



Växtval för att motverka värmeöeffekten

– kan träden i Malmö användas för att minska värmebildning i staden?

Plant selection for mitigating the urban heat island effect – can the trees in Malmö be used to minimize heat build-up in the city?

Anton Wallenstad

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Landskapsarkitektprogrammet

Alnarp 2022



Växtval för att motverka värmeeffekten – kan träden i Malmö användas för att minska värmebildning i staden?

Plant selection for mitigating the urban heat island effect – can the trees in Malmö be used to minimize heat build-up in the city?

Anton Wallenstad

Handledare: Scott Wahl, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Linn Osvalder, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Landskapsarkitektur

Kurskod: EX0845

Program/utbildning: Landskapsarkitektprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2022

Omslagsbild: Anton Wallenstad

Nyckelord: Värmeeffekten, urbanisering, klimatförändringar, vegetation, träd, skugga, transpiration

Om inget annat anges tillhör bilderna författaren

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (PDF-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Klimatförändringar har förekommit genom alla tider, men de som ägt rum de senaste decennierna och förväntas fortsätta i samma riktning i framtiden är mer extrema än alla skådade de senaste århundradena. Med klimatförändringarna förväntas medeltemperaturerna öka och med dem ökar även risken för extrema väderfenomen som torka och värmeböljor. Samtidigt sker en konstant urbanisering med en tillströmning av människor till städerna vilket kräver urban expansion antingen i form av stadsutbredning eller förtätning.

Stadens hårdgjorda ytor och morfologi har gett upphov till fenomenet kallat värmeöeffekten, urban heat island (UHI). Fenomenet förklarar hur stadens egenskaper i form och material resulterar i lokalt högre temperaturer än i de rurala områdena som omger staden. Forskningen kring värmeöeffekten är omfattande och många studier har visat på olika åtgärder som kan implementeras för att motverka värmebildningen i staden; ytmaterial med hög reflektionsförmåga (albedo) och dålig värmeållande kapacitet, vatten och vegetation i parker samt i hårdgjorda ytor.

Studien undersöker, i form av en litteraturstudie, om och vilka egenskaper hos träd som bidrar till att motverka värmeöeffekten. Vidare studeras sedan vilka av de tio mest planterade träden i hårdgjorda ytor i Malmö stad som innehar de egenskaperna och därmed motverkar värmebildningen i Malmös stadsrum. Resultatet visar att flera olika attribut hos träd, som hög leaf area density och stor kronvolym, bidrar till att motverka värmeöeffekten, särskilt genom att minska yttemperaturen, lufttemperaturen och förbättra den termiska komforten i trädens omgivning.

Nyckelord: Värmeöeffekten, urbanisering, klimatförändring, vegetation, träd, skugga, transpiration

Abstract

Climate change has occurred on this planet since its origin, but the changes that have taken place in the last couple of decades and that are expected to continue in the future are more extreme than previously recorded in the past centuries. With climate change, the mean temperatures are expected to increase and with that, the risk of extreme weather phenomena, such as drought and heatwaves, increases as well. At the same time, the population of cities is constantly increasing with urbanization which requires urban expansion either through urban sprawl or densification.

The hard surfaces and morphology of the city have given rise to a phenomenon called the urban heat island effect (UHI). The phenomenon describes how the attributes of the city in terms of form and material leads to higher temperatures in the city in comparison to those measured in the rural areas surrounding it. Research regarding the UHI is comprehensive and has revealed plenty of implementations that can be applied to mitigate heat build-up in the city; surfaces with a high albedo and low heat-building potential, water, and vegetation in parks as well as on hard surfaces.

The present literature study examines if and which attributes in trees help to mitigate the UHI. Additionally, the ten most planted trees in Malmö on hard surfaces are examined to determine if they possess the required attributes to help mitigate heat build-up in the urban spaces of Malmö. The result shows several traits, such as high leaf area density and big crown volume, having an impact on the UHI, specifically by lowering surface temperatures, air temperatures and by increasing thermal comfort in the areas surrounding the trees.

