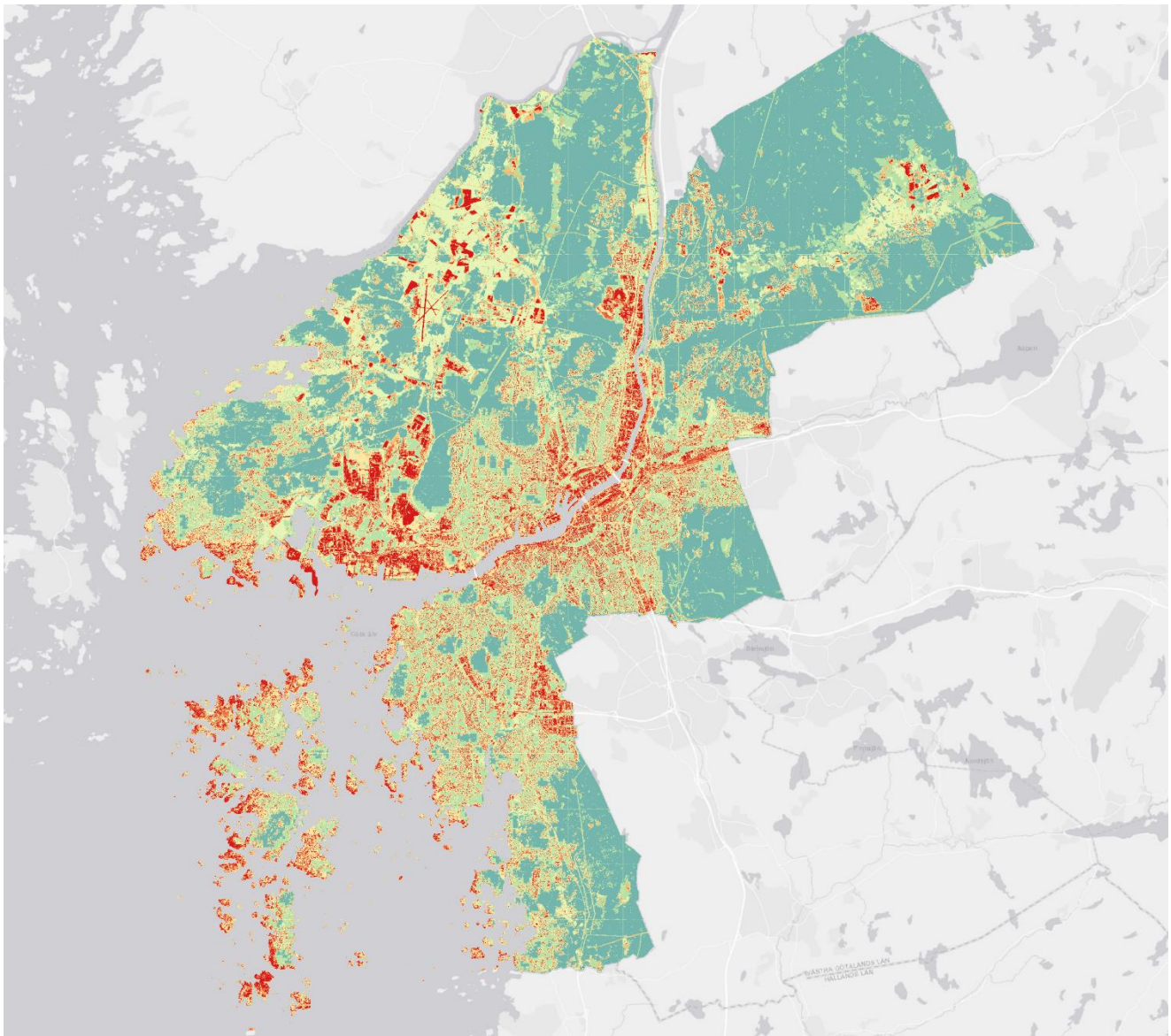




Göteborgs Stad Stadsbyggnadsförvaltningen

► Värmekartering, Diarienumr SBF-2024-00860

Uppdragsnr.: 109 19 25 Revision: 3 Datum: 2025-02-07



Uppdragsgivare: Göteborgs Stad Stadsbyggnadsförvaltningen
Uppdragsgivarens kontaktperson: Lisa Ekström
Konsult: Norconsult Sverige AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg
Uppdragsledare: Felipe Verdú
Handläggare: Louise Lindén, Hanna Swedenklef

Revision	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt
1	2024-12-11	Handling för interngranskning	Louise Lindén, Hanna Swedenklef,	Kristin Mors	
2	2024-12-16	Handling för externgranskning	Louise Lindén, Hanna Swedenklef		
3	2025-02-07	Färdig handling	Louise Lindén, Hanna Swedenklef		

Detta dokument är framtaget av Norconsult som del av det uppdrag dokumentet gäller. Upphovsrätten tillhör Norconsult. Beställaren har, om inte annat avtalats, endast rätt att använda och kopiera redovisat uppdragsresultat för uppdragets avsedda ändamål.

► Summering

Norconsult har i uppdrag av Stadsbyggnadsförvaltningen vid Göteborgs stad utfört en värmekartering där flera parametrar har analyserats med hjälp av GIS-analys och maskininlärningsmodell. Baserat på resultaten från värmekarteringen togs även en riskbedömning fram som utvärderar var i staden det är högst risk att hälsoskadlig värme utvecklas. Som hjälp att tolka kartorna togs även ett handläggarstöd fram för användning inom stadsplanering och klimatanpassning av befintlig bebyggelse i staden.

Värmekarteringen utfördes med fokus på både dag- och natterperaturer. För dagtid användes måttet "strålningstemperatur", vilket är ett mått på strålningsutbytet mellan människan och dess omgivning. Strålningstemperaturen modellerades för tre olika sommardagar där lufttemperaturen låg kring 20 °C, 25 °C, respektive 30 °C under eftermiddagen, och utfördes på en skala av 2x2 meter. Utifrån dessa resultat togs även kartor över frekvens, det vill säga hur många dagar per år ett område når hälsoskadliga strålningstemperaturer, samt antal timmar per dag med hälsoskadliga strålningstemperaturer fram. I rapporten har ett gränsvärde på 55 °C i strålningstemperatur använts, eftersom studier har visat en signifikant ökning i mortalitet i åldersgruppen 80+ vid denna strålningstemperatur. Även gränsvärden på 57°C respektive 60°C i strålningstemperatur har använts i analyserna. Lufttemperatur nattetid beräknades med hjälp av analyser från en maskininlärningsmodell. Modellen tränades med hjälp av uppmätta nattliga temperaturer mellan 2018–2024 samt satellitbilder och variabler som vanligtvis korrelerar med bildandet av urbana värmeöar, såsom markytetemperatur, bebyggda eller vegetationstäckta ytor, samt variabler som kommer från höjd- och marktäckedata. Karteringen utfördes på en skala av 100x100 meter för att få en mer övergripande bild över var värmeöar bildas nattetid.

Resultaten från värmekarteringarna visar att värme framför allt utvecklas i områden med stor andel bebyggelse och hårdgjorda ytor. Större områden av grönska ger en tydlig kylande effekt, men även grönska mellan hus ger välbehövlig svalka i staden under årets varmaste dagar. Karteringen av lufttemperatur nattetid ger i stort sett samma mönster, där bebyggda områden är som varmest men även områden längs med kusten och öarna.

Riskbedömningen togs fram med hjälp av Norconsults egna framtagna GIS-verktyg GeoRaptor, vilket är en multikriterieanalys med en viktningprocess som kallas AHP (Analytisk hierarkisk process). De tidigare framtagna analyserna användes som indata till riskbedömningen för att få en övergripande och samlad bild över var i staden det är allra högst risk för värme, när man kombinerar de olika faktorerna så som strålningstemperatur, frekvens per år, antal timmar per dag samt lufttemperatur nattetid. Riskbedömningen kan sedan användas som underlag i stadsplaneringen, tillsammans med övriga data som tagits fram för rapporten. För att ytterligare förstå hur resultaten ska tolkas och användas i stadsplaneringens olika faser har även ett handläggarstöd tagits fram som bilaga till metodrapporten. Handläggarstödet togs fram med hjälp av resultatet från värmekarteringen, tidigare utredningar samt genom dialog med tjänstepersoner. För tolkning av resultat hänvisas därför främst till Bilaga Handläggarstöd.

► Innehåll

1	Bakgrund	5
1.1	Urban värme och klimatförändringar	5
1.2	Syfte	7
2	Metod	8
2.1	Data som används i studien	8
2.2	Beräkning av strålningstemperatur	9
2.2.1	Beräkning av frekvensen för överskridande av hälsosamma nivåer	9
2.2.2	Beräkning av antalet timmar för överskridande av hälsosamma gränsvärden	10
2.3	Beräkning av lufttemperatur nattetid	11
2.4	Riskbedömning med hjälp av GeoRaptor och AHP	12
2.4.1	Viktningprocessen och workshop	12
2.4.2	Riskindex	14
2.4.3	Känslighetsanalys	14
2.4.4	Statistisk analys	14
3	Resultat	15
3.1	Strålningstemperatur	15
3.1.1	Strålningstemperatur kl. 14	15
3.1.2	Frekvens av överskridande av gränsvärden för ohälsosam värme	19
3.1.3	Antal timmar där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå	22
3.2	Lufttemperatur nattetid	24
3.2.1	Tolkning av temperaturmätningar	24
3.2.2	Tolkning av modellerade nattemperaturer	26
3.3	Riskbedömning	28
3.3.1	Fördelning av riskindexvärden och beslut om gränsvärden för värmerisk	28
3.3.2	Slutlig riskklassificering	30
3.4	Hur används resultatet	32
4	Diskussion	35
4.1	Strålningstemperatur	35
4.1.1	Framtida klimatscenarier	35
4.2	Lufttemperatur nattetid	36
4.3	Vidareutveckling av resultaten	36
5	Referenser	38

1 Bakgrund

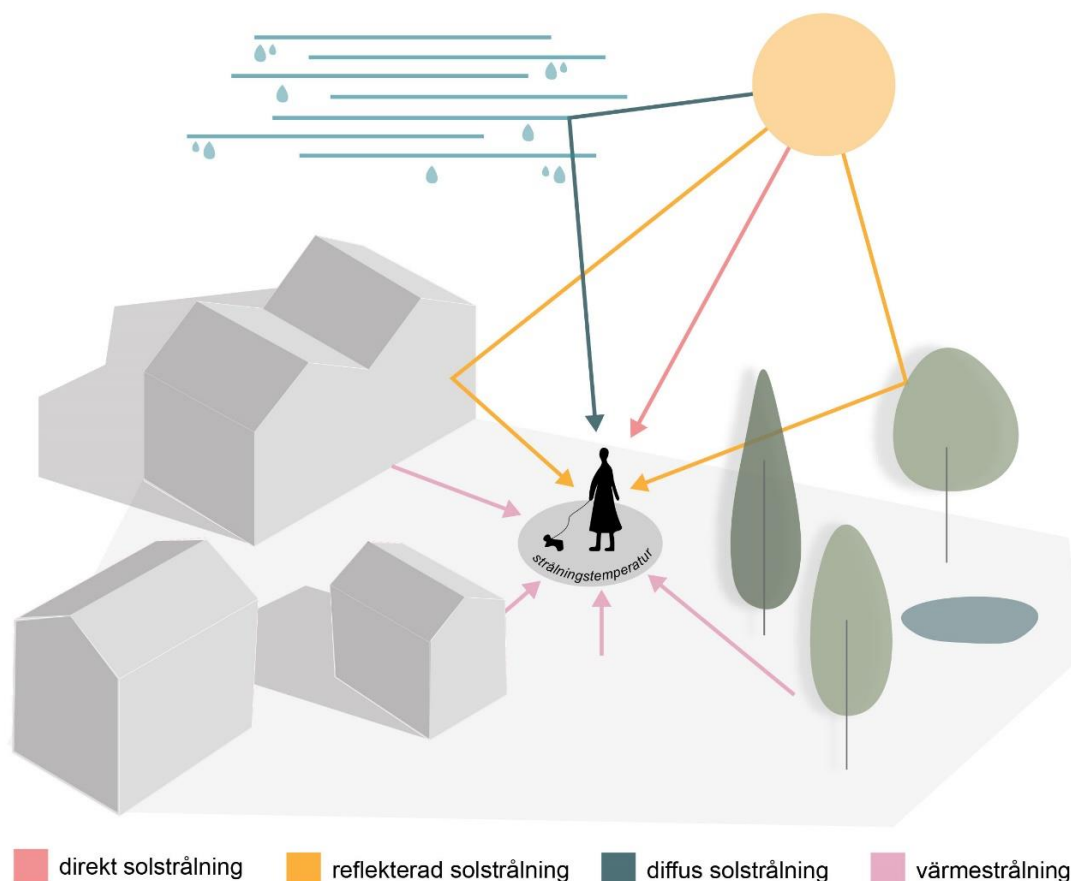
Stadsbyggnadsförvaltningen inom Göteborgs stad har gett Norconsult Sverige i uppdrag att utföra en värmekartering. Uppdraget utförs inom ramen för stadens klimatarbete och utreder både förekomsten av risk för höga temperaturer gällande strålningstemperatur dagtid samt lufttemperatur nattetid. Baserat på dessa utredningar utförs även en samlad riskbedömning för var i staden det är störst risk att hälsoskadlig värme utvecklas under varma sommardagar.

Genom att tillämpa avancerade modelleringstekniker och omfattande dataanalyser utgör rapporten ett underlag för att förstå och hantera de värmeutmaningar som Göteborg står inför. Resultaten kommer att stödja stadens arbete med åtgärder för att förbättra motståndskraften mot värmeböljor inför ett förändrat klimat.

1.1 Urban värme och klimatförändringar

Urbana värmeöar är ett fenomen som kan uppstå i bebyggda områden med stor andel hårdgjorda ytor, tät bebyggelse och en avsaknad av vegetation. Temperaturer i urbana områden är generellt högre än i rurala områden, och effekten mäts bäst under klara, vindstilla nätter där lufttemperaturen kan skilja sig upp till 10°C i stora städer i jämförelse med temperaturer på landsbygden (Säll, 2019). En viktig anledning till att urbana områden generellt är varmare än rurala områden är bebyggelsen i städer, både sett till bebyggelsens utformning (höjd, täthet, väderstreck), men också de material som används i byggnaderna och dess förmåga att lagra och absorbera värme. Hårdgjorda ytor som exempelvis asfalt, betong och tegel har förmågan att absorbera och ge ifrån värme, vilket i kombination med tät bebyggelse kan inkapsla värmen. Hög vegetation i urbana områden är temperaturreducerande både genom avdunstning och skuggbildning, samt visat sig effektivt minska värmestressen hos människor (Folkhälsomyndigheten, 2018).

De platser som når höga temperaturer dagtid beror också på hur bebyggelsen ser ut och hur utsatt den är för solens strålning, där även tillgång till skugga och vegetation spelar in (Folkhälsomyndigheten, 2018). Ett lämpligt mått för att beskriva dagstemperaturen och den upplevda lufttemperaturen utomhus är strålningstemperaturen. Som visas i **Figur 1**, strålningstemperatur utgörs av strålningsutbytet mellan människan och omgivningen, och spelar stor roll för den upplevda temperaturen hos människan. Medan lufttemperaturen har små variationer på en mikroklimatisk skala, kan strålningstemperaturen variera stort, främst beroende på skuggning och inkommande solstrålning samt andra meteorologiska parametrar. Studier har visat att strålningstemperatur är en viktigare indikator för upplevd temperatur under värmeböljor än lufttemperatur.



Figur 1. Illustration som visar de olika strålningskomponenter som ingår i begreppet strålningstemperatur.

Idag bor 56% av världens befolkning i städer. Eftersom stadsbefolkningen beräknas fördubblas fram till 2050 (The World Bank, 2023) är det viktigt att stärka städernas motståndskraft mot överhängande hot. En av de mest akuta utmaningarna i samband med klimatförändringarna är hanteringen av värmeböljor. Sedan 1950 har frekvensen och intensiteten av extrema temperaturer ökat globalt och enligt prognoser från FN:s klimatpanel (IPCC, 2023) kan framtida extrema temperaturer komma att fördubblas eller tredubblas på grund av den globala uppvärmningen. Om värmeböljorna ökar i frekvens och omfattning kommer städer som redan har högre bastemperaturer på grund av värmeeffekten att drabbas av förvärrade konsekvenser. Högre stadstemperaturer påverkar olika befolkningsgrupper på olika sätt, där ökade hälsorisker ses särskilt bland barn och äldre.

IPCC har beskrivit flera RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways), vilket är scenarier som beräknar möjliga klimatframtider baserat på varierande koncentrationer av växthusgaser. Under olika klimatscenarier varierar riskerna för städer som Göteborg avsevärt. Exempelvis kan scenariot RCP 4,5 - som återspeglar måttliga insatser för att minska klimatförändringarna (IPCC, 2014)- fortfarande leda till frekventa och intensiva värmeböljor. Däremot ger RCP 8,5-scenariot, som representerar en framtid med höga utsläpp och minimala klimatåtgärder (IPCC, 2014), en mycket allvarigare bild, där värmeböljornas frekvens, varaktighet och intensitet förväntas öka dramatiskt. Det är därför viktigt att inte bara förstå de hot som våra städer står inför i dag, utan också förutse hur dessa risker kan komma att utvecklas under olika framtidsscenarier.

1.2 Syfte

För att bättre förstå urbana värmeutmaningar och lyfta fram viktiga åtgärder för att mildra oönskade värmeeffekter i Göteborg, fokuserar rapporten på att analysera strålningstemperatur dagtid och lufttemperatur nattetid. Båda mätvärdena är avgörande för att bedöma urbana värmemönster och värmeöeffekten. Strålningstemperatur dagtid ger insikter i det termiska utbytet mellan människor och deras omgivning, vilket påverkar den upplevda temperaturen och riskerna för negativa hälsoeffekter. Nattkyllning påverkas av hur väl olika material i staden kan hålla eller avge värme - en avgörande faktor för människors hälsa och deras förmåga att återhämta sig under värmeböljor.

I arbetet för Göteborgs stad togs även en riskbedömning fram med hjälp av en analysmetod i GIS som kallas GeoRaptor. GeoRaptor är en multikriterieanalys där alla data i studien, i detta fall data från kartering av strålningstemperatur dagtid och lufttemperatur nattetid, viktas mot varandra för att få fram en samlad bedömning om var det är störst risk att värme utvecklas i staden. I tillägg genomför Norconsult även ett handläggarstöd för att hjälpa stadens tjänstemän att tolka resultaten från värmekarteringen.

2 Metod

I detta avsnitt presenteras de metoder som använts i studierna över strålningstemperatur och lufttemperatur nattetid, samt riskbedömning av värme. Alla analyser har genomförts inom kommungränsen för Göteborgs stad. Analyserna för respektive studie har utförts med hjälp av programmen QGIS plug-in verktyget SOLWEIG (Lindberg, Holmer, & Thorsson, 2008) och genom en maskininlärningsmetod med hjälp av crowdsourcad (insamlad genom allmänhetens medverkan) data (Venter, Brousse, Esau, & Meier, 2020). Riskbedömningen har utförts med hjälp av Norconsults egna verktyg GeoRaptor, vilket är en multikriterieanalys baserad på Analytisk Hierarkisk process (AHP).

2.1 Data som används i studien

För genomförande av i studierna över strålningstemperatur och lufttemperatur nattetid har data från Göteborgs stad, Landsat, Netatmo, SMHI, European Commission, Copernicus, och Naturvårdsverket använts. I **Tabell 1** redovisas den data som används för respektive studie.

Tabell 1. Data som används i studien.

Data	Studie	Upplösning	År	Källa
Meteorologiska data (lufttemperatur, vindhastighet, solinstrålning och relativ luftfuktighet)	Strålningstemperatur	Timdata	2018	Öppna data - datamängd - Göteborgs Stad (goteborg.se)
DSM (Digital Surface Model)	Strålningstemperatur	TIFF-fil med pixelstorlek 2x2 meter	2022	Göteborgs stad
DEM (Digital Elevation Model)	Strålningstemperatur	TIFF-fil med pixelstorlek 2x2 meter	2022	Göteborgs stad
CDSM (Canopy Digital Surface Model)	Strålningstemperatur	TIFF-fil med pixelstorlek 2x2 meter	2022	Göteborgs stad
Land cover	Strålningstemperatur	TIFF-fil med pixelstorlek 2x2 meter	2022	Göteborgs stad
Landsat-8 satellitbilder	Lufttemperatur nattetid	TIFF-fil med pixelstorlek 30x30 meter	2018–2024	Landsat
Meteorologiska data (lufttemperatur)	Lufttemperatur nattetid	Timdata	2018–2024	Netatmo
Meteorologiska data (lufttemperatur)	Lufttemperatur nattetid	Timdata	2018–2024	SMHI
DSM (Digital Surface Model)	Lufttemperatur nattetid	TIFF-fil med pixelstorlek 30x30 meter	2019	Copernicus
Nationella Marktäckedata	Lufttemperatur nattetid	TIFF-fil med pixelstorlek 10x10 meter	2023	Naturvårdsverket
Byggnadshöjdsmodell	Lufttemperatur nattetid	TIFF-fil med pixelstorlek 100x100 meter	2023	European Commission, Joint Research Center

2.2 Beräkning av strålningstemperatur

En analys över strålningstemperatur (se Bilaga handläggarstöd för ytterligare information om strålningstemperatur och hur det ska användas i stadsplaneringen) har utförts i QGIS plug-in verktyget SOLWEIG (Solar and LongWave Environmental Irradiance Geometry model). SOLWEIG är en GIS-baserad metod utvecklad vid Göteborgs universitet för att simulera strålningstemperatur (T_{mrt})* i urbana miljöer (Lindberg, Holmer, & Thorsson, 2008) och är vetenskapligt verifierad i flera studier, exempelvis Chen et al. (2014) samt Lindberg och Grimmond (2011). SOLWEIG finns tillgänglig i modelleringsverktyget UMEP (*Urban Multi-scale Environmental Predictor*). SOLWEIG simulerar strålningstemperaturer utifrån data över byggnadsgeometri, vegetation och höjddata samt meteorologiska data. Strålningstemperaturen har analyserats med hjälp av olika höjdmodeller och Göteborgs stad meteorologiska data från 2018, en särskilt varm sommar i Sverige och Göteborg (Göteborgs stad, 2018). Simuleringen har utförts under tre olika dagar under detta år och valet av dagar har genomförts i samråd med Göteborgs stad. För att kunna se var i staden det blir varmt under sommaren, som kan ha skiftande temperaturer valdes en svalare sommandag (med temperaturer kring 20 °C) ut, en varm sommandag (med temperaturer kring 25 °C) ut samt en het sommandag (med temperaturer upp emot 30 °C) ut. Även övriga meteorologiska faktorer har tagits i beaktande vid valet av dagar. I **Tabell 2** redovisas dagarna med respektive lufttemperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet och solinstrålning. Då SOLWEIG-modellen kräver mycket datorkraft delades Göteborgs kommun in i ett rutnät där varje ruta motsvarar 2x2 km och sedan kördes modellen för varje ruta.

