tuoretta ajankohtaa, jotta kaupunkirakenne vastaisi nykytilannetta mahdollisimman paljon. Selvityksen toisessa vaiheessa kuumempia ja satelliittikuvauksen kannalta otollisia päiviä löytyi 2 kpl kesältä 2018 (liite 1). Niitä on hyödynnetty yhdistelmäkartassa yhdessä 3.7.2021 ajankohdan ja viiden muun ajankohdan maanpintalämpötila-aineiston kanssa (kartta 2).

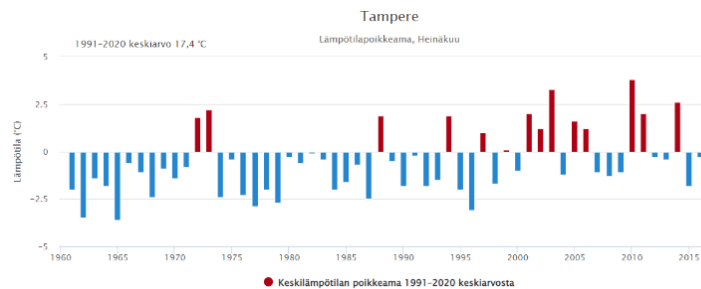
Kartta 1 ja kartta 2 kertovat siis maanpinnan lämpötilasta, jota käytetään yleisesti lämpösaarekeilmiön kartoittamiseen (Zhou 2019). Se ei ole suoraan verrattavissa ilman lämpötilaan tai ihmisen kokemaan lämpöviihtyvyyteen. Maan pinnan lämpötilat olivat monissa paikoissa usean asteen lämpimämpiä kuin ilman lämpötila 2 m korkeammalla (kuvat 3 ja 4).

Kaupungin ulkopuolella Siilinkarin mittausasemalla keskilämpötila kartan esittämänä päivänä oli +23 celsiusastetta. Useamman

kesäpäivän säätietojen tarkastelussa vuosilta 2019–2021 kaupungin ulkopuolella vesistöissä sijaitsevan Siilinkarin asemalla ilman lämpötila keskipäivällä on ollut 2–3 °C alempana kuin Tampellan ja Härmälän mittausasemilla (Ilmatieteenlaitos, www a).

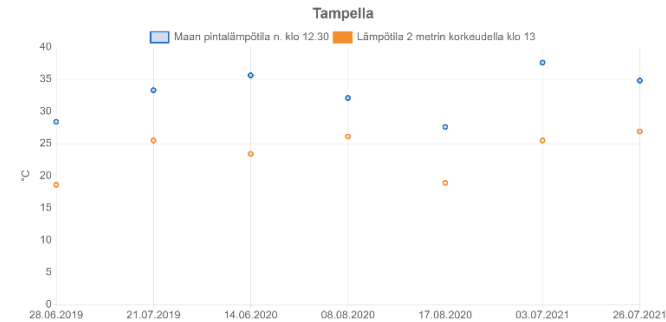


Kuva 1. Histogrammi vuoden 2021 lämpötiloista Tampereella. Keskilämpötila nousi +24 celsiusasteeseen tai sen yli 13 vuorokautena.

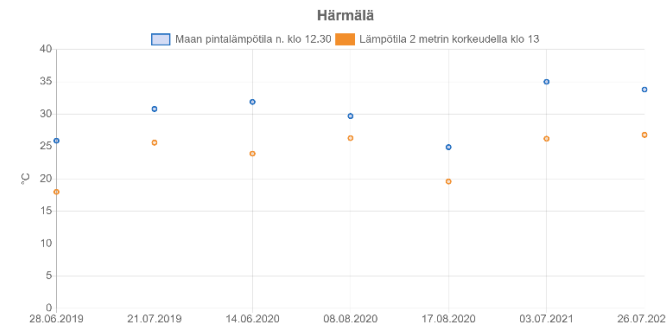


Kuva 2. Poikkeama vuosien 1991-2020 heinäkuun

keskilämpötilasta (17.4 °C) Tampereella. Vuodesta 2000 eteenpäin keskiarvo ylittyy useammin. Ilmatieteen laitos.

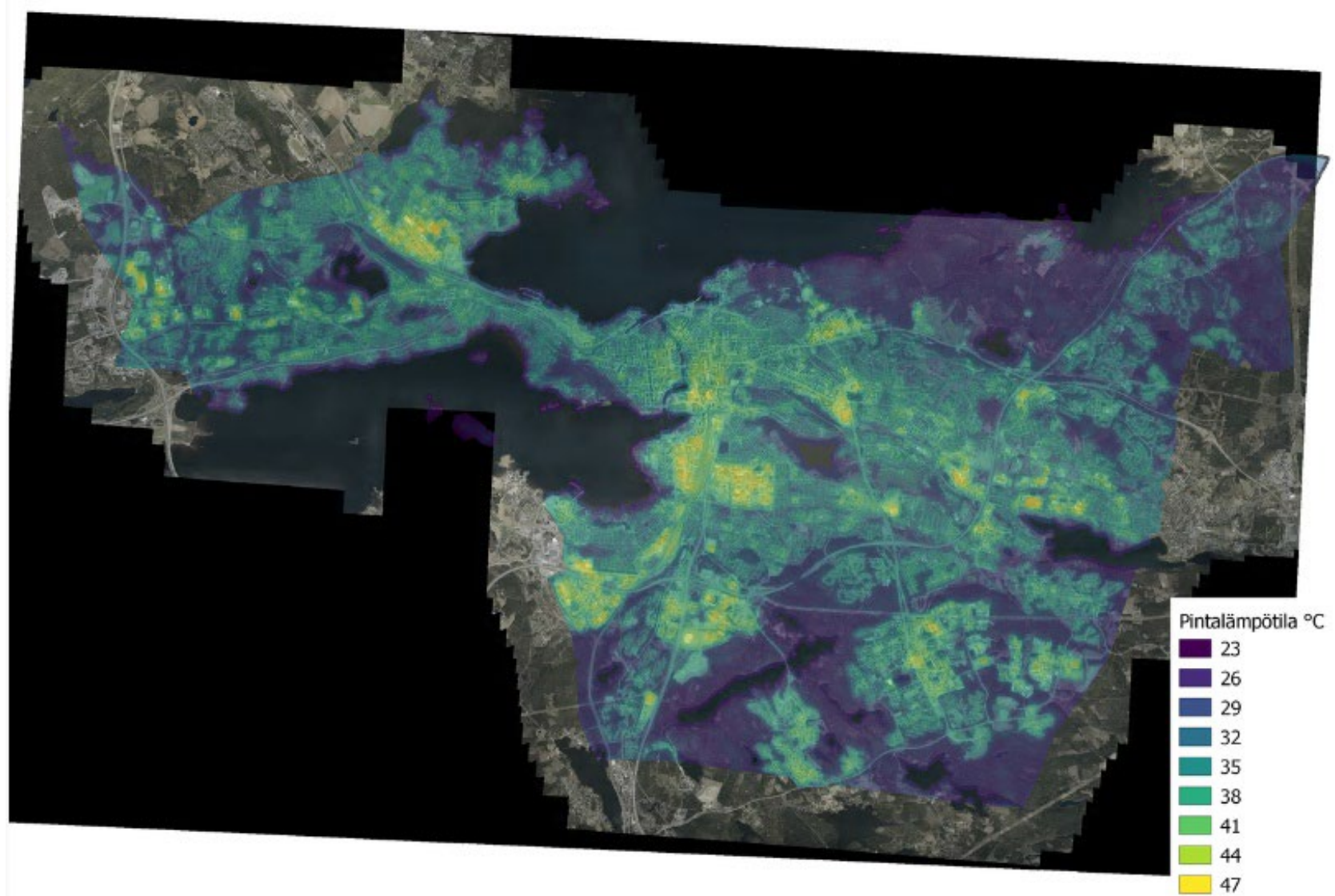


Kuva 3. Erot maanpinnan ja ilman lämpötiloissa Tampellan mittausasemalla. Maan lämpötila on mittausajan kohtina ollut 6-12,2 °C korkeampi kuin ilman lämpötila. (Ilmatieteenlaitos, www a) Mittausasema sijaitsee kantakaupungin korttelialueella.



Kuva 4. Erot maanpinnan ja ilman lämpötiloissa Härmälän mittausasemalla. Maan lämpötila on mittausajan kohtina ollut 3,4-8,8 °C korkeampi kuin ilman lämpötila. (Ilmatieteenlaitos, www a) Mittausasema sijaitsee teollisuusalueen ja pientaloalueen välillä.





Kartta 1. Maan pintalämpötila Tampereen kantakaupungissa 3.7.2021. Taustalla ilmakekuva 2020.

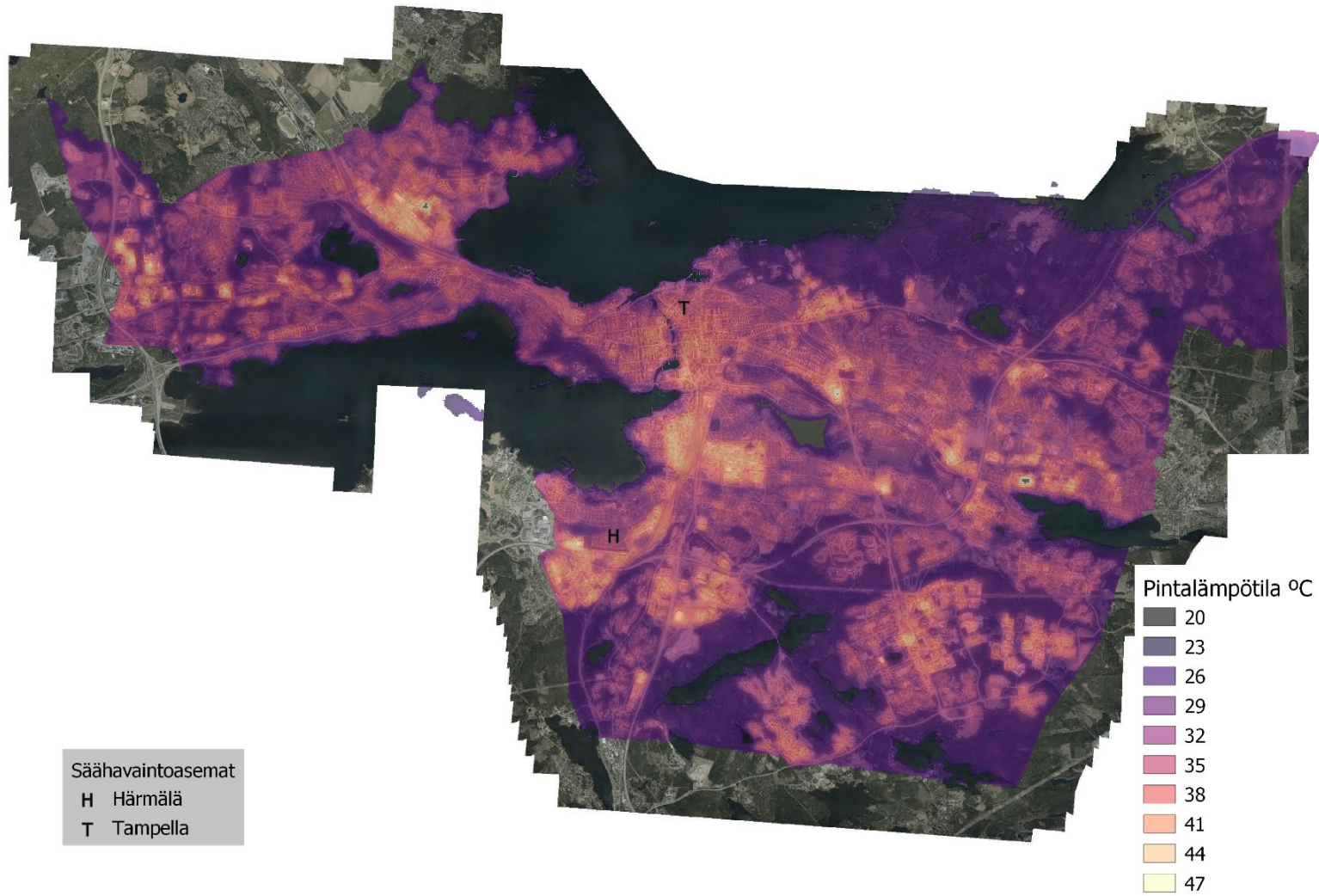
### 3.1.2 Yhdistelmäkartta

Työn ensimmäisessä vaiheessa laaditun yhden kuumen ajankohdan kartan lisäksi maan pintalämpötiloista laadittiin myöhemmin yhdistelmäkartta kahdeksalta kuumalta ajankohdalta (kartta 2). Yhdistelmäkartalla maan pintalämpötilat noudattavat hyvin samantyyppistä alueellista jakaumaa kuin yhden kuumen ajankohdan tarkastelu (kartta 1). Lämpötilat ovat yhdistelmäkartalla noin 2 celsiusastetta alempia johtuen siitä, että osa ajankohdista oli vähemmän kuumia.

Maan pintalämpötilojen yhdistelmäkartta kuvaa tilannetta kuumilta kesäpäiviltä vuosilta 2015-2021, jolloin vuorokauden keskilämpötila oli yli +20 °C. Kahdeksan pintalämpötilakartan joukossa (kuva 5) Valituista ajanjaksoista 18.7.2018 sekä 27.7.2018 ja 3.7.2021 osuvat useamman päivän jaksoon, jolloin päivän ylin lämpötila on noussut hellerajaan eli +25 °C tuntumaan tai sen yli (Ilmatieteenlaitokseen säätiedot Härmälän asemalta). Yksi ajankohta 14.6.2020, jolloin päivän keskilämpötila oli muita selvästi alempi, +20 °C ja ilman lämpötila kuvaushetkellä iltapäivällä oli alle +24 °C. Maan pintalämpötilat eivät kuitenkaan ole alhaisimmat tällä, vaan 8.8.2020 kartalla. Ilman lämpötila ei ole ainoa selittävä tekijä maan pinnan kuumenemiselle.

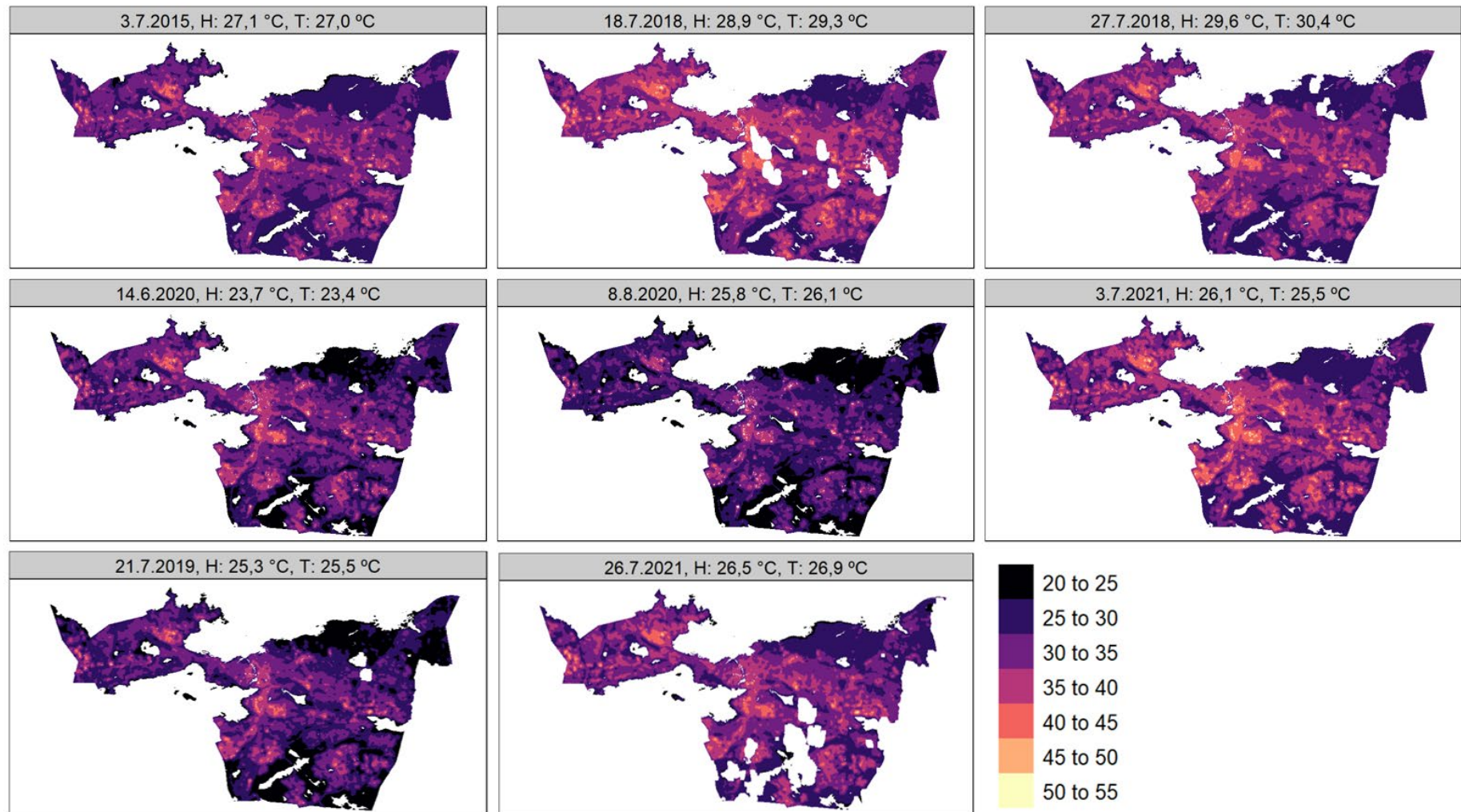
Kyseessä voi esimerkiksi olla pilvisyyden vaihtelu tai edeltävien päivien lämpötilat.

Selvityksen alussa esitetty kuumen ajankohdan kartta 3.7.2021 (kartta 1) on valikoitujen ajankohtien kuumimmasta päästä. Sitä edelis kahden viikon hellejakso. Sen voidaan ajatella antavan esimakua tulevaisuudessa yleistyvistä tilanteista, kun lämpötilat ilmastonmuutoksen seurauksena nousevat ja hellejaksot yleistyvät (ks. kappale 4.2). Siitä syystä tässä raportissa 3.7.2021 karttaa käytetään tarkasteluihin vaiheyleiskaavan karttojen kanssa (kappale 3.2.2) sekä haavoittuvuuksien esittämiseen (kappaleet 5.1–5.2).



Kartta 2. Yhdistelmäkartta maan pintalämpötilasta kahdeksalta kuumalta ajankohdalta vuosina 2015-2018.





Kuva 5. Pintalämpötilarasteri kahdeksasta yhdistelmäkarttaan valitusta ajankohdasta. Karttaotsikon lämpötilat kuvaavat ilman lämpötilaa kuvaushetkellä iltapäivällä Ilmatieteen laitoksen H=Härmälän ja T=Tampellan sääasemilta.

### 3.1.3 Työssä käytetyt menetelmät ja aineistot

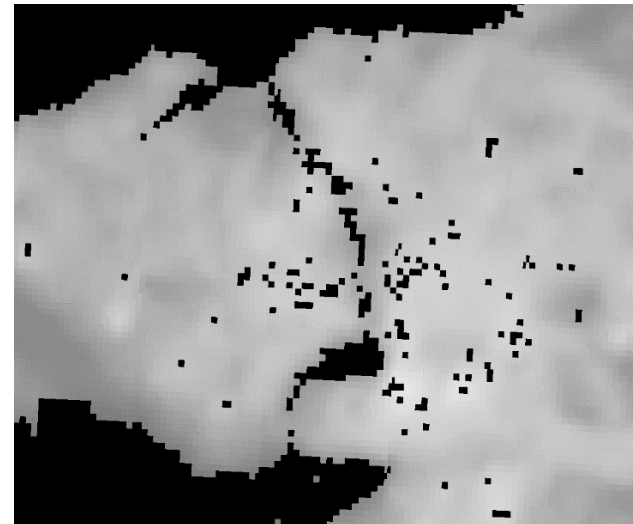
Työssä pintalämpötila-aineistolähteenä käytettiin Landsat 8 -satelliitin lämpökanavan aineistoa, jota ladattiin Remote Sensing Labin latauspalvelusta ([http://rslab.gr/downloads\\_LandsatLST.html](http://rslab.gr/downloads_LandsatLST.html)). Palvelu laskee valitulle alueelle valmiiksi 30 metrin pikselikoolle pintalämpötilan ja tuottaa ladattavaksi lähes sellaisenaan hyödynnettävän rasterin. Palvelussa ohjeistetaan, että kaupunkirakenteseen sopivat emissiviteetit ovat NDVI ja MODIS, joista työhön valittiin korkeamman resoluution NDVI.

Pilvet estävät mittauksen, joten aineisto on valittava sellaiselta päivältä, jolloin taivas on pilvetön satelliitin kulkiessa kohdealueen yli. Kesällä 2021 mittaustuloksia on 3–4 päivältä kuukaudessa.

Yhden ajankohdan kartan osalta työssä tarkasteltiin eri mittausajankohtien pilvisyyttä ja verrattiin mittausajankohtia Ilmatieteen laitoksen Tampellan sääaseman aineistoon lämpötiloista, minkä perusteella lämpösaarekartan kuvauspäiväksi valittiin 3.7.2021. Kesällä 2021 oli melko lämmintä ja 3.7. vuorokauden keskilämpötila ja korkein lämpötila olivat +24 ja +28 °C. Vuosina 2013-2020 niin lämpimiä päiviä on ollut keskimäärin alle 5 – muutamina vuosina ei yhtään ja vuonna 2018 15 kappaletta. Tampellan sääasemalta on

tietoja vuodesta 2013 vuoden 2022 alkupuolelle asti. (Ilmatieteenlaitos, www a).

Pintalämpötila-aineisto valittiin pilvettömältä päivältä, mutta aineistossa oli silti pieniä 1–3 pikselin kokoisia tai levyisiä aukkoja (kuva 6). Aukot korjattiin QGIS:n fill nodata -työkalulla laskemalla enintään 2 pikselin eli 60 metrin etäisyydeltä arvot puuttuvien pikseleiden tilalle. Suurin osa aukoista näyttää sijoittuvan lämpimiin kohtiin, joissa lämpötilagradientti on yhdensuuntainen, joten puuttuvan arvon korvaaminen viereisellä ei aiheuta harhaa.



Kuva 6: Satelliittiaineiston aukkoja.

Myöhemmin laadittuun yhdistelmäkarttaan on valittu vuosien 2015-2021 kesiltä kahdeksan ajankohtaa, jolloin vuorokauden ilman

keskilämpötila Ilmatieteenlaitoksen Tampereen Härmälän sääasemalla ylitti +20 °C ja jolloin pilvisyys oli 15% tai alle. Nämä vuorokaudet ovat kuumempia kuin heinäkuun keskilämpötila +17,4 °C Tampereella vuosina 1991-2020 (liite 1).

Ajankohtien valintaa rajoitti Landsat 8 lämpökanavakuvan saatavuus, sillä sitä ei ole jokaiselta päivältä. Lisäksi ajankohdiksi valittiin mahdollisimman pilvettömiä päiviä, sillä pilvien kohdalla maanpinnan lämpötilakartassa on aukkoja, kuten yllä on selitetty. Landsat 8 -satelliittidataa ei selvitystä laadittaessa ollut saatavilla kesältä 2022 Remote Sensing Labin latauspalvelusta.

