



CHALMERS



Urban värme

En studie om värmeböljors påverkan och potentiella åtgärder i Göteborg

Urban heat

A study about the impact of heat waves and potential measures in Gothenburg

VIKTOR GULLBERG
JULIA GUTKE
KLARA HÅKANSSON
FANNY KARLSSON
JONNA LJUNGE
HELENA NERHED SILFVERHJELM

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Avdelningen för Miljösystemanalys

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se
Kandidatarbete TEKX04-20-06

Kandidatarbete TEKX04-20-06

Urban värme

En studie om värmeböljors påverkan och potentiella åtgärder i Göteborg

Urban heat

A study about the impact of heat waves and potential measures in Gothenburg

VIKTOR GULLBERG
JULIA GUTKE
KLARA HÅKANSSON
FANNY KARLSSON
JONNA LJUNGE
HELENA NERHED SILFVERHJELM

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelningen för Miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Urban värme
En studie om värmeböljors påverkan och potentiella åtgärder i Göteborg

VIKTOR GULLBERG
JULIA GUTKE
KLARA HÅKANSSON
FANNY KARLSSON
JONNA LJUNGE
HELENA NERHED SILFVERHJELM

© Viktor Gullberg, Julia Gutke, Klara Håkansson, Fanny Karlsson, Jonna Ljunge, Helena Nerhed Silfverhjem, 2020

Kandidatarbete TEKX04-20-06
Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Flygbild över området Olivedal och Masthugget. Till vänster visas även Skansen kronan. Av Viktor Gullberg

Göteborg, 13 maj 2020
Gothenburg, 13 May 2020

Förord

Förestående kandidatarbete genomfördes under våren 2020 vid avdelningen för miljösystemanalys på Chalmers tekniska högskola. Arbetet grundades i det genuina intresse som väcktes hos författarna i samband med värmeböljan i Sverige sommaren 2018 och kom till som resultat av ett egeninitierat projektförslag. Urbana värmeöar är en välstuderad företeelse inom internationell forskning men återfinns i betydligt mer begränsad grad i utbudet av svenska publikationer, vilket väckte författarnas nyfikenhet.

Författarna vill först rikta ett tack till alla personer som genom deltagande i intervjustudien har bidragit med perspektiv och kunskap. Ett stort tack riktas även till handledare Ulrika Palme som genom arbetets gång väglett och utvecklat arbetet med nya synvinklar och perspektiv. Under arbetets gång har Ulrika stöttat och uppmuntrat oss att utforska ämnet fritt men vetenskapligt.

Förhoppningen är att denna rapport ska väcka intresse för frågan om urban värme och synliggöra behovet av vidare studier av städers beredskap inför värmeböljor.

Tack!

Abstract

Global warming will result in an increased frequency, intensity and duration of heat waves. Extreme temperatures have a negative impact on human health, and heat waves are the major cause of deaths related to natural hazards. Urban areas are more vulnerable to heat waves than rural areas, a consequence of the urban heat island effect – that urban areas due to their characteristics get warmer than rural areas. Despite this, there are currently no preventative work being carried out in Gothenburg on reducing the risk caused by higher temperatures.

This report aims to compile different factors contributing to the urban heat island and measures to reduce their effect. In addition, the aim is to study the suitability of different measures in Gothenburg and investigate if identification of specific risk areas in Gothenburg is possible. The theoretical framework covers global warming and how climate is expected to change over time. Different definitions of heat waves and associated health risks are also covered.

In order to compile factors contributing to the urban heat island a literature study was conducted. Interviews were held to put existing scientific findings in a Swedish context. Additionally, a mapping of heat island factors in Gothenburg was conducted in the geospatial processing program ArcMap to find potential risk areas in Gothenburg

The most important contributing factors of the heat island are the density of the city and the proportion of green spaces, which are also linked. Through mapping, the district Olivedal was identified as a potential risk area, where temperature might become extremely high. Olivedal is also home to a great number of elderly people, who are more vulnerable to heat stress. There is a need for further studies in order to draw more reliable conclusions regarding heat variations in Gothenburg and gain a deeper understanding of which local measures are suitable.

The report is written in Swedish.

Keywords: Urban heat island, heat wave, climate adaption

Sammanfattning

Global uppvärmning kommer leda till att förekomsten, intensiteten och varaktigheten av värmeböljor ökar. Extrema temperaturer påverkar hälsan negativt och värmeböljor är en av de främsta orsakerna till miljörelaterade dödsfall globalt. Tätorter och urbana miljöer drabbas hårdare av värmeböljor än omkringliggande områden vilket är en konsekvens av den så kallade värmeöeffekten – att urbana områden blir varmare än landsbygden. Trots det arbetas det idag inte aktivt i Göteborg med förebyggande åtgärder mot risker kopplade till förhöjda temperaturer.

Arbetet syftade till att sammanställa de faktorer som bidrar till, och åtgärder för att motverka, värmeöar. Vidare avsåg arbetet att diskutera lämpligheten av åtgärderna med avseende på implementering i Göteborg. Slutligen syftade arbetet till att undersöka huruvida identifiering av riskområden i Göteborg är möjligt. För att introducera ämnet sammanställdes bakgrundslitteratur som behandlar förväntade klimatförändringar. Dessutom redogörs för olika definitioner av värmeböljor samt vilka associerade hälsorisker som finns.

För att besvara frågeställningen om vilka faktorer som bidrar till att förstärka en värmeö gjordes en litteraturstudie av befintlig forskning. En intervjustudie genomfördes för att sätta existerande vetenskapligt material i en svensk kontext och en kartläggning i det geografiska informationssystemet ArcMap användes för att undersöka potentiella riskområden i Göteborg.

De faktorer som verkar ha störst inverkan på värmeöar är bebyggelsens täthet och andelen grönyta, vilka också hänger ihop. Genom kartläggningen kunde stadsdelen Olivedal identifieras som ett potentiellt område som riskerar att nå extremt höga temperaturer. I Olivedal bor dessutom ett stort antal äldre invånare vilka löper större risk att utsättas för värmestress. Slutsatsen är att vidare studier krävs för att med större säkerhet utröna Göteborgs intraurbana värmevariationer och bredda perspektivet kring bedömningen av vilka åtgärder som lämpar sig lokalt.

Rapporten är skriven på svenska.

Nyckelord: Urban värmeö, värmebölja, klimatanpassning

Ordlista

Antropogen – ”påverkad, skapad eller orsakad av människan” enligt Nationalencyklopedin (2020a).

Emissivitet – mått på andelen långvågig strålning som frigörs från en yta där noll innebär att ingen strålning frigörs och ett analogt innebär att mycket strålning frigörs (Hagentoft, 2001).

Evapotranspiration – den totala avdunstningen från vegetation och öppet vatten (Nationalencyklopedin [NE], 2020b).

Gatukanjon – (engelska: urban canyon) en gata eller väg som omgärdas av byggnader (American Meteorological Society, 2012).

Himmelsfaktor – ett mått på andelen himmel i jämförelse med bebyggelse som kan ses från en viss plats på marken (Middel, Lukasczyk, Maciejewski, Demuzere, & Roth, 2018).

Medelstrålningstemperatur - ett mätvärde som relaterar till den av människan upplevda värmen och karaktäriseras av stora intraurbana variationer, till skillnad från lufttemperaturen (Lau, Lindberg, Rayner, & Thorsson, 2015).

RCP4,5 – utsläppsscenario som baseras på kraftfull klimatpolitik och att koldioxidutsläppen kulminerar vid 2040, samt att befolkningen behålls under 9 miljarder i slutet av seklet. RCP står för Representative Concentration Pathways (SMHI, 2018).

RCP8,5 – utsläppsscenario där koldioxidutsläppen fortsätter öka till tre gånger dagens nivåer i slutet av seklet, befolkningen ökar till 12 miljarder och klimatpolitiken uteblir (SMHI, 2018).

Vertikal förtätning – nybyggnation av våningar på redan befintliga hus (Vuckovic, Loibl, Tötzer, & Stollnberger, 2019).

Värmestress – betecknar det tillstånd i vilket kroppens temperaturreglering, som utgörs av svettning och ökat blodflöde, slutar att fungera. Resultatet blir att kroppens temperatur stiger med påföljande påfrestningar för bland annat hjärta och andning (Folkhälsomyndigheten, 2018a)

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Syfte	2
1.2 Problemanalys	2
1.2.1 Frågeställningar	4
1.3 Avgränsningar	5
2. Metod	6
2.1 Metod för litteraturstudie	7
2.2 Metod för intervjustudie	8
2.2.1 Urval av intervjuobjekt	8
2.2.2 Utformning av intervjuer	9
2.2.3 Genomförande av intervjuer	10
2.3 Metod för kartläggning av riskområden	10
2.3.1 Metod för kartläggning av faktorer i naturlig miljö	12
2.3.2 Metod för kartläggning av faktorer i bebyggd miljö	12
2.3.3 Metod för kartläggning av demografi	13
2.4 Bearbetning av data	15
3. Ett varmare klimat	16
3.1 Global uppvärmning	16
3.1.2 Globala mål	17
3.1.3 Sveriges klimatpolitiska ramverk	18
3.2 Värmeböljor	19
3.3 Göteborgs klimat	20
3.4 Höga temperaturers påverkan på hälsa	21
3.4.1 Riskgrupper	22
3.4.2 Luftföroreningar	23
4. Resultat och analys	24
4.1 Värmeöns påverkande faktorer och åtgärder	24
4.1.1 Påverkande faktorer i naturlig miljö	24
4.1.2 Påverkande faktorer i bebyggd miljö	25
4.1.3 Urbanisering och förtätning	31
4.1.4 Åtgärder	33
4.2 Intervjustudie om urban värme i Göteborg	38
4.2.1 Åtgärder i bebyggd miljö	40
4.2.2 Intervjuobjektens syn på urbana riskområden	45
4.3 Kartläggning av potentiella riskområden i Göteborg	47
4.3.1 Kartläggning av påverkande faktorer i naturlig miljö	48
4.3.2 Kartläggning av påverkande faktorer i bebyggd miljö	49
4.3.3 Demografisk kartläggning	54
4.3.4 Resultaterande geografiskt riskområde	57
5. Diskussion	63
5.1 Metoddiskussion	63
5.1.1 Om litteraturstudien	63
5.1.2 Om intervjustudien	64
5.1.3 Om kartläggningen	66

5.2 Avgränsningarnas påverkan på resultatet	66
5.3 Resultatdiskussion	67
5.3.1 Om faktorer	68
5.3.2 Om åtgärder	69
5.3.3 Om identifiering av riskområden	72
6. Slutsatser	74
Referenser	76
Bilder	89
Bilaga 1. Intervjumall	
Bilaga 2. Tabell intervjuobjekt	
Bilaga 3. Beräkning demografi	
Bilaga 4. Albedo och emissivitet	
Bilaga 5. Volymetrisk värmekapacitet	

1. Inledning

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) uppger i en rapport utgiven 2018 att mänsklig aktivitet har orsakat en global genomsnittlig uppvärmning med ungefär 1 °C jämfört med förindustriella nivåer. I samma rapport beskrivs att en global uppvärmning på 1,5 °C troligen nås mellan år 2030 och 2052 om uppvärmningen fortsätter öka i nuvarande takt. Orsaken är de antropogena utsläpp av växthusgaser som koldioxid, metan och lustgas vars nivåer i atmosfären nu är högre än vad de varit på minst 800 000 år, och vars motor varit den populations- och ekonomiska tillväxt som pågått sedan den industriella revolutionen (IPCC, 2014).

IPCC:s senaste så kallade assessment report (svenska: utvärderingsrapport) från 2014 fastställer att oavsett vilket utsläppsscenario som beaktas, det vill säga oavsett hur mycket världen framöver lyckas minska utsläppen av olika växthusgaser, så förväntas yttemperaturen fortsätta öka under resten av 2000-talet. Vidare beskrivs att en sådan oundviklig, fortsatt uppvärmning av jordens klimat innebär att många associerade risker inte längre kan undvikas även om samtliga växthusgasutsläpp skulle stoppas med omedelbar verkan.

Värmeböljor och andra extrema väderhändelser är bara exempel på de risker för vilken sannolikheten ökar i samband med ett varmare klimat (IPCC, 2014). Inom klimatforskningsenheten vid Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI, 2017) har man räknat på sannolikheten för olika typer av framtida extremväder och kommit fram till att de extrema temperaturer som hittills har inträffat med ett intervall på 20 år i delar av Sverige kan börja återkomma vart tredje till vart femte år. Även IPCC (2014) bedömer att det är mycket troligt att värmeböljor globalt kommer inträffa oftare och pågå under längre perioder i framtiden.

Globalt sett är värmeböljor en av de främsta orsakerna till miljörelaterade dödsfall (Jedlovec, Crane, & Quattrochi, 2017). Under värmeböljan som drabbade Sverige sommaren 2018 observerades att överdödligheten uppgick till 700 dödsfall under veckorna 23–35 (Folkhälsomyndigheten, 2018b). En av de främsta predisponerande omständigheterna för värmerelaterade dödsfall i utvecklade länder är ålder (McGregor, Bessemoulin, Ebi, & Menne, 2015) vilket innebär att äldre personer utgör en viktig riskgrupp. Även personer med kroniska sjukdomar, funktionsvariationer samt små barn och gravida utgör riskgrupper för värmestress (Folkhälsomyndigheten, 2018a).

Hälsorisker associerade med värmeböljor ökar i betydelse i tätorter, då temperaturen där kommer att vara högre än i den kringliggande obebyggda miljön (Folkhälsomyndigheten, 2018a). Skillnaden i temperatur är framförallt märkbar nattetid och beror på att avkylningen under slutet av dagen går långsammare i tätbebyggd miljö. Företeelsen kallas urban värmeöeffekt (engelska: urban heat island effect) och beror till exempel av bebyggelsens täthet,

andel hårdgjord yta, andel vegetation samt den värme som på olika sätt skapas av invånarna. Som ett exempel kan nämnas att en 6 °C varmare urban ö kan bildas av en tätort med 100 000 invånare (Folkhälsomyndigheten, 2018a). För referens bor för närvarande knappt 600 000 personer i Göteborg (Stadsledningskontoret Göteborgs Stad, 2020).

Att tätorten blir varmare än landsbygden berör majoriteten av oss, eftersom över hälften av jordens befolkning nu lever i urbana miljöer (Förenta nationerna [FN], 2019). FN:s prognos är att andelen väntas nå 68 procent till år 2050. I Sverige är siffran redan mycket högre; här bodde 85 procent av invånarna i tätorter år 2015 enligt Statistiska Centralbyråns (SCB) uppgifter från samma år. Bara i Göteborg väntas invånartalet öka med över 150 000 personer under de kommande 20 åren enligt den senaste befolkningsprognosen (Stadsledningskontoret Göteborgs Stad, 2020).

1.1 Syfte

Förestående arbete har för avsikt att utgöra en övergripande kunskapsbas som sammanställer både inverkan på, samt potentiella åtgärder för att motverka, den urbana värmeöeffekten. Vidare avses att inom projektet analysera huruvida Göteborg kan vara föremål för intraurbana värmevariationer. Slutligen syftar arbetet till att diskutera åtgärder som motverkar värmeöeffekten med avseende på lämplighet för implementering i Göteborg.

Förhoppningen är att rapporten ska tydliggöra konsekvenserna av värmeböljor i Göteborg och samtidigt inspirera relevanta myndigheter och verksamheter till val som enligt befintlig vetenskaplig litteratur har påvisad effekt att minska följderna av extrem värme.

1.2 Problemanalys

År 2018 gjordes ett tillägg till Plan- och bygglagen (PBL) som innebär att kommuner i sin översiktsplan ska beskriva risken för skador som kan uppkomma till följd av klimatrelaterade händelser, samt hur dessa risker kan minskas eller stoppas (Boverket, 2018). I PBL:s tredje kapitel 5 § (SFS 2010:900) preciseras nu att sådana riskanalyser ska genomföras med avseende på översvämning, ras, skred och erosion. Extremt väder, och följaktligen även värmeböljor, inkluderas inte i kravet trots att flera studier visar på sambandet mellan värmeböljor i städer och en ökad dödlighet (ex. Dousset et al., 2011; Gabriel & Endlicher, 2011; Michelozzi et al., 2005).

Trots att Göteborgs nu gällande översiktsplan antogs år 2009, nio år innan det beslutades om tillägget i PBL, fanns en viss medvetenhet gällande behovet av klimatanpassning redan då. I översiktsplanens tredje del *Riksintressen, miljö och riskfaktorer* definieras ett antal riskfaktorer som kan komma att påverka den bebyggda miljön, där skredrisk och extremt väder ingår. Det framgår dock i beskrivningen av potentiella effekter på olika samhällssektorer att det

framförallt är höga vattennivåer och skyfall som avses med extremt väder. För stadsbyggnad anges till exempel att ”mycket stora värden riskeras av de framtida klimatscenarierna främst på grund av höga vattennivåer i havet och älven” (Stadsbyggnadskontoret Göteborgs stad, 2009). Enbart effekter på dricksvattenförsörjningen relateras i någon mån till höga temperaturer, utöver att den uppges vara känslig för långvarigt regn, högt vattenstånd samt saltuppträngning.

I den nya översiktsplan som för närvarande utarbetas för Göteborg (Göteborgs Stad, 2019a) återstår det att se i vilken omfattning konsekvenser av framtida värmeböljor beaktas och om urbana värmeöar ens omnämns. Med hänsyn till att en konsekvensanalys med avseende på värmeböljor inte ingår i de lagstadgade kraven för översiktsplanläggning går det att anta att risken finns att klimatanpassning med avseende på extrem värme bortprioriteras. Dessutom inkluderas inte åtgärder kopplade till värmeböljor i Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps (MSB, 2020) finansieringsstöd till kommuners förebyggande arbete med klimatanpassning, vilket ytterligare förstärker tesen att kommuner i allmänhet saknar incitament att hantera frågan.

Varför värmeböljor inte ges samma prioritet i lagstiftningen som översvämning, ras, skred och erosion är en fråga för en helt annan rapport. Värt att notera i sammanhanget är dock att tillgången till vetenskapligt material på svenska om värmeböljor är begränsad vid jämförelse med exempelvis engelska publikationer. En sökning på ’urban heat island’ ger 21 900 resultat publicerade efter 2016 på Google Scholar medan sökningen ’urban värmeö’ ger 52 resultat. Därtill visar en översiktlig litteraturgenomgång att merparten av den befintliga litteraturen, både på svenska och engelska, går ner på djupet av olika mekanismer med påverkan på städer under värmeböljor, snarare än att ge den helhetsbild som krävs ur ett samhällsplaneringsperspektiv. Exempel på litteratur som uppvisar ett mer spetsigt perspektiv i frågan finns i form av *The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete* (Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey, 2017), *The role of city size and urban form in the surface urban heat island* (Zhou, Rybski, & Kropp, 2017) samt *Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia* (Estoque, Murayama, & Myint, 2017).

Tendensen att studier fokuserar på enstaka fenomen eller mätindex relaterade till den urbana värmeön följer troligen naturligt av ämnets komplexitet och återspeglas även i det märkbart begränsade antal studier som behandlar värmeböljor i relation till Göteborg. Thorsson et al. (2017) undersöker till exempel nuvarande och prognosticerade medelvärden av strålningstemperatur för tre europeiska städer, däribland Göteborg. I studien undersöks effekten av utplacering av träd i syfte att minska strålningsvärmens dagtid, men inga andra svalkande åtgärder beaktas. Dessutom innebär studiens geografiska avgränsning, bestående av ett mindre område kring Gustav Adolfs Torg, att resultatet knappast kan användas som underlag för slutsatser om Göteborg i sin helhet.

Ett annat angreppssätt bland relevant litteratur om värmeböljor och urbana värmeöar återfinns i Folkhälsomyndighetens rapport *Värmestress i urbana utomhusmiljöer* från 2018, som utifrån en nationell kontext summerar kunskapsläget kring höga utomhustemperaturer och var i en tätort de uppstår. Även åtgärder som kan vidtas för att minska värmestress berörs samtidigt som metoder för kartläggning av värmestress exemplifieras. Rapportens målgrupp uppges vara ”verksamhetsutövare såsom offentlig och privat fastighetsförvaltning och kommunal gatu- och parkförvaltning”. *Värmestress i urbana miljöer* är således relativt unik i sitt format både genom att belysa värmeböljor ur en svensk synvinkel samt att anlägga det helhetsperspektiv som blir till större nytta för verksamheter inriktade mot samhällsbyggnad och stadsplanering.

För att kartlägga de konsekvenser och risker som är specifika just för Göteborg krävs dock ytterligare fördjupning i lokala data. Folkhälsomyndigheten (2018a) förklarar förekomsten av nationella variationer i relation till begreppet optimal temperatur (temperaturen då temperaturrelaterad dödlighet är som lägst). Den optimala temperaturen varierar både mellan länder men även inom ett land (Keatinge, 1997; Keatinge et al., 2000), med påföljden att förutsättningarna för att hantera värmeböljor också kommer variera mellan svenska städer. Folkhälsomyndigheten (2018a) skriver vidare:

Sambandet mellan lufttemperatur och värmerelaterad dödlighet är väl beskrivet i litteraturen, liksom att dödligheten är större hos den urbana befolkningen än hos den rurala vid intensiva värmeböljor. Däremot finns i stort sett ingen forskning om sambandet mellan intraurbana variationer av värmestress och värmerelaterad dödlighet, dvs. ifall risken att dö av värmestress är högre i en viss typ av bebyggelse. (s. 14)

En kartläggning av förekomsten av olika faktorer kan bidra till att ge en indikation om vilka områden i staden som potentiellt är extra utsatta vid värmeböljor (Folkhälsomyndigheten, 2019a). Varierande förutsättningar i, och egenskaper hos, olika stadsdelar i kombination med förekomst av riskutsatta grupper eller verksamheter gör frågan om eventuella lokala riskområden särskilt intressant. Områden som innehåller multipla riskfaktorer bör även beaktas i första hand när det kommer till att vidta åtgärder mot höga temperaturer i den urbana miljön.

1.2.1 Frågeställningar

Mot ovanstående problemanalys ämnar arbetet besvara följande frågor:

- Vilka faktorer bidrar till värmeöar?
- Vilka åtgärder för att minska effekten av värmeöar är lämpliga att implementera i Göteborg?
- Går det att identifiera särskilda riskområden i Göteborg?

1.3 Avgränsningar

I de avsnitt av rapporten som behandlar värmeböljor eller extremt höga temperaturer avses, om inget annat anges, värmeböljor som inträffar under årets varmaste period. Ovanligt höga temperaturer kan noteras även under vinterhalvåret, eftersom temperaturen på jorden till följd av klimatförändringarna överlag blir högre, men konsekvenser av sådana perioder tas inte upp.

Beträffande åtgärder för att minska effekterna av värmeböljor och höga temperaturer begränsas arbetet till att endast undersöka åtgärder som sänker lufttemperaturen ute i stadsrummet. Åtgärder som bromsar den globala uppvärmningen, och följaktligen även bromsar höjningen av temperaturen globalt, behandlas inte. Åtgärder diskuteras dock utefter lämplighet ur ett hållbarhetsperspektiv, eftersom det hade varit kontraproduktivt att försöka sänka den lokala temperaturen med åtgärder som samtidigt bidrar till den globala uppvärmningen. Projektet fokuserar dessutom uteslutande på preventiva åtgärder. Reaktiva lösningar som exempelvis varningssystem och ökad insättning av luftkonditionering behandlas inte. Olika typer av beteende- eller livsstilsförändringar på individnivå utesluts också ur studien, som enbart berör förändringar som kan tillämpas inom samhällsbyggnad och stadsplanering.

I projektets syfte ingår att diskutera samhällsbyggnadstekniska klimatanpassningsåtgärder med avseende på implementerbarhet för Göteborg. För att möjliggöra ett urval av åtgärder avgränsas intervjustudien geografiskt till verksamheter eller forskare i Sverige, vilka kan ge ett lokalt perspektiv. Däremot har litteraturen inte begränsats till att enbart innefatta studier av ett specifikt geografiskt område eftersom majoriteten av den befintliga forskningen om urbana värmeöar utgörs av internationella publikationer.

Identifieringen av potentiella riskområden i Göteborg baseras delvis på förekomsten av påverkande faktorer och delvis på en kartläggning av riskgrupper i staden. Beträffande värmeböljor finns flera predisponerande omständigheter som ökar risken för värmestress. Författarna har enbart valt att kartlägga kategorin äldre invånare (det vill säga personer över 65 år), eftersom denna grupp enligt Åström, Forsberg och Rocklöv (2011) utgör en av de främsta riskgrupperna för förhöjd värme.

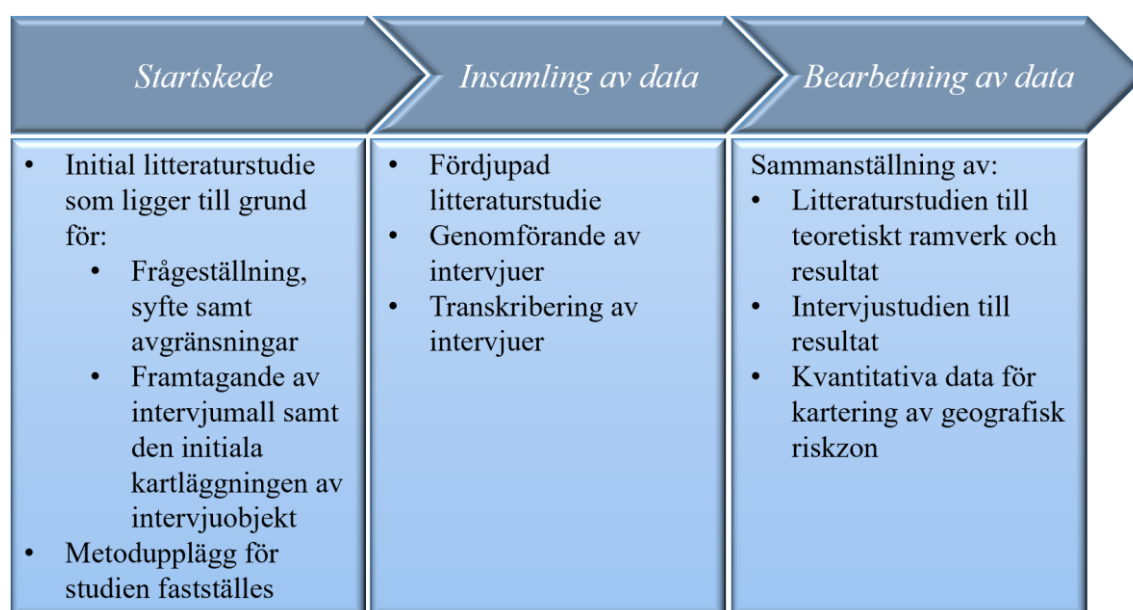
2. Metod

Projektet har tillämpat en kombination av kvalitativ och kvantitativ forskningsmetodik. Den kvalitativa metodiken användes huvudsakligen i intervjustudien, medan den kvantitativa metodiken stod för karteringen av riskområden i Göteborg. Följande kapitel inleds med en översikt av studiens arbetsprocess, vilken åskådliggörs i figur 1. Därefter följer en detaljerad beskrivning av litteraturstudien, intervjustudien och kartläggningen i respektive delkapitel.

Arbetsprocessen började med en initial litteraturstudie vars syfte var att skapa en kunskapsgrund för fastställandet av syfte, frågeställningar och avgränsningar. Med denna grund kunde sedan framtagandet av en intervjumall och ett initialt urval av intervjuobjekt påbörjas. För att sätta upp en teoretisk och praktisk referensram fastställdes ett preliminärt metodupplägg.

I projektets andra fas samlades data in från litteratur- och intervjustudier. Den initiala litteraturstudien utvecklades till en fördjupad litteraturstudie. Parallellt utfördes intervjustudien vilken bestod av genomförande av intervjuerna samt transkribering och sammanställning av materialet.

Slutfasen bestod av att sammanställa och bearbeta data från litteratur- och intervjustudier. Den fördjupade litteraturstudien användes för utformandet av rapportens teoretiska ramverk. Resultatet formulerades utefter material från litteratur, intervjuer och kartläggning, och grundades på de faktorer som identifierats i litteraturstudien. Resultatet analyserades och bearbetades därefter för att kunna besvara frågeställningarna. Slutligen diskuterades resultatet varpå slutsatser som svarade till syfte och frågeställningar fastställdes.



Figur 1. Schematisk bild över metodens olika faser.

2.1 Metod för litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes för att skapa en teoretisk grund för projektet, där litteratur sammanställdes både i syfte att forma projektets teoretiska referensram och för att besvara frågeställningarna i resultatet. Den initiala litteraturstudien skapade en kunskapsgrund så att syfte, avgränsningar, frågeställningar samt intervjumall kunde fastställas. Därefter utvecklades den till en mer grundlig insamling av data som huvudsakligen användes för att besvara frågeställningarna angående faktorer och åtgärder (se kapitel 1.2.1 *Frågeställningar*).

Eftersom projektet syftade till att undersöka hur värmeböljor påverkar en stad och hur staden kan klimatanpassas med avseende på värme var många olika typer av litteratur relevant för studiens genomförande. Vetenskapliga artiklar användes för att erhålla en vetenskaplig grund till projektet och stödja resultatet mot forskning. För att kunna undersöka relevanta åtgärder för Göteborg användes, utöver vetenskapliga artiklar, rapporter och webbmaterial från olika svenska institutioner, myndigheter och kommuner. Litteraturstudien innefattade även klimatanpassningsrapporter från andra städer och länder som kommit längre i sitt klimatanpassningsarbete mot värmeböljor. De sökportaler som används är Google och databasen Google Scholar. Använda sökord presenteras i tabell 1 och tabell 2, och användes enskilt eller i kombination med ett eller flera avsmalningsord för att precisera och avgränsa sökningen. Enstaka litterärt material påträffades via källhänvisning från andra källor och har ej hittats via direkt sökning. Vissa vetenskapliga artiklar rekommenderades av intervjuobjekten.

Tabell 1.

Sökord samt avsmalningsord använda i databasen Google Scholar.

Sökord	Avsmalningsord		
Heat wave/s	Air pollution	Densification	Health
	Risk	Summer	Urban
	Urban geometry	Urban risk	
Urban heat island	City size	Consequences	Densification
	Effect	Energy balance	Factors
	Mitigation	Sea breeze	Sky view factor
	Urban ventilation	Vegetation	
Urban energy balance			
Urban green space	Cooling	Densification	
Topography	Air pollution		

Tabell 2.

Sökord samt avsmalningsord använda i sökportalen Google

Sökord	Avsmalningsord		
Anthropogenic heat	Mitigation		
Climate change	Urban resilience		
Göteborg	Befolkningsprognos Trafikstrategi	Grönyta	Stadsutveckling
Heat	Health	Light-coloured surfacing	Street Canopy
Klimatanpassning			
Urban heat island	Densification Reducing	Light surface	Mitigation
Urbanisation	Global		
Värme	Förtätning Åtgärder	Hälsa	Kartläggning
Värmebölja	Definition	Topografi	Åtgärder
Värmeö	Värmestress	Åtgärder bebyggd miljö	

2.2 Metod för intervjustudie

Intervjustudien syftade till att ge en inblick i arbetet med värmerelaterad klimatanpassning lokalt i Sverige och inleddes i ett tidigt skede genom kontakt med personer som arbetar med stadsplanering, klimatanpassning i staden eller forskning inom klimat och värme. Enligt Kvale (1997) kan en forskningsintervju utföras på olika sätt. En kvalitativ intervju fokuserar på intervjuobjektens ståndpunkt och är lämplig för att erhålla kunskap om det undersökta systemet, medan en kvantitativ intervju eftersträvar ett kvantifierbart resultat. Kvale beskriver vidare att även strukturen för en intervju varierar. I en ostrukturerad intervju formulerar intervjuaren frågor helt fritt, medan intervjuaren i en semistrukturerad intervju förhåller sig efter en mall med möjlighet att fritt ställa följdfrågor. En strukturerad intervju förhåller sig däremot helt till en mall. Syftet med projektets intervjuer var att erhålla ett så brett perspektiv som möjligt genom öppen diskussion med intervjuobjekten. Därför utformades en mall i syfte att skapa kvalitativa och semistrukturerade intervjuer.

2.2.1 Urval av intervjuobjekt

Efter fastställandet av projektets syfte och frågeställningar påbörjades efterforskningar av möjliga intervjuobjekt. Det första urvalet utgick från intervjuobjektens relevans för studien baserat på deras kunskap och erfarenhet av värmeböljor eller klimatanpassning. Under den initiala litteraturstudien studerades rapporter från olika verksamheter och information om pågående forskningsprojekt inom ämnet, vilket ledde till flera förslag på relevanta personer att intervjua. En genomgång av verksamheter som på olika nivåer i samhället arbetar med klimatanpassning, och därigenom potentiellt har kännedom om värmeböljors effekter i svenska städer, möjliggjorde ett ytterligare urval av relevanta intervjuobjekt.

Genomförandet av intervjuerna från det första urvalet möjliggjorde en succesiv tillämpning av ett så kallat snöbollsurval, vilket innebär att personer från det första urvalet rekommenderar nya intervjuobjekt som de anser vara lämpliga att ingå i studien (Holme & Solvang, 1997). Snöbollsurvalet tillämpades endast i ett steg efter det första urvalet eftersom det andra steget innebär att de flesta nya rekommendationerna gällde personer som redan hade intervjuats. Samtliga intervjuobjekt presenteras i tabell 3.

Tabell 3.

Samtliga intervjuobjekt för intervjustudien presenterade i kronologisk ordning. Om fler än en person har intervjuats samtidigt redovisas de på samma tabellrad.