Keywords: Urban heat island, urbanization, climate change, vegetation, trees, shade, transpiration

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	9
1.1. Problemformulering.....	9
1.2. Syfte.....	10
1.3. Frågeställning	10
2. Teoribakgrund.....	11
2.1. Stadens morfologi.....	11
2.2. Värmeeffekten	12
2.2.1. Orsaker till värmeeffekten	12
2.3. Värme i staden.....	16
2.3.1. Människan i värmeön	16
2.3.2. Verktyg för att motverka värmebildning i staden	17
3. Material och metod	19
3.1. Litteraturstudie	19
3.2. Material från Malmö stad	20
3.3. Avgränsningar.....	20
4. Resultat	22
4.1. Litteraturstudie	22
4.1.1. Kylning av ytemperatur.....	22
4.1.2. Kylning av lufttemperatur.....	24
4.1.3. Förbättring av termisk komfort.....	25
4.1.4. Summering.....	26
4.2. Malmö stads planterade träd	27
4.2.1. De mest planterade träden 1998–2018.....	27
4.2.2. De mest planterade träden 2018-.....	29
4.2.3. Summering.....	32
5. Diskussion	33
5.1. Resultatdiskussion.....	33
5.1.1. Litteraturstudie	33
5.1.2. Träd i Malmö stad.....	35
5.2. Metoddiskussion	37

5.2.1.	Litteraturstudie	37
5.2.2.	Träd i Malmö	37
5.3.	Slutsats	38
5.4.	Vidare forskning.....	38
Referenser	39

1. Introduktion

1.1. Problemformulering

Klimatförändringar är ett fenomen som förekommit genom alla tider i form av växlingar mellan längre perioder av nedisningar och perioder av värmeökningar (Bernes, 2016). Situationen idag är däremot inte lik någon tidigare. I en rapport av Förenta nationernas klimatpanel (IPCC) beskrivs hur värmeutveckling likt den senaste 30 års-perioden inte skådats på 800 år och är troligtvis den varmaste på 1400 år på det norra halvklotet (IPCC, 2015). Forskning med klimatmodeller visar dessutom att varmare klimat ökar sannolikheten för extrema väderfenomen som kraftigare skyfall och värmeböljor. Studier visar att värmeutvecklingen som ägt rum under de senaste decennierna inte endast beror på naturliga faktorer utan att även mänsklig påverkan utgör en stor bidragande faktor (IPCC, 2015; SMHI, 2021b). Dessutom sker urbanisering till hög grad varvid det tillkommer stora mängder hårdgjorda ytor och biologisk mångfald minskar, särskilt då natur och landsbygd tas i anspråk i städernas periferi (UN-Habitat, 2020).

Ett fenomen som uppstår till följd av urbaniseringen är den så kallade värmeöeffekten, eller urban heat island (UHI) effect. Värmeöeffekten innebär att temperaturen som uppmäts i städer överstiger den i omgivande icke-urbana miljöer (McPherson, 1990). Fenomenet uppstår på grund av att staden, till följd av dess uppbyggnad och användning, ökar mängden värmestrålning som absorberas i stadsrummen. Stor andel hårdgjorda ytor, höga byggnader och utsläpp i form av framför allt koldioxid från trafik är några av de bidragande faktorerna (Kleerekoper, van Esch, & Baldiri Salcedo, 2012).

Högre temperaturer i städerna, särskilt under värmeböljor, resulterar i större behov av nedkylning av byggnader vilket ökar energikonsumtionen (Kikegawa et al., 2006). Vidare visar forskning (Beck et al., 2018) att klimatet i Sveriges södra delar under andra halvan av århundradet kommer förändras till ett motsvarande det i exempelvis Nederländerna, Frankrike och Storbritannien (från ett kalltempererat (Dfb) till ett varmtempererat (Cfb) klimat enligt Köppens klimatklassifikation (ibid.)).

