

Temperaturanalyser från satellit över Stockholms stad



Stockholms
stad



GEOGRAFISKA INFORMATIONSBYRÅN



**Max strålningstemperatur uppmätt från
satellit mellan juni 2013 och september 2021**

**Analyser, statistik och värme i olika
bebyggelsestrukturer**

Datum: 2022-06-08

Författare: Sara Wiman, Greger Lindeberg

www.geografiskainformationsbyran.se

Innehåll

1	Bakgrund	4
1.1	Kontakt.....	4
2	Leverans	5
3	Yttemperatur från satellit	5
3.1	Fakta om Landsat-8.....	5
3.2	Satellitmätning, yttemperatur	7
3.2.1	Antal satellitregistreringar 2013-2021	7
3.2.2	Yttemperatur, raster	8
3.3	Skattning av maximala temperaturer	10
4	Värmeöar och svala områden	13
4.1	Värmeöar	13
4.2	Svala områden	14
5	Analys Värmeöar	15
5.1	Barn och äldre i värmeö.....	15
5.2	Värme per adresspunkt.....	16
5.3	Statistik DeSo-områden	17
5.4	Tillgänglighet till svalka	20
5.4.1	Tillgång till parker.....	20
5.4.2	Förskolors tillgång till svalka	20
5.4.3	Om skolplanering.se.....	22
6	Bebyggelse typer och yttemperatur	25
6.1	Ansats 1 Bebyggelse typologi Tätare Stockholm	25
6.2	Ansats 2, Rutstatistik.....	30
6.3	Ansats 3 – Kluster med temperatur och miljöfaktorer	33
7	Diskussion och slutsatser	36
7.1	Satellitdata som underlag	36
7.2	Analyser.....	37
	Bilaga Exempel kluster med bebyggelse.....	39

Sammanfattning

Ett förändrat klimat med stigande medeltemperatur, ökad och mer intensiv nederbörd, förhöjda vattennivåer i sjöar och hav och förändrade flöden i vattendragen kommer att medföra negativa effekter för samhället. Värmeböljor kommer att inträffa oftare och bli mer långvariga.

Den fysiska planeringen är ett viktigt verktyg för att anpassa samhället till ett förändrat klimat. Detta innefattar lokalisering och utformning av verksamheter och bebyggelse utifrån förväntade framtida klimatförhållanden. Också den befintliga stadsmiljön behöver klimatanpassas. Det finns många olika åtgärder som kan vidtas, som berör grönstruktur och tillgången till svala områden.

I projektet *Temperaturanalyser från satellit* ligger maximala strålningstemperaturer i Stockholm, mätta från satelliten Landsat-8 under en nioårsperiod, till grund för ett antal analyser. Både rent fysiska kopplingar mellan grönska, bebyggelsestrukturer och värme, men också analyser kring tillgången till svalka för sårbara grupper har berörts inom projektet.

Värmekarteringen visar att det förutom ett 60-tal små värmeöar under 1 hektar finns över 100 områden mellan 1 och 40 hektar som når maximala yttemperaturer på över 35°C. De största är Bromma flygplats med 255 hektar, följt av Östberga, Rinkeby-Tensta och Kista om vardera 189, 174 och 160 hektar. Först på femteplats kommer Stockholms innerstad med sina 126 hektar. Kommunen i sin helhet täcker en yta om ca 21 500 hektar. Drygt 18% av kommunens befolkning är bosatta i områden som nått 35°C i mätningarna. En övervägande majoritet, nära 70%, är enligt studien bosatta i områden som når mellan 32°C och 34°C. En jämförelse inom enbart de mer sårbara grupperna barn och äldre visar att fördelningen ser ungefär likadan ut i dessa.

En preliminär analys av hur tillgången till svala områden, här definierade som maxtemperaturer <30°C, ser ut för Stockholms förskolor visar att endast 19% av förskolorna har en gångväg kortare än 300 meter till närmaste svala område, medan 17% har längre än 1 kilometer att gå till ett svalt område.

Sambandet mellan yttemperatur och marktäcke/markanvändning är tydligt men det finns inget entydigt som säger hur stor andel krontäckning respektive hårdgjorda ytor som är lämpligt i ett bostadsområde. Om vi tittar på data från denna studie pekar den på att områden med krontäckning större än 30% och där andelen hårdgjorda ytor är mindre än 30% ser mer gynnsamma ut med avseende på yttemperatur. Har man över 30% krontäckning når man inte de högsta temperaturerna trots att området i övrigt kan vara relativt exploaterat med många hårdgjorda ytor. Under 30% spelar det inte så stor roll hur markytan ser ut.

Man bör ha i åtanke att de värmedata som ligger till grund för analyserna är relativt grova. Några enskilda träd i gatan märks inte i temperaturmätningarna, även om det ger skydd mot direkt solinstrålning på marken. Detsamma kan gälla för tankar kring hur man byggt för att åstadkomma skuggning.

Temperaturanalys från satellit

1 BAKGRUND

Ett förändrat klimat med stigande medeltemperatur, ökad och mer intensiv nederbörd, förhöjda vattennivåer i sjöar och hav och förändrade flöden i vattendragen kommer att medföra negativa effekter för samhället. Redan idag kan skyfall inträffa men såväl frekvensen som regnmängderna förväntas att öka. Värmeböljor kommer att inträffa oftare och bli mer långvariga.

Bebyggelse, infrastruktur och tekniska försörjningssystem måste därför anpassas för att klara såväl dagens extrema väderhändelser som de klimatförändringar som väntar. Åtgärder som syftar till att skydda miljön bidrar också till att skydda människors liv, hälsa och egendom, när samhället anpassas till de konsekvenser som ett förändrat klimat kan medföra.

Den fysiska planeringen är ett viktigt verktyg för att anpassa samhället till ett förändrat klimat. Detta innefattar lokalisering och utformning av verksamheter och bebyggelse utifrån förväntade framtida klimatförhållanden. Också den befintliga stadsmiljön behöver klimatanpassas. Det finns många olika åtgärder som kan vidtas, som berör grönstruktur, hållbar dagvattenhantering, höjdsättning av mark och byggnader, skydd mot översvämningar med mera.

Rapporten avser uppdrag *Kartering av värmeböljor* enligt avropsavtal Dnr 2021-15727. Avropet ligger inom utvärderings- och utredningstjänster, avtalsområde A.3 Klimat, miljö och energi. Uppdraget har utförts av Geografiska Informationsbyrån som underkonsult till Tyréns.

Uppdraget har sammanställts i denna rapport med följande fokus:

- **Värmeöar:**
Öka och fördjupa kunskapen om var i staden områden med särskilt höga temperaturer har uppmätts och kan förväntas vid kommande värmeböljor. (2.1)
- **Tillgänglighet till svalka:**
Analysera den producerade värmekartan med dynamiska analyser. Särskild hänsyn bör tas till värmeöar/hot spots, lokalisering av verksamheter för sårbara grupper och verksamheter, samt nytta av skuggande/svalkande strukturer i staden. (2.2)
- **Värme i olika stadsmiljöer**
Skapa en exempelsamling för olika typer av stadsmiljöer i staden och deras yttemperaturer vid värmebölja. (2.3)

Leveranser i form av GIS-skikt för respektive del redovisas i avsnitt Leverans.

1.1 KONTAKT

Sara Wiman GIB, sara.wiman@geografiskainformationsbyran.se

Greger Lindeberg, GIB, greger.lindeberg@geografiskainformationsbyran.se

Mattias Eriksson, Tyréns, mattias.eriksson@tyrens.se

Avtal: Jörgen Berkan, Tyréns, jorgen.berkan@tyrens.se

2 LEVERANS

Följande skikt har levererats i referenssystem epsg 3011 (Sweref 99 18 00)

Namn	Beskrivning
Maxtemp_2013-2021.tif	Raster, 100m upplösning. Total maxtemperatur mätt över alla 9 åren
Maxtemp_årsvis 2013-2021_100m.tif	Raster 100m, 9 band. Maxtemperatur/ år
Över35degC_poly.gpkg	Geopackage, polygoner med maxtemperatur > 35C över hela perioden
Bef_adress_maxtemp.gpkg	Geopackage, adresspunkter med befolkning och maxtemperatur
MaxTemp_pnt_100m.gpkg	Geopackage, punktskikt med 100m upplösning, maxtemperatur (integer resp. flyttal)

3 YTTTEMPERATUR FRÅN SATELLIT

Till skillnad från det flertal modellerade värmekartläggningar som gjorts i Sverige, oftast över begränsade områden, ger analys från satellit en ögonblicksbild av yttemperaturen över stora arealer. Upplösningen 100 meter är låg – man kan inte utläsa effekten av enstaka objekt. Däremot kan man se tydliga skillnader mellan större sammanhängande områden av en viss typ, med en viss struktur och fördelning av grönska vs hårdgjort. Skogar ger en annan yttemperatur jämfört med öppen mark, villabebyggelse jämfört med innerstad eller vatten jämfört med land. I detta avsnitt ges några exempel på hur informationen kan tolkas och användas.

I detta projekt är indata till kartering av strålningstemperaturer vid markytan fritt tillgängliga satellitdata från den amerikanska satelliten Landsat 8. Det finns också andra satelliter som erbjuder fria satellitdata, där Sentinel-serien från ESA (European Space Agency) är av störst relevans för Sverige när det gäller jordobservation. Sentinel-3 registrerar liksom Landsat också ytstrålning, med högre temporal upplösning men med mycket lägre geometrisk upplösning. I detta projekt har vi valt att prioritera den geometriska upplösningen. Landsat har också en längre historia när man vill titta på tidsserier.

3.1 FAKTA OM LANDSAT-8

Sensorerna på Landsat-satelliterna har sedan 90-talet registrerat data i ett flertal våglängdsband, däribland band 10 (Landsat 8), TIRS, som vi refererar till som "värmeband". Landsat 8 går runt jorden i en solsynchron, nära-polär bana, på en höjd av 705 km. Ett varv runt jorden tar ca 100 minuter. Mer att läsa om Landsat: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-surface-reflectance>

Stråköverlappet mellan två på varandra följande omloppsbanor varierar från 7 procent vid ekvatorn till maximalt cirka 85 procent vid höga latituder. Täckningsområdet för en Landsat 8-scen är 185 km x 180 km. Under de varmaste månaderna juli och augusti kan man räkna med att få mellan 6 och 10 användbara bilder från Landsat-8, beroende på vädret. Den geometriska upplösningen ligger kring 100 meter.

Copernicus-satelliten Sentinel-3 kan också leverera temperaturdata, men då med så låg detaljeringsgrad att det inte är användbart inom den typ av urbana tillämpningar detta projekt avser.

Landsat-data kalibreras på olika sätt och en registrering finns i flera olika versioner. Det innefattar olika grader av korrigering från råa data, som endast är systemkorrigerade, till den mest långtgående kalibreringen; ortorektifierade data som kalibrerats till markreflektans. Däremellan finns TOA-data, som radiometriskt är kalibrerade till Top-of-atmosphere reflektans, vilket inte tagit hänsyn till atmosfärens inverkan. I projektet används data kalibrerade till markreflektans.

Tabell 1 Sammanfattning av de olika korrektionsnivåerna från Landsat-8

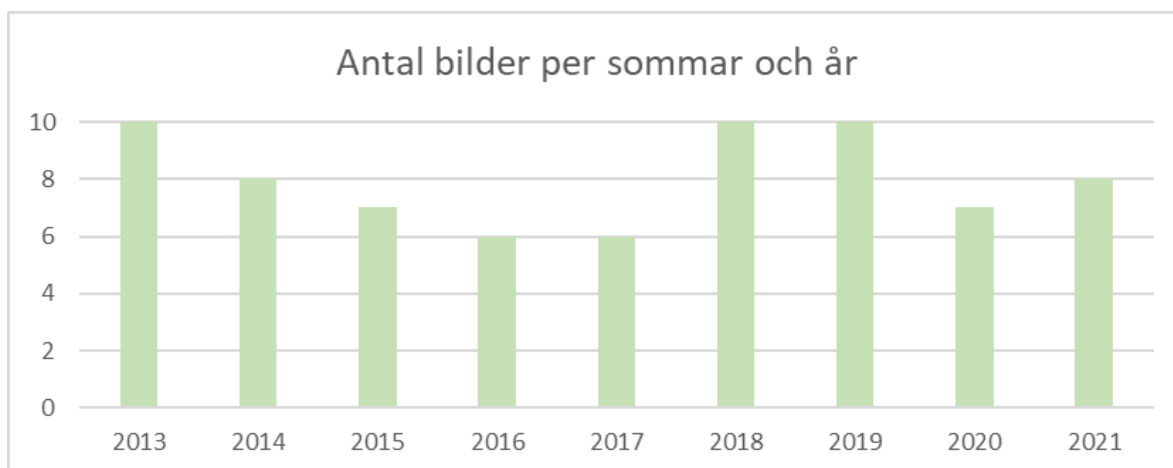
Kollektion	Beskrivning
USGS Landsat 8 Collection 1 resp. 2 Tier 1 resp. 2 TOA Reflectance	TOA – Top of Atmosphere. See Chander et al. (2009) for details on the TOA computation.
Landsat 8 Collection 1 resp. 2 Tier 1 resp 2 and Real-Time data Raw Scenes	At-sensor radiance, scaled calibrated
USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 2	<p>This dataset is the atmospherically corrected surface reflectance from the Landsat 8 OLI/TIRS sensors. These images contain 5 visible and near-infrared (VNIR) bands and 2 short-wave infrared (SWIR) bands processed to orthorectified surface reflectance, and two thermal infrared (TIR) bands processed to orthorectified brightness temperature</p> <p>These data have been atmospherically corrected using LaSRC and includes a cloud, shadow, water and snow mask produced using CFMASK, as well as a per-pixel saturation mask.</p>
USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1 resp. 2	<p>Samma som ovan, men även:</p> <p>They also contain intermediate bands used in calculation of the ST products, as well as QA bands.</p> <p>Landsat 8 SR products are created with the Land Surface Reflectance Code (LaSRC). All Collection 2 ST products are created with a single-channel algorithm jointly created by the Rochester Institute of Technology (RIT) and National Aeronautics and Space Administration (NASA) Jet Propulsion Laboratory (JPL).</p>

3.2 SATELLITMÄTNING, YTTEMPERATUR

Landsat-8 går i en polär solsynkron bana och passerar därför en viss plats på jorden vid samma tidpunkt varje passage. I Stockholm passerar Landsat 8 kl.10 UT (GMT) vilken motsvarar kl. 11 i Sverige (GMT+1), vintertid. Tidpunkterna för registrering varierar mellan 10:54 och 11:01 svensk tid (vintertid).

3.2.1 Antal satellitregistreringar 2013-2021

Under perioden 2013-2021 juli till augusti har Landsat-8 registrerat användbara data (<25% moln) inom området. Antal olika registreringsdatum uppgår till 72, mellan 6 och 10 per sommar.



Figur 1 Antal registrerade satellitbilder från Landsat-8 under sommarperioden 2013-2021

Tabell 2. Totalt 72 registrerade satellitbilder <25% moln, per år under sommarperioden (juni – augusti).

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
10	8	7	6	6	10	10	7	8
2013-06-07	2014-06-10	2015-06-13	2016-06-01	2017-06-02	2018-06-05	2019-06-08	2020-06-03	2021-06-06
2013-06-25	2014-06-12	2015-06-15	2016-06-08	2017-06-27	2018-06-14	2019-06-10	2020-06-10	2021-06-13
2013-07-09	2014-07-05	2015-07-01	2016-07-19	2017-07-06	2018-06-23	2019-06-17	2020-06-12	2021-06-29
2013-07-18	2014-07-12	2015-07-24	2016-07-26	2017-07-13	2018-06-30	2019-07-19	2020-06-19	2021-07-01
2013-07-25	2014-07-21	2015-08-09	2016-08-04	2017-07-29	2018-07-16	2019-07-26	2020-06-26	2021-07-08
2013-08-03	2014-08-06	2015-08-16	2016-08-27	2017-08-14	2018-07-23	2019-07-28	2020-07-12	2021-07-15
2013-08-12	2014-08-15	2015-08-18			2018-07-25	2019-08-04	2020-08-15	2021-07-17
2013-08-19	2014-08-22				2018-08-01	2019-08-13		2021-07-24
2013-08-26					2018-08-08	2019-08-20		
2013-08-28					2018-08-17	2019-08-27		

3.2.2 Yttertemperatur, raster

Resultatet redovisas som maximala **strålningstemperaturer** vid markytan i grader Celsius mätta över en 9-årsperiod, lagrat i raster med 100m upplösning. Värdena är yttäckande. Värdena är faktiska, uppmätta, yttertemperaturer till skillnad från många andra värmekarteringar som baseras på modeller i olika varianter. Värdena bör dock inte tolkas som absoluta maxtemperaturer utan man ska ha i åtanke de felkällor som kan förekomma:

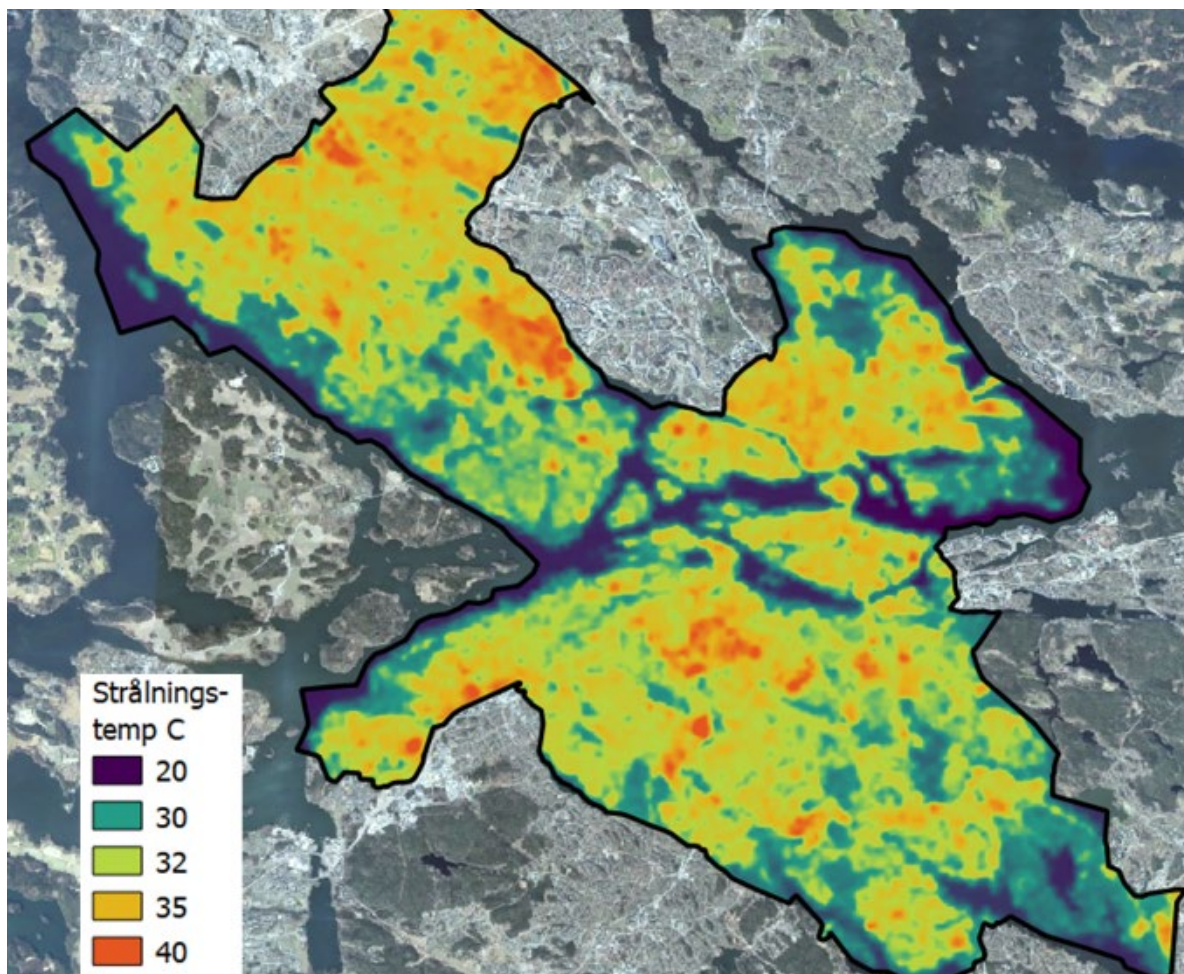
- Ej uppnådd maxtemperatur till följd av moln/dis under den/de varmaste dagarna
- Ha i åtanke att nya satellitbilder registreras ungefär varannan vecka och däremellan kan värmetopparna ha passerat.
- En liten skillnad i uppmätt temperatur mellan de centrala delarna av en satellitscen och ytterkanterna beroende på atmosfärens inverkan.
- Temperaturerna mäts vid ytan och svarta plåttak i tät stenstad kan överskatta de faktiska temperaturerna nere på marken.
- Tidpunkten för registrering motsvarar inte den varmaste temperaturen för dagen.