## 3.2 Lämpösaarekkeet suhteessa kaupunkirakenteeseen ja kantakaupungin yleiskaavatilanteeseen

### 3.2.1 Nykytilanne

Maan pintalämpötiloja tarkasteltiin vuoden 2020 ortoilmakuvan kanssa, ja tältä pohjalta esitettiin havaintoja kaupunkirakenteen suhteesta lämpenemiseen (kartta 1). Tarkastelussa käytettiin 3.7.2021 karttaa, joka aiemmin valittiin edustamaan kuumaa ajankohtaa.

Tarkastelu kertoo, että Tampereen kantakaupungin kuumimmat alueet ovat teollisuus- ja tuotantolaitosten sekä vähittäiskaupan

alueita, joissa rakennukset ovat suuria ja katutilat leveitä: Nekala, Lielähti, Sarankulma ja Lahdesjärvi. Rakennetut pinnat ovat laajoja ja kasvillisuus vähäistä. Myös yksittäiset suurrakennukset (suuryksiköt) nousevat esiin kartalta ympäristöä kuumempina kantakaupungin itäosissa sekä Myllypurossa. Keskustassa erottuvat Ratinan kauppakeskus sekä Nokia Arenan työmaa.

Viileimpiä ovat metsäiset alueet ja asutuksesta pientaloalueet. Tiheään rakennettu ydinkeskusta ei korostu kartalta. Ydinkeskustan lämpötiloihin vaikuttaa todennäköisesti laajojen vesipintojen sijainti sen pohjois- ja eteläpuolilla. Havainnot vastaavat kappaleessa 2 esitetyn kirjallisuustutkimuksen tietoja lämpösaarekeilmiön esiintymisestä kaupunkirakenteessa. Myös jälkeinpäin laaditulla eri ajankohtien tarkastelulla (kuva 5) sekä yhdistelmäkartalla (kartta 2) kuumimmat ja viileimmät alueet noudattavat saman tyypistä jakaumaa.

Kaupunkirakenteen ominaisuuksia suhteessa pintalämpötiloihin on tutkittu tämän raportin kappaleessa 4.1 tarkemmin tilasto- ja paikkatietoanalyysia yhdistelemällä.

### 3.2.2 Kantakaupungin —yleiskaavatilanne

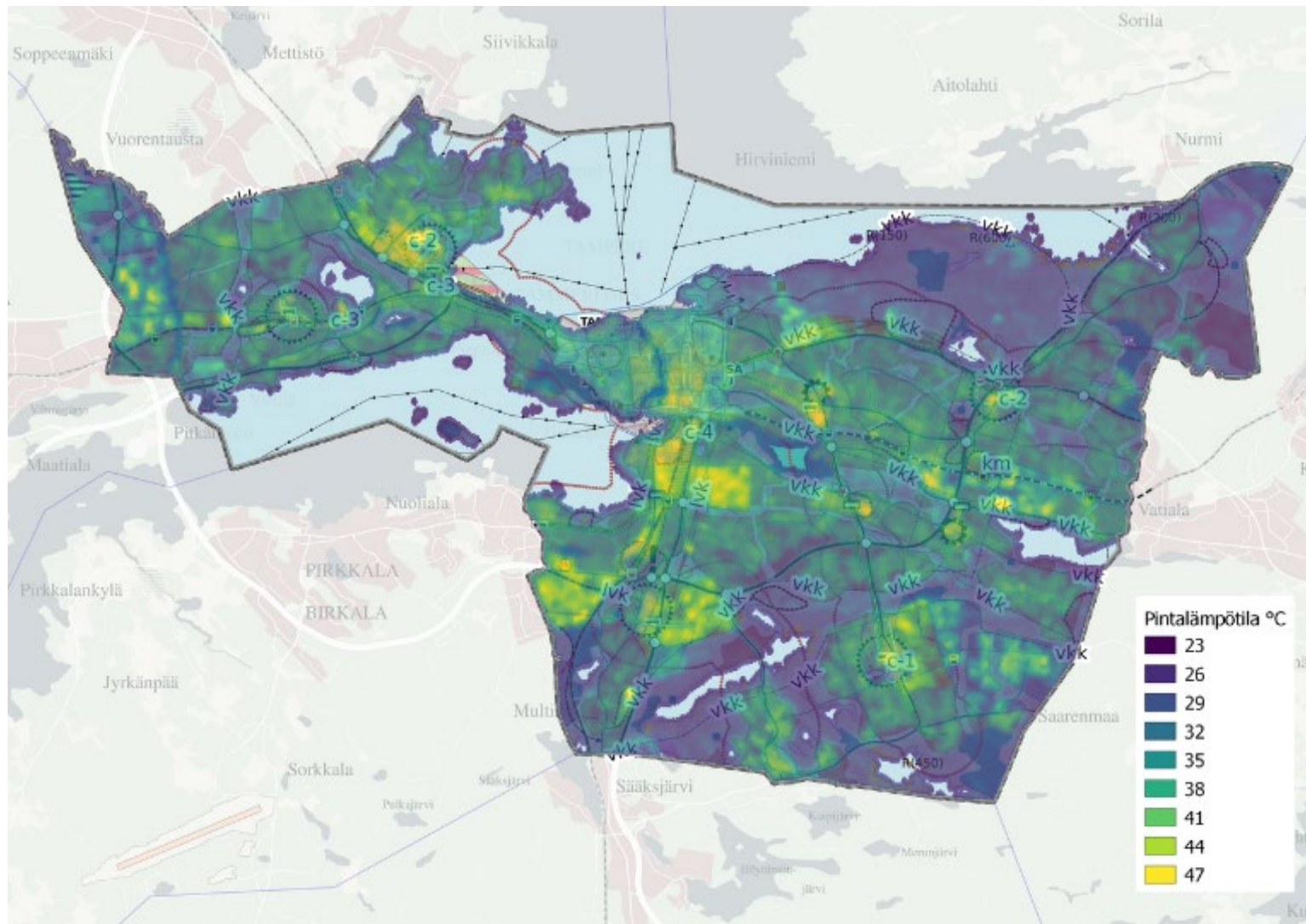
3.7.2021 pintalämpötilakarttaa tarkasteltiin päällekkäin myös kantakaupungin vaiheyleiskaavan – valtuustokausi 2017–2021 teemakarttojen 1 (yhdyskuntarakenne) ja 2

(viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut) kanssa. On huomattava, että esitetty pinta-lämpötilarasteri kuvaa satelliitin kuvauspäivänä toteutunutta tilannetta. Sen osalta lämpötiloissa ei siis näy muutosta suunniteltujen tai kuvausajankohdan jälkeen tapahtuneiden maankäytön muutosten kohdalla. Arvioinnin tarkoituksena on tunnistaa, millä yleiskaavan alueilla voi olla tarpeen kiinnittää huomiota lämpösaarekeilmiön lieventämiseen ja kuumuudesta syntyvien riskien ehkäisemiseen.

Yhdyskuntarakennetta koskevalla teemakartalla (kartta 3 seuraavalla sivulla) nykyiset lämpösaarekkeet osuvat erityisesti merkintöihin ”palvelujen ja työpaikkojen sekoittunut

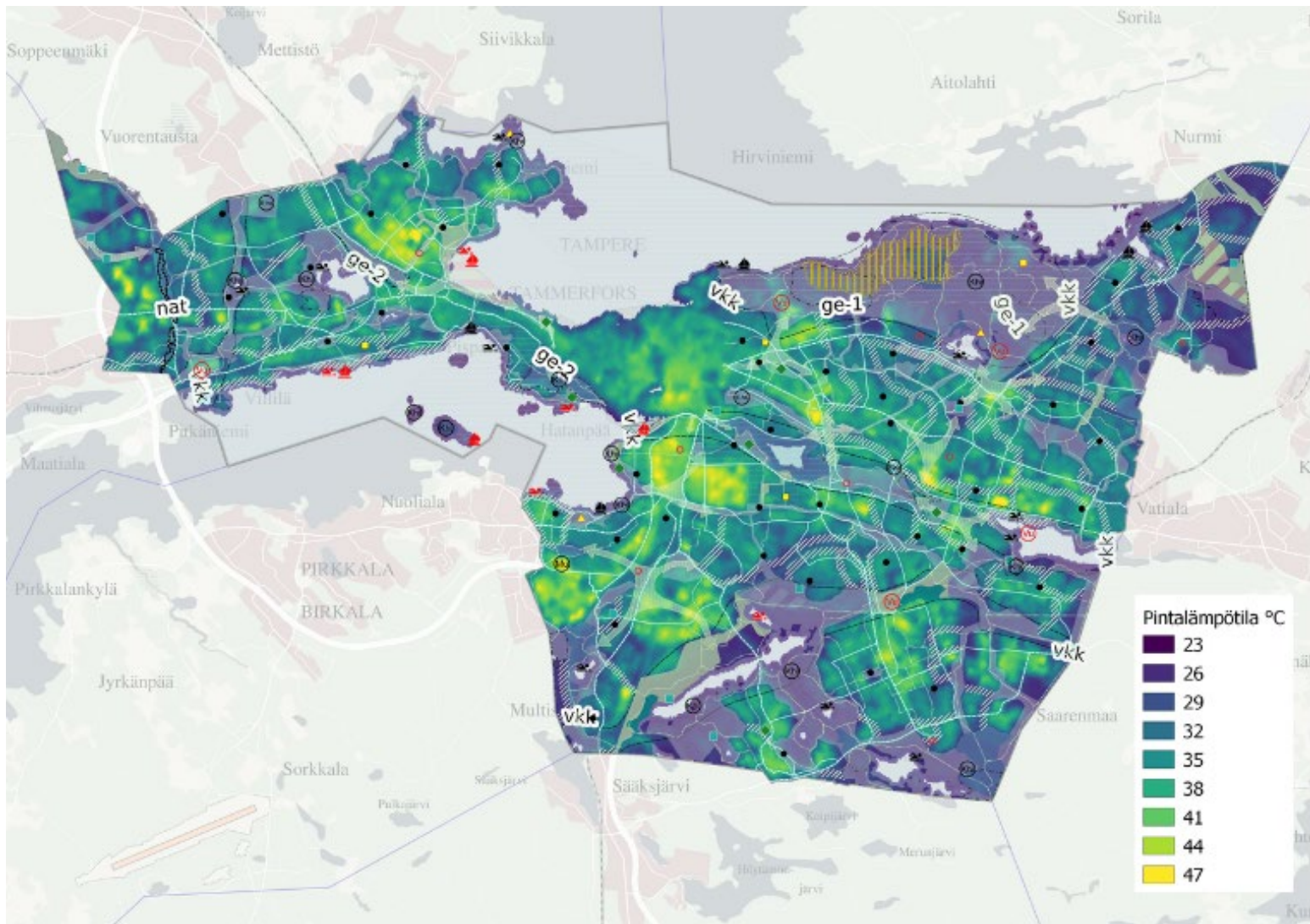
alue tai kohde” sekä jossain määrin keskusta-alueille. Yleiskaavamääräykset ottavat kantaa suuryksiköiden kokoon, mutta alueilla voisi huomioida myös viherympäristön lisäämisen merkityksen pienilmastoon, sillä yksipuolinen matala ja leveä katutila lisää kuumuuden intensiteettiä (esim. Ward et al. 2016, Wang et al. 2016). Keskustan strategisen osayleiskaavan alueella on havaittavissa melko korkeita maan pinnan lämpötiloja, erityisesti rautatie- aseman ympäristössä ja Ratinan alueella. Kaavassa ne ovat keskustatoimintojen aluetta.





Kartta 3. Pintalämpörasteri sekä kantakaupungin yleiskaavatilanteen yhdyskuntarakenteen teemakartta.





Kartta 4. Pintalämpörasteri sekä kantakaupungin yleiskaavatilanteen viherympäristön ja vapaa-ajan palveluiden teemakartta.

Viherympäristöä esittävän teemakartan tarkastelusta (edellisen sivun kartta 4) nousee esiin lämpösaarekkeiden päällekkäisyys "ohjeellisten viherverkoston yhteystarvealueiden kanssa" sekä kaupunginosapuistojen vähäisyys kuumilla alueilla. Jälkimmäinen selittyy sillä, että puistot palvelevat ensisijaisesti asuinalueita. Viherverkoston ohjeellisilla yhteystarvealueilla voisi jatkossa olla merkityksellinen rooli lämpösaarekeilmiön lieventämisessä palvelujen ja työpaikkojen sekoittuneilla alueilla. Haasteena on kuitenkin se, että ne sijaitsevat esimerkiksi laajoilla risteysalueilla. Kuumimpiin alueisiin ei viherympäristöä kuvaavalla kartalla ole kaavamerkintöjä. Alueen tyypistä riippuen (teollisuus- /asuinalue) niihin ulottuu virkistys- ja pyöräilyn reitistö viivamaisena. Kaupunkiluonnon riskikohteita ja haavoittuvuuksia kuvataan kappaleessa 5.2.

## 4 Lämpösaarekeilmiötä voimistavat tekijät Tampereella

### 4.1 Kaupunkirakenteen analyysi

Yllä kuvailtujen havaintojen perusteella lämpösaarekeilmiö on Tampereen kantakaupungissa voimakkaimmillaan alueilla, joilla on suuria rakennuksia, paljon tie- tai katupintaa ja niukasti kasvillisuutta. Tämä vastaa

kirjallisuuskatsauksessa syntynyttä käsitystä lämpösaarekeilmiötä voimistavista tekijöistä.

Silmämääräisen analyysin tarkentamiseksi laadittiin tilastoanalyysi seuraavista kaupunkirakenteen tekijöistä suhteessa maan pinnan lämpöön:

- Puuston määrä (Tampereen maanpeiteaineisto)
- Muu avoin kasvipinta & pellot (Tampereen maanpeiteaineisto)
- Tiet & muu läpäisemätön pinta (Tampereen maanpeiteaineisto)
- Rakentamisen aluetehokkuus (kerrosala jaettuna ruudun pinta-alalla, rakennukset pisteinä -aineisto)

Tekijät on valikoitu kirjallisuuskatsauksen perusteella. On kuitenkin mahdollista, että tarkastelun ulkopuolelle jää muita lämpösaarekeilmiötä voimistavia tai heikentäviä tekijöitä. Esimerkiksi rakennusten ilmastointilaitteet sekä liikenne lämmittävät ilmaa. Korkeat rakennukset varjostavat ja siten suojaavat katutilaa auringon säteilyltä. Vesistöjen määrä Tampereella todennäköisesti viilentää ilmastoa. Vesistön jättäminen pois tilastoanalyysistä on perusteltu alempana.

Kantakaupunki jaettiin 250x250 metrin ruutuihin ja tarkastelussa käytettiin kunkin ruudun keskipintalämpötilaa, joka laskettiin ruutuihin liitetyistä 3.7.2021 kuvatun pintalämpötilakartan rasteriarvoista.

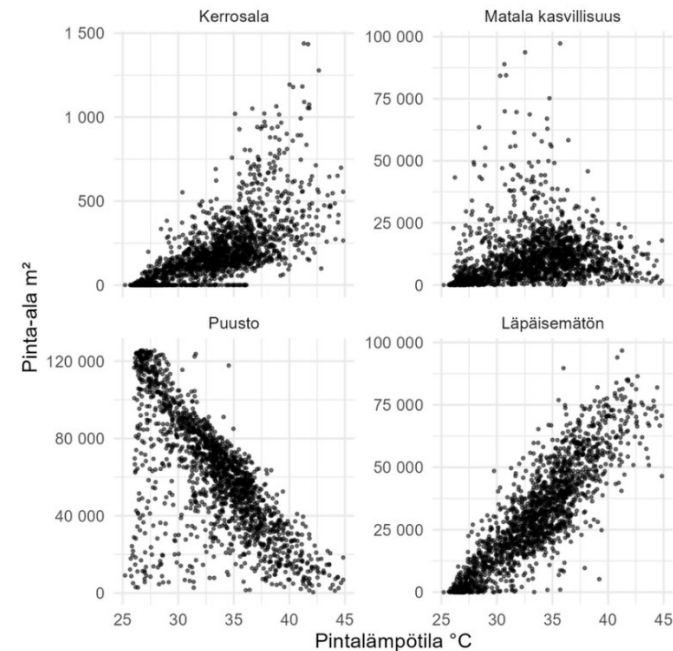
250x250 metrin ruutuihin liitettiin maanpeiteaineistoja ruudun keskipisteestä laskettuun 200 metrin puskuriin, jotta ruuduille muodostui liukuvat rajat tarkkojen ja ilmiön kannalta mielivaltaisten rajojen sijasta. Samalla ruudulle laskettava maanpeitteiden pinta-ala vähintään kaksinkertaistuu noin 125 tuhanteen neliometriin. Liitos toteutettiin yksinkertaisella intersects-liitoksella.

Analyysistä on jätetty pois ruudut, jotka koskettavat yli 50 000 m<sup>2</sup> vesistöjä, sillä vesialueilla maan pintalämpötilan arvo on 0 eikä analyysissä käytettäviä maanpeitteitä esiinny, mikä vääristää ruudun keskilämpötilaa ja lämpötilaa selittävää mallia. Analyysistä suljettiin pois myös ruudut, joissa ei muista syistä esiinny lainkaan analysoitavia maanpeiteaineistoja eikä vähintään 2 500 m<sup>2</sup> kerrosalaa, koska vähäisen aineiston ruudut voivat aiheuttaa mallinnuksessa harhaa (esim. viileät ruudut, joissa ei esiinny lainkaan maanpeitetietoja).

Maanpeiteaineistoista tiet ja muut vettä läpäisemättömät alueet sekä muu matala kasvillisuus ja pellot päätettiin yhdistää, koska maanpeitteiden yhteyden lämpötilaan oletettiin olevan hyvin samankaltainen. Syytä on myös huomata, että Tampereen maanpeiteaineistoa ei ollut kaikin osin koilliskantakaupungista.

Kuvassa 7 on esitetty eri maanpeitepinta-alojen suhde pintalämpötilaan. Kerrosala on

muunnettu kuvaa varten neliöjuurella, jotta yhteyden muoto on helpompi tulkita eikä valtavat arvot venytä y-akselia. Kuvasta voidaan nähdä, että eri maanpeitteillä on melko selkeitä yhteyksiä lämpötilaan, mutta matalan kasvillisuuden yhteys jää alustavasti epäselväksi. Johtopäätöksiä tehdessä on hyvä huomioida, että maanpeitteet ovat mittareita toisilleen, sillä usein kerrosalaa seuraa vettä läpäisemättömät alueet ja kerrosala yhdessä läpäisemättömien alueiden kanssa sulkee pois pinta-alaa puilta ja kasvillisuudelta.



Kuva 7. Maanpeitteen ja pintalämpötilan suhde. Kerrosala on neliöjuurimuunnettu.

Analyysin toteuttamiseksi tehtiin regressio-analyysyjä. Vasteena mallinnuksessa käytettiin ruudun keskipintalämpötilaa ja selittäjinä maanpeitepinta-aloja. Ensimmäiseksi analyysissä kokeiltiin lineaarista regressiomallia, mutta mallin diagnosoinnissa havaittiin, ettei yhteydet maanpeitteen ja lämpötilan välillä ole täysin lineaarisia. Hajonta on paikoin suurta. Epälineaaristen tilastollisten yhteyksien vuoksi analyysi toteutettiin yleistetyllä additiivisella mallilla, jossa maanpeitepinta-alat sovitettiin malliin regressiosplineillä, joilla pyritään käsittelemään selittäjien vaihtelua joustavasti. Vastemuuttujan vaihtelun jakaumaksi määritettiin normaalijakauma.

Linearisessa regressiossa selittävät muuttujat eivät saa korreloida liikaa keskenään, joka maanpeiteaineistoissa on osittain väistämättäkin (rakennukset esiintyvät vettä läpäisemättömien pintojen kanssa puupinta-alaa vähentäen) ongelmana, mutta additiivisessa mallissa selittäjät eivät sen lisäksi saisi olla riippuvaisia toisistaan siten, että niiden välille on sovitettavissa sileä käyrä (concurvity). Selittäjien keskinäistä riippuvuutta havaittiin siinä määrin, että kerrosala/aluetehtokkuus jätettiin mallista pois.

Lopullinen malli on muotoa

$$y = \beta_0 + f(x_{\text{läpäisemätön}}x_{\text{puupinta}}) + f(x_{\text{muukasvi}}) + \varepsilon$$

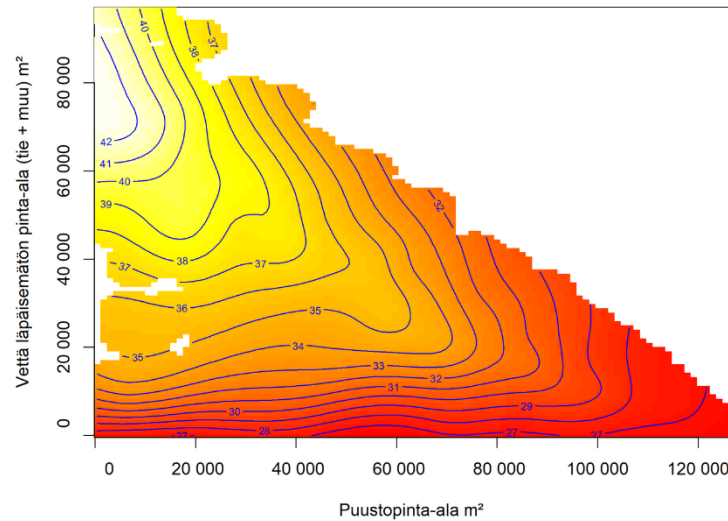
jossa vettä läpäisemätön pinta (tiet ja muu läpäisemätön) ja puupinta-ala ovat interaktiossa ja lisäksi mallissa on mukana

selittäjänä muu matala kasvillisuus pellot mukaan lukien toisena splinenä. Interaktiolla hallitaan läpäisemättömän ja puupinta-alan keskinäistä riippuvuutta.

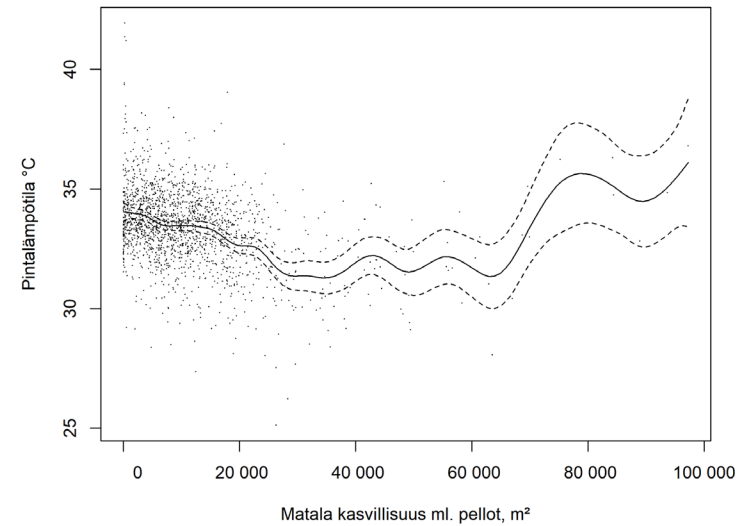
Yleistetystä additiivisesta mallista ei voi raportoida lineaariselle regressiolle tyypillisiä regressiokertoimia eli esimerkiksi lämpötilan nousua per maanpeitteen pinta-alayksikkö, sillä kulmakerroin vaihtelee rajustikin. Mallin tulokset on helpointa tulkita ennusteiden kautta.

Kuvassa 8 esitetään pintalämpötilan ennustevettä läpäisemättömän ja puupinta-alan mukaan. Kuvasta havaitaan, että lämpötila nousee rajusti vettä läpäisemättömän pinta-alan mukaan, mutta lämpötila laskee eri tavoin puuston pinta-alalla mukaan riippuen siitä, kuinka paljon vettä läpäisemätöntä pinta-alaa on. Kuvasta on poistettu sellaiset pinta-alojen yhdistelmät, joita ei löydy havainnoista.