Tabell 2. Utvalda dagar för simulering i SOLWEIG.

Datum	Typ av dag	Tid	Lufttemperatur	Vindhastighet	Relativ luftfuktighet	Solinstrålning
7 juli	Svalare sommandag	14:00	20,8°C	3,5 m/s	57 %	679.33 W/m ²
29 juli	Varm sommandag	14:00	24,4°C	3,3 m/s	52 %	737.98 W/m ²
27 juli	Het sommandag	14:00	29,4°C	4 m/s	45 %	787.73 W/m ²

I UMEP förbereds meteorologiska data för dessa tre dagar, där data över lufttemperatur, vindhastighet, solinstrålning och relativ luftfuktighet har inhämtats från Göteborg stads mätstation vid Femmanhuset i centrala Göteborg (Göteborgs stad, 2018). Även en Sky View Factor ("himmelsfaktor", det vill säga hur stor del av himlen som syns från marken) tas fram med hjälp av verktyg i UMEP. Wall height and aspect (byggnadernas höjd och orientering) har också beräknats i UMEP för att sedan användas i SOLWEIG-modellen.

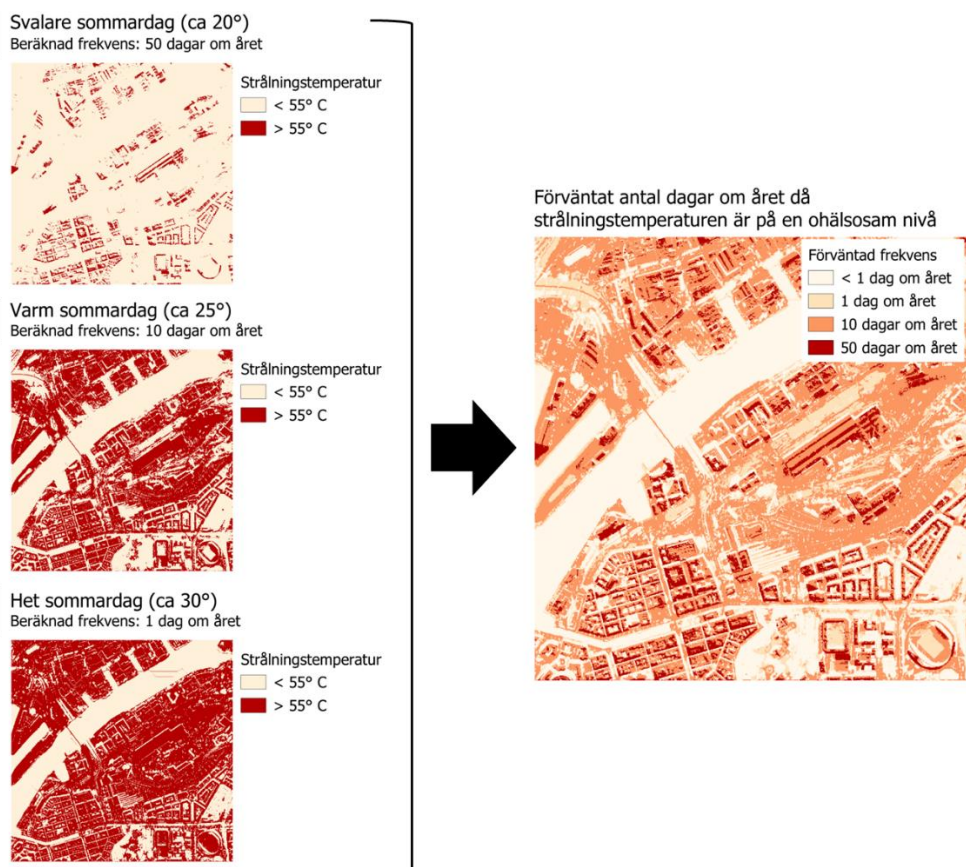
Resultaten över strålningstemperatur som genererats i SOLWEIG-modellen ges i form av ett raster för varje timme under det analyserade dygnet. Då strålningstemperaturen beräknas vara som störst klockan 14 på eftermiddagen (SMHI, 2023) är det den tidpunkt som presenteras i resultaten, se avsnitt 3.1.

*mean radiant temperature, strålningstemperatur

2.2.1 Beräkning av frekvensen för överskridande av hälsosamma nivåer

För att beräkna frekvensen av överskridanden av gränsvärden för hälsa behöver det först fastställas hur ofta Göteborg upplever en 'svalare sommandag', 'varm sommandag' och 'het sommandag'. Baserat på de tre dagar som används i analysen i avsnitt 2.2, filterades SMHI:s tidigare mätningar av lufttemperaturen i Göteborg. Det totala antalet dagar per år som hade en temperatur kl. 12.00 som var större än eller lika med de tre temperaturena i **Tabell 2** beräknades för varje år mellan 2000 och 2024. Detta ger en grund för att förstå hur ofta vi ser olika nivåer av värme.

Med hjälp av de tre rasterresultaten från kapitel 2.2 kan varje pixel i varje raster klassificeras som antingen över eller under de olika gränsvärdena för folkhälsan på 55, 57 och 60°C. På så sätt kan tre kartor skapas för varje gränsvärde som visar de områden som är ohälsosamma under varje typ av dag. Eftersom man vet hur ofta man ser varje typ av sommardag kan man sedan översätta SOLWEIG-resultaten från absoluta strålningstemperaturer till ett frekvensmått. **Figur 2** visar denna process för gränsvärdet 55°C.



Figur 2. Diagram för beräkning av frekvensen för överskridande av ohälsosamma strålningstemperaturer.

2.2.2 Beräkning av antalet timmar för överskridande av hälsosamma gränsvärden

För att ge en större bild av hur allvarliga strålningstemperaturerna är i hela staden gjordes en analys av det totala antalet timmar per dag för varje typ av sommardag. Syftet med detta är att ge en mer nyanserad bild av strålningstemperaturerna. Medan strålningstemperaturen kl. 14.00 ger en bild av fördelningen av urban värme under den varmaste timmen är det också viktigt att förstå hur länge under dagen de olika delarna av staden förblir ohälsosamt varma.

Genom att ta strålningstemperaturutgången för varje timme, för varje pixel i studieområdet, räknades antalet timmar på dagen då värdet översteg 55, 57 och 60 grader. Pixelcellen tilldelades sedan det värdet. Detta resulterade i 3 rasterlager som skapades för varje typ av dag (enligt definitionen i **Tabell 2**).

2.3 Beräkning av lufttemperatur nattetid

I beräkningen av lufttemperatur nattetid genomfördes analysen i två delar: först en initial analys om fördelning av crowdsourcade temperaturmätningar, och därefter en huvudanalys med hjälp av en maskininlärningsmodell.

För att få en bättre förståelse för hur nattemperaturerna fördelas under varma sommarnätter genomfördes en initial analys för alla datum mellan 1 maj och 31 augusti under studieåren 2018-2024. Målet var att utforska både temperaturintervallet och deras rumsliga mönster. Först skapades en visualisering av de högsta och lägsta nattemperaturerna för att illustrera omfattningen av variabiliteten. Därefter aggregerades temperaturobservationer per månad för att identifiera säsongsmönster och bredare temperaturtrender under sommarperioden. Därefter genomfördes en hotspot-analys, den så kallade Getis-Ord G_i^* -statistiken (Ord & Getis, 1995). Metoden är utformad för att identifiera statistiskt signifikanta kluster av höga (hot spots) och låga (cold spots) värden. Statistiken utvärderar om höga eller låga värden är rumsligt grupperade eller slumpmässigt fördelade. Temperaturmätningarna grupperades per månad och den statistiska analysen genomfördes för alla fyra sommarmånaderna.

Analysen lade grunden för huvudanalysen av maskininlärningsmodeller. En analys av maskininlärningsmodeller genomfördes med hjälp av Random Forest-regression, baserat på teorin och metoderna i Venter et al (2020). Maskininlärningsmodellen lärde sig från relevanta satellitvariabler som vanligtvis korrelerar med bildandet av urbana värmeöar, såsom markytetemperatur, bebyggda eller vegetationstäckta ytor, samt variabler som kommer från höjd- och marktäckedata.

För att förbättra tillförlitligheten i indata utfördes flera kvalitetskontroller på temperaturdata från Netatmo-väderstationerna. Dessa kontroller omfattade bland annat att eliminera stationer med opålitliga koordinater, filtrera ut statistiska avvikelser och säkerställa att stationernas temperaturmätningar stämde överens med övriga väderstationer. Processen gjorde det möjligt att skapa en mer exakt och pålitlig modell.

Maskininlärningsmodellen tränades med information om markytans temperatur, vegetationsindex och andra variabler från områden med befintliga väderstationer. Träningsperioden omfattade alla tillgängliga somardagar (maj till augusti) med låg molntäcke under perioden 2018 till 2024, vilket bidrog till att säkerställa kvaliteten på indata. Modellen lärde sig sambandet mellan dessa variabler och lufttemperaturen nattetid. Med hjälp av detta samband kunde modellen sedan förutsäga lufttemperaturen över hela staden, inklusive områden där inga väderstationer fanns. Resultatet blev ett raster som visade en högupplöst förutsägelse av nattliga temperaturer över hela studieområdet.

Totalt användes cirka 10 000 observationer från Netatmo-väderstationerna för att bygga maskininlärningsmodellen. **Tabell 3** visar en detaljerad uppdelning av hur det slutgiltiga datasetet var sammansatt. Träningsprocessen innebar att skapa ett samband mellan alla indata och mediantemperaturen nattetid, definierad som den genomsnittliga temperaturen mellan 22:00 och 04:00. Detta intervall valdes baserat på typiska solnedgångs- och soluppgångstider under sommaren i Göteborg, med stöd av data från SMHI.

Tabell 3. Uppdelning av det slutgiltiga datasetet.

År	Totala antalet analysdagar (maj-augusti)	Andel av modelleringspunkterna
2018	8	3%
2019	3	2%
2020	5	4%
2021	1	1%
2022	9	16%
2023	8	27%
2024	15	47%

När modellen hade lärt sig sambandet användes modellen för att förutsäga temperaturer över hela studieområdet för varje bilddatum. De rasterlager som levereras innehåller ett exempel på en molnfri, varm natt samt ett aggregerat resultat av medianlufttemperaturen över alla analysdatum.

2.4 Riskbedömning med hjälp av GeoRaptor och AHP

För riskidentifiering av områden med höga temperaturer har GeoRaptor använts. GeoRaptor är en multikriterieanalys och viktningss metodik som kan bearbeta stora mängder geografiska data (geodata) genom sortering och viktning av kriterier för att i slutändan skapa en objektiv bedömning av områden för exploatering. Viktning av geodata utförs av sakkunniga på Norconsult i samråd med Göteborgs stad under ett antal viktningssworkshops som sker enligt Analytisk Hierarkisk Process. Analytisk Hierarkisk Process (AHP) är en beslutsfattande metod som utvecklades under 1970-talet och används för att kartlägga behov och vidare identifiera det lämpligaste lösningsalternativet (Saaty, 2001). Detta görs genom att bryta ner beslutsprocessen i mindre delar och vikta dem baserat på deras relativa viktighet. AHP är användbart för att hjälpa beslutsfattare att göra välgrundade beslut genom att vikta olika faktorer och kombinera dem på ett logiskt sätt.

2.4.1 Viktningsprocessen och workshop

Vid användning av AHP i en multikriterieanalys inleds processen med att identifiera de kriterier som är viktiga för att besluta om platsval, såsom riskområden för värme i detta fall. Sedan genomförs en parvis jämförelse av varje kriterium för att fastställa deras relativa viktning gentemot varandra. Dessa jämförelser görs genom att ställa frågan: "Hur mycket mer betydelsefullt är kriterium A jämfört med kriterium B för risken att hälsoskadlig urban värme uppstår?". Svaren används för att beräkna en viktning för varje kriterium. Sedan rangordnas dessa kriterier efter deras relativa viktighet genom att använda en skala från 1 till 100 där 1 innebär att kriteriet är lika viktigt som ett annat och 100 innebär att det är mycket viktigare. I detta fall innebär viktigt = högre risk för värme. För att vikta kriterierna mot varandra utfördes en workshop där sakkunniga på Norconsult deltog för att avgöra vilken vikt respektive kriterium skulle få. AHP har använts för att vikta de kriterier som har inkluderats i studien. Kriterierna är strålningstemperatur, lufttemperatur nattetid, frekvens av varma dagar samt procent av dygnet där hälsoskadlig strålningstemperatur uppnås. I de fall där strålningstemperatur har använts, har resultaten från den analyserade dagen med 25°C i lufttemperatur använts. Anledningen är att 25°C ofta används som gräns vid värmeböljor, samt att användningen av resultaten från när lufttemperaturen var 30°C hade varit alltför alarmerande, då en stor andel av staden värms upp till ohälsosamma nivåer under en dag som denna.

Samtliga geografiska data som använts i analysen kallas lokala kriterier och är indelade i fyra globala kriteriegrupper (strålningstemperatur, lufttemperatur nattetid, frekvens av varma dagar samt antal timmar av dygnet med hälsoskadlig strålningstemperatur). Under workshopen har de lokala kriterierna viktats mot varandra enligt AHP. Efter att viktningen av de lokala kriterierna slutförts, viktades även de globala

kriterierna mot varandra. Genom att kombinera viktningarna av de olika faktorerna framgår en helhetsbild av vilka områden som är mest utsatta för värme i Göteborgs stad. Resultatet av workshopen och vilken vikt respektive dataset fått presenteras i **Tabell 4** (lokala kriterier) respektive **Tabell 5** (globala kriterier).

Eftersom detta är en generell riskbedömning och att temperatur dagtid, jämfört med nattetid, slår olika hårt mot olika riskgrupper har bedömningen i detta fall lett till att de globala kriteriegrupperna "Strålningstemperatur" och "Lufttemperatur nattetid" har fått varsin lika stor andel i den globala viktningen. "Antal timmar med hälsoskadlig strålningstemperatur" har blivit viktad högre eftersom den ger en mer översiktlig bild över var i staden det är problem med värme under en längre tid, vilket är en viktig indikator särskilt under värmeböljor. Det globala kriteriet "Frekvens" har fått en lägre vikt i förhållande till övriga globala kriterier då den är en mer osäker faktor eftersom det är stor variation i klimatet från år till år, och frekvensen är även svår att förutsäga i förhållande till framtida klimatförändringar.

Resultatet av viktningen för de lokala kriterierna kan sammanfattas genom att ju högre temperaturer desto högre vikt i relation till de lägre temperaturerna. Inom den lokala kriteriegruppen "Frekvens" ser vi ett relativt stort glapp mellan "10 dagar" och "50 dagar" då 50 dagar med skadliga strålningstemperaturer anses betydligt värre än 10 dagar, men jämför man sedan med 0 och 1 dagar så ser vi att även 10 dagar har fått en relativt hög vikt. Samma resonemang har förts fram för "Antal timmar av dagen med hälsoskadliga strålningstemperaturer".

Tabell 4. Viktningsmatris lokala kriterier.

Global kriteriegrupp	Lokala kriterier	Vikt (%)
Strålningstemperatur (vid 25°C lufttemperatur)	0-30°C	2.0
	30-45°C	3.2
	45-50°C	5.3
	50-55°C	9.2
	55-57°C	15.3
	57-60°C	23.9
	>60°C	41.1
Lufttemperatur nattetid	<16°C	1.9
	16-17°C	3.7
	17-17.5°C	5.9
	17.5-18°C	15.6
	18-18.5°C	27.8
	>18.5°C	45.1
Frekvens (vid 25°C lufttemperatur, gräns satt på 55°C strålningstemperatur)	0 dagar	4.9
	1 dag	8.7
	10 dagar	26.1
	50 dagar	60.3
Antal timmar av dagen med hälsoskadliga strålningstemperatur (vid 25°C lufttemperatur, gräns satt på 55°C strålningstemperatur)	0-2 timmar	4.4
	2-4 timmar	9.0
	4-6 timmar	29.1
	6-8 timmar	57.4

Tabell 5. Viktningsmatris globala kriterier.

Global kriteriegrupp	Global viktning (%)
Strålningstemperatur	20
Lufttemperatur nattetid	20
Frekvens (55°C strålningstemperatur)	10
Antal timmar med hälsoskadliga strålningstemperaturer	50

2.4.2 Riskindex

När viktningprocessen var klar genomfördes en analys i Norconsults egna framtagna GIS-verktyg GeoRaptor. Samtliga viktade lokala kriterier och den globala viktningen resulterade i ett riskindexraster som består av pixlar av storleken 2x2 meters upplösning. Ju högre värde pixeln har desto högre risk för utveckling av värme, se vidare under avsnitt 3.3. Rastret har sedan analyserats och jämförts med indata för att sätta ett lämpligt gränsvärde för riskområden för värme, för mer detaljer se nedan under avsnitt 2.4.4.

2.4.3 Känslighetsanalys

För att jämföra hur vår viktfordelning påverkar de övergripande resultaten genomfördes en känslighetsanalys genom att köra GeoRaptor med två olika viktfordelningar: en med jämn viktfordelning (25 % per variabel) och en med vår egen viktfordelning enligt **Tabell 5**. Syftet var att jämföra dessa två utdata för att kontrollera resultatens känslighet för valet av viktfordelning.

Innan vi körde GeoRaptor satte vi ett tröskelvärde för den procentuella skillnaden mellan resultaten: om skillnaden mellan vår viktfordelning och den jämna viktfordelningen översteg 20% skulle det tyda på att utfallet är starkt beroende av just vår viktfordelning. I så fall skulle vi behöva ompröva och analysera våra val mer ingående. Om skillnaden däremot var mindre än 20% skulle vi fortsätta använda vår befintliga, mer nyanserade viktfordelning. Resultaten från känslighetsanalysen visade att skillnaden var mindre än 20% och därmed användes den ursprungliga viktningen i riskindex-rastret.

2.4.4 Statistisk analys

För att hjälpa till i riskbedömningsprocessen, genomfördes statistisk analys av riskindexrastret och marktäckningstyperna efter att riskindexrastret hade skapats. Ett rutnät med punkter genererades var 100:e meter över studieplatsen. Vid varje punkt registrerades både riskindexvärdet och marktäckningstypen. Detta resulterade i ett dataset som möjliggjorde analys av riskindexvärdet grupperade efter marktäckningstyp. Låddiagram skapades för varje marktäcketyper med hjälp av data från Göteborgs stad, vilket illustrerade fördelningen av riskindexvärdena.

Låddiagrammen gav viktiga statistiska mått för varje marktäcketyper, såsom lägsta värde, 25:e percentilen, median, 75:e percentilen och högsta värde. Dessa mått användes för att skapa en mer konkret definition av riskklasser. För att gruppera riskindexrastret i riskkategorier togs representativa värden från dessa låddiagram. Detta innebär att de statistiska måtten användes för att fastställa gränsvärden för olika risknivåer, vilket gjorde definitionerna av riskkategorier mer konkreta och förankrade i faktiska data.