Namn	Verksamhet	Befattning	Urval
Eva-Lena Torudd	Stadsledningskontoret Göteborgs Stad	Planeringsledare klimatanpassningssamordning	Första urval
Deliang Chen	Göteborgs Universitet	Professor	Första urval
Özüm Durgun	Research Institutes of Sweden (RISE)	Forskare	Första urval
Maria Håkansson		Forskare	Första urval
David Hirdman	Lerums kommun	Strategisk samhällsplanerare- klimatpassning	Snöbollsurval
Ulf Moback	Stadsbyggnadskontoret Göteborgs Stad	Klimatstrateg	Snöbollsurval
Fredrik Lindberg	Göteborgs Universitet	Forskare	Snöbollsurval
Sofia Thorsson		Professor	Snöbollsurval
Lars Westholm	Länsstyrelsen	Projektledare klimatanpassning	Första urval
Anna Jonsson	SMHI	Vatten- och klimatanpassningsexpert	Första urval
Karin Lundgren		Hälsa- och klimatanpassningsexpert	Snöbollsurval
Kownacki			
Merja Willman	Norrköpings kommun	Koordinator hållbar utveckling	Snöbollsurval
Eva Liljegren	Trafikverket	Utredare riktade miljöåtgärder	Snöbollsurval
Ulrika Åkerlund	Boverket	Projektledare	Snöbollsurval

2.2.2 Utformning av intervjuer

Intervjumallen (se bilaga 1) utformades med ett antal förberedande, breda, frågor för att möjliggöra utvecklande och öppna svar samt diskussion. Frågorna utgick dessutom från ett brett perspektiv på värmeböljor så att de kunde ställas till flera olika aktörer och skapa förutsättningar för en omfattande intervjustudie. Upplägget i intervjuerna följde intervjumallen men anpassades under respektive intervju, då följdfrågor uppstod och flera frågor i mallen ofta besvarades samtidigt. Inför vissa intervjuer anpassades även detaljer i mallen för att bli mer relevanta med avseende på intervjuobjektets roll och befattning. Om intervjuobjektet exempelvis hade en ledande roll utan specifika spetskunskaper inom värmeböljor anpassades mallen till att ha en mer generell inriktning.

2.2.3 Genomförande av intervjuer

Genomförandet av intervjuerna skedde i största möjliga mån genom fysiskt möte på intervjuobjektens arbetsplatser. I de fall då de intervjuade var stationerade i andra städer ansågs fysiska möten inte praktiskt genomförbara varpå intervjuerna i stället genomfördes över Skype eller telefon. Bilaga 2 beskriver hur och när samtliga intervjuer genomfördes samt samtalslängd. Projektets bakgrund och frågeställningar delgavs samtliga intervjuobjekt redan vid förfrågan om intervju. Intervjufrågorna skickades dock ut i förväg endast om så efterfrågades, vilket var fallet inför tre av intervjuerna.

Vid varje intervju deltog två författare. En person ansvarade för att leda intervjun med hjälp av mallen medan den andra antecknade och flikade in med följdfrågor, antingen under samtalet eller när intervjuledaren var helt klar med sina frågor. Samtliga intervjuer inleddes med frågan om intervjuobjektet godkände inspelning av intervjun samt huruvida denne önskade citeras anonymt eller ej. Majoriteten av intervjuobjekten intervjuades enskilt men vid enstaka tillfällen intervjuades två intervjuobjekt tillsammans, till exempel med anledning av att de deltagit i samma forskningsprojekt. Intervjuerna varade i ungefär 20–60 minuter och transkriberades och sammanställdes kort efter genomförandet. Samtligt transkriberingsmaterial finns tillgängligt vid förfrågan. Frågor som uppstod efter intervjutillfället ställdes och besvarades via mejl.

2.3 Metod för kartläggning av riskområden

För att identifiera värmerelaterade riskområden i Göteborg konstruerades en empirisk GIS-modell (GIS: Geographical Information System). GIS-modellen behandlade data gällande de faktorer som inom litteraturstudien fastslagits påverka urbana värmeöar. I tabell 4 redovisas och motiveras vilka faktorer som modellerades i karteringen. Faktorerna kategoriserades vidare utifrån vilka som förekommer i naturlig eller bebyggd miljö samt vilka som relaterar till demografi.

Tabell 4.

Översikt av definierade respektive kartlagda faktorer inom studien.

Faktor	Inkluderad i kartläggningen	Förtydligande	Motivering till eventuellt urval
Geografiskt läge	Nej		Ej relevant för intraurbana variationer
Topografi	Ja		
Bebyggelsens geometri	Delvis	Kartlagd i form av 'Bebyggelsetäthet'. Andra geometriska parametrar som t.ex. byggnaders orientering och höjd beaktas ej.	Kartläggning av byggnadshöjd ansågs för omfattande. Övriga indata saknades.
Stadens material och ytor	Delvis	Kartlagd i form av 'Andel hårdgjord yta'. Variationer i albedo, emissivitet och värmekapacitet mellan olika hårda material och ytor beaktas ej	Indata för albedo, emissivitet och värmekapacitet saknades
Grönytor	Ja	Kartlagd som andel låg respektive hög vegetation	
Antropogen värmeproduktion	Delvis	Kartlagd i form av 'Invånartäthet'. Trafikgenererad värmeförsel och variationer till följd av t.ex. aktivitet m.a.p. mänsklig värmeförsel beaktas ej	Kartläggning av övriga parametrar ansågs för omfattande
Urbanisering	Ja	Kartlagd i form av 'Invånartäthet'	

Folkhälsomyndighetens metodrapport *Kartläggning av bebyggelse med risk för höga temperaturer* (2019a) beskriver hur en GIS-modell kunde användas för att identifiera riskområden i Strängnäs. Författarna valde att utgå från det tillvägagångssätt som rekommenderas i Folkhälsomyndighetens rapport och komplettera modelleringen med de faktorer som genom litteraturstudien identifierades ha påverkan på urban värme. Kartläggningen av påverkande faktorer och den slutgiltiga identifieringen av potentiella riskområden i Göteborg genomfördes med hjälp av programmet ArcMap, ett GIS-program som tillhandahålls av företaget Esri.

Kartläggningen av potentiella riskområden i Göteborg utgick från ett avgränsat område som definieras i figur 8, se kapitel 4.3 *Kartläggning av potentiella riskområden i Göteborg*. Undersökningsområdet delades upp i ett rutnät vars storlek baserades på rapporten *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies* skriven av Stewart och Oke (2012), vilka anser att det studerade området vara 400–1000 meter för att erhålla ett representativt resultat på hur en lokal värmeö uppför sig. För att kunna visualisera och identifiera riskområden delades området därför upp i ett rutnät där varje ruta var 400x400 meter. För att illustrera vilket område som kartläggningen omfattar har två bakgrundsbilder använts i det resulterande riskområdet. Till figur 14 användes *Fastighetskartan: GSD-Tätorter* (Lantmäteriet, 2019a), till figur 17 och figur 19 användes *Fastighetskartan: GSD-Ortfoto* (Lantmäteriet, 2019b).

2.3.1 Metod för kartläggning av faktorer i naturlig miljö

En topografikarta framställdes för att visualisera hur Göteborgs naturliga miljö skulle kunna påverka en värmebölja i det undersökta området. Data från Lantmäteriets GSD-Höjddata grid 2+ användes som underlag för att få fram nivåskillnaderna i kartan (Lantmäteriet, 2019c). Kartläggningen av faktorer i naturlig miljö inkluderade även en kartering av vattenförekomster i det undersökta området, vilket gjordes med hjälp av Nationella Marktäckedata (NMD), ogeneraliserad version (Naturvårdsverket, 2019a). Mängden vattenyta användes sedan i karteringen av den bebyggda miljön, vilken beskrivs i följande kapitel.

2.3.2 Metod för kartläggning av faktorer i bebyggd miljö

Faktorer i bebyggd miljö kartlagdes med hjälp av NMD, ogeneraliserad version, samt Lantmäteriets Fastighetskarta med data från bebyggelsevektorer (Naturvårdsverket, 2019a; Lantmäteriet, 2019d). Faktorerna vegetation, vattenytor och hårdgjorda ytor bestämdes utifrån NMD där NMD:s ursprungsklasser först klassificerades om enligt tabell 5. Utifrån den nya klassificeringen separerades de olika faktorerna in i skilda lager som sedan kopplades till rutnätet så att andelen areal av varje faktor kunde beräknas för varje ruta. Samma teknik användes för data från fastighetskartan med syfte att redovisa andelen summerad areal av bebyggelse i varje ruta.

Tabell 5.

Klasser från Nationella Marktäckedata som ingår i de olika faktorerna som använts i kartläggningen.

Ursprungsklass i Nationella Marktäckedata	Använd klassificering i studiens kartläggning
Sjö och vattendrag Hav	Vattenytor
Öppen våtmark Åker	Låg vegetation
Öppen mark med vegetation Exploaterad mark med byggnader Exploaterad mark med väg eller järnväg Exploaterad mark utan byggnader, väg eller järnväg	Hårdgjorda ytor
Övrig öppen mark utan vegetation Skog	Hög vegetation

I karteringen behandlades vattenytor som neutrala då metodrapporten *Kartläggning av bebyggelse med risk för höga temperaturer* hävdar att sådana ytors lindrande effekt mot höga temperaturer inte är tillräckligt utforskat. Vattenytor eliminerades därför från varje rutas totala area då faktorernas andel av totalarean skulle beräknas. När samtliga data för varje faktors areaandel var sammanställda kunde riskområden identifieras. Gränsvärdena för de olika faktorerna utgick från Folkhälsomyndighetens metodrapport (2019a):

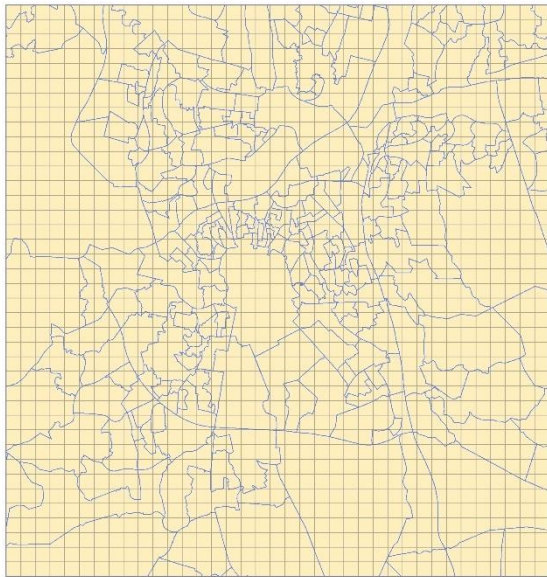
- Hög vegetation: <10 %
- Hårdgjorda ytor: >70 %
- Bebyggelse: >40 %

De områden som uppfyllde gränsvärdena ovan definierades som potentiella riskområden ur perspektivet bebyggd miljö.


2.3.3 Metod för kartläggning av demografi

En sammanställning av tillgängliga demografiska data gjordes med syfte att kartlägga områden i Göteborg med hög andel äldre invånare samt hög invånartäthet. Data hämtades från SCB (2018a) och utgick från en geografisk uppdelning som kallas *Demografiska statistikområden* (DeSo). DeSo delar upp kommuner i mindre regionala områden som möjliggör mer precisa statistiska analyser. 240 DeSo omfattades av det geografiska undersökningsområdet, vilket bedömdes vara en rimlig uppdelning då syftet var att studera intraurbana skillnader för olika stadsdelar i Göteborg.

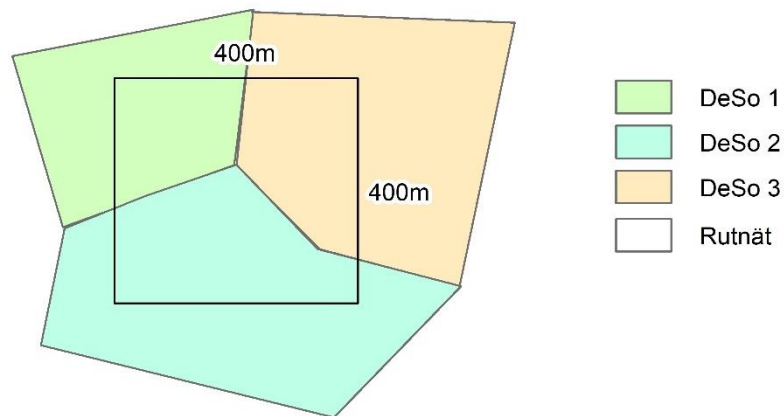
För att indelningen av DeSo skulle stämma överens med rutnätets gränser och således underlätta identifieringen av riskområden gjordes en uppdelning enligt den beskrivning som följer: Invånartätheten per kvadratkilometer och antal personer över 65 år per kvadratkilometer beräknades för varje DeSo. Som figur 2 visar så kan ett demografiskt statistikområde sträcka sig över flera rutor, därför delades alla DeSo upp efter rutnätet som resulterade i areor A_i (se sista delen av figur 2). Areorna, A_i multiplicerades med befolkningstätheten och antal personer över 65 år per kvadratkilometer för respektive DeSo för att få fram befolkningstäthet för A_i . Statistiken från alla A_i i en ruta summerades sedan för att kunna räkna ut befolkningstäthet och antal personer över 65 år per kvadratkilometer för varje ruta i rutnätet. Beräkningsgång redovisas även i bilaga 3. Rutorna med högst befolkningstäthet respektive högst antal personer över 65 år per kvadratkilometer sammanställdes sedan i en tabell.



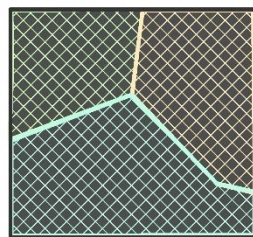
Demografiska statistikområden (DeSo) i Göteborg





-  Rutnät
-  DeSo gränser

Exempel av hur DeSo kopplats till rutnätet



-  DeSo 1
-  DeSo 2
-  DeSo 3
-  Rutnät



-  A1
-  A2
-  A3
-  Rutnät

Figur 2. Illustration över hur DeSo anpassades efter rutnätet. Areorna A_i (A_{1-3}) används i beräkningarna som redovisas i bilaga 3.

2.4 Bearbetning av data

Insamlade data från litteraturstudien viktades, tolkades och analyserades utifrån projektets syfte och frågeställningar. Vissa data från litteraturen, till exempel mer generell information om värmeböljor, användes för att utforma det teoretiska ramverket vars syfte var att sätta studien i en faktabaserad kontext. Eftersom litteraturstudien inte avgränsades geografiskt underbyggdes även litteraturen med fakta om Sveriges klimatpolitiska ramverk och Göteborgs klimat, så att resultatet kunde tillämpas på Göteborg. Litteratur som behandlade vilka faktorer som påverkar samt åtgärder som kan tillämpas för att motverka urbana värmeöar sammanställdes i resultatet i syfte att besvara relaterad frågeställning.

När samtliga intervjuer var genomförda och transkriberade sammanställdes den information som ansågs relevant för studiens frågeställningar, eller intressant för projektet i allmänhet, i ett dokument. Sammanställningen gjordes genom att två författare tillsammans läste en transkribering i taget och markerade relevanta svar varpå innehållet diskuterades och kategoriserades under olika rubriker i dokumentet. Rubrikerna definierades utifrån projektets frågeställningar i syfte att ge en överblick av hela intervjustudien och hitta de mest intressanta delarna från varje samtal. En del av intervjumaterialet sammanställdes dessutom under en ”övrigt”-rubrik, vilken samlade sådant som togs upp under intervjuerna men som inte nödvändigtvis berörde frågeställningarna. Exempel på sådana ”övriga” ämnen var huruvida Göteborg kommer påverkas av värmeböljor i framtiden, svårigheter och konsekvenser, riskgrupper, regleringar och lagar samt definition av värmeböljor.

För att tydliggöra resultatet av intervjustudien och besvara frågeställningarna gjordes en ytterligare kategorisering av det sammanställda intervjumaterialet. Den andra kategoriseringen utgick från intervjumallens frågor angående värmeböljors effekter, åtgärder och möjliga riskområden i Göteborg, och sammanställdes i tabeller som redovisade intervjuobjektens svar i kort form. Utöver tabellerna användes direkta citat från intervjuerna i resultatkapitlet för att mer utförligt beskriva vad som sagts om exempelvis en viss åtgärd och på så vis förstärka sammanhanget.

3. Ett varmare klimat

Följande kapitel syftar till att skapa en teoretisk referensram för studiens resultat. Inledningsvis beskrivs den globala uppvärmning som är orsaken till problematiken med mer frekventa och extrema väderhändelser, samt vilka globala och nationella mål som har antagits för att stävja utvecklingen med ökande temperaturer. Därefter avhandlas mer generell information om värmeböljor och vilka definitioner som kan användas. Inkluderat är även ett delkapitel om det lokala klimatet i Göteborg, i syfte att tydliggöra stadens förutsättningar inför annalkande klimatförändringar. Slutligen redogörs för höga temperaturers påverkan på människors hälsa.

3.1 Global uppvärmning

Klimatet är i en ständig förändringsprocess. Anledningen är enligt Rummukainen (2005) att klimatsystemet har olika naturliga och varierande drivkrafter. Atmosfären består av en naturlig mängd vattenånga och koldioxid, men har under det senaste århundradet förändrats och utgörs idag av en sammansättning av onaturligt höga halter av de naturliga växthusgaserna tillsammans med nya, icke naturligt förekommande gaser (Rummukainen, 2005).

Den naturliga växthuseffekten, det vill säga att stora delar av solens ingående strålning passerar genom atmosfären och värmer upp jorden, är nödvändig för liv på vår planet (SMHI, 2020a). Värmestrålning sänds ut av jordytan men hindras av växthusgaserna i atmosfären. En del av strålningen studsar mellan jordytan och atmosfären innan den lämnar jorden. SMHI (2020a) menar att denna process gör att jorden har en jämn och förhållandevis hög temperatur och att en ökning av mängden växthusgaser leder att det stannar mer värme vid jordytan som i sin tur förstärker den naturliga växthuseffekten. Den naturliga växthuseffekten är inte skadlig för jorden utan det är den så kallade förstärkta växthuseffekten som påverkar klimatet negativt (Rummukainen, 2005; IPCC, 2015). Som tidigare nämnt är vattenånga och koldioxid de viktigaste växthusgaserna men även lustgas, metan och ozon är vanliga enligt Rummukainen. Rummukainen (2005) hävdar att människans utsläpp av växthusgaser, och då främst koldioxid, bidrar till en störning i systemet och att systemet försöker balansera störningen genom klimatförändringar, det vill säga ökande temperaturer.

Sedan förindustriell tid har mängden koldioxid i atmosfären ökat med ungefär 50 procent och fortsätter att öka i en takt på cirka 0,4 procentenheter per år (Naturvårdsverket, 2019b). Koldioxid är den växthusgas som idag har störst påverkan på klimatets förändring, men även andra gaser som lustgas och metan har stor påverkan (Naturvårdsverket, 2019b). Utsläpp av växthusgaser sker enligt Naturvårdsverket (2019b) främst till följd av användning av fossila bränslen från bland annat hushåll, transporter och industri. Enligt rapporten *The Global Climate in 2015–2019*, utgiven av World Meteorological Organization (WMO), har ökningen av mängden växthusgaser lett till att den globala medeltemperaturen stigit med ungefär 1.1 °C sedan förindustriell tid. Rapporten visar att ökningen har varit extra tydlig de senaste åren

eftersom perioden 2015–2019 är den varmaste sedan mätningar initierats (Siegmund et al., 2020). Stigande temperaturer innebär enligt Siegmund et al. (2020) även att värmeböljor blir allt vanligare och allt mer intensiva.

3.1.2 Globala mål

Under Riokonferensen 1992 slöts ett fördrag vid namn United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) av FN, på svenska kallat klimatkonventionen (Nationalencyklopedin [NE], 2020c). Konventionen trädde i kraft 1994 och har godkänts av 196 stater och av den Europeiska unionen (EU). Sedan godkännandet träffas parterna normalt två gånger om året med målsättningen att begränsa klimatförändringar. Konventionen i sig ställer inga krav på att parterna ska minska sina utsläpp då det är en så kallad ramkonvention, men under de så kallade partsmötena, vilka går under namnet Conference of the Parties (COP), kommer parterna överens om förpliktande protokoll (NE, 2020c). Två betydelsefulla överenskommelser är Kyotoprotokollet från 1997 respektive Parisavtalet från 2015.

Kyotoprotokollet krävde att utsläppen av koldioxid, metan, kväveoxid, fluorklorväten, perfluorkarboner och svavelhexafluorid skulle minska med i genomsnitt med 5,2 procent jämfört med 1990 års nivåer inom loppet av den första åtagandeperioden 2008 till 2012 (Europeiska kommissionen, 2003). EU kom tillsammans överens om en minskning på 8 procent för medlemsländerna (NE, 2020c). Protokollet gällde endast de industrialiserade länderna och ställde inga krav på utvecklingsländer att följa bestämmelserna (EU, 2003). Först år 2005 hade tillräckligt många länder godkänt Kyotoprotokollet för att få det att träda i kraft. Protokollet fortsätter att utvecklas och i Doha 2012 under COP18 beslutades det att anta en andra åtagandeperiod som gäller från 2013 till 2020.

Parisavtalet är ett klimatavtal som togs fram och beslutades om i Paris 2015 under COP21 (NE, 2020c). Avtalet är det första i vilket parterna har juridiskt bindande åtaganden i form av att de avkrävs att upprätthålla nationellt bestämda mål som de har för avsikt att nå upp till (UNFCCC, u.å.). Åtagandet är inte tidsbestämt utan ska kontrolleras var femte år genom ländernas egna nationella åtagande och det gemensamma globala arbetet (Prop 2016/17:16). Parisavtalets viktigaste mål är enligt den svenska regeringen (Prop 2016/17:16) att ”den globala temperaturökningen ska begränsas till långt under två grader Celsius och ansträngningar göras för att hålla ökningen under 1,5 grader Celsius jämfört med förindustriell nivå” (s.6). Propositionen pekar även på mål för anpassningsförmåga och motståndskraft. Sveriges riksdag godkände Parisavtalet i oktober 2016 och är i maj 2019 en av 185 parter som har antagit avtalet (Naturvårdsverket, 2019c).

I september 2015 beslutade FN:s 193 medlemsländer att införa en ny agenda med målet att uppnå social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet (Regeringskansliet, u.å.). Agendan fick namnet *Agenda 2030* och innehåller 17 globala mål med 169 tillhörande delmål. Målet är att agendan ska vara uppfylld 2030, vilket enligt regeringen är deras och medlemsländernas ansvar

att uppnå. Agendan syftar främst till att avskaffa extrem fattigdom, minska ojämlikheter och orättvisor, att främja fred och rättvisa samt att lösa klimatkrisen.

Av de 17 globala målen kan framförallt två kopplas till höga temperaturers påverkan på samhället. Dessa mål är:

- *Mål 11: Hållbara städer och samhällen*
Målet behandlar utvecklingen av städer och bosättningar så att de blir inkluderande, säkra, motståndskraftiga och hållbara (Globala målen, 2020a). Till målet hör även delmål 11.5: *Mildra de negativa effekterna av naturkatastrofer*, som innebär att antalet dödsfall förenade med naturkatastrofer väsentligt ska minska, där särskilt fokus ska ligga på att skydda fattiga och särskilt utsatta.
- *Mål 13: Bekämpa klimatförändringar*
Målet syftar till att begränsa den globala uppvärmningen (Globala målen, 2020b) och innehåller även delmål 13.1: *Stärk motståndskraften mot och anpassningsförmågan till klimatrelaterade katastrofer*.

Ytterligare fyra mål berör problematiken kring höga temperaturers påverkan på samhällen, fast mindre påtagligt (Globala målen, 2020c):

- *Mål 3: God hälsa och välbefinnande*
- *Mål 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur*
- *Mål 10: Minskad ojämlikhet*
- *Mål 15: Ekosystem och biologisk mångfald*

Hur projektet kan bidra till att uppnå de globala målen diskuteras vidare i kapitel 5.3.2.1 *Åtgärdernas bidrag till de globala målen*.

3.1.3 Sveriges klimatpolitiska ramverk

Drygt två år efter att Parisavtalet antogs beslutade Sveriges riksdag om ett klimatpolitiskt ramverk vars syfte är att säkerställa att Sverige når upp till avtalet (Regeringskansliet, 2017). Ramverket består av tre olika grundläggande delar; en ny klimatlag, nya klimatmål och ett klimatpolitiskt råd. Lagen fastställer att ett klimatpolitiskt arbete ska bedrivas av regeringen för att klimatsystemet inte skall utsättas för störningar som kan leda till skadliga effekter på ekosystem och framtida generationer (SFS 2017:720). Enligt Klimatlagen (SFS 2017:720) skall regeringen även varje år redovisa utsläppsutveckling, viktiga klimatpolitiska beslut som tagits och om det krävs ytterligare åtgärder. Redovisningen sker i budgetpropositionen till riksdagen. Klimatlagen beskriver även att regeringen vart fjärde år ska ta fram en handlingsplan som bland annat bör innehålla statistik på Sveriges tidigare utsläpp och nuvarande förväntningar på framtida utsläpp. Sveriges klimatmål ska enligt Naturvårdsverket (2019d) möjliggöra att ”senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp” (s.23). Det klimatpolitiska rådet har till uppgift att stödja

regeringen med en oberoende utvärdering kopplat till de styrmedel som regeringen lägger fram med avseende på deras förenlighet med klimatmålen (Klimatpolitiska rådet, u.å.). Rådet bedömer även hur arbetet med klimatet och utsläppsutvecklingen fortgår samt granskar regeringens klimatpolitiska handlingsplan.

3.2 Värmeböljor

Det finns idag inte en bestämd global definition av vad en värmebölja är (McGregor et al., 2015). Hur en värmebölja definieras beror enligt författarna i stället ofta på platsens specifika klimat. Enligt McGregor et al. (2015) sägs den primära anledningen till att en global definition av en värmebölja ej kan fastställas vara att det som upplevs som en värmebölja i ett land med kallare klimat kan vara den naturliga temperaturen för samma period i ett land med varmare klimat. Många länder, regioner och organisationer har dock fastställt egna definitioner av värmeböljor (McGregor et al., 2015) varav några presenteras i tabell 6. Författarna beskriver vidare att för majoriteten av de nationella definitionerna är det framförallt temperatur (både dag- och nattetemperatur) som tas i beaktning, samt för vissa länder även fuktighet.

Tabell 6.

Olika definitioner av en värmebölja.

Källa	Definition
World Meteorological Organization. (WMO, 1992, s. 294)	“Marked warming of the air, or the invasion of very warm air, over a large area; it usually lasts from a few days to a few weeks.”
Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2012, s. 560)	“A period of abnormally hot weather.”
Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI, 2011, s. 2)	” [...] en sammanhängande period då dygnets högsta temperatur överstiger 25 °C minst fem dagar i sträck.”
Stockholms Län (Länsstyrelsen Stockholms län, 2011, s. 10)	” [...] en sammanhängande period med en dygnsmedeltemperatur som överstiger 20 °C under 4 på varandra följande dagar.”

SMHI (2019) använder sig även av så kallade effektbaserade tröskeltemperaturer i sitt varningssystem kring höga temperaturer, som har tagits fram i samarbete med MSB. Systemet innefattas av tre olika tröskeltemperaturer enligt följande (SMHI, 2019):

- Vid väderprognos om maxtemperaturer på 26 °C eller varmare i en sammanhängande tidsperiod om minst tre dagar meddelas och varnas berörda verksamheter, kommuner och landsting.
- Vid väderprognos om maxtemperaturer på 30 °C eller varmare i en sammanhängande tidsperiod om minst tre dagar går en Klass 1-varning ut till allmänheten om Mycket höga temperaturer.

- Vid väderprognos om maxtemperatur på 30 °C eller varmare i en sammanhängande tidsperiod om minst fem dagar, alternativt maxtemperatur på 33 °C i en sammanhängande tidsperiod om minst tre dagar, går en Klass 2-varning ut till allmänheten om Extremt höga temperaturer.

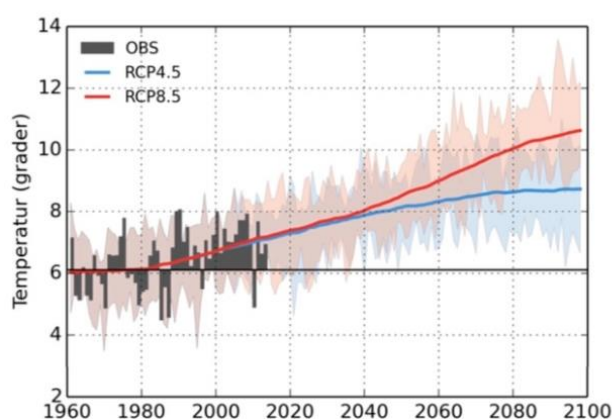
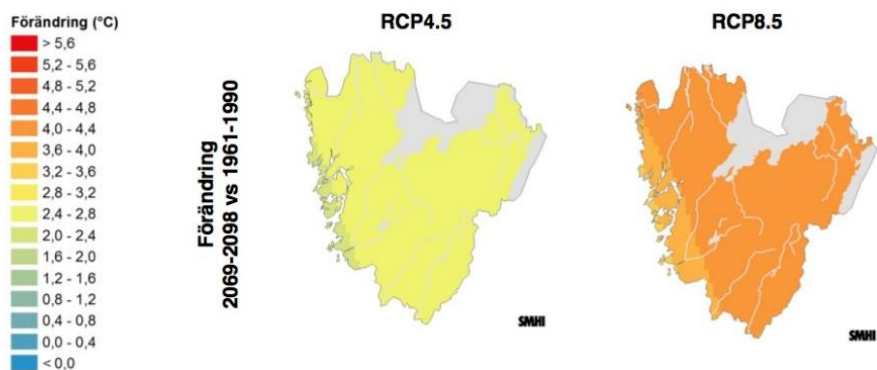
Tröskeltemperaturerna används, enligt institutet, då de har visats vara kritiska sett till dödligheten under en värmebölja i Sverige.

Ovanstående definitioner och tröskelvärden utgår alla från lufttemperatur. Thorsson et al. (2014) redogör för en alternativ mätning som i stället för lufttemperatur utgår från medelstrålningstemperaturen (engelska: mean radiant temperature) för att definiera värmestress. Medelstrålningstemperaturen är ett mätvärde som relaterar till den av människan upplevda värmen och karaktäriseras av stora intraurbana variationer, till skillnad från lufttemperaturen (Lau, Lindberg, Rayner, & Thorsson, 2015). De tröskelvärden som då används är 55,5 °C respektive 59,4 °C eftersom dessa värden medför en förhöjd risk med över fem respektive tio procent för värmerelaterade dödsfall hos befolkningen som är 80 år eller äldre (Thorsson et al., 2014).

Sverige drabbades så sent som år 2018 av en långvarig värmebölja med en sommar som var den varmaste sedan år 1945 (SMHI, 2011). Sommaren 2018 slog, enligt SMHI (2011), dock inte det nu gällande värmer rekordet på 38 grader som sattes i Målilla år 1947. Även åren 1975, 1994 och 2014 uppvisade mycket höga maxtemperaturer (SMHI, 2011). På europeisk nivå var somrarna åren 2003, 2010 och 2015 anmärkningsvärda ur ett värmeböljeperspektiv sett till antalet värmerelaterade dödsfall, enligt Sutanto, Vitolo, Di Napoli, D'Andrea, och Van Lanen (2020). WMO (2019) beskriver vidare hur juli år 2019 är den månad som globalt sett uppnått den högsta genomsnittliga temperaturen sedan temperaturdata började registreras.

3.3 Göteborgs klimat

Göteborg har ett för latituden mildt klimat med en årsmedeltemperatur under referensåren 1961–1990 på 6,1 °C (Berglöv et al., 2015; SMHI, 2020b). Staden kan, i likhet med många andra platser på jorden, förväntas möta en ökad förekomst, varaktighet och intensitet av värmeböljor (Berglöv et al., 2015). SMHI (2018) har tagit fram olika utsläppsscenarioer, eller RCP:er (efter Representative Concentration Pathways), som visar hur klimatet kommer påverkas av respektive scenario. Det finns fyra olika, från RCP2,6 (att koldioxidutsläppen kulminerar kring år 2020), RCP4,5 (Koldioxidutsläppen ökar fram till 2040), RCP6,0 (koldioxidutsläppen ökar fram till 2060) till RCP8,5 (där utsläppen av koldioxid är fortsatt höga). Baserat på de båda utsläppsscenarierna RCP4,5 och RCP8,5 har SMHI även tagit fram förväntade förändringar hos det lokala klimatet i Göteborg. Temperaturen i Västra Götaland förväntas öka olika mycket beroende på vilket utsläppsscenario som beaktas, dock är den gemensamma nämnaren att temperaturen förväntas öka både i RCP4,5 och RCP8,5 (Berglöv et al., 2015). I figur 3 visas den förväntade temperaturförändringen i Västra Götalandsregionen för de två scenarierna.



Figur 3. Förväntade temperaturförändringar för Västra Götaland (Berglöv et al., 2015, s. 8). Återgiven med tillstånd.

Thorsson et al., (2017) beskriver att det framförallt är lufttemperaturens minimivärde som antas öka till slutet av århundradet, det vill säga att nätter och tidiga morgnar kommer bli varmare i Göteborg. Inkommande strålning från solen väntas dessutom minska då staden förutses få ett molnigare väder. Den maximala strålningstemperaturen antas vara relativt konstant under seklet samtidigt som dess minimivärde förväntas öka. Enligt författarna är det en konsekvens av att lufttemperaturen stiger samtidigt som den inkommande solstrålningen minskar.

3.4 Höga temperaturers påverkan på hälsa

I den vetenskapliga artikeln *Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study* från tidskriften *Environmental Health Perspectives* presenteras ett tydligt samband mellan värmeböljor och en ökad dödlighet hos befolkningen, oberoende av både land och klimat (Guo et al., 2017). Studien visar även att värmeböljors effekt på dödlighet främst beror på intensiteten av värmeböljan. Både internationell och nationell statistik visar en ökad dödlighet till följd av värmeböljor. Enligt World Health Organization (WHO, svenska: Världshälsoorganisationen) (u.å.) avled 70 000 personer i Europa under värmeböljan 2003 och enligt

Folkhälsomyndigheten (2018b) hade Sverige en överdödlighet på 700 personer under värmeböljan 2018, endast under veckorna 23–35.