Denna värmekartering lämpar sig för relativa jämförelser mellan olika typer av områden för att t.ex. visualisera hur inslag av olika typer av vegetation i en stadsmiljö påverkar temperaturen.

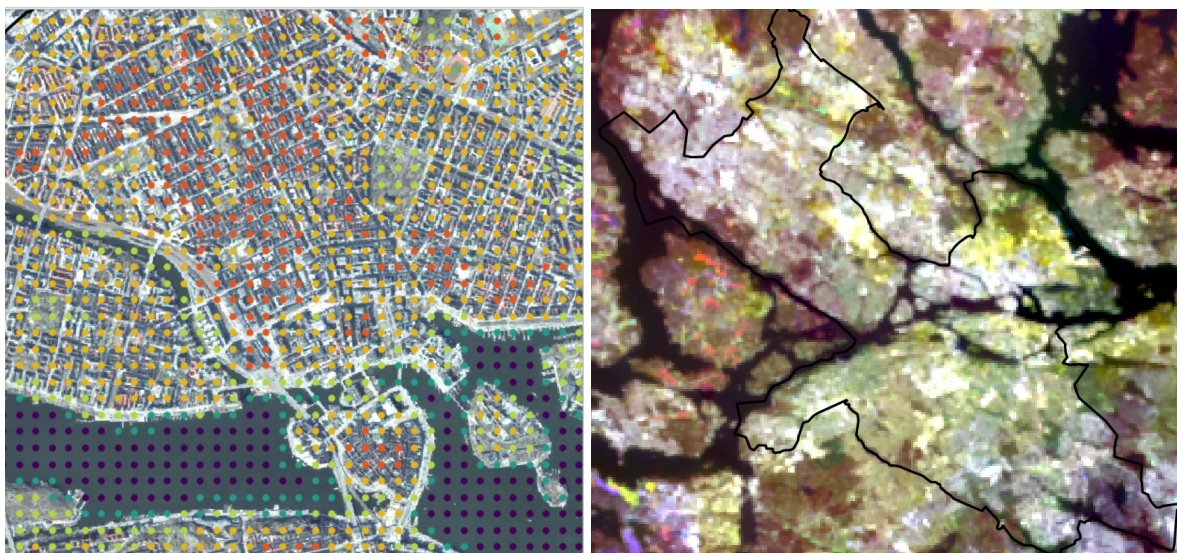
För att få ett bra underlag har både den totala maxtemperaturen under hela perioden och maxtemperatur per enskilt år tagits fram:

- Sammanvägning av maxtemperaturer från alla sommarbilder 2013 - 2021.
- Maxtemperatur sommartid per enskilt år 2013-2021

I Figur 2 och Figur 3 visas exempel på de levererade skikten. Rasterskiktet för maxtemperaturer har också konverterats till ett punktskikt med 100m mellanrum mellan punkterna. Genom att interpolera 100m-rastret till 20m via punktskiktet får man en produkt bättre anpassad för fortsatt analys och visualisering tillsammans med andra kartdata.



Figur 2 Max strålningstemperatur mätt från Landsat-8 under åren 2013-2021. Modifierad Veridis färgtabell.



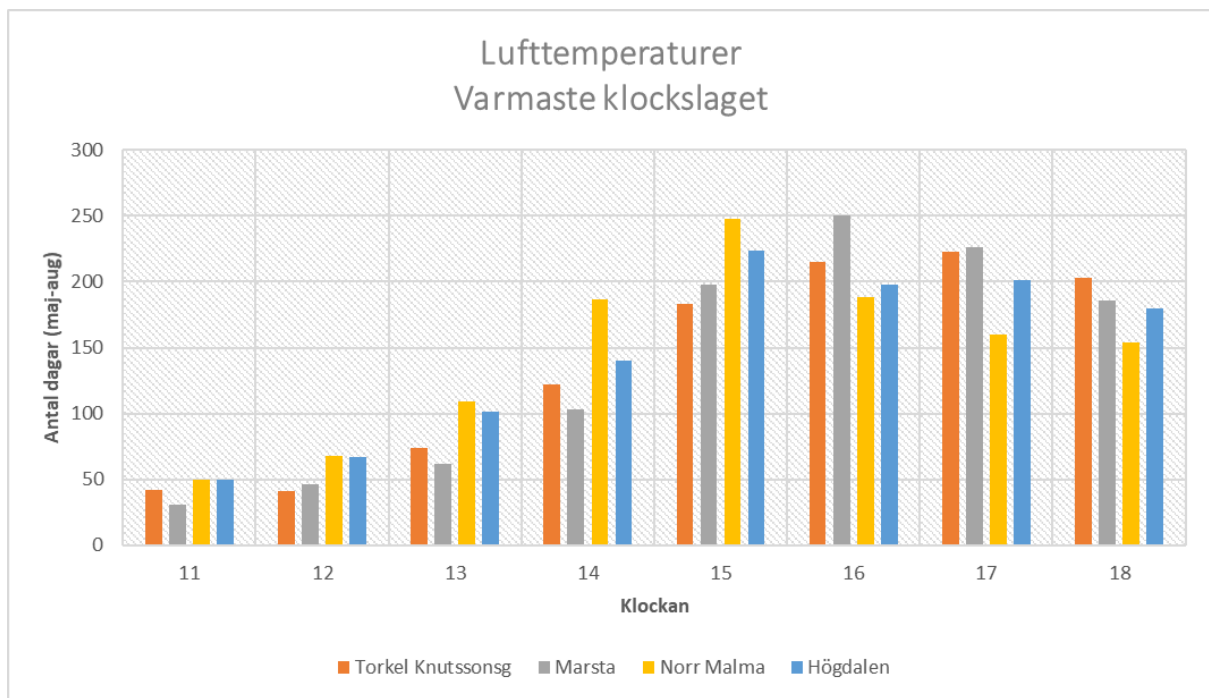
Figur 3 Punktskikt ur raster 100m, maximala strålningstemperatur över hela perioden. Till höger rasterkomposit med max strålningstemperatur per år under 9 år lagras i 9 olika band i tiff-filen. Kan visualiseras ett år åt gången eller i kombinationer av 3 år i olika färgkanaler RGB för att visualisera var förändringar skett mellan åren.

3.3 SKATTNING AV MAXIMALA TEMPERATURER

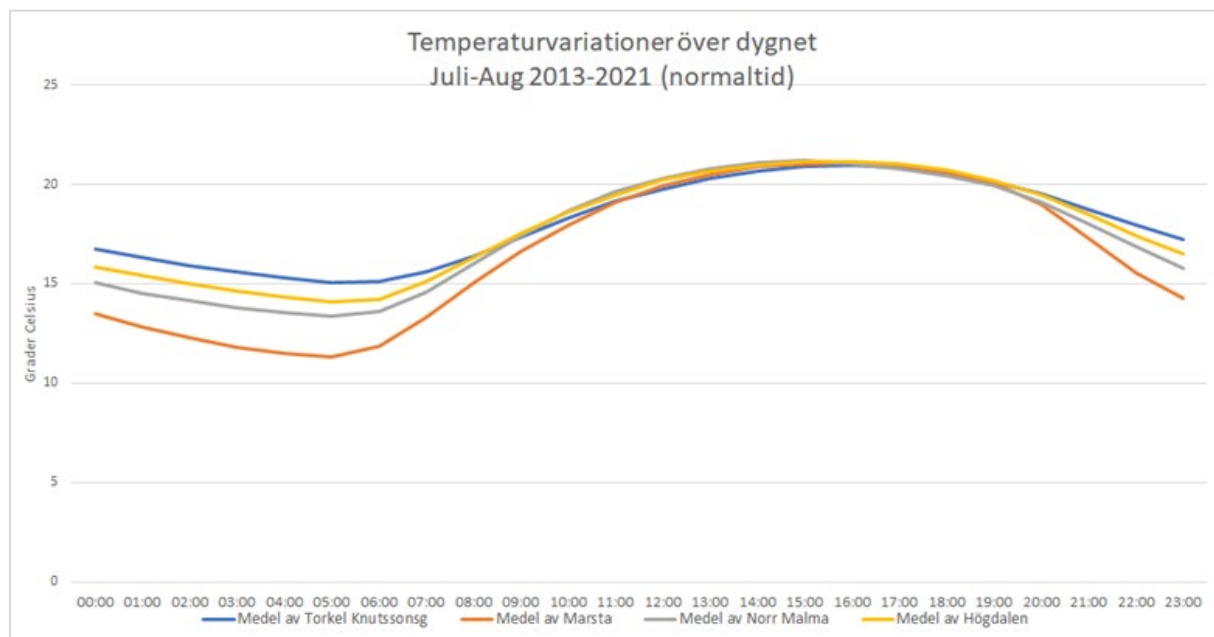
Mätningarna av yttemperaturer från satellit kan sannolikt ha missat den varmaste dagen ett visst år. Det är också sannolikt att dagens varmaste temperatur inte ännu uppnåtts när satelliten passerar. För att skatta de verkliga topparna har insitu-mätningar av lufttemperatur från fyra mätstationer i Stockholms län använts. Mätserierna omfattar samma tidsperiod som satellitregistreringarna, 2013-2021.

Landsat-8 går i en polär solsynkron bana och passerar därför en viss plats på jorden vid samma tidpunkt varje passage. I Stockholm passerar Landsat 8 kl.10 UT (GMT) vilken motsvarar kl.11 i Sverige (GMT+1), vintertid. Tidpunkterna för registrering varierar mellan 10:54 och 11:01 svensk tid (vintertid). Klockan 11 är sällan den varmaste tidpunkten på dagen, se Figur 4. Här har mätserierna vid de fyra mätstationerna analyserats för att visualisera variationen i temperatur över dagen. Det vi kan utläsa ur statistiken är att lufttemperaturen oftast toppar någon gång mellan kl.15 och 17. När det varit varmest kl.11 så beror det ofta på ett väderomslag – från varmare till svalare.

Det finns flera parametrar som påverkar relationen mellan uppmätt strålningstemperatur och lufttemperatur utöver markens emissivitet. Moln eller slöjor påverkar mätvärdena i satellitbilden, som blir lägre än de i verkligheten är, medan luftmassan och därmed lufttemperaturen inte påverkas lika snabbt. Tiden innan satellitbilden registreras spelar roll – om det varit svalare eller varmare under en period så kanske lufttemperaturen inte "hängt med". Materialet på ytan avgör hur snabbt värmen ökar eller avtar. Ett exempel är svarta plåttak som värms upp snabbt vid solbelysning, medan luften håller en jämnare temperatur över tid. Lokalklimatet spelar också stor roll, som vindförhållandena då kall eller varm luft blåser in.

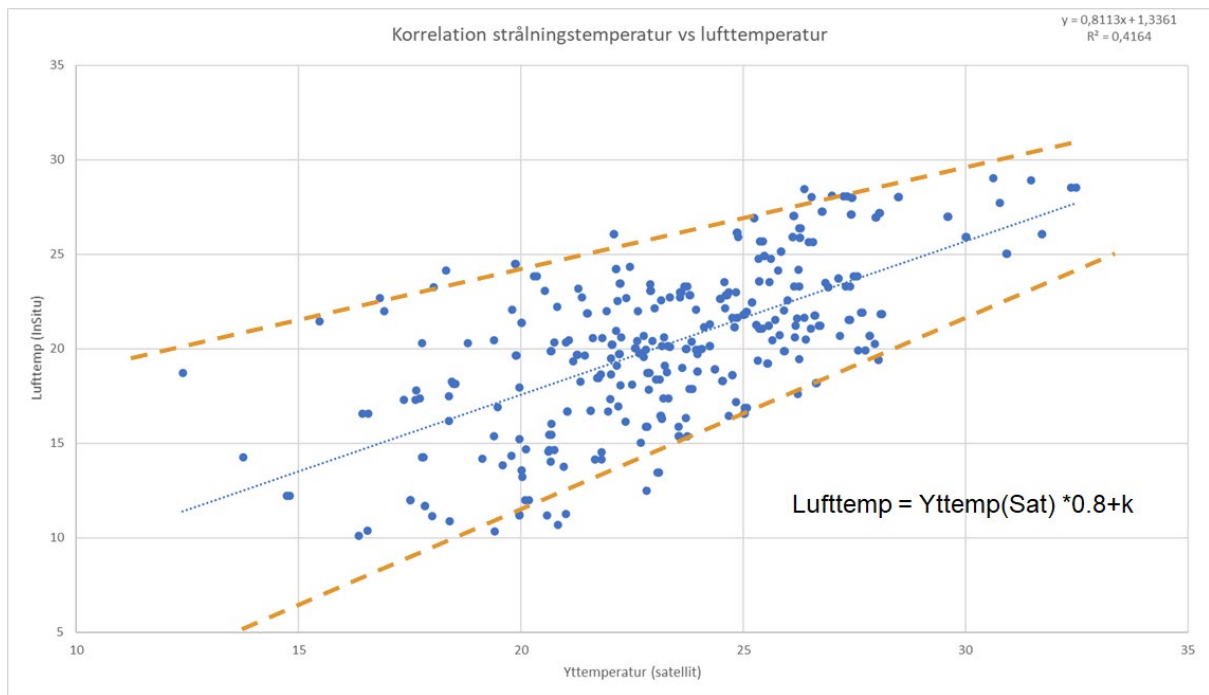


Figur 4. Diagrammet visar hur många dagar ett visst klockslag var det varmaste under den dagen. Mätt under sommartid 2013-2021 vid fyra mätstationer i Stockholms län, där två ligger inom Stockholms kommun: Torkel Knutssonsgatan och Högdalen.



Figur 5. Temperaturen medelvariation över dygnet juli-augusti 2013 – 2021

Det vi också kan utläsa ur statistiken vid mätstationerna är att uppmätt lufttemperatur i snitt är flera grader, ca 4-6°C, högre kring kl.16 än kl.11, se Figur 5. Figur 6 visar hur yttemperatur (satellit) och lufttemperatur (in-situ) är korrelerade, mätning kl.11. Om man generaliserar, möjligen något grovt, tar dessa skillnader i princip ut varandra och satellitmätningen kan då sägas motsvara den varmaste lufttemperaturen.

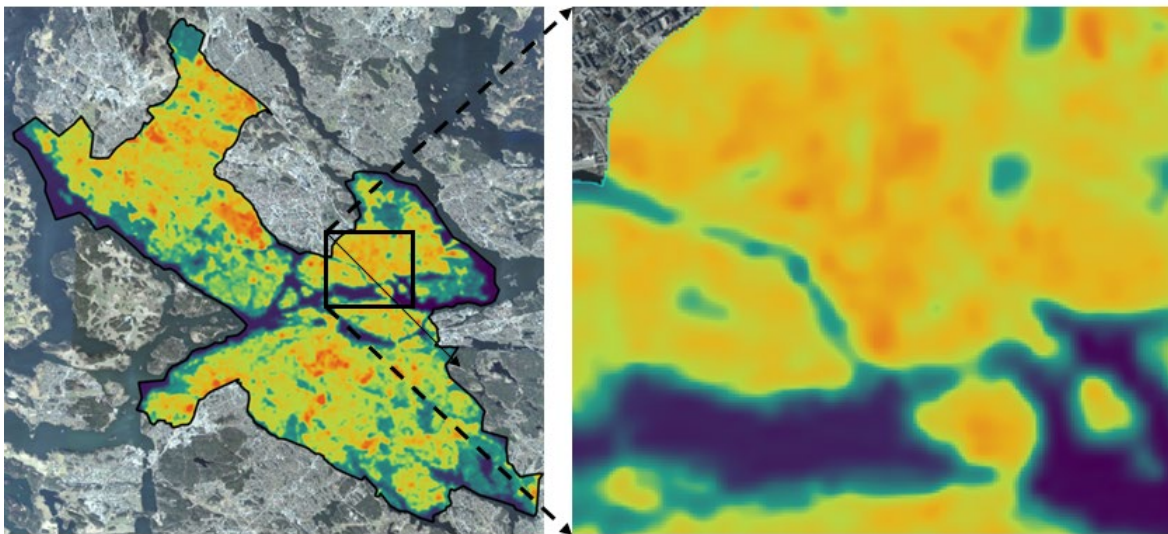


Figur 6 Samband mellan yttemperatur och lufttemperatur kl.11 sommardag.

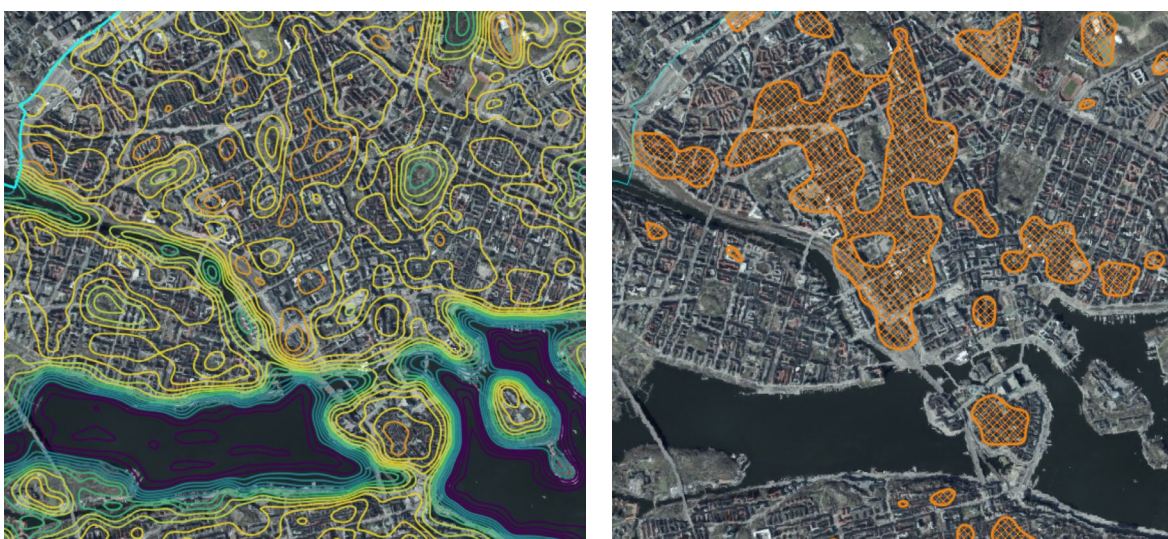
4 VÄRMEÖAR OCH SVALA OMRÅDEN

4.1 VÄRMEÖAR

Temperaturmätningarna från satellit är yttäckande raster. Ibland kan det vara smidigt att omvandla raster till vektor för att kunna göra analyser med andra kartdata i vektorform. Värmeöar kan extraheras som polygoner ur satellitmätningarna på flera sätt. Det enklaste är att helt enkelt konvertera alla temperaturer högre än t ex 35°C från raster till vektor. Eftersom den geometriska upplösningen är så grov kan det bli det svåräst och problematiskt att kommunicera. Resultatet ser kantigt och onaturligt ut. En variant, som ger följsamma och mer generaliserade ytor är att skapa temperaturkurvor baserat på temperaturrastret, vilket ger ett linjeskikt som sedan kan ytbildas. Då väljer man vilken temperaturkurva som ska utgöra gränsen för värmeö, medan övriga kurvor lämnas därhän.