3 Resultat

3.1 Strålningstemperatur

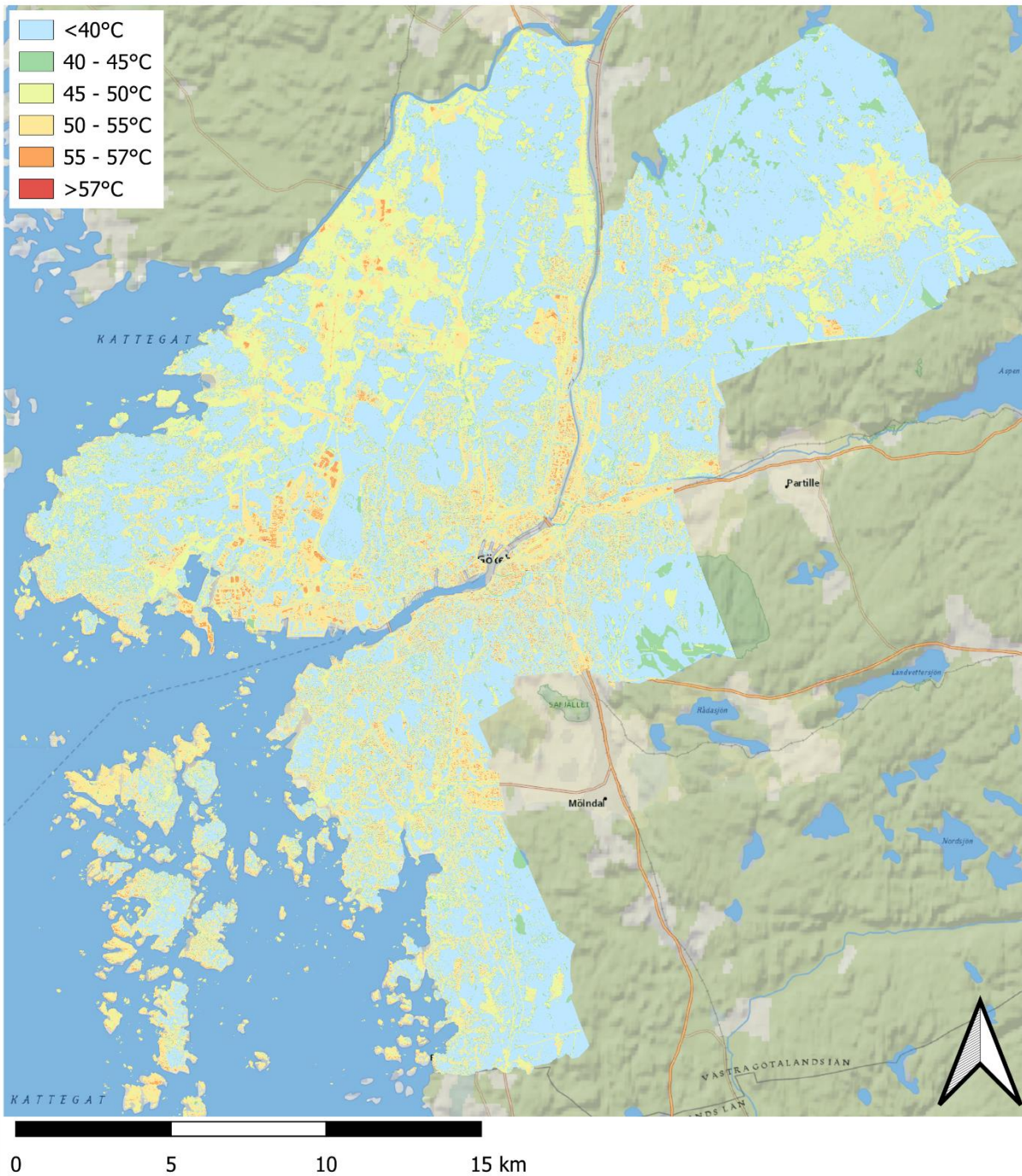
Totalt 14 rasterlager producerades med koppling till modellering av strålningstemperatur, inklusive strålningstemperatur kl. 14 under de tre typerna av sommarkvar, frekvensen för överskridande av hälsosamma värmenivåer vid tre gränsvärden för strålningstemperatur och det totala antalet timmar per dag för överskridande av hälsosamma värmenivåer för de tre typerna av sommarkvar vid tre gränsvärden för strålningstemperatur.

3.1.1 Strålningstemperatur kl. 14

Figur 3, Figur 4 och **Figur 5**, visar resultatet av värmekarteringen för strålningstemperatur för de tre olika datumerna.

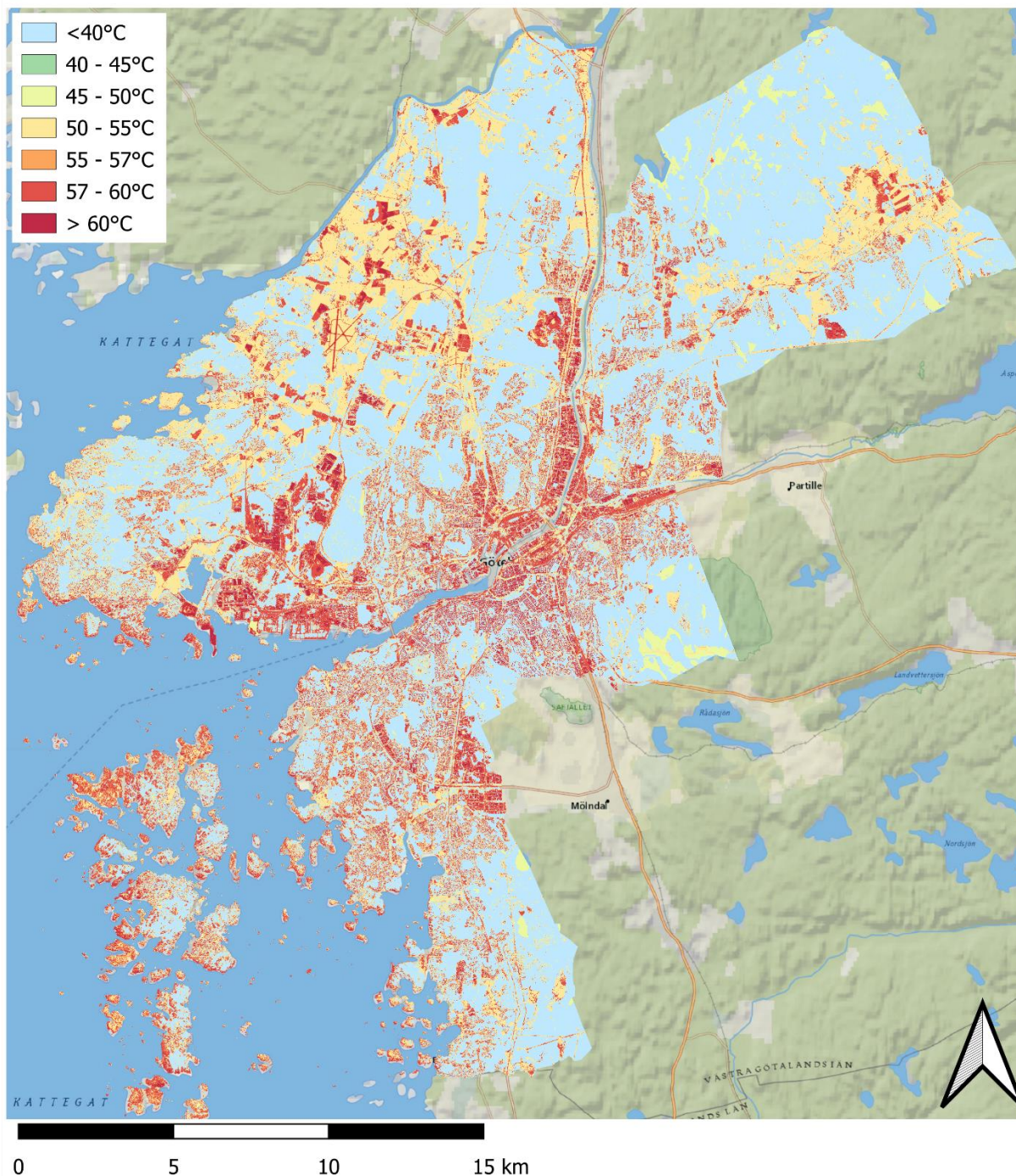
Gemensamt för **Figur 3, Figur 4** och **Figur 5** är att de bebyggda områdena i centrumkärnan är de som når allra högst strålningstemperatur. Även under en relativt sval sommarkvar (lufttemperatur 20 Områdena, se **Figur 3**) finns det vissa områden som når ohälsosamma strålningstemperaturer. Man ser även en stark kontrast mellan de urbaniserade områdena och den höga vegetationen, där större urbana park- och skogsområden så som Slottsskogen och Änggårdsskogen ger betydande svalka även under dagar med 30°C i lufttemperatur. Resultatet visar även att under dagen med 30°C i lufttemperatur är stora delar av kartan mörkröd (**Figur 8**), vilket dock är ett resultat som är förväntat. Är det 30°C i luften kommer hela staden att värmas upp och det kommer vara varmt i både bostäder och utomhusmiljöer. Resultaten visar även att områden med dominerande trädäckning aldrig förväntas överskrida tröskelvärdet 55°C strålningstemperatur. Områden som däremot förväntas överskrida gränsvärdet oftast (i mörkrött) är byggnadstak. Eftersom materialet på taken absorberar mycket värme och aldrig skuggas av något, är strålningstemperaturen hög. Kartorna i **Figur 8** ger en inzoomad bild av detta. Här motsvarar nästan alla pixlar som är mörkröda ett hustak. Detta kan dock tolkas på ett positivt sätt: vid ett gränsvärde på 55°C för strålningstemperatur, är de områden som oftast kommer att få farliga temperaturer, de områden där människor inte promenerar. Däremot kan de höga temperaturerna som når byggnaderna påverka inomhustemperaturen.

Strålningstemperatur, svalare sommardag kl 14, (lufttemperatur på 20°C)



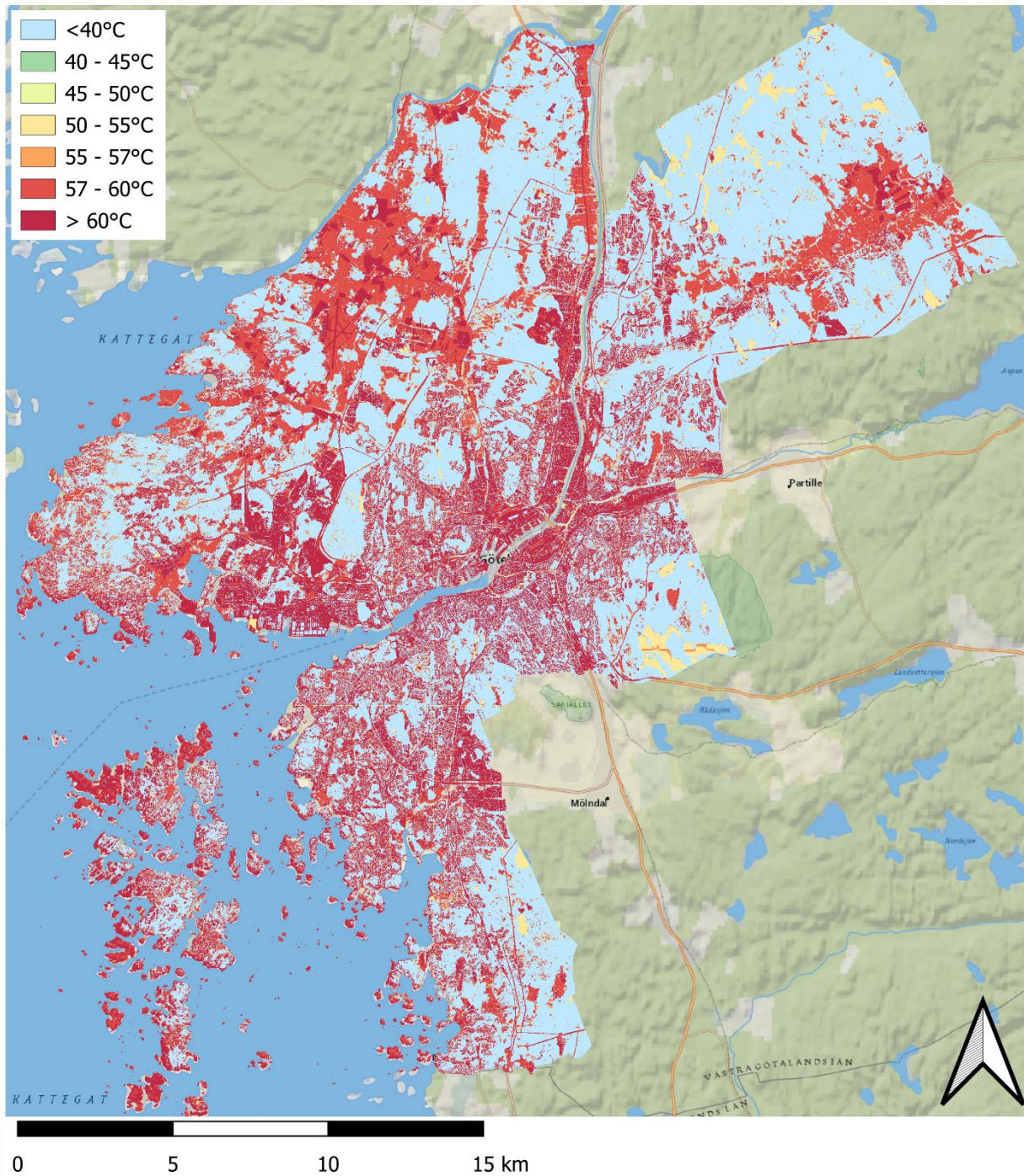
Figur 3. Strålningstemperatur kl. 14.00 för en svalare sommardag över Göteborg (2018-07-05).

Strålningstemperatur, varm sommardag kl 14, (lufttemperatur på 25°C)



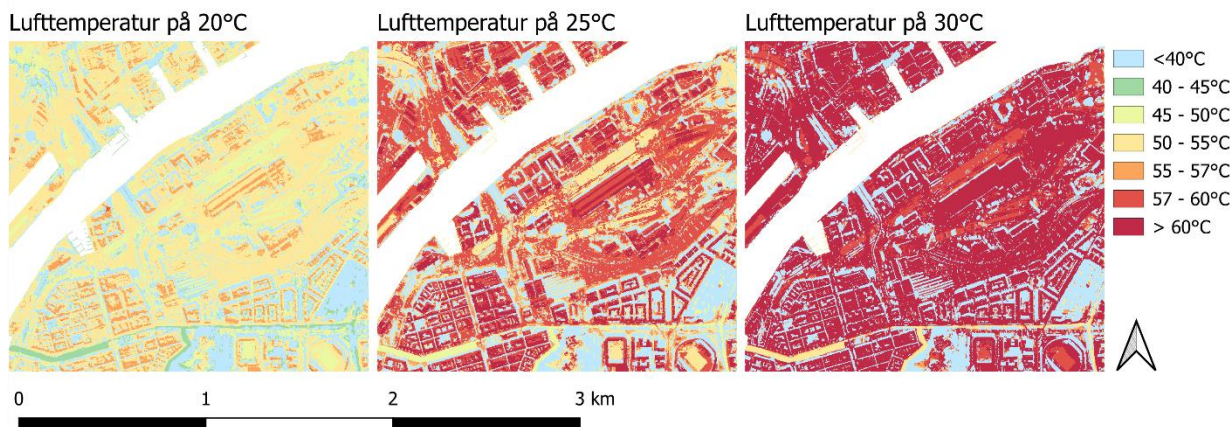
Figur 4. Strålningstemperatur kl. 14.00 för en varm sommardag över Göteborg (2018-07-29).

Strålningstemperatur, het sommar dag kl 14, (lufttemperatur på 30°C)



Figur 5. Strålningstemperatur kl. 14.00 för en het sommar dag över Göteborg (2018-07-27).

Strålningstemperatur Göteborgs innerstad vid olika lufttemperaturer



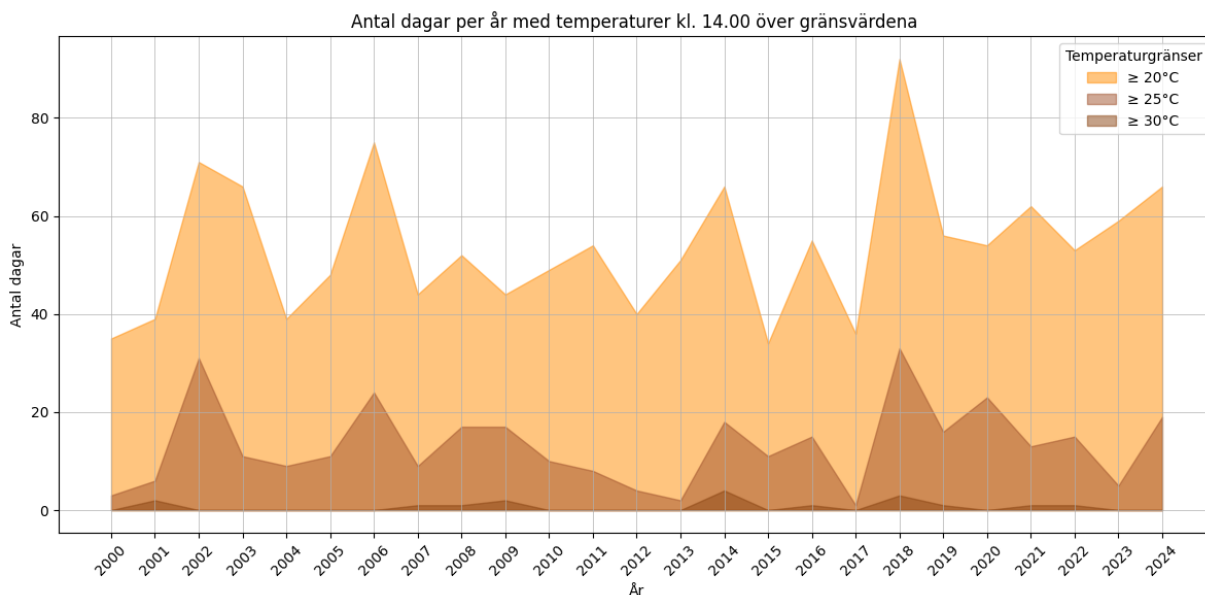
Figur 6. Strålningstemperaturer under de tremodellerade dagarna, inzoomat över Göteborgs innerstad.

3.1.2 Frekvens av överskridande av gränsvärden för ohälsosam värme

Figur 7 visar antal dagar per år med gränsvärdena 20, 25 and 30°C överskrids klockan 14 på dagen.

Sammantaget finns det en tydlig variation mellan åren när det gäller frekvensen av de olika värmenivåerna. Vissa år hade väldigt många varma dagar, som 2018, 2006 och 2002, medan andra år hade jämförelsevis färre varma dagar, som 2017 och 2015.

Grafen visar att dagar med temperaturer över 20°C kl. 14:00 varierar mellan ungefär 40 och 60 dagar per år. Som jämförelse varierar dagar med temperaturer över 25°C mellan cirka 8 och 15 dagar per år, medan dagar med temperaturer över 30°C ligger mellan 0 och 2 dagar per år.



Figur 7. Antal dagar per år med temperaturer kl. 14.00 över gränsvärdena 20, 25 och 30°C.

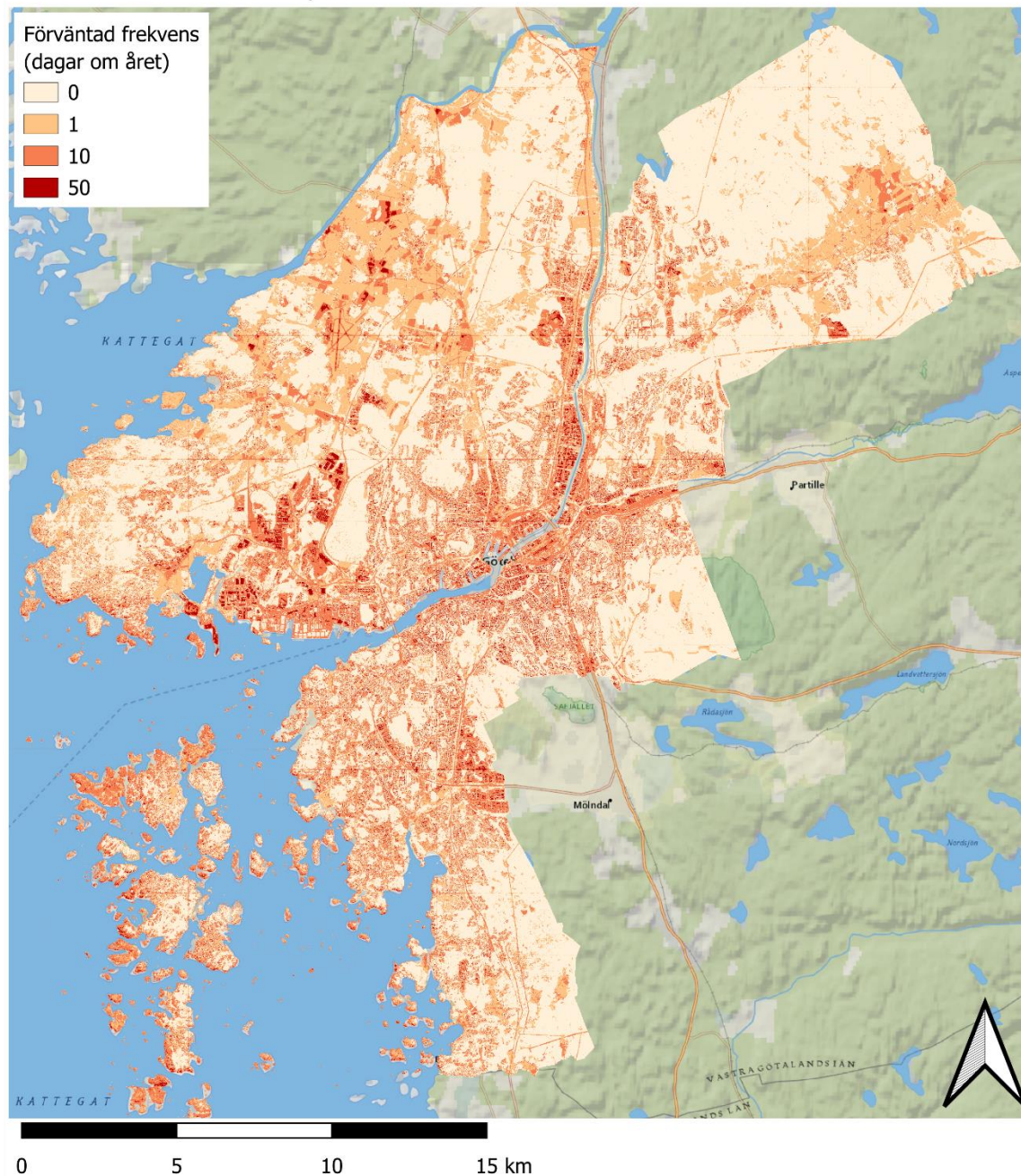
Baserat på denna graf beräknades den genomsnittliga årliga frekvensen av dagar som överskrider varje temperaturgräns till 50 dagar för 20°C, 10 dagar för 25°C och 1 dag för 30°C.

Figur 8 visar det förväntade antalet dagar per år för överskridande av en strålnings temperatur på 55°C, medan **Figur 9** visar en jämförelse mellan det förväntade antalet dagar för överskridande vid 55, 57 och 60°C.

På samma sätt som i resultaten för strålnings temperaturen är effekten av byggnadens tak mycket tydlig. Det är dessa områden som förväntas nå ohälsosamma temperaturer 50 dagar per år. Även om detta verkar extremt är det inte dessa områden som människor vistas i utomhus. Det är snarare utomhusområden som människor vistas i och som förväntas vara farliga mer än 10 dagar per år som utgör en risk. Sådana områden är exempelvis vissa uppvärmda innergårdar samt längs varma trottoarer.