Kroppen har flera olika funktioner för att reglera kroppstemperaturen när den utsätts för värme (Koppe, Kovats, Jendritzky & Menne, 2004). En av de viktigaste funktionerna är enligt författarna konvektion, det vill säga att den kringliggande luften kyler ned kroppen. Vidare skriver författarna att när lufttemperaturen närmar sig hudens temperatur så närmar sig värmeförlusten genom konvektion noll. Om lufttemperaturen då stiger över hudens temperatur kan det medföra att kroppen i stället värms upp. I sådana situationer är den enda lösningen för kroppen att reglera värmen genom svettning och avdunstning (Koppe et al., 2004). Författarna skriver att dessa funktioner är viktiga för termisk reglering under värmestress och att värmerelaterade sjukdomar kan bli resultatet av att de inte fungerar som de ska, eller blir högt belastade. De vanligaste värmerelaterade sjukdomarna eksem, trötthet och utmattning, kramper, svimningar, värmeslag och hjärtinfarkt (Koppe et al., 2004). Värme och kraftiga svettningar kan även leda till uttorkning, som kan vara dödlig beroende på hur kraftig uttorkningen är.

Långvarig värme med förhöjda temperaturer nattetid kan enligt Koppe et al. (2004) medföra en negativ hälsoeffekt eftersom det är under nätterna som människor återhämtar och kyler ner sig. Thorsson et al. (2017) förklarar att perioder med både varma dagar och nätter påverkar hela befolkningen negativt och att dödsfall då främst sker på grund av de varma nätterna, eftersom människor förhindras från att återhämta sig från värmestressen som upplevs dagtid. Författarna beskriver dock att även varma perioder med svala nätter framförallt påverkar den äldre populationen negativt. Äldre personer har en större känslighet för värme och riskerar att avlida av värmeslag eller utmattning efter endast en varm dag (Thorsson et al., 2017).

3.4.1 Riskgrupper

Kroppens förmåga att temperaturreglera sig vid hög värme skiljer sig åt mellan individer. De som är särskilt sårbara har Folkhälsomyndigheten kategoriserat i riskgrupper (Folkhälsomyndigheten, 2020). Riskgrupperna de har listat är äldre, kroniskt sjuka, personer med funktionsnedsättning, små barn och gravida samt personer som tar läkemedel som försämrar kroppens temperaturreglering eller vätskebalans.

Folkhälsomyndigheten (2015) beskriver hur äldre personer har nedsatt förmåga att reglera kroppstemperaturen och inte känner av törst på samma sätt som den yngre befolkningen vilket medför en ökad dödlighet relaterat till förhöjda temperaturer. Dessutom blir äldre drabbade av värmerelaterade sjukdomar i större utsträckning än unga. Personer över 65 utgör en av de främsta riskgrupperna för förhöjd värme enligt Åström et al. (2011).

3.4.2 Luftföroreningar

Meteorologiska processer har en betydande inverkan på luftkvaliteten och vid högtryck koncentreras luftföroreningar till marknivå enligt Kershaw (2017). Dessutom skriver Kershaw att höga nivåer av UV-strålning under varmt och soligt väder påskyndar de kemiska reaktionerna i troposfären, där luftföroreningar reagerar med UV-strålning och bildar marknära ozon. Bildandet av ozon påverkas även av antropogena utsläpp av kväveoxider och flyktiga organiska föreningar. Kershaw beskriver vidare att ozon påverkar hälsan negativt eftersom det kan orsaka andnöd, hosta, väsande andning, nedsatt lungkapacitet, luftvägsinflammation och rentutav dödsfall. Enligt författaren är regn nödvändigt för rena luften från luftföroreningar, framförallt partikelföroreningar, och i samband med att klimatet blir varmare och somrarna torrare kommer den urbana luftkvaliteten försämrats och förvärra relaterade negativa hälsoeffekter.

Till följd av klimatförändringarna väntas torrare somrar, vilket medför en minskad rening av urbana luftföroreningar med hjälp av regn. Gasformiga luftföroreningar kan även spridas upp från markytan via horisontellt vindflöde och vertikal lufttransport, det sistnämnda på grund av evapotranspiration, eftersom vattenånga är lättare än luft (Kershaw, 2017). Evapotranspiration är den totala avdunstningen från vegetation (NE, 2020b).

Ett varierat landskap i staden krävs för att avlägsna partiklar, eftersom det ökar det horisontella vindflödet och den vertikala lufttransporten (Kershaw, 2017). Med ett varierat urbant landskap avses förekomsten av grönytor och parker samt en varierande bebyggelsegeometri. Bebyggelsegeometri i kombination med träd längs vägar kan lindra luftföroreningar, men enligt Kershaw beror det på hur staden är planerad. Planeringen av stadens vägnät i förhållande till placering av träd kan enligt Kershaw (2017) både öka och minska koncentrationen av luftföroreningar i gaturummet. Författaren beskriver exempelvis att träd placerade längs en bilväg inom en gatukanjon kan leda till att luftföroreningarna koncentreras under trädkronorna. Om det dessutom ligger en gångväg placerad i gatukanjonen medför den dåliga luftkvaliteten en ökad risk för fotgängarna.

Enligt Analitis et al. (2014) ökar dödligheten relaterad till värmeböljor i samband med höga halter av luftföroreningar. Författarna att antalet dagliga dödsfall stiger med 54 procent i åldersgruppen 75–84 år för dagar under en värmebölja som uppvisar hög ozonhalt. Vidare visar Analitis et al. (2014) att även dagar med förhöjda lufthalter av partiklar med en diameter mindre än 10 mikrometer medför en ökad dödlighet med 36 procent för personer mellan 75–84 år, i samband med värmeböljor. För personer över 85 år är motsvarande ökning av dödligheten 106 procent (Analitis et al., 2014). Hög ozon- och partikelhalt är enligt författarna de luftföroreningar som främst leder till ökad dödlighet under värmeböljor.

4. Resultat och analys

Följande kapitel presenterar och analyserar studiens resultat. Inledningsvis återges faktorer som påverkar en värmeö samt dess dämpande åtgärder i kapitel 4.1, vilket är ett resultat av litteraturstudien. Därefter skiftar fokus till ett mer lokalt perspektiv. Resultatet av intervjustudien presenteras i kapitel 4.2 i form av intervjuobjektens syn på Göteborgs utsatthet för framtida värmeböljor och vilka åtgärder som skulle kunna vidtas. Slutligen presenterar kapitel 4.3 resultatet av karteringen, i vilken faktorer med påverkan på en värmeö och personer i riskgrupper har kartlagts med syfte att identifiera potentiella riskområden i Göteborg.

4.1 Värmeöns påverkande faktorer och åtgärder

Städer blir varmare än omkringliggande områden, något som benämns värmeö (Oke, 1973). Värmeöar förvärras när städer växer (Folkhälsomyndigheten, 2018a), vilket beror på ett flertal olika faktorer som presenteras i följande delkapitel. På grund av det höga antalet faktorer som påverkar värmeöns magnitud och utbredning är det svårt att förutsäga exakt påverkan från en specifik faktor, och även hur stor inverkan olika åtgärder har (Ryu & Baik, 2011).

4.1.1 Påverkande faktorer i naturlig miljö

Faktorerna som påverkar värmeöar har sorterats efter förekomst i naturlig och bebyggd miljö. Den naturliga miljöns faktorer anses ej gå att påverka medan den bebyggda miljön går att förändra i större utsträckning.

4.1.1.1 Geografiskt läge

För varje land eller region finns en optimal temperatur vid vilken dödligheten i området är som lägst (Folkhälsomyndigheten, 2015). Enligt Guo et al. (2014) är den optimala temperaturen beroende av ett områdes klimat där ett varmare klimat bidrar till en högre optimal temperatur och tvärtom. Författarna beskriver vidare att både högre och lägre temperaturer medför en förhöjd risk för ökad dödlighet och att effekten av högre temperaturer märks omgående och kvarstår i tre till fyra dagar. Stockholms optimala temperatur är cirka 11 till 12 °C och en temperaturökning medför en ökad dödlighet med cirka 1,4 procent per grad Celsius (Rocklöv & Forsberg, 2008).

Vid höga temperaturer påverkas temperaturen av platsens höjd över havet samt närhet till hav eller stora sjöar (Länsstyrelsen Hallands län, 2013). Enligt SMHI (2014) avtar temperaturen med 0,7 °C per hundra höjdmeter. Zhou et al. (2019) förklarar hur städer längs kusten drar fördel av att havsbris har en markant mildrande inverkan på effekten av en värmeö. Hav och stora sjöar har dessutom lägre temperaturer som inte ändras lika snabbt som kringliggande

landtytor. Det medför att temperaturerna vid hav och sjöar inte når samma extremer som i inlandet (Länsstyrelsen Hallands län, 2013).

4.1.1.2 Topografi

Medelstrålningstemperaturen påverkas direkt av stadens ytgeometri, det vill säga byggnader, vegetation och topografi, och bestäms främst av mängden genererad skugga i stadsmiljön (Thorsson et al., 2017; Lau et al., 2015). Följaktligen påverkas en värmeö, och temperaturskillnaderna inom staden, av topografin (Ketterer och Matzarakis, 2014). Ketterer och Matzarakis (2014) beskriver att topografin och den varierande markanvändningen bidrar till många olika mikroklimat på en liten geografisk yta. Topografins inverkan på en värmeö är framförallt tydlig i dalar eftersom luftbytet och den turbulenta värmetransporten samt luftkvaliteten försämras (Ketterer och Matzarakis, 2014). Koncentrationen av luftföroreningar i staden påverkas således av topografi då luftföroreningarna kan stanna kvar i dalar, speciellt under soliga och vindstilla dagar (Antonacci, 2004).

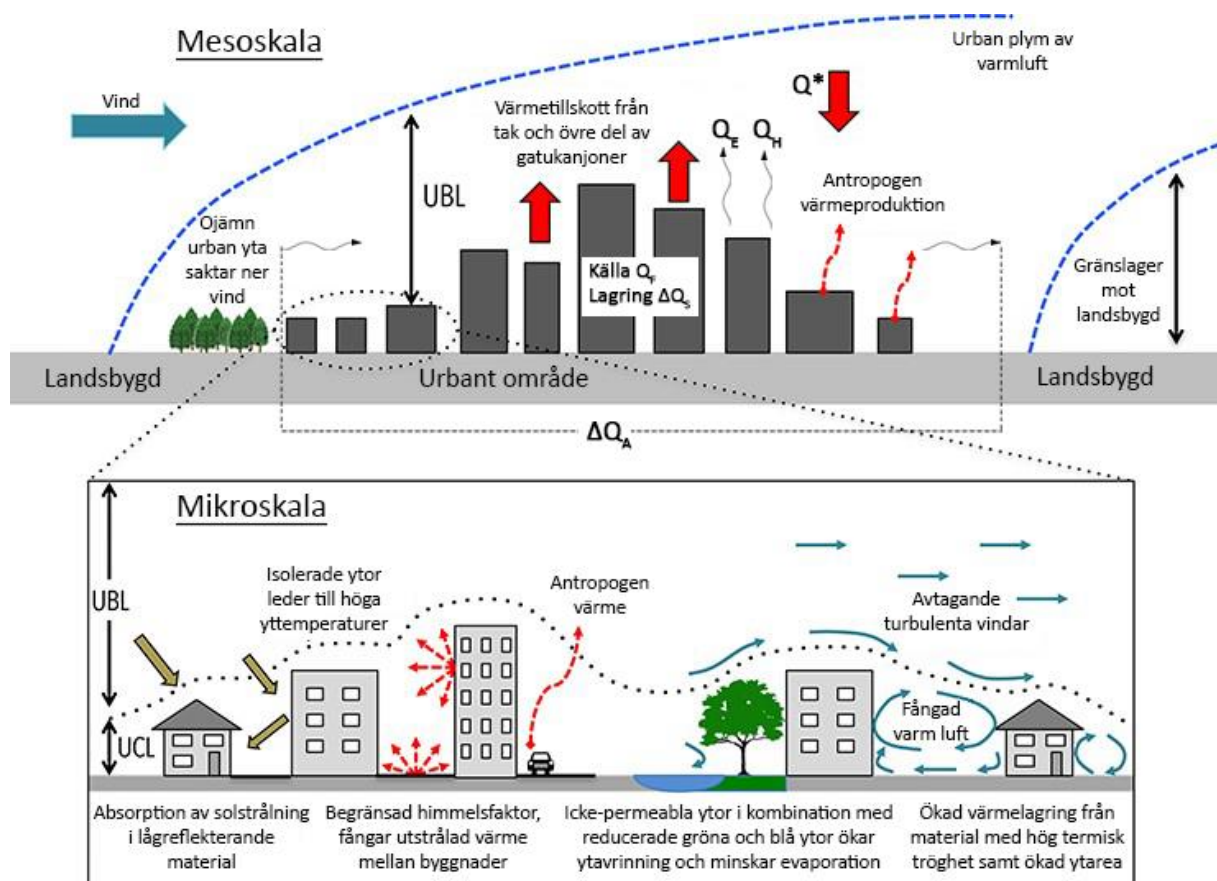
I en studie av Suarma, Hapsarini, Isnastuti, Ikhwan och Durrotunafisah från 2019 undersöks temperaturskillnaden mellan två olika mätpunkter. Den ena mätpunkten är belägen i en tätbebyggd stadsmiljö i en dal och den andra på landsbygden 647–665 meter över stadsmiljön i dalen. Studien visar att-dagstemperaturen var 6,6 °C högre och nattetemperaturen 7,1 °C högre i staden än på landsbygden. Författarna menar att studien visar på att topografi i kombination med markanvändning resulterar i temperaturvariation mellan staden och dess omgivning.

4.1.2 Påverkande faktorer i bebyggd miljö

Lokala temperaturvariationer i staden beror på följande parametrar (Oke, 1988; Thorsson, 2012), där vardera parameters inverkan på stadens energibalans (tillskott eller förlust) urskiljs i figur 4:

- **Nettostrålning [Q^*]:** Skillnaden mellan inkommande och utgående kort- och långvågig strålning, vilken beror av albedo och emissivitet hos stadens material och ytor.
- **Antropogen värmeproduktion [Q_F]:** Värmen som släpps ut från människor och mänskliga aktiviteter.
- **Sensibelt värmefflöde [Q_H]:** Värmeledning genom material samt förflyttning av varmt ämne.
- **Latent värmefflöde [Q_E]:** Värmen som avges eller upptas så att ett ämne ändrar fas. Beror av evapotranspirationen.
- **Värmelagring [ΔQ_S]:** Värmen som lagras i staden.
- **Nettoadvektion [ΔQ_A]:** Skillnaden mellan stadens in- och utgående horisontella energiflöde. Generellt liten inverkan nattetid samt i homogena områden i stadens kärna.

Stadens uppbyggnad och aktiviteter bidrar enligt Kershaw (2017) dessutom till en värmeö genom att skapa gränslager i atmosfären som hindrar värmen från att försvinna. Författaren delar in gränslagerna i *urban canopy layer* (UCL, svenska: stadens takskikt) och *urban boundary layer* (UBL, svenska: stadens gränsskikt) vars atmosfäriska zon kan urskiljas i figur 4. Kershaw redogör för hur UCL är ett direkt resultat av stadens material och mänskliga aktiviteter. UBL motsvaras vidare av det område där stadens och omgivningens luft blandas och liknas vid ”[...] en bubbla av varm luft placerad på toppen av det urbana området” (Kershaw, 2017, s. 4–2). Enligt författaren formar luften från staden, i reaktion med omgivande atmosfär, ett stabilt gränsskikt (UBL) med konstant temperatur vilket i sin tur driver mer varm luft uppåt och bildar ett skyddande varmt lager direkt nedanför UBL (Kershaw, 2017). Författaren beskriver att gränsskiktet tillsammans med det skyddande lagret bildar en barriär som förhindrar värmen från att lämna staden.



Figur 4. Illustration av de energimässiga processerna som bidrar till värmeön, visar även UBL (överst) och UCL (underst), (Kershaw, 2017, s. 4–7). Återgiven med tillstånd. Modifierad med de parametrar som bidrar till lokala temperaturvariationer i staden (Oke, 1988, s. 473) samt översatt från engelska.

Enligt Thorsson (2012) kan de faktorer i den bebyggda miljön som påverkar en värmeö delas in i stadens geometriska utformning, dess material- och ytegenskaper, andel grönområden samt olika typer av värmeutsläpp som sker i staden. De olika faktorernas inverkan kan delvis urskiljas i figur 4 samt redogörs för i följande delkapitel.

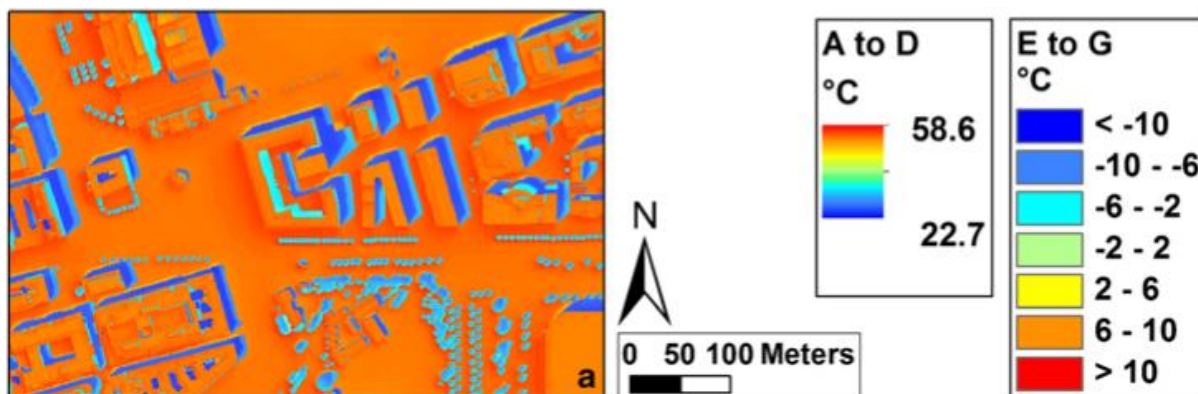
4.1.2.1 Bebyggelsens geometri

Thorsson (2012) fastslår att bebyggelsens geometri är en av de faktorer som har störst inverkan på en värmeöns uppkomst och utbredning i staden. Enligt författaren kan faktorn beskrivas med de urbana byggnadernas höjd, orientering och täthet. Geometrin påverkar framförallt temperaturen i staden genom att avgöra hur mycket solstrålning som tillåts nå dess ytor dagtid samt hur mycket långvågig strålning som kan lämna staden (Thorsson, 2012).

För att mäta bebyggelsens täthet används vanligen himmelsfaktorn respektive gatornas och byggnadernas höjd- till breddförhållande (Thorsson, 2012). Himmelsfaktorn är ett mått på andelen himmel i jämförelse med bebyggelse som kan ses från en viss plats på marken (Middel, Lukasczyk, Maciejewski, Demuzere, & Roth, 2018). Middel et al. (2018) redogör för hur en högre himmelsfaktor gör att mer långvågig strålning kan lämna staden och således verkar avkylande. En liten himmelsfaktor, det vill säga tät bebyggelse med höga hus, bidrar i stället till att den långvågiga strålningen studsar mellan byggnadernas fasader och marken vilket ger en förhöjd temperatur lokalt (Kershaw, 2017). Höjd- till breddförhållandet mellan gator och byggnader har en direkt koppling till en värmeöns utbredning och magnitud i staden då det styr mängden strålning som når marknivå (Bakarman & Chang, 2015). Bebyggelsetätheten kan dessutom beräknas som andel bebyggd mark i jämförelse med andel obebyggd, där Stewart och Oke (2012) definierar att 40 procent av markytan ska vara bebyggd för att klassas som tätbebyggd.

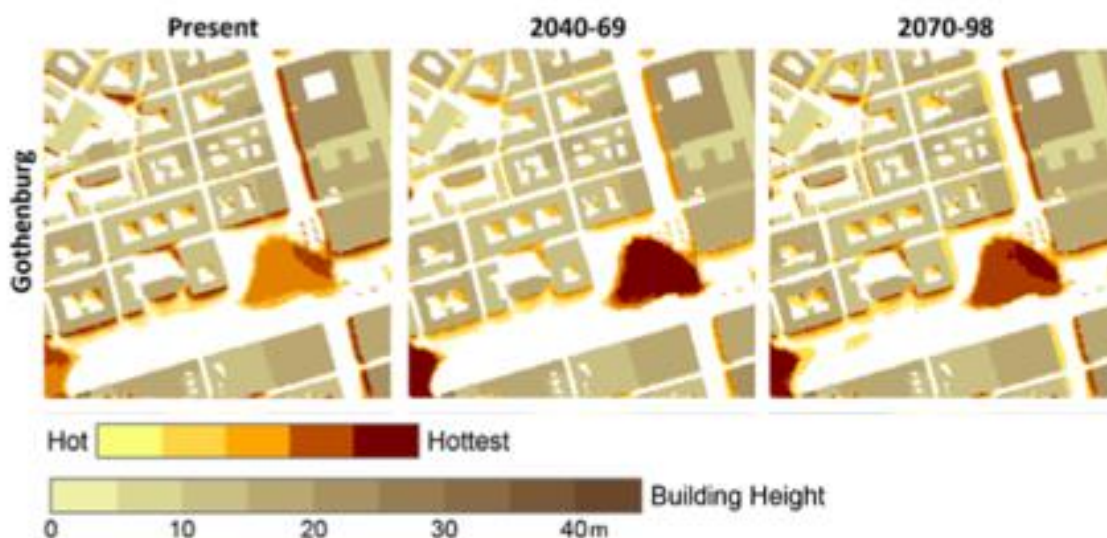
Bebyggelsens orientering och förmåga att skugga sin omgivning har särskild betydelse för medelstrålningstemperaturen i staden under varma, klara dagar (Lau et al., 2015). I en stad kan skillnaden i strålningstemperatur uppgå till 20 °C mellan solbelysta öppna platser och en skuggad mindre gata i närheten (Thorsson, Lindberg, Björklund, Holmer, & Rayner, 2010). Lau et al. (2015) redogör även för hur gatukanjoners orientering spelar roll, där gatukanjoner i nord-sydlig riktning utsätts för extrema strålningstemperaturer (över tröskelvärdena 55,5 °C och 59,4 °C) under betydligt fler timmar än de i öst-västlig riktning. Enligt författaren är dock medelvärdet för medelstrålningstemperaturen näst intill identiskt för de olika gatukanjonerna. Sammanfattningsvis kan gatukanjoner i nord-sydlig riktning därför antas ha en större variation sett till medelstrålningstemperaturen än de i öst-västlig riktning.

Under klara sommark dagar nås de högsta medelstrålningstemperaturerna nära solbelysta väggar enligt Lindberg, Holmer, Thorsson och Rayner (2014), se figur 5. För molniga dagar är det i stället på de öppna platserna som de högsta medelstrålningstemperaturerna återfinns enligt författarna. Även Lindberg et al. (2014) fastslår att temperaturskillnaden mellan skuggade och solbelysta områden minskar vid molnig väderlek.



Figur 5. Lokala variationer av medelstrålningstemperaturen för en stående människa, T_{mrt} , (standing man), ($^{\circ}\text{C}$) under klart och varmt väder i stadskärnan i Göteborg, Sverige, klockan 15.00 (lokal standardtid) den sjätte juni 1997. (Lindberg, Holmer, Thorsson, & Rayner, 2014, s. 617). Återgiven med tillstånd.

Vädret i Göteborg förväntas bli molnigare (se kapitel 3.3 *Göteborgs klimat*). Från och med mitten av seklet kommer de högsta strålningstemperaturerna återfinnas på öppna platser och torg i stället för solbelysta fasader, som dock kommer ha fortsatt höga värden (se figur 6).



Figur 6. Områden med höga strålningstemperaturer, graderade från *varma* till *varmaste* platserna, i Göteborg (utan vegetation) under tre tidsperioder uttryckta som 90:e percentilen av medelstrålningstemperaturen, T_{mrt} , på gatunivå när T_{mrt} är $\geq 60^{\circ}\text{C}$ för en generisk urban plats (Thorsson et al., 2017, s. 1538). Återgiven med tillstånd.

He, Ding, och Prasad (2020) fastställer sambandet mellan en minskad vindintensitet i staden och en mer omfattande värmeö. Bebyggelsens geometri påverkar hur vinden rör sig och vinden är ofta svagare i staden jämfört med omgivningen (Holmer, 1978 i Thorsson, 2012). Enligt Chen, Ooka, Huang och Tsuchiya (2009) beror fenomenet på att vinden inte tar sig in till alla gatukanjoner vilket bidrar till att den varma luften blir kvar. Vinden varierar även inom staden och vindintensiteten är som lägst vid marknivå (Holmer, 1978 i Thorsson, 2012). Chen et al. (2009) beskriver vidare hur det finns ett negativt samband mellan lufttemperatur och vindhastighet där en minskad vindhastighet medför en ökad temperatur och tvärtom. Geometrin

är även avgörande för mängden artificiella material i en stad där en tätare bebyggelse medför en högre koncentration av artificiella material (Holmer, 1978 i Thorsson, 2012). Sådana material, som exempelvis betong och asfalt, har en högre värmelagringskapacitet än naturliga material vilket således höjer temperaturen i staden.

4.1.2.2 Stadens material och ytor

Staden består i högre utsträckning av material och ytor med lägre albedo, lägre emissivitet och högre värmekapacitet än omgivningen vilket bidrar till en högre temperatur (Thorsson, 2012). Albedo är ett mått mellan noll och ett på andelen kortvågig strålning som reflekteras från en yta. Noll albedo innebär att ingen reflektion sker medan ett betyder att all kortvågig strålning reflekteras. En ytas albedo kan ändras genom att förändra färgen på ytan (Thorsson, 2012). Ljusare ytor reflekterar generellt bättre än mörka ytor (Taha, Sailor, & Akbari, 1992).

Emissiviteten berör den långvågiga strålningen och är också ett mått mellan noll och ett, där noll betyder att lite långvågig strålning frigörs från ytan (Hagentoft, 2001). Analogt betyder det att en solbelyst yta eller ett material med hög emissivitet är svalare än en med låg emissivitet (Thorsson, 2012). Vilka ytor som har hög albedo stämmer inte nödvändigtvis överens med vilka som har hög emissivitet, se bilaga 4.

Värmekapaciteten beskriver hur väl ett material kan lagra värme där material med högre värmekapacitet kan lagra mer värme under dygnets varma timmar (Hagentoft, 2001). Den lagrade värmen i mark och byggnader avges sedan nattetid, vilket gör att temperaturen sjunker långsammare (Thorsson, 2012). Enligt författaren är de urbana materialen ofta bättre på att lagra värme än de naturliga materialen, se bilaga 5, vilket medför högre temperaturer nattetid i staden än i dess omgivning.

4.1.2.3 Grönytor

En konsekvens av att städer växer är ofta att andelen grönytor minskar (Haaland & Konijnendijk van den Bosch, 2015). En sådan konsekvens är märkbar i Göteborg vilket synliggörs i tabell 7. Tabellen redogör för hur stadens totala andel grönyta samt landareal förändrades mellan åren 2010 och 2015. Enligt Aram, Higuera Garcia, Solgi och Mansournia (2019) har grönytor i staden betydelse för hur en värmeö utvecklas, eftersom de i stor utsträckning saknar de materialegenskaper som i övrigt gör staden varmare. När andelen hårdgjord yta ökar samtidigt som gröna ytor minskar leder det enligt Thorsson (2012) till minskad ytavdunstning. Enligt Oke (1988) beskrivs det som ett minskat latent värmefflöde. Författarna fastslår att vegetation och grönytor har en kylande effekt relaterat staden i övrigt.

Tabell 7.

Förändring i Göteborgs stads totala grönyta och landareal (SCB, 2019).

	2010	2015	Förändring i %
Total grönyta (ha)	10 291	9 309	↓10 %
Total landareal (ha)	20 476	21 616	↑6 %

Utöver att vegetation även sänker lufttemperaturen genom transpiration, utgörs dess främsta temperatursänkande egenskap av skuggningen den ger (Thorsson, 2012). Skuggningens effekt kan enligt Okes (1988) definierade parametrar inräknas i nettostrålningen, eftersom den hindrar kortvågig strålning från att nå markytan (Thorsson, 2012). Vegetation och grönytor bidrar alltså till att sänka temperaturen direkt, men även indirekt, genom att andelen yta med egenskaper som höjer temperaturer minskas (Thorsson, 2012).

4.1.2.4 Antropogen värmeproduktion

Kondo och Kikegawa (2003) beskriver hur den antropogena värmeproduktionen är den främsta orsaken till förhöjda temperaturer i staden nattetid. I en studie av Romero Rodríguez, Sánchez Ramos, José Sánchez de la Flor och Álvarez Domínguez (2020) delas den antropogena värmeproduktionen in i tre delar: den metabola värmen direkt från människor, den trafikgenererade värmen och slutligen värmen från byggnader. Enligt Chrysoulakis och Grimmond (2016) beror mängden antropogen värmeproduktion främst på tillförseln av värme från byggnader där det framförallt är uppvärmning, nedkylning och ventilationssystem som bidrar. Författarna beskriver vidare hur värmeproduktionen når toppnivåer tidig morgon och eftermiddag samt att den är större på vardagar än under helger.

Till den metabola värmeförseln bidrar alla djur. Enligt Sailor och Lu (2004) dominerar dock värmeförsel från människor i urbana miljöer, med påföljden att övriga kan försummas. Författarna beskriver vidare hur den metabola värmeförseln varierar över dygnet. Romero Rodríguez et al. (2020) redogör för hur både antalet boende per ytenhet samt ytans besökare är betydande för mängden värmeförsel genererad av metabolism. Därutöver bidrar mängden värme som avges per person, vilken är beroende av typen av aktivitet som utförs (Romero Rodríguez et al., 2020).

Värmeförsel från trafik har enligt Romero Rodríguez et al. (2020) fyra primära orsaker:

- Värmeutsläpp per meter från respektive bil
- Antal vägar per ytenhet
- Väglängd och typ av trafik på vägen (måttlig eller hög)
- Antal fordon (måttligt eller högt) som trafikerar respektive väg

Chen et al. (2009) beskriver hur värmeförsel från trafik främst påverkar den närliggande omgivningens lufttemperatur men att det även får påverkan på kringliggande områden.

Värmetillförsel från byggnader beror enligt Sailor och Lu (2004) på elförbrukning samt uppvärmning. I en studie av Romero Rodríguez et al. från 2020 beaktas värmeutsläpp från byggnader genom energianvändningen per invånare samt invånare per ytenhet. Enligt Oke (1988) är värmetillförsel från byggnader dessutom starkt bunden till stadens klimat. Anledningen är enligt Oke att olika klimat medför olika behov av uppvärmning, alternativt nedkyllning, under vinter- respektive sommartid. Städer med ett kallare klimat bör således ha den största värmetillförseln från byggnader vintertid (Oke, 1988). Romero Rodríguez et al. (2020) förklarar vidare hur värmeutsläpp från luftkonditionering skapar en negativ spiral genom att öka utomhustemperaturen och således förstärka behovet av att återigen kyla ned inomhusluften.

4.1.3 Urbanisering och förtätning

Enligt FN (2019) ökar andelen människor som lever i urbana miljöer varje dag och förväntas fortsätta att göra det. Mellan 1950 och 2018 ökade den procentuella globala befolkningmängden i urbana miljöer från 30 till 55 procent, vilket motsvarar cirka 3,5 miljarder personer (FN, 2019). Befolkningsökning i urbana miljöer leder till bostadsbrist vilket medför att staden måste expandera antingen geografiskt eller genom att förtäta (Boverket, 2016). Enligt Boverket (2016) är förtätning en essentiell och hållbar lösning när staden växer.

United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) bedriver ett globalt arbete för att framhålla förtätning som en av lösningarna för utvecklingen av hållbara städer (UN-Habitat, 2015). Organisationen verkar för att städer bör sträva efter att nå en befolkningstäthet om minst 15 000 invånare per kvadratkilometer, eftersom en hög befolkningstäthet minskar behovet av biltransporter samtidigt som energianvändningen effektiviseras.

En konsekvens av förtätning är att grönytor ersätts med bebyggd mark och artificiella material (Lemonsu, Vigié, Daniel, & Masson, 2015). En stad som förtätas får dessutom en högre bebyggelsestäthet (Haaland & Konijnendijk van den Bosch, 2015), vilket bidrar till en ökad värmeöeffekt (Lemonsu et al., 2015). Enligt Haaland och Konijnendijk van den Bosch (2015) är alternativet till förtätning att staden tillåts att expandera geografiskt när den växer, vilket ökar transportbehovet och energianvändningen. Förtätning karaktäriseras i stället av kompakt bebyggelse och att många olika verksamheter förläggs inom samma område, vilket minskar bilberoendet (Haaland, & Konijnendijk van den Bosch, 2015).

Förtätning beskrivs i vissa fall även som en åtgärd för att sänka den urbana temperaturen. Enligt flera källor (ex. Folkhälsomyndigheten, 2019b; Thorsson et al., 2017; Vuckovic et al., 2019) är det en effektiv åtgärd för att kyla den urbana miljön under soliga dagar. Samtidigt medger Folkhälsomyndigheten (2019b) att tätare bebyggelse leder till högre temperaturer nattetid. Förtätning bidrar dessutom till att öka sårbarheten hos en befolkning genom att koncentrera stadens invånare till områden som i högre grad är utsatta, det vill säga riskområden (Lemonsu

et al., 2015). I kapitel 4.1.4.1 *Förtätning* utvecklas hur städer kan använda sig av förtätning som en åtgärd för att sänka den urbana temperaturen samt vilka konsekvenser det får.