Trots de negativa aspekterna av urbanisering påpekar UN-Habitat (2020) att en väl genomförd urbanisering kan ge stor möjlighet till innovation i stadsutvecklingen och bidra till en förbättring av stadsmiljön. Forskning har visat att det finns flera olika åtgärder att tillämpa för att motverka värmeeffekten, bland annat genom att nyttja vegetationen i städerna (Armson, Stringer & Ennos, 2012). Forskning visar även att vistelse kring vegetation och vid grönytor i staden i stor utsträckning är kopplade till ett bättre allmäntillstånd och samtidigt bidrar med andra ekosystemtjänster i den bebyggda miljön (Javadi och Nasrollahi, 2021).

1.2. Syfte

Uppsatsens syfte är att undersöka vegetationens förmåga att hämma värmeeffekten och särskilt vilken bidragande effekt träd har och i så fall vilka egenskaper hos en art som möjliggör en motverkan. Ytterligare är uppsatsens syfte att sammanställa kunskap kring insatser för att motverka värmeeffekten och tillgängliggöra resultaten för studenter och yrkesverksamma inom området stadsplanering och landskapsarkitektur för att underlätta vid beslutsfattande kring växtval i stadsmiljön.

1.3. Frågeställning

Kan träd bidra till att minska värmeeffekten i städer och vilka är i så fall de egenskaperna och vilka av träden som Malmö stad arbetar med besitter dessa?

2. Teoribakgrund

2.1. Stadens morfologi

Madlener och Sunak (2011) skriver att städernas utbredning idag utgör 2% av den totala markanvändningen på jorden och samtidigt står aktiviteter i och kopplade till staden för 75% av den globala energianvändningen. Parallellt pågår även en enorm tillströmning av människor till den urbana miljön och befolkningens mängden i städer förväntas öka från ca 55% till 68% till år 2050. Majoriteten av den framtida befolkningsökningen kommer dock äga rum i utvecklingsländer och framför allt delar av Asien, men utesluter inte mer välutvecklade länder i exempelvis Europa och Nordamerika (ibid.; UN-Habitat, 2020). En befolkningsökning kräver en utbyggnad av städer i form av förtätning eller stadsutbredning (urban sprawl). Idag lever 88% av Sveriges befolkning i städer och likväl här som i andra välutvecklade länder förväntas andelen människor i städerna mättas ytterligare för att slutligen nå en jämvikt (Madlener & Sunak, 2011).

Forskning visar att trots att framtida urbanisering förutspås störst i utvecklingsländer har stadens utbredning i förhållande till dess befolkningsökning skett med ett förhållande på nästan 3:1 i Europa från år 2000 till 2015 (UN-Habitat, 2020). Tillväxt av städer i utvecklingsländer sker framför allt i form av stadsutbredning, vilken präglas av att flera mindre bosättningar och åkermark i stadens periferi omsluts av staden och blir en del av en större urban miljö. I mer välutvecklade länder möjliggör god ekonomi samt politiska incitament och riktlinjer däremot mer välplanerat stadsbyggande och innovation. Därmed resulterar tillväxt i västvärlden till största del i förtätning av redan bebyggd miljö (ibid.).

När städer förtätas krävs i många fall en ökad exploateringsgrad. Exploatering behöver däremot inte vara av förstörande karaktär. Med Malmö som exempel har utvecklingen och utbyggnaden i både Limhamn och Västra Hamnen utgått från gamla industritomter som redan är hårdgjorda till stor del (Malmö stad, u.å. a; Malmö stad, u.å. b). Oavsett vald strategi vid utbyggnad i staden resulterar dock förtätning i en ökad mängd hårdgjorda ytor (Kleerekoper, van Esch, & Baldiri

Salcedo, 2012; Malmö stad, 2018). Hårdgjorda ytor ökar då fler och högre byggnader tillkommer i stadsbilden, vilket ökar den totala ytarean av hårdgjort material, både i form av markytor och fasader.