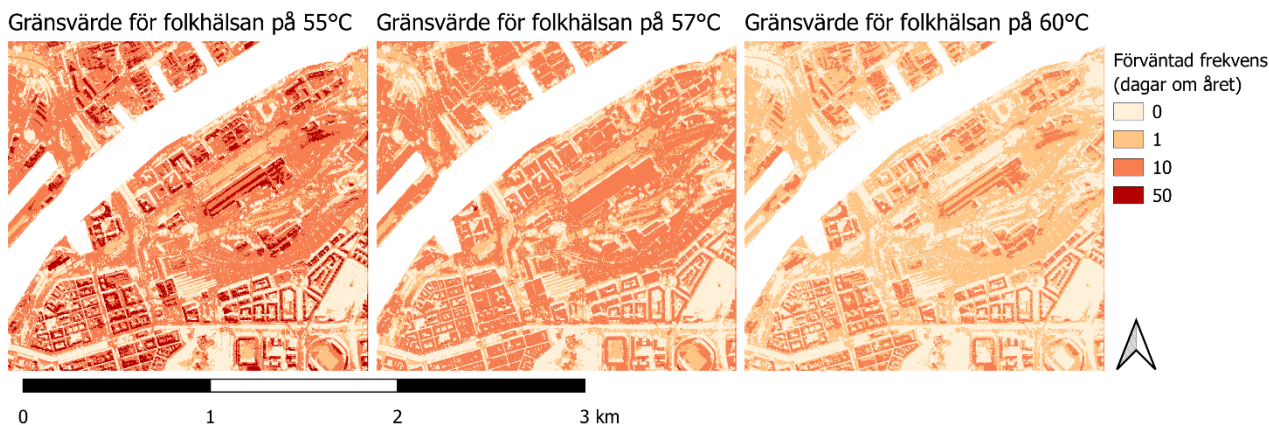
Förväntat antal dagar om året då strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå

Gränsvärde för folkhälsan på 55°C



Figur 8. Förväntat antal dagar om året då strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå (55°C).

Förväntat antal dagar om året då strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå



Figur 9. En jämförelse av det förväntade antalet dagar per år då strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå vid olika gränsvärden.

Jämförelsen mellan den förväntade frekvensen för överskridande av olika gränsvärden i **Figur 9** hjälper till att förstå hur stadsvärmen påverkar olika riskgrupper: hur många dagar per år som olika riskgrupper kommer att vara exponerade. Ett intressant resultat här är att de områden som förväntas överskrida 55°C 10 dagar per år nästan alla också förväntas överskrida 57°C 10 dagar per år.

3.1.3 Antal timmar där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå

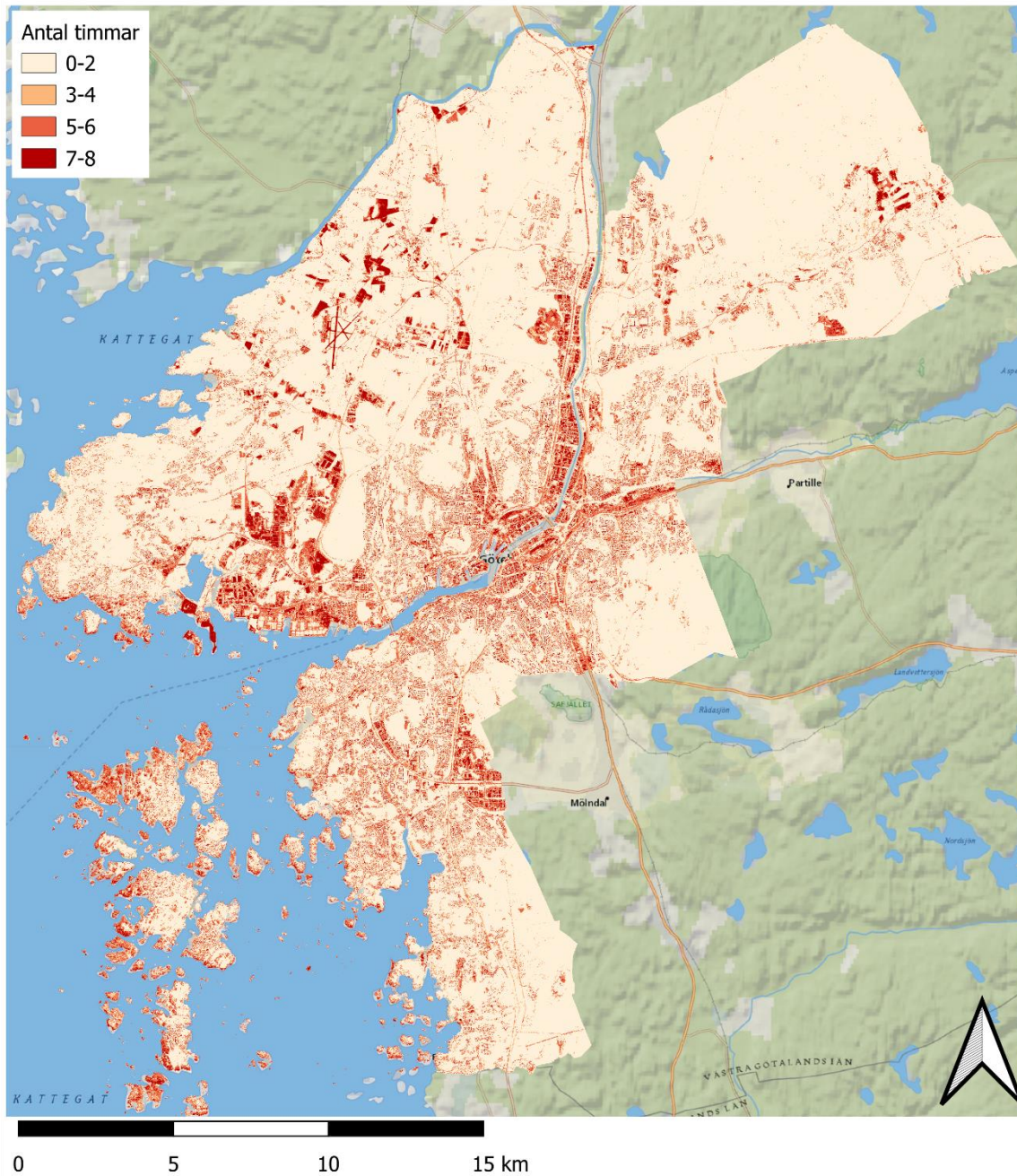
Det totala antalet timmar under dygnet då strålningstemperaturen överskrider gränsvärdena 55, 57 och 60°C beräknas för de tre klassificeringarna av sommardag. **Figur 10** visar det totala antalet timmar per dygn där strålningstemperaturen överstiger 55°C när lufttemperaturen under dagen når 25°C (varm sommardag). I **Figur 11** presenteras sedan denna jämförelse vid de olika gränsvärdena.

Dessa figurer ger en annan inblick än figurerna i avsnitt 3.1.1 och 3.1.2. Här presenteras en mer heltäckande bild av värmen under hela dagen. På stadsnivån ser vi liknande mönster där byggnadernas geometrier är mycket tydliga. Där var områdena med de längsta perioderna av ohälsosamma temperaturer till stor del fokuserade på byggnadens tak. Det finns dock många fall där innergårdar, offentliga torg och trottoarer har en strålningstemperatur som ligger över gränsvärdet 5-6 timmar av dagen.

Ett intressant område att notera i **Figur 10** är skärgårdsöarna. Även om vissa av områdena inte har de absolut högsta strålningstemperaturerna över hela studieområdet, finns det stora delar av öarna med strålningstemperaturer över gränsvärdet under mer än 6 timmar på dagen. Även om vi kan uppfatta dessa områden som naturliga och därmed robusta mot ett varmare klimat, bidrar bristen på vegetation på den exponerade berggrunden till farliga temperaturer på de öar som har invånare.

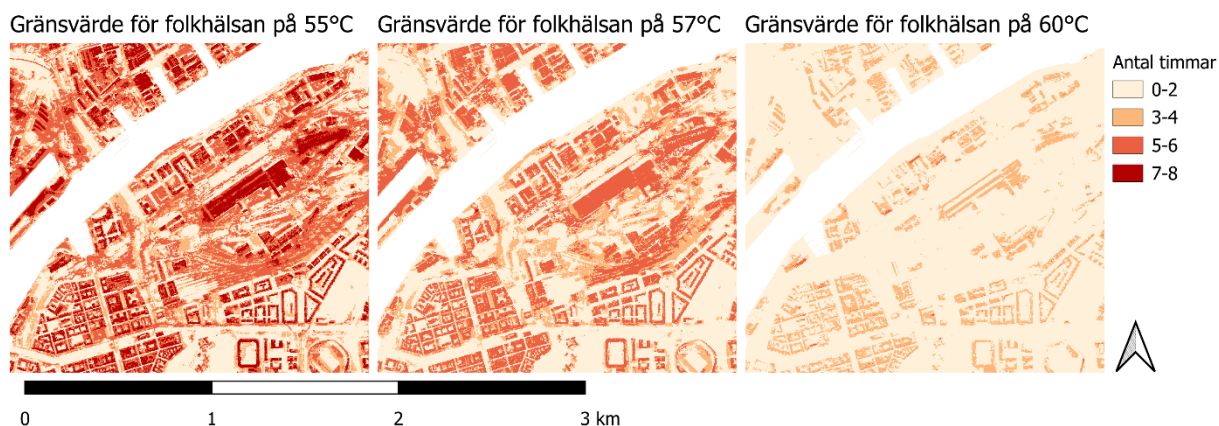
Totalt antal timmar på dygnet där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå

Varm sommardag (dagtid lufttemperatur på 25°C)
Gränsvärde för folkhälsan på 55°C



Figur 10. Totalt antal timmar på dygnet där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå.

Totalt antal timmar på dygnet där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå Varm sommardag (dagtid lufttemperatur på 25°C)



Figur 11. Totalt antal timmar på dygnet där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå.

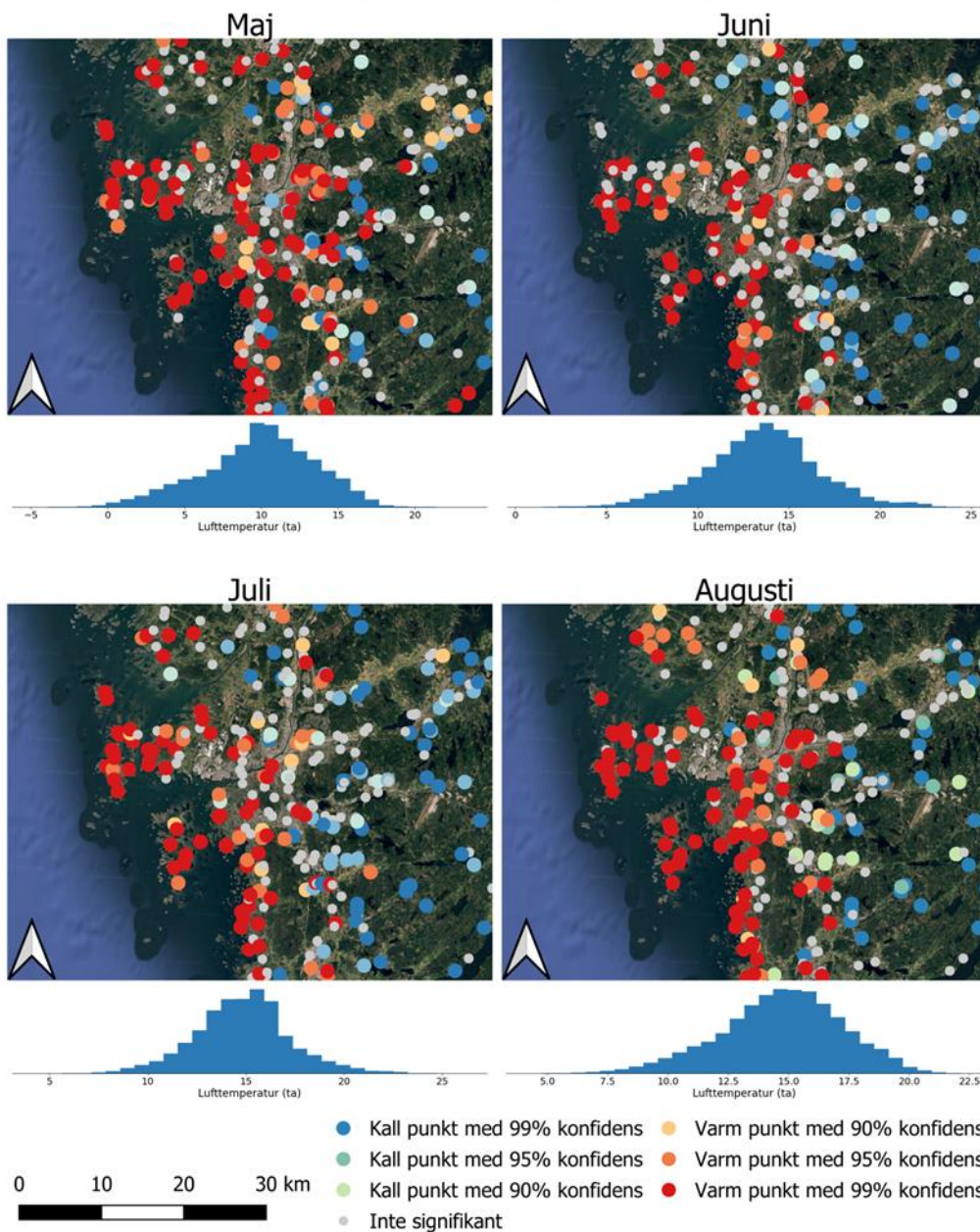
Precis som i avsnitt 3.1.2 hjälper jämförelsen mellan strålningstemperaturen vid olika gränsvärden i **Figur 11** till att förstå hur urban värme påverkar olika riskgrupper: hur många timmar på dygnet som olika riskgrupper kommer att exponeras. I **Figur 9**, där bortsett från byggnadernas fotavtryck, såg en stor del av staden likadan ut mellan tröskelvärdena 55 och 57°C. I **Figur 11** finns det dock en betydande skillnad mellan omfattningen av områden i de övre intervallen av tidskalan. Under ett gränsvärde på 57°C ligger betydligt mindre av den yta som inte täcks av byggnader i intervallet 5-6 timmar än vad som sågs under gränsvärdet på 55°C. Det framgår vidare att mycket få områden utanför byggnader hade en strålningstemperatur på över 60 grader under mer än 2 timmar per dygn.

3.2 Lufttemperatur nattetid

3.2.1 Tolkning av temperaturmätningar

Figur 12 visar resultaten av klusteranalysen av hotspots genom att gruppera Netatmos temperaturmätningar per månad för den större regionen runt Göteborg stad.

Månatlig analys av median natttemperatur
Hot-/Coldspot kartor med temperaturfördelningar



Figur 12. Getis-Ord hotspot-analys och fördelning av crowdsourcade temperaturer, grupperade efter månad. Observera att färgskalan inte motsvarar absolut temperatur utan motsvarar den statistiska sannolikheten för att temperaturmätningen är en del av en hot- eller coldspot.

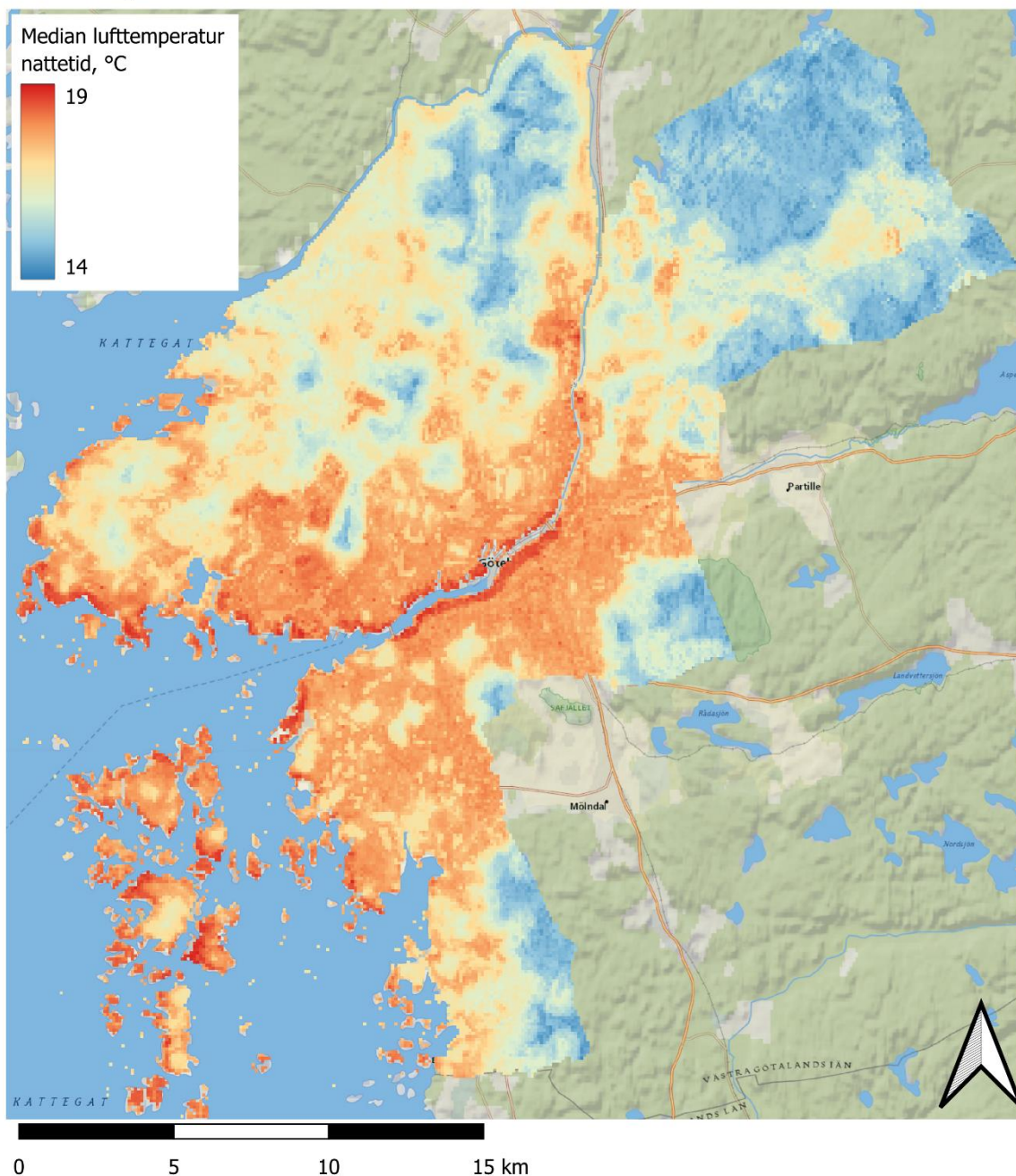
Under alla fyra månaderna visar hotspot-analysen tydligt en gruppering av jämförelsevis högre temperaturer runt både stadskärnan, kustlinjen och de avlägsna öarna. Samtidigt är cold spots fokuserade på de naturliga, ofta skogsklädda områdena mer inåt landet.

3.2.2 Tolkning av modellerade nattemperaturer

Sammantaget visar resultaten av analysen att modellen förutspår temperaturer med en genomsnittlig avvikelse på 1°C, vilket gör den tillförlitlig för våra beslut. **Figur 13** visar de modellerade nattemperaturerna för en särskilt varm sommarnatt, den 6 augusti 2024. Den här natten låg nattemperaturen i den 90:e percentilen av alla sommarnätter 2018-2024, medan dagstemperaturen låg i den 75:e percentilen. Detta visar att medan dagen var varm, förblev natten ovanligt varm, sannolikt på grund av den urbana värmeeffekten, där städer fångar värme efter solnedgången.

Detta datum valdes eftersom det är mer representativt för typiska värmemönster i städer än de absolut hetaste dagarna, då både dag- och nattemperaturerna är extrema. Under dessa dagar drivs nattvärmen mestadels av dagsvärmen, vilket gör det svårare att se hur städer på ett unikt sätt håller kvar värmen på natten. Valet att presentera mönstret den 6 augusti 2024 belyser hur stadsområden kan vara mycket varmare på natten, även utan extrema förhållanden under dagen, vilket är viktigt för att förstå och ta itu med värmeutmaningar i städer.

Lufttemperatur nattetid: het sommarnatt



Figur 13. Lufttemperatur nattetid under en särskilt varm sommarnatt (2024-08-06).

Överlag observeras ett tydligt mönster i nattetemperaturerna. **Figur 13** visar de högsta nattetemperaturerna i Göteborgs stadskärna och längs öarna i Göteborgs skärgård, med ett något utbrett mönster runt staden. Jämfört med resultaten i avsnitt 3.1, som baseras på strålningstemperatur, observeras lufttemperaturmönstren här på en bredare skala. I resultaten från strålningstemperatur var avtrycket från enskilda byggnader mycket framträdande, vilket visade stora temperaturintervall inom små områden. Det

motsatta mönstret ses här. På grund av luftcirkulation och vind påverkas lufttemperaturerna mindre av geometrin hos enskilda byggnader och mer av egenskaperna hos det lokala grannskapet.

Genom att undersöka de variabler som ansågs vara viktigast för maskininlärningsmodellen, kan förståelsen öka för de faktorer som bidrar till den urbana värmeeffekten nattetid. Resultaten betonar att nattliga värmeöar i hög grad påverkas av storskaliga urbana funktioner. De viktigaste faktorerna inkluderar höjd, byggnadshöjdvariabilitet och omfattningen av bebyggda områden - vilket tyder på att stora, täta stadszoner med olika byggnadshöjder är viktiga drivkrafter för värnehållning. Bebyggda ytor som betong och asfalt absorberar mycket värme under dagen och avger värme långsamt under natten, vilket bidrar starkt till förhöjda nattemperaturer. Ytornas reflektionsförmåga och termiska egenskaper har också betydelse, vilket tyder på att material som används i stadsområden kan ha en betydande inverkan på hur värmen regleras under natten. Terrängegenskaper som lutning och aspekt, tillsammans med variationer i byggnadsegenskaper, bidrar också till att skapa mikroklimat som påverkar lokal värnehållning.