4.1.3.1 Urbanisering och förtätning i Göteborg

I Göteborg pågår just nu ett projekt som kallas Älvstaden, vilket enligt Göteborgs Stad (2020a) är Nordens största stadsutvecklingsprojekt. Älvstaden går ut på att fördubbla stadskärnans storlek genom att bygga 25 000 nya lägenheter och 50 000 nya arbetsplatser (Göteborgs Stad, 2020a). Björn Siesjö, Göteborgs stadsarkitekt, säger i en intervju från 2018 att Göteborg planerar att förtäta staden för att bygga bort bostadsbristen (Göteborgs stad, 2019b). I samma intervju framhärdar Siesjö att förtätningen inte ska ske på bekostnad av grönytor i staden; ”parker skapar inte fler bostäder, men de skapar stad”. Figur 7 visar planerad bebyggelse i Göteborg. De olika färgerna symboliserar årtalen vid vilka projekten ska stå klara (röd: 2021, orange: 2028 och gul: 2035–2050). Mörkgröna områden i figuren symboliserar stadens planer på anläggning av nya parker och grönområden.

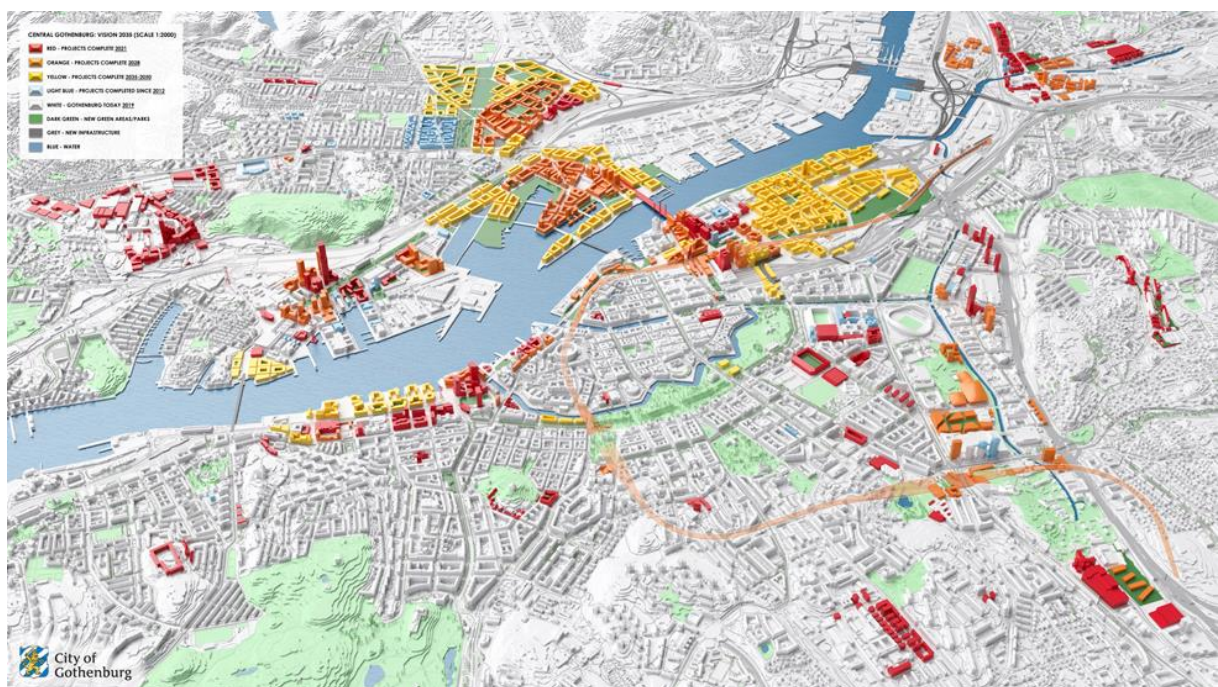
Demografisk fakta Göteborg

Befolkningsmängd: 579 281

Befolkningsmängd per km²: 1293,5

Förväntad befolkningsökning till år 2040: 151 000

(SCB, 2020; Göteborgs Stad, 2020b)



Figur 7. Karta över centrala Göteborgs bebyggelse (Göteborgs Stad, 2020b). Återgiven med tillåtelse.

4.1.4 Åtgärder

Ett flertal olika åtgärder som kan reducera effekten av en värmeö finns beskrivna i litteraturen. Enligt Santamouris (2014) är några av de mest effektiva åtgärderna att höja albedot eller att öka andelen grönyta i staden. Vikten av att införa åtgärder som inriktar sig på att förändra stadens struktur och material tas även upp i en artikel av Chrysoulakis och Grimmond från 2016, i vilken författarna dessutom belyser att stadens antropogena värmeföresel bör minskas. Författarna menar dock att olika åtgärder som samverkar krävs för att få en positiv effekt, vilket även Akbari (1992) förespråkar. Enligt Akbari (1992) är en mycket effektiv åtgärd att exempelvis öka andelen träd samtidigt som stadens albedo höjs. Andersson-Sköld et al. (2015) rekommenderar förtätning tillsammans med höjt albedo, stora grönområden samt plantering av träd vid fasader.

Klimatet spelar en viktig roll för val av åtgärd enligt Santamouris (2014). Författaren exemplifierar denna slutsats bland annat genom att förklara att gröna tak är att föredra över reflekterande i kalla klimat där vädret varierar mellan klart och molnigt. Vilka åtgärder som anses lämpliga varierar dessutom inom staden då de är bundna till hur staden är uppbyggd på mikroskalanivå (Chen et al., 2009). I nästa delkapitel beskrivs ett flertal olika åtgärder som kan implementeras för att sänka temperaturen i staden.

4.1.4.1 Förtäta staden

Att förändra bebyggelsens geometri för att kyla den urbana miljön dagtid kan framförallt göras genom förtätning, trots att det kan höja den urbana temperaturen nattetid. Enligt Chrysoulakis och Grimmond (2016) är det dock av vikt att en stad förtätas på rätt sätt, vilket uppnås genom att byggnader placeras så att de bidrar till skuggning av utsatta områden. Thorsson et al. (2017) beskriver att en sådan förtätning bidrar till att minska antalet riskområden samt minimerar tiden som staden utsätts för höga strålningstemperaturer.

Enligt Folkhälsomyndigheten (2019b) är en vertikal förtätning att föredra. Genom att förtäta staden genom tillbyggnad av våningar ovanpå redan befintliga hus fastslår Vuckovic et al. (2019) att andelen daglig strålning som stadens ytor utsätts för kan reduceras. Holmer, Thorsson och Eliasson (2007) beskriver att ett sådant tillvägagångssätt sänker temperaturen dagtid, men att det också leder till att staden ökar sin strålningslagrande kapacitet, vilket ger en förhöjd temperatur nattetid. Att beakta de negativa konsekvenserna av vertikal förtätning, där höga byggnader dessutom minimerar solinstrålningen vintertid är av stor vikt enligt Taslim, Monsefi Parapari och Shafaghat (2015). En stad bör därför innehålla byggnader med varierande höjd (Taslim et al., 2015). Slutligen bör nybyggnation även ta hänsyn till att vindkorridorer planeras i staden enligt Filho, Icaza, Emanche och Al-Amin (2017).

4.1.4.2 Öka stadens albedo

I ett flertal studier undersöks hur stadens temperatur förändras när albedot för dess ytor höjs (ex. Rosenfeld, Akbari, Bretz, Fishman, Kurn, Sailor, & Taha, 1995; Zhou, & Shepherd, 2010). Enligt Synnefa, Dandou, Santamouris, Tombrou och Soulakellis (2008) påverkar en ökning av stadens albedo framförallt temperaturen dagtid och kan minska den med upp till två grader. I en studie av Rosenfeld et al. (1995) modelleras en ökning med 0,13 i albedot för Los Angeles artificiella ytor. Ökningen resulterade i att sommarens förväntade maximala temperatur minskade med två till fyra grader (Rosenfeld et al., 1995). I en liknande studie från Atlanta gav en fördubbling av stadens albedo (från 0,15 till 0,3) en försumbart liten effekt medan en ökning på 200 procent (från 0,15 till 0,45) sänkte den genomsnittliga temperaturen med 2,5 grader (Zhou, & Shepherd, 2010). Synnefa et al. (2008) beskriver vidare hur en ökning av albedo dessutom bidrar till att minska stadens energiförbrukning då kylningsbehovet minskar. Enligt Akbari, Matthews och Seto (2012) kan en sådan höjning av albedo kyla staden i så pass stor utsträckning att utsläppen av koldioxidemissioner kan reduceras med sju kilogram per kvadratmeter.

Stadens förmåga att reflektera kortvågig strålning kan förbättras genom användning av ljusa färger på exempelvis tak och fasader (Taha et al., 1992). Enligt Santamouris (2014) är taken utomordentliga platser för ändamålet då de upptar en stor del av stadens yta samtidigt som de oftast inte har andra användningsområden. Författaren förklarar vidare hur reflekterande tak är en mycket bra åtgärd för att förbättra den termiska komforten i staden. Taha et al. (1992) beskriver ett flertal olika tillvägagångssätt för att öka stadens albedo varav ett urval presenteras nedan:

- **Måla om stadens tak i en ljusare färg:** Skyddar taken från skadlig UV-strålning.
- **Låta nya tak bestå av ljusa betongplattor:** Möjliggör lång livstid för taket men leder dock till att påfrestningen för byggnaden blir hög.
- **Belägga asfalten i staden med ett övre skikt av asfalt med ljusare pigment:** Mycket känsligt för slitage vilket medför att effekten försämras efter en relativt kort tidsperiod.
- **Belägga asfalten i staden med ett övre skikt av betong:** Förlänger ytans livslängd men tar i gengäld längre tid att anlägga.

Ett flertal studier påpekar dock de negativa aspekterna med att höja stadens albedo. Rosenzweig, Solecki och Slosberg (2006) redogör för hur ljusa ytor ofta tappas en del av sin reflektionskapacitet med upp till en tredjedel efter ett par år, till följd av slitage och nedsmutsning, vilket medför ett stort underhållsbehov. Enligt Sailor (2006) väljs därför i högre utsträckning mörka tak vid nybyggnation trots att tak med en ljusare nyans ofta har en längre förväntad livslängd i och med att de utsätts för mildare termiska variationer. Dessutom avtar de reflekterande takens förmåga att minska temperaturen vid marknivå drastiskt med byggnadens höjd (Santamouris, 2014) och en ökning av stadens albedo ger därför en försumbar förändring för marknivåns strålningsvärmebelastning (Thorsson et al., 2017). Effekten av att förändra albedot för stadens gatuutrymmen försämras även på grund av att en stor del av utrymmet täcks

av fordon (Sailor, 2006). Sailor (2006) beskriver vidare hur ljusa gator kan upplevas som störande för förare på grund av reflektionen av solljus. Enligt Rosenzweig et al. (2006) avger ljusa ytor dessutom strålning till omgivningen vilket enligt Lynn et al. (2009) bidrar till att stadens fotgängare också utsätts för en ökad mängd strålning. Enligt Lynn et al., (2009) ökar det således risken för stadens invånare att utsättas för värmestress i gaturummet under dagtid.

4.1.4.3 Mer grön infrastruktur

Att öka andelen grönyta är en åtgärd som beskrivs som särskilt angelägen i ett flertal vetenskapliga artiklar och rapporter (ex. Folkhälsomyndigheten 2019b; Mayer, Kuppe, Holst, Imbery, & Matzarakis, 2009; Rosenzweig et al., 2006). Enligt Folkhälsomyndigheten (2019b) är ny grönyta tillsammans med bevaring av befintlig vegetation den åtgärd som ger bäst resultat sett till sänkning av lufttemperaturen, där effekten ökar med grönytans storlek. Plantering av träd och vegetation är överlag att föredra framför ett höjt albedo enligt Rosenzweig et al. (2006). Giguère (2012) skriver att all sorts vegetation är önskvärd och att det primärt bör eftersträvas att öka den totala andelen grönyta i staden, både på allmänna ytor och privata tomter. Andersson-Sköld et al. (2015) påpekar att en ökad andel vegetation dessutom främjar social hållbarhet genom att bidra till att fler rör sig utomhus. Grönytor tillför slutligen även ett antal reglerande tjänster, däribland koldioxidförvaring, dagvattenreglering och luftrening (Haaland & Konijnendijk van den Bosch, 2015).

Vid nyplantering av vegetation bör maximering av dess skuggande effekt och evapotranspiration eftersträvas (Thorsson et al., 2017). Enligt Thorsson (2017) bör stora träd därför prioriteras över mindre, vilka i sin tur är att föredra över buskar och gräs (så kallad låg vegetation). Genom att minimera inkommande solstrålning till gaturummet skyddar träden invånarna från höga strålningstemperaturer samtidigt som ytornas värmelagring, och temperaturen nattetid, minskar (Lynn et al., 2009). Folkhälsomyndigheten (2019b) redogör för hur träd är att föredra över låg vegetation då de är bättre på att kyla den urbana miljön under dagen. Dock påpekar Thorsson (2012) att stora träd även hindrar långvågig strålning från att lämna ytor, vilket resulterar i en långsammare avkyllning nattetid.

Enligt Thorsson et al. (2017) spelar placeringen av träd en viktig roll eftersom effekten blir som störst vid plantering på stora öppna ytor utan vegetation, alternativt vid solbelysta fasader. När träd planteras i anslutning till solbelysta fasader kan de skugga både fönster, delar av taket samt omgivande mark, vilket i samtliga fall bidrar till att minska temperaturen och värmelagringen i byggnaden (Akbari, 1992; Wang & Akbari, 2016). Enligt Wang och Akbari (2016) är den bästa åtgärden mot solinstrålning på gatunivå att plantera träd med stora kronor på ett sådant avstånd att kronorna möts. Många ytor kan dessutom ofta kombineras med vegetation enligt Akbari (1992), som exemplifierar med att träd kan planteras på parkeringar utan att påverka ytans funktion.

Träd ska dock inte placeras på ett sådant sätt att de skuggar områden som inte är önskvärda att skugga eller oavsiktligt försämrar ventilationen i staden enligt Thorsson et al. (2017). Författarna skriver att lövfällande träd är önskvärda då de möjliggör att solstrålningen kan nå stadens ytor under vintern. Minskad solinstrålning vintertid riskerar annars att medföra negativa hälsoeffekter för stadens invånare. Kershaw (2017) beskriver vidare hur felplacerade träd kan bidra till en ökad koncentration av luftföroreningar under trädkronorna (se kapitel 3.4.2 *Luftföroreningar*).

Plantering av träd gör enligt Akbari (1992) mer nytta i stadskärnan än i dess omgivning. Samtidigt är stadens miljö krävande för många trädarter förklarar Thorsson et al. (2017) och redogör även för vikten av att välja rätt träd. Träd i urban miljö påverkas av ett flertal olika parametrar som exempelvis luftföroreningar, vattenbrist, bristande underhåll eller att rötterna inte får tillräckligt utrymme att växa på (Akbari, 1992). En annan aspekt att beakta är trädens påverkan på sin omgivning, då både fallande grenar och rötter som växer upp i marknivå kan förstöra omgivande gator och byggnader (Sailor, 2006). Vissa träd bär dessutom på allergiframkallande ämnen (Giguère, 2012). Utöver sådana negativa konsekvenser leder fler träd, och även buskar, till ett ökat behov av avfallshantering på grund av nedfallna löv enligt Akbari (1992). Ett träds positiva effekter ökar med dess ålder där utvecklingen för nyplanteringar kan snabbas på genom att välja rätt träd till rätt förhållande (Persson, Wikberger och Amorim, 2018). Sammantaget anses fördelarna med att plantera träd i urban miljö överväga nackdelarna (U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

Utöver träd förespråkas ofta gröna tak och fasader som effektiva åtgärder för att kyla staden (ex. Chrysoulakis & Grimmond, 2016; Folkhälsomyndigheten, 2019b; Yamamoto, 2006). Gröna tak anses bidra till att minimera energibehovet för byggnaderna då de inte värms upp i samma utsträckning (Filho et al., 2017). Enligt Sailor (2006) bidrar gröna tak och fasader till att öka evapotranspirationen genom att hårdbelagda ytor ersätts med ytor med hög permeabilitet. U.S. Environmental Protection Agency (2008) beskriver vidare hur fasader som kläs med snabbväxande klängväxter kan vara passande i de fall då en åtgärd behövs omgående och träd således tar för lång tid att ge effekt.

Sailor (2006) skriver att en negativ aspekt med gröna tak är att de ofta har ett litet jorddjup för att minimera belastningen på byggnaden, vilket medför relativt svåra förhållande för vegetationen. Det grunda jorddjupet leder i sin tur till att det oftast planteras vegetation med ett relativt litet vattenbehov, och därmed begränsad evapotranspiration (Sailor, 2006). Enligt författaren är en bättre åtgärd att satsa på gröna tak med massivare jordlager, samtidigt som det dock kräver mer av byggnaden i fråga. Förmågan hos gröna tak att kyla temperaturen på gatunivå minskar dessutom drastiskt med byggnadens höjd, där effektiviteten är som bäst för byggnader lägre än tio meter (Wong, Chen, Ong, & Sia, 2003). Effekten antas vara minimal för medelhöga till höga byggnader (Chen et al., 2009).

Akbari (1992) förklarar att all vegetation kräver vatten i större eller mindre utsträckning men att vattenbehovet skiljer sig mellan exempelvis buskar, som ofta kräver minst vatten och gräsytor, som kräver betydligt mer. Författaren beskriver dessutom vikten av att variera olika arter av vegetation i staden för att minimera risken för en massdöd vid skadedjursutbrott. Vidare redogör Folkhälsomyndigheten (2019b) för vikten av närhet till grönområden för stadens invånare. Enligt Folkhälsomyndigheten bör det maximala avståndet till närmaste grönområde för vardera invånare vara 300 meter från bostaden eftersom ett större avstånd reducerar användningen. Enligt myndigheten främjas människors fysiska och psykiska hälsa vid närhet till grönområden.

4.1.4.4 Minimera den antropogena värmeproduktionen

För att minska den antropogena värmeproduktionen beskriver litteraturen både åtgärder som syftar till att reglera utsläpp från, samt höja prestandan för, fordon, maskiner och system. Att sammanställa de antropogena utsläppens mönster är enligt Chrysoulakis och Grimmond (2016) grundläggande för att hjälpa beslutsfattare vid planering och byggnation av en motståndskraftig stad. Yamamoto (2006) resonerar på ett liknande sätt och skriver att värmeproduktionen från byggnader bör kontrolleras kontinuerligt. Yamamoto rekommenderar även att energieffektivisera ventilations-, uppvärmnings- och nedkylningssystem samt att bygga in rätt isolering vid nybyggnation för att minimera antropogen värmeproduktion.

Att minska bilanvändningen är en central åtgärd för att minimera tillförseln av värme från trafiken (ex. Coutts, Beringer, & Tapper, 2008; Filho et al., 2017; Giguère, 2012; Yamamoto, 2006). Ett sätt att minska bilbehovet i staden är att förtäta, vilket beskrivs mer i detalj i kapitel 4.1.3 *Urbanisering och förtätning*. Flera artiklar (ex. Coutts et al., 2008; Filho et al., 2017) hävdar att en förbättring av stadens kollektivtrafik bidrar till den önskvärda minskningen. Kolbe (2019) framhåller att en energieffektiv kollektivtrafik är den främsta åtgärden för att minska effekten av värmeöar sommardag och beskriver vidare hur stadens styre bör satsa på att utveckla just kollektivtrafiken. Giguère (2012) förslår att invånare i staden ska låtas åka gratis under varma perioder sommardag. Andra tillvägagångssätt för att minska bilanvändningen är bland andra att förbjuda viss, eller all, biltrafik under varma dagar, höja parkeringsavgifterna alternativt minska antalet parkeringar samt att beskatta bilanvändningen (Giguère, 2012; Kolbe, 2019). I Göteborg har exempelvis införandet av trängselskatt i kombination med stadens parkeringspolicy lett till minskad biltrafik i stadskärnan (Hellberg, Bergström Jonsson, Jäderberg, Sunnemar, & Arby, 2014). För den biltrafik som är oundviklig i staden är det enligt Filho et al. (2017) viktigt att en så stor andel som möjligt drivs av miljövänligt bränsle och att användandet av elbilar bör uppmuntras för att minimera värmeutsläppet.

4.1.4.5 Öka kunskapsnivån

En grundläggande åtgärd är enligt flertalet vetenskapliga artiklar att öka kunskapsnivån om värmeöar inom stadens utvecklingsarbete (ex. Filho et al., 2017; Sailor, 2006; Soltani & Sharifi, 2017). Enligt Coutts, Beringer och Tapper (2010) är det exempelvis av yttersta vikt att ha förståelse för stadens klimat för att kunna implementera åtgärder som bidrar till en hållbar stad. Filho et al. (2017) skriver att städer bör använda sig av de olika verktyg som finns för att analysera en värmeös utbredning i den specifika staden. Anledningen är enligt författarna att konsekvenserna av en urban värmeö kan skilja sig stort mellan olika städer, vilket gör det svårt att använda sig av studier som analyserat fenomenet för en annan stad.

Enligt Sailor (2006) anser många forskare att länder måste arbeta mer med att införa program och standarder som reglerar stadens utveckling på ett sådant sätt att effekten av värmeöar mildras. I flera städer i Australien finns enligt Soltani och Sharifi (2017) program för klimatanpassningsarbete som bland annat innefattar ett direktiv om en minsta tillåten andel öppen yta i staden. Författarna tillägger dock att programmen har lett till stora hårdgjorda ytor av material med låg permeabilitet eftersom det inte specificeras vilken typ av öppen yta som är att föredra, något som kan antas bero på bristande kunskap om ämnet.

4.2 Intervjustudie om urban värme i Göteborg

I följande kapitel presenteras resultatet av intervjustudien. Materialet bekräftar till stor del resultatet av litteraturstudien både gällande värmeböljors effekter på samhället, möjliga åtgärder för att minimera de negativa effekterna av en värmeö samt vilka områden som kan antas vara mer utsatta under en värmebölja.

Att öka kunskapsnivån i stadens planeringsarbete är enligt flera litteraturkällor en högst nödvändig åtgärd. I Göteborg har arbetet med klimatanpassning bedrivits på olika sätt i cirka 15–20 år enligt E-L. Torudd, planeringsledare klimatanpassningssamordning på stadsledningskontoret i Göteborg (personlig kommunikation, 28 februari 2020). Torudd menar dock att fokus helt klart varit på översvämningsrisker, för vilka en ordentlig mängd utredningar och underlag redan har tagits fram, och tillägger att frågan om värmeböljor i kommunen är i behov av utveckling framöver. Den nya översiktsplan som för närvarande står i begrepp att tas fram för Göteborg kommer enligt Torudd ge större utrymme åt klimatanpassningsfrågan överlag, men fortsätta att fokusera på vattenfrågorna.

I kontrast till urvalet av vilka klimatanpassningsåtgärder som är lagstadgade i PBL, vilket kort beskrivs i kapitel 1.2 *Problemanalys*, och vad som verkar vara ett fortsatt fokus på vattenfrågor i Göteborgs Stads nya översiktsplan, står en tydlig konsensus att finna i det intervjumaterial som insamlats inom ramen för denna studie. En klar majoritet av intervjuobjekten uppger nämligen att Göteborg kommer påverkas av framtida värmeböljor, vilket redovisas i tabell 8. L. Westholm vid samhällsbyggnadsenheten på Länsstyrelsen (personlig kommunikation, 13

mars 2020) säger till och med att just värmeeffekter är de viktigaste och farligaste climateffekterna till följd av den starka kopplingen till överdödighet som går att observera vid varma episoder. Enligt Westholm är det också ”självkänt” att Göteborg kommer påverkas av värmeböljor i framtiden. Ytterligare ett tema kan observeras i att flera av de intervjuade refererar till den långvariga värmen i Sverige sommaren 2018 som en form av ”uppvaknande”. U. Åkerlund vid Boverket (personlig kommunikation, 26 mars 2020) beskriver det i termer av ett varnande exempel:

Det kommer bli varmare och det kommer framförallt bli långvarigt varmare med värmeböljor som håller i sig i veckor, kanske månader. Det är det mycket som tyder på, att det kommer bli så. Den sommaren vi hade 2018 var inte en engångsföreteelse. Det är snarare det nya normala. Då blir det superviktigt att vi också rustar oss för det.

I tabell 8 listas de möjliga effekter av värmeböljor som nämns under intervjuerna. Då varken D. Hirdman eller M. Willman (personlig kommunikation, 9 mars 2020; personlig kommunikation, 18 mars 2020), strategisk samhällsplanerare-klimatpassning vid Lerums kommun respektive koordinator för hållbar utveckling med ansvar för klimatanpassning vid Norrköpings kommun, är verksamma inom någon av Göteborgs förvaltningar eller har bedrivit forskning relaterad specifikt till Göteborg har de undantagits denna fråga.

Tabell 8.

Intervjuobjektens syn på Göteborgs utsatthet för värmeböljor och exempel på effekter.

Namn	Kommer Göteborg påverkas av framtida värmeböljor?	Exempel på effekter
Eva-Lena Torudd	Ja	Konsekvenser för verksamheter som ger vård och omsorg. Ökat energibehov för kylning av lokaler. Försämrat välmående hos befolkningen.
Deliang Chen	Ja	Påverkan på hälsa. Försämrat välbefinnande hos befolkningen. Ökad energianvändning. Försämrad arbetsmiljö för yrkesgrupper som arbetar utomhus.
Özüm Durgun	N/A	N/A
Maria Håkansson	N/A	Konsekvenser för verksamheter som ger vård och omsorg. Varma skolgårdar. Sämre inomhuskomfort till följd av att svenska hus är byggda för ett särskilt temperaturspann.
David Hirdman	N/A	N/A

Tabell 8 fortsättning.

Ulf Moback	Ja	Omvänt energibehov gällande uppvärmning respektive kylning av byggnader. Ökad mikrobiologisk aktivitet i dricksvattenproduktionens råvatten. Solkurvor i järnvägsspår. Blödande asfalt. Försämrat välbefinnande hos befolkningen. Skogsbränder.
Fredrik Lindberg	Ja	Påverkan på förskoleverksamhet. Ökad användning av luftkonditionering och därmed mer värme till stadsrummet.
Sofia Thorsson	Ja	Ökad dödlighet bland äldre.
Lars Westholm	Ja	Ökad dödlighet. Sämre inomhuskomfort i befintligt byggnadsbestånd och ökad sårbarhet för riskgrupper som bor där.
Anna Jonsson	Ja	Ökad dödlighet.
Karin Lundgren Kownacki	Ja	Påverkan på hälsa och arbetsmiljö.
Merja Willman	N/A	N/A
Eva Liljegren	Ja	Blödande asfalt. Överhettade teknikhus.
Ulrika Åkerlund	Ja	Påverkan på värmekänsliga verksamheter. Människors hälsa. Vegetation torkar och dör.

4.2.1 Åtgärder i bebyggd miljö

Under intervjuerna ställdes två frågor angående möjliga åtgärder för att minska värmeböljors påverkan på staden. Den ena frågan berörde åtgärder som redan vidtagits medan den andra fokuserade på framtida åtgärder inom samhällsbyggnadsteknik och stadsplanering. En fullständig intervjumall finns återgiven i bilaga 1. Båda frågorna ställdes med fokus på åtgärder i Göteborg men intervjuobjektens svar var främst riktade till åtgärder som kan vidtas i hela Sverige. Intervjuobjektens övergripande svar redovisas i tabell 9.

De flesta av intervjuobjekten anser det viktigt att öka andelen grönska i staden eller förändra bebyggelsens geometri för att skapa vindkorridorer. Sådana åtgärder är förenliga med resultatet av litteraturstudien, där en ökning av andelen grönska ansågs angeläget enligt flera vetenskapliga artiklar. Generellt återkommer majoriteten av åtgärderna från litteraturstudien även i intervjuerna. Dock ger de båda studierna stundtals avvikande resultat, till exempel i form av att reduktion av den antropogena värmeproduktionen i staden fastslås som en åtgärd av stor betydelse enligt litteraturen, medan den inte ens omnämns under intervjuerna.

En åtgärd som återkommer i både litteratur- och intervjustudien är att öka kunskapsnivån. D. Chen säger i sin intervju (2 mars 2020) att stadsplanering är en betydande och långsiktig fråga. Chen fastslår att den globala uppvärmningen förändrar klimatet på lång sikt samtidigt som det politiskt planeras för de kommande fyra till åtta åren. Ett mer robust samhälle är även något som D. Hirdman (personlig kommunikation, 9 mars 2020) förespråkar.

Tabell 9.

Möjliga åtgärder för att motverka effekten av värmeöar

Namn	Åtgärder
Eva-Lena Torudd	Öka andelen grönska i staden Gröna tak och fasader Skapa vindkorridorer
Deliang Chen	Öka andelen grönska i staden Reflekterande material Varierande höjd på byggnader Skapa vindkorridorer Val av byggnadsmaterial Gröna tak
Özüim Durgun	Öka andelen grönska i staden Reflekterande material Gröna tak och fasader
Maria Håkansson	Skapa skugga
David Hirdman	Öka andelen grönska i staden Skapa svala rum/skugga Gröna tak och fasader
Ulf Moback	Öka andelen grönska i staden Reflekterande material
Fredrik Lindberg	Öka andelen grönska i staden
Sofia Thorsson	Öka andelen grönska i staden
Lars Westholm	Öka andelen grönska i staden
Anna Jonsson	Öka andelen grönska i staden
Karin Lundgren Kownacki	Skapa vindkorridorer Öka andelen grönska i staden Reflekterande material
Merja Willman	Öka andelen grönska i staden Val av byggnadsmaterial Blå struktur
Eva Liljegren	Skapa vindkorridorer Öka andelen grönska i staden
Ulrika Åkerlund	Öka andelen grönska i staden Skapa vindkorridorer Val av byggnadsmaterial

4.2.1.1 Förändra bebyggelsens geometri

I kontexten av att minska värmeböljors påverkan på staden nämner flera intervjuobjekt att bebyggelsens geometrin har en viktig roll. De talar framförallt om gators orientering och byggnaders höjd som centrala åtgärder då det skapar vindkorridorer. Enligt E-L. Torudd (personlig kommunikation, 28 februari 2020) har Göteborg tidigare planerat och byggt staden för att minska mängden vind då den har ansetts vara ett problem. Torudd menar dock att det kanske är nödvändigt med ett annat förhållningssätt till vind just i frågan om värmeböljor, och att det är något som Stadsledningskontoret måste börja tänka på eftersom värmeöar skapas om inte värme kan transporteras ut ur staden. För att transportera ut värme menar Torudd att det behöver byggas och planeras för vindkorridorer i staden. Även U. Åkerlund (personlig kommunikation, 26 mars 2020) talar om vikten av att bygga så att luften inte står stilla då luftgenomströmning är en viktig aspekt som behöver beaktas vid stadsplanering. K. Lundgren Kownacki (personlig kommunikation, 13 mars 2020) nämner också vikten av att skapa vindkorridorer men påpekar att ”vi kommer ju fortfarande att ha det relativt kallt på vintern så man måste balansera detta mot nyttan när det är varmt till skillnad från varma länder”. Vindkorridorer är inte bara positivt för värmeöeffekten utan även för att minska mängden luftföroreningar i staden (D. Chen, personlig kommunikation, 2 mars 2020).

D. Chen föreslår varierande byggnadshöjd som en åtgärd som påverkar energibalansen i staden (personlig kommunikation, 2 mars 2020). Två höga byggnader som är placerade bredvid varandra blockerar den långvågiga solinstrålningen från att lämna staden, som då i stället strålar tillbaka ner mot marken, menar Chen. Vidare resonerar Chen att byggnaderna dock blockerar den inkommande solinstrålningen, vilket är positivt, och att staden kan komma tillrätta med problematiken genom att arbeta med varierande höjd på byggnaderna.

4.2.1.2 Förändra stadens material och ytor

Hur varm en stad upplevs kan bero på hur mycket energi som byggnaderna i den absorberar enligt D. Chen (personlig kommunikation, 2 mars 2020), som menar att byggnadsmaterialet kan ha stor betydelse för den omgivande temperaturen. U. Åkerlund (personlig kommunikation, 26 mars 2020) säger:

Den mesta byggda materialen och materialerna lagrar ju värme så det blir oftast flera grader varmare inuti städerna än vad det är i omgivande landskap. Byggnadskropparna, asfalten, betongen och stenen lagrar värme under dagtid som sedan avges under natten. Det gör att temperaturen inte riktigt sjunker över natten. Då har man redan en högre temperatur när solen kommer upp nästa dag och fyller på med värme.

Materialval är även något som M. Willman (personlig kommunikation, 18 mars 2020) talar om genom att beskriva hur kommuner har tagit fram strategier för att bygga mer i trä. En av anledningarna till framtagandet är enligt Willman att utsläppen är mindre vid byggande i trä än

vid byggande med andra material, eftersom trä binder kol, vilket fungerar som en klimatanpassningsåtgärd. Willman säger även att när det byggs i trä ”lagras inte värmen på samma sätt som den gör i stenhus”.

Flera av intervjuobjekten berättar även att byggnaders ytbeläggning kan ha betydelse. De nämner byggnadens reflektionsförmåga som en viktig faktor. Enligt U. Moback (personlig kommunikation, 10 mars 2020) är Göteborg en stad med ganska ljusa fasadfärger men att det blir allt mer vanligt med mörkare fasader och glasfasader som reflekterar och absorberar på ett annat sätt. D. Chen (personlig kommunikation, 2 mars 2020) säger specifikt att ”allt som kan öka reflektion av solljuset och energi är bra” vilket till viss del motsäger den litteratur som redogör för ett flertal negativa konsekvenser med att öka albedo, se kapitel 4.1.2.4 *Öka stadens albedo*.