Kuvassa 9 on esillä pintalämpötilan ja matalan kasvillisuuden suhde siinä tilanteessa, että vettä läpäisemätöntä ja puuston pinta-alaa on molempia 10 000 m<sup>2</sup>. Tästä syystä y-akselilla käyrä asettuu hieman alle 35 asteeseen. Kuvasta voidaan tulkita, että lämpötila keskimäärin hieman laskee, kun matalan kasvillisuuden määrä kasvaa. Erittäin suuria määriä matalaa kasvillisuutta on hyvin harvoin, joten keskiarvon luottamusväli kasvaa. Hajontaa on kuitenkin kohtalaisen paljon, kuten kuvassa näkyvistä pisteistä voidaan havaita.



Kokonaisuudessaan mallin metriikan perusteella mainitut selittäjät kykenevät ennustamaan pintalämpötilaa lähes 90 % tarkkuudella (kun verrataan havaittuun). Vettä läpäisemätön pinta yhdessä puupinta-alan kanssa on varsin voimakas pintalämpötilan selittäjä. Etenkin vettä läpäisemätön pinta, tie tai muu esimerkiksi asfalttipinta, selittää kasvaneita lämpötiloja. Vähäiselläkin puuston pinta-alalla lämpötilaa pysyy matalana, jos vettä läpäisemätöntä pinta-alaa on vähän. Jos läpäisemätöntä pintaa on paljon, voi puupinta-alalla olla usean lämpöasteen vaikutus alueen keskimääräiseen pintalämpötilaan.



Kuva 8. Pintalämpötilan ennuste vettä läpäisemättömän ja puuston pinta-alan mukaan.

Kuva 9. pintalämpötilan ja matalan kasvillisuuden suhde siinä tilanteessa, että vettä läpäisemätöntä ja puupinta-alaa on molempia 10 000 m<sup>2</sup>.



## 4.2 Ilmastonmuutoksen vaikutus lämpötiloihin

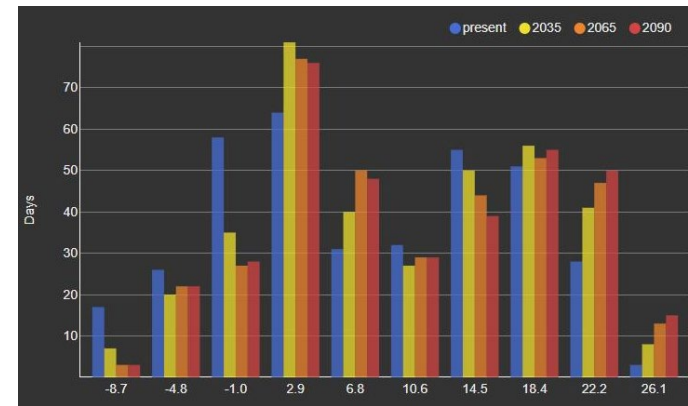
Tässä selvityksessä käytetty maanpinnan lämpötiloja kuvaava yhden päivän aineisto on päivältä (3.7.2021), jolloin päivän keskilämpötila Tampellan mittausasemalla oli +24 °C.

Tällaisten hyvin kuumien päivien yleistymistä ilmaston lämmitessä arvioitiin WeatherShift -palvelun ([www.weathershift.com](http://www.weathershift.com)) tietojen pohjalta. WeatherShift on Arup North America Ltd:n and Argos Analytics LLC:n kehittämä palvelu, joka hyödyntää koko maapallon kattavia ilmastomalleja, joiden avulla arvioidaan ilmaston muutosta erilaisten Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (Intergovernmental Climate Change, IPCC) skenaarioiden pohjalta.

Oheinen kuva (kuva 10) esittää meteorologisen tyyppivuoden kehitystä tulevana vuosikymmeninä. Kuvassa esitetyt arvot kuvaavat kunkin päivän ylintä lämpötilaa. Nykytilanne "present" perustuu [climate.onebuilding.org](http://climate.onebuilding.org) -sivulta tallennettuun Tampereen ilmasto kuvaavaan tiedostoon (FIN\_TR\_Tampere.Satakunnankatu.027440\_TMYx.2007-2021.epw). Kun tätä tietoa verrataan vuoden 2021 Tampereen sää tietoihin, voidaan todeta, että +24 celsiusastetta ylitetään vuoden 2021 päivän keskilämpötiloissa karkeasti yhtä usein kuin tämä arvo ylittyy käytetyn tyyppivuoden ylimmissä lämpötiloissa. Eroa selittää

viimeisen 14 vuoden aikana tapahtunut ilmaston lämpeneminen.

Kuvan 10 pohjalta voidaan päätellä, että hyvin kuumien päivien (tässä kuvaajassa rajana on +22.2 °C) määrä kasvaa n. 64% vuoteen 2035 mennessä ja n. 80% vuoteen 2090 mennessä. Vuosisadan lopulla tällaisia päiviä arvioidaan olevan Tampereella 50 vuodessa.



Kuva 10. Tampereen ilmaston lämpeneminen tulevana vuosikymmeninä. "Present" tarkoittaa nykytilannetta.

Kuvassa käytetyt tulevaisuuden skenaariot pohjautuvat IPCC:n viidennen arviointiraporttiin ja RCP-skenaarioon (Representative Concentration Pathways) 4.5. Tämä skenaario kuvaa tilannetta, jossa ilmastonmuutosta onnistutaan hillitsemään kohtalaisen paljon. Käytetty data edustaa skenaarion 4.5 keskiarvoa lämpenemiselle. Skenaariot sisältävät epävarmuutta, joka huomioidaan kunkin skenaarion sisäisellä arviolla lämpenemisen todennäköisyydestä.

Ilmastonmuutos voi vaikuttaa lämpösaarekeilmiöön myös välillisesti, ihmisten muuttessa käytöstään ilmastonmuutoksesta johdettua. Mahdollisia vaikutuksia ovat ainakin ilmalämpöpumppujen yleistymisen ja näiden käyttäminen viilennykseen.

## 5 Haavoittuvuudet kuumuusjaksoille Tampereella

Pohjakarttana haavoittuvuusanalyysissä käytettiin 3.7.2021 maanpinnan lämpötilakarttaa (kartta 1), sillä se kuvaa kuumempaa tilannetta kuin lämpötilojen yhdistelmäkartta. Näin tarkastelu antaa paremman käsityksen mahdollisesta helleriskistä.

### 5.1 Sosiaalinen haavoittuvuus

#### 5.1.1 Väestö ja rakennuskanta

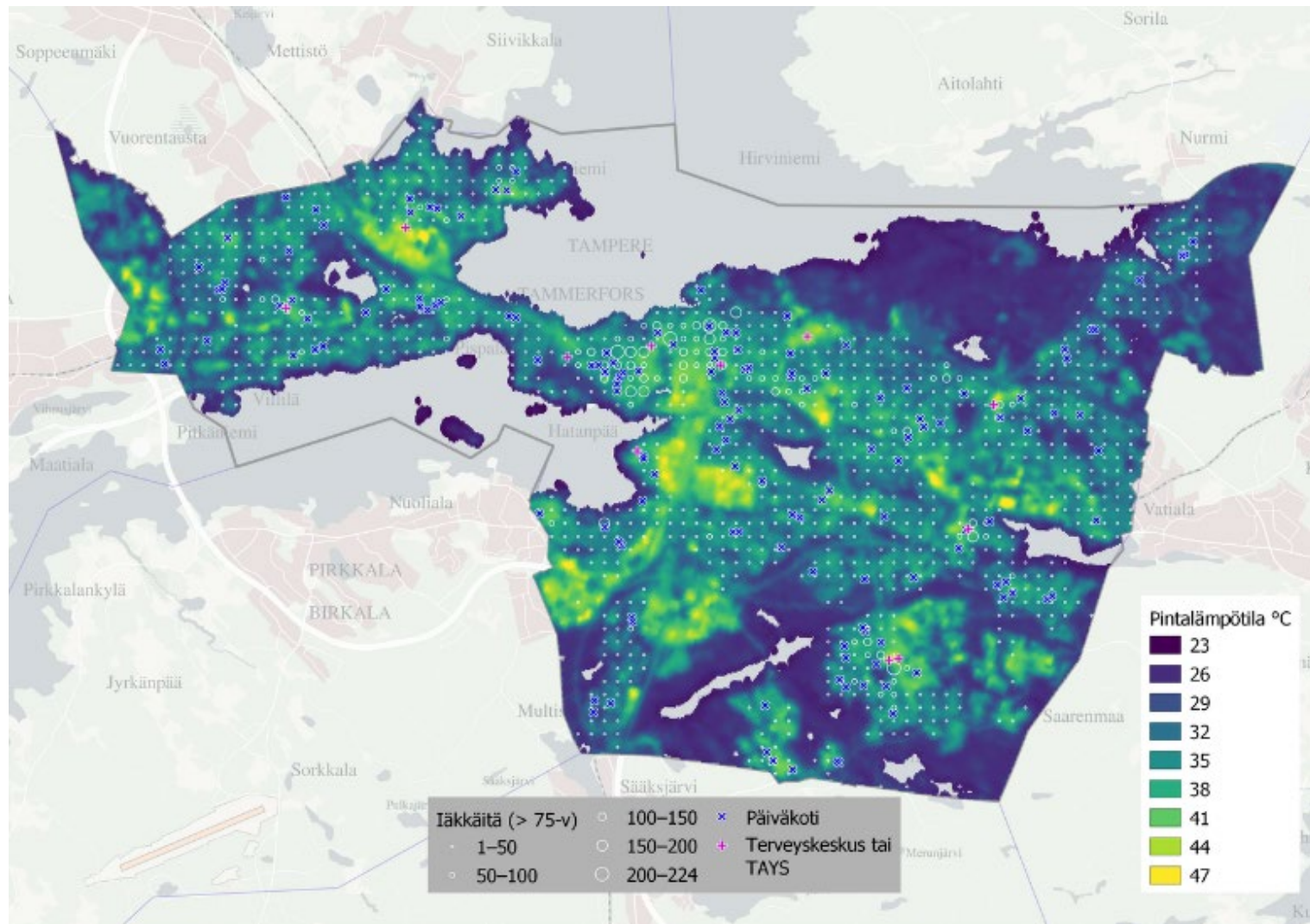
Ikä lisää haavoittuvuutta kuumuudelle, ja kasvattaa esimerkiksi sairaustapauksien sekä kuoleman riskiä. Seuraavan sivun kartasta (kartta 5) voidaan lukea iäkkään väestön sijoittuminen eli altistuminen lämpösaarekkeille 3.7.2021 mukaisessa tilanteessa. Valkoisen ympyrän suuruus kuvaa kussakin 250x250 ruudussa asuvien yli 75-vuotiaiden määrän vuoden 2021 tilastojen mukaan. Eniten iäkkästä väestöä sijaitsee pintalämpötilaltaan

kuumilla alueilla Hervannassa, Linnainmaan terveysaseman ympäristössä sekä Tampereen keskustassa.

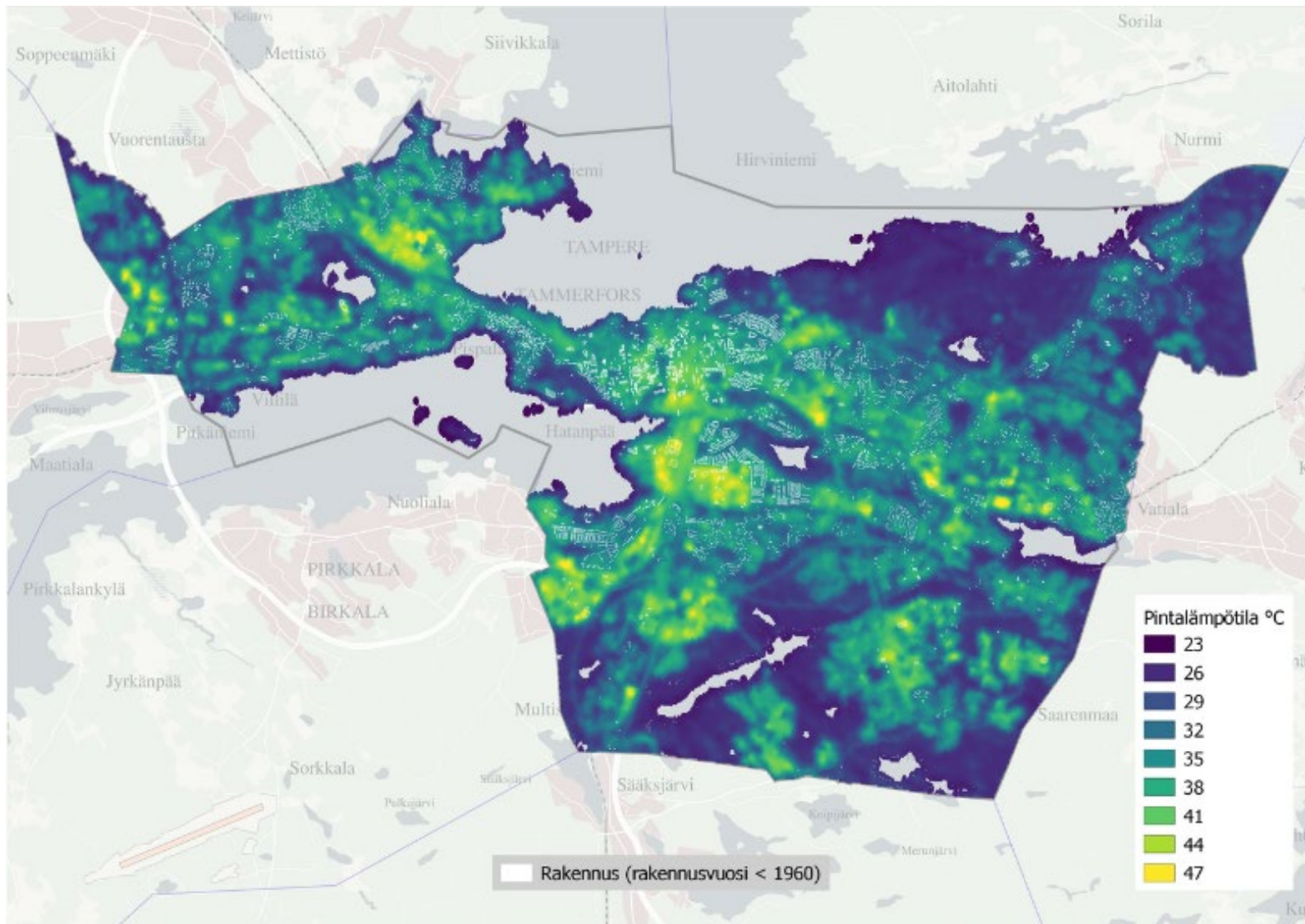
Lisäksi kartalla 5 on esitetty päiväkodit Tampereen palvelukartta-aineistosta ja Suomi.fi:n palvelutietovarantorajapinnalta koostettuna sekä kunnalliset terveysasemat ja Tampereen yliopistollinen sairaala (TAYS). Mukana ei siis ole kaikkia päiväkoteja ja terveysasemia. Lähes kaikki esitetyt terveysasemat sijaitsevat alueilla, joissa maan pintalämpötila on kuvausajankohdan korkeimmasta päästä eli 40 celsiusastetta tai sen yli. Päiväkodit sijaitsevat melko tasaisesti koko kaupungin alueella. Kuumimpia aluekeskuksia lukuun ottamatta ne sijoittuvat pääasiassa lämpösaarekkeiden ja viileämpien alueiden välimaastoon.

Aineisto ei sisällä tietoa esimerkiksi henkilöiden terveydentilasta tai rakennuskannasta ja asumismuodosta, tai mahdollisuuksista sopeutua helteisiin parantamalla asumismukavuutta. Yllä mainitut tekijät vaikuttavat haavoittuvuuteen sekä sopeutumiskykyyn iäkkään väestönosan sisällä. Sosiaalisen haavoittuvuuden arviointiin onkin kehitetty yhdistelmäindikaattori (Kazmierczak & Kankaanpää, 2016).





Kartta 5. Maan pintalämpötilarasteri 3.7.2021 sekä yli 75-vuotiaan väestön määrä, päiväkodit ja terveysasemat.



Kartta 6. Maan pintalämpötilarasteri 3.7.2021 sekä ennen 1960-lukua rakennetut rakennukset.

Tässä työssä on tarkasteltu rakennuskantaa. Voidaan olettaa, että ennen 1960-lukua rakennetut rakennukset ovat erityisen kuumia. Ennen 60-lukua kerrostalon rungon eristäminen oli verraten harvinaista (Neuvonen 2006). Eristämättömissä, massiivirakenteissa auringon lämpö siirtyy julkisivusta sisätilaan eristettyä rakennetta helpommin.

Edellisen sivun kartalla 6 esitetty ennen 1960-lukua rakennettu rakennuskanta on pääasiassa pientaloalueita. Keskustassa on vanhempia kerrostaloja selvästi ympäristöä lämpimämmillä alueilla. Lisäksi jotkut teollisuusrakennukset osuvat erityisen kuumiin kohtiin. Kartta ei huomioi sitä, että osaan rakennuksista eristys on lisätty myöhemmin. Asunnon lämpötilaan vaikuttaa myös se, onko asunto esimerkiksi varjon puolella, tai onko asukkaalla varaa ilmastointiin. Lisäksi on muistettava, että lämpötilakartta kuvaa maan pintalämpötilaa, ei ilman lämpötilaa ulkona tai rakennuksissa sisällä.

### 5.1.2 Leikkipaikat

Haavoittuvuuksien analyysissä tarkasteltiin myös leikkipaikkojen sijoittumista kantakaupungissa suhteessa pintalämpötilaan. Aineistona käytettiin Kaupunkiympäristön palvelualueen hallinnoimia asemakaavoitetuissa puistoissa tai muilla puistomaisesti rakennetuilla yleisillä alueilla sijaitsevia leikkipaikkoja 12.10.2022 Tampereen kaupungin avoimelta rajapinnalta haettuna. Leikkipaikoilla

oleskellaan usein ulkona päiväsaikaan, ja pienet lapset ovat haavoittuvaisia kuumuusstressille (ks. kappale 2.3.1).

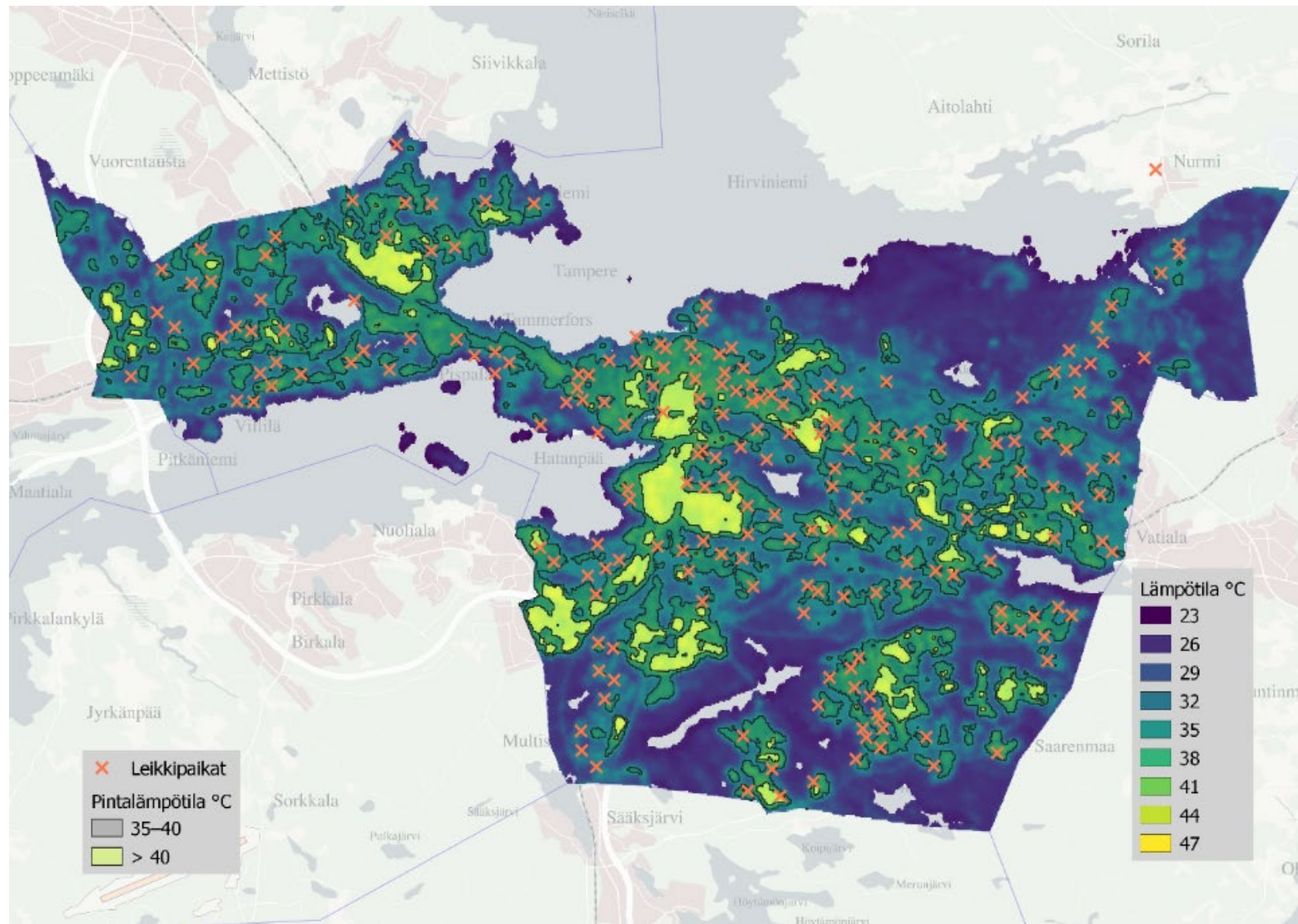
Tampereen kantakaupungissa sijaitsevien leikkipaikkojen kuumuusriskiä kartoitettiin kuuman päivän pintalämpötilakartalla (3.7.2021) (kartta 7). Monet leikkipaikat sijoittuvat kuumalle +35-40 °C vyöhykkeelle, mutta eivät kuitenkaan alueille, joissa maan pintalämpötila nousi yli +40 °C. Kauempana keskustasta leikkikentät sijaitsevat myös viileämmillä pintalämpötilan alueilla. Leikkipaikat usein sijaitsevat asuinalueiden reunalla, yhteydessä viheralueisiin. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää keskusta-alueen leikkipaikkoihin ja esimerkiksi korttelipihoihin, joissa lämpötilat voivat nousta kuumemmiksi. Käyttäjien määrä voi olla suurempi juuri tiiviimmän kaupunkirakenteen alueella.

Maan pintalämpötila ei kerro ilman lämpötilasta tai puiden varjosta sekä tuulisuusolosuhteista leikkipaikalla, mutta leikkipaikat ovat usein vähäpuustoisia alueilta niiltä osin, kun niissä on leikkivälineitä ja pelikenttiä. Nykytilaa kattavammin kuvaavalla pintalämpötilan yhdistelmäkartalla leikkipaikat sijoittuvat kuuman pääasiassa kuuman vyöhykkeen reunalle ja ulkopuolelle.