2.2. Värmeöeffekten

Värmeöeffekten är ett fenomen som uppstår i staden till följd av dess uppbyggnad och utbredning. Det engelska uttrycket för fenomenet, ”urban heat island (UHI) effect”, har skrivits om sedan åtminstone 1951 men har blivit ett större forskningsområdet från 1970-talet och framåt (Huang & Lu, 2018). Värmeöeffekten som fenomen innebär att den uppmätta temperaturen i staden överstiger den samtidigt uppmätta temperaturen utanför staden med flera grader (McPherson, 1990).

2.2.1. Orsaker till värmeöeffekten

Miljön som uppstår i staden till följd av dess uppbyggnad skiljer sig från den mer naturliga miljön i stadens omnejd. Den kanske mest uppenbara skillnaden mellan den rurala miljön och den urbana är andelen permeabla ytor. I Skåne, inte olikt alla urbana miljöer, utgörs landskapet utanför staden i väldigt stor utsträckning av åker-, betes- och skogsmark, och just Malmö även av hav. Ytor bestående av permeabla material tillåter inte endast nederbörd att infiltrera från ytan utan möjliggör även evaporation i mycket större utsträckning (Kleerekoper, van Esch, & Baldiri Salcedo, 2012).

Mindre evaporation i staden än i den rurala miljön är bara en del av problematiken. Värmebildning generellt i staden beror utöver evaporation på olika ytors albedo, förekomsten av aerosoler och växthusgaser i atmosfären samt stadens morfologi (IPCC, 2015; Bernes, 2016).

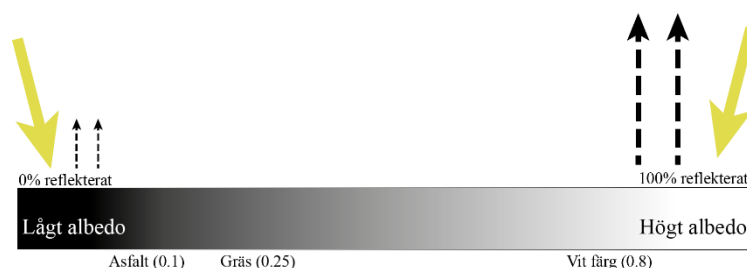
Evaporation och transpiration

Evapotranspiration, summan av växters transpiration och ytors evaporation, är en mycket viktig komponent i vattnets kretslopp. Evapotranspirationen bidrar till återkommande nederbörd genom återförande av vatten till atmosfären och i sin tur reglering av temperaturen då den relativa luftfuktigheten ökar (Armson et al., 2012). Generellt sett upplevs temperaturen vid högre relativ luftfuktighet, fuktigheten angiven i procentuell enhet, som varmare då en atmosfär med högre mätnadsgrad av vatten resulterar i att människans naturliga temperaturreglering, svett, försämras; svetten kan inte evaporera till atmosfären i samma utsträckning vilket annars resulterar i en kylande effekt. Under varma sommardagar råder

generellt lägre relativ luftfuktighet (SMHI, 2021c) och evapotranspirationen som ökar mätnadsgraden av vatten i luften kan därmed tänkas öka den upplevda temperaturen. Vid högre temperaturer är luften högre upp i atmosfären jämförelsevis torrare. På grund av koncentrationsskillnader i luftfuktigheten transporteras sedan vattenmolekyler, som tillsatts av evapotranspiration, till atmosfärens torrare delar genom diffusion. I och med det transporteras även kännbart värme (sensible heat) genom diffusionen av vattnet från evapotranspirationen och driver således transporten av värmets uppåt och en temperatursänkning uppstår (Oke, 1987).