4.2.1.3 Öka andelen grönytor

Under samtliga intervjuer nämns ökad andel grönyta som en åtgärd mot värmeböljor då grönytor bidrar till sänkt temperatur och möjlighet till skugga. Flera intervjuobjekt anser att det är viktigt att Göteborg behåller de grönytor som finns. Att Göteborg är en stad som både kan och behöver förtätas för att bli mer energieffektiv uppkommer även under flera intervjuer. F. Lindberg (personlig kommunikation, 11 mars 2020) säger att det handlar om ”mantrat att bygga tätt och grönt”. Lindberg beskriver hur förtätning i kombination med mer grönska ger en kylande effekt både under dag- och nattetid. Även D. Hirdman (personlig kommunikation, 9 mars 2020) och U. Moback (personlig kommunikation, 10 mars 2020) talar om vikten av att göra en avvägning mellan förtätning och andelen grönytor. En sådan avvägning menar de är viktig eftersom Göteborg kommer fortsätta förtätas, vilket medför att värmestressen ökar. Att tänka långsiktigt i frågan är något som Hirdman förespråkar då det är betydelsefullt att skapa nya grönområden vid nybyggnation så att närheten till svalka bevaras.

Flera intervjuobjekt pratar om svårigheter med att införa nya grönområden på redan bebyggd mark och uttrycker därför vikten av att få med grönskan redan i planeringsstadiet av ny bebyggelse. Uppfattningen är att Göteborg måste arbeta mer efter ett sådant förhållningssätt. S. Thorsson (personlig kommunikation, 11 mars 2020) berättar de idag har bra koll på var grönskan ska placeras för att göra störst nytta och att det i dagsläget finns relativt lite gatuträd i Göteborg. Thorsson anser att det är just i staden som grönskan gör mest nytta sett till att sänka den urbana temperaturen och beskriver vidare hur de har arbetat med att få in mer vegetation i den nya översiktsplanen. Thorsson säger att det behövs en policy i Göteborg om att vara försiktig med grönskan i mellanstaden och att inte röra den alls i innerstaden. Liknande policys redogörs för i litteraturstudien. De är en användbar åtgärd för att föra in frågan i ett planeringsstadium, dock motverkar bristande kunskapsnivå deras syfte.

För att hjälpa träden att må bra, bli stora och få dem att skapa mycket skugga kan till exempel underjordiska magasin användas enligt L. Westholm (personlig kommunikation, 13 mars 2020). Westholm berättar att det finns kunskap om träd och deras skelettjordar redan idag och talar om vikten av gröna ytor, vilket är något som Länsstyrelsen försöker förmedla till kommuner. Från Länsstyrelsens sida ligger dock främst tyngden på ekosystem, ekosystemtjänster och hantering av vatten men Westholm ser också fördelarna med att minska värmestressen och skapa skugga. I Norrköping berättar M. Willman (personlig kommunikation, 18 mars 2020) att en tio grader stor temperaturskillnad kunnat observeras vid jämförelse av ett ganska trafikerat gatustråk med låg vegetation och ett gatustråk två kvarter bort med i det närmaste obefintlig vegetation. ”Det är bland annat utifrån det vi också sett att grönstrukturen kommer spela en oerhört viktig roll för att vi ska kunna få ner temperaturerna i staden” säger Willman. Grönytor och framförallt träd har också en kylande effekt enligt D. Chen (personlig kommunikation, 2 mars 2020) då:

Träd förbrukar väldigt mycket vatten. Om mycket vatten blir vattenånga konsumerar det väldigt mycket energi, det blir kallare då, eftersom det tar mycket energi att omvandla vatten till vattenånga. Vi kallar det latent, det som avdunstar bort, på så sätt minskar temperaturen lokalt.

Slottsskogen är en plats som omnämns i flera intervjuer och som beskrivs som en plats med kylande effekt och svalkande egenskaper som inte bör byggas bort. Enligt U. Åkerlund ”kan det skilja flera grader runt en park för att en park har en temperaturreglerande effekt på närområdet omkring” (personlig kommunikation, 26 mars 2020). Både S. Thorsson och M. Willman nämner dock driften som ett problem med grönytor då det både kostar att investera i och ta hand om ytorna (personlig kommunikation, 11 mars 2020; personlig kommunikation 18 mars 2020). Att trädrötter tränger in i ledningar är ett annat problem som kan leda till att avloppsledningar och dränering sätts igen enligt U. Moback (personlig kommunikation, 10 mars 2020).

Ett komplement till grönytor på marknivå, som flera intervjuobjekt nämner, är grönska på bebyggelse som exempelvis gröna tak och gröna fasader. Tjocka växttak skapar kyla då det har en isolerande effekt enligt D. Hirdman (personlig kommunikation, 9 mars 2020). Hirdman påpekar dock att ett grönt tak med gräs oftast inte kan kompensera för den grönska som förtätas bort. Även D. Chen (personlig kommunikation, 2 mars 2020) diskuterar fördelarna med gröna tak och fasader men menar att åtgärden kanske inte är så effektiv i Göteborg då temperaturen inte är vidare hög.

D. Hirdman (personlig kommunikation, 9 mars 2020) talar i sin intervju om grönskans påverkan på det omkringliggande området och förklarar att effekten av ett träd inte alltid är samma, utan beror av vilken art som väljs. Hirdman syftar på vikten av att välja en trädart med en stor krona som skapar skugga, och nämner björk som ett exempel på art som inte skulle uppfylla den tänkta skuggeffekten på exempelvis en skolgård. Även U. Åkerlund (personlig kommunikation, 26 mars 2020) talar om vikten av rätt träd. Åkerlund berättar att Boverket har ett projekt med

SCB som går ut på att hitta en effektiv metod för att kartlägga graden av krontäckning och säger vidare:

Träden har så stor betydelse för både att ge skugga men också för att de transpirerar och sänker temperaturen lokalt runt sig. Vi vill kunna kartlägga krontäckningen utifrån satellitdata kombinerat med olika dataset så skulle man kunna få fram nationella underlag för hur krontäckningen ser ut i våra städer och tätorter.

4.2.2 Intervjuobjektens syn på urbana riskområden

I Göteborg finns enligt intervjuobjekten flera geografiska områden som löper större risk att drabbas negativt vid en värmebölja. Trots att få namnger en specifik plats kan en flera av de intervjuade beskriva egenskaper hos ett område som borde påverkas mer vid en värmebölja, se tabell 10. Gemensamt för majoriteten av de beskrivna områdena är att dess bidragande faktorer överensstämmer väl med de faktorer som redogörs för i litteraturstudien, se kapitel 4.1 *Värmeöns påverkande faktorer och åtgärder*.

Att identifiera riskområden i städer är något som M. Håkansson ser som en viktig del för att minska en värmeböljas påverkan på samhället (personlig kommunikation, 2 mars 2020). Om riskområden och riskgrupper överlappar blir såklart risken för negativa konsekvenser större menar D. Hirdman (personlig kommunikation, 9 mars 2020). När ett äldreboende är beläget i ett riskområde är det enligt Hirdman normalt att de boende påverkas mer av värmen än vad de skulle gjort på ett boende beläget utanför riskområdet, vilket även styrks av M. Håkansson och M. Willman (personlig kommunikation, 2 mars 2020; personlig kommunikation, 18 mars 2020). Håkansson och Willman anser dock att äldre som fortfarande bor hemma, och inte på ett äldreboende med personal, utgör en riskgrupp som ofta förbises och att det därmed förstärker vikten av att känna till möjliga riskområden i staden samt om dessa har en hög andel äldre invånare.

Tabell 10.

Intervjuobjektens syn på potentiella urbana riskområden.

Namn	Har Göteborg särskilda geografiska riskområden?	Exempel på möjligt riskområde
Eva-Lena Torudd	Ja	Vet ej.
Deliang Chen	Ja	Områden utan mycket grönska eller med höga hus. Exempel på område är om Heden skulle bebyggas med hus.
Özüm Durgun	Ja	Inget specifikt men industriområden blir varmare än andra områden i staden.
Maria Håkansson	Ja	Stadskärnan eller liknande där det inte finns svalkande faktorer. Områden med stor andel äldre, antingen i äldreboende eller som bor själva.
David Hirdman	Ja	Områden med äldreboenden samt förskolor som är öppna sommartid. Områden med långa avstånd till eller som avgränsas av hinder för att ta sig till grönska. Områden som topografiskt är som grytor.
Ulf Moback	Ja	De centrala delarna av staden utan grönska.
Fredrik Lindberg	Ja	De lokala delarna av staden är varmare. På en mikroskala så är det områden där det finns stora solbelysta ytor, exempelvis Gustav Adolfs torg. Miljonprogramområden och/eller ytterområden där huskroppar ligger med större avstånd vilket medför mer solbelysta ytor.
Sofia Thorsson	Ja	Tätbebyggda, centrala områden med mycket hårdgjord yta och ingen vegetation. Öppna ytor med mycket sol, solbelysta väggar i syd eller sydvästlig riktning.
Lars Westholm	Ja	Den kompakta stadskärnan t.ex. Gustav Adolfs torg.
Anna Jonsson	Ja	Vet ej.
Karin Lundgren Kownacki	Ja	Vet ej.
Merja Willman	N/A	Gatustråk utan träd var vid en mätning utförd i Norrköping upp till 10 °C varmare än gatustråk med lite träd. Värmen lagras mer när det är mycket hårdgjorda ytor (exempelvis sten) vilket medför att det inte blir svalt någon gång under dygnet.
Eva Liljegren	N/A	N/A
Ulrika Åkerlund	Ja	Ju mer hårdgjort, ju tätare och ju mindre grönska desto varmare upplevs det. Även områden där det är dålig luftgenomströmning och/eller där det finns trafik.

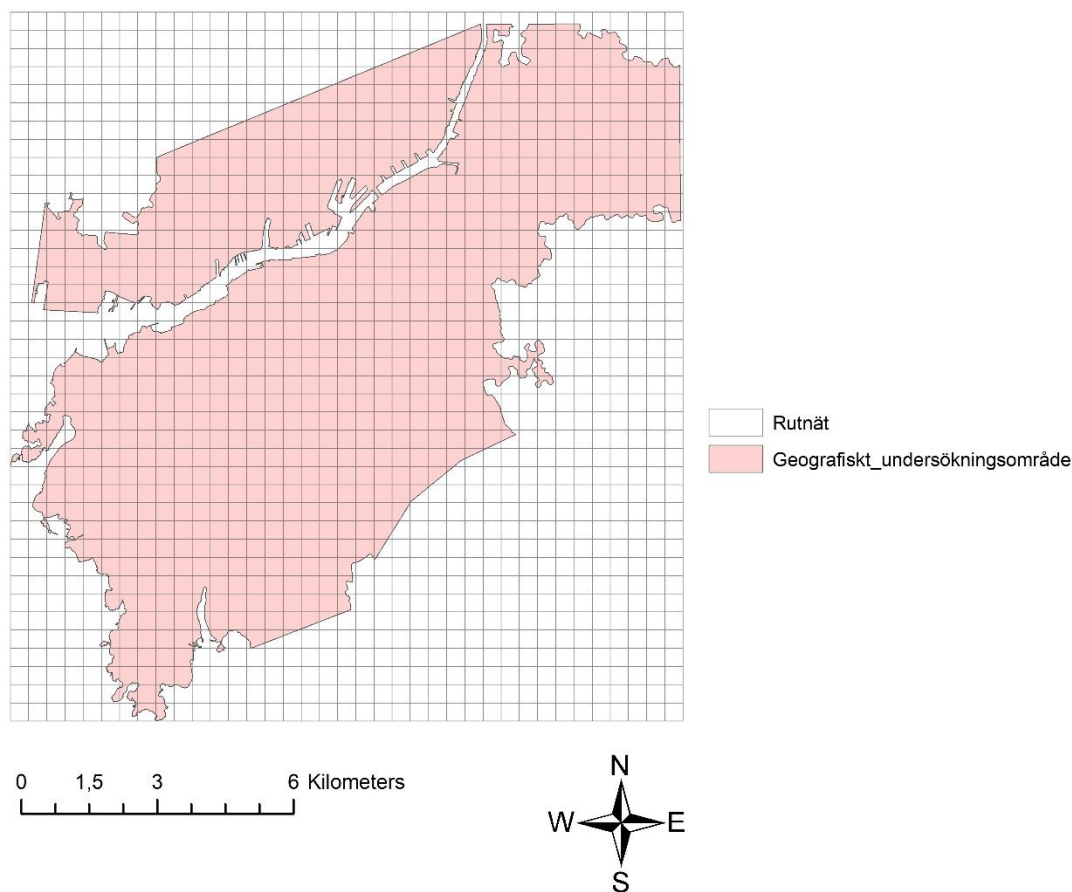
Under flera intervjuer utpekades små barn som en riskgrupp att beakta i frågan om potentiella riskområden som kan utveckla skadligt höga temperaturer. Både E-L. Torudd (personlig kommunikation, 28 februari 2020) och U. Åkerlund (personlig kommunikation, 26 mars 2020) nämner konsekvenser för verksamheter inom vård och omsorg som exempel på negativa effekter av värmeböljor. F. Lindberg (personlig kommunikation, 11 mars 2020) uppger att förskolor ”hade problem” under den varma sommaren 2018. M. Willman berättar (personlig kommunikation, 18 mars 2020), på ämnet om små barns utsatthet och vikten av att sätta in skyddande åtgärder:

Skillnaden är att inom äldreomsorgen är man ju ”hemma” hela tiden, medan på förskolor är barnen där kanske de varmaste timmarna på dagen. Det vi ser är att det inte är varmast mitt på dagen utan att det börjar bli varmest på eftermiddagen kanske vid tre. Det var också en ny sak, att värmen förskjuter sig till en senare del av dagen. Det var en aha-upplevelse för personalen, att det kanske är då man behöver göra de största åtgärderna som exempelvis vattenlek för barnen.

4.3 Kartläggning av potentiella riskområden i Göteborg

För att identifiera möjliga riskområden i Göteborg har författarna kartlagt tre fenomen; påverkande faktorer i naturlig miljö, påverkande faktorer i bebyggd miljö samt demografiska förutsättningar. Utgångspunkten för studien är att de påverkande faktorerna i naturlig miljö inte är möjliga att åtgärda inom ramen för vad som kan anses vara rimligt ur ett stadsbyggnadsperspektiv, varvid kartläggningen av dessa faktorer enbart utgör underlag för en diskussion av Göteborgs allmänna förutsättningar vad gäller hantering av höga temperaturer. I följande avsnitt presenteras resultatet av respektive kartläggning samt en sammanställning av vilka områden i Göteborg som uppvisar multipla riskfaktorer och -fenomen.

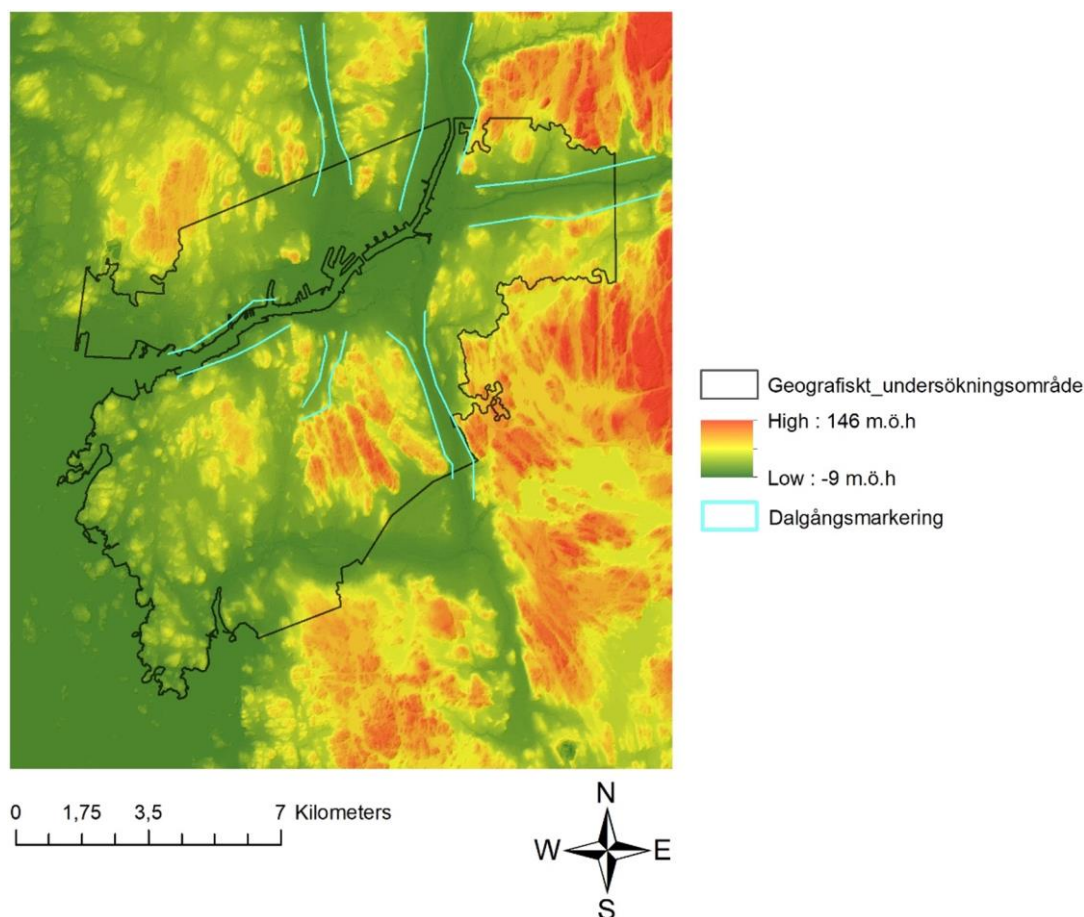
Det geografiska undersökningsområdet som kartläggningen omfattar och hänvisar till har begränsats med hjälp av SCB:s (2018b) definierade tätortsgräns för Göteborg, med viss modifiering på grund av avstånd från stadskärnan, se figur 8.



Figur 8. Karta över geografiskt undersökningsområde. Skapad utifrån Tätorter_2018 ©SCB.

4.3.1 Kartläggning av påverkande faktorer i naturlig miljö

Göteborgs topografi redovisas i figur 9, som visar att stadskärnan ligger vid havsnivå. Terrängen utanför det definierade undersökningsområdet stiger till nivåer över 100 meter. Från Göteborgs centrum löper sex dalar som är markerade med blått i figur 9. Göteborgs innerstad ligger således i en sänka omgiven med höga kanter in mot landet men även den västliga fronten ut mot havet höjer sig på sina ställen upp till 60–100 meter över havet.



Figur 9. Topografikarta över Göteborg. Baserad på GSD-Höjddata, grid 2+ ©Lantmäteriet och avgränsningsområdet på Tätorter_2018 ©SCB.

4.3.2 Kartläggning av påverkande faktorer i bebyggd miljö

Följande delkapitel presenterar kartläggningsresultatet av faktorerna andel bebyggelse, andel hårdgjord yta, andel grönyta respektive demografi. Utifrån förekomsten av faktorerna redovisas därefter förväntade riskområden i Göteborg.

4.3.2.1 Andel bebyggelse

I figur 10 visas andel bebyggelse per ruta i undersökningsområdet. Ett tätbebyggt område består enligt Stewart och Oke (2012) av minst 40 procent bebyggd markyta (se kapitel 4.1.2.1 *Bebyggelsens geometri*). De områden som ligger över det tröskelvärdet är redovisade i tabell 11, som visar att det finns sju områden. De sju områdena ligger alla i centrala Göteborg och har mellan 43–55 procent bebyggelse. Det går dessutom att observera utifrån figuren att intill de tätt bebyggda områdena finns angränsande rutor som även de visar en relativt hög andel bebyggelse, mellan 20–40 procent.



Figur 10. Andel bebyggelse i undersökningsområdet. Rut-ID är angett för de rutor med högst andel bebyggelse. Skapad utifrån NMD2018_basskikt_ogeneraliserad_Sverige ©Naturvårdsverket och Tätorter 2018 ©SCB.

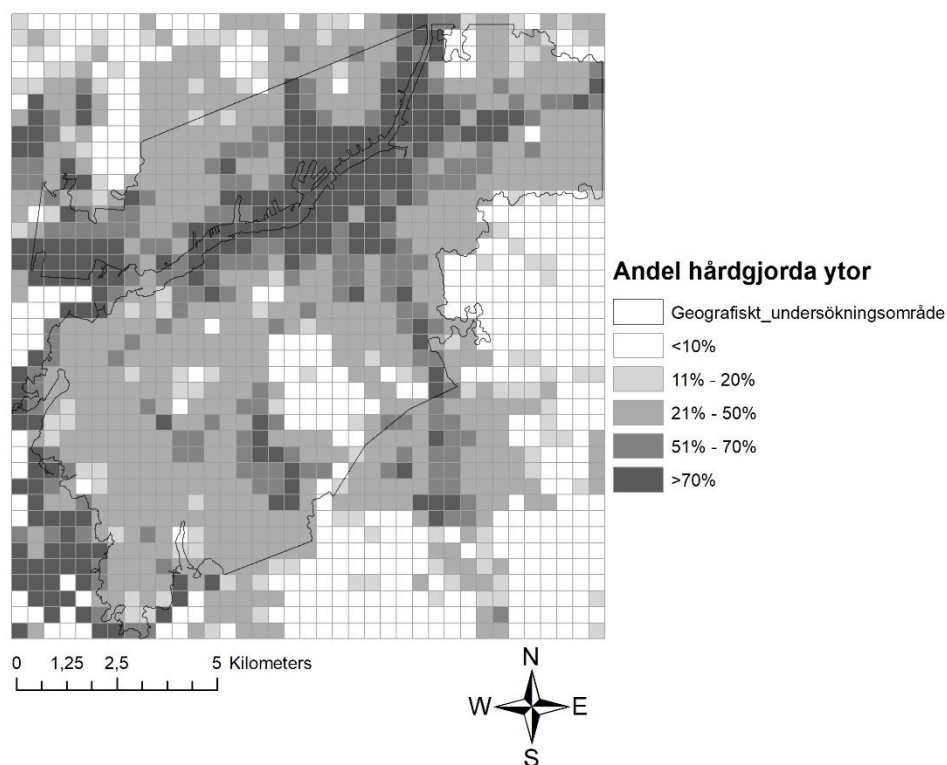
Tabell 11.

Andel bebyggelse i de sju mest bebyggda 400x400m-områdena i Göteborg. Skapad utifrån Fastighetskartan ©Lantmäteriet.

Rut-ID	Andel bebyggelse
911	55%
982	55%
981	49%
1019	45%
905	44%
1131	44%
906	43%

4.3.2.2 Andel hårdgjord yta

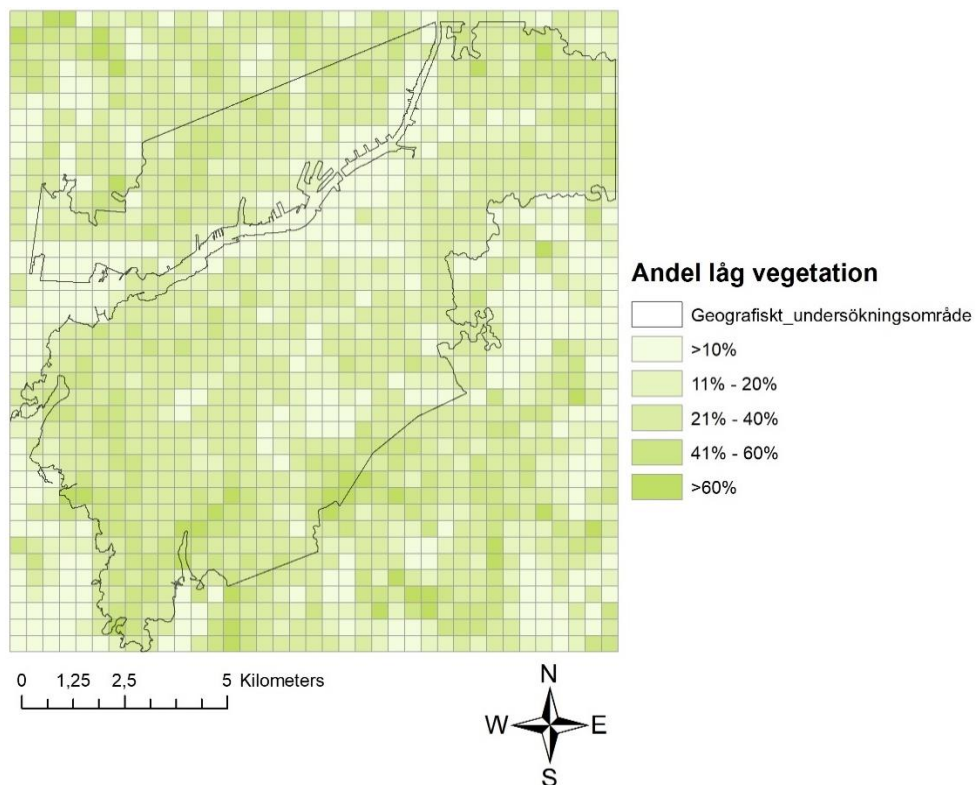
Från figur 11 kan utläsas att större delar av Göteborgs mest centrala delar består av över 70 procent hårdgjord yta. Områdena med högst andel hårdgjord yta är även till största delen sammanhängande med ett yttre lager av områden i kategorin 51–70 procent.



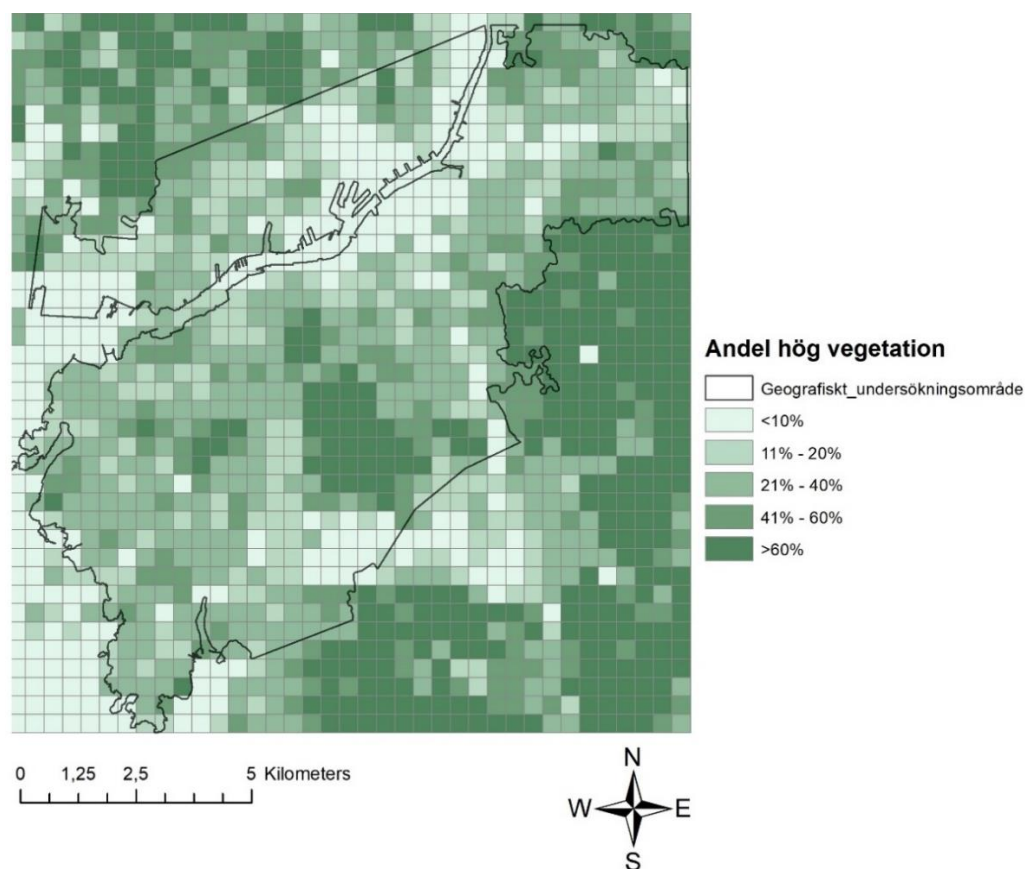
Figur 11. Kartläggning av andel hårdgjord yta i Göteborg. Baserad på NMD2018_basskikt_ogeneraliserad_Sverige ©Naturvårdsverket och Tätorter_2018 ©SCB.

4.3.2.3 Andel grönyta

För att visualisera mängden grönyta i Göteborg har två definitioner använts; låg respektive hög vegetation, då de påverkar en värmeö på olika sätt (se kapitel 4.1.4.3 *Mer grön infrastruktur*). Ytor som tillhör låg vegetation är de som enligt Nationella Marktäckedata kan klassificeras som öppen våtmark, åkermark och öppen mark med vegetation, se figur 12. Det som i Nationella Marktäckedata är definierat som skog har klassificerats om till hög vegetation, se figur 13.



Figur 12. Andel låg vegetation i Göteborg. Baserad på NMD2018_basskikt_ogeneraliserad_Sverige ©Naturvårdsverket och Tätorter_2018 ©SCB.



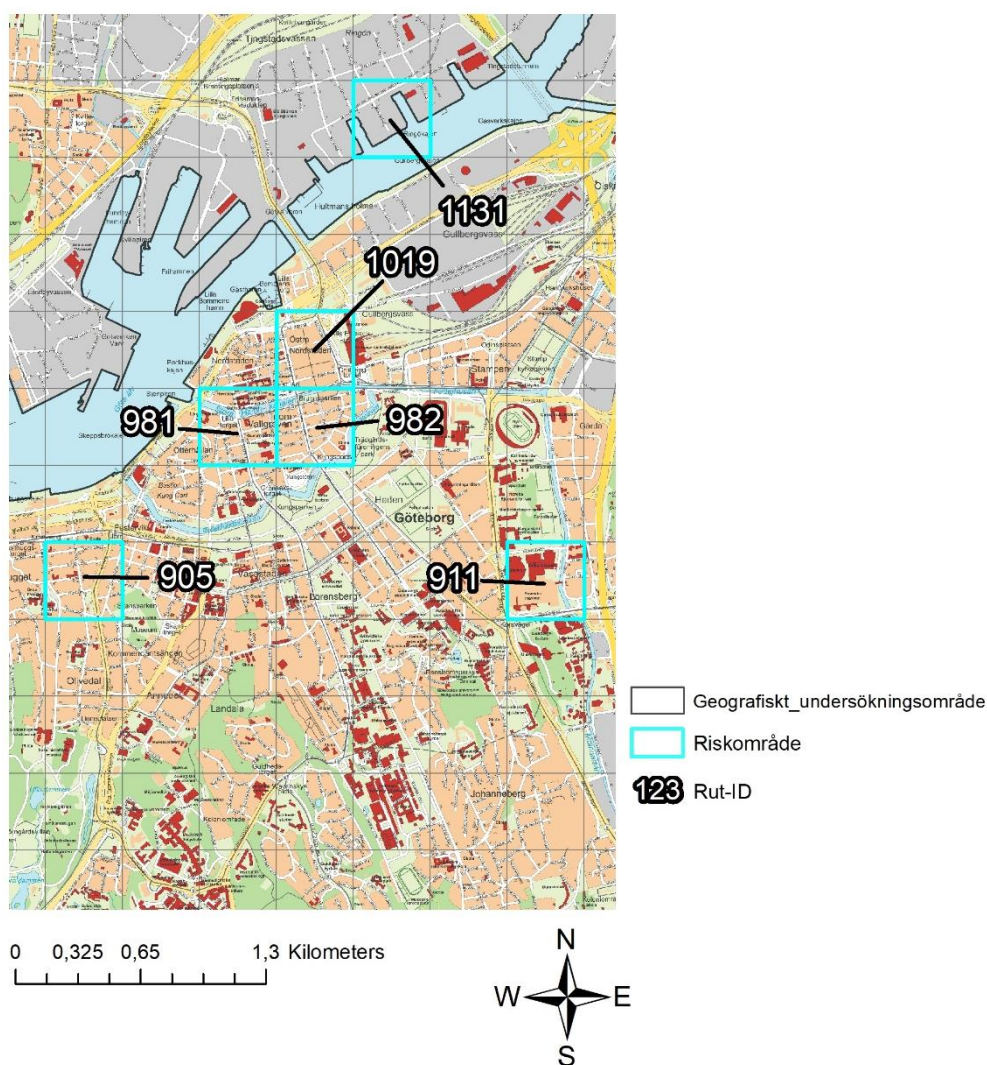
Figur 13. Andel hög vegetation i Göteborg. Baserad på NMD2018_basskikt_ogeneraliserad_Sverige ©Naturvårdsverket och Tätorter_2018 ©SCB.

4.3.2.4 Riskområden utifrån bebyggelseperspektiv

Folkhälsomyndighetens metodrapport *Kartläggning av bebyggelse med risk för höga temperaturer* (2019a) beskriver följande riktlinjer för tröskelvärden vid identifiering av riskområden:

- Hög vegetation <10 %
- Hårda ytor >70 %
- Bebyggelse >40 %

Tröskelvärdena har applicerats på kartläggningen och sammanvägts för att urskilja potentiella riskområden i Göteborg. Eftersom låg vegetation inte ingår i Folkhälsomyndighetens (2019a) kartläggningsmetod har den faktorn uteslutits i sammanvägningen av tröskelvärden. Sammanvägningen resulterar i sex områden, se figur 14. Tabell 12 redovisar statistik över bebyggd miljö i de identifierade riskområdena.