Haasteellista Suomen ilmastossa on se, että talvella ja kesällä sopeutumistarpeet pienilmaston suhteen ovat hyvin erilaisia. Kesäisiin helleaaltoihin varautumisen kannalta

leikkipaikkoja olisi hyvä sijoittaa laajempien viheralueiden reunaan sekä paikoille, joissa käy kesäisin jonkin verran ilmavirtaa. Keskeemmällä tiivistä korttelirakennetta leikkipaikkojen yhteyteen olisi hyvä suunnitella varjostava puustoa tai esimerkiksi vesielementtejä, jotka voivat lieventää kuumuusstressiä. Yleis- ja asemakaavatasolla tulisi huomioida helpot reitit viileämpiin paikkoihin. Tiiviimmin rakennetuilla alueilla leikkipaikat voivat myös toimia muuta ympäristöä viileämpänä kohteena kuten viheralueetkin.





Kartta 7. Maan pintalämpötilarasteri 3.7.2021 ja puistoissa sekä yleisillä alueilla sijaitsevat leikkipaikat 12.10.2022. Korostettuna lämpimät vyöhykkeet.

## 5.2 Siniviherrakenne ja kaupunkiluonnon haavoittuvuus

Kaupunkiluonto on ilmastonmuutokseen sopeutumista edistävä tekijä, mutta myös haavoittuvainen muuttuvassa ilmastossa (Kotakorpi 2020). Aiemmissa Tampereelle laadituissa selvityksissä on todettu siniviherrakenteen merkitys ilmatoriskeitä varautumisessa (Tampereen yleiskaavoitus 2020, Sitowise 2021). Kuumuudelle ja kuivuudelle haavoittuvaisiksi elinympäristöiksi ja siniviherrakenteen elementeiksi todettiin pienvedet sekä kuusivaltaiset metsät.

Helteiden ja kuivuuden lisäksi kuuset ovat myös haavoittuvia tulville, myrskyvahingoille sekä tuholaisille. Myös Tampereen kantakaupungin metsäalueilla on paljon kuusia. Kuusi esimerkiksi toimii tärkeänä elinympäristön suoja- ja pesäpuuna mutta myös turvaa tuovana kulkuyhteyspuuna uhanalaiselle liito-oravalle ja siksi kuusien vaaliminen on tärkeää. Kuusi on tärkeä laji suomalaisen luonnon monimuotoisuudelle. Kuusivaltaisilla alueilla ekologiset yhteydet voivat olla vaarassa heikentyä tai katketa mahdollisissa voimakkaissa myrskyissä, sekä routajakson lyhentyessä tai poistuessa kokonaan. Tämänkin takia voi olla perusteltua osoittaa maankäytön suunnittelussa vaihtoehtoisia yhteyspaikkoja

ja kiinnittää erityistä huomiota yhteyksien laatuun kuten monilajiseen puustoon.

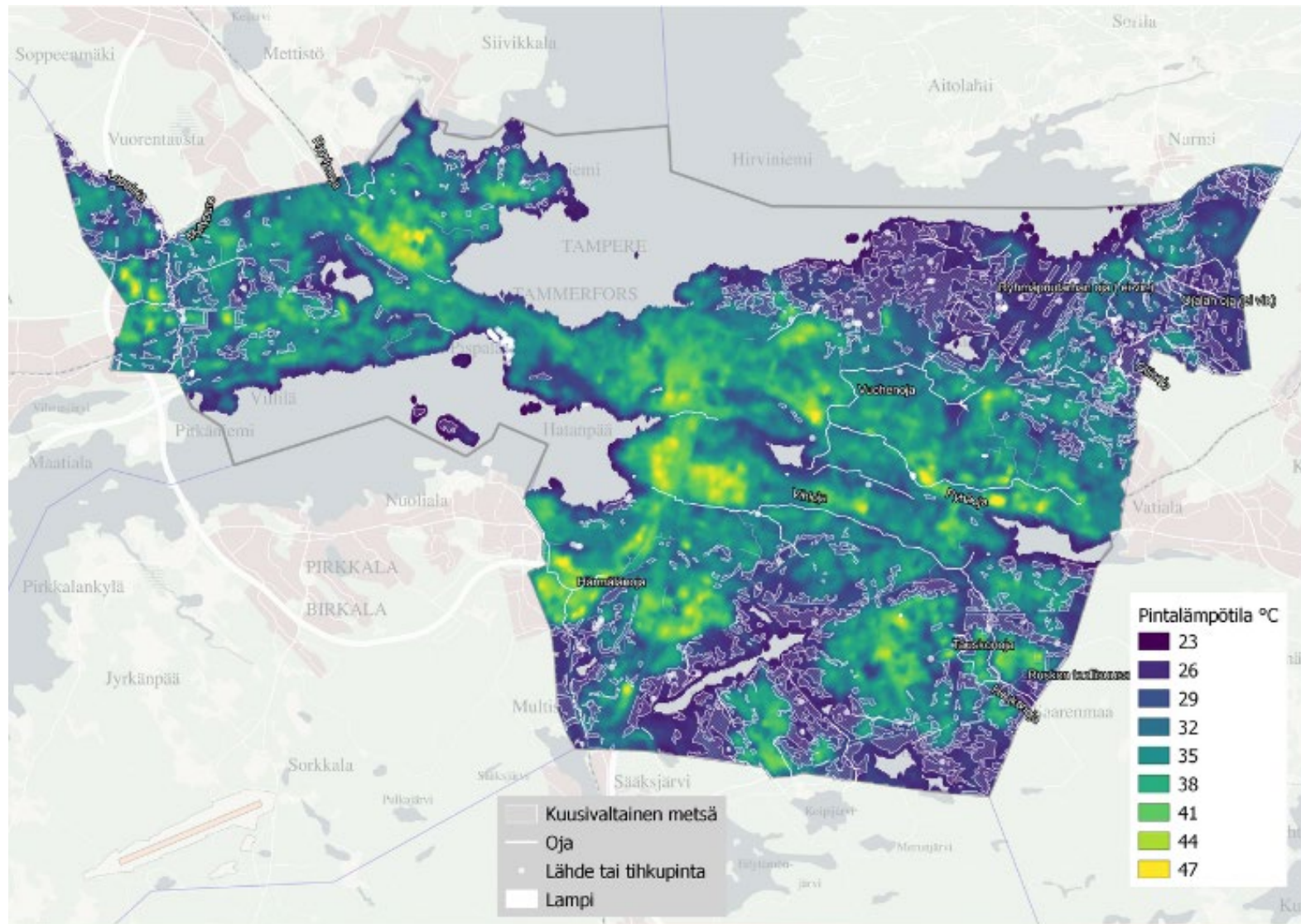
Pienvedet puolestaan saattavat kuivua pitkien helle- ja kuivuusjaksojen aikana myöhään keväällä tai kesällä. Purojen ja pienten lampien kasvillisuus sekä eliöstö saattaa siten olla vaarassa hävitä, mikäli ne eivät pääse siirtymään parempiin elinympäristöihin. Vaikka pienvesistöjä ei uhkaisu kuivuminen, veden lämpötilan nousu on haitallista monille vesieliöille, kaloille ja sammakkoeläimille sekä matelijoille. Lisäksi se voi aiheuttaa vesikasvillisuuden runsastumista, mikä puolestaan voi vähentää virtauskapasiteettia ja lisätä tulvariskiä.

Kartalla 8 on esitetty kuusivaltaiset metsät sekä pienvedet ja ojat -aineisto päällekkäin 3.7.2021 pintalämpötilarasterin kanssa. Kaupunkivesistöistä Härmälänoja, Pyhäojan keskiosuudet sekä Vihiojan alajuoksu Lahdenperänkadun varrella kulkevat erityisen kuumien alueiden läpi. Lisäksi kuumuudelle haavoittuvia kohteita voivat olla Tauskonoja Ruskon teollisuusalueen kyljessä sekä laskuoja Iidesjärveltä Pyhäjärveen.

Tampereen kantakaupungissa sijaitsevilla pohjavesialueilla ja niiden muodostumisalueilla ei vaikuta olevan kuumimpia maanpintoja, mutta maan pinnan lämpötilan nousun vaikutus voi ulottua myös pohjaveteen (Brozovsky et al. 2021).

Kuusivaltaiset metsät sijaitsevat pääasiassa viheralueilla, jotka ovat rakennettua kaupunkiympäristöä viileämpiä. Keskellä kaupunkirakennetta sijaitsevat kuuset ovat todennäköisesti yksittäisiä tai pieniä ryhmiä, eikä tämän mittakaavan selvitys ota niihin kantaa. Kuusivaltaiset metsät ja niiden reunavyöhykkeiden sekä vesitasapainon turvaaminen tulisi huomioida maankäytön muutosalueiden suunnittelussa.





Kartta 8. Maan pintalämpötilarasteri 3.7.2021 sekä pienvesistöt ja kuusivaltaiset metsät.

### 5.2.1 Pienvesien riskikohteet

Osaprojektissa 1 käytettyä pienvesien aineistoa on täydennetty uudemmalla Tampereen kaupungin laatimalla aineistolla, jossa erottuvat pienvesien luontoarvojen keskittymät sekä luonnontilaiset uomaosuudet. Pienvedet on esitetty kuuman päivän maan pintalämpötilakartalla (3.7.2021) (kartta 9).

Pääasiassa uomaverkosto ja erityisesti lähteet sijoittuvat kantakaupungin laidoilla oleville viileämmille viheralueille ja metsiin. Tarkastelussa tunnistettiin Härmälänoja, Pyhäojan keskiosuudet sekä Vihiojan alajuoksu Lahdenperäkadun varrella mahdollisiksi riskikohteiksi, jotka kulkevat erityisen kuumien alueiden läpi. Lisäksi kuumuudelle haavoittuvaisina kohteina tunnistettiin Tauskonoja Ruskon teollisuusalueen kyljessä sekä Iidesjärveltä Pyhäjärveen laskeva oja, jossa on myös uomaverkoston luontoarvokeskittymä

Uomien luontoarvokeskittymät ja luonnontilaisimmat osuudet sijaitsevat myös pääasiassa kantakaupungin laidoilla viheralueilla. Luonnontilaisista sekä luonnontilaisen kaltaisista uomista ja luontoarvojen keskittymistä esiin nousee erityisesti Houkanojan ja Tauskonojan yhteinen laskuosuus Vihiojaan. Niiden vedet tulevat Ruskon teollisuusalueen läpi, missä oja kulkee melko avoimessa kuumuudelle alttiissa ympäristössä. Vesien

lämpeneminen yläjuoksulla saattaa vaikuttaa luontoarvokeskittymän vesien tilaan.

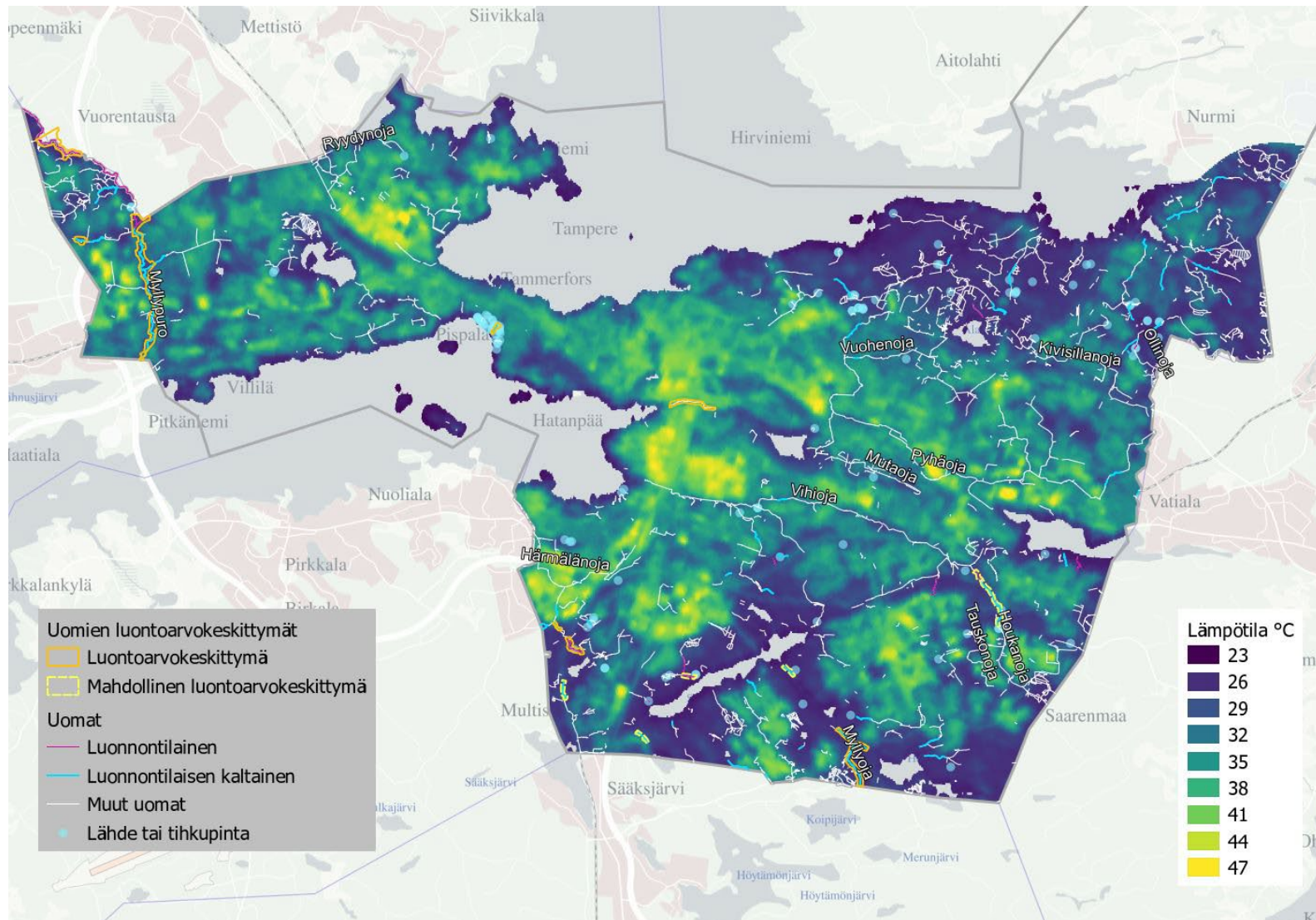
Myllypuron ympäristö on jo voimakkaasti rakentunutta, ja ekologisten arvojen säilyttämiseksi puroympäristön viileyden ja varjostuksen vaalimiseen tulee kiinnittää huomiota. Myllypurossa tämä käytännössä tarkoittaa puuston vaalimista. Härmälänoja virtaa myös kapeassa tilassa kuumien alueiden keskellä, ja sitä varjostava puusto on kapea nauha, jota voisi kehittää. Mikäli puita kaadetaan, tai puustoa uomien varrelta menehtyy kuumuuden tai muiden vaaratekijöiden seurauksena, se vaikuttaa myös uoman vesien ekologiseen tilaan ja esimerkiksi veden lämpötilaan heikentäen vesilajiston elinolosuhteita..

Pienvesistöjen luontoarvojen osalta voidaan pohtia, onko niitä "siirrettävissä" tai kehitettävissä jossain muualla Tampereen vesistöissä - menetetäänkö jotain korvaamatonta, mikäli uomien luontoarvojen sekä vesien tila esimerkiksi lämpenemisen vuoksi vaarantuisi.

Yleis- ja asemakaavoituksessa voitaisiin tunnistaa sellaiset maankäytön muutosalueet, joissa lähiympäristön rakentaminen aiheuttaa lämpenemisen vuoksi mahdollisia vaikutuksia vesistön tilaan (haihtuminen, ekologiset ja kemialliset muutokset). Muutoksia voidaan välttää varaamalla vesistöjen varrelle sekä yläjuoksulle viheralueita sekä varjostavaa puustoa.



## Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiöselvitys



Kartta 9. Pienvedet pintalämpötilakartalla 3.7.2021.

## 6 Erityisen lämpimät vyöhykkeet ja pääsy viileään

Yhtenä työn lopputuloksena tavoiteltiin rajausta, millä alueilla Tampereen kantakaupungissa lämpösaarekeilmiö korostuu ja saattaa nousta erityiseksi riskiksi. Näin voidaan esimerkiksi priorisoida lämpösaarekeilmiön lieventämisen sekä kuumuusriskeihin varautumisen suunnittelua.

### 6.1 Menetelmä ja rajaus

Rajauksen löytäminen ei ole yksiselitteistä, sillä lämpösaareke määritellään tieteessä ympäristöään lämpimämmäksi alueeksi (kappale 2.1). Riippuu maantieteestä, vuodenajoista ym. tekijöistä, onko ero muuhun ympäristöön esimerkiksi 2 vai 10 celsiusastetta. Erityisen kuumien alueiden rajausta voidaan tehdä monin perustein, ja se olisi hyvä tehdä useamman tekijän tarkasteluna. Riskeihin varautumisen suunnittelussa puolestaan pitäisi ottaa huomioon myös haavoittuvuudet, joiden tarkentaminen on oma työvaiheensa.

Tässä selvityksessä aihetta on lähestytty maan pintalämpötilan raja-arvon kautta. Arvioiden pintalämpötilojen jakaumaa, kaupungin rakeisuutta sekä väestön sijoittumista eri lämpötilojen alueelle raja-arvoksi valittiin +35 °C. Tätä arvoa on käytetty myös

Tukholmassa (Wiborn 2022) erityisten "hotspotien" indikaattorina (ks. kappale 2.5.1), ja ne on vektoroitu "lämpökäyriksi".

Päivän 3.7.2021 lämpötiloja esittävällä kartalla (kartta 1) maan pintalämpötila vaihtelee +23 celsiusasteesta yli +47 asteeseen. +35 °C on asteikon puolessa välissä, eli sen yli oli valittuna päivänä keskimääräistä kuumempaa. Kantakaupungissa on kuitenkin myös asuinalueita, joilla maan pintalämpötila oli alle +35 °C. Valitusta rajauksesta ei siten tule tilannetta, että kaikki kantakaupungin asuinalueet sisältyisivät lämpimimpään vyöhykkeeseen.

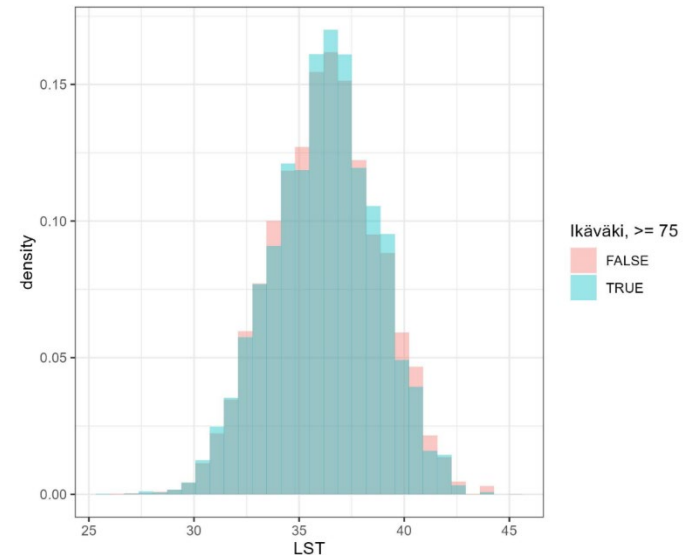
Alustavasti tarkasteltiin myös väestön määrän jakaumaa suhteessa maan pintalämpötiloihin. Kuva 11 kertoo, että noin kolmasosa väestöstä asuu alueilla, joissa maan pintalämpötila on alle +35 °C. Valtaosa väestöstä asuu sen yli olevilla alueilla. Alueilla, joissa maan pintalämpötila nousi yli +40 asteeseen asukkaita on huomattavan vähän. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että kuumimpia paikkoja ovat esimerkiksi teollisuusalueet ja kaupan suuryksiköt. Yli 75-vuotiaiden osalta jakauma noudattelee koko väestöä.

Näillä perusteluilla lämpösaarekeilmiön kannalta erityisesti kaupunkisuunnittelussa huomioitavaksi alueeksi on kartassa 10 korostettu ne alueet, joissa maan pintalämpötila 3.7.2021 oli +35-40 °C sekä alueet, joissa maan pintalämpötila ylitti +40 °C. Niiden

laajuuden voidaan ajatella kuvaavan tulevaisuudessa yleistyvien hellepäivien tilannetta. On kuitenkin huomioitava, että kaupunkirakenteen muuttuessa kuumat alueet voivat sijaita muualla. Lämpimien vyöhykkeiden kartalla on myös esitetty asuinrakennukset (kartta 11) sekä työpaikkarakennukset (kartta 12).

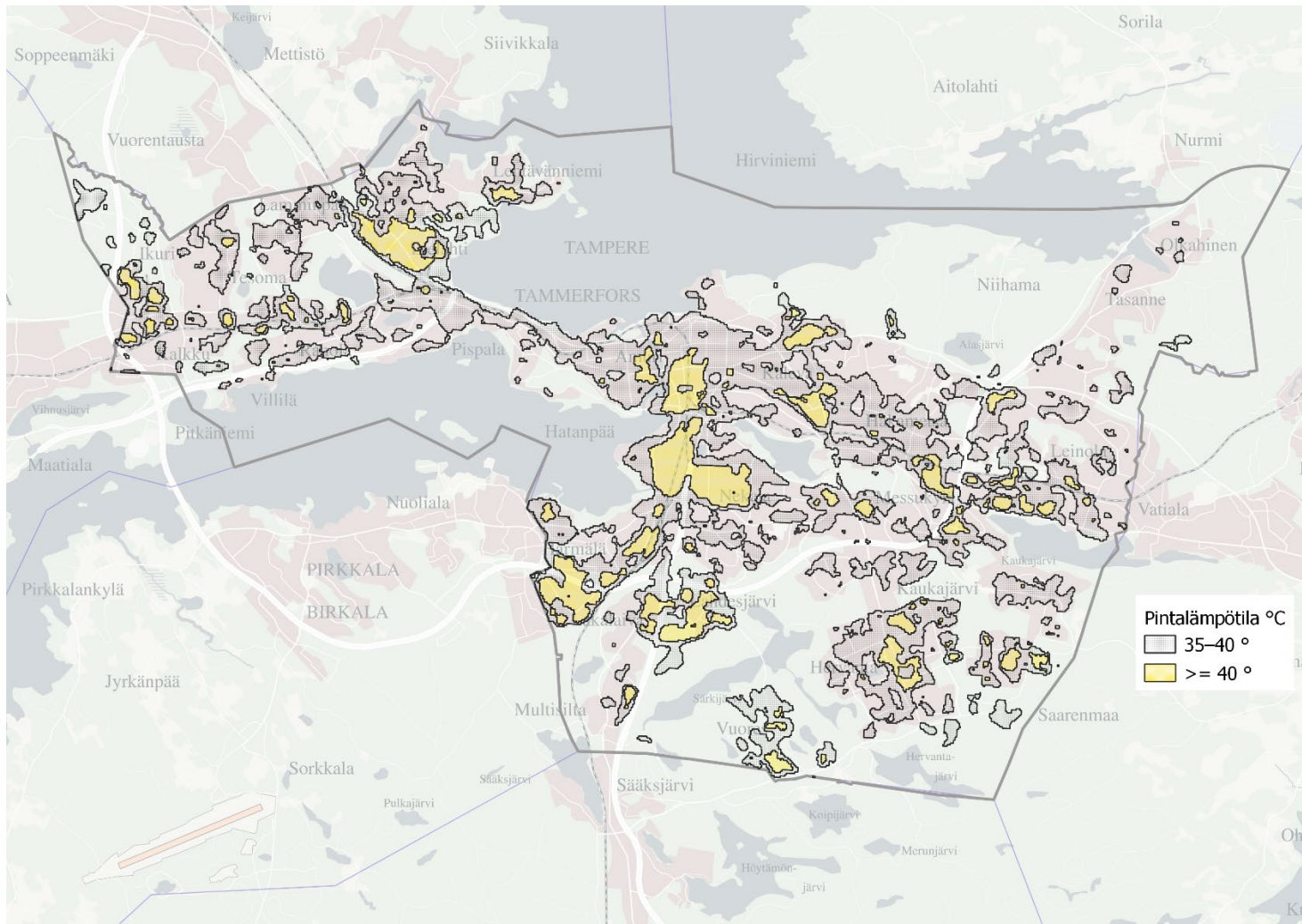
Pintalämpötilojen usean ajankohdan yhdistelmäkartalta erotellut lämpimät vyöhykkeet (kartta 13) eli +35-40 °C sekä yli +40 °C alueet ovat pienempiä kuin 3.7.2021 kuvatulla kartalla. Tämä johtuu siitä, että yhdistelmäkartan lämpötilat ovat kauttaaltaan noin 2 celsiusastetta alempia kuin 3.7.2021 kartalla. Tämän voidaan ajatella kuvaavan tyypillisiä lämpimiä kesäpäiviä nykytilanteessa. Näin ollen yksittäiseen kuumaan tilanteeseen verrattuna yhdistelmäkartan pienemmät vyöhykkeet kertovat alueista, jotka ensimmäisenä ja todennäköisimmin altistuvat kuumuudelle.