Ytors reflektionsförmåga

Albedo beskriver en ytas förmåga att reflektera värmestrålning som alstras då solljus belyser den (Bernes, 2016). Olika ytor har olika albedo och i allmänhet reflekterar ljusare ytor (exempelvis istäcken) mer värmestrålning, det vill säga högre albedo, medan mörkare ytor (exempelvis asfalt) har ett lägre albedo och reflekterar mindre värmestrålning (ibid.) (se figur 1). Då staden i hög grad består av mörka ytor i form av asfalt och andra mer eller mindre mörka tegel- eller stenbeläggningar samt många mörka fasader ansamlas en större andel värmestrålning och därmed sker en värmebildning (Taha, 1997).



Figur 1. Illustration som förtydligar innebörden av albedo.

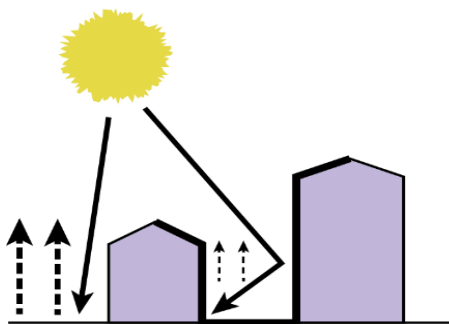
Aerosoler och växthusgaser

Aerosoler är små luftburna partiklar och utgörs i stor utsträckning av växthusgaser som exempelvis koldioxid. (IPCC, 2015). Förekomsten av aerosoler i atmosfären kan göra sig tillkännä i form av smog vilket genom en högre koncentration partiklar ökar luftens densitet. Därmed minskar andelen återstrålat solljus till atmosfären och bidrar således ytterligare till värmebildningen då värmeenergin stannar i stadsrummet (Bernes, 2016). Aerosoler förekommer naturligt i atmosfären, men forskning har visat att mänsklig aktivitet i och kring städer är en stor källa till en ökad mängd aerosoler i luften. Källan till de mänskligt tillförda aerosolerna är framför allt förbränning av fossila bränslen vilket sker till stor del i städerna till

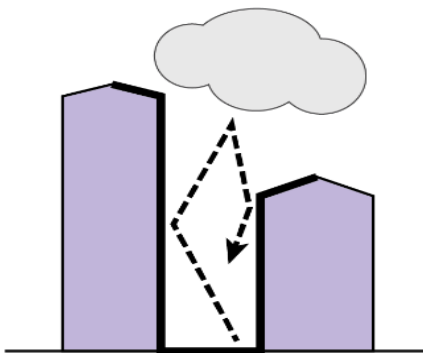
följd av en hög koncentration av trafik och industriell verksamhet (IPCC 2015; SMHI, 2021b).

Stadens morfologi

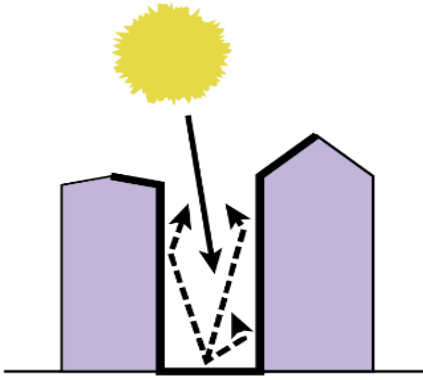
Stadens hårdgjorda form verkar tillsammans med evapotranspiration, albedo och aerosoler. Omständigheten som uppstår i staden kan sammanfattas i sju olika företeelser. Företeelser som förorsakar negativa konsekvenser vilka bidrar till högre temperaturer i staden än i rurala miljöer illustreras i figur 2–8, inspirerade av Kleerekoper, van Esch och Baldiri Salcedo (2012).