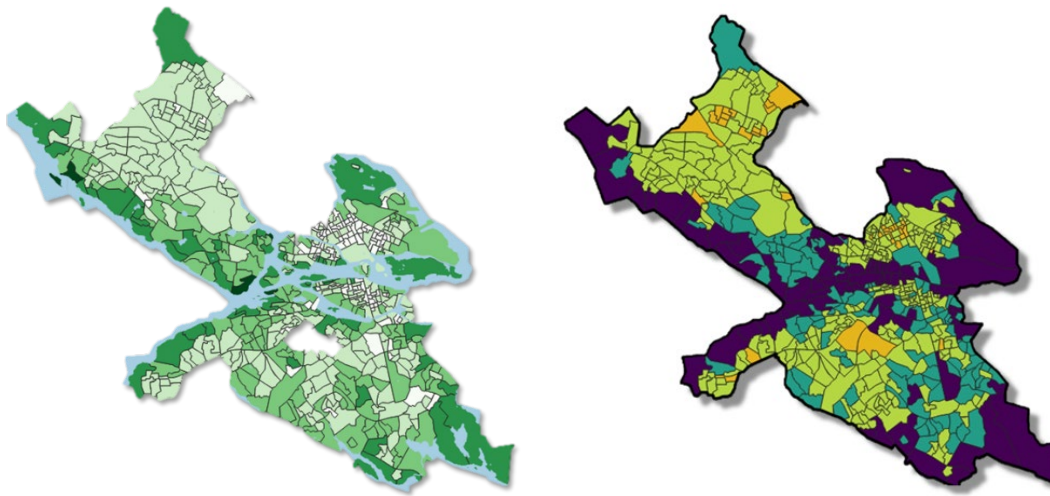
Figur 7. Värmekartering i raster 20m (interpolerat från 100m), detalj över centrala Stockholm th.



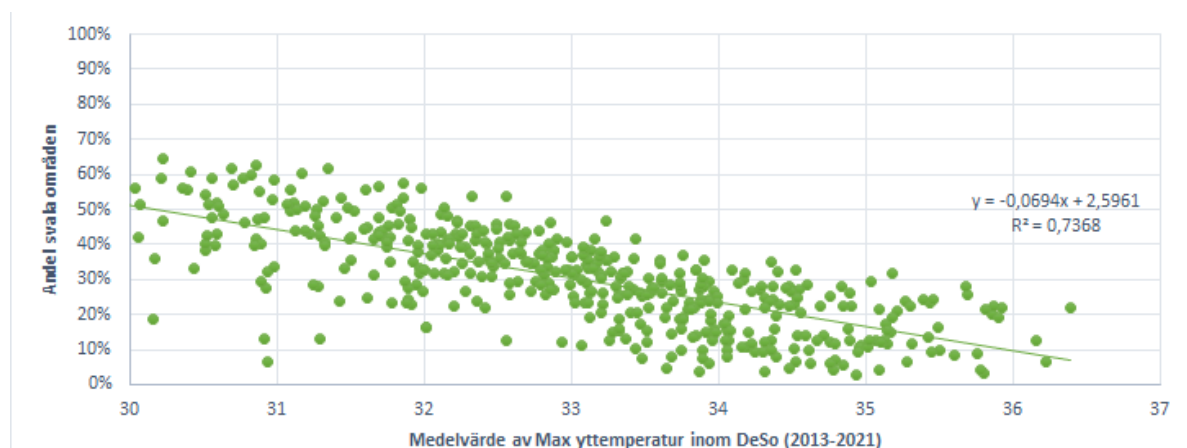
Figur 8. Temperaturkurvor i linjeform ytbildas. Till höger alla områden med en max yttemperatur högre än 35°C.

4.2 SVALA OMRÅDEN

Det finns ett starkt samband mellan skog och vatten och svalare temperaturer jämfört med andra områden i staden. Stockholm stad är indelad i 544 DeSo-områden¹. Inom varje sådant område har medelvärdet av maxtemperaturen samt andelen svala områden, dvs skog och vatten, beräknats. Rasterprodukten Nationella Marktäckedata² användes för att extrahera de svala markområdena, skog (träd) och vatten. Resultatet visas i Figur 10. Korrelationen är stark med ett R²-värde på 0.74 även på denna relativt sett ganska grova nivå. Det finns en spridning mellan punkterna som förklaras av lokala variationer och topologiska förhållanden. Detta diskuteras lite mer ingående i kapitel 6 Bebyggelse typer och yttemperatur.



Figur 9. Tv: Andel svala områden per DeSo-område utifrån vatten och skog i Nationella Marktäckedata. Th: Medel av maxtemperaturen inom DeSo-områden.



Figur 10. Korrelationen mellan yttemperaturer och svala områden som skog och vatten är stor även om det lokalt förekommer variationer.

¹ DeSo: Demografiska Statistikområden (SCB) <https://www.scb.se/hitta-statistik/regional-statistik-och-kartor/regionala-indelningar/deso---demografiska-statistikomraden/>

² Nationella Marktäckedata: <https://www.naturvardsverket.se/verktyg-och-tjanster/kartor-och-karttjanster/nationella-marktackedata/>

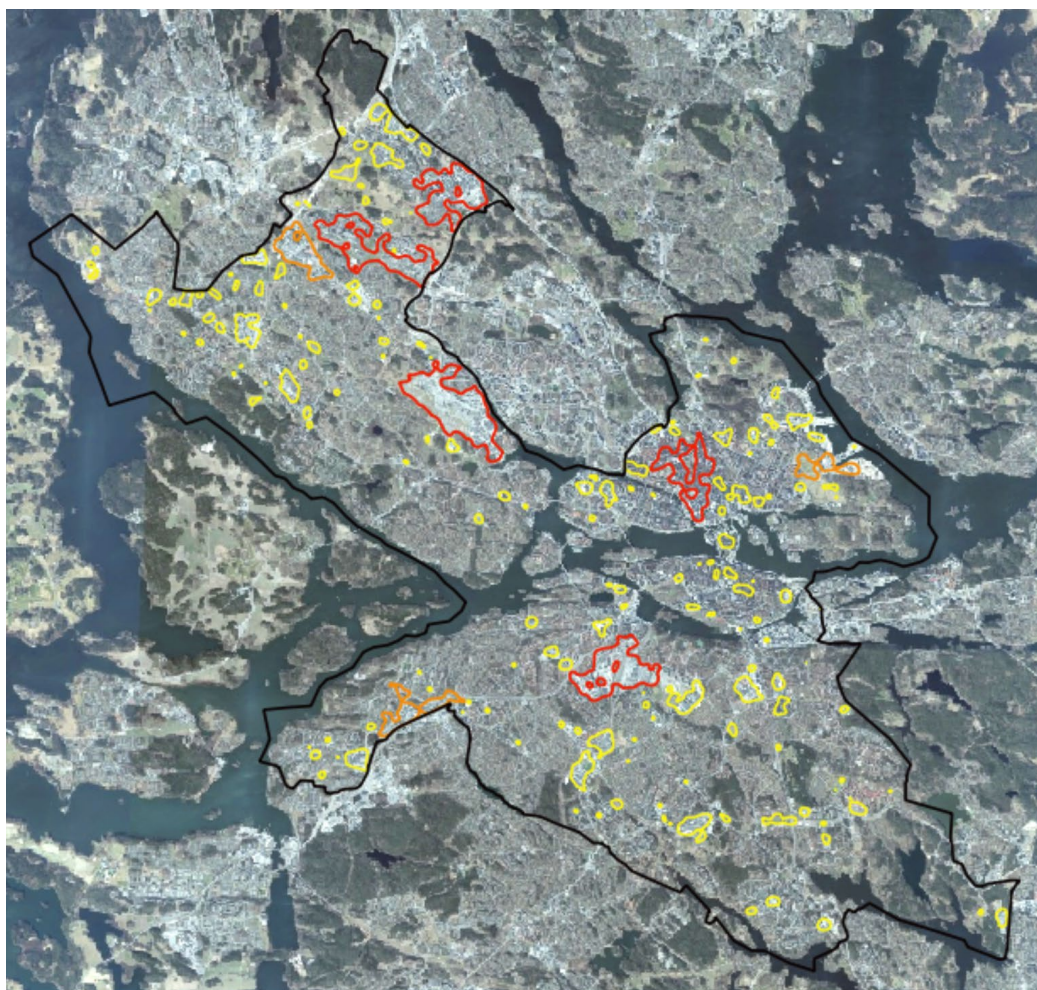
5 ANALYS VÄRMEÖAR

Några olika analyser har genomförts baserat på karteringen av yttemperatur. De presenteras var för sig i detta kapitel, som exempel på hur underlaget kan användas:

- Barn och äldre i värmeö
- Värme på adresspunkt, statistik på befolkning
- Statistik på DeSo-områden, för jämförelse med annan officiell statistik från SCB
- Tillgänglighet till svalka, statistik för valda grupper

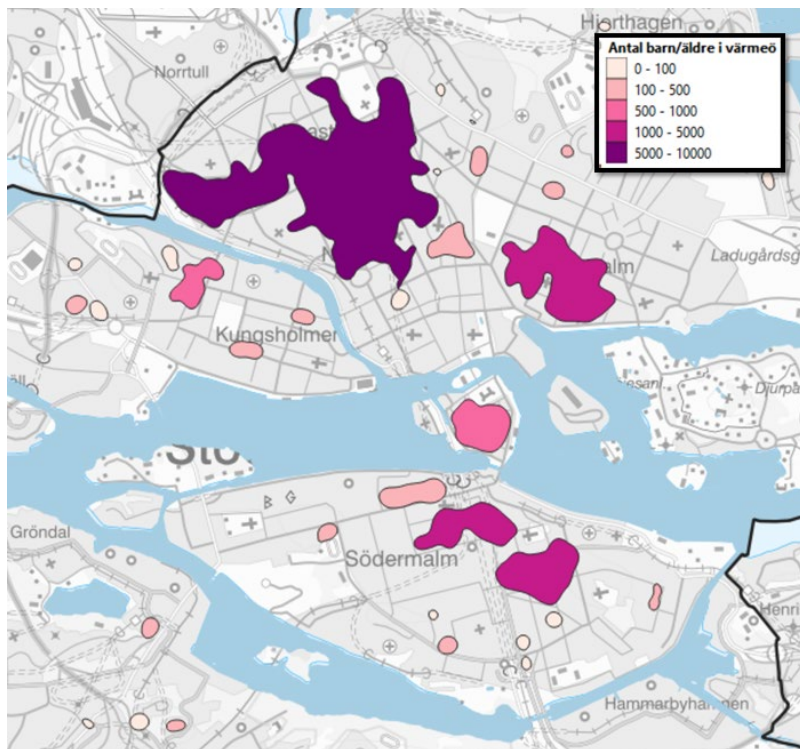
5.1 BARN OCH ÄLDRE I VÄRMEÖ

Värmeöarna extraherades som polygoner med maxtemperaturer $> 35^{\circ}\text{C}$. I Stockholm stad varierade arealen av dessa mycket – 60 stycken under 1 hektar, 110 st mellan 1 och 40 hektar medan 10 var större, över 40 hektar. Störst är området kring Bromma flygplats med sina 255 hektar, följt av Östberga, Rinkeby-Tensta och Kista om vardera 189, 174 och 160 hektar. På femte plats kommer Stockholm innerstad med sina 126 hektar, se Figur 11.



Figur 11 Värmeöar $> 35^{\circ}\text{C}$ inom Stockholm stad. Största värmeön är Bromma flygplats.

Ett exempel på analys baserat på detta är att visa hur många personer ur sk känsliga grupper, barn och äldre (> 75 år) som bor inom dessa värmeöar, Figur 12. Utifrån dessa personer har demonstration i verktyget *skolplanering.se* gjorts för att modellera deras tillgänglighet till svalka, avsnitt 5.4.1.



Figur 12 Bilden visar antal personer ur känsliga grupper vars hemadress ligger inom en värmeö.

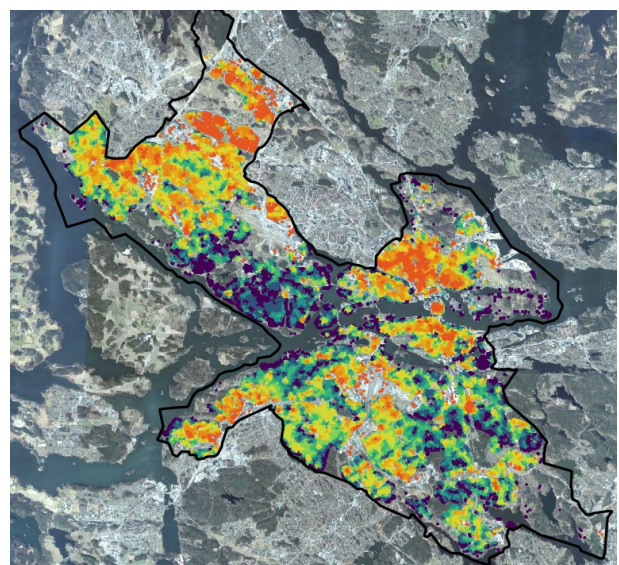
5.2 VÄRME PER ADRESSPUNKT

Det första steget inför analys av värme vid adresspunkter var att lägga in den maxtemperatur som mätts upp under tidsperioden. Presentationen av detta, Figur 13, visar skillnader mellan olika bostadsområden på ett tydligare sätt än den yttäckande rasterbilden.

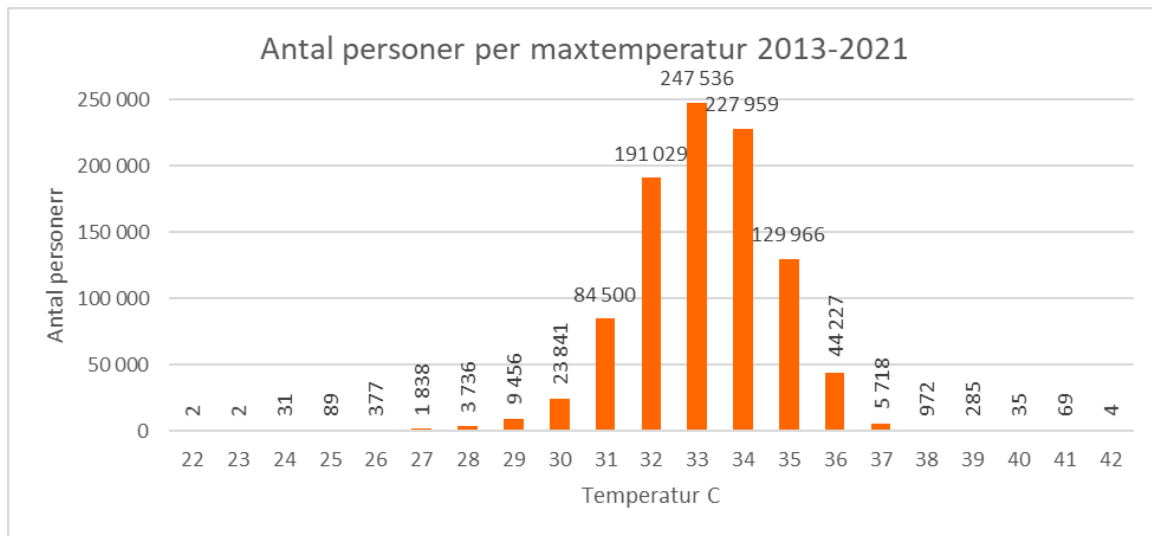
Diagrammen i Figur 14 och Figur 15 visar hur många personer som bor i områden som nått en viss maxtemperatur under perioden respektive hur motsvarande fördelning ser ut för gruppen barn 0 till 4 år och personer äldre än 75 år.

Inte helt oväntat följer kurvorna varandra. Åldersfördelningen inom stadens olika geografiska områden ser ut att vara relativt jämn m a p värme. En liten skillnad finns mellan

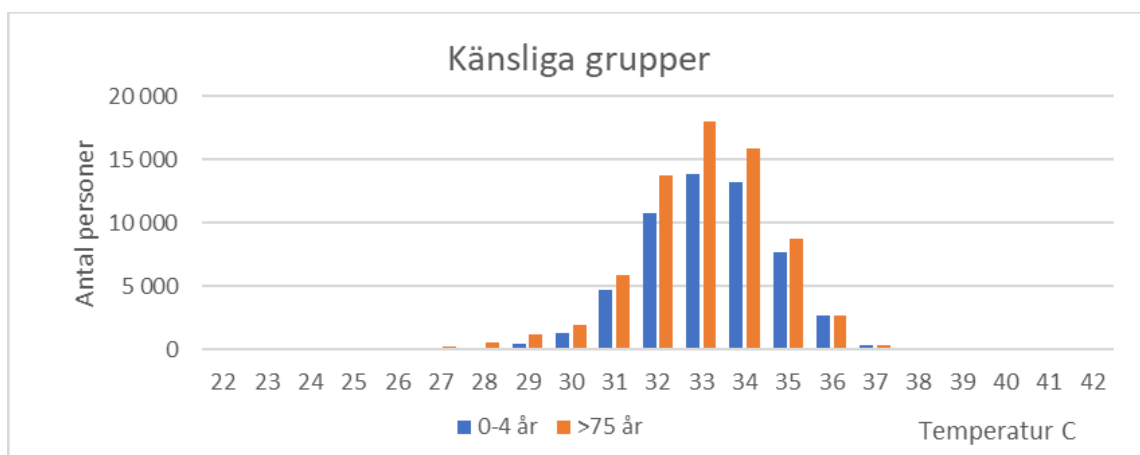
barn och gamla där andelen äldre är något högre inom de lägre temperaturerna (<32°C).



Figur 13 Maxtemperatur per adresspunkt



Figur 14 Fördelning av maxtemperaturer på befolkning (adresspunkt)



Figur 15 Fördelning av maxtemperaturer inom känsliga grupper (små barn och äldre, på adresspunkt)

5.3 STATISTIK DESO-OMRÅDEN

Värmekarteringen från satellit lämpar sig väl för statistiska analyser, särskilt när statistikområdena är lite större. SCB presenterar en mängd statistik på DeSo-nivå och därför har vi inom projektet valt att relatera värmekarteringen till DeSo-områden. Det är fullt möjligt att göra samma analyser på stadsdelsnivå.

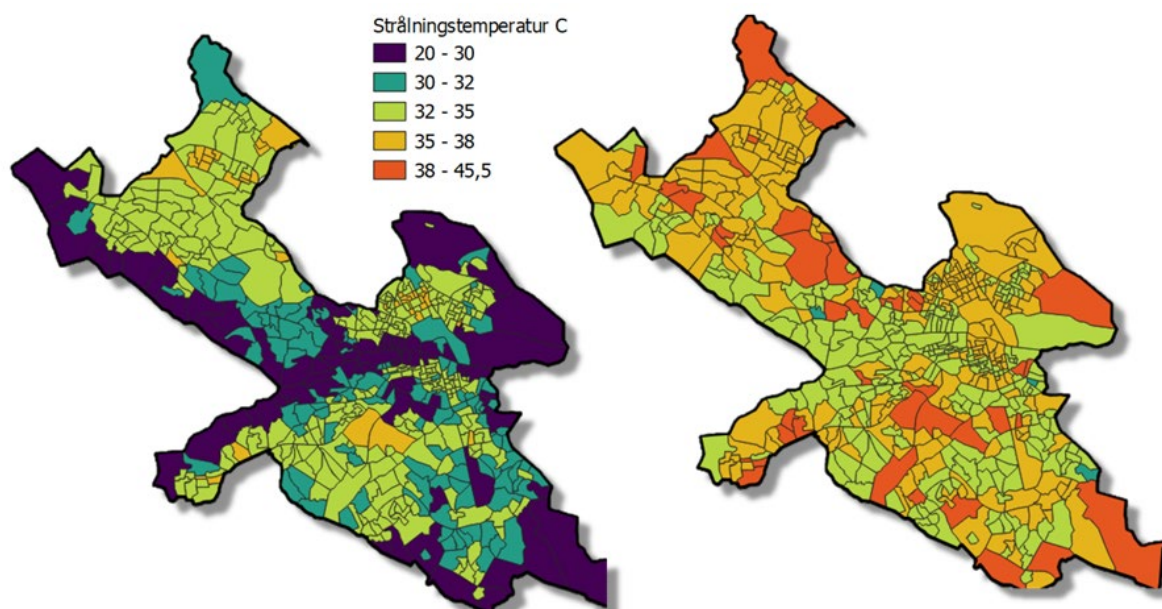
Stockholm stad är indelad i 544 DeSo-områden med mellan 800 och 3500 mantalsskrivna personer per område. Arealen varierar mycket från de minsta om 2-3 hektar till de största över 600 hektar. Statistik som tagits fram är årsvisa median- och medelvärden av maxtemperaturer per pixel och år samt max, medel och median av maxvärdet totalt. Inom ett enskilt DeSo-område kan det förekomma båda värmeöar och svala områden.