Ett annat intressant resultat som framträder är de förhöjda nattemperaturerna över öarna i skärgården. Detta resultat kan tyckas vara något oväntat. Eftersom det är känt att förekomsten av hårdgjorda ytor kan leda till en ökad värmeeffekt i städerna (Li, 2016), förväntas det i allmänhet att de lantliga skärgårdsöarna skulle ha svalare nattemperaturer jämfört med stadsområdet. Emellertid visar både **Figur 12** och **Figur 13** att öarna tenderar att ha några av de högsta nattemperaturerna i regionen. Detta kan tillskrivas flera huvudsakliga processer. För det första har öarnas geologiska egenskaper stor betydelse. Skärgårdsöarna består huvudsakligen av blottad berggrund, som har en hög kapacitet att lagra värme under dagen och sedan avge den långsamt under natten. Processen, som liknar hur byggnadsmaterial såsom betong och asfalt påverkar urbana temperaturer, bidrar till att öarna håller sig varmare än förväntat (Caputa, 2016). **Figur 10** visar att strålningstemperaturen på många av öarna var mycket hög under 6–8 timmar per dag. Detta stöder tanken att den blottade berggrunden har blivit exponerad för stora mängder värmeackumulering.

För det andra spelar havets värmereglerande egenskaper en betydande roll. Havet fungerar som en termisk buffert som avger värme under natten och bidrar till att hålla öarnas temperatur höga (USGS Water Science School, 2018). Detta fenomen är särskilt framträdande på natten när luften över fastlandet kyls snabbare än över de omgivande vatten.

3.3 Riskbedömning

3.3.1 Fördelning av riskindexvärden och beslut om gränsvärden för värmerisk

Riskindex-rastret som skapades av GeoRaptor innehöll ett riskindexvärde för varje pixel i studieområdet. Värdena i rastret varierade från cirka 0 till 50, där lägre värden motsvarade områden med genomgående låg risk inom samtliga kategorier. Till exempel återspeglar det lägsta värdet områden med lägst strålningstemperatur, lägst frekvens av överskridanden av ohälsosamma gränsvärden, minst antal timmar över tröskelvärdet samt lägst nattliga temperaturer.

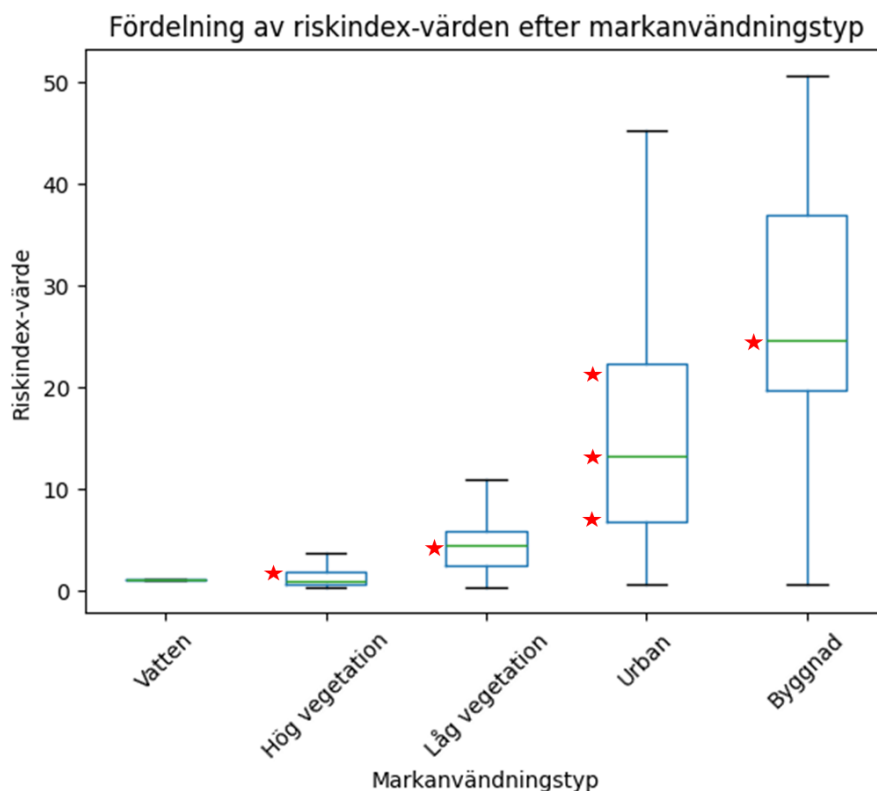
För att förankra detta riskindex i en mer konkret riskbedömning visar **Figur 14** ett låddiagram som jämför riskindex-värden för olika marktyper. Detta diagram används för att undersöka vilka marktyper som bidrar till högre eller lägre värmerisk.

- **Lådan** visar de mittersta 50% av värdena för värmerisken i varje marktyp. Den nedre och övre kanten av lådan visar spannet för dessa värden.

- **Linjen i mitten av lådan** representerar medianvärdet för indexen, alltså det typiska värdet för den marktypen.
- **Linjerna ovanför och under lådan** visar det lägsta och högsta värdet för riskindexen.
- **Lådans höjd** visar variationen i värden: högre lådor betyder större spridning, medan kortare lådor indikerar mer likartade värden.
- **Stjärnorna** i diagrammet representerar den statistik som används för de olika klassificeringsnivåerna.

Det här diagrammet gör det möjligt att jämföra olika marktyper och se vilka som är kopplade till högre eller lägre värmerisk. **Figur 14** ger flera insikter. För det första kan vi se att de två marktäcketyperna med liten variation är hög vegetation och vatten. I båda dessa fall är höjden på rutan och linjerna mycket liten. Detta indikerar att alla riskindex-värden på rastret är mycket lika under alla pixlar i dessa marktyper. Båda dessa marktyper har också det lägsta genomsnittliga riskindex-värdet. I motsats till detta har marktyperna byggnader och urban mark det högsta respektive näst högsta genomsnittliga riskindex-värdet och variationen.

Baserat på statistiken i **Figur 14** presenterar **Tabell 6** uppdelningen av riskindexrastret i 7 distinkta riskklassificeringsgrupper. Beskrivningen hjälper till att förklara vad gränsvärdet motsvarar när det gäller de typiska värden som ses på olika marktäcketyper.



Figur 14. Låddiagram av fördelning av riskindex-värden efter markanvändningstyp.

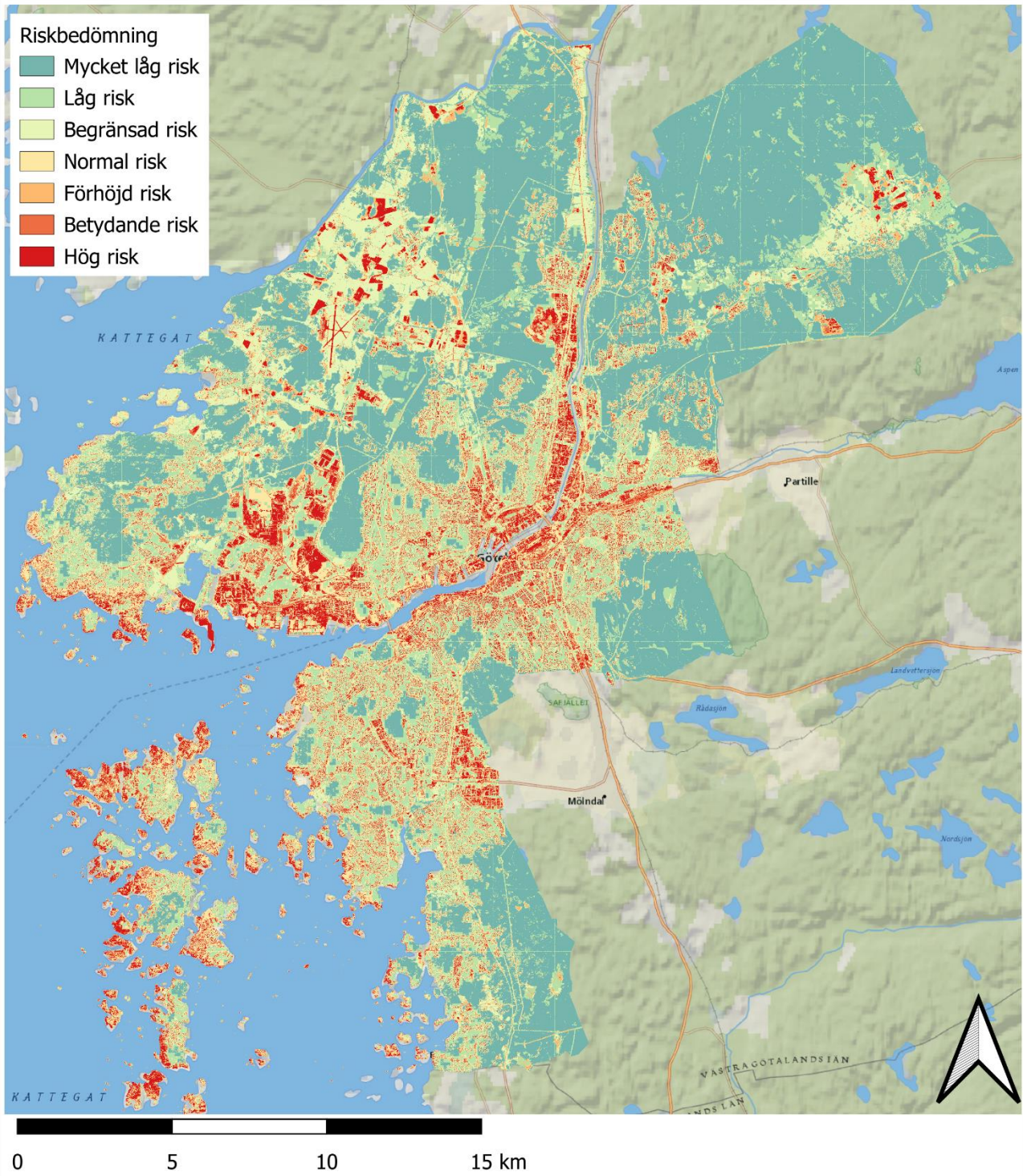
Tabell 6. Riskklassificeringen

Klassning	Värde	Beskrivning
Mycket låg risk	< 1.87	Representativt för majoriteten av den högväxta vegetationen (75%)
Låg risk	1.87 - 4.49	Representativt för genomsnittet av lågväxande vegetation (50%)
Begränsad risk	4.49 - 6.90	Representativt för de svalaste stadsområdena (25%)
Normal risk	6.90 - 13.30	Representativt för det genomsnittliga stadsområdet (50%)
Förhöjd risk	13.30 - 22.30	Representativt för majoriteten av stadsområdena (75%)
Betydande risk	22.30 - 24.60	Representativt för genomsnittligt hustak (50%)
Hög risk	> 24.6	Varmare än genomsnittligt hustak

3.3.2 Slutlig riskklassificering

Resultaten av riskbedömningen representerar en sammansatt klassning baserad på de fyra faktorer som beskrivs i avsnitt 3.1 och 3.2. Eftersom indata till GeoRaptor mäter olika variabler (till exempel lufttemperatur, strålningstemperatur, timmar per dag och dagar per år) sammanfattar denna sammansatta riskklassificering dessa olika mått för att ge en övergripande bedömning av värmestressrisken på en given plats. Det är viktigt att tolka värdena på kartan kvalitativt snarare än kvantitativt, eftersom de inte motsvarar en specifik temperatur eller någon annan enskild fysisk enhet. Kartan ger i stället en relativ bedömning av risken för värmestress baserat på de sammansatta indata.

När vi utvärderar de rumsliga mönstren i riskklassificeringen ser vi både likheter och skillnader jämfört med tidigare resultat. Likt kartorna baserade på strålningstemperatur är byggnadsgeometrier fortfarande tydligt framträdande, även på en mer övergripande skala. Eftersom resultaten också inkluderar lufttemperatur nattetid, som visar värmefördelning i ett bredare perspektiv, framhäver kartan i **Figur 15** inte bara bebyggda områden utan även områden utan byggnader. Dessa framstår som högre riskzoner i kontrast till de omgivande skogsområdena i bakgrunden.



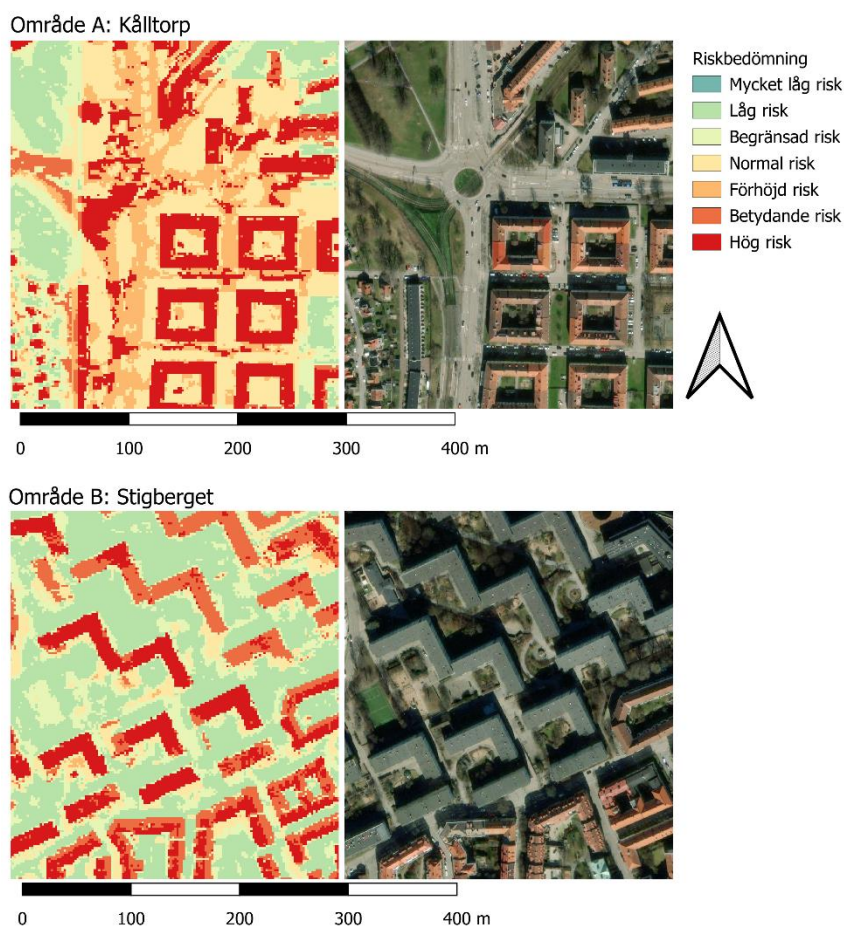
Figur 15. Riskbedömning klassificering.

3.4 Hur används resultatet

Resultaten från värmekarteringen kan tillämpas på flera meningsfulla sätt. De ger värdefulla insikter för stadsplanering och utveckling, vilket möjliggör välgrundade beslut om insatsstrategier för att minska värmestress i både utsatta områden och bland riskgrupper. Datan kan vägleda placeringen av ny grön infrastruktur som riktade åtgärder för att hantera de mest kritiska zonerna. I en växande stad kan resultaten även stödja beslutsprocesser kring lokalisering av ny infrastruktur och verksamheter som direkt påverkar utsatta grupper, såsom äldreboenden och förskolor.

Genom att använda dessa resultat kan stadsplanerare och beslutsfattare identifiera områden med störst behov av åtgärder och därmed skapa strategier för att minska värmestress och förbättra livskvaliteten i både befintliga och nybyggda stadsdelar.

Även om rapporten främst fokuserar på resultat på stadsnivå kommer den praktiska tillämpningen av studien sannolikt att ske på en mer detaljerad nivå. På mer detaljerade skalor kan resultaten användas för att jämföra olika områden, identifiera skillnader i värmestress och bedöma förhållandena i grannskapet eller till och med på gatunivå. **Figur 16** visar en jämförelse mellan två olika stadsdelar.



Figur 16. En jämförelse mellan två olika stadsdelar med avseende på värmerisk.

I både område A och område B uppvisar hustaken mycket höga riskvärden. Men eftersom hustaken inte är områden där människor vanligtvis utsätts för värme är de kanske inte den högsta prioriteringen för åtgärder. I stället kan en närmare granskning av områdena runt byggnaderna ge mer handlingsinriktade insikter. Det är i dessa utrymmen som de boende oftast utsätts för värmestress.

I område A finns det till exempel omfattande zoner med förhöjd och betydande risk i byggnadernas omedelbara närhet. Vissa områden uppvisar till och med hög risk som inte är begränsad till taken - till exempel längs de horisontella gatorna som passerar genom bostadsområdet.

Område B uppvisar däremot ett markant annorlunda scenario. Medan hustaken fortfarande indikerar hög värmerisk, faller de omgivande områdena oftast inom normal risk eller lägre kategorier. Som framgår av det medföljande ortofotot spelar förekomsten av vegetation runt byggnaderna en avgörande roll för att mildra den lokala värmestressen.

För framtida referens ger **Tabell 7** en sammanfattning av de lager som producerats, deras pixelstorlek och den rekommenderade användningen.

Tabell 7. Underlag som producerats inom denna rapport.

Överkategori	Underkategori	Antal lager	Upplösning (m)	Föreslagen användning
Strålningstemperatur	Temperatur kl. 14.00	3	2	Strålningstemperatur är ett användbart mått på var det blir varmt i staden under dagen. Rekommenderas därför att användas i samband med riskgrupper som är mest utsatta för värme dagtid. Används för jämförelse av den absoluta strålningstemperaturförändringen under olika tempererade sommardagar, dvs. vilka områden som förändras mest dramatiskt med en ökning av lufttemperaturen.
	Frekvens (Förväntade dagar med överskridande av hälsosamma värmenivåer)	3		Används tillsammans med övriga lager. Ett område som förväntas överskrida värmetrösklarna oftare bör beaktas på ett annat sätt än ett område som förväntas vara ohälsosamt endast en gång per år.
	Antal timmar	8*		Används med hänsyn till utsatta grupper som befinner sig på samma plats under dagtid, till exempel barn på förskolor. Detta kan mäta värmestörningar under en dag. En jämförelse mellan 3 dagar med olika lufttemperaturer visar hur värmestörningen varierar med temperaturen.

Lufttemperatur nattetid	Median lufttemperatur nattetid	1	100	Används med hänsyn till sårbara grupper som befinner sig på en plats över natten, till exempel äldre på äldreboenden eller i sina egna hem, sjukhus.
Riskbedömning	Riskklassificering	1	2	Används som ett övergripande verktyg för att jämföra områden med hög och låg värmerisk. Eftersom detta tar hänsyn till temperatur, daglig värmeperiod och årlig frekvens är det bäst att använda det som ett övergripande planeringsverktyg.

** Notera att det inte finns något lager för "Svalare sommardag: antal timmar > 60", eftersom strålningstemperaturen den svalare sommardagen aldrig översteg 60 grader.*

För mer detaljerad information om hur resultatet är tänkt att användas i stadsplaneringen, och hur kartorna kan tolkas, hänvisas till Bilaga Handläggarstöd.

4 Diskussion

4.1 Strålningstemperatur

En metodologisk begränsning i studien är studieområdet måste delas upp i ett rutnät, där varje ruta analyseras för sig. Eftersom Göteborgs stad täcker ett stort område och SOLWEIG-modellen är utformad för hög rumslig upplösning i mindre områden (vid en skala på ungefär kvartersnivå), var det viktigt att dela upp kommunområdet i mer hanterbara rutor för att säkerställa korrekt modelldrift. Uppdelningen ledde dock till betydande kanteffekter på rastren, där modellen saknade det omgivande sammanhanget bortom rutnätscellgränserna. I huvudsak, som en klimatmodell med skugga som en av dess ingångar, verkade kanterna på rutnätscellerna helt exponerade för modellen på grund av uteslutningen av angränsande celler.

För att hantera kanteffekterna ”jämnades” dessa ut genom att interpolera de påverkade rastercellerna med hjälp av data från de korrekt förutsagda granncellerna. Som ett resultat är kanteffekten i vissa områden mindre märkbar i de levererade lagren. I andra områden kvarstod dock vissa märkbara kanteffekter.

När det gäller frekvensen för överskridande av ohälsosamma strålningstemperaturer är det dessutom viktigt att notera att våra beräkningar endast baserades på lufttemperaturgränser på 20°C, 25°C och 30°C. Det begränsar omfattningen av våra frekvensberäkningar. Värdena 0, 1, 10 och 50 dagar per år hämtades från endast tre SOLWEIG-modellkörningar. I verkligheten kan vissa områden nå en strålningstemperatur på 55°C även vid lägre lufttemperaturer – till exempel 18°C - vilket inträffar mer än 50 dagar per år i Göteborg. En mer noggrann känslighetsanalys med finare temperaturintervall, snarare än bara tröskelvärdena 20°C, 25°C och 30°C, skulle behövas för att fånga hela frekvensspektrumet.

Ytterligare en faktor som kan ha inverkan på resultatet är att årtalen där datan är hämtad från. Göteborg är en stad i ständig förändring och det marktäckedata (Land cover) som använts i analysen över strålningstemperatur är från 2019, medan övriga data är från 2022. Det innebär att exempelvis byggnader eller grönska som tillkommit eller försvunnit under aktuell tid inte finns med i analysen.