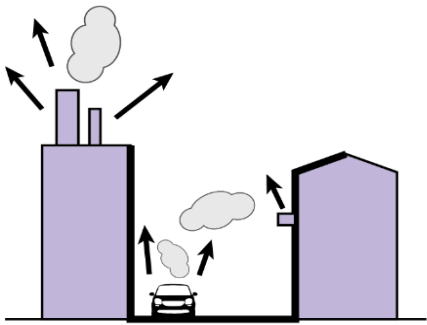
Figur 2. Ytmaterial med lågt albedo alstrar värmestrålning och minskar andelen som reflekteras till atmosfären.



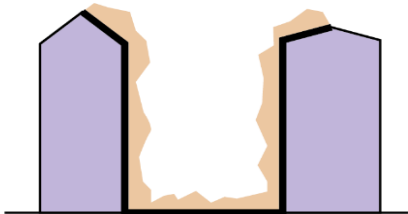
Figur 3. Luftföroreningar återspeglar värmestrålningen till stadsrummet i stället för att återföra den till atmosfären.



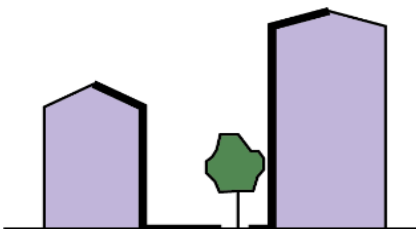
Figur 4. Höga hus skapar djupa urbana kanjoner där värmestrålningen reflekteras och absorberas av flera ytor, det sker en värmebildning.



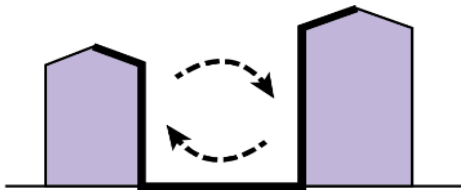
Figur 5. Mänsklig aktivitet i form av förbränning av transportmedel, industriell verksamhet och luftkonditionering tillför värme.



Figur 6. Den högre värmehållande förmågan i materialen varav staden är uppbyggd samt dess större ytarea i jämförelse med landsbygden innebär en större värmehållande förmåga.

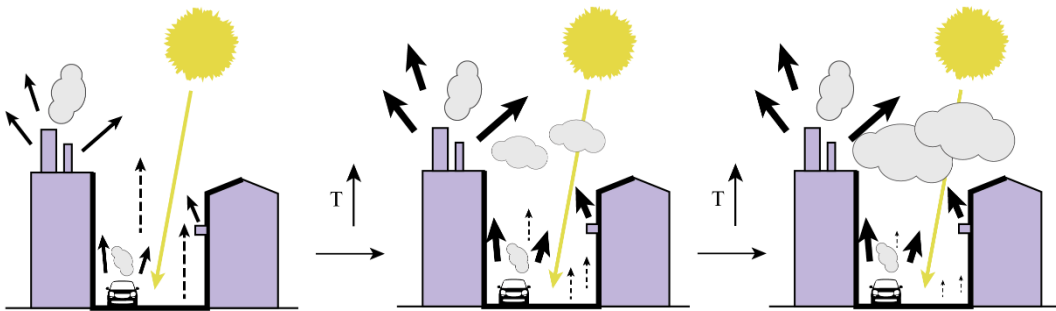


Figur 7. Högre andel hårdgjorda ytor och mindre andel vegetation innebär lägre evapotranspiration och därmed en mindre temperaturdämpande effekt.



Figur 8. Begränsad vindhastighet på grund av bebyggelse resulterar i mindre turbulent värmetransport från stadsrummen.

Enligt Gago et al. (2013) har forskning visat att högre temperaturer i staden resulterar i ökad energianvändning för kylning samt ökad förekomst av smog, vilket stärker effekten av värmeöen (se figur 9). Vidare konstateras att temperaturen i amerikanska städer har ökat med upp till 3°C sedan 40-talet samt att energibehovet ökat med 2–4% för varje grad i temperaturökning.