Ett möjligt användningsområde för detta är att analysera värmestatistiken tillsammans med annan statistik på samma nivå för att få en bättre förståelse för olika samverkande faktorer. Ett exempel på det är att snabbt få en grov skattning av vilka områden som kräver extra insatser, t.ex. där man har hög andel äldre eller små barn och samtidigt hög värme. Det kan också vara en lämplig geografisk enhet att följa statistiskt över tid.

En leverans i projektet är DeSo-polygoner medel- och mediantemperatur per år och DeSo-område, samt maxtemperatur för hela perioden, Figur 16 och Figur 17.

ID_SCB	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Alla_mean	Alla_media	Alla_stdev	Alla_max	AreaHa
108	30,3	30,3	27,2	25,9	26,0	35,4	30,7	34,5	31,7	35,8	35,2	1,8	40,0	13,6
109	25,0	26,3	23,0	23,1	22,4	31,7	27,4	30,0	27,4	31,6	31,7	0,7	34,0	21,7
166	24,5	24,7	23,9	22,9	21,1	31,7	26,7	29,5	27,3	30,1	31,6	3,4	34,7	148,2
179	26,1	26,8	24,9	22,9	22,6	32,0	26,9	30,4	28,2	32,0	32,0	1,3	35,5	79,0
180	27,9	28,4	25,6	26,4	23,9	34,2	29,8	32,8	29,1	34,2	34,2	0,4	35,3	9,8
189	24,2	23,8	21,2	21,7	20,2	29,3	25,8	27,4	25,1	27,6	29,4	4,4	34,3	167,6
200	25,6	26,2	23,1	22,3	21,8	31,4	26,8	30,3	28,0	31,3	31,4	1,3	33,5	19,8
201	26,1	27,2	23,8	24,1	22,2	32,1	27,4	30,7	28,3	32,1	32,1	0,9	35,0	14,6
202	26,5	26,5	22,9	22,0	22,8	32,3	27,7	31,1	28,2	32,3	32,3	0,8	34,3	21,2
203	25,8	27,4	23,4	22,6	22,2	32,3	27,6	31,1	28,4	32,3	32,2	0,6	34,1	23,2
214	26,3	27,4	23,3	22,9	24,2	32,9	27,8	31,5	28,6	33,1	33,0	0,8	35,6	17,1
217	22,5	23,6	20,6	19,7	19,7	29,1	25,6	27,4	24,9	28,3	29,2	3,8	33,7	80,1
218	26,7	27,1	23,7	24,0	23,2	33,0	28,4	32,0	28,8	32,9	32,8	0,7	34,3	9,7
223	29,3	29,7	26,4	25,3	25,1	34,3	29,7	33,2	30,4	34,3	34,2	0,2	34,8	3,1
224	26,7	27,2	23,3	25,4	24,3	33,6	28,5	32,0	28,9	33,4	33,6	0,8	35,5	9,6
225	26,4	26,7	22,7	25,1	23,2	32,9	28,0	31,2	28,3	33,0	33,1	0,9	35,2	15,2
229	21,9	22,3	20,2	20,1	19,5	26,6	23,5	25,4	23,6	27,0	26,8	4,1	34,7	81,7
237	25,9	26,1	21,9	23,9	21,6	31,9	27,2	30,4	27,5	32,0	32,0	0,8	34,4	22,5
238	25,4	26,0	21,9	21,7	21,7	31,6	26,8	29,8	27,1	31,8	31,7	0,7	33,8	14,3

Figur 16. DeSo-polygonerna innehåller temperaturmätningar för enskilda år.

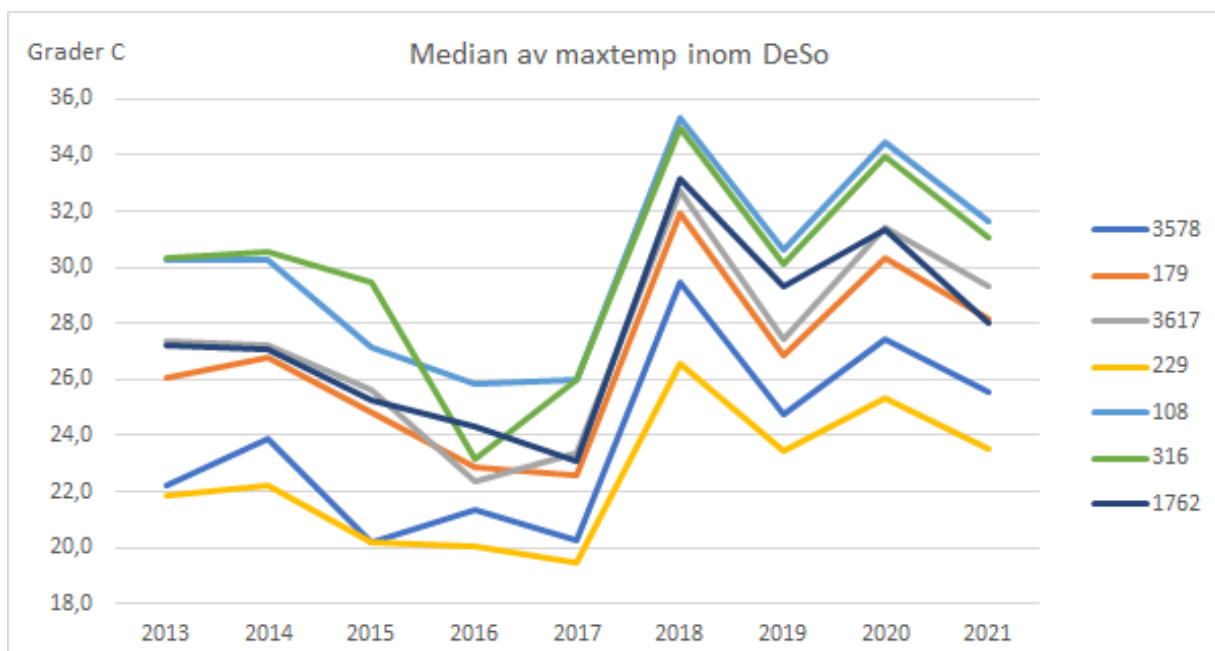


Figur 17 Statistik ur maximal yttemperatur på DeSo-nivå. Tv medel av maxtemperatur, th max av maxtemperatur.

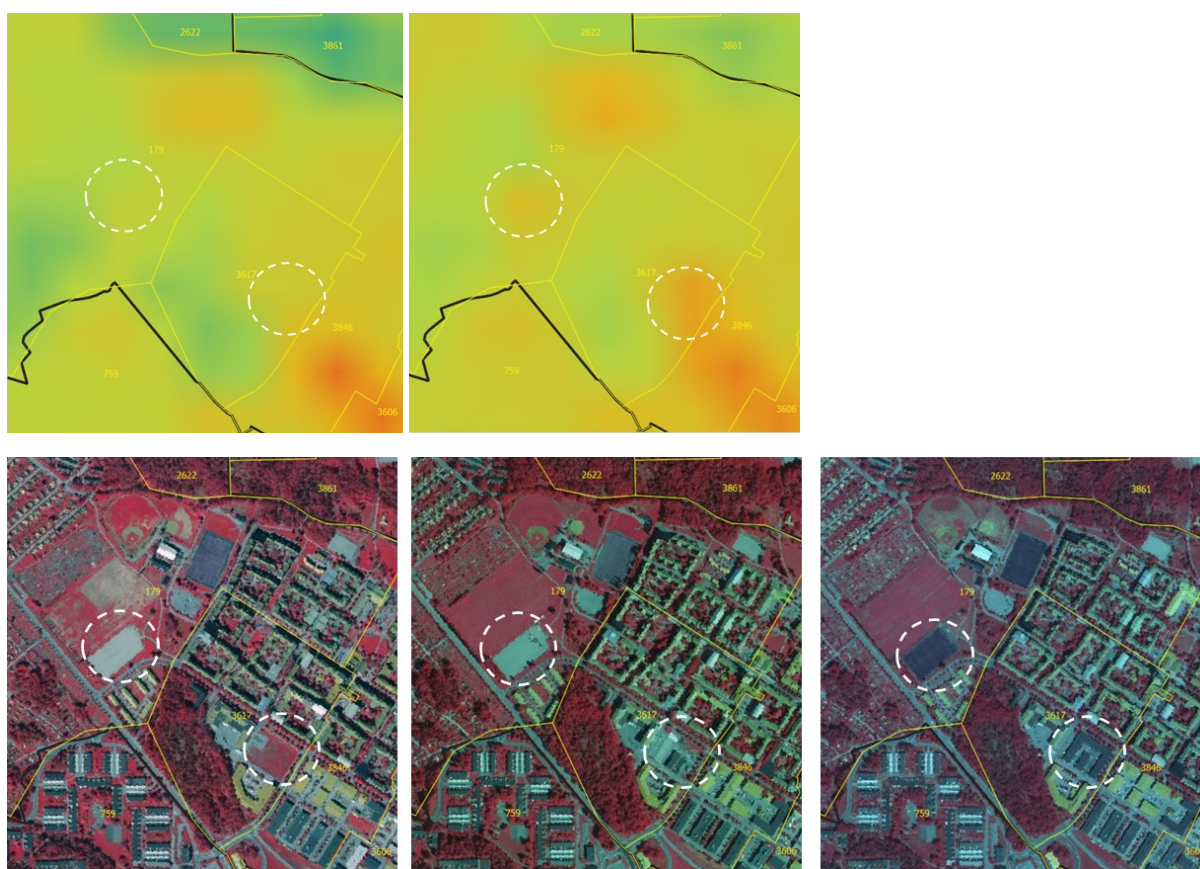
I diagrammet Figur 18 visas hur medianvärdet för maxtemperaturen varierat i några av DeSo-områdena, som exempel på hur man kan analysera kurvorna och jämföra olika DeSo-områden. Om kurvorna korsar eller börjar divergera kan man anta att något hänt i det DeSo-område som särskiljer sig från övriga.

Ett exempel på det är DeSo-områdena nr 179 och 3617. I nummer 179 har man anlagd en konstgräsplan under perioden och temperaturen har ökat något i jämförelse med referensområde 1762, som inte ökat nämnvärt i temperatur. Det andra exemplet är nummer 3617, grå linje. Där har man exploaterat en yta, som tidigare var gräsmark, markerat med cirkel till höger i värmebilderna i Figur 19.

Maxtemperaturen för konstgräsplanen har grovt räknat ökat ett par grader medan bebyggelsen har höjt maxtemperaturen med cirka 4 grader.



Figur 18 Ett sätt att analysera informationen på DeSo-område är att betrakta resultaten som spektralkurvor där ett område som bryter det generella mönstret troligen har förändrats i förhållande till övriga områden.



Figur 19 Överst värmebilder från 2013 och 2019. Nedre raden visar hur man gjort om en grusplan till konstgräs (cirkeln till vänster) och hur en gräsmark bebyggts till höger.

5.4 TILLGÄNGLIGHET TILL SVALKÅ

I projektet har några första analyser av olika grupperns tillgänglighet till svalka genomförts.

5.4.1 Tillgång till parker

Stockholms stad tillhandahåller ett skikt "SBK_biotoper" där stadens parker, skolgårdar och andra typer av fritidsområden klassificerats utifrån vilka kvalitéer de erbjuder. I projektet har en demonstration exemplifierat hur man kan titta på invånarnas tillgång till svalkande grönområden.

- För att sätta en skala på parkernas kapacitet (antal människor som "ryms" på platsen) användes följande antagande:
 - $Kapacitet = 1 \text{ pers}/10m^2 \times Area$
- Ett försök att inkludera parkernas kvalitéer gjorde genom att multiplicera in
 - $Kapacitet = Area (Ha) \times kvalitéer (antal/2)$
- I de parker som inte bedömts ha någon kvalitet avseende grön oas sattes kapaciteten till 0.

Analysen har demonstrerats, men verktyget behöver utvecklas med avseende på hur de stora datamängderna ska hanteras samt förändringar av visualiseringen behöver göras för att det ska kunna presenteras på bästa sätt.

5.4.2 Förskolors tillgång till svalka

En annan analys som gjorts är hur det ser ut med förskolors tillgång till svalka områden. Man har haft som riktlinje att förskolebarnen inte ska behöva gå mer än 150m/300m till närmaste grönområde eller park. Dessa områden är inte detsamma som att de är svalka eftersom det beror så mycket på omgivande strukturer och hur mycket trädklädd vegetation det finns som skydd för solen. Därför har svalka områden extraherats från karteringen genom att använda punktskiktet på (100m). En grov analys av vilka svalka punkter som kunde vara potentiella närmaste svalka punkter gjordes först i ett GIS-verktyg, för att minska ner punktmängden. Analysen gjordes i verktyget *skolplanering.se*³, en webbapplikation byggd för att analysera kapacitetsbehov och tillgång till skolplatser utifrån elevers hemadress.

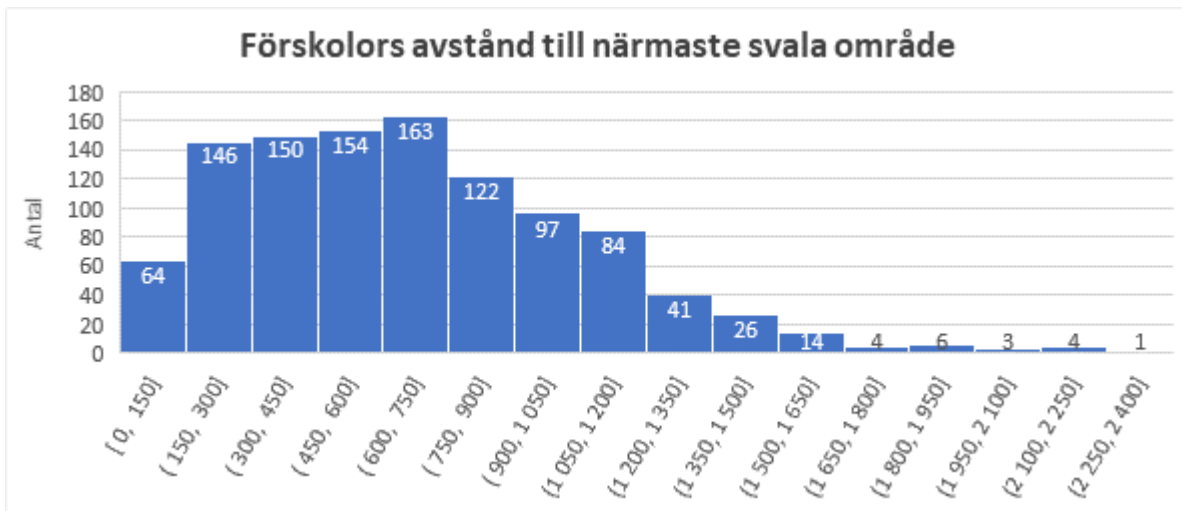
Start- och målpunkter var i detta fall 1078 förskolor och de utvalda punkterna för svalka. Resultatet blev något oväntat då det visade sig att knappt 20% av förskolorna hade tillgång till svalka inom 300m varav 6% inom 150m, Figur 20.

Variationen är stor mellan olika stadsdelar. I *Figur 21* visas medelavstånden för förskolorna per DeSo-område, med stadsdelsgränserna i svart överlagrade. Att Rinkeby-Tensta och Kista har så långt kan verka underligt då det finns stora naturområden i närheten. Problemet är att dessa till stor del utgörs av öppna fält, vilket inte ger någon direkt svalka.

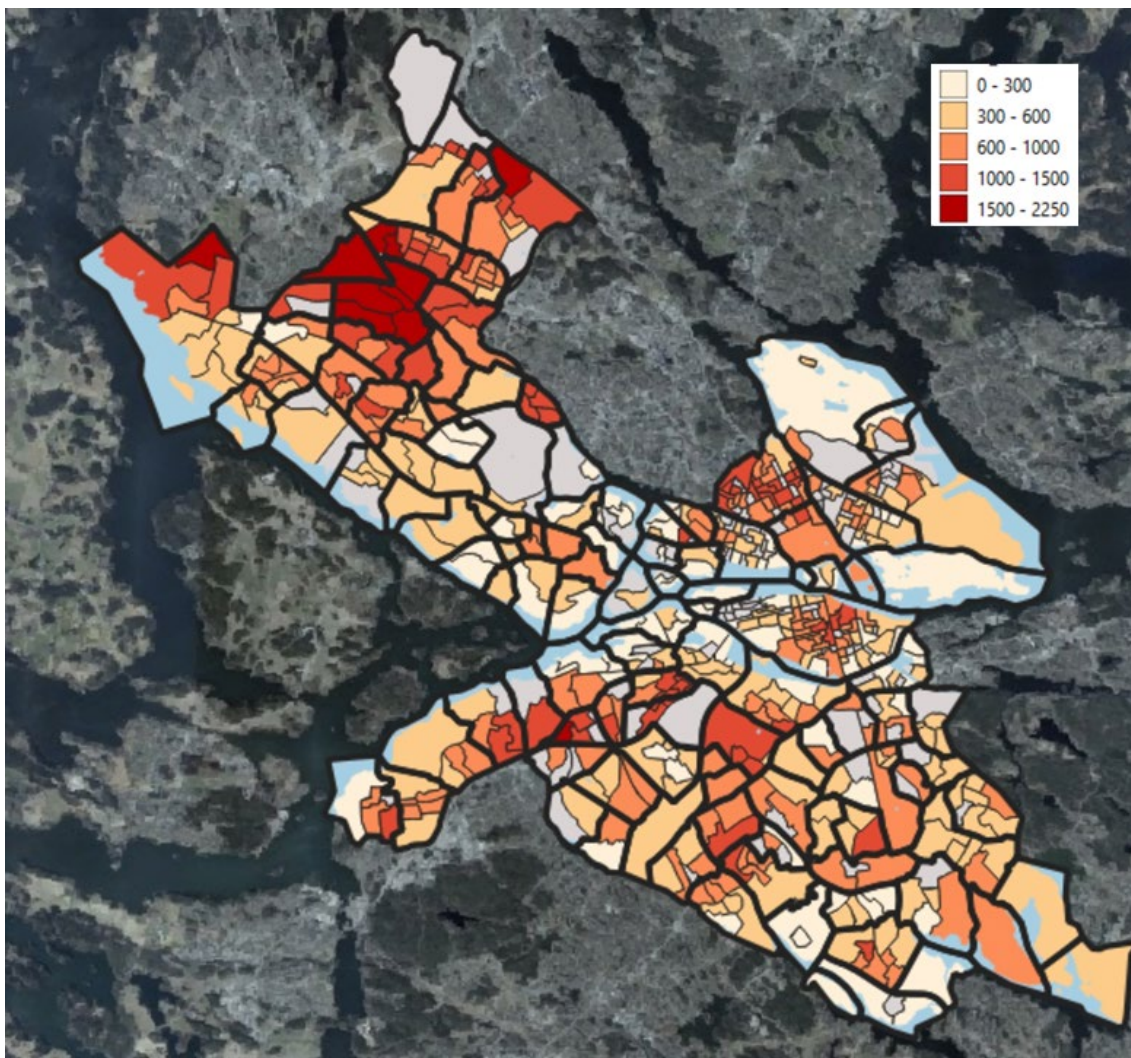
Fler resultat visas i nästkommande bilder.