Figur 14. Karta med identifierade riskområden med avseende på bebyggd miljö markerade i blått. Baserad på GSD-Tätorter ©Lantmäteriet

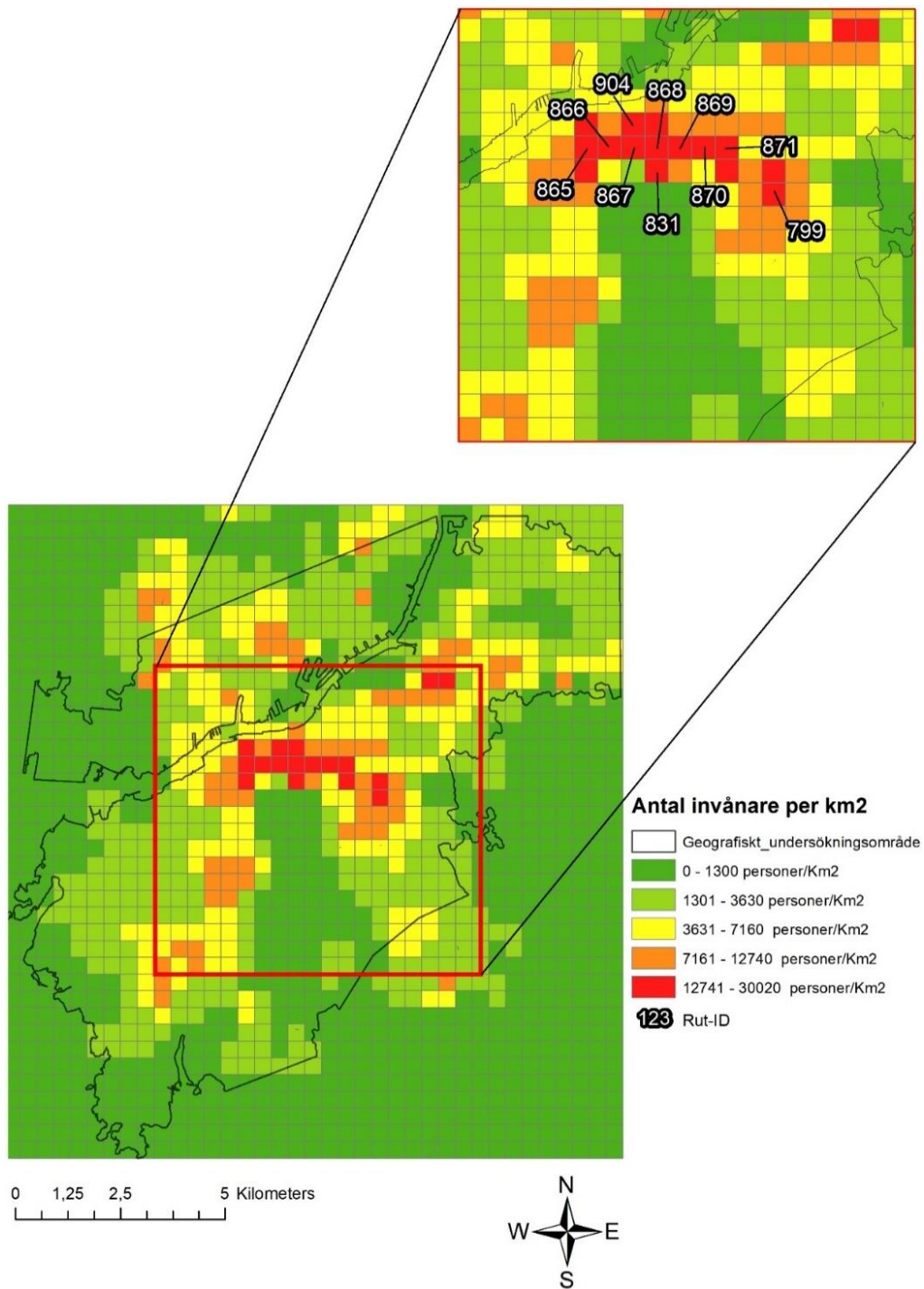
Tabell 12.

Statistik av varje kartlagd faktor för de identifierade riskområdena.

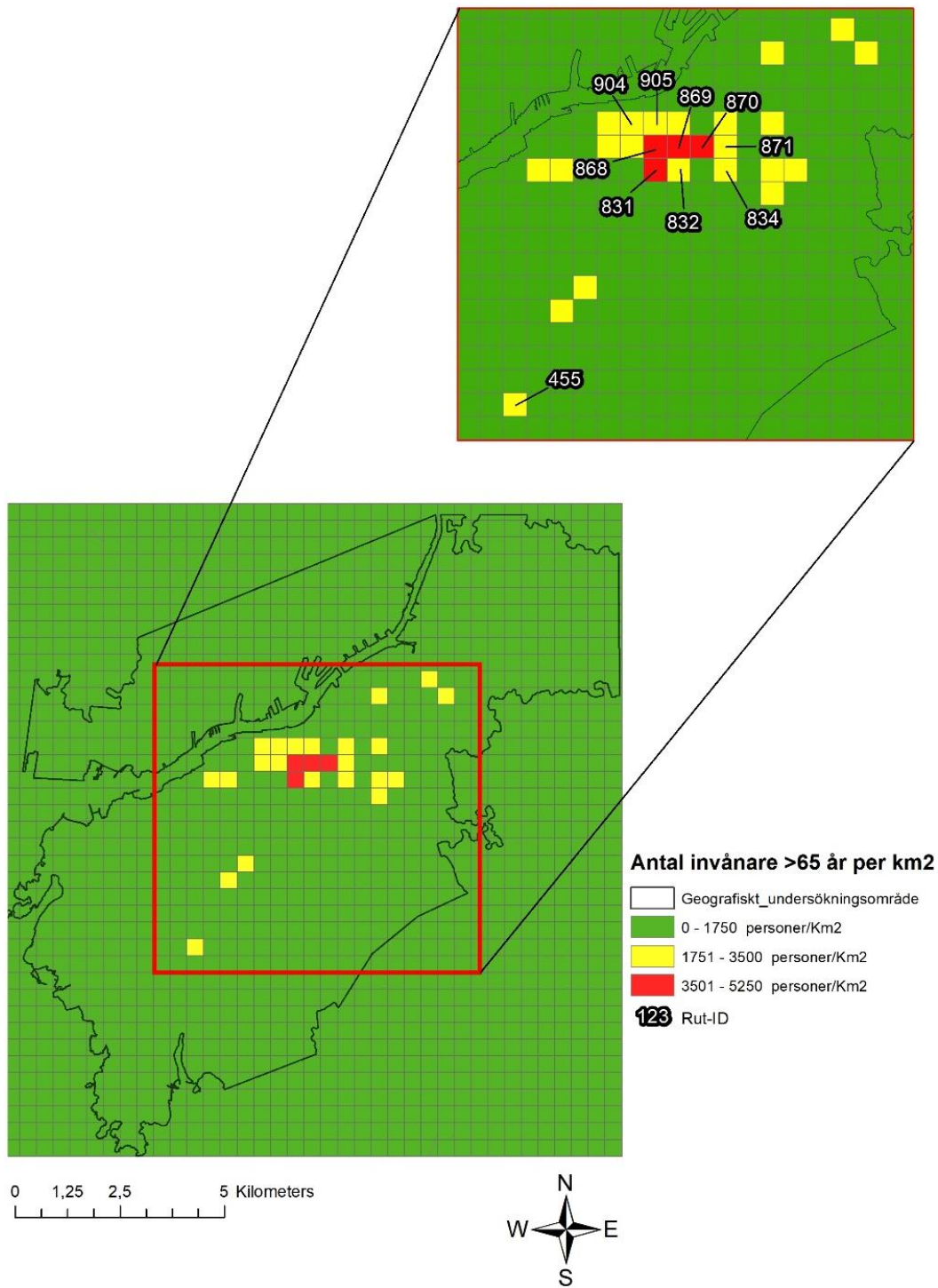
Rut-ID	Andel bebyggelse	Andel hög vegetation	Andel hårdgjorda ytor
982	55 %	2 %	97 %
911	55 %	7 %	90 %
981	49 %	4 %	91 %
1019	45 %	2 %	96 %
1131	44 %	3 %	96 %
905	44 %	7 %	88 %

4.3.3 Demografisk kartläggning

Den demografiska kartläggningen presenteras i två separata kartor; figur 15 visar antalet invånare per kvadratkilometer och figur 16 visar antalet invånare i riskgruppen äldre (över 65 år) per kvadratkilometer. Data från de tio rutor med högst antal invånare per kvadratkilometer respektive invånare över 65 år per kvadratkilometer redovisas i tabell 13 och tabell 14.



Figur 15. Kartläggning av antal invånare per km². Områden med högst antal invånare är markerade med rut-ID. Baserad på Befolkning B1DeSoSW_20181231 som sammanställer data från SCB:s register över totalbefolkningen 2018-12-31 och Tätorter_2018 ©SCB.



Figur 16. Kartläggning av antal personer i riskgruppen över 65 år per km². Områden med högst antal invånare över 65 år är markerade med rut-ID. Baserad på Befolkning B1DeSoSW_20181231 som sammanställer data från SCB:s register över totalbefolkningen 2018-12-31 och Tätorter_2018 ©SCB.

Tabell 13.

De tio områden i Göteborg som har högst antal invånare per kvadratkilometer.

Rut-ID	Antal personer per km ²
868	30 013
869	21 942
870	18 406
867	16 665
831	16 462
871	16 384
866	16 318
865	16 270
904	16 220
799	16 038

Tabell 14.

De tio områden i Göteborg som har högst antal personer >65 år per kvadratkilometer.

Rut-ID	Antal personer >65år per km ²
868	5249
870	3996
869	3938
831	3868
871	3275
904	2775
834	2728
832	2548
905	2539
455	2517

4.3.4 Resulteraende geografiskt riskområde

Kartor och data framtagna i kartläggningen analyseras för att kunna identifiera riskområden i det undersökta geografiska området. Analysen tar stöd i resultatet av litteraturstudien samt en del kompletterande litteratur. Folkhälsomyndighetens metodrapport (2019a) betonar att en grundläggande kartering likt den som gjorts inom denna studie är en initial riskidentifikation och att även områden som gränsar till identifierade riskområden löper risk att utsättas för höga temperaturer.

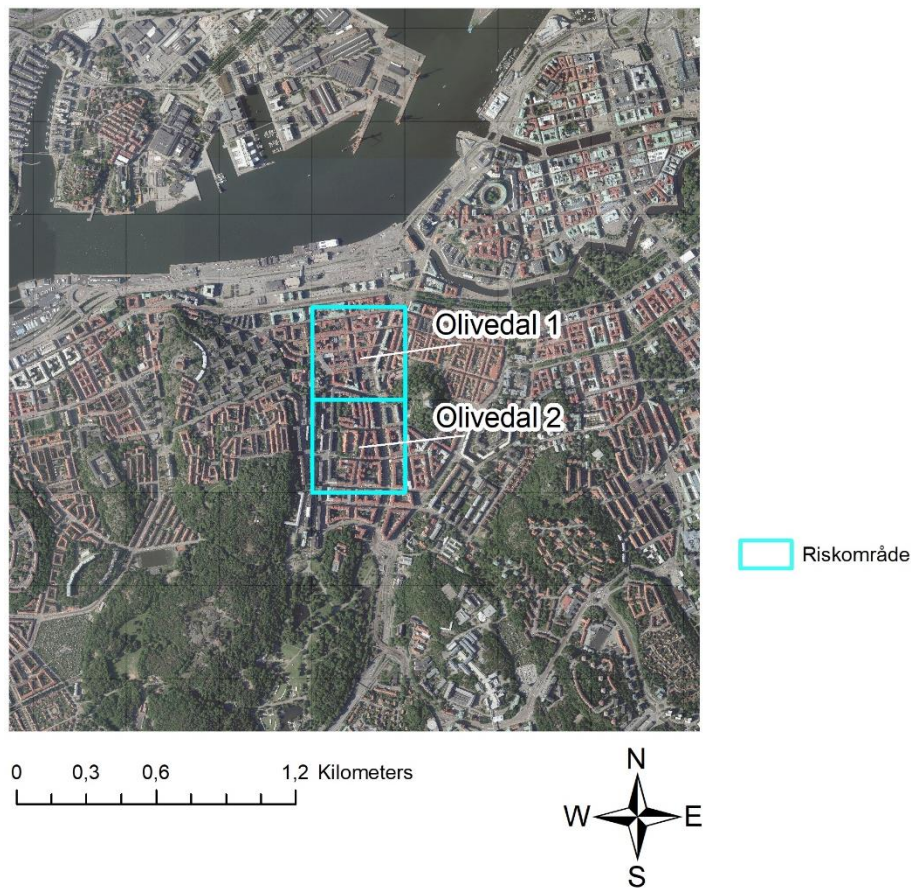
Från den demografiska kartläggningen visar data att rut-ID 868 är det område som har värst förutsättningar med hänsyn till förekomst av personer över 65 år i kombination med antropogen värmeproduktion (se kapitel 3.4.1 *Riskgrupper* och 4.1.2.4 *Antropogen värmeproduktion* för mer information). Demografidata visar även att av de områden som identifierades som riskområden från bebyggelseperspektivet är enbart rut-ID 905 inkluderat bland områdena med högst antal personer över 65 år.

Genom sammanvägning av parametrarna bebyggelse och demografi kan rut-ID 905 och rut-ID 868 identifieras som de områden som både riskerar att bli varma och där antalet riskutsatta invånare dessutom är störst. Sammanställd statistik för områdena redovisas i tabell 15. Områdena ligger i det geografiska området Olivedal och benämns härnäst som Olivedal 1 (rut-ID 905) och Olivedal 2 (rut-ID 868), se figur 17.

Tabell 15.

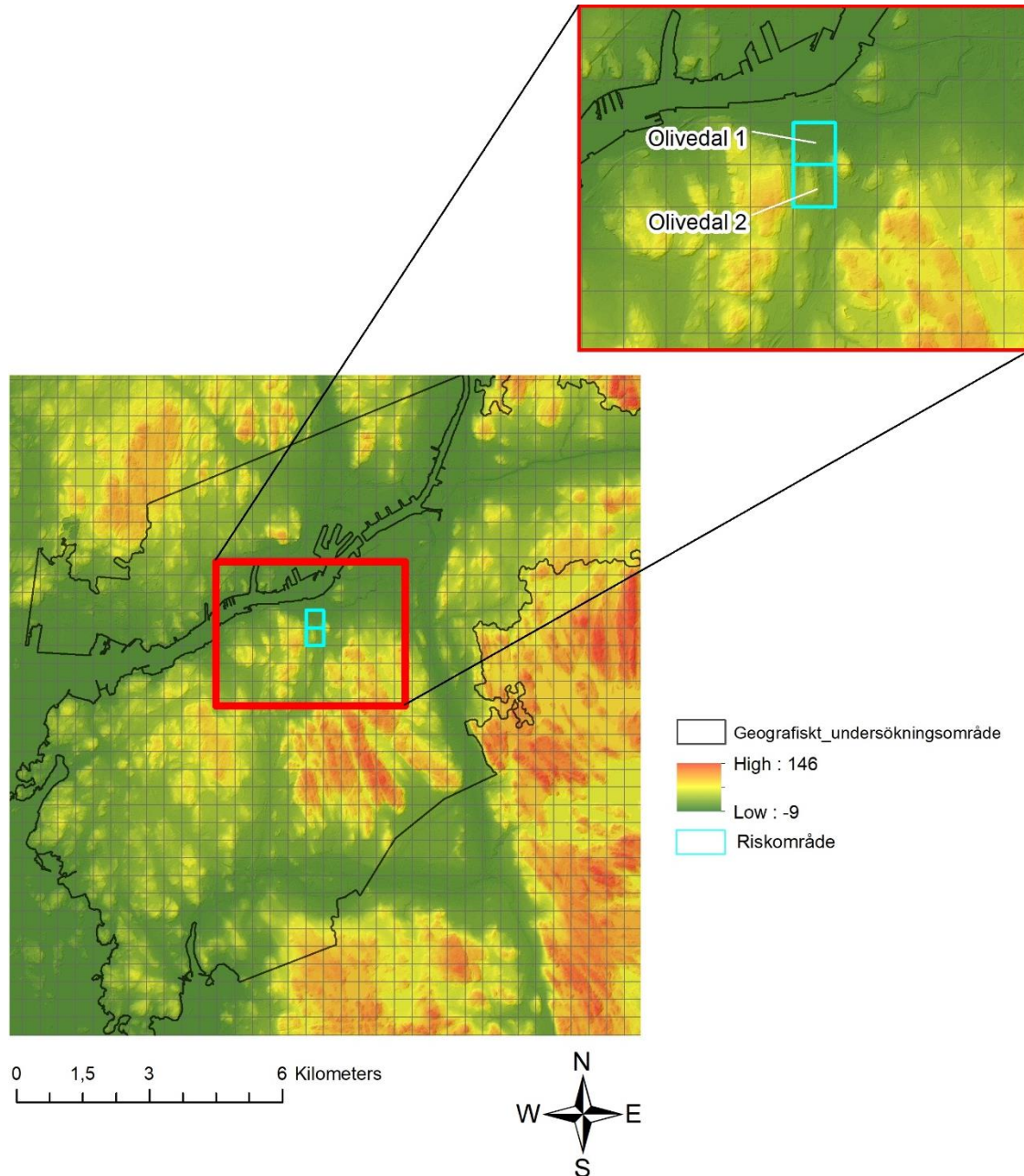
Statistik över de två identifierade riskområdena i Olivedal.

	Olivedal 1	Olivedal 2
Andel hög vegetation	7 %	12 %
Andel hårdgjorda ytor	88 %	76 %
Andel byggnader	44 %	36 %
Antal personer per km ²	16 220	30 013
Antal personer över 65 år per km ²	2775	5249

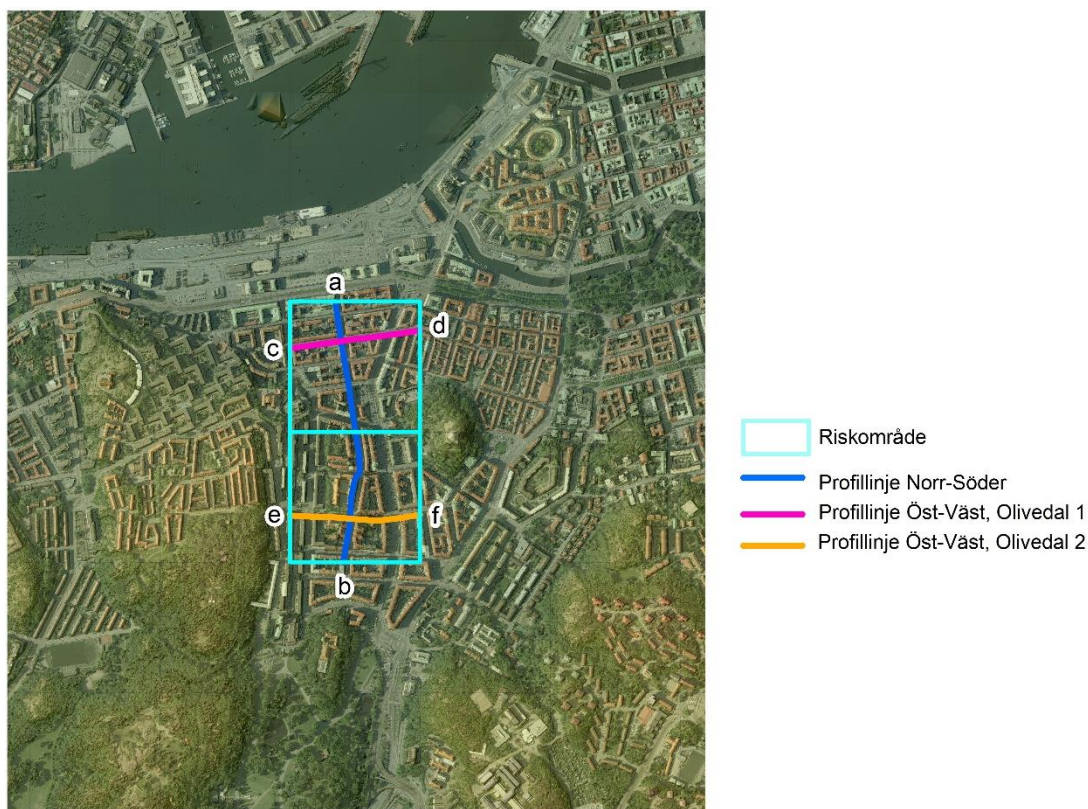


Figur 17. Satellitbild med markerade riskområden i Olivedal. Baserad på GSD-Ortfoto +0.25m ©Lantmäteriet.

Även den naturliga miljön i Olivedal har en negativt bidragande effekt då området ligger i utloppet av en dalgång, se figur 18 samt kapitel 4.1.1.2 *Topografi*. Sydvästra delen av Olivedal 2 ligger på en mindre kulle som sträcker sig ungefär från 0 till 20 meter över havet.

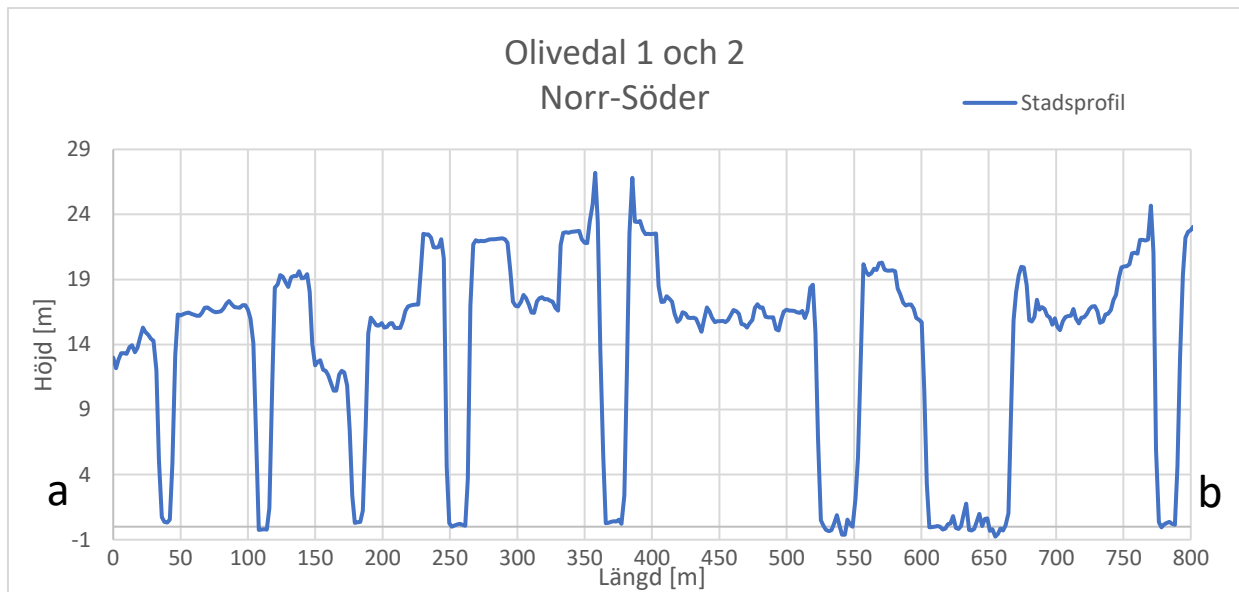


Figur 18. Topografikarta över Göteborg med riskområdena Olivedal 1 och Olivedal 2 markerade. Baserad på GSD-Höjddata, grid 2+ ©Lantmäteriet och avgränsningsområdet på Tätorter_2018 ©SCB.

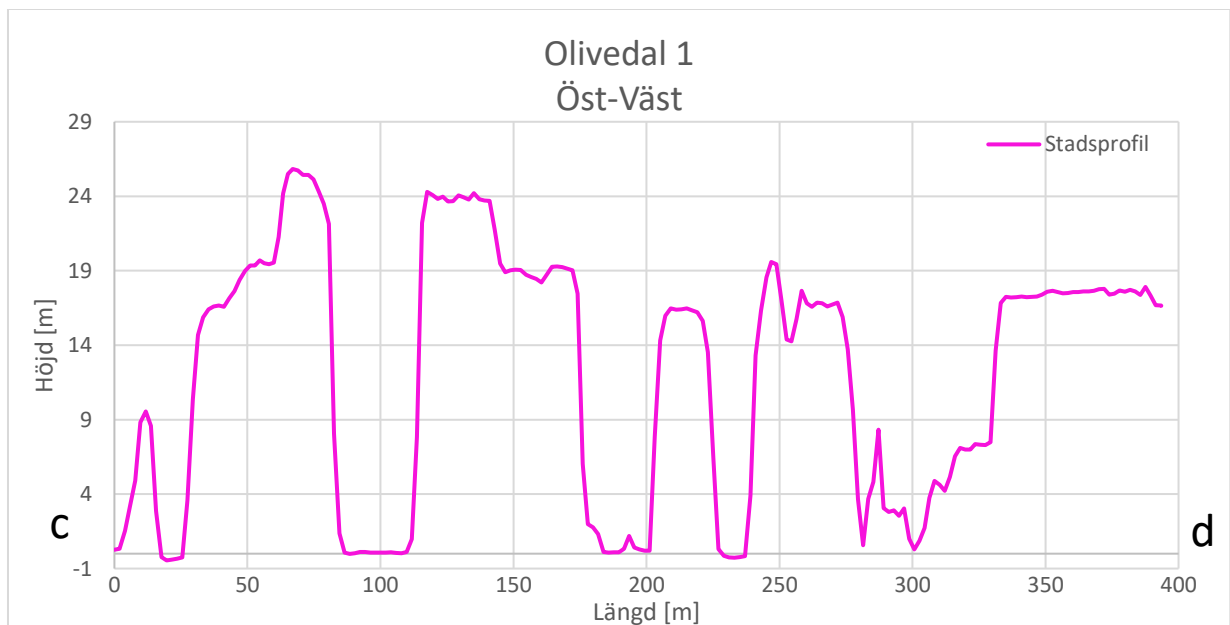


Figur 19. Karta över områdena Olivedal 1 och 2 som visar de profillinjer som används i figur 20, 21a respektive 21b. Baserad på GSD-Ortfoto +0.25m och Höjddata grid 2+ ©Lantmäteriet.

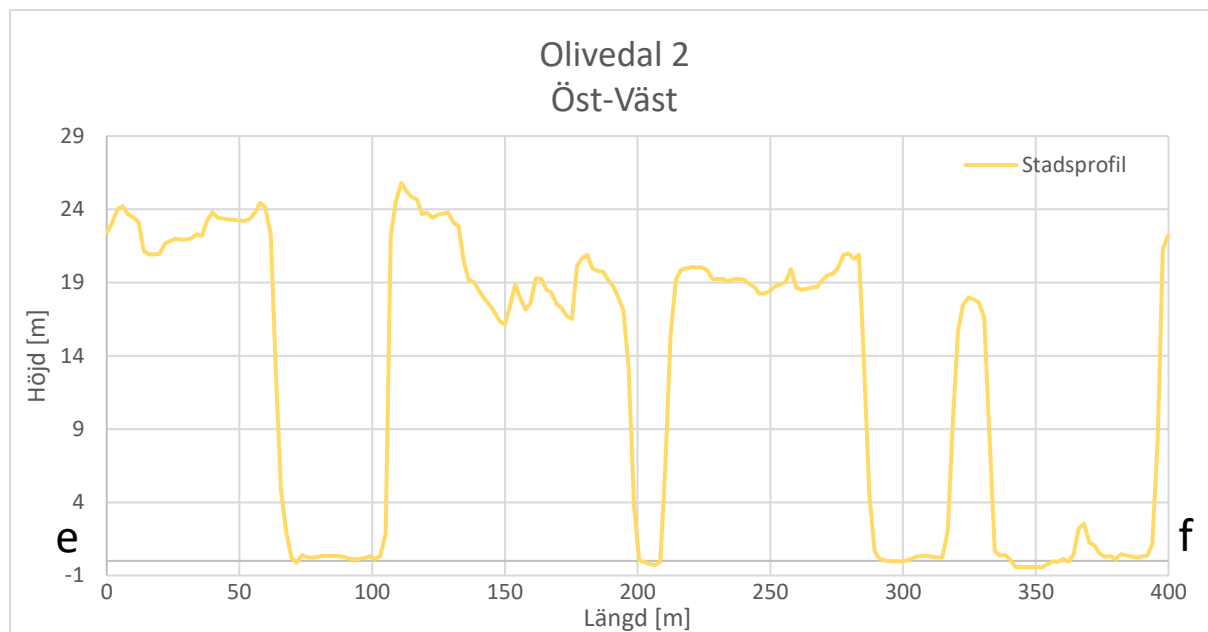
I figur 19 har stadsprofiler i vädersträcken norr till söder och öst till väst i Olivedal 1 och 2 tagits fram för att visa variationen av byggnadshöjder och gaturumsbredder. Det går att utläsa att gatubredderna är tio meter och byggnadshöjderna mellan 12–25 meter. Figurerna är ett stickprov och ger inte en exakt bild över Göteborgs stadsprofil men kan antas vara en generell beskrivning av hur området kring Olivedal är byggt.



Figur 20. Stadsprofil i riktning norr-söder genom Olivedal 1 och 2. Profillinjen som figuren tar data från återfinns som blåmarkering i figur 19.



Figur 21a. Stadsprofil i riktning öst-väst för Olivedal 1. Profillinjen som figuren tar data från återfinns som rosa markering i figur 19.



Figur 21b. Stadsprofil i riktning öst-väst för Olivedal 2. Profillinjen som figuren tar data från återfinns som orange markering i figur 19.

5. Diskussion

Följande kapitel diskuterar studiens metodval samt resultat. Inledningsvis utvärderas de använda forskningsmetoderna; litteraturstudie, intervjustudie samt kartläggning med GIS-programvaran ArcMap. Därefter diskuteras studiens resultat utgående från syfte och frågeställningar.

5.1 Metoddiskussion

Kombinationen av en kvalitativ och kvantitativ forskningsmetodik är enligt Holme och Solvang (1997) fördelaktig eftersom de båda metoderna har för- och nackdelar som kompenserar varandra. Författarna anser att kvantitativa metoders främsta styrka är att kunna förklara olika företeelser och generalisera dem utifrån statistiska tekniker. Vidare menar de att den kvalitativa metoden har en lägre grad av struktur vilket medför att studien lätt kan fördjupas och leda till en ökad förståelse av studiens problemställningar. Utifrån Holme och Solvangs resonemang valdes alltså en kombination av de två forskningsmetoderna. Den kvalitativa undersökningen var delvis en förberedelse till den kvantitativa, i syfte att erhålla en förståelse för ämnet och hur det kvantitativa resultatet kunde utvecklas. De två metoderna användes även under insamling och analys av resultatet för att besvara projektets frågeställningar

5.1.1 Om litteraturstudien

Projektet karaktäriserades mycket av den initiala litteraturstudien eftersom den lade grunden för syfte, frågeställningar och intervjumall. För att forskningsstudier ska ha ett vetenskapligt värde menar Ejvegård (1993) att de ska uppvisa en reliabilitet, vilket handlar om tillförlitlighet hos och användbarhet av en studie. Den kvalitativa intervjustudien kan annars lätt bli vinklad om författarna sedan innan haft en bestämd åsikt, det vill säga varit partiska. Förutbestämda åsikter kan exempelvis forma vilka sökord som används och därmed vilken litteratur som används till studien. Att litteraturstudien dessutom sker under en begränsad tidsperiod kan också forma studiens resultat. För att åstadkomma en objektiv och reliabel litteraturstudie beaktades ovanstående medvetet under hela studien.

En annan aspekt som påverkar studiens vetenskapliga värde menar Ejvegård (1993) är dess validitet, vilket innebär att informationen i studien ska kunna användas för att pröva och besvara frågeställningarna. En studie måste ha en kombination av reliabilitet och validitet för att anses tillräcklig. Att enbart ta hänsyn till reliabiliteten medför inte nödvändigtvis att studien innehåller valid information (Holme och Solvang, 1997). Litteraturstudien anpassades under studiens gång till syftet och frågeställningarna samt förhölls löpande till avgränsningarna, vilket medförde att validiteten beaktades under hela studiens gång och stärkte dess validitet.

5.1.2 Om intervjustudien

Intervjustudien syftade till att undersöka hur olika verksamheter arbetar med värmeböljor och klimatanpassning idag. Kvale (1997) påpekar vikten av intervjustudiens validitet, som handlar om att intervjustudien undersöker vad som från början avsågs att undersökas. För att erhålla ett brett perspektiv om hur verksamheter arbetar med värmeböljor och klimatanpassning syftade urvalet av intervjuobjekt till att inkludera personer på olika nivåer och i olika kategorier av verksamheter. Därför valdes till exempel personer på kommun-, län- och myndighetsnivå, men även forskare inom olika områden och verksamheter. Det breda spannet av olika verksamheter och befattningar som representerades i intervjuerna ledde till att studiens syfte kunde uppnås samt att intervjustudiens resultat erhöll validitet. Det resulterade i en tydlig redogörelse för hur olika verksamheter arbetar med frågan.

Det fanns överlag ett stort intresse bland de kontaktade personerna att medverka i en intervju. Majoriteten av dem som kontaktades för intervju svarade ja till att bli intervjuade. För det fåtal personer som avstod från medverkan angavs bland annat otillräckliga kunskaper om värmeböljor som en anledning till att inte ställa upp. I sådana fall hänvisade personerna i fråga dock vidare till kollegor inom verksamheten som de trodde skulle passa bättre att intervjuas. Tidsbrist var en annan anledning till att vissa förfrågningar besvarades nekande.

En semistrukturerad intervju kan enligt Ejvegård (1993) leda till att intervjuaren på ett mer eller mindre omedvetet sätt gör ett selektivt urval av frågorna. Ejvegård skriver att intervjuaren utformar frågor och följdfrågor efter eget intresse av, och kunskap om, ämnet. För att undvika ett sådant scenario byggde frågorna i intervjustudien enbart på den initiala litteraturstudien och i intervjumallen undveks ledande och partiska frågor. Ett exempel är frågan ”finns det bristande eller motsägande forskning inom området?” (se intervjumallen i bilaga 1), vilken adderades till intervjun för att undvika en enbart kritisk inställning till värmeböljor. Författarna var ense om att frågorna skulle formuleras för att möjliggöra öppna svar och på så sätt öppna upp för följdfrågor. Intervjumallen utformades i syfte att varje intervju skulle följa samma mönster, men kunde till viss del anpassas efter person och situation. Exempelvis undantogs de intervjuobjekt som inte hade någon direkt koppling till Göteborg vad gäller arbetsuppgifter eller forskning från de frågor som specifikt gällde stadens förutsättningar.