Kyseessä on maan pintalämpötilaan perustuva esitys lämpösaarekkeena erityisesti huomioitavista alueista. Kartta ei ole ennuste tulevaisuudesta, mutta on hyvä muistaa, että hellepäivien arvioidaan lisääntyvän. Valitun +35 °C raja-arvon perusteita on kuvattu edellä, mutta sen kriteerejä tulee jatkossa syventää, sillä pienilmastoon vaikuttavat lukuisat tekijät. Maan pintalämpötila ei kerro ilman lämmöstä, koetusta lämpöviihtyvyydestä tai rakennusten sisälämpötilasta.

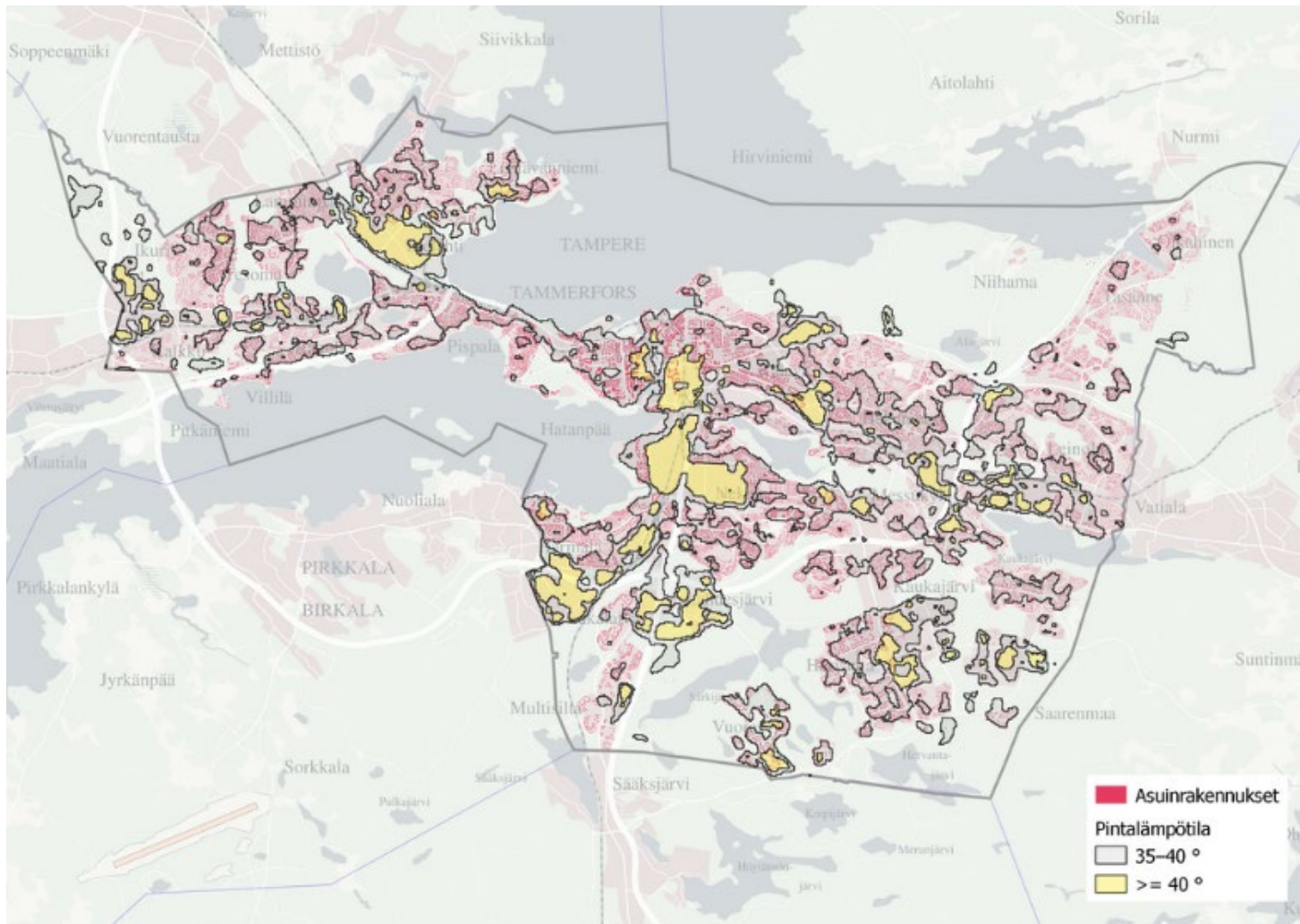


Kuva 11. Tampereen kantakaupungin koko väestön jakauma suhteessa maan pinnan lämpötiloihin. Histogrammissa sinisellä (true) on esitetty yli 75 vuotiaan väestön osuus sekä punaisella (false) koko muun väestön määrä eri maan pintalämpötiloja kohden. Väestönosien välillä ei sen suhteen ole suuria eroja



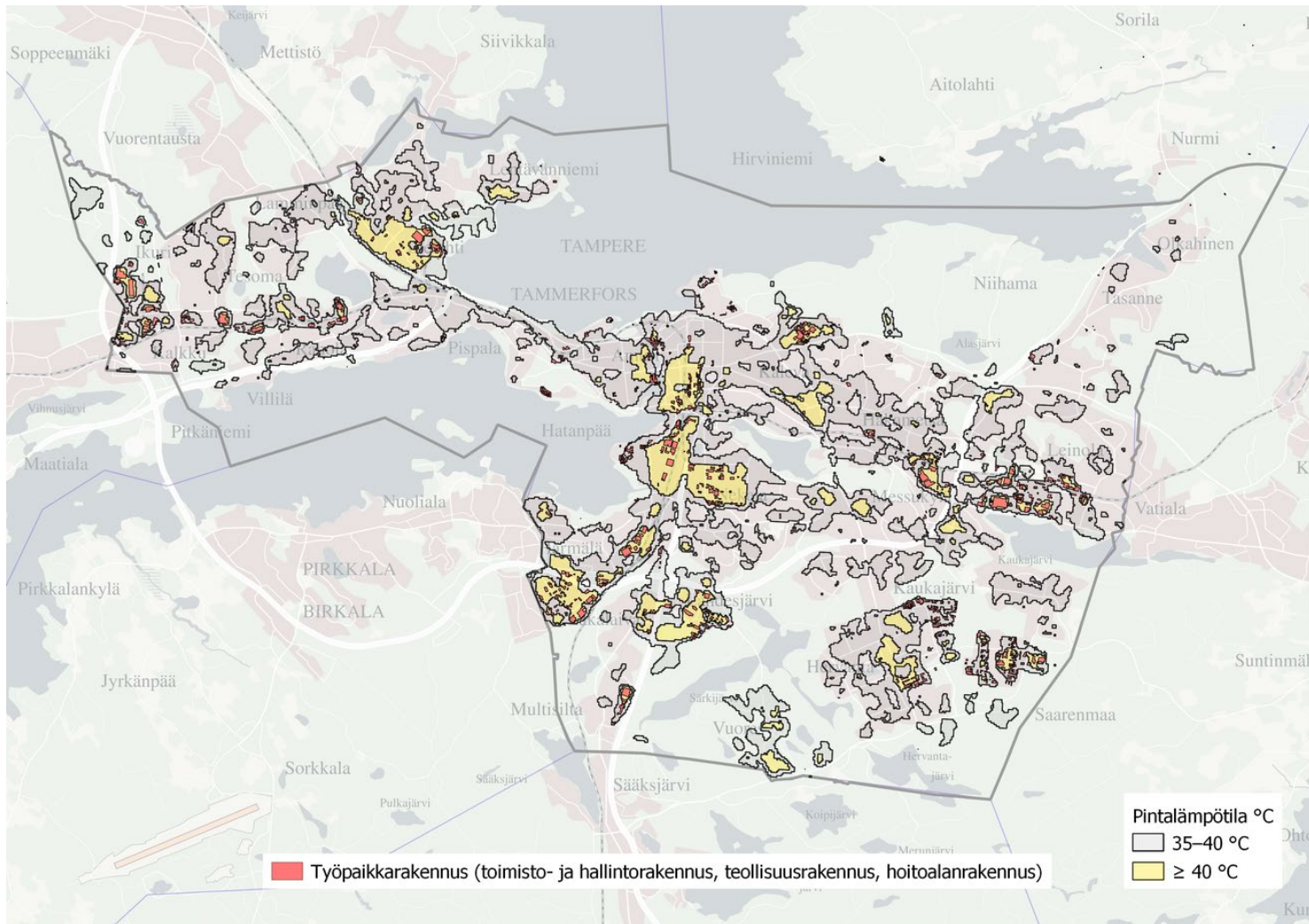


Kartta 10. Alueet, joilla maan pintalämpötila 3.7.2021 oli yli 35-40 celsiusastetta sekä alueet, joilla maan pintalämpötila nousi yli +40 asteeseen. Tämän voidaan ajatella kuvaavan tulevaisuudessa yleistyvien hellepäivien tilannetta. Lisäksi kartassa on esitetty asuinrakennukset.



Kartta 11. Alueet, joilla maan pintalämpötila 3.7.2021 oli yli 35-40 celsiusastetta sekä alueet, joilla maan pintalämpötila nousi yli +40 asteeseen. Tämän voidaan ajatella kuvaavan tulevaisuudessa yleistyvien hellepäivien tilannetta. Lisäksi kartassa on esitetty asuinrakennukset.





Kartta 12. Alueet, joilla maan pintalämpötila 3.7.2021 oli yli 35-40 celsiusastetta sekä alueet, joilla maan pintalämpötila nousi yli +40 asteeseen. Tämän voidaan ajatella kuvaavan tulevaisuudessa yleistyvien hellepäivien tilannetta. Lisäksi kartassa on esitetty työpaikkarakennukset.



Kartta 13. Alueet, joilla maan pintalämpötila oli yli 35-40 celsiusastetta sekä alueet, joilla maan pintalämpötila nousi yli +40 asteeseen kahdeksan ajankohdan yhdistelmäkartalta vuosilta 2015-2021. Tämän voidaan ajatella kuvaavan nykytilanteen lämpimiä kesäpäiviä ja alueita, jotka todennäköisimmin altistuvat kuumuudelle.

## 6.2 Väestön sijoittuminen

Esitetyllä rajauksella jatkotoimenpiteitä ajatellen voidaan tarkastella erityisesti +35-40 °C väliä asuinympäristönä 3.7.2021 kartalla (kartta 10). Eroteltavissa ovat myös yli +40 °C lämpöiset maanpinnan alueet. Jälkimmäisillä alueilla on huomattavan vähän asuinrakennuksia. Niihin kuitenkin tulisi erityisesti kiinnittää huomiota mahdollisen kuumuudelle altistumisen näkökulmasta esimerkiksi työelämän kannalta.

3.7.2021 kartalla +35-40 välillä olevien alueiden kokonaispinta-ala on 35,5 km<sup>2</sup> ja sen osuus koko Tampereen kantakaupungista on 25,5 %. Vyöhykkeellä asui huhtikuun 2022 väestötiedoista laskettuna 61,3 % kaupungin väestöstä. Yli 75-vuotiaita +35-40 °C alueilla asui 12823, mikä on 64% iäkkäästä väestöstä. 0-3,5 -vuotiaita alueella asui 5041, mikä on 60,4 % kyseisestä pienten lasten ikäluokasta. Iäkkäitä sekä pikkulapsia on yhteensä noin 12 % asukkaista +35-40 asteen maan pintalämpötilojen vyöhykkeellä.

Yli +40 celsiusasteen pintalämpötiloja on yhteensä 8,7 km<sup>2</sup>, mikä on 6% kantakaupungista. Tällä vyöhykkeellä asui huhtikuun 2022 väestötietojen mukaan 7 % kaupungin väestöstä. Yli 75-vuotiaita asui vyöhykkeellä 1114, mikä vastaa 5,5 % osuutta koko ikäluokasta. 0-3,5-vuotiaita Yli +40°C alueella asui 409

henkeä, eli 4,9% ikäluokasta. Väestötiedot ovat huhtikuulta 2022 ja niistä laskettiin erikseen ennen vuotta 1947 syntyneiden sekä vuonna 2018 tai sen jälkeen syntyneet. Iäkkäitä sekä pikkulapsia on yhteensä noin 9 % asukkaista yli +40°C maan pintalämpötilojen alueilla.

## 6.3 Kaupunkirakenne

Pintalämpötilaltaan +35-40°C vyöhykkeet 3.7.2021 kartalla muodostuvat rakennetuista alueista. Niissä kaupunkirakenne vaihtelee kerrostaloalueista pientaloalueisiin. +35-40°C vyöhykkeeseen sisältyy koko ydinkeskusta, kerrostaloalueita kuten Hervanta, Kaleva, Janka ja osia Linnainmaasta sekä pienkerrostalo- ja rivitaloalueita kuten esimerkiksi Annala, Lukonmäki, Hakametsä, Haukiluoma, Uusikylä ja osia Linnainmaasta. Maan pintalämpötila ei kuitenkaan nouse yli +35 asteen Peltolammin mäellä ja sekä Ruotulan metsikössä sijaitsevien kerrostalojen ympärillä.

Myös erityyppisillä pientalovaltaisilla alueilla monissa osassa maan pintalämpötila on valitun ajankohdan kuumana kesäpäivänä ylittänyt 35 celsiusastetta. Näihin lukeutuvat Risso sekä osat muun muassa Viinikasta, Koivistonkylästä, Lamminpäästä sekä Lukonmäen alueesta (vaikka alueella on metsikkö) ja isoja osia Härmälästä Pyhäjärven pohjukassa. Pientaloalueilla lämpösaarekeilmiöön vaikuttavat alustavan käsityksen mukaan

maastonmuodot, alueiden ikä (varttuneempi puusto, katualueiden leveys) sekä kasvillisuuden laatu ja määrä.

Yli +40°C vyöhykkeillä kaupunkirakenne on lähes poikkeuksetta teollisuusalueita ja muita suuryksiköitä laajoine katu- ja pysäköintialueineen. Ydinkeskustan kortteleissa Kyttälässä sekä Nalkalan ja Tammerkosen alueella maan pintalämpötila nousi myös yli +40 celsiusasteen. Kuumimpiin kohteisiin lukeutuvat myös uudet kerrostalokorttelit Haukiluomassa, Lentävänniemessä ja pienessä osassa Vuoreksessa, sekä Kaupin kampusalue ja Hervannan keskiosat. Näihin yksittäisiin kohteisiin tulisi jatkossa kiinnittää erityistä huomiota lämpösaarekeilmiön lieventämiseksi.

Ilmakuvan perusteella kaupunkirakenteesta ei erotu teollisuus- ja kerrostaloalueiden lisäksi selkeää tyyppiä, jossa lämpösaarekeilmiö korostuisi erityisesti. Aineistoa ja alueiden ominaisuuksia sekä lämpösaarekeilmiötä voimistavia tekijöitä on arvioitu tarkemmin kappaleissa 7-8 maanpeiteaineiston sekä pienilmastomallinnuksen avulla.

#### 6.4 Viileät vyöhykkeet

Yksi kuumuudelta suojautumisen keino on haakeutuminen viileään. Suurkaupungit ovatkin hiljattain julkaisseet ns. viileyskarttoja. Lontoon kartalta (London City Hall, [www](http://www)) löytyy ilmastoituja ja esteettömästi saavutettavia

julkisia sisätiloja sekä puustoisia ulkotiloja ja suihkulähteitä. Lisäksi kartalla on hyödynnetty maan pintalämpötilakarttaa. Berliinin kartalla (Odis-Berlin: [www](http://www)) on huomioitu myös tuulisuus, uimapaikat sekä penkit levähtämistä varten. Siinä voi tarkastella eri vuorokaudenaikojen viilennysmahdollisuuksia. Tällaiset kartat eivät ole varsinaisesti ilmastomuutokseen sopeutumiskeino, mutta ne voivat olla digitaalioisille kansalaisille apuväline lyhytaikaiseen selviytymiseen ja olon helpottamiseen. Tukholman lämpösaareketutkimuksessa viileät alueet on määritelty metsäisyyden ja vesistöjen perusteella (Wiborg 2022).

Vesistöjen viilentävä vaikutus pienilmastoon ei ole yksiselitteinen. Vesi haihduttaa ilmaan kosteutta, mikä viilentää ilmaa. Vesi lämpee hitaammin kuin maa ja ilma, mutta jos kyseessä on pieni, matala vesistö ja pitkä lämpöjakso, veden lämpötila voi nousta lähelle ympäristönsä lämpöä. Vedet myös viilevät hitaammin kuin maa, mikä tarkoittaa sitä, että ilman viilentyessä yöllä tai syksyllä vesistö voi vielä olla lämpöisempi kuin ympäröivä ilma ja maa. Ilmatieteen laitoksen asiantuntijan Achim Drebsin mukaan vesistöjen vaikutus lämpösaarekeilmiöön ei ole suoraviivainen, sillä kaupunkien pienilmastoon vaikuttavat monet muutkin tekijät (suullinen tiedonanto 9.9.2022, ks. Myös Drebs 2011 s. 10-12).



Hollantilaisissa tutkimuksissa havaittiin, että pienillä vesiaiheilla ei ole merkittävää vaikutusta ilman lämpötilaan päivällä, eikä varsinkaan yöllä (Steeneveld et al. 2014, Jacobs et al. 2020). Mallinnettujen kanavien ja altaiden viilentävä vaikutus ilman lämpötilaan oli alle 1 celsiusaste ja riippui paljolti niistä varjostavista puista ja rakennuksista sekä vapaasta ilmvirrasta (Jacobs et al. 2020). Kiinassa tehtyjen tutkimusten perusteella vesistöjen ja kosteikoiden viilentävä vaikutus maan pinnan lämpötilaan päiväsaikaan saattaa ulottua satojen metrien päähän (Sun et al. 2012; Wu & Zhang 2019). Tulokset ovat kuitenkin riippuvaisia vesistöjen laajuudesta, vuodenajasta ja vuorokaudenajasta sekä siitä, mitataanko maanpinnan vai ilman lämpötilaa ja ihmisten lämpöviihtyvyyttä.

Tampereen järvien laajat avoimet vesipinnat ja pienemmät järvet mahdollistavat tuulen virtauksen ja ovat vaikuttaneet kaupunkirakenteeseen niin, että se hengittää. Tampereellakin vesien viilentävään vaikutukseen vaikuttaa niiden koko ja syvyys. Tampereella kuumina päivinä tuulen suunta saattaa olla eteläinen, lämmin. Tyyninä kesäpäivinä viilentävä kokemus rannalla voi olla pieni. Siksi juuri veteen ja uimaan pääsyllä on iso merkitys viilentymisen kannalta. Uiminen ja suihkulähteistä iholle osuva pisarointi voi viilentää oloa.

Aalloilla ja suihkulähteiden sekä virtavesien solinalla on myös psykologinen vaikutus kuumuuden tunteen helpottamiseen.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi rakennusten varjostus sekä tuulisuus vaikuttaa viileämpään kokemukseen. Viileiden vyöhykkeiden analyysissä niitä ei ole arvioitu, eikä ilmastoituja sisätiloja ole kartoitettu. Kappa-leessa 7. esitellään kuitenkin pienilmastomallinnuksia erilaisten korttelien ulkotiloista.

Tässä työssä Tampereen kantakaupungin viileiden alueiden tarkastelussa käytettiin maan pintalämpötilojen yhdistelmäkarttaa (ks. kartta 2), sillä se esittää alueita, jotka ensimmäisenä todennäköisesti altistuvat kuumuudelle. Viileiksi alueiksi on määritelty julkista ulkotilaa olevat kohteet, joissa toteutuu:

- Vähintään 0,75 hehtaarin pinta-ala
- Korkeintaan +26 °C maan pintalämpötila.

Alueet on esitetty kartalla 13.

## 6.5 Pääsy viileään

Kuumuudelle haavoittuvimpia ryhmiä ovat pienet lapset sekä iäkäs väestö. Pääsyä viileään on kartalla 13 tarkasteltu analysoimalla etäisyyttä päiväkodeista ja terveysasemilta sekä TAYSin yksiköstä lähimpään viileään vyöhykkeeseen. Etäisyys laskettiin

paikkatietoaineistosta katuja ja ulkoilureittejä pitkin. Analyysissä ei ole huomioitu reitin esteettömyyttä. Karttapohjana on käytetty maan pintalämpötilarasterien yhdistelmäkarttaa (ks. kartta 2).

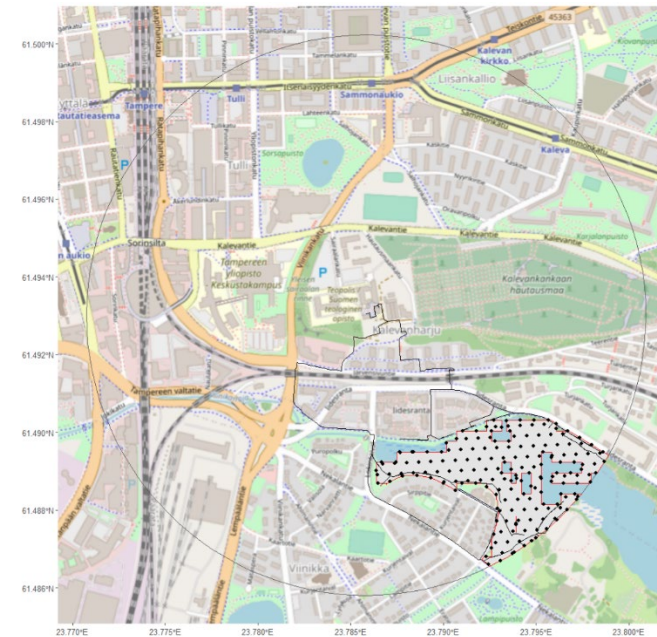
Kartalta 13 voidaan havaita, että:

- viileät vyöhykkeet (tässä työssä: yleiset yli 0,75 hehtaarin alueet, joissa maanpinnan lämpötila on alle +26 °C) sijaitsevat kantakaupungin laitamilla sekä vesistöjen äärellä.
- Keskustassa ei ole lainkaan viileitä vyöhykkeitä.
- Suuri osa päiväkodeista ja terveysasemista sijaitsee kuumen vyöhykkeen liepeillä ja niistä kävelyetäisyys viileään on yli 2 kilometriä.