Analysen ger samtidigt ett mått på trycket på en viss plats – hur många, i detta fall, förskolor har just denna plats som sin närmaste svalka område, *Figur 21*. Om man bara tar hänsyn till svalka och närhet så kan detta användas som ett slags popularitetsindex. Vilka svalka områden är viktigast?

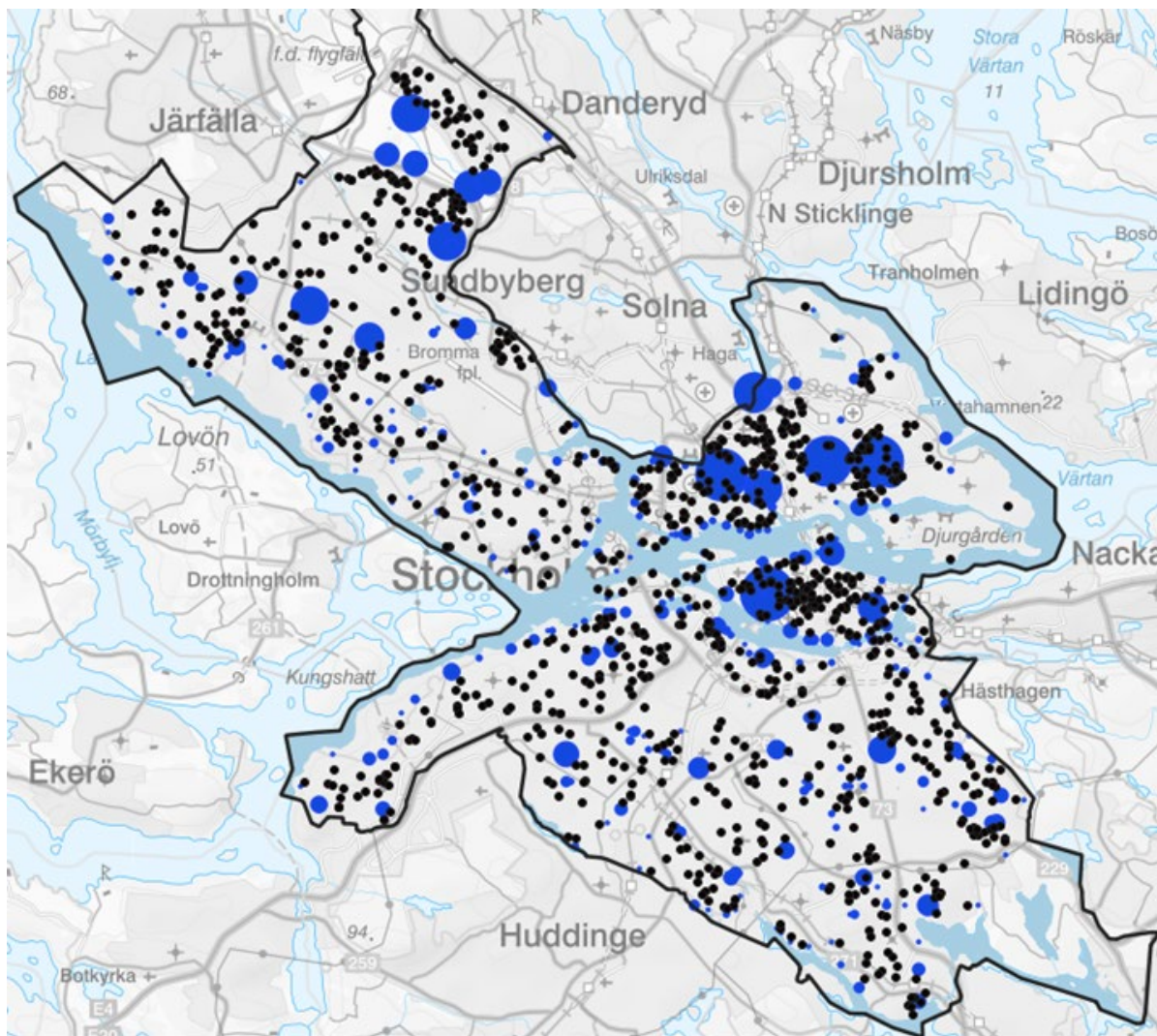
³ www.skolplanering.se Verktøy för planering av skolor. Verktøyen viser om skolor ligger rett geografisk og vilka kapasitetsbehov de kommer ha i framtiden.



Figur 20 Resultat av analysen Förskolors tillgänglighet till svalka. Totalt antal förskolor 1078.



Figur 21 Förskolors avstånd till svala områden på DeSo-nivå. Medelvärde av avstånden från respektive förskola inom DeSo-området. Till svala områden har räknats de som inte når en maxtemperatur över 30°C.



Figur 22 Bilden visar hur trycket från Stockholms förskolor (svarta punkter) på olika svala områden (blå punkter) varierar. Ju större blå punkt, desto högre tryck. Om man bara tar hänsyn till svalka och närhet så kan detta användas som ett slags popularitetsindex. Vilka är viktigast?

5.4.3 Om skolplanering.se

Analys av tillgänglighet till platser via nätverksanalys har i detta projekt gjorts med hjälp av Geografiska Informationsbyråns webbapplikation *skolplanering.se*

”Verktöget hjälper dig att se om skolor ligger rätt geografiskt, och vilka kapacitetsbehov de kommer ha i framtiden. Verktöget ger också möjlighet att undersöka hur olika beslut kring skolornas kapacitet kan komma att påverka tillgången på skolplatser.”

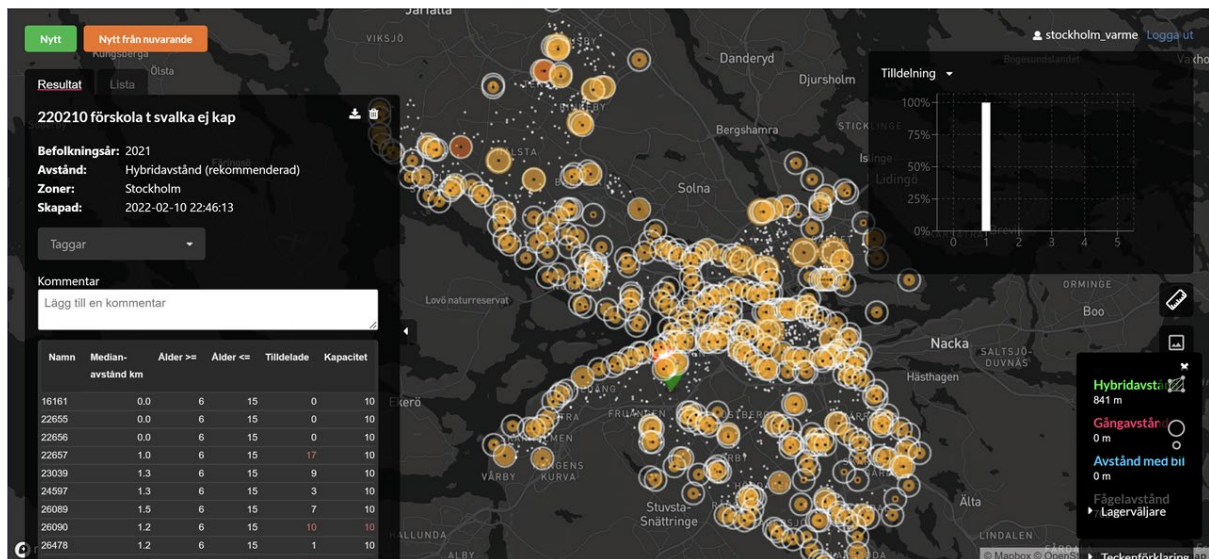
Den är egentligen avsedd för att planera för behov av, och tillgång till, skolplatser baserat på aktuella befolkningsdata (elevers adress) och prognoser. Tillgången till skolplatser är begränsat till skolornas kapacitet (vilket man kan laborera med). Behovet av VAR platser kan minskas eller behöver utökas kommer fram i analysen.

Avståndsminimering: Det totala avståndet till ALLA skolor för ALLA elever minimeras i samma körning. En körning tar från någon sekund till en halvminut, beroende på hur många start- och målpunkter som ingår i körningen. I dagsläget finns dock en begränsning. Det gick t.ex. inte att köra med 1 miljon startpunkter och 1000 målpunkter.

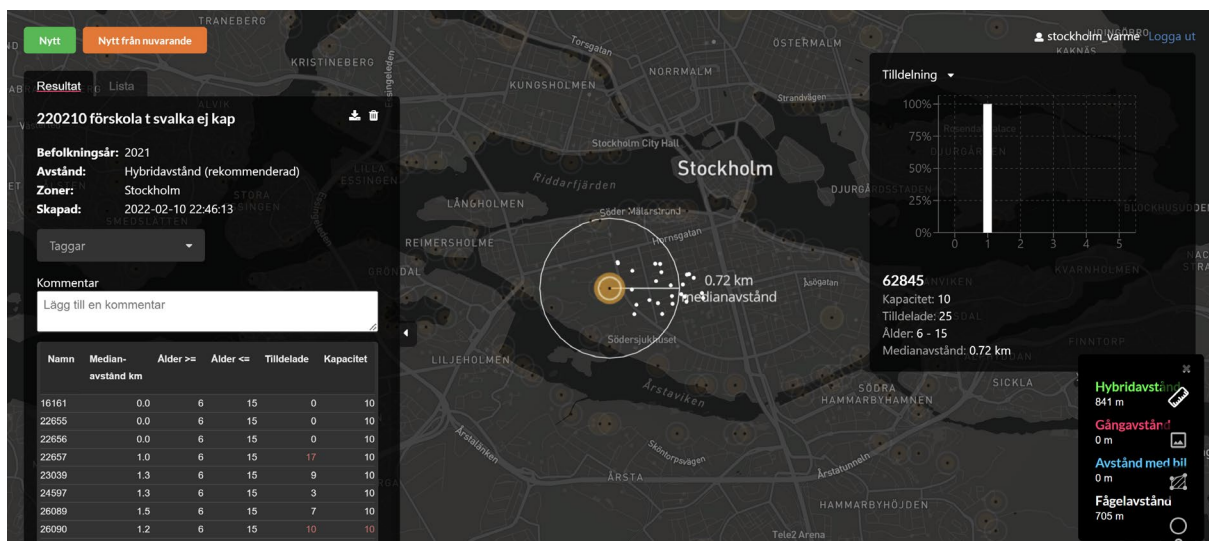
I detta fall har verktyget använts utan att begränsa kapaciteten på ett svalt område. Resultatet visar då ett hybridavstånd från en adress i en värmeö till närmaste svala plats.

Verktyget kan köras på gång- eller bilavstånd eller en kombination av dessa; hybridavstånd. Fågelavstånd anges också. Sökning sker i OpenStreetMap. Väljer man att köra med kapacitetsbegränsning körs en algoritm som minimerar hela populationens (alla förskolornas) totala avstånd. Det går snabbt så det passar för att laborera med olika scenarion i en planeringssituation.

Man kan se saken från olika håll. Man kan också köra utan kapacitetsbegränsning för att få svar på vilka behov som finns – vilka är de populäraste målen och hur stort tryck kan man då förvänta sig på dem? Med begränsning får man svar på hur situationen ser ut som den är just nu.

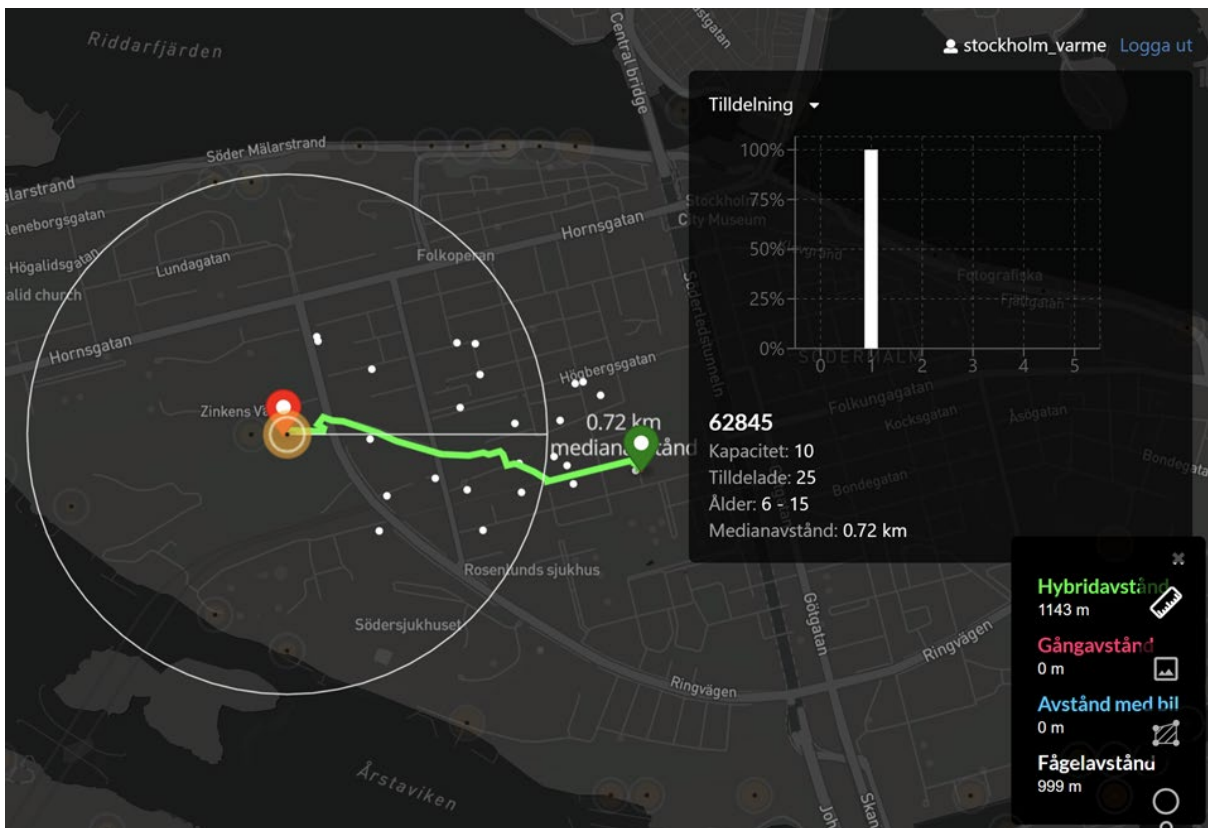


Figur 23. Analys av alla förskolors avstånd till närmaste svala område. Data avseende både startpunkter (avstånd från förskolorna) och målen (trycket på svala punkter) kan exporteras ut för vidare analys.

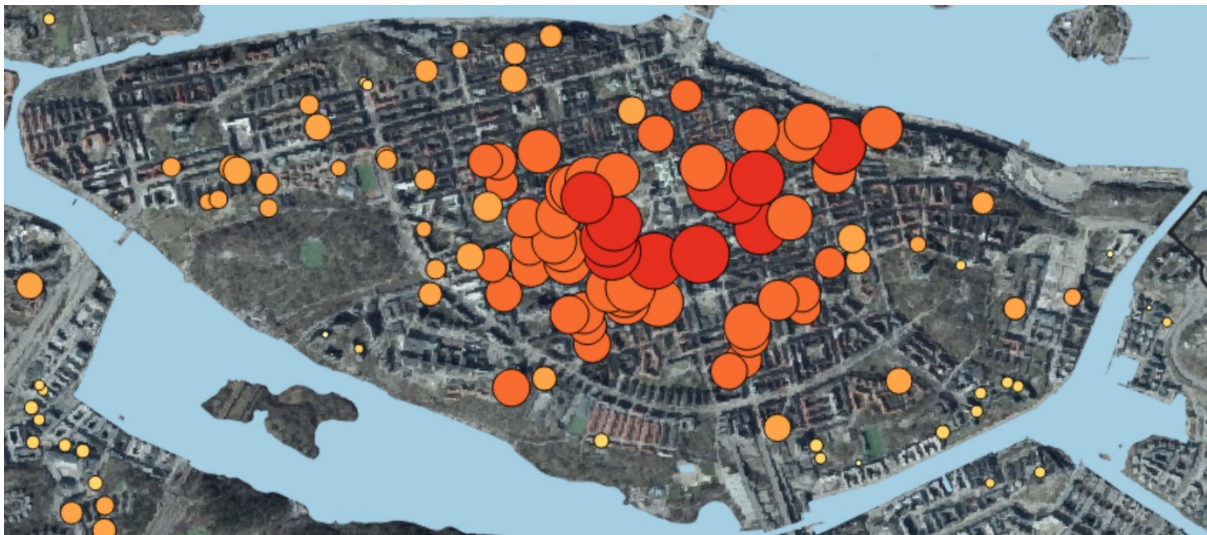


Figur 24. Interaktiv karta med information om varje förskola och svalt område. Avstånd, medianavstånd och antal förskolor som tilldelats ett visst svalt område anges. Även maxkapacitet på målet (t.ex. en parklek) kan anges för att få ett sannare mått på tillgången. Medianavståndet för alla

förskolor som blivit hänvisade till en viss plats visas och avståndet för varje enskild förskola anges i meter.



Figur 25. I kartan kan man få utritat vilken väg som avståndet är beräknat ifrån.



Figur 26. Bilden illustrerar hur varmt det kan bli vid en viss förskola (färgen) och hur långt det är till närmaste svala område (storleken). Röd, stor cirkel = varmt och långt att gå.

6 BEBYGGELSETYPER OCH YTTEMPERATUR

En hypotes som ställdes upp tidigt i detta projekt var att olika bebyggelse typer är mer eller mindre lämpliga när en värmebölja inträffar. Vi har redan kunnat se att till exempel innerstadsområden med stor andel hårdgjorda ytor blir varmare vid en värmebölja. Men går detta på ett enkelt sätt att översätta till bebyggelse typer med olika karaktär? Är en viss typ av bebyggelse mer resilient vid en värmebölja, och går detta att visa med hjälp av de data som tagits fram i detta projekt?

För att undersöka detta använde vi följande dataunderlag;

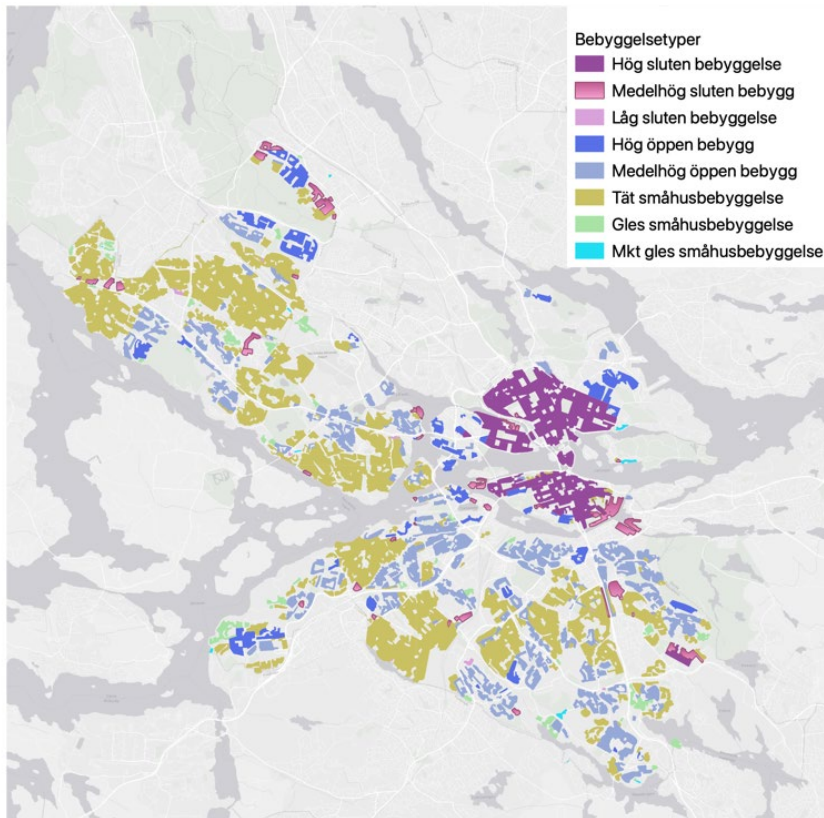
- Yttemperatur mätt från satellit (maxtemperatur 2018)
- Yttemperatur mätt från satellit (medelvärde av maxtemperaturer 2013-2021)
- Bebyggelsens höjd (Byggnadspolygoner, Stockholms stad)
- Hårdgjorda ytor (Nationella marktäckedata, NMD)
- Krontäckning (Nationella marktäckedata)
- Bebyggelse typologi (Framtaget i samband med rapporten "Tätare Stockholm", 2008)

Genom att undersöka hur dessa variabler varierar i olika typer av bebyggelse var förhoppningen att få en ökad förståelse för hur och varför yttemperaturen varierar inom och mellan olika bebyggelse typer. För att beskriva detta gjordes två olika ansatser.