Figur 9. Ökat behov av exempelvis luftkylning innebär en ökning av utsläpp och resultatet blir en ökad mängd smog och ytterligare högre temperatur vilka förstärker varandra i en ond cirkel.

2.3. Värme i staden

2.3.1. Människan i värmeöen

Enligt SMHI (2022) är definitionen av en värmebölja en period då dygnets högst uppmätta temperatur är minst 25°C minst 5 dagar i rad. Vad som klassas som en värmebölja i Sverige understiger kriterierna som många av de sydeuropeiska länderna kräver, men med ett kallare klimat över lag upplevs värmen enligt SMHI:s definition ändå som besvärande för människor i Sverige. SMHI:s arbete med klimatmodeller (2021a) har visat att så som utvecklingen fortskrider kommer klimatförändringarna fortsätta i samma riktning vilket kommer resultera i en generellt högre medelårstemperatur. Forskning har visat att ett varmare klimat ökar sannolikheten att extrema väderfenomen som stora skyfall och översvämningar samt värmeböljor och perioder av torka förekommer (ibid.) Högre temperaturer och speciellt värmeböljor kan innebära en hälsofara (Folkhälsomyndigheten, 2020).

Vid hög temperatur ökar risken för uttorkning, värmeslag och hjärtinfarkt vilket kan leda till allvarliga utfall beroende på den drabbades allmäntillstånd (ibid.). Sommaren 2003 utgjorde en extrem och var en av de mest dödliga naturkatastroferna i Europa under det senaste århundradet (Britannica, 2019). Utöver en mycket hög dödlighet resulterade dessutom den höga temperaturen även i höga vattentemperaturer och låga grundvattennivåer vilket förorsakade de franska kärnkraftverken att stängas ner när efterfrågan på el var som störst (ibid.). Således kan konsekvenserna av extrema värmevågor vara förödande för samhället och dess infrastruktur likväl som för den enskilde människan.

Thermal comfort, vilket översätts direkt som termisk komfort eller mer beskrivande som bekväm temperatur, är ett begrepp som används för att beskriva en persons uppfattning och välbefinnande i en speciell omgivnings temperatur (Taleghani, Kleerekoper, Tenpierik & van den Dobbelsteen, 2015). Enligt tidigare fastställda faktorer som bidrar till värmeeffekten konstaterar flera forskare att det framför allt är strålningsvärme, både från direkt solljus och återspeglat från olika ytor, och lufttemperatur som påverkar den termiska komforten (ibid.; Andreou, 2013). Eftersom termisk komfort representerar upplevd värme görs temperaturmätningar med en globtermometer i stället för med en vanlig termometer vilken tar hänsyn till luftfuktighet, vind och strålningsenergi (Armson et al., 2012). Då termisk komfort är direkt kopplat till temperaturen i staden är det särskilt relevant att vidta åtgärder för att motverka värmeeffekten för att förbättra människans tillvaro i den urbana miljön.

2.3.2. Verktyg för att motverka värmebildning i staden

För att förbättra människans levnadsvillkor i en urban miljö är det av vikt att motverka värmeeffekten. Forskning har visat på flera olika åtgärder som kan ha en inverkan mot värmebildningen i staden.

Inslag av vatten

Vatten bidrar bland annat genom att kyla luften med evaporation eller absorption av värme tack vara ett lågt albedo. I havsnära städer som exempelvis Malmö med kanaler kan värmen transporteras genom vattnets rörelse och således omplaceras från vattensamlingar med lägre värmehållande kapacitet (kanaler) till havet vilket till följd av sin volym har en högre värmehållande förmåga (Kleerekoper, van Esch & Baldiri Salcedo, 2012).