Strålningstemperaturen modellerades, som tidigare nämnts, på en 2x2 meters skala, till skillnad från lufttemperatur nattetid som modellerades på en skala av 100x100 meter. Det beror på att strålningstemperaturen kan variera stort på en mikroklimatisk skala, främst beroende på skuggning och inkommande solstrålning samt andra meteorologiska parametrar, medan lufttemperaturen har små variationer på en mikroklimatisk skala och i stället lämpar sig bättre vid analys över större områden. Detta är en viktig skillnad vid tolkningar av resultatet, att den upplevda temperaturen kan skilja sig beroende på exempelvis vilken sida av byggnaden du står, medan lufttemperaturen i sig kan vara densamma. Lufttemperaturen säger dock något om hur väl luften kyls av under natten och hur olika material behåller och/eller avger värme, vilket är viktigt vid planering för värmesänkande åtgärder.

4.1.1 Framtida klimatscenarier

Det framtida klimatet påverkas av koncentrationen av växthusgaser i atmosfären. Dagens nivåer av växthusgaser spelar en avgörande roll, men framtida utsläpp och åtgärder kommer att påverka klimatets utveckling på lång sikt. Därför har IPCC (FN:s klimatpanel) tagit fram antaganden och beräkningsmodeller för hur utsläppen av växthusgaser ser ut fram till 2100. Enligt klimatscenario RCP4,5 kommer utsläppen av växthusgaser öka en aning och kulminera runt år 2040. Utsläppen begränsas med hjälp av bland annat en kraftfull klimatpolitik, samt att befolkningens mängden globalt ligger på cirka 9 miljarder. Även åtgärder inom jordbruket, såsom lägre arealbehov genom större skördar och förändrade konsumtionsvanor, bidrar till att minska tillförseln av växthusgaser till atmosfären. Under RCP8,5 ses inga betydande politiska klimatåtgärder utan i stället fortsätter utsläppen av växthusgaser öka fram till 2100 och befolkningens mängden förväntas öka

till 12 miljarder. Under RCP8,5 ses även ett ökat anspråk av jordbruksmark samt en långsam teknikutveckling vilket gör att beroendet av fossila bränslen fortfarande är stort. Eftersom förändringar i klimatet sker över tid så kommer de mest påtagliga konsekvenserna av ökade utsläpp att ske under seklets andra hälft, både för RCP4,5 och RCP8,5. Klimatet varierar också från år till år och beräkningsmodeller för framtida klimat har även sina felmarginaler, vilket också är viktigt att ta i beaktning.

Enligt beräkningar från SMHI (2015) förväntas Västra Götaland, under båda klimatscenarierna (RCP4,5 och RCP8,5), ha en ökad årsmedeltemperatur på cirka 2 grader runt 2050. RCP4,5 beräknas ha en uppvärmning på cirka 3 grader runt år 2100, medan uppvärmningen för RCP8,5 är cirka 5 grader vid samma tidpunkt. Antalet varma dagar i följd ökar också. En dygnsmedeltemperatur på över 20°C är relativt ovanlig. Under perioden 1961–1990 inträffade det bara ett fåtal gånger, och sedan dess har dygnsmedeltemperaturer på över 20°C endast ökat med cirka 1-3 dagar per år. För framtida klimatscenarierna kommer perioder av varma dagar att öka. Den största förändringen sker under RCP8,5 där det förväntade årsmedelvärdet på antal dagar med en dygnsmedeltemperatur på 20°C förväntas öka till 18 dagar i följd. Detta kan ha en stor effekt på människors hälsa och välmående, då längre perioder av värme innebär att kroppen inte har möjlighet att återhämta sig från den värmestress de högre temperaturerna ger upphov till.

4.2 Lufttemperatur nattetid

Resultaten från den initiala analysen och maskininlärningsmodellen stämmer överens med varandra. Sammantaget överensstämmer mönstret för temperatur-hotspots vid kusten och i stadskärnor, som identifierats genom väderstationsmätningarna med de mönster som ses i de modellerade lufttemperaturerna nattetid. Vissa områden, till exempel stadsdelar med hög täthet, förväntades ha högre nattetemperaturer. Ett oväntat resultat var dock det mönster som observerades runt öarna.

Eftersom rapportens resultat kan tyckas skilja sig från tidigare förväntningar på fördelningen av nattliga temperaturer över hela staden, är det viktigt att beakta de faktorer och processer som påverkar temperaturvariationerna i staden. Modellens noggrannhet var ungefär $\pm 1^\circ\text{C}$, vilket ger oss förtroende för de bredare rumsliga mönstren för höga och låga nattetemperaturer. Ändå bör de exakta förutsagda värdena tolkas med försiktighet. Om till exempel en viss pixel visar en temperatur på 17,5°C, representerar siffran modellens uppskattning snarare än en bekräftad mätning.

Även om den här rapporten fokuserar på resultaten från den varmaste sommarnatten, genererades förutsägelser för alla tillgängliga molnfria bilder från 2018 till 2024. Över alla dessa datum förblev det rumsliga mönstret för relativt höga och låga temperaturer konsekvent, vilket förstärker att dessa mönster är en grundläggande egenskap hos stadens nattliga temperaturfördelning.

Trots dessa styrkor finns det begränsningar. Även om användningen av Netatmo-stationer kraftigt ökar de data som är tillgängliga för modellering (Göteborgs stad har endast sex stationer, jämfört med nästan 800 Netatmo-stationer), är kvaliteten på dessa data från allmänheten inte helt verifierad. Även om kvalitetskontrollprocedurer tillämpas och endast rimliga mätningar används i maskininlärningsmodellen, finns det ingen garanti för att varje enskild mätning exakt återspeglar den verkliga temperaturen.

4.3 Vidareutveckling av resultaten

De resultat som vi har tagit fram kan ligga till grund för många intressanta vidare analyser. Riskindexrastret och riskbedömningen ger den information som behövs för att genomföra en rad olika analyser, till exempel förekomsten av svala öar i staden och invånarnas avstånd till dem. Ytterligare statistisk analys kan också

vara intressant för att hitta fler korrelationer mellan lokala stadsegenskaper och riskklassificeringen, som till exempel om byggnadshöjd är relaterad till ökad värmerisk. Dessa analyser skulle kunna ge Göteborgs stad möjlighet att fatta ytterligare datadrivna beslut baserat på det arbete som utförts.

Ytterligare en utveckling av dessa resultat är att utföra olika riskbedömningar utifrån olika riskgruppers behov. Ska exempelvis risken för värmestress hos förskolebarn analyseras så är strålningstemperatur dagtid en viktigare faktor än vad lufttemperatur nattetid är, då barnen inte befinner sig på förskolan. Resultaten från den generella riskbedömningen som utförts inom detta uppdrag är dock viktig för att visa på mönster i staden utifrån var det är störst risk för värme, och den kan även användas tillsammans med resultaten för varje enskild karta om det är någon särskild riskgrupp som är av intresse, exempelvis vid upprättandet av en ny detaljplan.

5 Referenser

- Caputa, Z. A. (2016). The impact of solar radiation on the temperature of the exposed rocks of the. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*.
- Chen, Y.-C., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2014). Comparison of mean radiant temperature from field experiment and modelling: a case study in Freiburg, Germany. *Theoretical and Applied Climatology* 118, 535-551.
- Folkhälsomyndigheten. (2018). *Värmestress i urbana utomhusmiljöer. Förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse*.
- Göteborgs stad. (2018). *Luftkvalitet och meteorologiska data, månadsrapporter*. Hämtat från Öppna data: https://goteborg.se/wps/portal/start/kommun-och-politik/sa-arbetar-goteborgs-stad-med/digitalisering/oppna-data/sok-oppna-data/oppna-data---datamangd#esc_entry=46&esc_context=6
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Li, H. (2016). Chapter 1- Introduction. i H. Li, *Pavement Materials for Heat Island Mitigation* (ss. 1-13). Boston: Butterworth-Heinemann.
- Lindberg, F., & Grimmond, S. (2011). The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: Model development and evaluation. *Theoretical and Applied Climatology* 105(3), 311-323.
- Lindberg, F., Holmer, B., & Thorsson, S. (2008). SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes. *International Journal of Biometeorology*, 52(7):697-713.
- Ord, J., & Getis, A. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*.
- Saaty, T. L. (2001). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. RWS Publications.
- Säll, B. (2019). *Nya klimatindikatorer för temperatur i Stockholm. Underlag till Miljöförvaltningens övervakning av klimatförändringar och dess effekter*. SLB Analys.
- SMHI. (2015). *Framtidsklimat i Västra Götalands län - enligt RCP-scenarier*. SMHI.
- SMHI. (den 14 06 2023). *Temperatur*. Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur>
- USGS Water Science School. (2018). *Specific Heat Capacity and Water*. Hämtat från USGS: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/specific-heat-capacity-and-water#overview>
- Venter, Z. S., Brousse, O., Esau, I., & Meier, F. (2020). Hyperlocal mapping of urban air temperature using remote sensing and crowdsourced weather data. *Remote Sensing of Environment*.

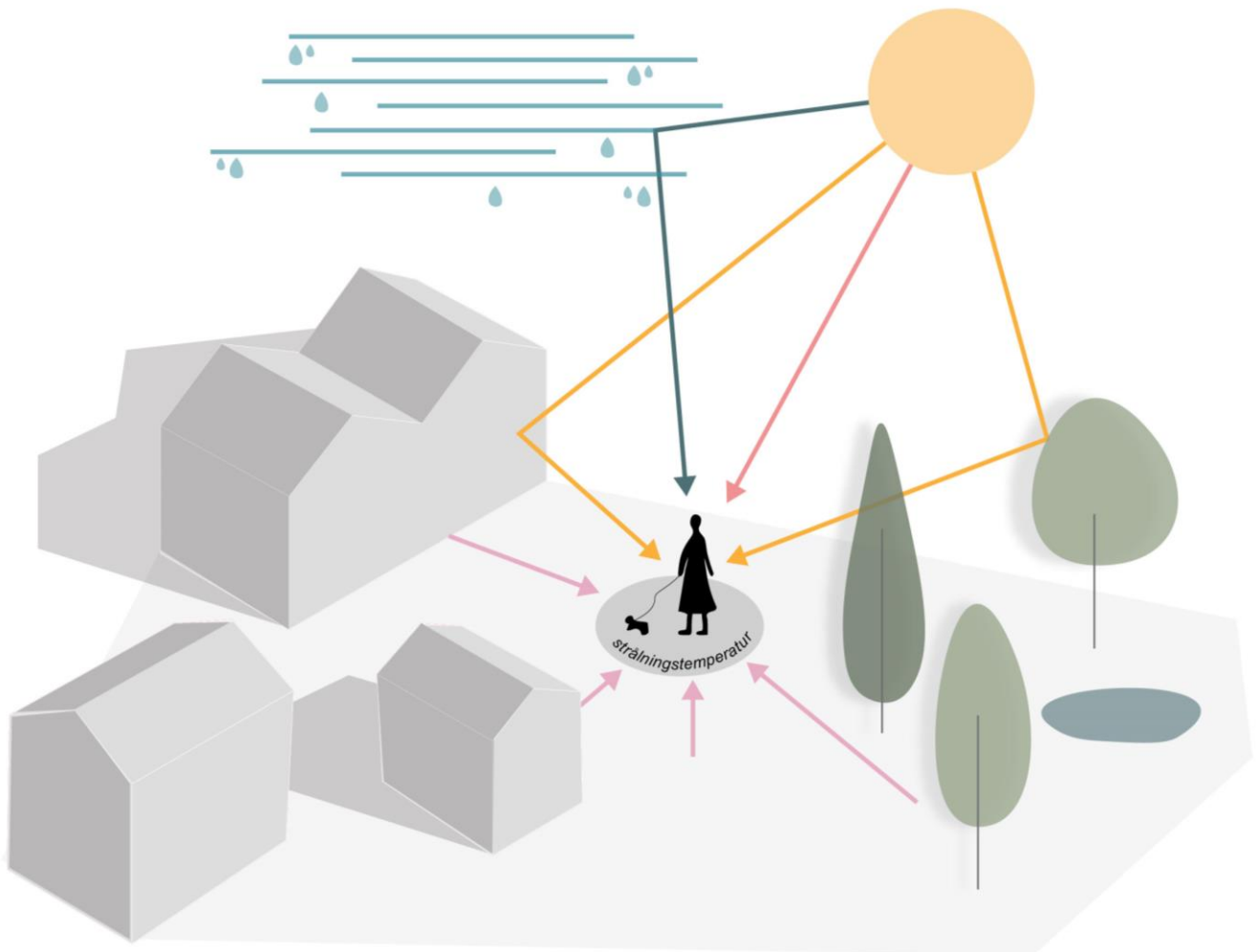
Göteborgs Stad Stadsbyggnadsförvaltningen

► Bilaga - Handläggargröd

Värmekartering, Diarienumr SBF-2024-00860

Uppdragsnr.: 109 19 25 Revision: 2 Datum: 2025-02-07

Uppdragsledare: Felipe Verdú Handläggare: Camilla Estvall



Handläggarestödet – värmekartering

Handläggarestödet ska ge pedagogisk vägledning till tjänstepersoner att tolka och förstå värmekarteringen. I handläggarestödet finns det läsanvisningar, ordlista, exempel samt handläggarestödet uppdelat i fyra olika skeden.

Läsanvisningen består av en kort beskrivning av bakgrunden till kartorna och instruktioner för hur de ska tolkas. Läsanvisningen är uppdelad i fem delar:

- 1.1 Strålningstemperatur
- 1.2 Lufttemperatur nattetid
- 1.3 Beräkning av frekvensen för överskridande av hälsosamma nivåer
- 1.4 Antal timmar med ohälsosam strålningstemperatur
- 1.5 Riskbedömning

Ordlistan tar med de ord/begrepp som är nödvändiga för att kunna förstå värmekarteringen. Orden som är med i ordlistan är markerade med kursiv text i brödtext.

Exempel finns för att konkretisera hur en analys av värmekarteringen kan gå till och vilka slutsatser man kan dra utifrån kartmaterialet.

Handläggarestödet är den sista delen och är uppdelat i fyra olika skeden. Uppdelningen är för att underlätta för tjänstepersoner att få ett kortfattat och konkret handläggarestödet för sitt arbetsområde.

- 4.1 Översiktsplanering (ÖP) och fördjupad översiktsplanering (FÖP)
- 4.2 Detaljplan (DP) och planprogram
- 4.3 Riskanalys för känsliga verksamheter såsom förskolor & vård- och omsorgsboenden
- 4.4 Förvaltning av befintliga staden med fokus på att skapa och bevara svala områden & korridorer.

Handläggarestödet inkluderar inte förslag på åtgärder. Åtgärder presenteras i dokumentet "Åtgärds katalog - Planera för en varmare stad". Där ges det exempel på olika åtgärder som kan genomföras för att sänka värmebelastningen i staden.

1 Läsanvisningar

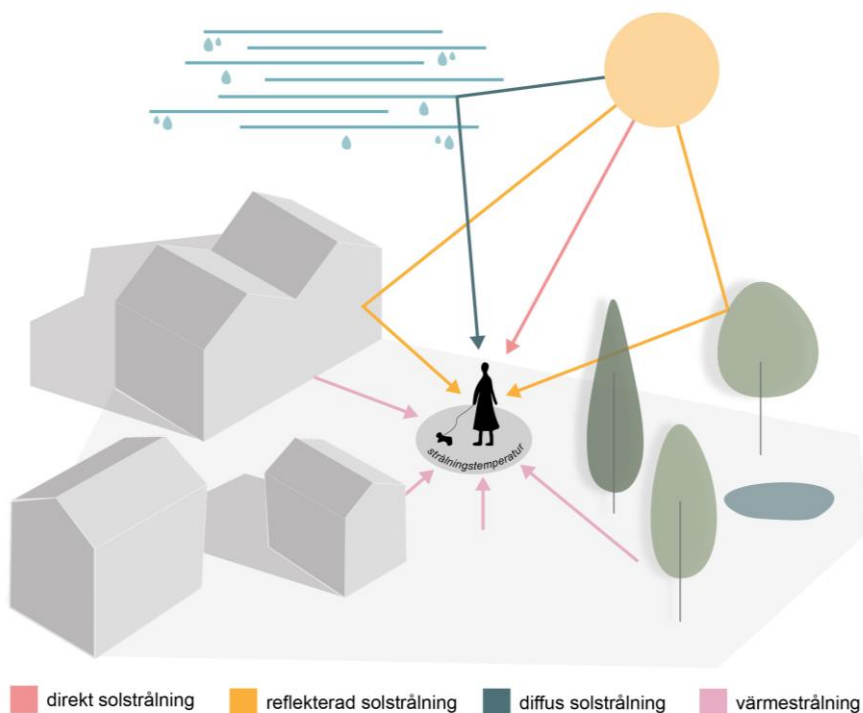
1.1 Strålningstemperatur

En av kartorna som har tagits fram för värmekarteringen är *strålningstemperatur*. Strålningstemperaturen visar var det finns förutsättningar för varma eller kalla platser i staden. Värmekarteringen för strålningstemperaturen har tagits fram för en särskilt varm sommar. Simuleringen har utförts under tre olika dagar; en svalare sommardag (med temperaturer kring 20 °C), en varm sommardag (med temperaturer kring 25 °C) samt en het sommardag (med temperaturer upp emot 30 °C). Då strålningstemperaturen beräknas vara som störst klockan 14 på eftermiddagen (SMHI, 2023c) är det den tidpunkten som presenteras i resultaten. Strålningstemperatur utgår från 2x2 meter pixlar. Olika material på byggnader kan variera och kan påverka studien. Material har inte inkluderats i analysen.

Vad är strålningstemperatur?

Strålningstemperatur är den "upplevda temperaturen" och ska inte liknas som den faktiska temperaturen som står på termometern eller i väderleksrapporten. I kartan som visar strålningstemperatur synliggörs platser där det finns risk för "bastueffekt", där människor känner extremvärme som upplevs negativ.

Lufttemperatur bedöms inte vara en tillräcklig indikator eftersom den inte inkluderar människans upplevelse eller hälsokonsekvenser av värme. Det är därför strålningstemperatur används istället. Se illustration av strålningstemperatur nedanför.



Strålningstemperaturen är baserad på en kombination av:

- **Fysiska faktorer** på platsen såsom mark- och fasadmaterial, byggnaders orientering, täthet, byggnaders form, byggnadshöjd, färger och andel grönska samt hårdgjorda ytor.
- **Meteorologiska faktorer** såsom lufttemperatur, vindhastighet, solinstrålning, relativ luftfuktighet samt molnighet.

Illustration som visar de olika strålningskomponenter som ingår i begreppet strålningstemperatur.

Läsanvisning

Kartan är uppdelad i åtta olika skalor, från 25 grader strålningstemperatur till 65 grader. Strålningstemperatur är återigen den "upplevda temperaturen" i kroppen och inte den faktiska temperatur som står på termometern.

Hur ska jag tolka resultatet?

Det är inte helt enkelt att förstå strålningstemperaturerna eftersom de är betydligt högre än vad den faktiska temperaturen är på platsen. För att konkretisera strålningstemperatur ges exempel på hur dessa temperaturer kan tolkas:

- Strålningstemperatur mellan **25-50 °C** bedöms majoriteten av människor kunna hantera. Dessa strålningstemperaturer nås genom att det är exempelvis stor andel grönska, luftiga kvarter samt nordliga och östliga väderstreck. Inom dessa ytor behöver generellt inte åtgärder genomföras. Dock behöver dessa platser skyddas mot exploatering eller annan påverkan för att säkerställa hälsosamma temperaturer även på lång sikt. Dessa platser ska skyddas och får gärna förstärkas med ännu mer grönska eller andra åtgärder.
- Vid strålningstemperaturer från **55 °C** är det i regel hög andel hårdgjorda ytor såsom asfalt, vägar, byggnader eller soliga platser i söder/väster läge. Det är från 55 grader det kan blir *ohälsosamma temperaturer* och medföra *värmestress* för exempelvis äldre, barn eller funktionshindrade. Vid strålningstemperatur över ca **55 °C** ökar mortalitetsrisken med 5 % redan för personer över 80 år. Här bör åtgärder genomföras för att minimera negativa effekter.
- Vid strålningstemperaturer över ca **60 °C** identifierades en 10 % högre mortalitetsrisk för äldre, över 80 år, då dessa påverkas mest av höga temperaturer på dagen (Thorsson et al., 2014)

1.2 Lufttemperatur nattetid

Lufttemperatur nattetid är särskilt intressant att titta på för känsliga verksamheter såsom för äldre och funktionshindrade eftersom höga nattemperaturer medför svårigheter för kroppen att återhämta sig från varma temperaturer. Om det är en varm natt kan det medföra att det blir en ännu varmare dag.

Lufttemperatur nattetid visar median lufttemperatur nattetid mellan klockan 22:00-04:00. I analysen används lufttemperatur istället för strålningstemperatur eftersom det inte finns någon solinstrålning under nattetid. Analysen utgår från 2024-08-06 där nattemperaturen låg i den 90:e percentilen av alla sommarnätter 2018-2024, medan dagstemperaturen låg i den 75:e percentilen. Detta visar att när dagen endast var varm, förblev natten ovanligt varm, sannolikt på grund av den urbana *värmeöeffekten*, där städer fångar värme efter solnedgången. Lufttemperaturen utgår från 100x100 meter pixlar vilket skiljer sig något från strålningstemperaturen som utgår från 2x2 meter pixlar.

Definitionen för en *tropisk natt* är temperaturer över 20 grader nattetid. I analysen är den högsta uppmätta temperaturen 19 grader. Analysen utgår från ett medianvärde istället för ett maximalvärde vilket gör att extremtemperaturer inte nås och därmed inte temperaturerna för tropiska nätter.

Hur ska jag tolka resultatet?

- När lufttemperaturerna är blå-gröna så innebär det att det finns svala öar på platsen med stor andel grönska, inte så mycket hårdgjorda ytor, och luftiga stadsrum. Här är det låg risk för höga lufttemperaturer nattetid.
- När lufttemperaturerna är orange-röda (cirka 18-19 °C) så finns det risk för *värmeöar* och *tropiska nätter*. Det medföra ökade risker för exempelvis äldre och funktionshindrade. Vid dessa temperaturer är det svårare för kroppen att återhämta sig under natten vilket kan öka riskerna ytterligare vid varmare temperaturer dagen därpå. Inom dessa platser kan åtgärder vara nödvändiga för att skapa mer trivsamma lufttemperaturer under *värmeböljor*.