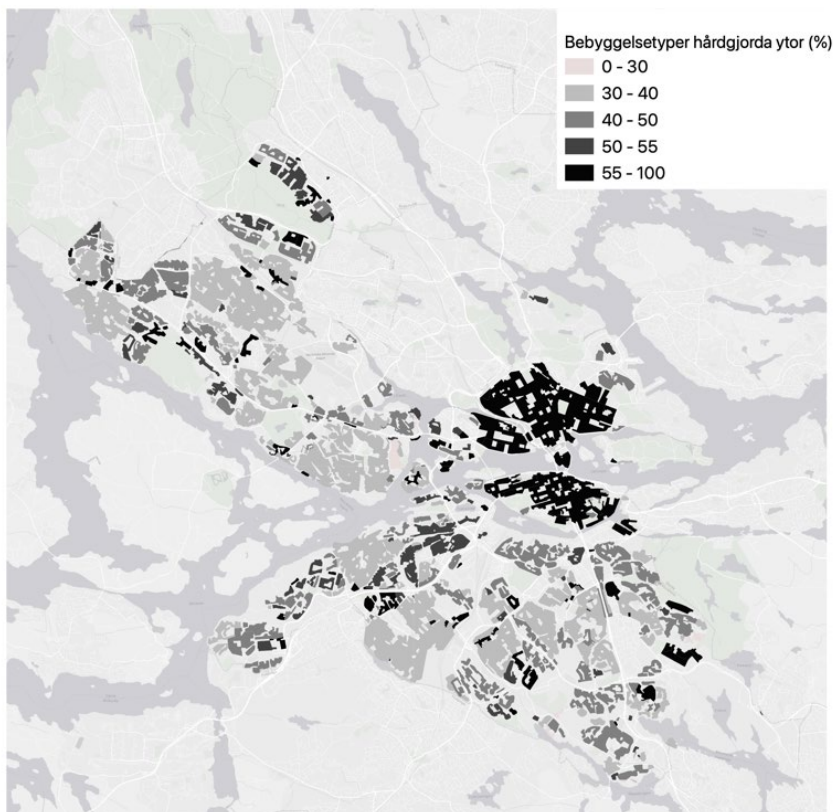
6.1 ANSATS 1 BEBYGGELSETYPOLOGI TÄTARE STOCKHOLM

I rapporten "Tätare Stockholm" (2008), gjordes en bearbetning av kart- och GIS-underlag för att ta fram en bebyggelse typologi som svarade bra mot just täthet (Figur 27). Eftersom bebyggelsens täthet delvis samvarierar med temperaturdrivande faktorer som hårdgjordhetsgrad och minskad krontäckning, kan det finnas skäl att tro att detta skulle kunna vara ett bra sätt att visa hur olika bebyggelse typer svarar med yttemperatur under en värmebölja.

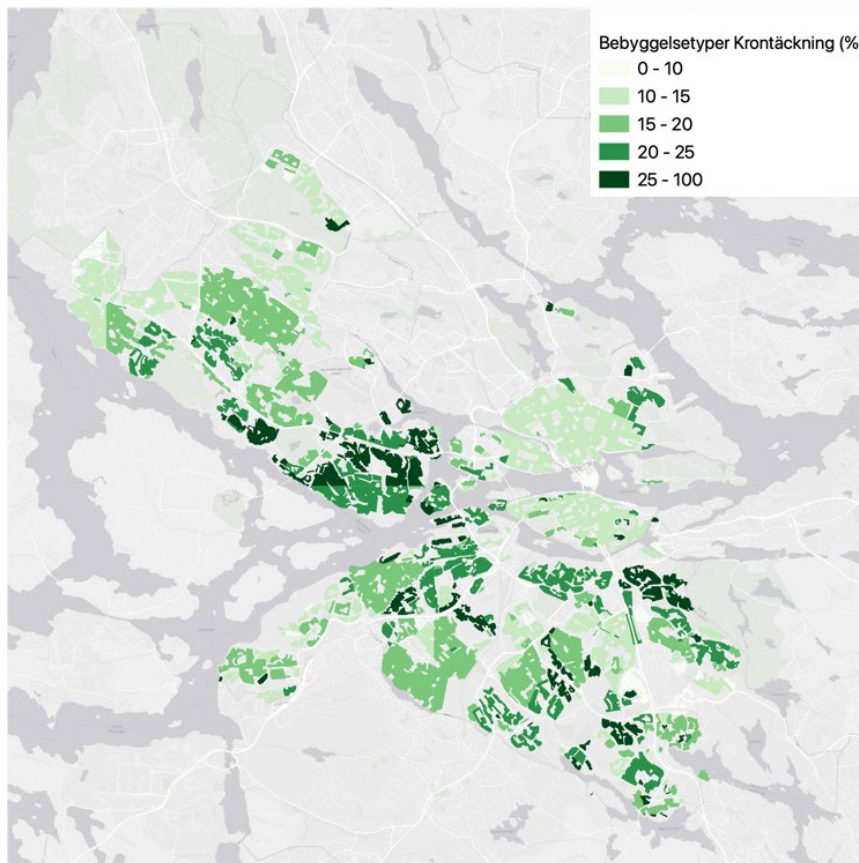
Därför samlades underlagsdata enligt ovan in, och statistik togs fram indelat på de olika bebyggelse typerna. Figur 28 och Figur 29 visar exempel på detta.



Figur 27 Bebyggelsetyper (Tätare Stockholm 2008)



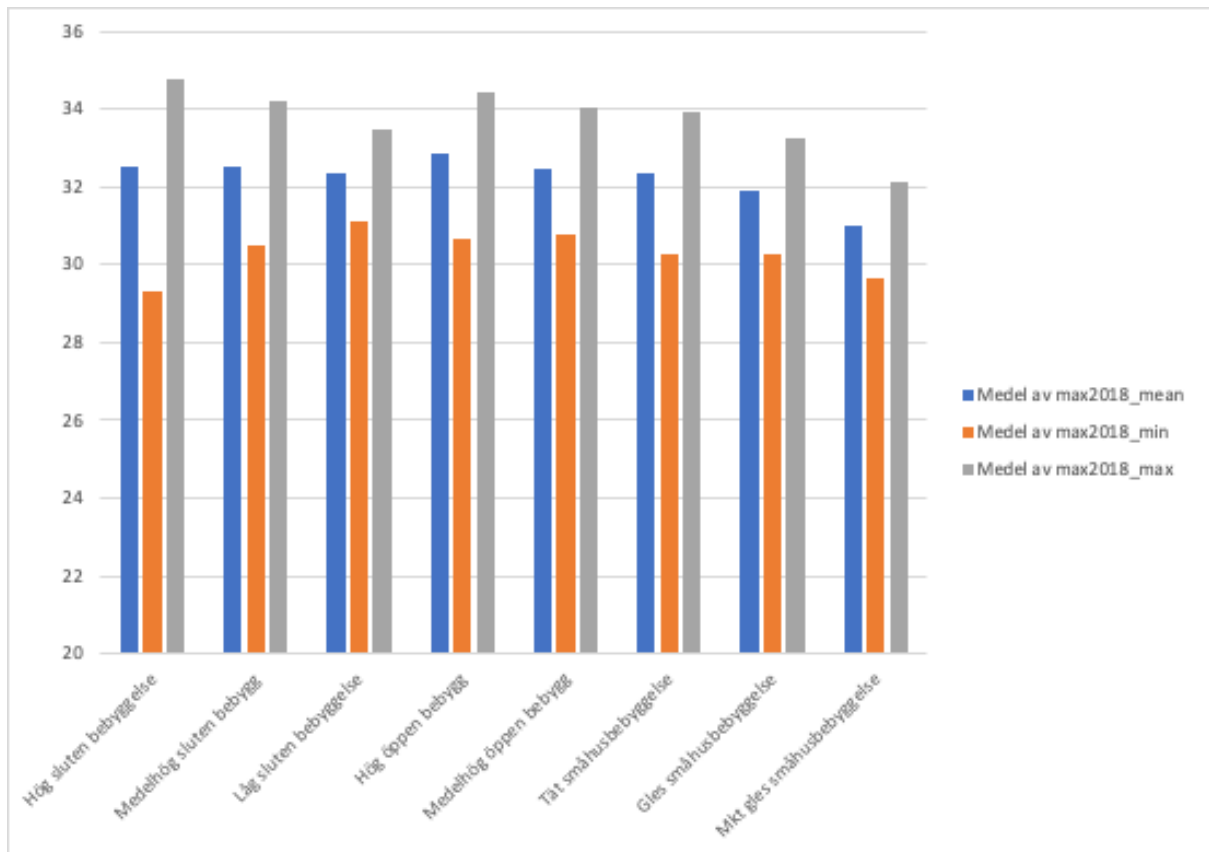
Figur 28 Andel hårdgjord yta inom bebyggelseområden i Stockholm



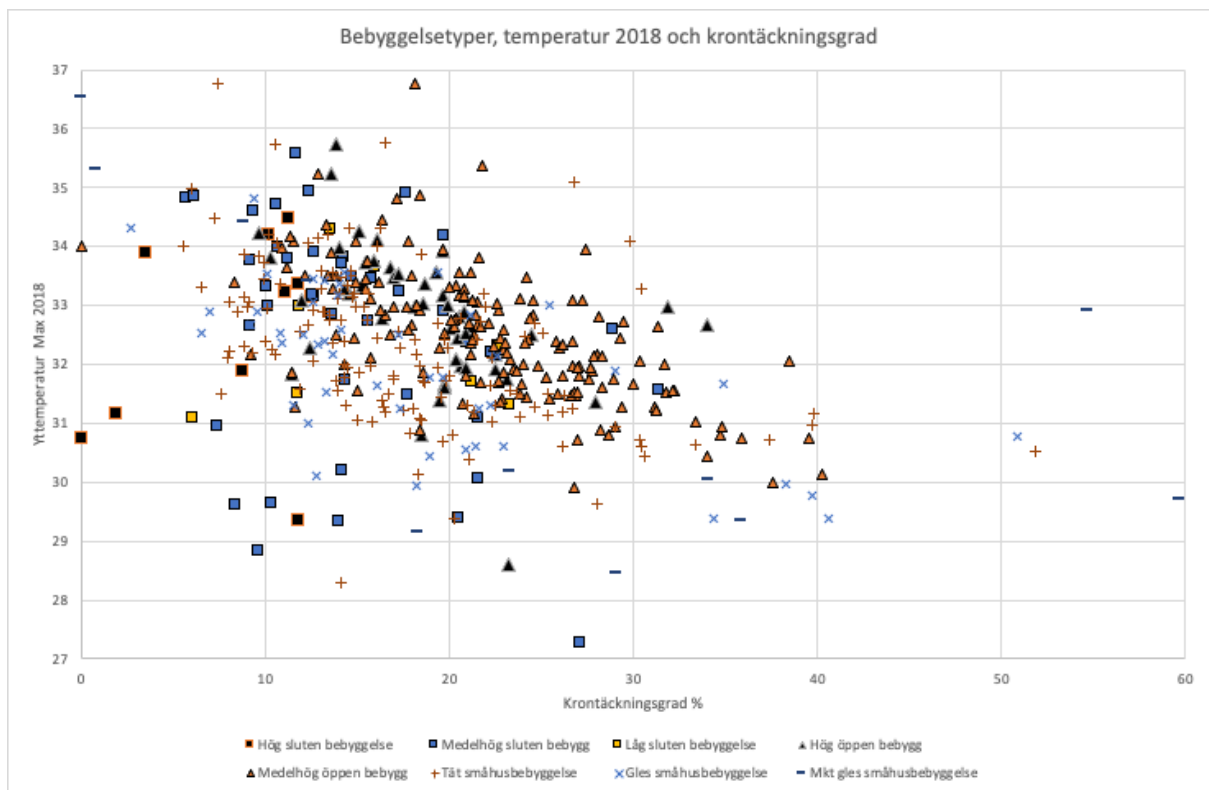
Figur 29 Krontäckningsgrad inom olika bebyggelseområden i Stockholm

Man kan se ett generellt mönster av låg krontäckningsgrad och stora andelar hårdgjorda ytor i täta bebyggelseområden, men även stora variationer inom en specifik bebyggelsetyp. Diagrammet i Figur 30 visar hur ytttemperaturen under värmeböljan 2018 varierade mellan de olika bebyggelse typerna. Medelvärdet varierar mellan cirka 31 och 33 grader Celsius mellan de olika bebyggelse typerna. Inom specifika bebyggelse typer varierar ytttemperaturen mellan 2-6 grader Celsius. Det ger en indikation om att bebyggelse typerna inte är helt lämpliga för att beskriva skillnader i ytttemperatur. Detta stöds ytterligare av Figur 31 som visar hur bebyggelse typerna förhåller sig till ytttemperatur och krontäckning.

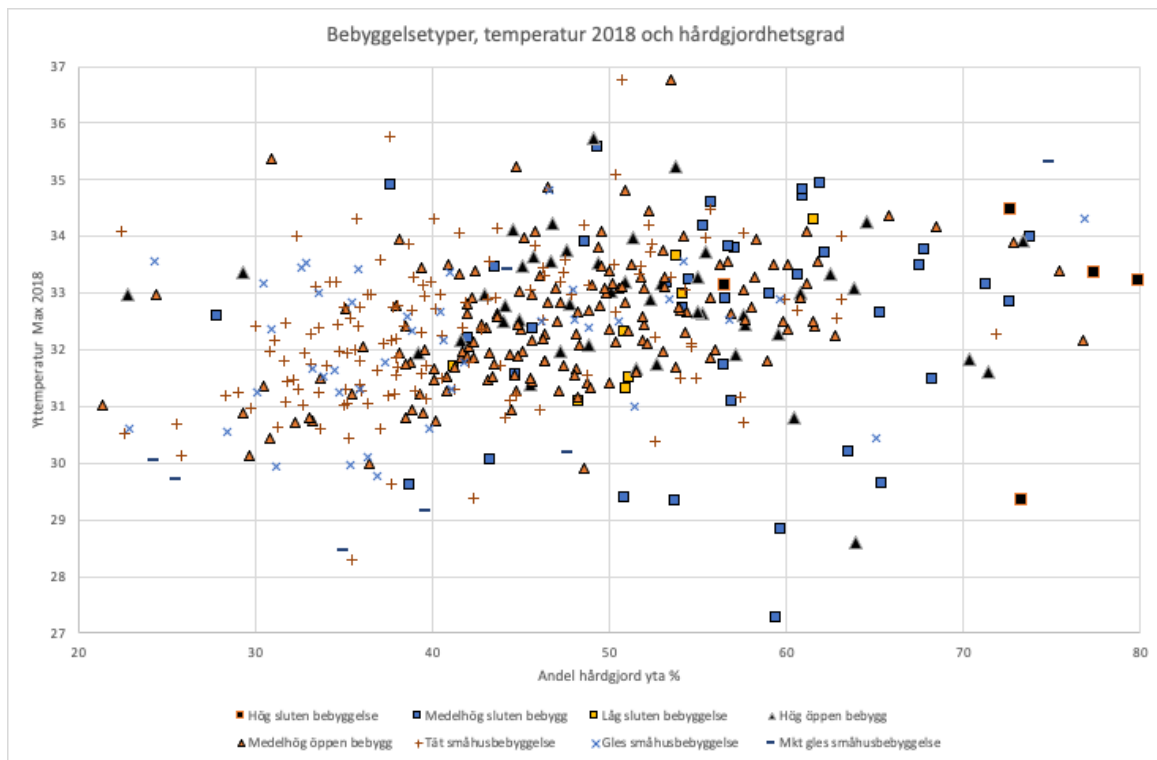
Man kan utläsa att variationen i ytttemperatur i bebyggelseområdena korrelerar med krontäckningen snarare än själva bebyggelse typen. Exempelvis kan man se att bebyggelse typen "Medelhög öppen bebyggelse" förekommer i stort sett hela spektret av variation av temperatur och krontäckning. Detta gäller även flera andra bebyggelse typer. Ett möjligt undantag kan vara "Mycket gles småhusbebyggelse" där ytttemperatur är relativt sett låg och krontäckningen mestadels hög. Samma typ av mönster syns om man i stället visar hur ytttemperatur och hårdgjordhetsgrad förhåller sig med bebyggelse typer som geografisk indelning (Figur 32). Även här kan man se en stor spridning av datapunkter tillhörande specifika bebyggelse typer. Sammantaget leder detta mot slutsatsen att bebyggelse typologierna i sig är ointressanta ur klimatanpassningsperspektiv. Däremot är andelen hårdgjorda ytor och krontäckningsgrad intressanta variabler.



Figur 30 Medelvärde av yttemperatur (maxvärde 2018) inom olika bebyggelsetyper i Stockholm



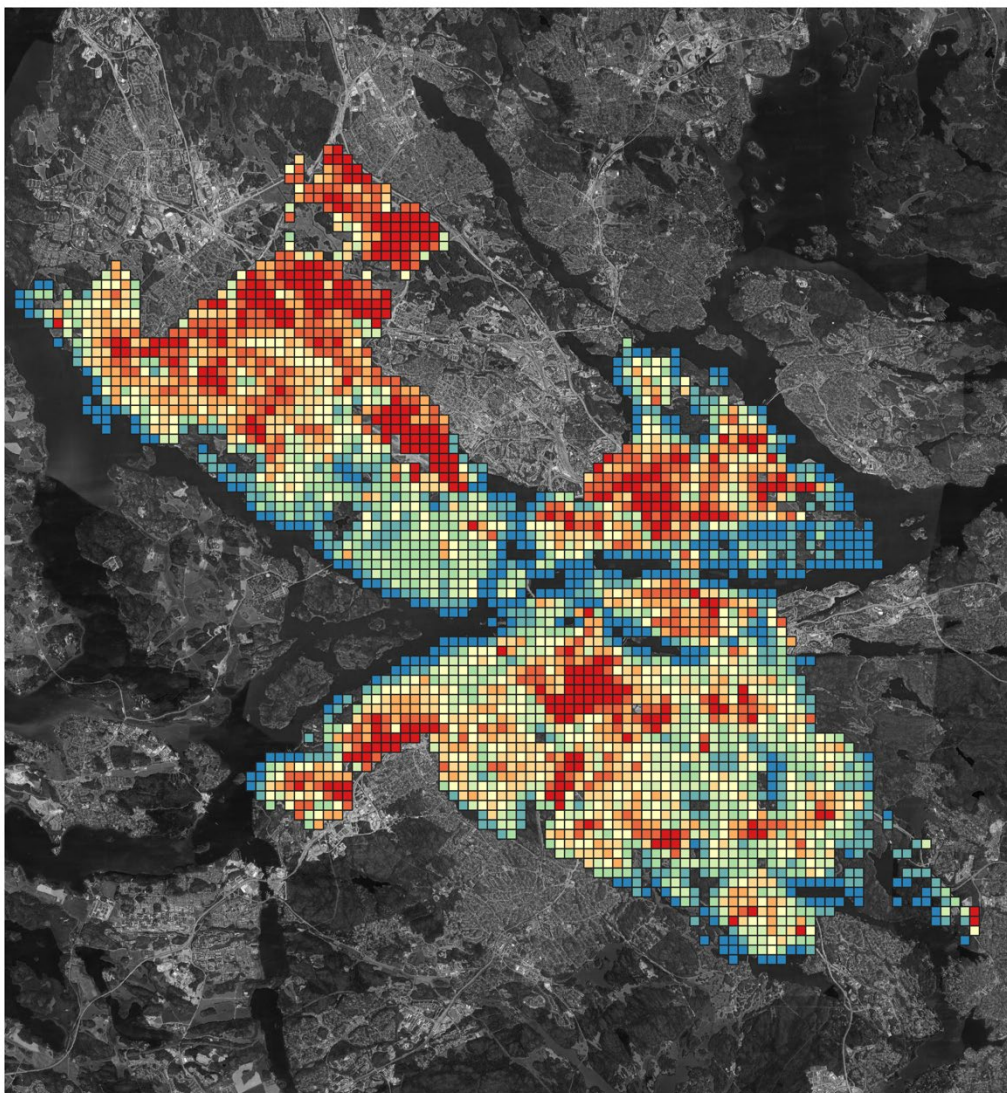
Figur 31 Yttemperatur och krontäckningsgrad uppdelat på bebyggelsetyper



Figur 32 Ytemperatur och hårdgjordhetsgrad uppdelat på bebyggelse typer

6.2 ANSATS 2, RUTSTATISTIK

För att göra en annan typ bedömning av hur ytemperatur kan samvariera med krontäckningsgrad och hårdgjordhet gjordes ansatsen att samla in dessa variabler i 250x250 meter stora rutor. För att inte hustak skulle få för stor påverkan i tätbebyggda områden togs dessa bort ut ytemperaturdata. På detta sätt är indelningen oberoende av stadens bebyggelsestruktur. Avgränsningen gjordes genom att byggnader måste existera inom varje ruta. Figur 33 visar 250 meters-rutorna färgade efter max ytemperatur 2018.