Esimerkki reittianalyysistä (kuva 12) osoittaa, että siirtymät katuverkostoa ja ulkoilureittejä pitkin lähimpään viileään voivat olla melko mutkaisia. Jatkosuunnittelussa yksinkertaisempien reittien suunnittelu voi lyhentää kävelymatkaa viileään pääsemiseksi. Myös esteettömyys voi olla tarpeen huomioida mahdollisuuksien mukaan.

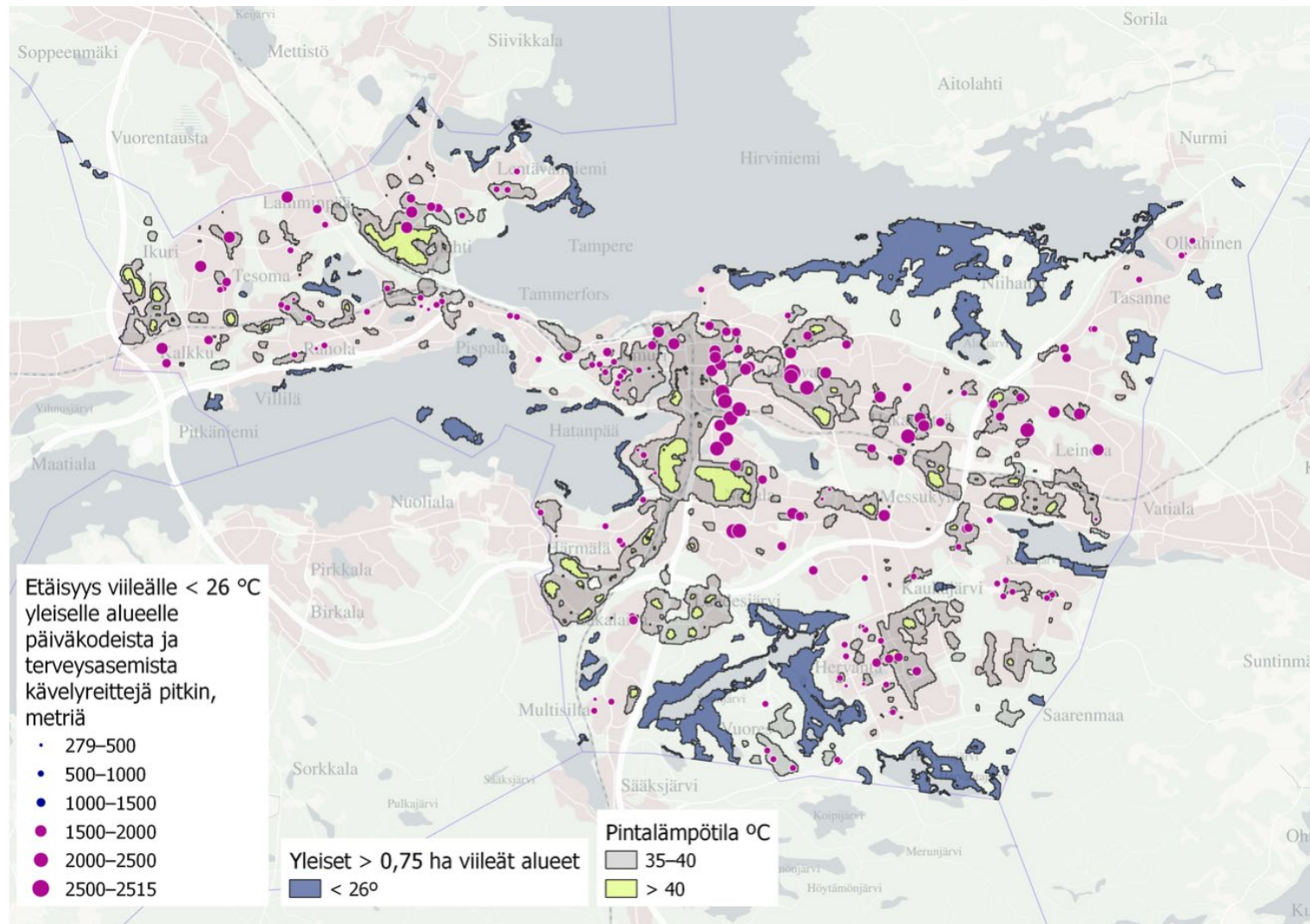
Samasta esimerkistä näkee, että esimerkiksi hautausmaat voi sijaita muita viileitä viheralueita lähempänä. Kokonaisuksi päiväkodille hautausmaa ei sovi virkistykseen. Hautausmaat voi kuitenkin lämpösaarekeilmiöön

varautumisen suunnittelussa huomioida kohteina, joihin voi esimerkiksi mennä kävelylle ja oleskelemaan kuumana päivänä.



Kuva 12. Reittihakua paikkatietoanalyysinä päiväkodista viileään (mustat viivat kohti mustia pisteitä).





Kartta 14. Pääsy viileään: Etäisyys päiväkodeista ja terveysasemista kävelyreittejä pitkin alle +26

°C julkisille alueille, joiden pinta-ala on vähintään 0,75 ha.

### 6.5.1 Menetelmän rajoitteet

Alun perin viileän vyöhykkeen määritelmänä ajateltiin käyttää pinta-alaltaan vähintään 1,5 hehtaarin kokoista julkista ulkotilaa. Näin olleen monet kantakaupungin pienemmät viheralueet jäivät pois tarkastelusta. Toisaalta niissäkin maan pintalämpötila enimmäkseen on karttatarkastelussa +30 °C ja yli, joten ne eivät näy kartalla. Pinta-alavaatimusta pudotettiin lopullisella kartalla 0,75 hehtaariin, mikä mahdollistaa esimerkiksi ulkona oleskelun hyvin myös pienille ihmisryhmille.

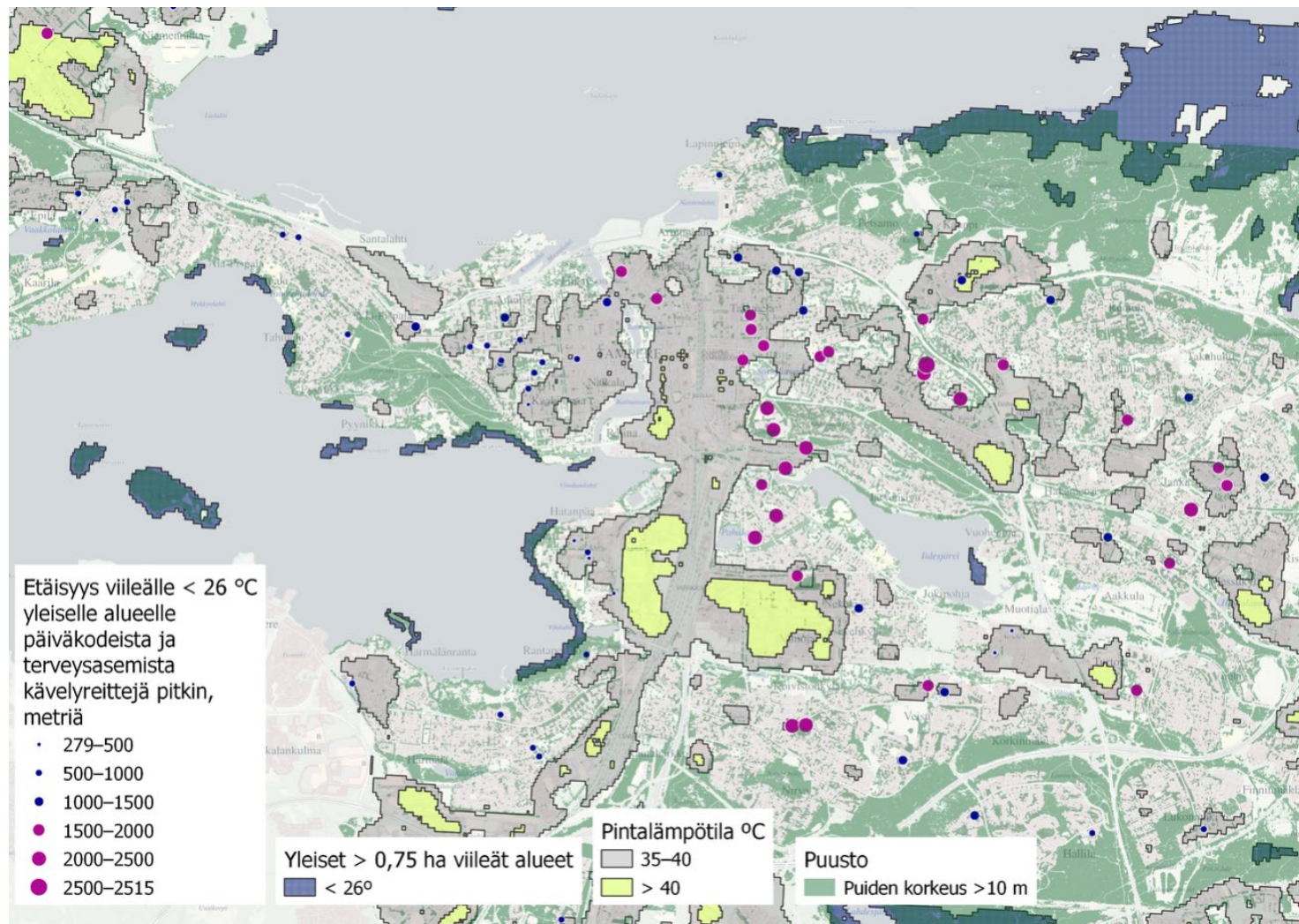
Viileän vyöhykkeen määritelmästä on jätetty pois alun perin pohdinnassa mukana ollut puuston latvuspeitteisyys, sillä sen suora vaikutus ulkotilan lämpötilaan ei ollut todennettavissa tässä selvityksessä käytetyistä aineistoista. Monilla julkisilla viheralueilla kantakaupungin sisäosissa puustoisetkin alueet olivat latvuspeitteisyydestä riippumatta yli +26 °C. Puustoisilla alueilla saattoi jossain kohdin olla korkeampi lämpötila kuin jossain avoimessa kohdassa. On huomattava, että LST-satelliitin rasteroitu kuva maan pintalämpötilasta kertoo latvuksen lämmöstä. Latvuksen alla puun varjostamasta maanpinnasta ei ole luotettavaa tietoa.

Kartalla eivät myöskään näy hautausmaat, jotka voisivat olla muuta ympäristöä viileämpiä ja varjoisia kohteita, sillä ne eivät kuulu

julkiseen ulkotilaan. Toisaalta kaikki julkinen ulkotila ei ole viileää vyöhykettä, sillä esimerkiksi urheilukentillä maan pintalämpötila voi nousta yli +30 °C. Siksi näitä alueita ei ole esitetty kartalla. Puustoiset alueet voivat olla mahdollisia viileitä kohteita keskusta-alueen lähellä, vaikka niissä alle +26 °C pintalämpötila ei toteudu (kartta 14).

Reittianalyysin laadinnassa ei voitu huomioida reitin esteettömyyttä.

Lopuksi on huomattava, että viileiden vyöhykkeiden kartoitukseen tässä työssä pätevät samat huomiot kuin lämpimiin vyöhykkeisiin: kartat kuvaavat maan pintalämpötilaa, mikä ei kerro ilman lämpötilasta tai huomioi pienilmaston muita tekijöitä sekä koettua lämpöviihtyvyyttä.



Kartta 15. Pääsy viileään ja puusto (osasuurennos): etäisyys päiväkodeista ja terveysasemista kävelyreittejä pitkin alle +26 °C julkisille alueille, joiden pinta-ala on vähintään 0,75 ha. Lisäksi kartalla esitetty Tampereen maanpeiteaineistosta alueet, joissa puuston korkeus on yli 10 metriä.



## 7 Kaupunkirakenteen tyypit ja lämpösaarekeilmiön paikallisten vaikutusten mallintaminen

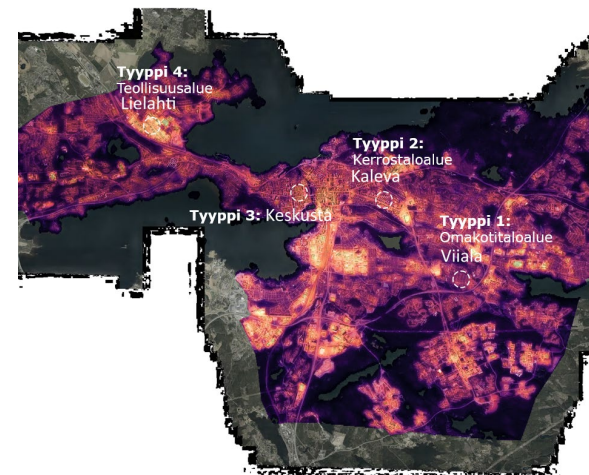
### 7.1 Havaintoja neljästä tyypistä

Työ ensimmäisessä vaiheessa havaittiin eroja erityyppisen kaupunkirakenteen maan pinnan lämpötiloissa (kappale 3.2.1). Työn toisessa vaiheessa maan pintalämpötila -karttaa ja ilmakuvaa tarkastelemalla tunnistettiin neljä erilaista kaupunkirakenteen tyyppiä, joilla kullakin on tunnuksenomaisuutta pintalämpötiloissa: erillispientalojen alue, avoin kerrostalokortteli, keskusta sekä teollisuusalue. Erillispientalojen alueet ovat viileimpiä rakennettuja alueita, kun taas teollisuusalueet ovat kuumimpia.

Jokaisesta tyypistä valittiin esimerkkialue, jossa tarkasteltiin maanpeitteen jakaamaa sekä mallinnettiin tuulisuutta ja auringon säteilyä. Maanpeitteen jakauman tarkastelussa käytettiin osaprojektissa 1 tunnistettuja merkittävimpiä lämpösaarekeilmiöön vaikuttavia tekijöitä: läpäisemätön pinta, rakennukset, puusto sekä muu kasvillisuus (kappale 4.1). Tulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Seuraavilla sivuilla kuvissa 14,16, 18 ja 20 on esitetty kunkin tarkastelualueen viistoilmakuva, ote pintalämpötilakartasta sekä maanpeitteen jakauma. Kuvissa 15,17,19 ja 21 on esitetty kultakin tarkastelualueelta

- tuulen nopeuden tuntikohtaiset arvot kussakin tarkastelupisteessä yhdistettynä vuotuisiksi tuuliolosuhteita kuvaaviksi arvoiksi
- auringon säteilyn keskiarvoinen vaikutus keskisäteilylämpötilaan kesän kuumimman viikon kaikkien tuntien keskiarvona
- UTCI-arvot, joissa yhdistyvät vasemmalla olevien mallinnusten tulosten ohella kuumimman viikon lämpötilat ja ilman kosteudet.



Kuva 13. Neljän esimerkkialueen sijainnit kartalla.

## Omakotitaloalue - Viiala

Maanpinnan lämpötila: 31.7 (q25) – 32.5 (q75) °C

Puut 47.0%

Muu avoin kasvillisuus (+ pellot) 11.6%

Rakennukset 10.2%

Läpäisemätön pinta + tiet 26.0%

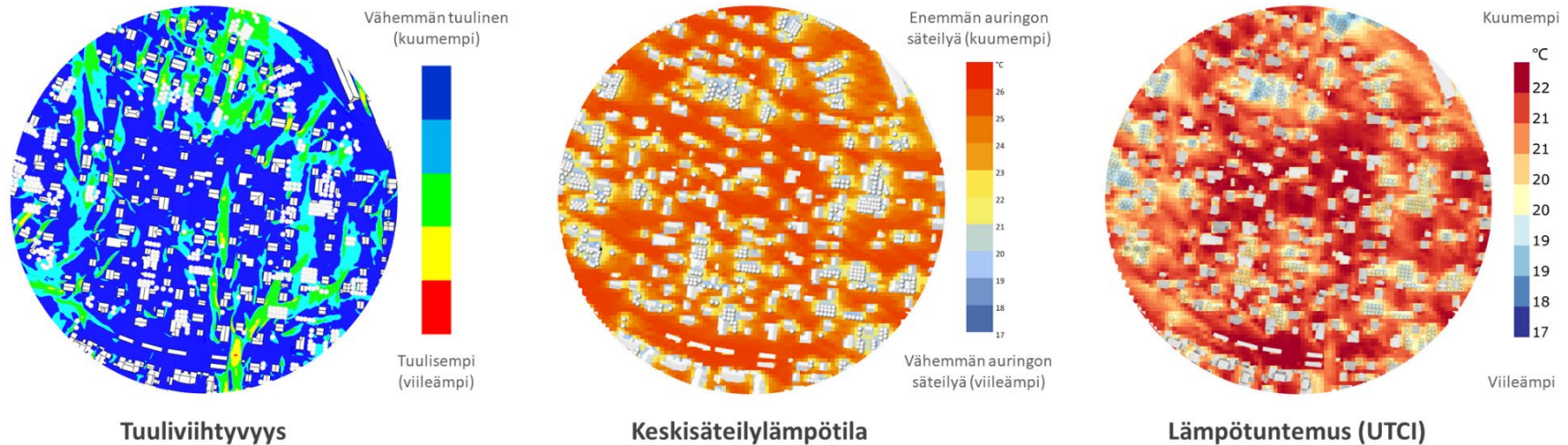
selite

- Muu avoin kasvi
- Puusto >20 m
- Puusto 10-15 m
- Puusto 15-20 m
- Puusto 2-10 m
- Rakennukset
- Tie
- Vettä läpäisemätön



Kuva 14. Viialan omakotitaloalueen ilmakekuva, sijainti maan pintalämpötilan yhdistelmäkartalla sekä maanpeitteen jakauma alueella.

## Viiala



Kuva 15. Viialan omakotitaloalueelta mallinnettu tuuliviihtyyvyys, keskisäteilylämpötila vuoden kuumimmalla viikolla sekä lämpötuntemus (UTCI).

**Omakotitaloalueista** mallinnettiin Viiala, jonka rakeisuus on hyvin tasainen. Maanpeitteestä puuston latvuksia on 47 % ja rakennuksia sekä läpäisemätöntä pintaa 36 %. Maanpinnan lämpötila yhdistelmäkartalta (alin kvartaali - ylin kvartaali) on +31,7-32,5 °C ja lämpötilat jakautuvat tasaisesti alueella.

Viialassa suoritettu vuoden kuumimman viikon lämpöviihtyyvystarkastelu (katso kohta 7.2.2.), joka ei huomioi lämpösaarekeilmiön suoria vaikutuksia, osoittaa alueen olevan melko kuuma. Tämä johtuu alueen matalista tuulennopeuksista ja siitä, että alueen matalat rakennukset eivät tarjoa ulkona liikkuvalla varjoa. Alueen puustoisissa osissa ovat kuitenkin selkeästi viileämpi, joten mallinnuksen pohjalta voidaan lähinnä todeta, että runsas puusto on kriittinen tekijä, kun omakotialueen ulkotilat pyritään pitämään viileänä.



## Kerrostaloalue - Kaleva

Maanpinnan lämpötila: 34.5 (q25) – 36.4 (q75) °C

Puut 24.9%  
Muu avoin kasvillisuus (+ pellot) 12.5%

Rakennukset 17.1%  
Läpäisemätön pinta + tiet 42.7%

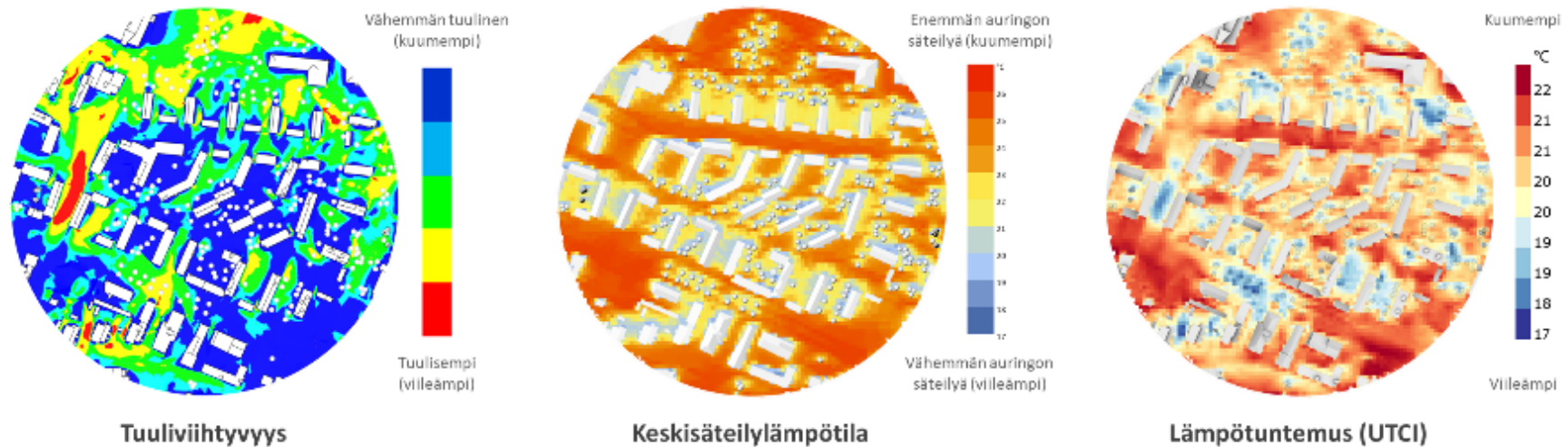
selite

- Muu avoin kasvi
- Puusto >20 m
- Puusto 10-15 m
- Puusto 15-20 m
- Puusto 2-10 m
- Rakennukset
- Tie
- Vettä läpäisemätön



Kuva 16. Kalevan kerrostalokorttelin ilmakuva, sijainti maan pintalämpötilan yhdistelmäkartalla sekä maanpeitteen jakauma alueella.

## Kaleva



Kuva 17. Kalevan kerrostalokorttelista mallinnettu tuuliviihtyvyys, keskisäteilylämpötila vuoden kuumimmalla viikolla sekä lämpötuntemus (UTCI).

**Kerrostaloalueista** mallinnettiin osa Kalevaa, joka on avointa korttelirakennetta. Maanpöytästä puuston latvuksia on 24 % ja rakennuksia sekä läpäisemätöntä pintaa 60 %. Maanpinnan lämpötila yhdistelmäkartalta (alin kvartaali - ylin kvartaali) on +34,5-36,4 °C. Kuumimpia pintoja ovat tiet ja pysäköinti-alueet, ja viileämpiä osia kasvipeitteiset korttelipihat.

Sampolan lämpöviihtyvyytarkastelu osoittaa, että alueen avoimet piha-alueet, jotka suuntautuvat pääasiassa vallitsevien lounaistuulien suuntaisesti, tarjoavat monipuolisia oleskelualueita. Pihoista tuulisimmat ja puustoisimmat ovat suoranaisiä viilentäytymiskeitaita. Mallinnus osoittaa myös, että katualueilla lämpöviihtyvyys vaihtelee paljon ennen kaikkea tuulisuuden mukaan. Tuulisimmat paikat pysyvät viileinä, kun suojaisimmat ovat paahteisia.