Det är väldigt rött utmed kusten och Göta Älv. Vad beror det på?

När analysen för lufttemperatur nattetid genomfördes fick platser utmed Göta Älv och kusten höga medianvärden. Anledningen till att dessa ytor visar rött beror troligtvis på att det är stor andel hårdgjorda ytor på dessa platser som absorberar värme under dagen och material som håller kvar i dessa temperaturer även under natten. Det kan exempelvis vara hårdgjorda ytor såsom asfalt som är vanligt i centrala Göteborg men också "berg i dagen" (synligt berg) som är vanligt förekommande på skärgårdsöarna. Det är också relativt tät exploatering på många av platserna vilket medför viss påverkan.

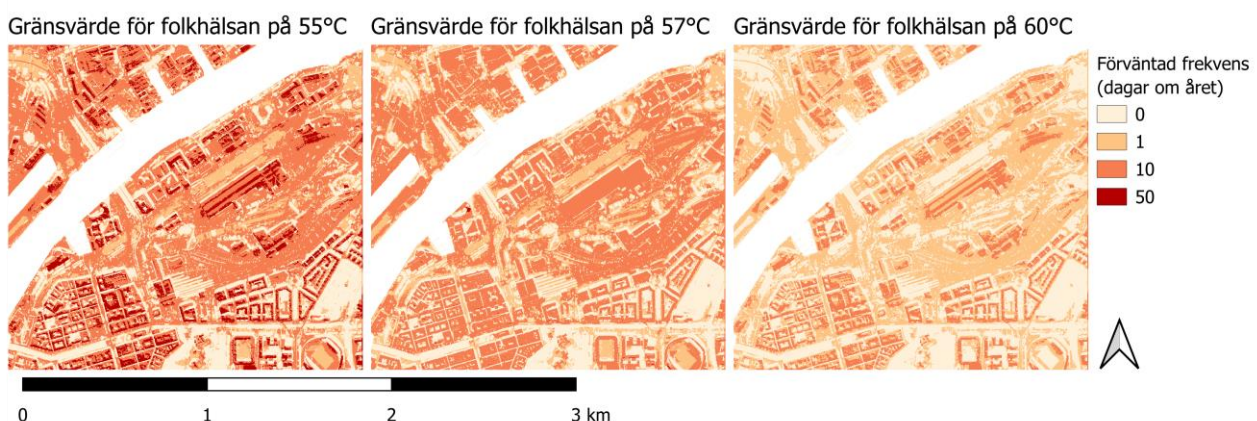
1.3 Beräkning av frekvensen för överskridande av hälsosamma nivåer

- Kartan är uppdelad i tre frekvenser; svalare sommardag (cirka 20 °C), varm sommardag (ca 25 °C) och het sommardag (ca 30 °C). I kartan noteras antalet dagar per år som har en temperatur klockan 14:00 som var större än eller lika med temperaturerna ovanför. Ambitionen är att kartan ska visa hur ofta det är varma eller heta sommardagar. I analysen har det gjorts antaganden om att det är soligt, klar himmel och låg vindhastighet. Varje pixel i kartan klassificeras antingen som över eller under de olika gränsvärdena för folkhälsan på 55, 57 och 60 °C. På detta sätt skapas kartor som visar var det finns risk för *ohälsosamma temperaturer* och antal dagar det förväntas ske. Med andra ord synliggörs vilka platser som riskerar att ha återkommande problem med värme eller om det är endast vid enstaka tillfällen.

Hur ska jag tolka resultatet?

- Om vissa platser har exempelvis **fler än 10 dagar** (orange eller röd yta) om året med strålningstemperaturer på en ohälsosam nivå så kan det, utöver att skapa obehag för större delen av befolkningen, även medföra ökad risk för exempelvis äldre, funktionshindrade och barn.
- Inom dessa platser blir det alltså **återkommande problem** varje år. Om en plats har exempelvis höga strålningstemperatur enstaka tillfällen under ett år så är det kanske acceptabelt. Medan har en plats återkommande problem med mycket höga strålningstemperaturer så kan det därför **krävas åtgärder** för att minimera risken.
- Det är främst bostadsgårdar och vissa gator som bedöms ha störst risker om taken bortses.

Förväntat antal dagar om året då strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå



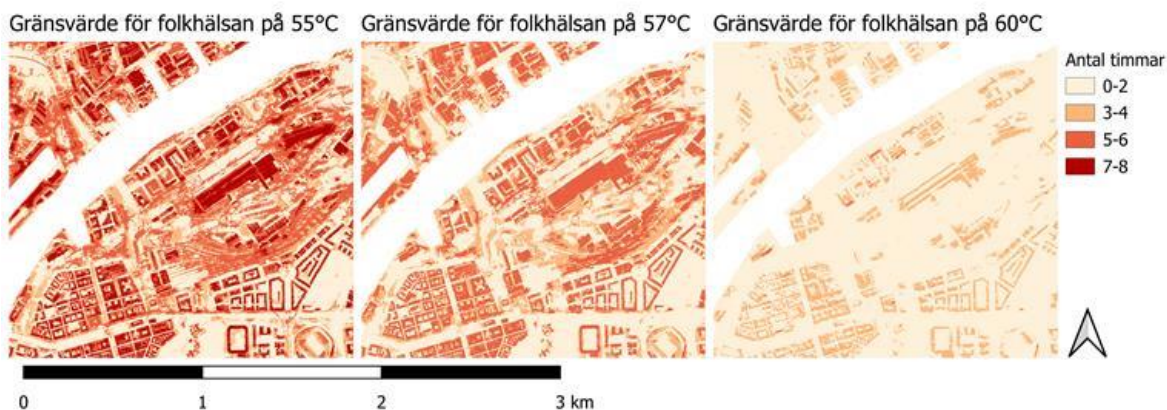
1.4 Antal timmar med ohälsosam strålningstemperatur

Kartan visar totalt antal timmar på dygnet där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå. Med hjälp av kartan är det enkelt att se vilka platser som har höga strålningstemperaturer större delen av dagen. Det kan vara särskilt intressant för exempelvis förskolegårdar eller äldreomsorg eftersom det kan begränsa utevistelse under sommarhalvåret om det är höga strålningstemperaturer större delen av dagen. Kartan är indelad i tre delar: gränsvärde för 55, 57 och 60 °C.

Hur ska jag tolka resultatet?

- Om en plats endast har **0-2 timmar** ohälsosam strålningstemperatur bedöms det inte vara särskilt problematiskt eftersom det är enkelt att begränsa ex utevistelse under denna tid. I praktiken kan det innebära att det är särskilt varmt mellan klockan 12-14. ()
- Det är svårt att göra en avvägning mellan ”**acceptabelt/acceptabelt antal timmar**” eftersom det beror på verksamheten och sammanhanget. Men desto fler timmar på dygnet som har strålningstemperaturer på en ohälsosam nivå, desto högre risk blir det för folkhälsan, *värmestress*, trivsam utemiljö, inomhusklimat och påverkan på verksamheter.
- Om det är exempelvis en förskola som har flera timmar på dygnet som har ohälsosamma strålningstemperaturer så riskerar det att påverka verksamheten och andelen utevistelse för barnen. Det kan också påverka inomhusklimatet i byggnaden.

Totalt antal timmar på dygnet där strålningstemperaturen är på en ohälsosam nivå
Varm sommardag (dagtid lufttemperatur på 25°C)



1.5 Riskbedömning

Slutligen har en generell riskbedömning tagits fram där kartorna kombinerar strålningstemperatur, lufttemperatur nattetid, frekvens av varma dagar samt antal timmar med hälsoskadlig strålningstemperatur. Målet med kartan är att skapa en objektiv bedömning av områden där de olika kartorna viktas. I tabellen nedanför utläses viktningen av de fyra olika kartorna.

Global kriteriegrupp	Global viktning
Strålningstemperatur	20%
Lufttemperatur nattetid	20%
Frekvens	10%
Antal timmar med hälsoskadlig strålningstemperatur	50%

Riskbedömningen visar var det finns risker men inte varför. Därför bör riskbedömningen användas i kombination med de tidigare nämnda kartorna för att förstå varför riskbedömningen visar låg, normal och hög risk.

Hur ska jag tolka resultatet?

- I kartorna är det möjligt att se att exempelvis vissa innergårdar och gator blir **orange/röda**. Detta innebär att det är förhöjd, betydande och hög risk. Dessa platser har en högre risk för hälsoskadlig värme och det kan därför behövas åtgärder.
- Förutom att bedöma om det är risk för hälsoskadlig värme så behöver riskbedömningen även kompletteras med vilka **riskgrupper** som påverkas för att veta om åtgärder behöver genomföras eller inte.
- Vid exempelvis arbete med placering av en ny förskola kan det vara intressant att titta i riskbedömningen för att undvika platser som är **gul-röda**. Detta indikerar på att det finns risker för höga temperaturer på platsen och att ytterligare exploatering troligtvis skulle medföra ännu högre risker.
- **Grön och ljusgrön** ytor indikerar på mycket låg eller låg risk. På dessa platser är det i regel stor andel grönska och låg exploatering som bidrar till dessa värden.
- Riskbedömningen inkluderar inte **framtida exploatering**. Vid eventuell exploatering kan det medföra negativa konsekvenser på exempelvis strålningsbedömningen och värmekarteringen eftersom andelen hårdgjorda ytor ökar. Det medför i förlängningen att risken för hälsoskadlig värme ökar.

2 Ordlista

Bastueffekt

Bastueffekten skapas eftersom material samlar upp olika mycket energi från solinstrålning. Exempelvis absorberar svart asfalt solinstrålning jämfört med träd som i regel reflekterar solinstrålning.

Blågröna samband

De blågröna stråken beskrivs i översiktsplanen som mångfunktionella och bidrar till ekosystemtjänster och till stadens skönhetsvärden. Även de blågröna stråken bidrar till svala öar.

Gröna kilar

De gröna kilarna beskrivs i översiktsplanen som värdefulla natur- och friluftsområden som enligt översiktsplanen ska bevaras. De gröna kilarna är viktiga eftersom de kan bidra med svala öar.

Känsliga verksamheter

Känsliga verksamheter kan exempelvis bestå av förskolor & vård- och omsorgsboenden som är särskilt känsliga för höga temperaturer.

Lufttemperatur nattetid

Lufttemperatur nattetid en viktig indikator på värmeretention i stadsområden, vilket direkt påverkar nattkylningen - en avgörande faktor för människors hälsa under värmeböljor.

Lufttemperatur (gradantalet på en traditionell termoteter) används istället för strålningstemperatur eftersom det inte finns någon solinstrålning under nattetid.

Lufttemperatur nattetid visar median lufttemperatur nattetid mellan klockan 22:00-04:00.

Ohälsosamma temperaturer

55, 57 och 60 °C klassas som ohälsosamma strålningstemperaturer (Thorsson et al., 2014). Över 55 grader ökar mortalitetsrisken på 5% för åldersgruppen 80+. Vid strålningstemperaturer om 58,8 och 59,4 ökar mortalitetsrisk på 10% för åldersgruppen 80+ samt ökad mortalitetsrisk för åldersgruppen 45-79 år.

Strålningstemperatur

(55 grader) Ett mått på strålningsutbytet (kort- och långvågig strålning) mellan en människa och dess omgivning (Folhälsomyndigheten, 2018). Strålningstemperaturen ger insikter i det termiska utbytet mellan människor och deras omgivning, vilket påverkar den upplevda temperaturen avsevärt.

Svala öar

Svala öar är det omvända begreppet till urbana värmeöar. Grönska är utpekad som den effektivaste åtgärden för att sänka stadstemperaturen och genom tillgång till "svala öar" i städer minskar risken för hälsoproblem vid värmeböljor (Göteborg Stad, 2021)

Tropiska nätter

När temperaturen inte understiger 20°C under natten (kl 20-08) kallas det för tropisk natt. Tropiska nätter förekommer ofta i samband med värmeböljor (SMHI, 2024)

Urban värmeö

Fenomenet uppstår i städer främst på grund av förekomsten av värmeabsorberande material, som betong och asfalt. Urbana värmeöar är generellt varmare än sin omgivning, främst ett nattligt fenomen. Anges vanligtvis som skillnad i lufttemperatur, men kan också anges som skillnader i yttemperatur, strålningstemperatur etc. (Folhälsomyndigheten, 2018).

Värmebölja

En längre sammanhängande period med hög lufttemperatur. Enligt SMHI definieras en värmebölja som "en sammanhängande period då dygnets högsta temperatur överstiger 25 °C minst fem dagar i sträck" (Folhälsomyndigheten, 2018).

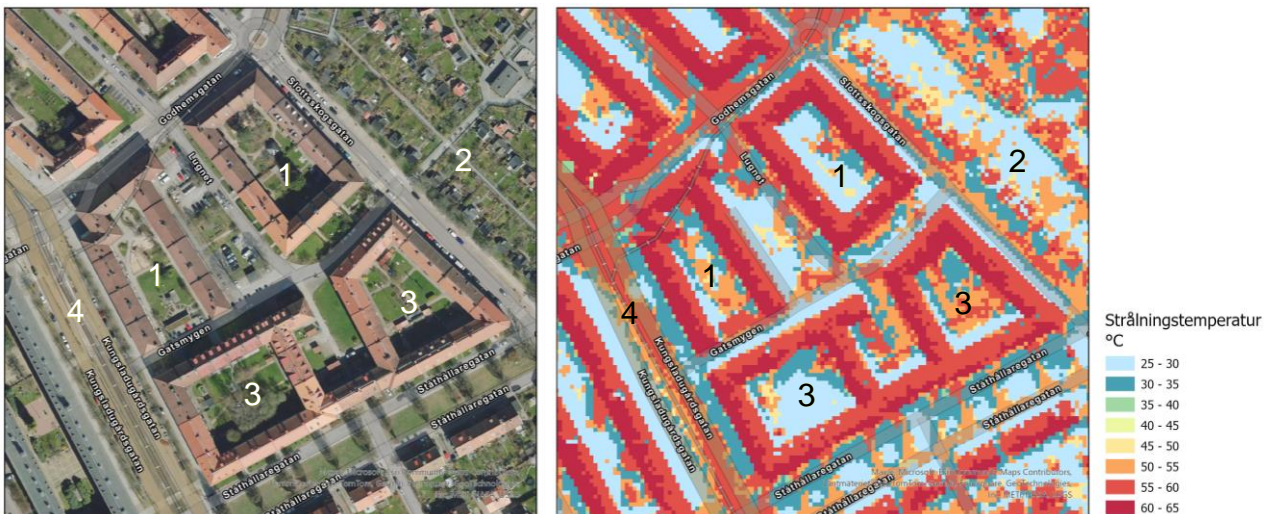
Värmestress

Uppkommer när kroppen inte längre kan reglera sin temperatur genom utsöndring av svett och ökat blodflöde. Kroppstemperaturen stiger och det påverkar bland annat andning, hjärta och blodcirkulation (Folhälsomyndigheten, 2018).

3 Exempel

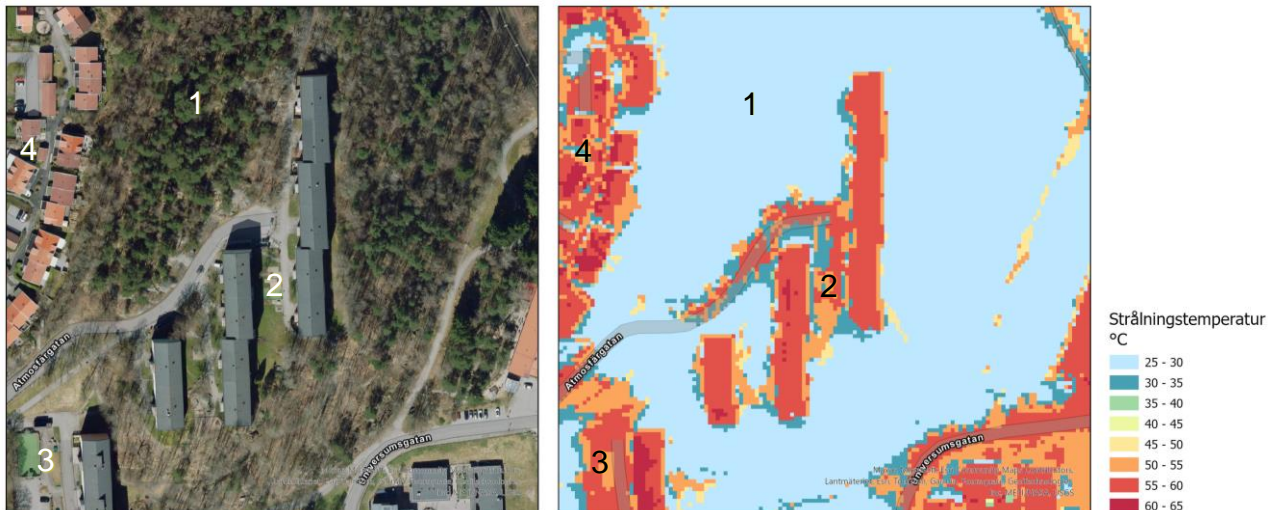
För att konkretisera hur en analys av värmekartering kan gå till så visas konkreta exempel nedanför. På kartbilderna finns det siffror. Nedanför kartbilderna finns det en numrerad lista med förklarande texter om iakttagelser vid platsen som matchar mot siffrorna på kartbilderna.

3.1 Exempel 1: Strålningstemperatur - Majorna, varm sommardag 25 °C



1. De **kringbyggda gårdarna** medför att värmen kapslas in och stoppar vindflöden. Detta kan skapa en *bastueffekt* på gårdarna. Dock syns det att de gårdar som har fler träd klarar sig bättre jämfört med de gårdar som har mer hårdgjorda ytor eller gräsmatta.
2. I nordost syns **kolonistugor** som har relativt höga strålningstemperaturer utmed Slottsskogsgatan (mellan 50-60 grader) vilket beror på stor andel hårdgjorda ytor på gatan som reflekteras till kolonistugorna. Öster om stugorna är det däremot behagliga temperaturer, runt 25 grader, eftersom det är mycket grönska och låg andel hårdgjorda ytor.
3. Om de **två sydliga kvarteren** jämförs utmed Ståthållaregatan så är det stor skillnad på bostadsgårdarna. Den västliga gården har större andel träd jämfört med den östliga vilket visar på att strålningstemperaturerna är mer behagliga (mellan 25-35 grader). Den östliga gården har betydligt varmare strålningstemperaturer (50-60 grader) trots att det är en ungefär lika stor gård och innehar samma väderstreck. Bostadsgården har stor gräsmatta och färre träd jämfört med den västliga vilket troligtvis är anledningen till de högre temperaturerna.
4. I västra delen av området, utmed **Kungsladugårdsgatan**, bedöms det vara relativt höga strålningstemperaturer, mellan 55-60 grader. Detta beror på att det är en stor andel hårdgjorda ytor (asfalt) och låg andel träd och grönytor i västerläge, vilket medför att det inte finns så mycket beskuggning på platsen eller skydd mot solen. Platsen har inslag av låga strålningstemperaturer 25-35 grader utmed fasaderna vilket visar på att det är en ganska öppen plats där det inte är så stillastående luft.

3.2 Exempel 2: Strålningstemperatur - Atmosfärgatan, varm sommardag 25 °C



1. I området finns det stora **svala öar** (cirka 25-30 grader) eftersom bostadsområdet ramas in av naturområde med många träd och stor andel grönska. Naturområdets ytor kyler ned bostadsområdena runtomkring genom att vinden kan passera bebyggelsen och naturen fritt.
2. **Gården mellan de två byggnaderna** blir rödororange (50-60 grader) eftersom det är en större andel hårdgjorda ytor jämfört med andra delar av bebyggelsen, samt att det ligger mellan två byggnader som påverkar vindriktningen och beskuggningen.
3. I sydvästra delen av området blir det mycket **höga temperaturer på byggnaden** (cirka 60-65) grader. Detta är troligtvis på grund av stor andel hårdgjorda ytor som reflekterar upp mot byggnaden (cirka 50-60 grader).
4. Även i radhusområdet i väster har temperaturer mellan 50-65 grader. Detta beror på att det är väldigt tät exploatering på platsen vilket gör att det är mycket hårdgjorda ytor och mindre andel grönska jämfört med övrig bebyggelse.

3.3 Exempel 3: riskbedömning Kålltorp



1. I området är det generellt **hög exploatering** med **stängda kvarter** som är placerade tätt intill varandra. De runt byggda kvarteren medför att bostadsgårdarna tenderar att bli varma (gul-orangea ytor). Här kan det behövas särskilt fokus att planera för träd och grönska på gårdarna för att minimera risk för extremvärme.
2. Det finns en stor andel **hårdgjorda ytor** på grund av infrastruktur (orange-röda ytor) i västra delen av området. Asfalten på vägarna absorberar solinstrålningen vilket gör att det blir mycket varma platser.
3. Det är få gröna ytor mellan bostadskvarteren. Det finns **gräsmattor** mellan kvarteren men enligt riskbedömningen har de ingen större påverkan eftersom de är små och inramade av bebyggelse.