Figur 33 Rutstatistik temperaturrelaterade variabler

Undersöker man detta samband vidare kan man titta på hur ytemperatur samvarierar i en linjär modell med variablerna krontäckning, hårdgjordhetsgrad och byggnadshöjd. Resultaten från denna modell finns i Tabell 3 och Tabell 4. Man kan konstatera att modellen förklarar cirka 45% av variationen i ytemperatur (R-kvadrat), och samtliga oberoende variabler är signifikanta (p-värde). En förklaringsgrad om 45% visar att variablerna har stor betydelse för ytemperaturen, men att det samtidigt finns andra okända förklarande faktorer. Nedan är lite resonemang om detta;

- Närhet till vatten kan vara en viktig variabel som inte tagits hänsyn till. I Figur 34 kan man ana att det finns ganska många observationer (rutor) som trots låg krontäckning håller

relativt låg temperatur vilket inte fångas upp av modellen. Utan att ha undersökt det närmare skulle man kunna gissa att dessa ligger nära vatten.

- Påverkan från kringliggande områden (dvs. om en ruta med hög krontäckning och låg andel hårdgjorda ytor ligger nära flera rutor med hög temperatur, så kan omgivningspåverkan göra att yttemperaturen är något förhöjd, vilket inte fångas upp av modellen). Det är därför sannolikt att modellen underskattar vid dessa förhållanden och omvänt.
- Det kan finnas diskrepanser mellan de oberoende variablerna (Krontäckning etc.) och den beroende variabeln (yttemperatur). Dvs, förhållandena på marken vid mättillfället motsvarar inte de som beskrivs av de oberoende variablerna, till exempel kan exploateringsgraden ökat, vegetation kan ha tagits bort etcetera.
- Vegetationstäckning från mindre träd (lägre än 5 meter) och buskar finns inte med i modellen. Denna typ av vegetation fungerar sannolikt också temperatursänkande
- Det kan finnas atmosfärförhållanden i satellitmätningarna som kan påverka, exempelvis kan tunna slöjmoln sänka den uppmätta yttemperaturen.

Detta är bara exempel på faktorer som kan påverka, det finns sannolikt fler.

Tabell 3 Regressionsstatistik linjär modell

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,677
R-kvadrat	0,458
Justerad R-kvadrat	0,458
Standardfel	1,684
Observationer	2604

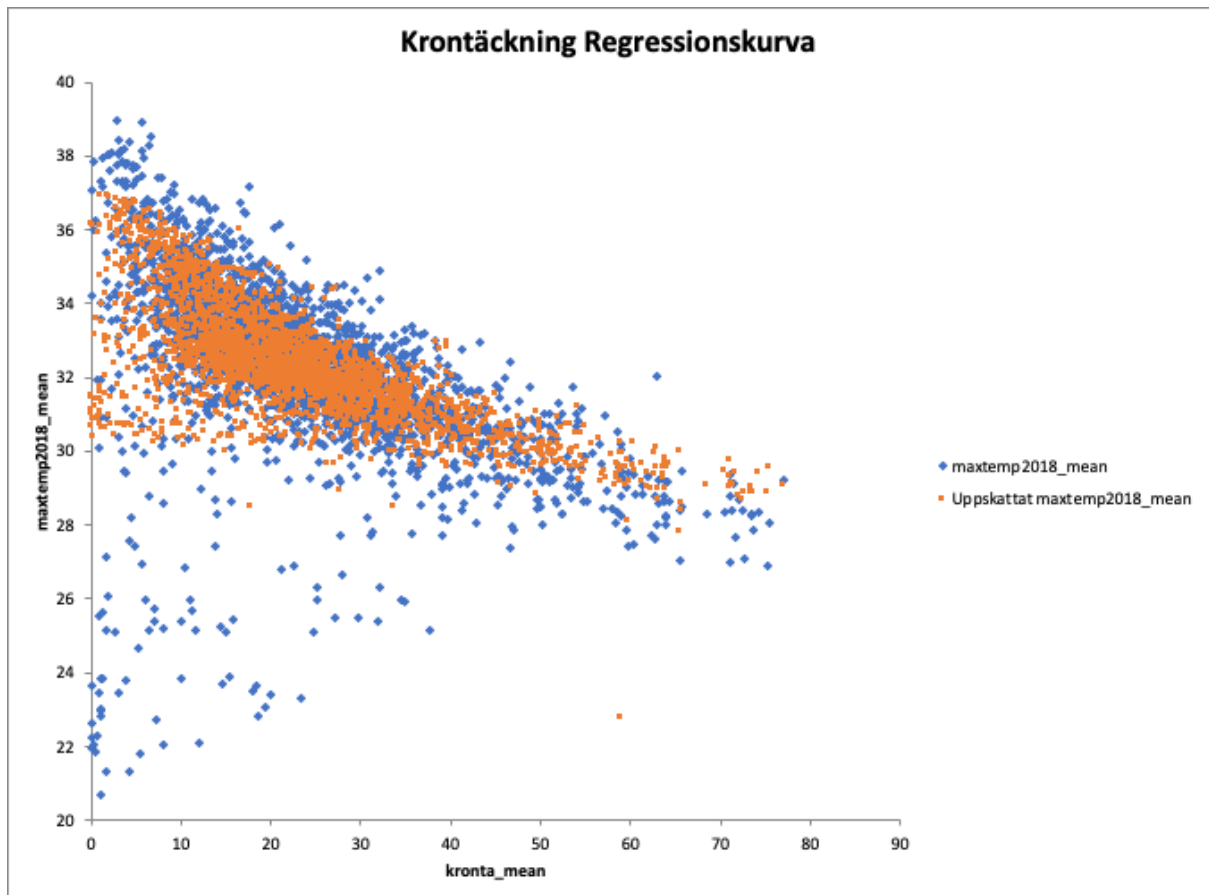
Tabell 4 Linjär regressionsmodell - specifikaationer

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfel</i>	<i>t-kvot</i>	<i>p-värde</i>
Konstant	30,872889	0,133345	231,526241	<0,000001
Krontäckning	-0,025834	0,003144	-8,215997	<0,000001
Hårdgjordhet	0,065525	0,002074	31,595983	<0,000001
Byggnadshöjd (medel)	-0,047183	0,005554	-8,495846	<0,000001

Om man tolkar koefficienterna i modellen så innebär det följande;

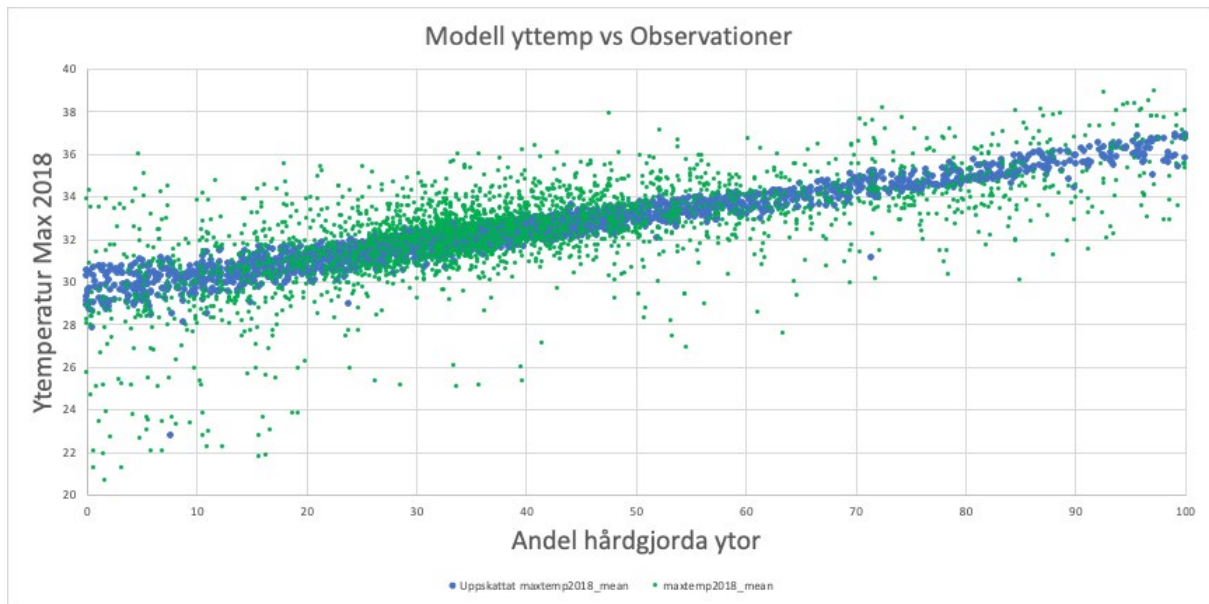
- Om krontäckningen ökar med 10% så minskar yttemperaturen med ca 0.3 grader Celsius
- Om andelen hårdgjorda ytor ökar med 10% så ökar yttemperaturen med ca 0.7 grader Celsius
- Om den genomsnittliga byggnadshöjden ökar med 10 meter så minskar yttemperaturen med cirka 0.5 grader Celsius

Det är troligt att byggnadshöjden speglar skuggning från huskroppar. Figur 34 och Figur 35 visar hur skattad temperatur relaterar till observerade data. Om man tittar på Figur 34 så kan man bl.a. se att observationerna skiljer sig mest från skattade data när krontäckningen är låg. Man kan också ana att skillnaderna mellan observation och modell (residualer) minskar något när krontäckningen ökar. Detta kan tolkas som en viss heteroskedasticitet⁴ i modellen men har inte undersökts vidare. Det kan tyda på att det saknas någon viktig faktor i modellen, till exempel kyleffekt från vatten.



Figur 34 Observationer vs modell – Krontäckning

⁴ Heteroskedasticitet innebär att variationen i den beroende variabeln (i detta fall ytemperatur) ökar eller minskar i relation till värdet på en oberoende variabel, i detta fall andel krontäckning

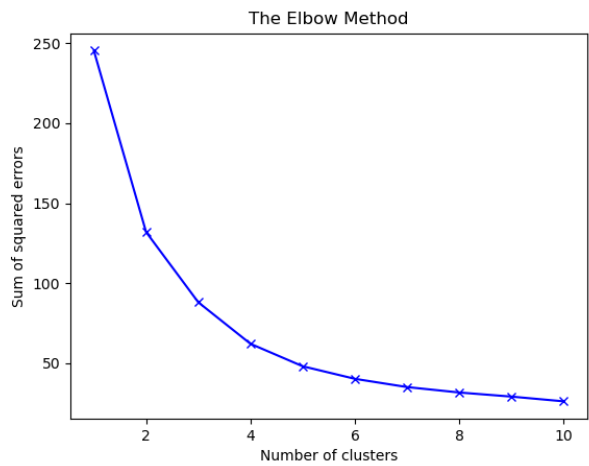


Figur 35 Observationer vs modell – Hårdgjorda ytor

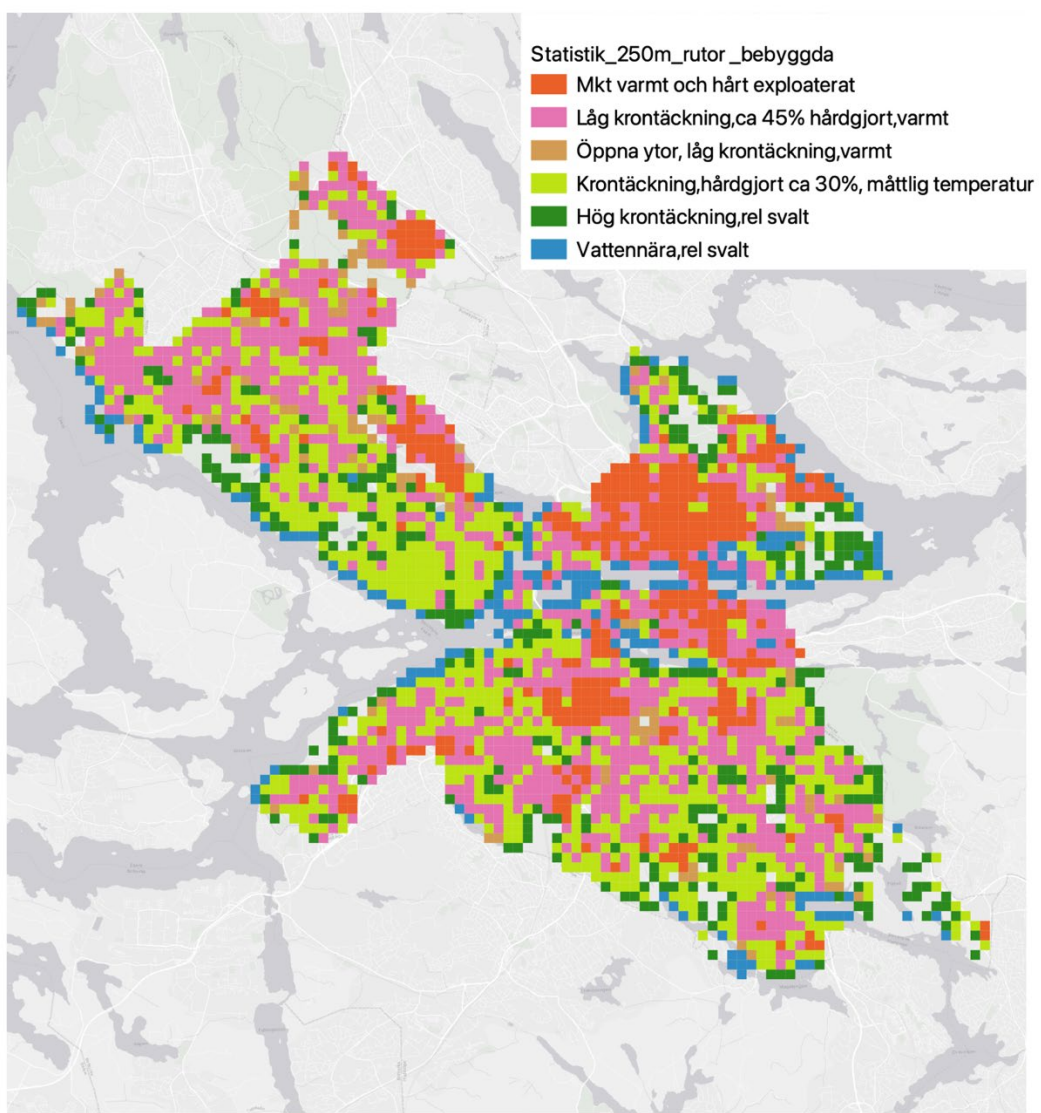
6.3 ANSATS 3 – KLUSTER MED TEMPERATUR OCH MILJÖFAKTORER

För att kunna beskriva olika områden i Stockholm och hur de förhåller sig med avseende på *temperatur, hårdgjordhet, krontäckning och hushöjd*, gjordes en klustring med syfte att kunna skilja ut områden med liknande egenskaper. Detta gjordes med klusteralgoritmen K-means++⁵. K-means strävar efter att hitta kluster med liknande egenskaper genom att iterativt ta fram centroider som anpassar sig till ett flerdimensionellt datamaterial. Klustring med K-means är en så kallad oövervakad metod, vilket innebär att användaren inte sätter upp några regler för klassningen, eller använder några särskilda träningsdata. Alla datapunkter tilldelas ett kluster, och med det följer att en viss datapunkt kan ligga nära mitten i klustret, eller i utkanten av klustret, och följaktligen ha ganska olika egenskaper. Efter några försök valdes 6 kluster, med tanke på hur ökat antal kluster förhåller sig till variansen som avtar ganska kraftigt ner till 5-6 kluster för att sedan plana ut (Figur 36). Resultatet av klustringen visas i Figur 37. Det finns många olika metoder för att gruppera och klustra flerdimensionella data, och det är möjligt att det finns metoder som är bättre för just denna tillämpning. K-means valdes i detta fall för att det är en enkel och snabb metod.

⁵ D. Arthur and S. Vassilvitskii, "k-means++: the advantages of careful seeding", Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 2007.