**Keskusta****Maanpinnan lämpötila: 37.4 (q25) – 38.8 (q75) °C****Puut 5.6%****Muu avoin kasvillisuus (+ pellot) 1.4%****Rakennukset 43.9%****Läpäisemätön pinta + tiet 46.3% °C**

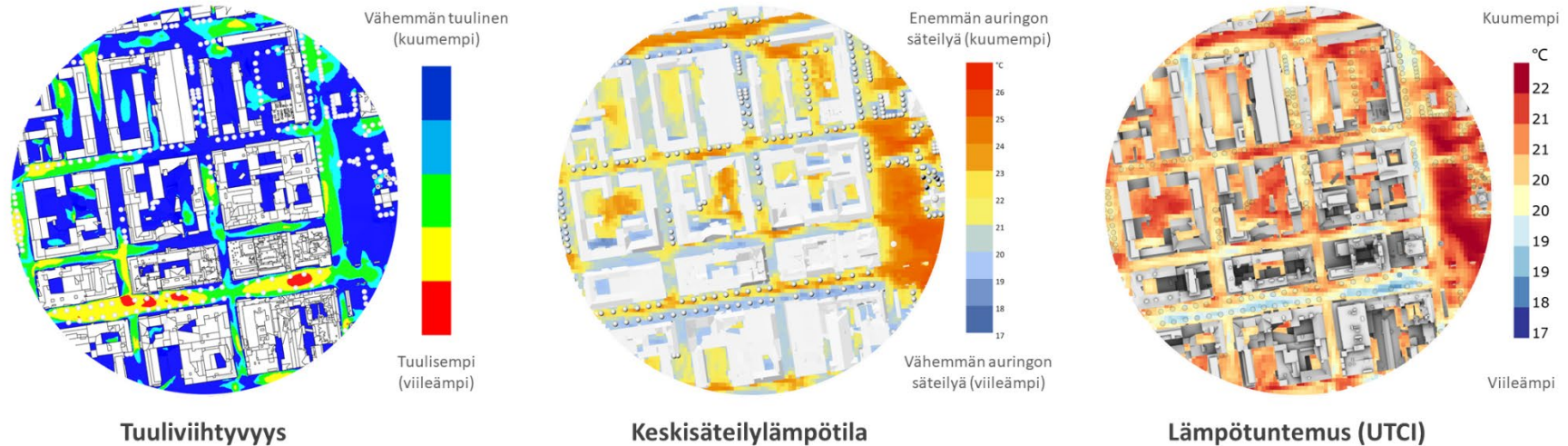
## selite

Muu avoin kasvi
Puusto >20 m
Puusto 10-15 m
Puusto 15-20 m
Puusto 2-10 m
Rakennukset
Tie
Vettä lapaisematon



Kuva 18. Keskustan ilmakuva, sijainti maan pintalämpötilan yhdistelmäkartalla sekä maanpeitteen jakauma alueella.

## Keskusta



Kuva 19. Keskustasta mallinnettu tuuliviihtyvyys, keskisäteilylämpötila vuoden kuumimmalla viikolla sekä lämpötuntemus (UTCI).

**Keskusta-alueelta** mallinnettiin korttelirakennetta keskustorin ja Hämeenpuiston välillä. Maanpeitteestä puuston latvuksia on 5 % ja rakennuksia sekä läpäisemätöntä pintaa 90 %. Maanpinnan lämpötila yhdistelmäkartalta (alin kvartaali - ylin kvartaali) on +37,4-38,8 °C. Lämpötilat jakautuvat tasaisesti alueella, kuitenkin niin että avoimilla alueilla on lämpimämpää ja korkeiden rakennusten varjossa viileämpää.

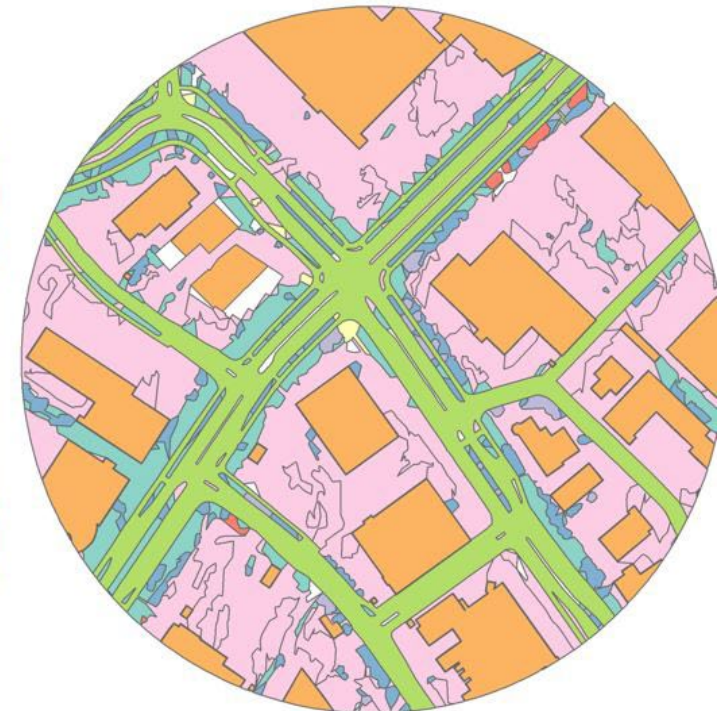
Keskustan lämpöviihtyvyysmallinnuksessa kadut erottuvat selkeästi aukioista ja sisäpihoista keskimääräistä viileämpinä alueina. Tämä johtuu sekä rakennusten ja puuston varjostavasta vaikutuksesta että alueen läpi pyyhkivien tuulien viilentävästä vaikutuksesta. Erityisen voimakkaasti tämä ilmenee Hämeenkadulla, joka on sangen tuulinen ja jonka eteläreuna on varjoisa. Umpikortteleiden sisäpihat ovat paikoitellen hyvinkin kuumia. Tämä johtuu yhtäältä siitä, että rakennukset eivät tarjoa niillä merkittävää suojaa kesäauringolta ja toisaalta siitä, että ne ovat hyvin tyyniä. Keskustori on kuitenkin kaikkein kuumin alue, koska sillä varjoa on tarjolla kaikkein vähiten, eikä sen tuulisuuskaan ole merkittävä.



**Teollisuusalue - Lielähti****Maanpinnan lämpötila: 40.9 (q25) – 41.9 (q75)°C****Puut 5.6%****Muu avoin kasvillisuus (+ pellot) 7.0%****Rakennukset 23.7%****Läpäisemätön pinta + tiet 61.8%**

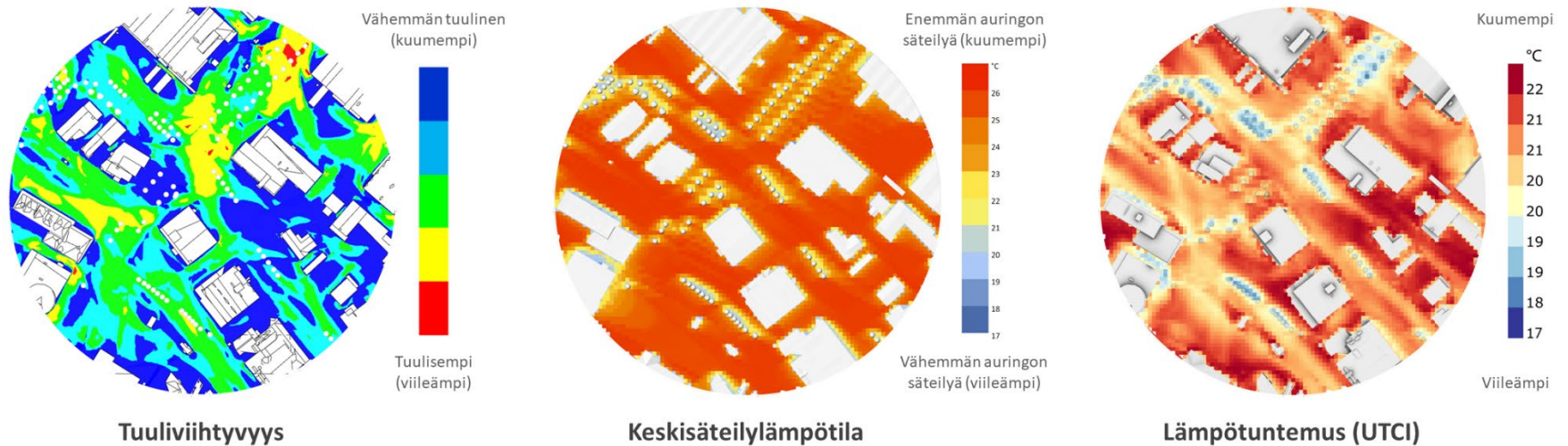
selite

- Muu avoin kasvi
- Puusto >20 m
- Puusto 10-15 m
- Puusto 15-20 m
- Puusto 2-10 m
- Rakennukset
- Tie
- Vettä lapaisematon



Kuva 20. Lielahden teollisuusalueen ilmakuva, sijainti maan pintalämpötilan yhdistelmäkartalla sekä maanpeitteen jakauma alueella.

## Lielahdi



Kuva 21. Lielahden teollisuusalueelta mallinnettu tuuliviihtyvyys, keskisäteilylämpötila vuoden kuumimmalla viikolla sekä lämpötuntemus (UTCI).

**Teollisuusalueista** mallinnettiin Lielahdi. Maanpeitteestä puuston latvuksia on 5 % ja rakennuksia sekä läpäisemätöntä pintaa 85 %. Maanpinnan lämpötila yhdistelmäkartalta (alin kvartaali - ylin kvartaali) on +40,9-41,9 °C. Lämpötilat jakautuvat tasaisesti alueella.

Lielahdi on mallinnetuista alueista tuulisin. Tätä selittää sekä sijainti järvien välissä että alueen avoin ja pitkälti puuston rakenne. Vaikka alue onkin kokonaisuutena kuuma, on alueella myös viileitä kohtia, joissa puut tarjoavat suojaa auringolta ja joissa tuuli tarjoaa viilennystä. Mallinnuksen pohjalta voidaan siis todeta, että kokonaisuutena kuumallekin alueelle voidaan järjestää viileämpiä osia, jos nämä ovat verraten tuulisia ja niille järjestetään riittävä varjostus. Tämä ei tietenkään ratkaise alueen kuumuuteen liittyvää laajempaa ongelmaa. Tulee myös pitää mielessä, että helleaallon aikana voi olla pitkäänkin tyynä.



## 7.2 Menetelmä

### 7.2.1 Maanpeite

Esimerkkialueiden analyysi tehtiin halkaisijaltaan 500 m suuruisen ympyrän alalta. Maanpeiteaineistona käytettiin Tampereen maanpeiteaineiston seuraavia tasoja:

- Puuston määrä (Tampereen maanpeiteaineisto)
- Muu avoin kasvipinta (Tampereen maanpeiteaineisto)
- Tiet & muu läpäisemätön pinta (Tampereen maanpeiteaineisto)
- Rakennukset (maapinta-ala, Tampereen maanpeiteaineisto)

Kunkin ympyrän pinta-alasta laskettiin ja raportoitiin näiden maanpeitteiden osuus.

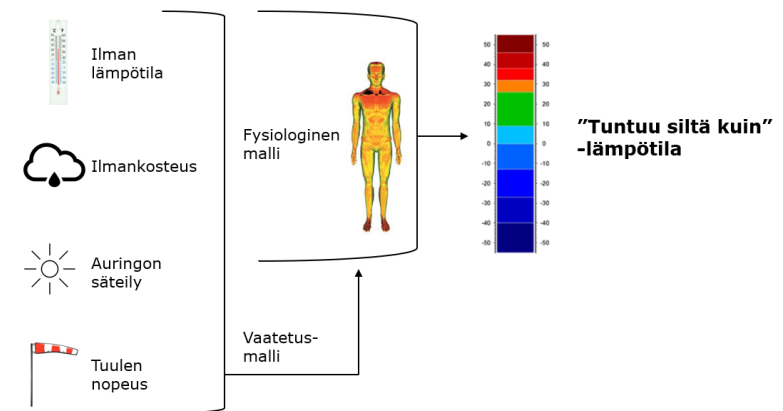
### 7.2.2 UTCI-pienilmastomallinnus

Pienilmastomallinnus tehtiin samoille kohteille, joita käytettiin maanpeitteen arvioissa.

UTCI on matemaattinen malli, joka kuvaa ihmisen kehon reaktioita erilaisiin lämpöärsykeisiin ulkotiloissa. Mallinnus muodostuu neljästä osatekijästä, jotka ovat: ilman lämpötila, ilmankosteus, keskisäteilylämpötila (joka perustuu suoritetussa mallinnuksessa pääasiassa auringon säteilyn vaikutukseen) ja ilman

nopeus (eli tuulisuus). UTCI-malli huomioi myös vaatetuksen: ihmisen oletetaan pyrkivän sopeutumaan olosuhteisiin lisäämällä tai vähentämällä vaatetustaan.

UTCI-mallinnuksen tulos ilmaistaan celsiusasteissa. Ajatuksena UTCI vastaa säätiedoissa ilmoitettavaa "tuntuu siltä kuin" lämpötilaa. Mallinnus suoritettiin 1,5 m maan pinnan yläpuolella, mikä kuvaa seisovan ihmisen lämpötuntemusta. Mallinnus tehtiin vuoden kuumimmalle viikolle, laskien tarvittavat arvot viikon jokaiselle tunnille. UTCI-pienilmastomallinnuksen periaatteet on kuvattu tarkemmin liitteessä 2.



Kuva 22. UTCI-pienilmastomallinnuksen periaate havainnollistettuna.

Suoritettu UTCI-mallinnus ei kerro suoraan lämpösaarekeilmiöstä, mutta sen osatekijöillä on lämpösaarekeilmiöön yhteys. Tuuli jäähdyttää kaupunkiympäristön materiaaleja konvektion avulla. Suurempi tuulisuus pienentää siis lämpösaarekeilmiön vaikutusta, jos muut tekijät pysyvät muuttumattomina.

Suoritettu keskisäteilymallinnus ei huomioi maan pinnan (tai muiden rakenteiden) lämpenemistä, vaan pelkän suoran auringon säteilyn, joka kohdistuu ihmisen kehoon. Käytännössä auringon säteilyn määrä maan pinnassa on hyvin lähellä tässä osoitettua säteilyvaikutusta 1,5 m korkeudessa. Maan pintaan osuvan säteilyn vaikutus lämpösaarekeilmiöön on luonnollisesti riippuvainen maanpinnan materiaalista. Maan pinnan alueet, jotka on pinnoitettu (erityisesti tummilla materiaaleilla) ja joille kohdistuu enemmän säteilyä edistävät lämpösaarekeilmiötä voimakkaimmin.

Luodaksemme kuvaa tuulisuuden ja auringon säteilyn vaikutuksesta lämpöviihtyvyyteen, teimme vertailun, jossa poistimme keskustan mallinnuksen tuloksista tuulen ja auringon säteilyn vaikutuksen yksi kerrallaan ja

vertasimme koko viikon ja koko alueen keskiarvoja keskenään. Tuulisuuden poistaminen kohottaa koettua UTCI-lämpötilaa keskimäärin 0,34 °C, kun auringon säteilyvaikutuksen poistaminen puolestaan laskee UTCI-arvoa keskimäärin 6,67 °C. Auringon säteilyn vaikutus on siis selkeästi merkittävämpi tekijä, mutta tuulisuudella on myös tärkeä merkitys, erityisesti tuulisimmilla alueilla.

### 7.2.3 Rajoitteet

Lämpösaarekeilmiöön vaikuttavia tekijöitä arvioidessa on tärkeää muistaa, että kunkin alueen pienilmastoon vaikuttavat monet tekijät alkaen alueen maantieteellisistä olosuhteista sekä ympäröivistä alueista. Tulokset ovat suuntaa-antavia ja niiden avulla eri kaupunkirakenteen tyyppejä voidaan vertailla. Yhdessä paikassa sijaitsevan omakotitaloalueen pienilmasto ei kuitenkaan ole identtinen kantakaupungin toisella puolella olevaan omakotitaloalueeseen.

Muuttuja	TUULISUUS	KESKISÄTEILYLÄMPÖTILA °C vuoden kuumin viikko	MAANPINNAN LÄMPÖ- TILA °C matalin 25% korkein 25%	VALLITSEVA MAANPEITE
Tietolähde:	Suoritettu simulointi	Suoritettu simulointi	Satelliittikuvat, yhdistelmäkartta	Tampereen kaupungin paikkatieto
<b>1. Erillispientalojen alue</b> <b>Viiala</b>	Tuulisuus vähäistä	+22-26	+31,7-32,5	<b>Puut 47%</b> Rakennukset 10% Läpäisemätön pinta 26%
<b>2. Kerrostaloalue</b> <b>Kaleva</b>	Melko tuulinen. Osa pihoista kuitenkin suojaisia.	Kadut ja pysäköinti +24-26 pihat +22-23	+34,5-36,5	Puut 16% Rakennukset 17% <b>Läpäisemätön pinta 43%</b>
<b>3. Keskusta</b>	Kadut melko tuulisia, sisäpihat pääasiassa hyvin tyyniä	Katu varjossa +19-20 °C Katu auringossa +22-25 °C Tori +24-26 °C Vaihtelee voimakkaasti varjoisuuden perusteella.	+37,4-38,8	Puut 5 % Rakennukset 44% <b>Läpäisemätön pinta 46%</b>
<b>4. Teollisuusalue</b> <b>Lielähti</b>	Tarkastelluista alueista tuulisin	+24-26 puurivit +21-23	+41-42	Puut 6% Rakennukset 24% <b>Läpäisemätön pinta 62%</b>

Taulukko 1. Yhteenveto kaupunkirakenteen tyypeissä tehdyistä UTCI-mallinnuksista.

## 8 Suosituksia yleiskaavaan

Edellä esitettyjen analyysien pohjalta on laadittu suosituksia lämpösaarekeilmiön lieventämiseen sekä lämpösaarekeilmiöön varautumiseen Tampereen kantakaupungin vaiheyleiskaavassa (taulukko 1). Suosituksissa on huomioitu yleiskaavataso sekä annettu lisäksi yleiskaavan pohjalta tehtävään tarkempaan jatkosuunnitteluun liittyviä suosituksia.

Suosituksissa on esitetty sekä lämpösaarekeilmiön lieventämisen että ilmiöön varautumisen toimenpiteitä. Lieventämisessä pääpaino on reagoimisessa toimenpidetarpeisiin olemassa olevilla alueilla, kun taas varautumisessa keskitytään ennakoivaan suunnitteluun ja toimenpiteisiin.

Kaupunkisuunnittelussa ja -rakentamisessa on useita keinoja, joita voidaan hyödyntää lämpösaarekeilmiön lieventämisessä ja siihen varautumisessa. Esimerkiksi katujen suunta sekä rakennusten korkeuden ja katutilan leveyden suhde vaikuttaa rakennusten ja ulkotilan altistumiseen auringon säteilylle. Suuri osa näistä keinoista liittyy yleiskaavaa tarkempiin suunnittelutasoihin, kuten kaupunginosien ja korttelien suunnitteluun.

Yleiskaavassa voidaan erityisesti vaikuttaa kaupunkirakenteen tiiviyyteen ja sitä kautta

asukastiheyteen, viheralueiden verkostoon sekä vesienhallintaan yleisellä tasolla, ja yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisen infrastruktuurin ja palveluiden sijaintiin. Näistä muodostuu kaupungin kokonaiskuva.

Tampereen vahvuutena lämpösaarekeilmiön lieventämisen ja siihen varautumisen kannalta on muun muassa kattava ja monipuolinen viherrakenteen verkko sekä viherverkoston kytkeytyminen lukuisiin pieniin järviin. Sekoittunut kaupunkirakenne edesauttaa osaltaan lämpösaarekeilmiön vaikutusten lieventämisessä. Nykyiset lämpösaarekkeet osuvat yhdyskuntarakennetta koskevalla teemakartalla erityisesti "palvelujen ja työpaikkojen sekoittuneille alueille tai kohteille" sekä keskusta-alueille. Kaupunkirakenteen tiivistyessä tulevana vuosina erityisesti näillä alueilla on jatkossakin tärkeää huomioida lämpösaarekeilmiö ja lisäksi paitsi edistää toiminnallisesti sekoittunutta kaupunkirakennetta, niin varmistaa myös riittävä viherrakenne, hulevesien hallinta, kestävä liikkuminen ja moni muu keskusta-alueilla korostuva seikka.

Monet esitetyt suositukset liittyvät ns. vihreän infrastruktuurin hyödyntämiseen, joka on laajalti käytetty keino lämpösaarekeilmiön lieventämiseen ja siihen varautumiseen. Vihreän infrastruktuurin avulla voidaan säädellä pienilmastoa, ja kasvillisuuden merkitys lämpösaarekeilmiön hillinnän kannalta onkin ilmeinen. Kaupunkivihreän sekoittaminen muuhun kaupunkirakenteeseen hillitsee lämpösaarekkeita

tehokkaammin kuin suuret erilliset viheralueet.

Myös kiinnittämällä huomiota kaupungeissa käytettäviin pintamateriaaleihin ja niiden ominaisuuksiin voidaan pyrkiä hillitsemään lämpösaarekeilmiötä. Tehokkaimmin lämpösaarekeilmiötä lievennetään yhdistelemällä ja toteuttamalla useita eri keinoja.



Taulukko 2. Suosituksia lämpösaarekeilmiön lieventämiseen sekä lämpösaarekeilmiöön varautumiseen Tampereen kantakaupungin vaiheleiskaavassa ja sen pohjalta tehtävässä tarkemmassa jatkosuunnittelussa.