3.4 Exempel 4: riskbedömning Stigberget



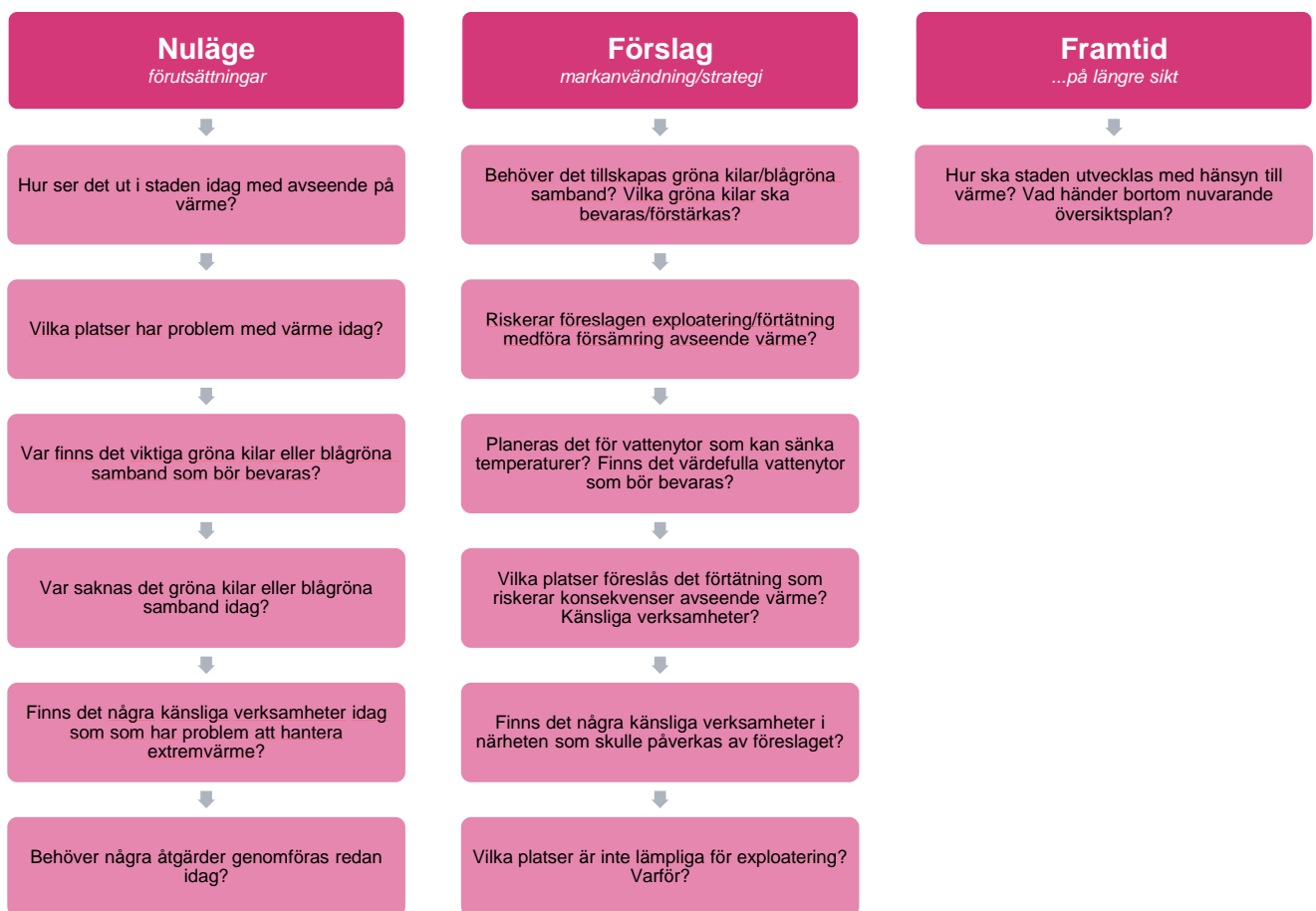
1. Stigberget å andra sidan har också en relativt hög exploatering jämfört med exempel 3 (Kålltorp). Skillnaden i dessa kvarter är att de **inte är kringbyggda** och har mer **generösa bostadsgårdar**. Detta ger låg till begränsad risk (grön-ljusgröna ytor).
2. Stadsdelen har också inslag av större andel grönytor och parker jämfört med Kålltorp. Det syns på ortofoto att det är få gräsmattor och desto mer **frodiga grönytor** med buskage och träd vilket ger positiva effekter.
3. I området finns ingen större infrastruktur med asfalt vilket är positivt ur värmesynpunkt.

4 Handläggare

4.1 Översiktlig planering (ÖP) och fördjupad översiktsplan (FÖP)

I översiktlig planering är det fokus på att se de breda penseldragen och se sambanden mellan värmeöar och svala öar. I översiktsplanens strategi finns det utpekade *gröna kilar* som är viktiga stråk för natur samt *blågröna samband*. De gröna kilarna och blågröna sambanden är viktiga för temperaturen i staden men ger även stora andra effekter för exempelvis ekosystemtjänster, natur- och djurliv, dagvattenhantering samt rekreation för göteborgarna. I översiktlig planering bör därför de befintliga gröna kilarna och blågröna sambanden bevaras för att säkerställa att staden inte blir varmare. I den översiktliga planeringen ska de gröna kilarna övervakas för att de inte ska bli avskurna av exempelvis förtättningsprojekt eller annan exploatering. Titta också var de gröna kilarna och blågröna samband behöver förstärkas och utvecklas.

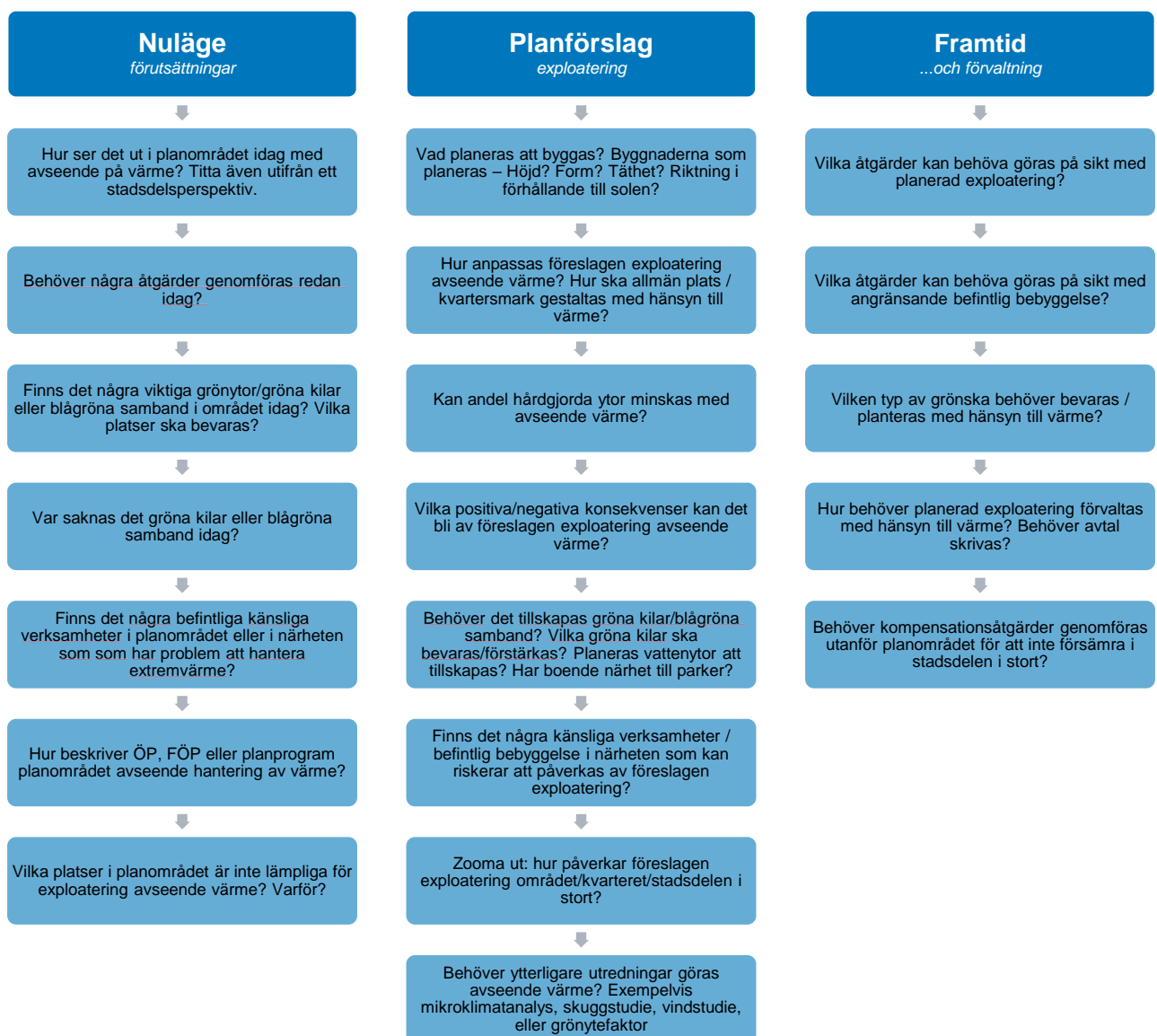
Den översiktliga planeringen skapar möjligheter att göra rätt från början, genom att planera för gröna ytor, kilar och blågröna samband. Detta är särskilt viktigt eftersom det är lättare att planera för dessa ytor från början än att åtgärda dem i efterhand.



4.2 Detaljplan och planprogram

I detaljplaneprocessen och i planprogram är det särskilt viktigt att analysera planområdet/programområdet både från ett stadsdelsperspektiv (exempelvis kvarteret, stadsdelen, etc.) likaväl som planområdet.

I detaljplaneskedet bör omkringliggande bebyggelse beaktas och hur det kan komma att påverkas av föreslagen exploatering. Om platsen inte har några större problem med värme idag, så kan föreslagen exploatering både medföra försämringar och förbättringar inom och utanför planområdet.



4.3 Riskanalys för känsliga verksamheter såsom förskolor & vård- och omsorgsboenden

Värmeböljor kan utgöra en farlig risk för hälsan. Inom utbildningssektorn och vård- och äldreomsorgen kan det därför bli ökade risker och svårare att bedriva verksamhet när till exempel inomhustemperaturer blir ohållbara för de sårbaraste grupperna eller det är för varmt på förskolegårdarna. Detta gör att både befintliga och planerade verksamheter behöver ha ett särskilt fokus på värme. Hälsoskadliga temperaturer är olika för alla individer beroende på ålder och hälsa.

Verksamheterna behöver identifiera möjliga anpassningsåtgärder inom verksamhetens rådighet, till exempel kring rutiner, schemaläggning, nyttjande av lokalerna etc. Särskilt fokus är på de prioriterade verksamheterna inom vård, skola och omsorgssektorn – brukarnära sektorer med sårbara grupper där det finns synergier att gemensamt ta sig an utvecklingsarbetet för att kunna skala upp till den breda verksamheten i nästa led.

Exempelvis kan dessa tre nedanstående grupper påverkas särskilt vid exempelvis *värmeböljor*.

Vård- och omsorgsboenden

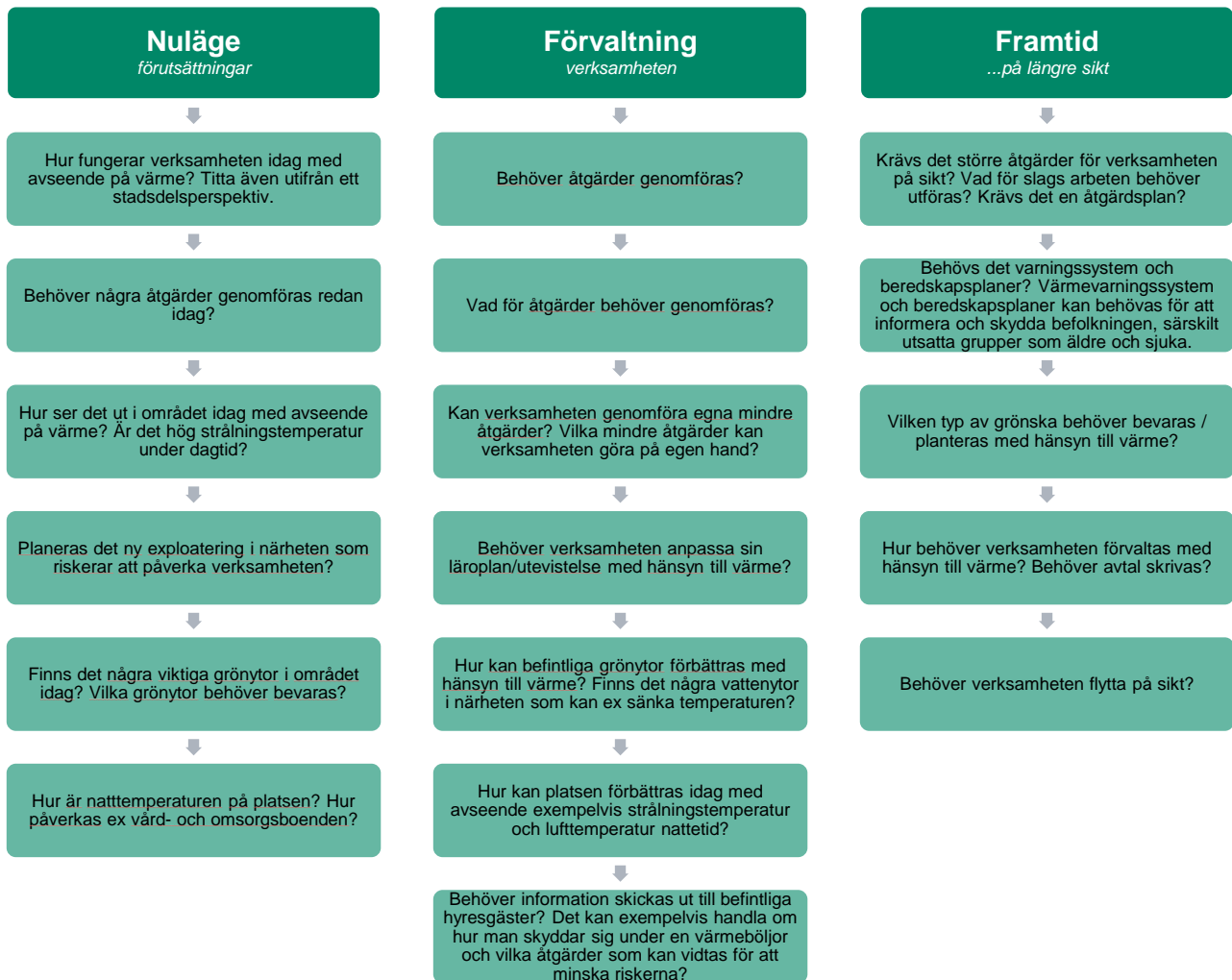
Vård- och omsorgsboenden är i regel mer känsliga för *lufttemperatur nattetid* eftersom verksamheten är aktiv även under nätter. Detta gör att kartan *lufttemperatur nattetid* är särskilt intressant för vård- och omsorgsboenden. Utöver brukarna, så bör även analysen beakta arbetsmiljön för de individer som arbetar på vård- och omsorgsboenden.

Vård- och omsorg i den egna bostaden samt hemtjänst

Idag bor många äldre och funktionshindrade i egna bostäder och inte på ett särskilt vård- och omsorgsboende, vilket medför att dessa grupper har exempelvis hemtjänst. Analysen behöver även göras för denna grupp eftersom dessa människor i regel har begränsad möjlighet att lämna sin bostad under exempelvis värmeböljor eller göra egna åtgärder i sin bostad. Exempelvis kan kartorna *strålningstemperatur*, *lufttemperatur nattetid* och kartan med antal timmar med ohälsosam strålningstemperatur användas för att kartlägga var det finns risker. Utöver brukarna, så bör även analysen beakta arbetsmiljön för de individer som arbetar inom hemtjänsten.

Förskolor

Förskolor å andra sidan är mer utsatta för högre risk under dagtid när det är soligt och varmt. Därmed är kartan med strålningstemperatur samt kartan med antal timmar med ohälsosam *strålningstemperatur* särskilt intressanta eftersom de visar upplevda temperaturer på platsen samt hur ofta det är höga temperaturer mellan klockan 07-19. Detta är relevant eftersom förskolor i regel nyttjar sin förskolegård under dagtid. Vid en värmebölja bör eventuella risker med utevistelse beaktas och hur risk för hälsoskadlig värme kan minimeras. Genom att utföra aktuell analys kan verksamheten göra anpassningar under sommarhalvåret för att minimera ohälsosam värme. Utöver förskolebarnen, så bör även analysen beakta arbetsmiljön för de individer som arbetar på förskolan.

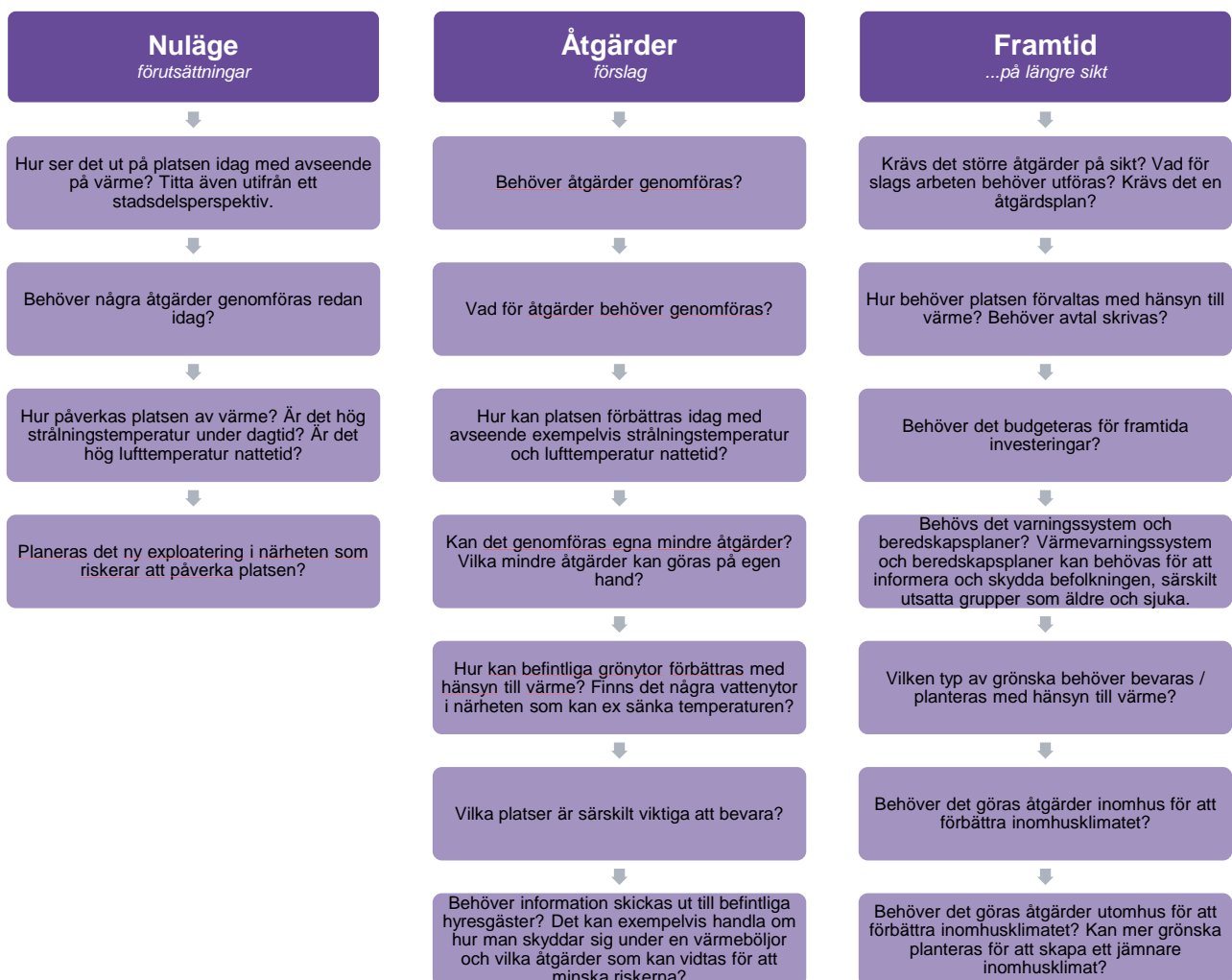


4.4 Förvaltning av befintliga staden med fokus på att skapa och bevara svala områden och korridorer.

I den befintliga staden är det inte enbart fokus på fysiska åtgärder utan kan också inkludera åtgärder med informationsspridning eller mindre anpassningar. Det behövs en generell kunskapshöjning i frågan och ett organiserat samarbete för att hitta nya lösningar. Fokus i förvaltning av den befintliga staden ska dels vara att bevara de svala områdena och *gröna kilarna*, likaväl som att skapa och utveckla nya *svala områden*. Det är också kostsamt och komplext att bygga om befintliga byggnader och platser. Därför kan det vara bra att arbeta med mer grönska och mindre andel hårdgjorda ytor från första början. I den befintliga staden kan extremvärme också behöva hanteras vid planering av ex evenemang och turistdestinationer där mycket folk vistas.

I förvaltningen finns det två primära delar: **klimatanpassning** och **krishantering**.

Klimatanpassning är ett långsiktigt arbete och där hanteras förändringar successivt. I krishantering är det mer akuta insatser i kris, såsom vid värmeböljor där det krävs organisering och kompetens. Klimatanpassning och krishantering behöver hanteras gemensamt och stärker stadens förmåga att hantera klimatförändringarna på kort och lång sikt.



5 Referenser

- Folkhälsomyndigheten. (2018). *Värmestress i urbana - Förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse*. Folkhälsomyndigheten.
- Göteborg Stad. (2021). *Göteborg stads miljö- och klimatprogram 2021-2030*. Göteborg: Göteborg stad.
- Göteborgs stad. (2018). *Luftkvalitet och meteorologiska data, månadsrapporter*. Hämtat från Öppna data: https://goteborg.se/wps/portal/start/kommun-och-politik/sa-arbetar-goteborgs-stad-med/digitalisering/oppna-data/sok-oppna-data/oppna-data---datamangd#esc_entry=46&esc_context=6
- SMHI. (den 14 06 2023c). *Temperatur*. Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur>
- SMHI. (den 3 maj 2024). *SMHI*. Hämtat från Tropiska nätter och tropiska dygn: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur/tropiska-natter-1.1085>
- Thorsson et al. (2014). *Mean radiant temperature – A predictor of heat related mortality*. Urban Climate.