Figur 36 Antal kluster och varians med hjälp av den s.k. "Elbow method"

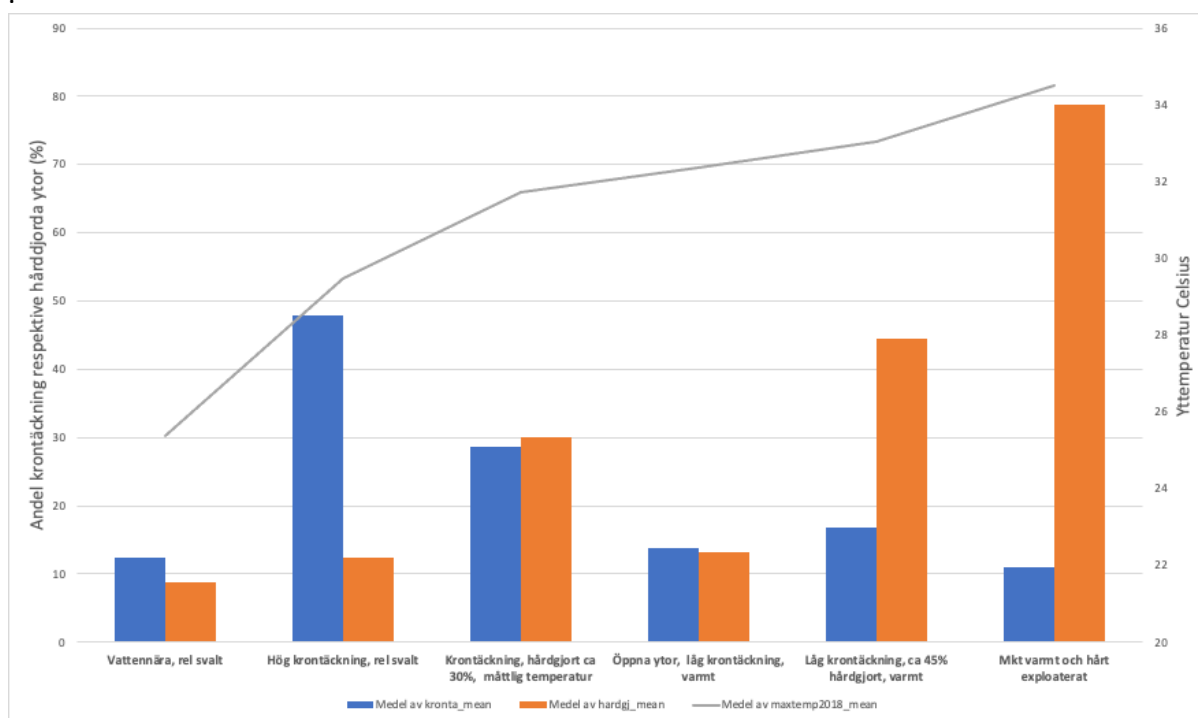


Figur 37 Kluster med temperatur och miljöfaktorer

Klustren som föll ut benämndes med hänsyn till hur de förhöll sig till de olika variablerna, den geografiska utbredningen, och fick följande benämningar;

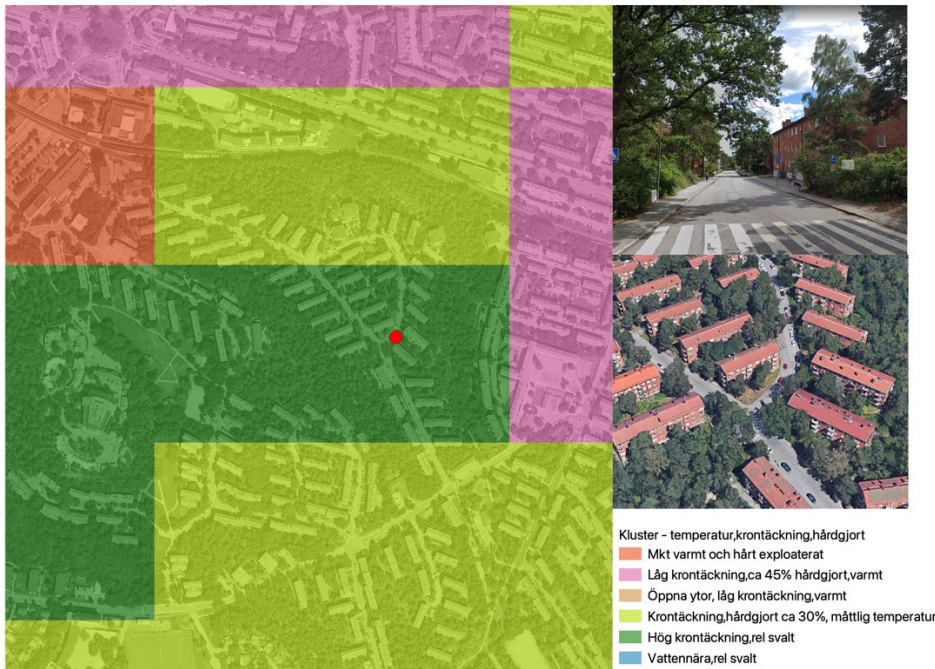
- Mycket varmt och hårt exploaterat
- Låg krontäckning, ca 45% hårdgjort, varmt
- Öppna ytor, låg krontäckning, varmt
- Krontäckning, hårdgjorda ytor ca 30%, måttlig yttemperatur
- Hög krontäckning, relativt svalt
- Vattennära, relativt svalt

I Figur 38 visas hur medelvärdet för de olika ingående faktorerna förhåller sig till klustren. Dessa har ordnats i stigande temperatur åt höger.



Figur 38 Kluster - yttemperatur och miljöfaktorer

Ett exempel på en plats som tillhör kluster 2, Hög krontäckning, relativt svalt visas i Figur 39. Platser som motsvarar de olika klustren togs med som bildexempel och återfinns i Bilaga Exempel kluster med bebyggelse” .



Figur 39 Kluster av yttemperatur och miljövariabler - Klass 2 Hög kröntäckningsgrad, relativt svalt

7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Den fysiska planeringen är ett viktigt verktyg för att anpassa samhället till ett förändrat klimat. Detta innefattar lokalisering och utformning av verksamheter och bebyggelse utifrån förväntade framtida klimatförhållanden. Också den befintliga stadsmiljön behöver klimatanpassas. Det finns många olika åtgärder som kan vidtas, som berör grönstruktur och tillgången till svala områden.

7.1 SATELLITDATA SOM UNDERLAG

Projektet har visat hur satellitmätningar av strålningstemperaturer kan användas för att få en översiktlig bild av läget i hela staden. Mätningarna är grova, men som statistiskt underlag för att följa utvecklingen över tid är det utmärkt. Lämplig skala kan vara statistik för stadsdelar eller DeSo-områden. Ett annat gångbart alternativ är att följa statistik över en viss kategori, exempelvis en viss marktäckeklass eller en delmängd av befolkningen, över tid.

Något som kan vara intressant att undersöka vidare är hur modellerade värden förhåller sig till dessa uppmätta värden. Hur skiljer de sig åt och när bör man använda det ena eller det andra?

En annan analys, som var uppe till diskussion var att jämföra klagomål från boende med värmemätningarna. Detta är förstås möjligt, även om det kan vara ganska många olika parametrar som påverkar hur klagomål sker och om man har tillgång till luftkonditionering.

De uppmätta värdena kan inte direkt tolkas som absoluta maxtemperaturer utan man ska ha i åtanke de felkällor som kan förekomma:

- Ej uppnådd maxtemperatur till följd av moln/dis under den/de varmaste dagarna
- Ha i åtanke att nya satellitbilder registreras ungefär varannan vecka och däremellan kan värmetopparna ha passerat.

- En liten skillnad i uppmätt temperatur mellan de centrala delarna av en satellitscen och ytterkanterna beroende på atmosfärens inverkan.
- Temperaturerna mäts vid ytan och svarta plåttak i tät stenstad kan överskatta de faktiska temperaturerna nere på marken.
- Tidpunkten för registrering motsvarar inte den varmaste temperaturen för dagen.

I projektet gjordes en jämförelse mellan uppmätta strålningstemperaturer från satellit och in-situ lufttemperaturer vid samma tidpunkter. Korrelationen mellan lufttemperatur och satellitmätt yttemperatur är ganska god vid högre temperaturer och man borde kunna extrapolera maxvärden från satellit med uppmätta lufttemperaturmätningar, vilka mäts ungefär en gång i timmen vid olika väderstationer.

Man borde helst titta på sambanden mellan in-situ mätningar av strålningstemperatur och mätningar från satellit. Projektet hade dock inte tillgång till sådana mätningar.

Satellitmätning lämpar sig för relativa jämförelser mellan olika områden för att t.ex. visualisera hur inslag av olika typer av vegetation i en stadsmiljö påverkar temperaturen.

7.2 ANALYSER

Flera olika analyser har gjorts inom projektet, som visar hur värmemätningar från satellit kan användas för att skapa förståelse för nuläget och ligga till grund för både uppföljning av hur förändringar i stadsstrukturen leder till värmeökning eller minskning och för planering och simulering av olika scenarier.

Jämförelser mellan olika DeSo-områden har presenterats med statistik över hur många personer som är bosatta i de varmaste områdena, värmeöarna, samt hur uppmätt värme varierat inom DeSO-områdena de senaste åren. Tillgången till svalkande områden har analyserats för förskolor och sårbara grupper. Den typen av analyser kan varieras på många sätt. En möjlighet är att följa utvecklingen av värme över tid per stadsdel eller DeSo-område.

Ett intressant resultat var hur pass långt Stockholms förskolor har till svala områden. Endast 20% av förskolorna har 300m eller kortare att gå till de områden som inte nått en maxtemperatur över 30. En lösning är att låta barnen stanna inomhus när det är som varmest. En annan, mer långsiktig, är att ta värmeparametern i större beaktande vid lokalisering av förskolorna. För att på lång sikt åstadkomma en hållbar stadsmiljö bör man satsa på att öka krontäckningen i de mer utsatta delarna. Det handlar om att lägga stor vikt vid att bibehålla den höga grönska som redan finns i högre grad än idag, men även med kompensation på andra sätt. I många delar av världen har problemen med värmeböljor varit ett omdiskuterat faktum under lång tid och man försöker på olika sätt minska strålningsvärmens med ljusare markbeläggningar eller vita hus, och naturbaserade lösningar som bibehållen hög vegetation eller svalkande vattenlösningar.

För att få in detta tankesätt i svensk planering måste det finnas möjligheter att experimentera med olika fall på ett enkelt sätt. Detta kommer att vidareutvecklas inom ett Formasprojekt under 2022-2023.

Analysen av hur olika bebyggelsestrukturer påverkar yttemperaturer visar att bebyggelse typerna i sig har liten betydelse. Däremot kan olika bebyggelsestrukturer och täthet skapa förutsättningar för till exempel större eller mindre andel svalkande grönstruktur.

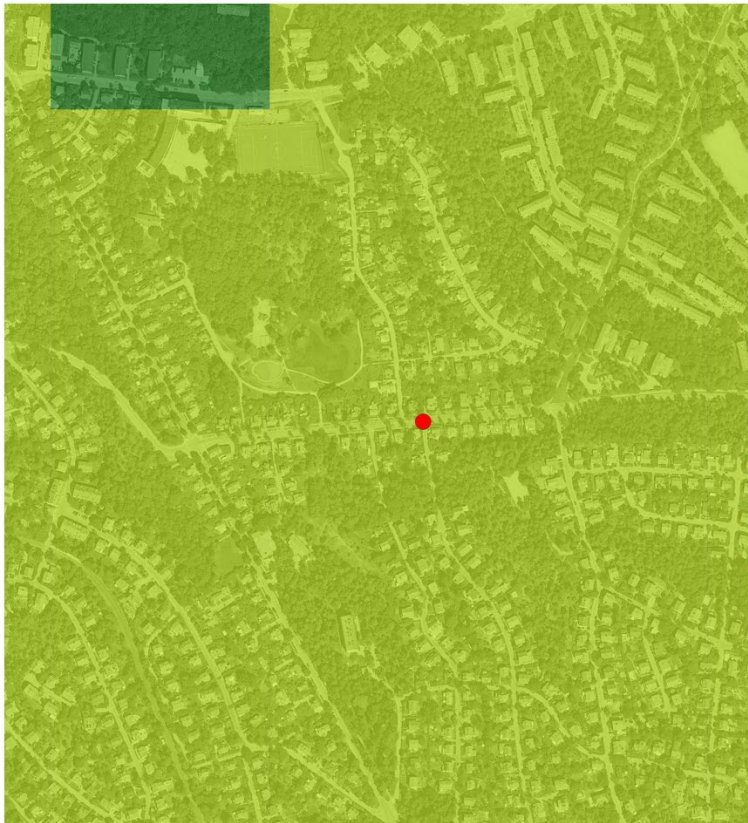
Däremot kan vi se att krontäckning och hårdgjorda ytor på ett tydligt sätt påverkar yttemperaturen uppmätt med satellitsensor. Vi kan också se att höjden på byggnader påverkar yttemperaturen, men i mindre grad. Det finns förstås också samvariation mellan andel krontäckt yta och andel hårdgjorda ytor. Med den enkla modellering som gjorts i detta projekt kan vi uppskatta att man kan påverka yttemperaturen i ett område genom att öka eller minska andelen krontäckning och hårdgjorda ytor. Modellen pekar på att en ökning av krontäckningsgraden med 10% kan minska den maximala yttemperaturen med omkring 0.3 grader Celsius. Omvänt kan en ökning av andelen hårdgjorda ytor med 10% öka yttemperaturen med cirka 0.7 grader. Dessa siffror baserar sig enbart på data från denna studie, och ska betraktas som approximativa, det finns en rad andra faktorer som påverkar yttemperaturen som inte är beaktade i modellen.

Sambandet mellan yttemperatur och marktäckning/markanvändning är tydligt men det finns inget entydigt som säger hur stor andel krontäckning respektive hårdgjorda ytor som är lämpligt i ett bostadsområde. Om vi tittar på data från denna studie pekar den på att områden med krontäckning större än 30% och där andelen hårdgjorda ytor är mindre än 30% ser mer gynnsamma ut med avseende på yttemperatur. Har man över 30% krontäckning når man inte de högsta temperaturerna trots att området i övrigt kan vara relativt exploaterat med många hårdgjorda ytor. Under 30% spelar det inte så stor roll hur markytan ser ut. Stora öppna fält med få träd blir också väldigt varma. Det vi dock vet väldigt lite om, är hur detta påverkar människor som bor eller uppehåller sig i dessa områden. Därför skulle en studie av hur dessa uppmätta temperaturer upplevs av personer som bor eller verkar i områden med höga respektive låga yttemperaturer vara av stort värde.

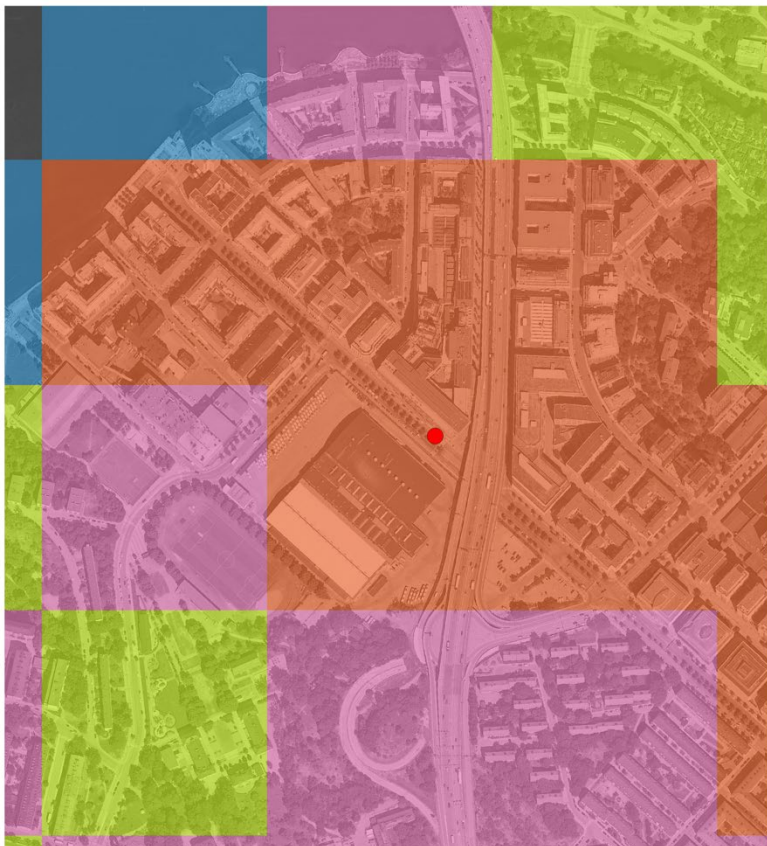
Man bör ha i åtanke att de värmedata som ligger till grund för analyserna inte är så detaljerade att mindre enskilda företeelser direkt avspeglas i mätningarna. Något enstaka träd i gatan går inte att urskilja i temperaturmätningarna, även om det ger skydd mot direkt solinstrålning. Detsamma kan gälla för tankar kring hur man byggt för att åstadkomma skuggning.

BILAGA EXEMPEL KLUSTER MED BEBYGGELSE





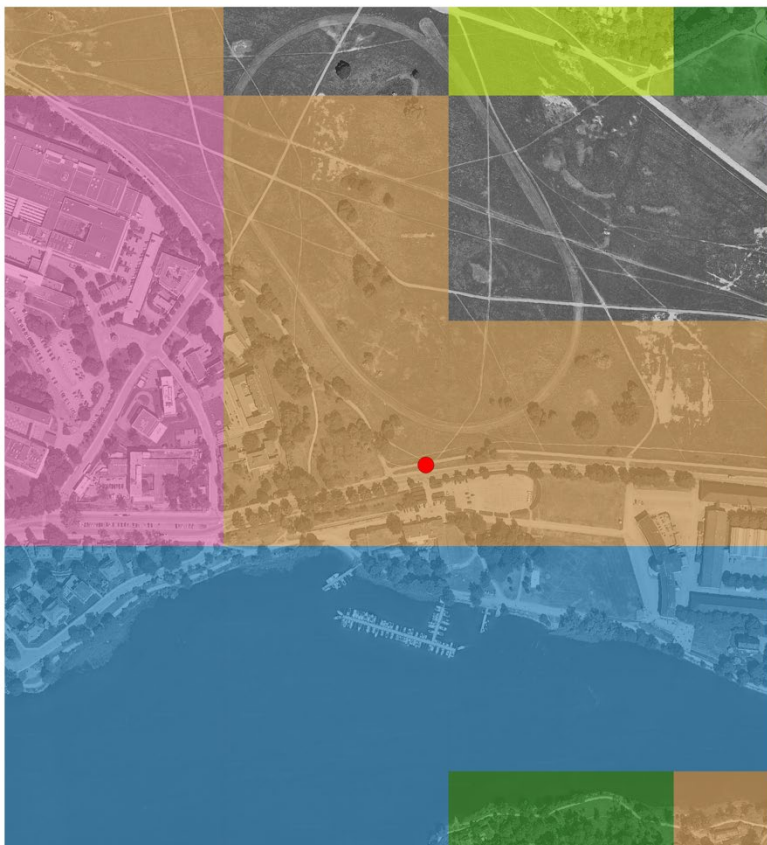
- Kluster - temperatur,krontäckning,hårdgjort
- Orange: Mkt varmt och hårt exploaterat
 - Pink: Låg kröntäckning,ca 45% hårdgjort,varmt
 - Light Orange: Öppna ytor, låg kröntäckning,varmt
 - Yellow-Green: Kröntäckning,hårdgjort ca 30%, måttlig temperatur
 - Green: Hög kröntäckning,rel svalt
 - Blue: Vattennära,rel svalt



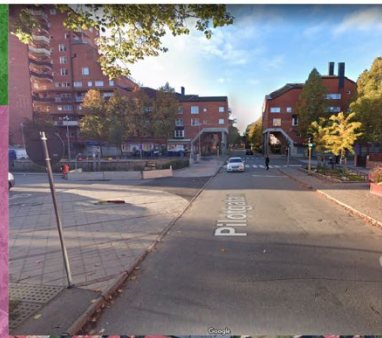
- Kluster - temperatur,krontäckning,hårdgjort
- Orange: Mkt varmt och hårt exploaterat
 - Pink: Låg kröntäckning,ca 45% hårdgjort,varmt
 - Light Orange: Öppna ytor, låg kröntäckning,varmt
 - Yellow-Green: Kröntäckning,hårdgjort ca 30%, måttlig temperatur
 - Green: Hög kröntäckning,rel svalt
 - Blue: Vattennära,rel svalt



- Kluster - temperatur,kröntäckning,hårdgjort
- Orange Mkt varmt och hårt exploaterat
 - Pink Låg kröntäckning,ca 45% hårdgjort,varmt
 - Light Orange Öppna ytor, låg kröntäckning,varmt
 - Light Green Kröntäckning,hårdgjort ca 30%, måttlig temperatur
 - Green Hög kröntäckning,rel svalt
 - Blue Vattennära,rel svalt



- Kluster - temperatur,kröntäckning,hårdgjort
- Orange Mkt varmt och hårt exploaterat
 - Pink Låg kröntäckning,ca 45% hårdgjort,varmt
 - Light Orange Öppna ytor, låg kröntäckning,varmt
 - Light Green Kröntäckning,hårdgjort ca 30%, måttlig temperatur
 - Green Hög kröntäckning,rel svalt
 - Blue Vattennära,rel svalt



- Kluster - temperatur,krontäckning,hårdgjort
- Orange Mkt varmt och hårt exploaterat
 - Pink Låg kröntäckning,ca 45% hårdgjort,varmt
 - Brown Öppna ytor, låg kröntäckning,varmt
 - Light Green Kröntäckning,hårdgjort ca 30%, måttlig temperatur
 - Dark Green Hög kröntäckning,rel svalt
 - Blue Vattennära,rel svalt



- Kluster - temperatur,krontäckning,hårdgjort
- Orange Mkt varmt och hårt exploaterat
 - Pink Låg kröntäckning,ca 45% hårdgjort,varmt
 - Brown Öppna ytor, låg kröntäckning,varmt
 - Light Green Kröntäckning,hårdgjort ca 30%, måttlig temperatur
 - Dark Green Hög kröntäckning,rel svalt
 - Blue Vattennära,rel svalt