Lieventämis- tai varautumistoimenpide	Perustelu	Muut huomiot	Teema, johon liittyy
<b>Keskusta-alueilta ja lämpimiltä vyöhykkeiltä suunnitellaan sujuvia ja miellyttäviä kävely- ja pyöräilyreittejä viheralueille ja viileämmille vyöhykkeille sekä uimapaikoille. Huomioidaan reittien latvuspeitteisyys. Reittien pituutta voidaan arvioida paikkatietopohjaisesti reitti-analyysillä ja määritellä raja-arvo reitin maksimipituudelle.</b>	Mahdollistaa pääsyn viileään, helpottaa kuumuusstressiä ja ehkäisee terveyshaittoja. Siirtymisen varjossa on miellyttävämpää.	Keskustan strategisen osayleiskaavan alueella korkeita pintalämpötiloja erityisesti rautatieaseman ympäristössä ja Ratinan alueella. Ydinkeskustan kortteleissa Kyttälässä sekä Nalkalan ja Tammerkosken alueella yli +40°C pintalämpötiloja. Kuumia alueita myös Haukiluomassa, Lentävänniemessä ja pienessä osassa Vuoreksessa, sekä Kaupin kampusalueella ja Hervannan keskiosissa.	Yhdyskuntarakenne Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut Ympäristöterveys
<b>Kaupunkivihreän sijoittaminen/tilava- raukset kaupunkirakenteeseen. Suunnitellaan riittävästi viheralueita myös tiiviiseen kaupunkirakenteeseen ja varataan katutilassa tilaa puuistutuksille. Kaupunginosapuistoja suositellaan lisättäväksi kuumille alueille.</b>	Laajojen yksittäisten viheralueiden viilentävä vaikutus kaupungin reunalla ei ulotu tehokkaasti kaupunkirakenteiden sisäosiin.	Lämpösaarekkeet ovat jossain paikoin päällekkäisiä "ohjeellisten vihervestoston yhteystarvealueiden kanssa". Kaupunginosapuistoja on kuumilla alueilla vain vähän.	Yhdyskuntarakenne Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut
<b>Suunnitellaan viileitä paikkoja tai viilentäytymiskeskuksia teollisuusalueille ja tiiviille vanhoille korttelialueille, sekä ulkoliikuntapaikkojen yhteyteen (ulos tai</b>	Jo toteutetussa kaupunkirakenteessa kuumimmilta alueilta on monin paikoin pitkä matka	Yli +40°C vyöhykkeillä kaupunkirakenne lähes poikkeuksetta teollisuusalueita ja muita suuryksiköitä.	Yhdyskuntarakenne Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut

<b>sisälle). Priorisoidaan lämpimimmät alueet.</b>	viileisiin vyöhykkeisiin.		
<b>Helpotetaan pääsyä rantavyöhykkeille, veden ääreen sekä uimapaikkoihin. Suunnitellaan hyviä kevyen liikenteen ja julkisten kulkuneuvojen yhteyksiä.</b>	Vesistöjen haidunta ja vesteen pääsy viilentää oloa ja lieventää kuumuusstressiä.	-	Yhdyskuntarakenne Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut
<b>Suunnitellaan kaupunkirakenteesta "läpituulettuvaa", mutta vältetään "tuulitunneleita" (kaupunginosiin lomittuvat viheralueet; rakennusten sommittelu, vältetään pitkiä suorja katutiloja).</b>	Auttaa viilentämään pienilmastoa helteillä, hillitsee kylmänä vuodenaikana epämiellyttävien olosuhteiden syntymistä.	-	Yhdyskuntarakenne Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut
<b>Vaalitaan nykyisiä korkean puuston ja runsaan kasvillisuuden alueita ja tuetaan niiden kehittymistä sekä hyvinvointia. Säilytetään viheralueita mahdollisimman yhtenäisinä.</b>	Metsät ja yhtenäiset kaupunkipuuston alueet viilentävät kaupungin pienilmastoa tehokkaimmin. Yhtenäiset viheralueet kestävät kuumuusstressiä paremmin kuin sirpaloituvat viheralueet.	Valtaosa yhtenäisistä viher- ja metsäisistä alueista sijaitsevat kantakaupungin laidalla. Kantakaupungin sisään olisi hyvä saada viileitä vyöhykkeitä, esimerkiksi puustoisia viheralueita.	Yhdyskuntarakenne Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut
<b>Tiiviin rakentamisen alueiden jatko-suunnittelussa huomioidaan pienilmastoon vaikuttavat tekijät ja lämpösaarekeilmiöön varautuminen (puusto, rakennusten ja katujen ilmansuunnat, tuulisuus).</b>	Rakennusten sommittelulla sekä katutilojen suunnittelulla on vaikutuksia pienilmastoon (leveys-korkeussuhde, ns. "sky view factor").	-	Yhdyskuntarakenne Yleiskaavan osa-aluearcastelut
<b>Minimoidaan laajojen tummien ja läpäisemättömien pintojen rakentaminen (tiet, väylät, pysäköintialueet).</b>	Tummat läpäisemättömät pinnat varaavat lämpöä ja	Koskee erityisesti teollisuusalueita ja väyläympäristöjä sekä keskustaa.	Yhdyskuntarakenne Yhdyskuntatekninen huolto

	kasvattavat lämpösaarekeilmiötä.		
<b>Kaupunkipurojen uomien varrella vaalitaan varjostavaa puustoa ja suunnitellaan mahdollisuuksien mukaan puron varrelle viheraluetta.</b>	Varjostava puusto ehkäisee pienvesien lämpenemistä sekä haihtumista ja parantaa vesistöjä elinympäristönä sekä niiden ekologista tilaa.	Kaupunkivesistöistä Härmälänoja, Pyhäojan keskiosuudet sekä Vihiojan alajuoksu Lahdenperänkadun varrella kulkevat erityisen kuumien alueiden läpi. Myös Tauskonoja sekä laskuoja Iidesjärveltä Pyhäjärveen riskikohteita.	Kestävä vesitalous Viherympäristö ja vapaa-ajan palvelut
<b>Huomioidaan keskustan massiivitiilirakennukset ym. iäkkäiden rakennusten keskittymät lämpösaarekeilmiöön varautumisen ja lieventämisen suunnitelmassa.</b>	Rakennuksissa ei välttämättä ole ilmastointia, joten ulkotilan ja kaupunkirakenteen merkitys korostuu.	Keskustassa vanhempia kerrostaloja selvästi ympäristöä lämpimämmillä alueilla. Eniten iäkästä väestöä kuumilla alueilla Hervannassa, Linnainmaan terveysaseman ympäristössä sekä Tampereen keskustassa. Ennen 1960-lukua rakennettu rakennuskanta pääasiassa pientaloalueita.	Kulttuuriympäristö Yhdyskuntarakenne
<b>Korvataan läpäisemättömiä pintoja (kiveys ym.) kasvillisuudella.</b>	Kasvillisuuspinnat varaavat vähemmän lämpöä.	Erityisesti kunnostuskohteet, purkukohteiden uudelleen rakentaminen. Katualueiden kunnostukset.	Yleiskaavan osa-alue tarkastelut

<b>Suunnitellaan luonnonmukaista hulevesien hallintaa ja vähennetään läpäisemättömiä pintoja.</b>	Veden luonnollisen kierron tukeminen ja kasvillisuuspinnat turvaavat pienveistäjä ja viilentävät pienilmastoa. Läpäisemättömät (tummat) pinnat varaavat lämpöä.	-	Yleiskaavan osa-alue- tar- kastelut
<b>Katualueiden ja väylien tilavarauksissa huomioidaan katuvihreän ja puiden istuttamisen tilantarpeet.</b>	Puusto ja erityisesti yhtenäiset latvuspeitteiset alueet viilentävät katutilaa.	-	Yleiskaavan osa-alue- tar- kastelut
<b>Suositaan vaaleita sävyjä kattopinnoissa.</b>	Tummat pinnat varaavat lämpöä ja kasvattavat lämpösaarekeilmiötä sekä kuumentavat rakennuksia.	-	Yleiskaavan osa-alue- tar- kastelut
<b>Suositaan mahdollisuuksien mukaan viherkattoja esim. autokatoksissa ja muissa matalissa rakenteissa.</b>	Lähellä maanpintaa sijaitsevat viherkatot viilentävät korttelien ulkotilojen pienilmastoa. Matalissa rakennuksissa viherkatot eivät aiheuta suuria rakennevaatimuksia.	-	Yleiskaavan osa-alue- tar- kastelut

## 8.1 Suositeltavia jatkoselvityksiä

Karttojen pohjalta tehty arviointi perustuu maan pintalämpötilojen sekä haavoittuvuuk-sien osalta nykyhetken ja menneiden vuosien aineistoon. Niin lämpöoloihin kuin haavoittu-vuuksiinkin liittyvät analyysit on tarpeen päi-vittää säännöllisesti, sillä kaupunkirakenne muuttuu.

Nimestään huolimatta maan pintalämpötila-kartta ei esimerkiksi latvuspeitteisillä alueilla kerro maan pinnan lämpötilasta puun var-jossa. Paremman käsityksen saamiseksi läm-pötiloista eri puolilla kaupunkia olisi hyvä ha-vainnoida ilmasta mitattujen lämpötilojen sar-jaa. Tämä voisi myös kattaa talvikuukaudet ja nostaa esiin talviaikaisen lämpösaarekeilmiön vaikutuksia.

Yleiskaavaa koskevien suositusten lisäksi alla listatut aiheet ja selvitykset voivat kasvattaa ymmärrystä lämpösaarekeilmiöstä, siihen liit-tyvistä haavoittuvuuksista ja sopeutumisen tarpeesta sekä kuumuuden lieventämisen kei-noista. Aiheet on karkeasti jaoteltu yleis-kaava- ja asemakaavavaiheeseen, eli mitta-kaavaltaan koko kantakaupungin ja korttelita-son tarkasteluihin:

YLEISKAAVA (kantakaupungin mittakaava)

- Lämpimien vyöhykkeiden määritelmän tar-kentaminen
- Ilman lämpötilojen seuranta ja kartoitus

- Talven lämpösaarekkeiden tutkiminen
- Sosiaalisen haavoittuvuuden analyysin tar-kennus (yhteisindikaattori)
- Väestön muutosten mallintaminen suh-teessa lämpöoloihin kaupunkirakenteen ke-hittyessä
- Liikenteen lämmittävä vaikutus ja sen en-nustaminen
- Lämpösaarekeilmiön vaikutus pohjaveteen
- Tuulisuuden vaikutus kantakaupungin mit-takaavassa ja ilmavirrat kaupunkiraken-teessa
- Viheralueiden tyypittely ja siniviherraken-teen potentiaali

ASEMAKAAVA (korttelitaso)

- Albedon vaikutus
- Viilleiden paikkojen saavutettavuus
- Sky view factor 3d-mallintamalla
- Pienilmaston mallinnukset yksittäisissä kehi-tyskohteissa (yleiskaava, asemakaava)
- Katutilan sopeutumispotentiaali - ratkaisujen ideointi
- Kulttuuriympäristön riskien selvitys (raken-nuskanta, arvokas kasvillisuus)

Edellisten lisäksi selvityksen asiantuntija-työssä esiin nousivat myös huoltovarmuu-teen (esim. sähkökatkot, kuumuuskuormi-tus) sekä kulttuurihistoriallisiin ympäristöihin



liittyvät riskit. Näiden osalta varautuminen ei ensisijaisesti ole kaupunkisuunnittelun vaikutuspiirissä, mutta tämän selvityksen tuloksia suositellaan viestittävän myös muille sektoreille. Näitä ovat esimerkiksi konsernihallinto, sosiaali- ja terveystalvet, pelastuslaitos, vesihuolto, sähkölaitos, tilapalvelut kaupunginmuseo sekä luonnonhoito ja infra (kunnossapito).

## 9 Loppusanat

Lämpösaarekeilmiön tutkiminen kaupunkisuunnittelussa on uusi aihe Suomessa. Tämän raportin pohjalta voidaan vetää alustavia johtopäätöksiä lämpösaarekeilmiön tekijöistä ja kohdentumisesta sekä haavoittuvuuksista Tampereen kantakaupungissa yleisellä tasolla. Raportin avulla voidaan tunnistaa jatkoselvityksissä sekä kaupunkisuunnittelussa priorisoitavia teemoja sekä kohteita. Niin lämpöoloihin kuin haavoittuvuuksiinkin liittyvät analyysit on tarpeen päivittää säännöllisesti, sillä kaupunkirakenne muuttuu.

Lämpösaarekeilmiön lieventämistä ja kuumusriskiin varautumista on tarkasteltava sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Ilmastomuutoksen myötä lämpötilat nousevat Suomessa erityisesti kesällä, mutta myös talviaikaan. Talven lämpösaarekkeeseen liittyvät toisenlaiset riskit, kuten liukkaus ja ekologiset

haasteet. Ennakoiva suunnittelu on tärkeä osa varautumista.

Kaupunkirakenne ja erityisesti kaupungin viheralueet katutila mukaan lukien vaikuttavat pienilmastoon, lämpötilojen nousuun ja hillintään. Ilmastotyön linjausten ja tiedotuksen ohella yleiskaava ja asemakaavat ovat merkittävässä roolissa lämpösaarekeilmiön lieventämisessä, sillä ne ovat lainvoimaisia keinoja ohjata kaupunkikehitystä. Jatkotarkasteluiden pohjalta on mahdollista syventää sopeutumistarpeiden määrittelyä ja kehittää sopeutumiskeinoja Tampereella.

## 10 Lähteet

- Balany, Fatma, Anne WM Ng, Nitin Muttill, Shobha Muthukumaran, Man Sing Wong, 2020. Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy – A Review, *Water* 2020, 12, 3577. doi:10.3390/w12123577
- Brandenburg, Christiane, Doris Damyanovic, Florian Reinwald, Brigitte Alex, Birgit Gantner, Christina Czachs, 2018. Urban Heat Island Strategy City of Vienna, Municipality of Vienna, Vienna Environmental Protection Department – Municipal Department 22. [Urban Heat Islands \(UHI\) – Strategieplan angesichts von Hitzeinseln und Klimawandel \(wien.gv.at\)](https://www.wien.gv.at/umwelt/urban-heat-islands/) (sivulla käyty 8.4.2022)
- Brozovsky, J., N. Gaitani, A. Gustavsen, 2021. A systematic review of urban climate research in cold and polar climate regions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 138 (2021) 110551.
- Climate central, 2021. Hot Zones: Urban Heat Islands. Research brief. [https://medialibrary.climatecentral.org/uploads/general/2021\\_UHI\\_Report.pdf](https://medialibrary.climatecentral.org/uploads/general/2021_UHI_Report.pdf)
- Chavaillaz, Y., Roy, P., Partanen, A.-I., Da Silva, L., Bresson, E., Mengis, N., Chaumont, D., Matthews, H. D., 2019. Exposure to excessive heat and impacts on labour productivity linked to cumulative CO2 emissions. *Scientific Reports Nature Research* 9:13711  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-50047-w>
- Drebs, A. 2011. Helsingin lämpösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto.
- Drebs, A., Suomi, J., Väyrynen, R. & Kaate, I. 2014. Kaupungin lämpösaarekkeen ominaispiirteitä -selvitys. Osa ilmastonestävän kaupungin suunnitteluopasta. <https://ilmastotyokalut.fi/raportit-ja-tyokalut/> Luettu 9.5.2022
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2022. Heat Island effect -verkkosivusto. [https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands#\\_ftn2](https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands#_ftn2) Luettu 18.5.2022
- Espoo, 2019. Espoon siniviherrakenne -teemakohtainen tarkastelu –viherkudelman osa B -dokumentista (mm. s. 54)
- Gill, S., Handley, J., Ennos, R., & Nolan, P. 2009. Planning for Green Infrastructure: Adapting to Climate Change. Teoksessa: Planning for Climate Change: Strategies for Mitigation and Adaption for Spatial Planning, toimittajat Davoudi, S., Crawford, J. & Mehmood, A. London: Routledge.
- Gregow, H., Mäkelä, A., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Käyhkö, J., Perrels, A., Kuntsi-Reunanen, E., Mettiäinen, I., Näkkäläjärvi, K., Sorvali, J., Lehtonen, H., Hildén, M., Veijalainen, N., Kuosa, H., Sihvonen, M., Johansson, M., Leijala, U., Ahonen, S., Haapala, J., Korhonen, H., Ollikainen, M., Lilja, S., Ruuhela, R., Särkkä, J. & Siiriä, S-M. 2021. Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjaukskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmasto-paneelin raportti 2/2021.
- HSY, 2022. Pääkaupunkiseudun tulevien kesien kuumuutta ja talvien liikkautta voi tutkia karttapalvelussa. <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/tiedotteet/paakaupunkiseudun-tulevien-kesien-kuumuutta-ja-talvien-liikkautta-voi-tutkia-karttapalvelussa/> Luettu 19.5.2022
- Igergård, Fanny, 2021. Addressing the urban heat island effect in Stockholm. An analysis of its presence and relation to land cover and urban planning. Degree thesis.
- Jacobs, Cor, Lisette Klok, Michael Bruse, João Cortesão, Sanda Lenzholzer, Jeroen Kluck, 2020. Are urban water bodies really cooling?, *Urban Climate*, Volume 32, 100607, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100607>.

Kazmierczak & Kankaanpää, 2016. Ilmastolähtöinen sosiaalinen haavoittuvuus pääkaupunkiseudulla, HSY.

Kollanus, V. & Lanki, T. 2014. 2000-luvun pitkittyneiden helleaaltojen kuolleisuusvaikutukset Suomessa. *Duodecim* 2014;130(10):983-90 <https://www.duodecim-lehti.fi/lehti/2014/10/duo11638>

Kosonen, R., Farahani, A. V., Jokisalo, J., Korhonen, N. & Jylhä, K. 2021. Huonelämpötilan pysyvyys ja aktiivisen jäähdytyksen tarve tulevaisuuden ilmastossa. Artikkelijoukko/konferenssijulkaisussa: Rakennusfysiikka 2021. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut: 26.-28.10.2021, Tampere, osa 2. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/137350>

Kotakorpi, Kerttu, 2020. Suomen luonto 2100: tutkimusretki tulevaisuuteen, Bazar.

Kullberg, Jaakko, 3.11.2022, suullinen tiedonanto.

Leal Filho, W., Wolf, F.;Castro-Díaz, R., Li, C., Ojeh, V.N., Gutiérrez, N., Nagy, G.J., Savić, S., Natenzon, C.E., Quasem Al-Amin, A., et al. 2021. Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. *Sustainability* 2021, 13, 753. <https://doi.org/10.3390/su13020753>

Makido, Y., D. Hellman, V. Shandas, 2019. Nature-Based Designs to Mitigate Urban Heat: The Efficacy of Green Infrastructure Treatments in Portland, Oregon. *Atmosphere* 2019,10, 282; [doi:10.3390/atmos10050282](https://doi.org/10.3390/atmos10050282)

Mikkonen, P. 2021. Heijastavat katu- ja kattorakenteet kaupunkitilassa - Strategia lämpösaarekeilmiön hillitsemiseksi. Kandidaatintyö, Arkkitehtuurin laitos.

Neuvonen, P. (toim.). 2006. Kerrostalot 1880-2000 - Arkkitehtuuri rakennustekniikka korjaaminen. Rakennustieto.

Norton, B., K. Bosworth, A. Coutts, N. Williams, S. Livesley, A. Trundle, R. Harris, D. McEvoy, 2013. Planning

for a Cooler Future: Green Infrastructure to Reduce Urban Heat. *Climate Adaptation for Decision Makers*, Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research (pdf).

Pilli-Sihvola, K., Haavisto, R., Leijala, U., Luhtala, S., Mäkelä, A., Ruuhela, R. & Votsis, A. 2018. Sään ja ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit Helsingissä. Helsingin kaupunki.

Pizarro, Rafael 2009. Urban Form and Climate Change: Towards Appropriate Development Patterns to Mitigate and Adapt to Global Warming. teoksessa: Davoudi, Simin, Jenny Crawford ja Abid Mehmood (toim.) *Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners*, Earthscan, London, 33-45.

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* 2021, 12, 46. <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>

Räsänen, A., Heikkinen, K., Piila, N. & Juhola, S. 2019. Zoning and weighting in urban heat island vulnerability and risk mapping in Helsinki, Finland. *Regional Environmental Change*, vol. 19, no. 5, pp. 1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01491-x>

Siivonen, 2021. Ilmastomuutokseen sopeutumisen edistäminen Tampereen kantakaupungin yleiskaavassa - Tarkestelussa lämpösaarekeilmiö ja siihen sopeutuminen. Tampereen kaupungin sisäinen selvitys.

Sitowise 2022. Ilmastomuutokseen sopeutuminen Tampereella (pdf).

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2021. Ilmastomuutos sosiaali- ja terveyssektorilla. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163160>

Song, Y. & Wu, C. 2018. Examining human heat stress with remote sensing technology. *GIScience & Remote Sensing*. Volume 5, 2018.

Sun, Ranhao, Ailian Chen, Liding Chen, Yihe Lü, 2012. Cooling effects of wetlands in an urban region: The case of Beijing. *Ecological Indicators*, Volume 20, 2012, Pages 57-64, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.006>.

Suomi, J. 2014. Characteristics of urban heat island (uhi) in a high -latitude coastal city - a case study of Turku, SW Finland. *Annales Universitatis Turkuensis A II: Biologica, Geographica, Geologica*. Dissertation.

Suomi, J. 2018. Extreme temperature differences in the city of Lahti, southern Finland: Intensity, seasonality and environmental drivers. *Weather and Climate Extremes*. Volume 19, 2018.

Steenefeld, G.J, S. Koopmans, B.G. Heusinkveld, N.E. Theeuwes, 2014. Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect, *Landscape and Urban Planning*, Volume 121, Pages 92-96, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.001>.

Tampereen yleiskaavoitus, 2020. Tampereen kantakaupungin yleiskaava 2017-2021. Vaikutusarvio ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja ilmatoriskien hallinnasta (pdf).

THL, 2019. Viime kesän helleaalto lisäsi ikääntyneiden kuolleisuutta – helteisiin on hyvä varautua ajoissa. Verkko-uutinen <https://thl.fi/fi/-/viime-kesan-helleaalto-lisasi-ikaantyneiden-kuolleisuutta-helteisiin-on-hyva-varautua-ajoissa> Luettu 20.5.2022

Tzavali, A., Paravantis, J., Mihalakakous, G., Fotiadi, A. & Stigka, E. 2015. Urban heat island intensity: a literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 24 - No. 12b. 2015.

Wang, Yupeng; Umberto Berardi, Hashem Akbari 2016. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings* 114 (2016) 2-19.

Ward, Kathrin; Birgit Kleinschmit, Wilfried Endlicher. 2016. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers, *Science of the Total Environment*, 569-570 (2016) 527-539.

WHO, 2008. Heat-Health Action Plan. [https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/95919/E91347.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf)

Wiborn, Peter, 2022. Heatwaves, Heat Islands, and Cool Places in Stockholm. *Esitelmäineisto, EuroCities-konferenssi*.

Wu, Zhijie ja Yixin Zhang, 2019. Water Bodies' Cooling Effects on Urban Land Daytime Surface Temperature: Ecosystem Service Reducing Heat Island Effect. *Sustainability*, 11(3), 787; <https://doi.org/10.3390/su11030787>

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S. et al. 2019. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. *Remote Sens.*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.3390/rs11010048>

#### www

Ilmatieteen laitos, a. Havaintojen lataus. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus/#!/> - Tampellan, Siilinkarin, Härmälän ja Pirkkalan lentoaseman tietoja usealta ajankohdalta 2019-2021, Tietojen lataus 29.5.2022 ja 31.5.2022.

Ilmatieteen laitos, b. Tilastoja vuodesta 1961 - Ilmatieteen laitos sivulla käynti 5.5.2022.

Landsat 8 lämpökanava-aineisto [http://rslab.gr/downloads\\_LandsatLST.html](http://rslab.gr/downloads_LandsatLST.html), dokumentaatio: Parastatidis, D., Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., Abrams, M., 2017. Online Global Land Surface Temperature Estimation from Landsat. Remote Sens., 9, 1208, <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/12/1208>.aineiston lataus 31.3.2022.

London City Hall, Cool Places, <https://www.london.gov.uk/what-we-do/environment/climate-change/climate-adaptation/cool-spaces> sivulla käynti 16.9.2022.

Odis-Berlin, Erfrischungskarte-Berlin, <https://erfrischungskarte.odis-berlin.de/>, sivulla käynti 16.9.2022.

WeatherShift, [www.weathershift.com](http://www.weathershift.com) sivulla käynti 8.4.2022.



## 11 Liitteet

### Liite 1. Pintalämpötilan yhdistelmäkartan ajankohtien valinta

Taulukkoon on valikoitu päivät, jolloin vuorokauden keskilämpötila Härmälän sääaemalla oli yli +18 °C, sillä se ylittää Tampereella heinäkuun keskilämpötilan vuosilta 1991-2020 (+17,4 °C) Ilmatieteen laitoksen tilastoissa.

Edeltävää hellejaksoa varten on tarkasteltu päivien ylimpiä ilman lämpötiloja Härmälän Ilmatieteenlaitoksen havaintoasemalta kesiltä 2015-2021, aikaväleiltä 1.6-31.8.

Valinta-sarakkeessa arvo 1 tarkoittaa, että ajankohta on valittu yhdistelmäkartan ajankohtiin.

pvm	pilvisuus %	Vuorokauden keski- lämpötila Härmälän sääasema °C	valinta	edeltävä hellejakso
<b>3.7.2015</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>ei</b>
11.8.2015	100	18	0	-
3.6.2016	100	19	0	-
26.6.2016	70	20	0	-
15.5.2018	5	18	0	-
<b>18.7.2018</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>kyllä</b>
<b>27.7.2018</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>kyllä</b>

## Tampereen kantakaupungin lämpösaarekeilmiöselvitys

3.8.2018	50	22	0	-
19.6.2019	60	19	0	-
<b>21.7.2019</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>ei</b>
<b>14.6.2020</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>ei</b>
21.6.2020	90	19	0	-
<b>8.8.2020</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>ei</b>
17.6.2021	95	18	0	-
<b>3.7.2021</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>kyllä</b>
10.7.2021	100	23	0	-
<b>26.7.2021</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>ei</b>