En intervjustudies reliabilitet handlar enligt Kvale (1997) om forskningsresultatets konsistens och objektivitet. För att uppnå en reliabel intervjustudie undveks ledande frågor både i mallen och i form av följdfrågor för att undvika att forma intervjuobjektens svar. En semistrukturerad intervju riskerar vidare att leda till misstolkningar av frågorna samt att svaren färgas av intervjuobjektets egna åsikter, vilket har beaktats i analysen och sammanställningen av intervjuerna.

Eftersom intervjumallen arbetades fram under ett tidigt skede av studien utgick mallen, och således även intervjuerna, från studiens första frågeställningar. Inledningsvis var ett delsyfte med studien att kartlägga potentiella värmerelaterade riskområden i Göteborg genom identifiering med hjälp av befintliga värmedata och -karteringar, men sådan data kunde

författarna inte finna i tillräckligt stor utsträckning. Under arbetets gång framgick således att en sådan kartläggning ej var genomförbar eftersom det skulle kräva ett arbete av en omfattning som inte ansågs ligga inom tidsramen för projektet. Insikten ledde i sin tur till att en omformulering av den relaterade frågeställningen gjordes, så att identifieringen av riskområden istället kunde baseras på faktorer som påverkar den urbana värmeön. Till följd av att omformuleringen av frågeställningen gjordes efter intervjustudiens slutförande inkluderas inte frågan om vilka faktorer som påverkar att staden blir varmare än sin omgivning i intervjumallen.

Vid förfrågan skickades intervjumallen ut i förväg till intervjuobjekten. Författarnas målsättning var att intervjuobjekten i största möjliga mån skulle ha lika förutsättningar inför intervjun och att svaren inte skulle formas innan samtalet. Endast tre av intervjuobjekten bad att få intervjufrågorna i förväg, vilket möjligtvis medförde att dessa intervjuer inte blev lika öppna som de andra. Sammantaget anses intervjustudiens resultat ändå ha uppnåtts enligt författarna. Att intervjumallen anpassades inför vissa intervjuer, vilket beskrivs i kapitel 2.2.2 *Utformning av intervjuer*, syftade till att ge intervjuobjekten samma förutsättningar att kunna svara på frågorna utifrån sin befattning och lokala kontext.

Samtliga intervjuer spelades in efter godkännande av intervjuobjekten, vilket möjliggjorde transkribering i efterhand. Efter transkriberingen kunde intervjun analyseras och intervjuobjektet citeras ordagrant för att stödja studiens resultat. Intervjumaterialet kunde dessutom jämföras och analyseras av de författare som inte hade medverkat vid intervjun. Inspelning och transkribering av materialet stärkte vidare intervjustudiens reliabilitet eftersom det motverkade egna tolkningar under och efter intervjuerna.

Snöbollsurvalet som tillämpades ledde till att bredda perspektivet på vilka och hur många personer som var lämpliga och relevanta att intervjua. Det öppnade även upp för att inkludera fler verksamheter som bedriver arbete kring värmeböljor och klimatanpassning i stadsmiljö än vad som tidigare beaktats. Ett snöbollsurval är ett effektivt sätt att snabbt hitta många intressanta personer att intervjua. Intervjuobjektens rekommendationer gällde i vissa fall personer inom den egna verksamheten, men oftast personer antingen i andra kommuner eller under andra befattningar. Exempelvis rekommenderades vissa forskare till intervjustudien av kommunalanställda intervjuobjekt.

Ett snöbollsurval kan dock medföra att intervjuobjektet rekommenderar personer som delar dennes perspektiv på den fråga som är föremål för undersökningen, vilket då ger intervjustudien ett smalare perspektiv. Många av de personer som författarna blev rekommenderade att intervjua hade arbetat i samma projekt som, eller hade någon annan koppling till, den som rekommenderade dem, vilket kan ha lett till att intervjustudien inte gav ett lika brett perspektiv som eftersträvades. Intervjuobjekten arbetade till största del inom stadsplanering eller forskade på värmerelaterade frågor. Genom att till exempel intervjua personer från byggföretag i Göteborg kunde studien erhållit ett ännu bredare perspektiv på hur klimatanpassning praktiskt tillämpas i staden.

5.1.3 Om kartläggningen

Ursprungligen ämnade arbetet resultera i en värmekartering av Göteborg, det vill säga en kartläggning av Göteborgs intraurbana temperaturvariationer. Sådana karteringar har tidigare genomförts i andra svenska städer, däribland Norrköping (M. Willman, personlig kommunikation, 18 mars 2020), i syfte att identifiera eventuella riskområden och erhålla information om vart i staden insatser behöver sättas in. Studien resulterade inte i en sådan värmekarta, då metoden visade sig för krävande för att rymmas inom given tidsram. I stället kartlades de faktorer som enligt litteraturen påverkar värmeön. Kartläggningen behövde således ske efter litteraturstudien eftersom den krävde kunskap om vilka faktorer som påverkar temperaturen i staden.

Utifrån resultatet gjordes antaganden gällande vilka områden som var mest sannolika att uppvisa extremt höga temperaturer. Eftersom resultatet inte beaktade samtliga identifierade faktorer (se tabell 4, i kapitel 2.3 *Metod för kartläggning av riskområden*) och baserades på antaganden, kommer det att uppvisa en del brister jämfört med en värmekartering. Troligtvis hade karteringen mer korrekt återgivit verkligheten om den utförts under längre tid så att samtliga faktorer hade kunnat analyseras. Om fel områden pekas ut får diskussionen om lämpliga åtgärder en annan utgångspunkt vilket då kan leda till att fel slutsatser dras.

Under litteraturstudien framkom att varje faktor är komplex och i sin tur beror av flera ingående parametrar. Ett representativt exempel är faktorn 'Stadens material och ytor', som till viss del kunde kartläggas genom andelen hårdgjord yta i Göteborg. Samtidigt innebär de skillnader med avseende på albedo, emissivitet och värmekapacitet som finns mellan olika urbana material att fler variationer kan förekomma än vad som synliggjordes i kartläggningen. Att undersökningen av potentiella riskområden begränsades av detaljgraden i, och tillgången till, geografiska datalager bedöms överlag ha haft stor inverkan på resultatet. Mer indata hade visserligen ökat reliabiliteten i resultatet, men troligtvis även lett till att kartläggningens omfattning hade utökats så mycket att det viktiga helhetsperspektivet inte varit möjligt att bibehållas.

5.2 Avgränsningarnas påverkan på resultatet

Målet med avgränsningarna var främst att göra arbetet genomförbart inom den givna tidsramen, vilket gjorde att en del aspekter av intresse utelämnades. Olika åtgärders implementeringskostnad har till exempel inte studerats, trots att det sannolikt har stor betydelse för stadens beslut. Litteraturen begränsades inte till att behandla lokala fenomen, utan behandlar värmeöeffekten globalt. På grund av fenomenets komplexitet kan åtgärder som visat sig effektiva på en plats ha lägre effektivitet på en annan. För att med säkerhet veta effekten av en åtgärd kan den behöva utvärderas på plats. Intervjuerna begränsades till Sverige för att ett lokalt perspektiv skulle ges. Om intervjuerna inte hade begränsats till Sverige skulle personer från andra städer mer erfarenhet av värmeböljor kunnat bidra med kunskap. Ett mer internationellt perspektiv hade kunnat ge en uppfattning om hur olika åtgärder upplevs lokalt samt bidra med

information om åtgärder som har genomförts men inte studerats i forskning. Göteborg kan i framtiden få ett klimat som mer liknar städer längre söderut, varför ett sådant perspektiv hade kunnat vara av intresse för studien.

Faktorer som påverkar urbana värmeöar undersöktes i relation till förekomsten av riskgruppen äldre invånare, det vill säga invånare över 65 år. Avsaknad av lämpliga geografiska data för den valda kartläggningsmetoden resulterade i att undersökningen inte kunde inkludera andra, med avseende på värmestress, kända riskgrupper som exempelvis kroniskt sjuka, gravida samt personer med funktionsnedsättning. Små barn utgör ytterligare en riskgrupp som författarna i ett tidigt skede valde att exkludera från studien, trots tillgång till geografiska data. Orsaken var den litteratur som pekar ut personer över 65 år som en av de främsta riskgrupperna för förhöjd värme (Åström et al., 2011). I det avseendet bidrog dock intervjustudien till att bredda perspektivet på frågan eftersom flera intervjuobjekt berörde vikten av att sätta in åtgärder mot värme på förskolor. Följaktligen hade studien med fördel även kunnat inkludera en kartläggning av små barn i Göteborg baserad på befintlig demografisk statistik.

Litteraturen om urban värme består i hög grad av mer avgränsade studier som behandlar mer specifika frågeställningar, se kapitel 1.2 *Problemanalys*. Sammanställande studier med ett brett angreppssätt är ovanliga och således kan ansatsen att producera just en sådan rapport anses anmärkningsvärd. Anledningen till den begränsade förekomsten av översiktliga studier skulle kunna härröra från de påverkande faktorernas komplexa samverkan, alternativt bristande litteratursökning i denna studie. Studien anses uppfylla sitt syfte om överskådlighet men har också tydliggjort behovet av mer utförlighet inför praktisk tillämpning av åtgärder. En snävare avgränsning av arbetet hade sannolikt skett på bekostnad av kunskapsbredden, men i gengäld ökat detaljförståelsen. Att Göteborg ännu inte bedriver aktivt arbete med klimatanpassning mot värmeböljor anses dock ändå motivera studiens överskådlighet då detta ger en fingervisning om hur kommande arbete bör bedrivas.

5.3 Resultatdiskussion

Arbetets syfte var att undersöka åtgärder som sänker den urbana temperaturen, vilken genomgående fastlås vara högre än stadens omgivning. Utgångspunkten att enbart sträva efter sänkta temperaturer anses påverka hela studien. I vissa fall skulle en högre temperatur kunna vara önskvärt, exempelvis i kallare klimat likt Sveriges. I arbetet lyfts förtätning som en anledning till att värmeöeffekten ökar, eftersom förtätning förstärker de faktorer som bidrar till effekten. Haaland och Konijnendijk van den Bosch (2015) poängterar dock att förtätning även har många fördelar, vilket troligtvis är anledningen till att det förespråkas av exempelvis UN-Habitat. Huruvida fördelarna med höga temperaturer i staden väger tyngre än nackdelarna i en svensk kontext har inte utretts i rapporten. Geografiskt läge för en stad påverkar hur mycket energi som behövs till uppvärmning respektive nedkylning, och eftersom Göteborg är en relativt nordligt belägen stad skulle det rentutav kunna vara gynnsamt med högre temperaturer.

Eftersom studien inte undersökt litteratur gällande överdödlighet i relation till låga temperaturer kan en sådan avvägning inte göras. För att kunna göra den typen av avvägning och undersöka vilka åtgärder som skulle kunna vara Göteborg till gagn ur båda perspektiven behövs vidare arbete. En utveckling av studien hade med fördel även kunnat utvärdera lämpligheten av den typen av åtgärder sett till stadens uppvärmningsbehov eller bebyggelsestäthet.

Följande kapitel diskuterar studiens resultat utifrån syftet och frågeställningarna (se kapitel 1.2.1 *Frågeställningar*) och reflekterar kring hur väl dessa besvaras. De olika forskningsmetoderna i arbetet användes för att ge svar på olika frågeställningar och i följande avsnitt återges ett kritiskt perspektiv på resultatet samt en diskussion kring studiens slutsatser.

5.3.1 Om faktorer

Som arbetet påvisat finns det flera faktorer som förstärker en värmeö. Identifiering av faktorer har enbart skett genom litteraturstudien då intervjustudien inte innefattade en fråga direkt kopplad till faktorer. Litteraturstudien kan således ej stärkas av intervjustudien i det avseendet. Avsaknaden av fråga diskuteras i kapitel 5.1.2 *Kritik av intervjustudie*. Faktorerna som identifierades kategoriserades utifrån om deras påverkan uppkommer på grund av den naturliga miljön, bebyggda miljön eller urbanisering och förtätning. I arbetet återges den naturliga miljön, även om den inte går att påverka och därför ej kan åtgärdas. Den naturliga miljön påverkas av global uppvärmning, och således indirekt av åtgärder som bidrar till att sänka den globala uppvärmningen, men kan ej påverkas direkt av samhällsbyggnad och -planering. Den återges ändå eftersom den påverkar vilka åtgärder som kan vara effektiva på en specifik plats. Ett område med väldigt torrt och hett klimat samt dålig tillgång till vatten lämpar sig illa för växtlighet och därför skulle åtgärden att öka andelen grönytor inte vara lika implementerbar i området.

Av de faktorer som funnits i litteraturen har alla återgivits i resultatet, dock skulle det kunna finnas fler som missats under litteraturstudien. De faktorer som återgavs återkom i flera studier, däremot skiljde sig ofta uppgifterna för hur stor temperaturskillnad som uppkom mellan stad och landsbygd. Angående vilken eller vilka faktorer som har mest negativ påverkan skiljer sig dock källorna åt, där både bebyggelsen geometri och antropogen värmeproduktion utpekas. Troligtvis spelar den eller de faktorerna med hög förekomst inom en stad stor roll för just den staden. Exempelvis borde en stad med lite bebyggelse men mycket människor påverkas mycket av det antropogena utsläppen, men mindre av de andra faktorerna. Det som kan sägas generellt är att det råder enighet kring vad som påverkar, men inte kring hur och hur mycket respektive faktor inverkar. Eftersom det finns kunskap om vad som påverkar kan åtgärder också vidtas, vilket förebygger risken för höga temperaturer.

5.3.2 Om åtgärder

Utifrån litteratur- och intervjustudier kan fastslås att det finns ett stort antal åtgärder som högst troligt kan sänka temperaturen i Göteborg under en värmebölja. Dock är det svårt om inte omöjligt utifrån studiens ramar att urskilja en viss åtgärds effektivitet i staden då det skiljer sig intraurbant. Att öka och bevara andelen grönska i staden framkommer i både litteratur- och intervjustudien som en av de främsta och mest effektiva åtgärderna, vilket kan visa på att det kan vara den mest effektiva åtgärden även i Göteborg. Dock finns det antagligen fördelar med att kombinera flera åtgärder vilket många källor förespråkar. Exempelvis förespråkas en kombination av en ökad andel grönska med att höja stadens albedo som en slagkraftig åtgärd (Akbari, 1992).

Svårigheten för Göteborgs framtida arbete är att vikta åtgärderna för att klargöra vilken som är den mest effektiva samt på vilka platser den når sin fulla potential. För att fastställa vilken åtgärd som passar var i staden krävs en mer omfattande kartläggning av den intraurbana bebyggelsegeometrin på mikroskalanivå. Utöver det bör en värmekartering göras för att kontrollera att de områden med högst andel faktorer överensstämmer med de som har högst värmebelastning. Åtgärderna behöver även viktas och analyseras för att förstå i vilken utsträckning de kan och bör implementeras i staden. Litteraturen presenterar studier som genom simuleringar höjt albedo i hela staden vilket resulterat i en sänkning av den genomsnittliga temperaturen. Att endast implementera åtgärder i liten skala är således kanske inte tillräckligt.

Författarna anser det troligt, med stöd i litteratur- och intervjustudie, att Göteborg kommer ställas inför ett framtida scenario där de mest primära åtgärderna måste prioriteras. Det kan exempelvis inte antas troligt att Göteborg kommer ha möjlighet att implementera storskaliga åtgärder i alla områden som enligt kartläggningen klassificerats som mer utsatta. Ett förhållningssätt skulle därför kunna vara att prioritera långsiktiga åtgärder i befolkningstäta områden som framförallt uppvisar multipla naturliga och bebyggelserelaterade riskfaktorer, eftersom sådana faktorer kan antas vara mer konstanta över tid. Områden som enbart präglas av en stark närvaro av riskutsatta grupper borde i stället med fördel kunna bli föremål för enklare och billigare lösningar som inte kräver samma infrastrukturella ingrepp. Exempelvis kan det anses befogat att ett område med få bidragande faktorer i bebyggd och naturlig miljö, men med en hög andel äldre, implementerar åtgärder som snarare sänker värmestressen för de utsatta individerna än sänker temperaturen i området i stort.

En åtgärd som i litteraturen bedöms vara av stor vikt är att reducera den antropogena värmeproduktionen (Chrysoulakis & Grimmond, 2016) vilket ej nämns i intervjustudien. Att sänka den antropogena värmeproduktionen genom att exempelvis minska trafiken eller energianvändningen i byggnader framgår av litteraturen som en relativt enkel åtgärd. Staden och samhället är idag anpassat efter bilismen vilket således gynnar den antropogena värmeproduktionen. Att implementera åtgärder som minskar den antropogena värmeproduktionen kanske inte är aktuellt i nuläget på grund av höga kostnader, begränsad

storskalig genomförbarhet och bristfällig teknik. Det kan vara anledningen till att åtgärden inte tas upp under intervjuerna.

Många åtgärder riskerar att bli kontraproduktiva om de implementeras på fel sätt. Exempelvis kan träd stänga in värme och luftföroreningar i gaturummet, albedo öka värmestressen och förtätning höja temperaturen nattetid samt försämra folkhälsan på vintern. En åtgärd som därför bör vara primär för Göteborg är att öka kunskapsnivån överlag, både i stadsplanerings- och klimatanpassningsarbetet, vilket flera källor nämner. Kunskapsnivån bör utvecklas med avseende på urbana värmeöars skadlighet, intraurbana variationer samt påverkan från regionens specifika klimat. En annan viktig aspekt att beakta och öka kunskapen kring är huruvida ett framtida klimat förändrar synen på vilka åtgärder som kan anses mest effektiva. Enligt Thorsson et al. (2017) kan Göteborg förväntas sig ett molnigare klimat i framtiden vilket motiverar en vidare analys av huruvida Göteborg kan implementera åtgärder som fyller sin funktion både i dagens och framtidens klimat.

Antagligen kan samtliga åtgärder som behandlats inom studien implementeras effektivt i staden så länge det görs genomtänkt och välplanerat. En ytterligare aspekt är huruvida de åtgärder som kan anses lämpliga för Göteborg bidrar till eller motverkar stadens mål vad gäller social och ekologisk hållbarhet. Åtgärderna bör därför även utvärderas och viktas utifrån ett sådant perspektiv. De bör dessutom analyseras för Göteborgs specifika klimat eftersom åtgärder som kan anses hållbara i ett klimat riskerar att ha motsatt effekt i ett annat. Exempelvis beskriver Synnefa et al. (2008) hur ett höjt albedo kan bidra till ett minskat kylningsbehov och i sin tur en minskad energiförbrukning. För ett land med ett kallare klimat, och därav begränsat kylningsbehov, finns således en risk att ett höjt albedo får motsatt effekt om det leder till ett ökat uppvärmningsbehov vintertid.

5.3.2.1 Åtgärdernas bidrag till de globala målen

Mål 3: God hälsa och välbefinnande

Som arbetet påvisat har höga temperaturer en negativ inverkan på hälsan och allra främst hos de riskgrupper som presenteras i rapporten. Höga temperaturer och långvarig värme kan dessutom öka koncentrationen av luftföroreningar, vilket är skadligt för hälsan. Problematiken berörs särskilt i delmål 3.9: *Minska antalet sjukdoms- och dödsfall till följd av skadliga kemikalier och föroreningar*. Ett medvetet klimatanpassningsarbete kommer leda till att den höga temperaturen samt koncentrationen av luftföroreningar i stadsmiljö sänks och således kan bidra till att nå målet.

Mål 6: Rent vatten och sanitet för alla

Det nämns redan i översiktsplanen att höga temperaturer kan vara skadliga för vår vattenförsörjning. Högre temperaturer kan leda till större bakterietillväxt

(Folkhälsomyndigheten, 2019b). Dessutom kan det leda till torka, och långvariga perioder utan regn påverkar vattentäkterna. De senare ligger dock inte inom ramen för arbetet, som behandlar höga temperaturer i staden. I Göteborg skulle dock högre temperaturer kunna leda till försämrad vattenkvalitet i Göta Älv, varifrån staden får dricksvatten. Om effekterna av värmeöar kan reduceras kommer staden inte utsättas för extrema temperaturer i samma utsträckning, vilket kan minska de negativa konsekvenserna på stadens dricksvatten.

Mål 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur

Det nionde målet tar upp att infrastrukturen i ett samhälle behöver vara motståndskraftig och hållbar. Infrastrukturen inkluderar många näringar, så som vägnät, el-och vattenförsörjning och bostäder. I resultatet av intervjustudien framgick att infrastrukturen i staden kan ta skada av höga temperaturer. Bland annat kan asfalten blöda eller elnätet överhettas. Om temperaturen i staden kan sänkas skulle dessa problem kunna minskas. Dessutom bör ny infrastruktur planeras med förhöjda temperaturer i åtanke. Grönytor bidrar generellt till en lägre temperatur i staden, vilket även sänkt antropogen värmeproduktion gör. Om vägar beläggs med mer reflekterande yta kan de undvika att värmas upp för mycket, och då sänka risken för blödning. Dock bör för- och nackdelar vägas mot varandra för att utskilja vilken åtgärd som är mest lämplig i ett visst område.

Mål 11: Hållbara städer och samhällen

Syftet med arbetet var delvis att utreda vilka åtgärder som kan minska de negativa effekterna av en värmebölja, de åtgärder som presenteras i rapporten kan således analogt bidra till delmål 11.3: *Mildra de negativa effekterna av naturkatastrofer*. Därutöver kan en ökad andel grönområden bidra till delmålet 11.7: *Skapa säkra och inkluderande grönområden för alla*. Vissa åtgärder kan även bidra till delmål 11.6: *Minska städernas miljöpåverkan*, exempelvis genom att minska energianvändningen i staden. Åtgärden att börja beakta problemet med värmeöar i planeringen kan kopplas till delmål 11.B: *Implementera strategier för inkludering, resurseffektivitet och katastrofreducering*, eftersom planering är första steget mot att kunna implementera åtgärder.

Mål 13: Bekämpa klimatförändringarna

De åtgärder som bidrar till att minska energibehovet i form av nedkylning och transport bidrar indirekt till att bekämpa klimatförändringarna. Även grönytor bidrar till att reducera klimatpåverkan, då växtlighet tar upp koldioxid. En tydlig koppling kan göras till delmål 13.1: *Stärk motståndskraften mot och anpassningsförmågan till klimatrelaterade katastrofer*. Att inkludera värmeböljor i Göteborgs planering för extremt väder kan kopplas till delmål 13.2: *Integrera åtgärder mot klimatförändringar i politik och planering*. Delmål 13.2 kan anses som en av de viktigaste kopplat till värmeböljor, eftersom det är stadsplanering genom politiska beslut som gör att höga temperaturer kan åtgärdas storskaligt i staden.

Mål 15: Ekosystem och biologisk mångfald

En faktor som enligt litteratur- och intervjustudie är bland de viktigaste att åtgärda för att minska värmelagringen i staden är bevarandet av grönytor. Om naturliga miljöer och grönytor bevaras inom staden kan det bidra till att delmål 15.9: *Integrera ekosystem och biologisk mångfald i nationell och lokal förvaltning* uppnås. Bevarandet av grönska sänker inte bara temperaturen utan gynnar även ekosystemen och den biologiska mångfalden. Exempelvis kan större grönytor, skogsområden och parker ge utrymme för naturliga ekosystem i staden och mindre åtgärder som till exempel regnrabatter och gröna tak kan bidra till att gynna den biologiska mångfalden.

5.3.3 Om identifiering av riskområden

Kartläggningen av faktorer i bebyggd miljö resulterar i sex potentiella riskområden. Införandet av demografiska data innebär att fem av områdena, vilka uppvisar låg invånartäthet och svag närvaro av riskgrupper, exkluderas. Bland de exkluderade områdena återfinns bland annat rut-ID 982, som är det område med högst andel bebyggelse och hårdgjord yta samt lägst andel hög vegetation – det vill säga det område som kan sägas ha sämst värmerelaterade förutsättningar sett enbart till befintlig bebyggelse.

Ett problem som följer av ett resultat som baseras på befolkningsstatistik är det starka beroendet av potentiella demografiska förändringar. Invånarna i de utpekade riskområdena vid Olivedal kan flytta eller avlida och det finns egentligen inga garantier för att just Olivedal kommer uppvisa samma förhållandevis höga andel riskutsatta invånare om ett, fem eller tio år. På samma sätt bör rut-ID 982, som i dagsläget inte har tillräckligt många folkbokförda för att betraktas som riskområde inom ramen för kartläggningens metodval, inte avfärdas som ett ”ofarligt” område med avseende på riskabelt höga temperaturer. De kommersiella lokaler som idag upptar en stor andel av den bebyggda miljön i rut-ID 982 skulle nämligen mycket väl kunna omvandlas till bostäder i en framtid där handeln i allt högre grad sker över nätet.

Den potentiella riskområde som i resultatet benämns Olivedal 2 överskrider riktvärdet för hårdgjord yta medan riktvärdena för vegetation respektive andel byggnader uppnås. Jämfört med Olivedal 1 har Olivedal 2 nästan dubbelt så många invånare per kvadratkilometer och nästan dubbelt så många invånare äldre än 65 år per kvadratkilometer. Att Olivedal 2, trots två godkända riktvärden, pekas ut som ett potentiellt riskområde beror på begränsningar som följer naturligt av att ingen modell kan bli mer än en representation av verkligheten. Ingen stad, ej heller Göteborg, är egentligen uppbyggd av väl avgränsade områden à 400x400 meter där varje kvadratisk ruta har en uppsättning individuella egenskaper. Därför är det inte heller rimligt att anta att det bara ett par meter utanför Olivedal 1 skulle vara märkbart svalare under en värmebölja. De förenklingar som ansågs nödvändiga för att nå en slutsats genom kartläggningen för också med sig att resultatet inte får tolkas för exakt, vilket styrks av Folkhälsomyndighetens metodrapport (2019a) där det förtydligas att även angränsande

områden till ett riskområde löper större risk att utsättas för högre temperaturer. Närheten till Olivedal 1 i kombination med att Olivedal 2 uppvisar studiens högsta observerade invånartäthet samt förekomst av äldre invånare utgör enligt författarna tillräckligt underlag för att ändå betrakta området som riskutsatt.

Uppgifterna om invånartäthet som användes i kartläggningen baseras på folkbokföringsadresser och inte koncentrationen människor dagtid på olika platser i Göteborg, vilket kan tyckas märkligt med tanke på att staden blir som varmast under dagen. Av den litteratur som tidigare lyfts i rapporten framgår dock att den urbana värmeöns framförallt är ett nattligt fenomen och att en långvarig värmebölja kan resultera i fler dödsfall när just varma nätter hindrar människor från att återhämta sig från värmestress som upplevts tidigare under dagen. Om ett antagande görs att majoriteten av invånarna befinner sig hemma under natten är det följaktligen ändå relevant att studera invånartäthet baserat på folkbokföringsadresser.

Förutom avsaknaden av en del relevant data (vilken redogörs för i kapitel 2.3 *Metod för kartläggning av riskområden* och analyseras mer i detalj i kapitel 5.1.3 *Kritik av kartläggning*) bedöms kartläggningen av potentiella riskzoner i Göteborg vidare ha påverkats i hög grad av att den vetenskapliga litteraturen inte är samstämmig i fråga om vilken faktor som har störst påverkan på den urbana värmeöns. Som tidigare nämnts pekas både bebyggelsens geometri (Thorsson, 2012) respektive antropogen värmeproduktion (Kondo och Kikegawa, 2003) ut som faktorer med stor inverkan på uppkomsten av en värmeö.

Under arbetet med att kartlägga potentiella riskzoner i Göteborg upptäcktes även en betydande brist i den vetenskapliga litteraturen gällande hur olika faktorer och mekanismer med påverkan på den urbana värmeöns bör viktas inbördes. En del litteratur ger förvisso förslag på tröskelvärden att använda vid kartläggning av urban värme och risken för värmestress, av vilken denna kartläggning har baserats på Folkhälsomyndighetens (2019a) metodrapport i enlighet med tidigare beskrivning. Frågan är dock huruvida ett område med exempelvis 55 procent bebyggelsestäthet och hög andel äldre invånare verkligen utgör en riskzon om det samtidigt är geometriskt utformat så att luftgenomströmningen är god. Andra frågor som uppkommer är hur värmetillförseln av antropogena källor förhåller sig till en eventuell balanserande inverkan av det topografiska läget samt om en del faktorer till och med blir försumbara vid förekomst av andra fenomen.

Konkreta svar på frågor av dylik karaktär hade bidragit till att befästa kartläggningens resultat och avgöra med större säkerhet huruvida Olivedal 2, med sin ”godkända” bebyggelsestäthet men mycket tätt boende befolkning och höga andel äldre, är en potentiell riskzon. Författarnas bedömning är att olika faktorer relativa påverkan på den urbana temperaturen troligen behöver studeras i mycket högre grad för att möjliggöra framtida undersökningar med högre reliabilitet. Kartläggningar baserade på tröskelvärden riskerar annars att ge ofullständig bild av risken att en stadsdel ska utveckla skadligt höga temperaturer.

6. Slutsatser

Studiens resultat kan sammanfattas i ett antal slutsatser som anses väl understödda. Författarna vill dock understryka behovet av fler och mer omfattande undersökningar för att bredda kunskapen om Göteborgs specifika utsatthet för höga temperaturer. Både litteratur och intervjuer gör gällande att frågan om ökande temperaturer och extrema väderhändelser behöver få ett större genomslag i Göteborgs planerings- och åtgärdsarbete inom klimatanpassning för att möta annalkande klimatförändringar. Författarna är av åsikten att höga temperaturer genomgående bör beaktas vid nybyggnation, men även ses över i mycket större utsträckning med avseende på befintlig bebyggelse, för att minimera risken för värmestress hos stadens invånare.

Inom studien sammanställs faktorer som påverkar den urbana värmeöns och åtgärder som motverkar den. Att i Göteborg förutse exakt inverkan av olika faktorer samt effekten av relaterade dämpande åtgärder är i princip omöjligt baserat på dagens forskningsläge. Troligtvis kan flertalet åtgärder som beskrivits inom studien implementeras med god effekt i Göteborg så länge olika stadsdelars egenskaper och förutsättningar beaktas i tillräcklig grad. Att öka andelen grönska i Slottsskogen skulle exempelvis knappast ge resultat medan införandet av vegetation i ett område bestående av uteslutande hårdgjorda ytor däremot kan få stor svalkande effekt. Kunskap om lokala förutsättningar är därför avgörande för att effektivt sätta in åtgärder mot extrem värme.

Att sänka urbana temperaturer genom införande av grönska kan dock sägas vara en god lösning att implementera i de flesta miljöer, baserat på åtgärdens starka stöd i vetenskaplig litteratur samt frekventa återkommande under intervjuerna. Vegetation utgör dessutom inte ett negativt bidrag till den växthuseffekt som utgör själva grunden för problematiken med ökad förekomst av extremväder, varvid författarna anser det vara en extra kraftfull lösning. Införandet av mer gröna ytor i staden bidrar dessutom till att uppfylla flera av de globala målen. Gemensamt för samtliga åtgärder är dock att de behöver implementeras på bred skala för att ge synbar effekt på staden som helhet.

Identifiering av riskområden i Göteborg med avseende på höga temperaturer är möjligt. I arbetet presenteras ett resultat baserat på en kartläggning av riskfaktorer och -grupper med hjälp av modellering i ArcMap, genom vilken två potentiellt riskutsatta områden i Olivedal urskiljs. Även ett antal områden som uppvisar multipla bebyggelserelaterade riskfaktorer, men som i dagsläget inte används för bostadsändamål i tillräckligt stor grad för att anses påverka invånarna i större omfattning, identifieras. Framtida demografiska förändringar i staden kan dock innebära att åtgärder även behöver implementeras i dessa områden.

Studien synliggör genomgående bristen på forskning kring olika faktorerers relativa påverkan på urban temperatur och vidare hur kartläggningar baserade på tröskelvärden som inte viktas

sinsemellan riskerar att ge ofullständig bild av potentiella riskområden i städer. En värmekartering, exempelvis med SOLWEIG, kan med fördel användas för att utveckla resultatet av kartläggningen.

Sammanfattningsvis krävs ett mer omfattande arbete för att identifiera lokala riskområden i Göteborg. För att utveckla och stärka klimatanpassningsarbetet i en stad krävs mycket kunskap om värmeböljors påverkan i dess lokala kontext samt noggrann analys av vilka åtgärder som kan implementeras med god effekt i riskområden. Studien har resulterat i insikten att Göteborg idag inte har en utarbetad plan för hur höga temperaturer långsiktigt kan bemötas. Med en ökad förekomst, intensitet och varaktighet av värmeböljor i framtiden är det av största vikt att Göteborgs intensifierar arbetet med klimatanpassning mot värme.

Referenser

Akbari, H. (1992). Cooling our communities: A guidebook on tree planting and light-colored surfacing. Hämtad från <https://escholarship.org/uc/item/98z8p10x#main>

Akbari, H., Matthews, H.D. & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024004. doi: 10.1088/1748-9326/7/2/024004

American Meteorological Society. (2012). Urban canyons. Hämtad från http://glossary.ametsoc.org/wiki/Urban_canyons

Analitis, A., Michelozzi, P., D'Ippoliti, D., De'Donato, F., Menne, B., Matthies, F ... Katsouyanni, K. (2014). Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology*, 25(1), 15-22. doi: 10.1097/EDE.0b013e31828ac01b

Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A ... Granberg, M. (2015). An integrated method for assessing climate-related risks and adaption alternatives in urban areas. *Climate Risk Management*, 7, 31-50. doi: 10.1016/j.crm.2015.01.003

Antonacci, G. (2004). Air pollution modelling over complex topography (Doktorsavhandling, University of Trento, Trento). Hämtad från <https://www.semanticscholar.org/paper/Air-pollution-modelling-over-complex-topography-Antonacci/92e501275d908785f6d2165a2be18c1e1b72b374>

Aram, F., Higuera Garcia, E., Solgi, E. & Mansournia, S. (2019). Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01339

Bakarman, M. & Chang, J. (2015). The Influence of Height/width Ration on Urban Heat Island in Hot-arid Climates. *Procedia Engineering*, 118, 101-108. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.408

Berglöv, G., Asp, M., Berggreen-Clausen, S., Björck, E., Axén Mårtensson, J., Nylén, L ... Sjökvist, E. (2015). Framtidsklimat i Västra Götalands län: enligt RCP-scenarier. (SMHI rapport, nr 24). SMHI. Hämtad från https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.96124!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainColl/file/klimatologi_24.pdf

Boverket. (2016). Rätt tätt: En idéskrift om förtätning av städer och orter. (Boverket rapport). Boverket. Hämtad från <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2016/ratt-tatt-en-ideskrift-om-fortatning-av-stader-orter.pdf>

Boverket. (2018). Lagändringar i PBL och PBF för att hantera klimatförändringar. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/nyheter-pa-pbl-kunskapsbanken/lagandringar-i-pbl-och-pbf-1-augusti/>

Chen, H., Ooka, R., Huang, H. & Tsuchiya, T. (2009). Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulations. *Building and Environment*, 44(11), 2290-2299. doi: 10.1016/j.buildenv.2009.03.012

Chrysoulakis, N. & Grimmond, S.C.B. (2016). Understanding and reducing the anthropogenic heat emission. I Santamouris, M. & Kolotska, D., (red). *Urban climate mitigation techniques* (ss. 27-40). Hämtad från http://centaur.reading.ac.uk/52736/1/Understanding_Reducing_Anthropogenic_Heat_Final_Draft.pdf

Coutts, A., Beringer, J. & Tapper, N. (2008). Investigating the climatic impact of urban planning strategies through the use of regional climate modelling: a case study for Melbourne, Australia. *International journal of climatology*, 28(14), 1943-1957. doi: 10.1002/joc.1680

Coutts, A., Beringer, J. & Tapper, N. (2010). Changing Urban Climate and CO₂ Emissions: Implications for the Development of Policies for Sustainable Cities. *Urban Policy and Research*, 28(1), 27-47. doi: 10.1080/08111140903437716

Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P ... Vandentorren, S. (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313–323. doi: 10.1002/joc.2222

Ejvegård, R. (1993). *Vetenskaplig metod*. Lund: Studentlitteratur.

Estoque, R.C., Murayama, Y. & Myint, S.W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349–359. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.195

Europeiska kommissionen. (2003). *Kyotoprotokollet*. Hämtad från https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/MEMO_03_154

Filho, W., Icaza, L., Emanche, V. & Al-Amin, A. (2017). An Evidence-Based Review of Impacts, Strategies and Tools to Mitigate Urban Heat Islands. *International journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1600. doi: 10.3390/ijerph14121600

FN. (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. (ST/ESA/SER.A/420). FN. Hämtat från <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

Folkhälsomyndigheten. (2015). Hälsoeffekter av höga temperaturer: En kunskapssammanställning. (Folkhälsomyndigheten rapport, nr 15048). Folkhälsomyndigheten. Hämtad från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/e39b425555f44a3ba05aa0dbaa956c43/haloeffekter-hoga-temperaturer-15048-webb.pdf>

Folkhälsomyndigheten. (2018a). Värmestress i urbana utomhusmiljöer: Förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse. (Folkhälsomyndigheten rapport, nr 18061). Folkhälsomyndigheten. Hämtad från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/e5286456e91c442a923c6884d84f79be/varmestress-urbana-utomhusmiljoer-18061-webb-181112.pdf>

Folkhälsomyndigheten. (2018b). Ökad dödlighet under sommarens värmebölja. Hämtad från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/2018/december/okad-dodlighet-under-sommarens-varmebolja/>

Folkhälsomyndigheten. (2019a). Kartläggning av bebyggelse med risk för höga temperaturer: Metodbeskrivning av GIS-verktyg utifrån marktäckning. (Folkhälsomyndigheten rapport, nr 19043-2). Folkhälsomyndigheten. Hämtad från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/ab816ad103404967a558acf879c4d50c/kartlaggning-bebyggelse-risk-hoga-temperaturer.pdf>

Folkhälsomyndigheten. (2019b). Värme och människa i bebyggd miljö: Kunskapsstöd för åtgärder som minskar hälsoskadlig värme. (Folkhälsomyndigheten rapport, nr 19043). Folkhälsomyndigheten. Hämtad från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/da3f008f2fbc4d9f8424a3eb73f0d1a5/varme-manniska-bebyggd-miljo.pdf>

Folkhälsomyndigheten. (2020). Beredskap vid värmebölja. Hämtad från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittykydd-beredskap/krisberedskap/varmeboljor/>

Gabriel, K.M. & Endlicher, W.R. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2044–2050. doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.016

Giguère, M. (2012). Urban Heat Island Mitigation Strategies. Institut national de santé publique Québec. Hämtad från https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1513_UrbanHeatIslandMitigationStrategies.pdf

Globala målen. (2020a). Mål 11: Hållbara städer och samhällen. Hämtad från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/>

Globala målen. (2020b). Mål 13: Bekämpa klimatförändringar. Hämtad från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-13-bekampa-klimatforandringarna/>

Globala målen. (2020c). Globala målen. Hämtad från <https://www.globalamalen.se/>

Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B., Li, S., Tawatsupa, B., Tobias, A., ... Williams, G. (2014). Global variations in the effects of ambient temperature on mortality: A systematic evaluation. *Epidemiology*, 25(6), 781-789. doi: 10.1097/EDE.000000000000165.

Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B.G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., ... Tong, S. (2017). Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 087006. doi: 10.1289/EHP1026

Göteborgs Stad. (2019a). Ny översiktsplan för Göteborg. Hämtad från <https://stadsutveckling.goteborg.se/ny-oversiktsplan-for-goteborg/>

Göteborgs Stad. (2019b). Så ser Göteborg ut om 20 år. Hämtad från <https://stadsutveckling.goteborg.se/nyheter/sa-ser-goteborg-ut-om-20-ar/>

Göteborgs Stad. (2020a). Älvstaden. Hämtad från <https://stadsutveckling.goteborg.se/alvstaden/>

Göteborgs Stad. (2020b). Kommunprognos. Hämtad från https://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/statistik-och-analys/demografi-och-analys/befolkningsprognoser/kommunprognos!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziTYzcDQy9TAy9_T3MDQwCvYMtXXzcXQ08_E31wwkpiAJKG-AAjgb6XvpR6Tn5SRCrHPOSjC3S9aOKUtNSi1KL9EqLgMIZJSUFxVaqBqoG5eXleun5-ek5qXrJ-bmqBti0ZOQXI-hHoKrUL8iNqPJJDXcEAN04FHU!/dz/d5/L2dBISvZ0FBIS9nQSEh/

Haaland, C. & Konijnendijk van den Bosch, C. (2015). Challenges and strategies for urban greenspace planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 760-771. doi: 10.1016/j.ufug.2015.07.009

- Hagentoft, C-E. (2001). Introduction to building physics. Studentlitteratur: Lund.
- He, B-J., Ding, L. & Prasad, D. (2020). Urban ventilation and its potential for local warming mitigation: A field experiment in an open low-rise gridiron precinct. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102028. doi: 10.1016/j.scs.2020.102028
- Hellberg, S., Bergström Jonsson, P., Jäderbeg, M., Sunnemar, M. & Arby, H. (2014). Göteborg 2035: Trafikstrategi för en nära storstad. (Trafikkontoret rapport, nr 0894/11). Göteborgs Stad Trafikkontoret. Hämtad från https://goteborg.se/wps/wcm/connect/32f1301c-7e10-4f6d-a0fa-ee4f1c2f3f3a/Trafikstrategi_Slutversion_swe_web_140402.pdf?MOD=AJPERES
- Holme, I.M. & Solvang, B.K. (1997). *Forskningsmetodik: Om kvalitativa och kvantitativa metoder.* (B. Nilsson, övers.). Lund: Studentlitteratur. (Originalarbete publicerat 1986).
- Holmer, B. (1978). *Vindklimatet i Göteborg.* Göteborg: Naturgeografiska institutionen, Göteborgs universitet.
- Holmer, B., Thorsson, S. & Eliasson, I. (2007). Cooling rates, sky view factors and the development of intra-urban air temperature differences. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 89(4), 237-248. doi: 10.1111/j.1468-0459.2007.00323.x
- IPCC. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.* IPCC. Hämtad från https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf
- IPCC. (2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report.* IPCC. Hämtat från https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- IPCC. (2018). *Summary for Policymakers.* In: *Global Warming of 1.5 °C.* IPCC. Hämtat från https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf
- Jedlovec, G., Crane, D. & Quattrochi, D. (2017). Urban heat wave hazard and risk assessment. *Results in Physics*, 7, 4294-4295. doi: 10.1016/j.rinp.2017.10.056
- Keatinge, W.R. (1997). Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *The Lancet*, 349(9062), 1341–1346. doi: 10.1016/S0140-6736(96)12338-2
- Keatinge, W.R., Donaldson, G.C., Cordioli, E., Martinelli, M., Kunst, A.E., Mackenbach, J.P... Vuori, I. (2000). Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: Observational study. *British Medical Journal*, 321(7262), 670–673. doi: 10.1136/bmj.321.7262.670

Kershaw, T. (2017). Climate Change Resilience in the Urban Environment. Hämtad från <https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-1197-7>

Ketterer, C. & Matzarakis, A. (2014). Human-biometeorological assessment of the urban heat island in a city with complex topography: The case of Stuttgart, Germany. *Urban Climate*, 10(3), 573-584. doi: 10.1016/j.uclim.2014.01.003

Klimatpolitiska rådet. (u.å.). Vårt uppdrag. Hämtad från <https://www.klimatpolitiskaradet.se/uppdrag/>

Kolbe, K. (2019). Mitigating urban heat island effect and carbon dioxide emissions through different mobility concepts: Comparison of conventional vehicles with electric vehicles, hydrogen vehicles and public transportation. *Transport Policy*, 80, 1-11. doi: 10.1016/j.tranpol.2019.05.007

Kondo, H. & Kikegawa, Y. (2003). Temperature Variations in the Urban Canopy with Anthropogenic Energy Use. *Pure and applied geophysics*, 160, 317-324. doi: 10.1007/s00024-003-8780-9

Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G. & Menne, B. (2004). Heat-waves: risks and responses. (Health and Global Environmental Change Series, nr.2) World Health Organization. Hämtad från http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/96965/E82629.pdf

Kvale, S. (1997). Den kvalitativa forskningsintervjun. (S-E. Torhell, övers.) Lund: Studentlitteratur. (Originalarbete publicerat 1983)

Lantmäteriet. (2019a). Fastighetskartan: GSD-Tätorter. Lantmäteriet. Tillgängligt från: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/fastighetskartan/#qry=Fastighetskartan>

Lantmäteriet. (2019b). Fastighetskartan: GSD-Ortfoto. Lantmäteriet. Tillgängligt från: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/digitala-flygbilder/#steg=2>

Lantmäteriet. (2019c). Nationella höjddata: GSD-höjddata. Lantmäteriet. Tillgängligt från: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/hojddata-grid-2/#steg=1>

Lantmäteriet. (2019d). Fastighetskartan: Fastighetsvektor. Lantmäteriet. Tillgängligt från: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/fastighetskartan/#qry=Fastighetskartan>

Lau, K., Lindberg, F., Rayner, D. & Thorsson, S. (2015). The effect of urban geometry on mean radiant temperature under future climate change: a study of three European cities. *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 799-814. doi: 10.1007/s00484-014-0898-1

Lemonsu, A., Vigié, V., Daniel, M. & Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban climate*, 14(4), 586-605. doi: 10.1016/j.uclim.2015.10.007

Lindberg, F., Holmer, B., Thorsson, S. & Rayner, D. (2014). Characteristics of the mean radiant temperature in high latitude cities: implications for sensitive climate planning applications. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 613-627. doi: 10.1007/s00484-013-0638-y

Lynn, B., Carlson, T., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Druyan, L., Cox, J...Civerolo, K. (2009). A Modification to the NAHA LSM to Simulate Heat Mitigation Strategies in the New York City Metropolitan Area. *American meteorology society*, 48, 199-216. doi: 10.1175/2008JAMC1774.1

Länsstyrelsen Hallands län. (2013). Värmebölja i Hallands län: Länsstyrelsens meddelande 2013:19. (Länsstyrelsen Hallands län, nr 2013:19). Länsstyrelsen i Hallands län. Hämtad från https://www.lansstyrelsen.se/download/18.2e0f9f621636c844027125e2/1527593806698/2013_19%20Värmebölja%20i%20Hallands%20län.pdf

Länsstyrelsen Stockholms Län. (2011). Regional klimatsammanställning Stockholms län: Kortversion. Länsstyrelsen i Stockholms län. Hämtad från <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.840e7ca163033c061f1e961/1526068180111/Regional%20klimatsammanställning%20i%20Stockholms%20län%20kortversion.pdf>

Mayer, H., Kuppe, S., Holst, J., Imbery, F. & Matzarakis, A. (2009). Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Central European summer day. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*, 18, 211-219. Hämtad från https://www.researchgate.net/publication/228503675_Human_thermal_comfort_below_the_canopy_of_street_trees_on_a_typical_Central_European_summer_day

McGregor, G.R., Bessemoulin, P., Ebi K. & Menne, B. (2015) Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. (WHO rapport, nr 1142). World Meteorological Organization & World Health Organization. Hämtad från https://www.who.int/globalchange/publications/WMO_WHO_Heat_Health_Guidance_2015.pdf?ua=1

Michelozzi, P., de Donato, F., Bisanti, L., Russo, A., Cadum, E., DeMaria, M ... Perucci, C.A. (2005). The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *European Communicable Disease Bulletin*, 10(7), 161–165. doi: 10.2807/esm.10.07.00556-en

Middel, A., Lukasczyk, J., Maciejewski, R., Demuzere, M. & Roth, M. (2018). Sky View Factor footprints for urban climate modeling. *Urban Climate*, 25, 120-134. doi: 10.1016/j.uclim.2018.05.004

Mohajerani, A., Bakaric, J. & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.095

MSB. (2020). MSB:s arbete enligt Förordning (2018:1428) om myndigheters klimatanpassningsarbete. (MSB rapport, nr 2019-13519). MSB. Hämtad från <https://www.msb.se/contentassets/a247fc9b33934282ae7bb3e934615364/handlingsplan-msb-2020.pdf>

Naturvårdsverket. (2019a). Nationella Marktäckedata: Basskikt, ogeneraliserat. Naturvårdsverket Tillgängligt från: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Kartor/Nationella-Marktaeckedata-NMD/Ladda-ned/>

Naturvårdsverket. (2019b). Därför blir det varmare. Hämtad från <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Darfor-blir-det-varmare/>

Naturvårdsverket. (2019c). Parisavtalet. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Parisavtalet/>

Naturvårdsverket. (2019d). Underlag till regeringens klimatpolitiska handlingsplan: Redovisning av Naturvårdsverkets regeringsuppdrag. (Naturvårdsverkets rapportserie, nr 6879). Naturvårdsverket. Hämtad från <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6879-0.pdf?pid=24382>

NE. (2020a). Antropogen. Hämtad från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/antropogen>

NE. (2020b). Evapotranspiration. Hämtad från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/evapotranspiration>

NE. (2020c). Klimatkonventionen. Hämtad från www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/klimatkonventionen

Oke, T.R. (1973). City size and urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779. doi: 10.1016/0004-6981(73)90140-6

Oke, T.R. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 12(4), 471-508. doi: 10.1177/030913338801200401

Persson, G., Wikberger, C. & Amorim, J. (2018). Klimatanpassa nordiska städer med grön infrastruktur (SMHI rapport, nr 50). SMHI. Hämtad från https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.142912!/Klimatologi_50.pdf

Prop 2016:17/16. Godkännande av klimatavtalet från Paris. Hämtad från <https://www.regeringen.se/4a75ca/contentassets/618f83b8918f4f34bb1ae06b62aae8f2/godkanande-av-klimatavtalet-fran-paris-prop.-20161716>

Regeringskansliet. (2017). Det klimatpolitiska ramverket. Hämtad från <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>

Regeringskansliet. (u.å.) Att förändra vår värld: Agenda 2030 för hållbar utveckling. Hämtad från <https://www.regeringen.se/48e36d/contentassets/a69f085ada12410989115a1ff64be6d8/att-forandra-var-varld-agenda-2030-for-hallbar-utveckling>

Rocklöv, J. & Forsberg, B. (2008). The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998-2003: A study of lag structures and heatwave effects. *Scandinavian Journal of Public Health*, 36(5), 516-523. doi: 10.1177/1403494807088458

Romero Rodríguez, L., Sánchez Ramos, J., José Sánchez de la Flor, F., Alvarez Domínguez, S. (2020). Analyzing the urban heat Island: Comprehensive methodology for data gathering and optimal design of mobile transects. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102027. doi: 10.1016/j.scs.2020.102027

Rosenfeld, A.H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B.L., Kurn, D.M., Sailor, D. & Taha, H. (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22(3), 255-265. doi: 10.1016/0378-7788(95)00927-P

Rosenzweig, C., Solecki, W. & Slosberg, R. (2006). Mitigating New York city's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces (06-06). (New York city regional heat island initiative, nr 06-06). Hämtad från

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiynrmg8obpAhXn-
yoKHfAFBQEQFjABegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.nyserda.ny.gov%2F-
%2Fmedia%2FFiles%2FPublications%2FResearch%2FEnvironmental%2FEMEP%2FNYC-
Heat-Island-Mitigation.pdf&usg=AOvVaw0LK83q3lx_kaqRGzMrq1lu](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiynrmg8obpAhXn-
yoKHfAFBQEQFjABegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.nyserda.ny.gov%2F-
%2Fmedia%2FFiles%2FPublications%2FResearch%2FEnvironmental%2FEMEP%2FNYC-
Heat-Island-Mitigation.pdf&usg=AOvVaw0LK83q3lx_kaqRGzMrq1lu)

Rummukainen, M. (2005). Växthuseffekten. (SMHI rapport, Meteorologi nr 119). SMHI. Hämtad från http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.1795!meteorologi_119_webb%5B1%5D.pdf

Ryu, Y.-H. & Baik, J.-J. (2011). Quantitative Analysis of Factors Contributing to Urban Heat Island Intensity. *American Meteorological Society*, 51, 842-854. Doi: 10.1175/JAMC-D-11098.1

Sailor, D. & Lu, L. (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Atmospheric Environment*, 38(17), 2737-2748. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.01.034

Sailor, D. (2006). Mitigation of urban heat Islands: Recent progress and future prospects. Portland State University. Hämtad från https://www.researchgate.net/publication/254983522_Mitigation_of_urban_heat_Islands_-_Recent_progress_and_future_prospects

Santamouris, M. (2006). Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach. Hämtad från https://books.google.se/books?id=AbhioZ-izhUC&printsec=frontcover&hl=sv&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 103, 682-703. doi: 10.1016/j.solener.2012.07.003

SCB. (2015). Urbanisering – från land till stad. Hämtad från <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2015/Urbanisering--fran-land-till-stad/>

SCB. (2018a). Demografiska statistikområden: Befolkning efter ålder. SCB. Tillgängligt från: <https://www.scb.se/vara-tjanster/oppna-data/oppna-geodata/deso--demografiska-statistikomraden/https://www.scb.se/vara-tjanster/oppna-data/oppna-geodata/deso--demografiska-statistikomraden/>

SCB. (2018b). Tätortspolygoner. SCB. Tillgängligt från: <https://www.scb.se/vara-tjanster/oppna-data/oppna-geodata/tatorter>

SCB. (2019). Allmänt tillgänglig grönyta i hektar efter tätort, marktäcke och vart 5:e år. Hämtad från

http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0805__MI0805A/GYMaTackeAllmTo37/table/tableViewLayout1/

SCB. (2020). Befolkningstäthet i Sverige. Hämtad från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/befolkningstathet-i-sverige/>

SFS 2010:900. Plan- och bygglag. Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900

SFS 2017:720. Klimatlag. Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/klimatlag-2017720_sfs-2017-720

Siegmund, P., Abermann, J., Baddour, O., Canadell, P., Cazenave, A., Derksen, C ... Garreau A. (2020). The Global Climate in 2015-2019. (WMO report, Nr 1249). WMO. Hämtad från https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10251

SMHI. (2011). Värmeböljor i Sverige. Hämtad från http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.16889!webbFaktablad_49.pdf

SMHI. (2014). Temperatur. Hämtad från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur-1.3843>

SMHI. (2017). Klimatberäkningar visar på mer extremt väder. Hämtat från <https://www.smhi.se/forskning/forskningsnyheter/nya-klimatberakningar-visar-pa-mer-extremt-vader-1.12922>

SMHI. (2018). Vad är RCP?. Hämtad från <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/vagledning-klimatscenarier/vad-ar-rcp-1.80271>

SMHI. (2019). Varningar för höga temperaturer. Hämtad från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/varning-for-mycket-hoga-temperaturer-1.30684>

SMHI. (2020a). Växthuseffekten. Hämtad från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844>

SMHI. (2020b). Sveriges klimat. Hämtad från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-1.6867>

Soltani, A. & Sharifi, E. (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 529-538. doi: 10.1016/j.foar.2017.08.001

Stadsbyggnadskontoret Göteborgs stad. (2009). Översiktsplan för Göteborg: Del 3 Riksintressen, miljö- och riskfaktorer. Hämtad från <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/d047b372-791f-43e6-8194-126866fd913e/Del3.pdf?MOD=AJPERES>

Stadsledningskontoret Göteborgs Stad. (2020). Befolkningsprognos 2020-2040. Göteborg: Göteborgs Stad. Hämtat från https://goteborg.se/wps/wcm/connect/3f124c56-985b-4c45-8b6f-3fdd6f027c36/Kommunprognos+2020.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-3f124c56-985b-4c45-8b6f-3fdd6f027c36-n3jErYR

Stewart, I.D. & Oke, T.R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M. & Soulakellis, N. (2008). On the Use of Cool Materials as a Heat Island Mitigation Strategy. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47(11), 2846-2856. doi: 10.1175/2008JAMC1830.1

Suarma, U., Hapsarini, S.A., Isnastuti, N.L., Ikhwani, H.R. & Durrotunafisah. (2019). Urban Heat Islands analysis towards topographic based land use change and daily commute effect along the Kaliurang Street in Yogyakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 303, 012032. Hämtad från <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/303/1/012032/pdf>

Sutanto, S.J, Vitolo, C., Di Napoli, C., D'Andrea, M. & Van Lanen, H. (2020). Heatwaves, droughts, and fires: Exploring compound and cascading dry hazards at the pan-European scale. *Environment International*, 134. 105276. doi: 10.1016/j.envint.2019.105276

Taha, H., Sailor, D. & Akbari, H. (1992). High-albedo materials for reducing cooling energy use. Lawrence Berkeley Lab. doi: 10.2172/10178958

Taslim, S., Monsefi Parapari, D. & Shafaghat, A. (2015). Urban Design Guidelines to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects In Hot-Dry Cities. *Jurnal teknologi*, 74(4), 119-124. doi: 10.11113/jt.v74.4619

Thorsson, S., Lindberg, F., Björklund, J., Holmer, B. & Rayner, D. (2010). Potential changes in outdoor thermal comfort conditions in Gothenburg, Sweden due to climate change: the

influence of urban geometry. *International Journal of Climatology*, 31(2), 324-335. doi: 10.1002/joc.2231

Thorsson, S. (2012). Stadsklimatet: Åtgärder för att sänka temperaturen i bebyggda områden (Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R—3415—SE). Totalförsvarets forskningsinstitut. Hämtad från <http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/klimat/varme/Åtgärder-för-att-sänka-temperaturen-i-bebyggda%20områden-FOI-rapport-2012.pdf>

Thorsson, S., Rocklöv, J., Konarska, J., Lindberg, F., Holmer, B., Dousset, B. & Rayner, D. (2014) Mean radiant temperature: A predictor of heat related mortality. *Urban climate*, 10(2), 332–345. doi: 10.1016/j.uclim.2014.01.004

Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Monteiro, A., Katzschner, L., Lau, K ... Holmer, B. (2017). Present and projected future mean radiant temperature for three European cities. *International Journal of Biometeorology*, 61(9), 1531–1543. doi: 10.1007/s00484-017-1332-2

U.S. Environmental protection agency. (2008). Reducing urban heat islands: Compendium and strategies. Hämtad från https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_2.pdf

UN-Habitat. (2015). A new strategy of sustainable neighbourhood planning: Five principles. Hämtad från <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/A%20New%20Strategy%20of%20Sustainable%20Neighbourhood%20Planning%20Five%20principles.pdf>

UNFCCC. (u.å.) Nationally Determined Contributions (NDCs). Hämtad från <https://unfccc.int/nationally-determined-contributions-ndcs#eq-5>

Vuckovic, M., Loibl, W., Tötzer, T. & Stollnberger, R. (2019). Potential of Urban Densification to Mitigate the Effects of Heat Island in Vienna, Austria. *Environments*, 6(7), 82. doi: 10.3390/environments6070082

Wang, Y. & Akbari, H. (2016). The Effects of Street Tree Planting on Urban Heat Island Mitigation in Montreal. *Sustainable cities and society*, 27, 122-128. doi: 10.1016/j.scs.2016.04.013

Wong, N., Chen, Y., Ong, C. & Sia, A. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38(2), 261-270. doi: 10.1016/S0360-1323(02)00066-5

WHO. (u.å.). Information and public health advice: heat and health. Hämtad från <https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/en>

WMO. (1992). International Meteorological Vocabulary – Second Edition. Hämtad från https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4712

WMO. (2019). July matched, and maybe broke, the record for the hottest month since analysis began. Hämtad från <https://public.wmo.int/en/media/news/july-matched-and-maybe-broke-record-hottest-month-analysis-began>

Yamamoto, Y. (2006). Measures to Mitigate Urban Heat Islands. (Environment and energy research unit, nr 18). Hämtad från <https://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2012/04/Measures-to-Mitigate-UHI-Yamamoto.pdf>

Zhou, B., Rybski, D. & Kropp, J.P. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific reports*, 7(1), 4791. doi:10.1038/s41598-017-04242-2

Zhou, Y. & Shepherd, J.M. (2010). Atlanta's urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigations strategies. *Natural Hazards*, 52, 639-668. doi: 10.1007/s11069-009-9406-z

Zhou, Y., Guan, H., Huang, C., Fan, L., Gharib, S., Batelaan, O. & Simmons, C. (2019). Sea breeze cooling capacity and its influencing factors in a coastal city. *Building and Environment*, 166, 106408. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106408

Åström, D.O., Forsberg, B. & Rocklöv, J. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*. 69(2). 99-105. doi: 10.1016/j.maturitas.2011.03.008

Bilder

Berglöv, G., Asp, M., Berggren-Clausen, S., Björck, E., Axén Mårtensson, J., Nylén, L ... Sjökvist, E. (2015). Förväntade temperaturförändringar för Västra Götaland [Elektronisk bild]. Hämtad från https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.96124!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/klimatologi_24.pdf

Göteborgs Stad. (2020b). Karta över centrala Göteborgs bebyggelse [Elektronisk bild]. Hämtad från <https://stadsutveckling.goteborg.se/alvstaden/>

Kershaw, T. (2017). Illustration av de energimässiga processerna som bidrar till värmeön, visar även UBL (överst) och UCL (underst) [Elektronisk bild]. Hämtad från <https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-1197-7/chapter/bk978-0-7503-1197-7ch4>

Lindberg, F., Holmer, B., Thorsson, S. & Rayner, D. (2014). Lokala variationer av $T_{mrt, (standing\ man)}$ (°C) under klart och varmt väder i stadskärnan i Göteborg, Sverige, klockan 15.00 (lokal standardtid) den sjätte juni 1997 [Elektronisk bild]. doi: 10.1007/s00484-013-0638-y

Oke, T.R. (1988). Schematic depiction of terms involved in (b) energy (heat) [Elektronisk bild]. doi: 10.1177/030913338801200401

Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Monteiro, A., Katschner, L., Lau, K ... Holmer, B. (2017). Områden med höga strålningstemperaturer, graderade från varma till varmaste platserna, i Göteborg (utan vegetation) under tre tidsperioder uttryckta som 90:e percentilen av medelstrålningstemperaturen, T_{mrt} , på gatunivå när T_{mrt} är 60 °C för en generisk urban plats [Elektronisk bild]. doi: 10.1007/s00484-017-1332-2

Bilaga 1. Intervjumall

Allmänt:

- Vill du börja med att berätta lite om dig själv?
- Vad arbetar du med/forskar du inom?
- Hur länge har du arbetat med ditt område/forskat inom ditt ämne?
- Arbetar du med värmeböljor idag?
- Om inte: hur hade du velat arbeta med värmeböljor?

Värmeböljor i Göteborg:

- Tror du att Göteborg som stad kommer påverkas av värmeböljor i framtiden?
- Varför/varför inte?
- Om ja, på vilket sätt kommer Göteborg som stad påverkas i framtiden?
- Kan du identifiera särskilda riskområden i Göteborg idag?
- Tror du att Göteborgs befintliga bebyggelse på något sätt påverkar hur en värmebölja upplevs?
- Ser du några problem med planerad bebyggelse i Göteborg med ett perspektiv på värmeböljor?

Åtgärder:

- Vad känner du till för åtgärder som vidtagits mot effekterna av värmeböljor i Göteborg/Sverige/internationellt?
- Fördelar och nackdelar?
- Hur tycker du att det nuvarande arbetet för att minska de negativa effekterna av en värmebölja fungerar på lokal, nationell och internationell nivå?
- Vad känner du till för framtida åtgärder (främst inom samhällsbyggnadsteknik och stadsplanering) som skulle kunna tillämpas i Göteborg?
- Fördelar och nackdelar?

Övrigt:

- Finns det bristande eller motsägande forskning inom området?
- Tips på person att intervjua?

Bilaga 2. Tabell intervjuobjekt

Namn	Verksamhet	Befattning	Urval	Intervjuform	Datum	Tid [h:min:s]
Eva-Lena Torudd	Stadsledningskontoret Göteborgs Stad	Planeringsledare klimatanpassingssamordning	Första urval	Fysiskt möte	2020-02-28	00:53:46
Deliang Chen	Göteborgs Universitet	Professor	Första urval	Fysiskt möte	2020-03-02	00:39:55
Özüm Durgun Maria Håkansson	RISE	Forskare Forskare	Första urval Första urval	Fysiskt möte	2020-03-02	00:45:35
David Hirdman	Lerums kommun	Strategisk samhällsplanerare- klimatpassning	Snöbollsurval	Fysiskt möte	2020-03-09	00:53:37
Ulf Moberg	Stadsbyggnadskontoret Göteborgs Stad	Klimatstrateg	Snöbollsurval	Fysiskt möte	2020-03-10	0:42:46
Fredrik Lindberg Sofia Thorsson	Göteborgs Universitet	Forskare Professor	Snöbollsurval Snöbollsurval	Fysiskt möte	2020-03-11	00:34:50
Lars Westholm	Länsstyrelsen	Projektledare klimatanpassning	Första urval	Skype-möte	2020-03-13	00:58:17
Anna Jonsson		Vatten- och klimatanpassningsexpert	Första urval	Skype-möte	2020-03-13	00:34:26
Karin Lundgren Kownacki	SMHI	Analytisk klimatanpassning	Snöbollsurval			
Merja Willman	Norrköpings kommun	Koordinator hållbar utveckling	Snöbollsurval	Telefonmöte	2020-03-18	00:47:27
Eva Liljegren	Trafikverket	Utredare riktade miljöåtgärder	Snöbollsurval	Skype-möte	2020-03-18	00:23:07
Ulrika Åkerlund	Boverket	Landskapsarkitekt	Snöbollsurval	Skype-möte	2020-03-26	00:40:32

Bilaga 3. Beräkning demografi

$$y_x = \frac{b_x}{A_x} \quad (1)$$

y_x Befolkningstäthet för DeSo
 b_x Total befolkning DeSo
 A_x Total Area DeSo

$$x_x = \frac{n_x}{A_x} \quad (2)$$

x_x Antal personer över 65 år för DeSo
 n_x Antal personer över 65 år

$$b_i = A_i \cdot y_x \quad (3)$$

b_i Totalt antal personer i ruta från DeSo
 A_i Area av DeSo i ruta

$$n_i = A_i \cdot x_x \quad (4)$$

n_i Totalt antal personer över 65 år i ruta från DeSo

$\sum y_i$ = Totalt antal personer i ruta
 $\sum x_i$ = Antalet personer över 65 år i rutan

$$\frac{\sum y_i}{A_r} = \text{Befolkningstäthet} \quad (5)$$

$A_R = 0,16 \text{ km}^2$ Area av ruta

$$\frac{\sum x_i}{A_r} = \text{Antal personer över 65 år} \quad (6)$$

Bilaga 4. Albedo och emissivitet

Albedo och emissivitet för olika vanliga urbana material och ytor (Hagentoft, 2001; Santamouris, 2006; Taha et al., 1992).

Material	Albedo	Emissivitet
Aluminiumfolie	0,85	0,04
Aluminiumfärg	0,80	0,27–0,67
Asfalt	0,05–0,2	-
Betong	0,30	0,94
Betongplatta	-	0,63
Färg på aluminium, svart	0,04	0,88
Färg på aluminium, vit	0,80	0,91
Gips, vit	0,93	0,91
Grus	0,72	0,28
Ljus galvaniserad stål	0,35	0,13
Nymålat trä	0,40	0,90
Odlingsmark	0,10	0,76
Pigment, grått	0,03	0,87
Pigment, grönt	0,73	0,95
Pigment, vitt	0,85	0,96
Rött tegel	0,30	0,90
Sand	0,24	0,76
Skog	0,10	0,85
Takpapp	0,05	0,93
Vitt papper	0,75	0,95

Bilaga 5. Volymetrisk värmekapacitet

Värmekapacitet för olika urbana material och ytor (Hagentoft, 2001).

Material	Volymetrisk värmekapacitet [kJ/m ³]
Vatten	4200
Stål	3900
Betong	2070
Tegel	1200
Trä	750
Gips	720
Lättviktsbetong	500
Mineralull	66

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se



CHALMERS