Material och form

Hårdgjorda ytor kan förhindra värmebildning i staden och således motverka värmeöeffekten. Användandet av ljusa material i fasader och på marken kan bidra till reflektion av ljus snarare än absorption av det vilket resulterar i mindre värmebildning (Wang, Berardi & Akbari, 2016). Om höga byggnader upprättas nära varandra uppstår urbana kanjoner i vilka värme fångas och värmetransport förhindras på grund av ett lägre turbulent luftflöde. Förekomsten av vegetation i gaturummen bidrar dock till en ökad turbulent lufttransport (ibid.) Andelen ytor med mer permeabla material (både hårdgjorda ytor av exempelvis grus samt vegetationsytor som gräsmattor och rabatter) påverkar också temperaturen då både högre infiltration och evaporation möjliggörs; vid infiltration saktas avrinningen av dagvatten till avloppssystem ner och en större andel kan därför evaporera (Kleerekoper, van Esch & Baldiri Salcedo, 2012).

Gröna inslag

Vegetation i staden kan användas för att motverka värmeöeffekten. Levande vegetation transpirerar och tillsammans med evaporation (från permeabla hårdgjorda ytor, gräsmattor och planteringsytor) kyler tillförseln av vatten till atmosfären temperaturen (Kleerekoper, van Esch & Baldiri Salcedo, 2012). Större vegetationsytor medför dessutom en lägre bebyggelsestäthet och tillåter en större återstrålning av värme på nätterna (Wang, Berardi & Akbari, 2016). Vegetation kyler även genom att direkt skugga material med lågt albedo. Således förhindras ytterligare värmeuppbbyggnad under dagen för att sedan resultera i mindre återstrålad värme till stadsrummet på natten (ibid.)

Vegetationen som verktyg för att motverka värmeöeffekten är fokus för litteraturstudien och särskilt vilka egenskaper hos träd som motverkar värmebildning i staden.

3. Material och metod

3.1. Litteraturstudie

Litteraturen i vilken litteraturstudien grundar sig utgörs av vetenskapliga artiklar publicerade i diverse vetenskapliga tidskrifter med anknytning till studiens ämnesområde; det vill säga tidskrifter som samlar artiklar inom exempelvis energi och byggnader, klimat, resurser och förnybar energi, urbana skogar och urbana grönytor, tillämpad energi och tillämpad och teoretisk klimatologi samt landskap och urban planering. Insamling av litteratur har gjorts i Web of Science, Scopus och Primo. Urval med avseende på trovärdighet har skett enligt:

- Publikationer utan uppenbara intressekonflikter.
- Publikationer publicerade som del av forskning vid ett universitet.
- Publicering i etablerad tidskrift.

I och med studiens ämnesområde inom vegetation och klimat och med staden Malmö som referensplats är geografisk och/eller klimatisk närhet samt liknande stadsuppbyggnad av relevans för att kunna göra en jämförelse mellan funna egenskaper och tendenser i materialet. Kriterier för val av publikationer utifrån relevans för studien har därför skett likt följande:

- Hög ämnesrelevans, matchning med sökord (se tabell 1).
- Geografisk närhet och likt klimat.
- Platser med liknande klimat men utan geografisk närhet.
- Ingen litteratur äldre än 15 år har valts ut till litteraturstudien.

Tabell 1. Använda sökord med trunkeringar och med booleska operatorer mellan respektive sökterm.

tree*	AND	(propert* OR trait*)	AND	urban*	AND	cool*	AND	mitigat*
-------	-----	----------------------	-----	--------	-----	-------	-----	----------

I litteraturen identifierades olika egenskaper hos träd som bidrar till att motverka värmeeffekten. De egenskaperna sorterades in i tre olika kategorier som beskriver olika vis ett träd kan bidra till minskad värmebildning i staden. Olika faktorer som leaf area index och leaf area density, transpirationsgrad och kronarkitektur jämförs i litteraturen och sammanställs slutligen i en tabell som visar de mest bidragande faktorerna till en minskad värmeoeffekt.

3.2. Material från Malmö stad

Materialet från Malmö stad är statistik rörande de 10 mest planterade träden i Malmö indelat i 5-årsperioder från 1998–2018. Statistiken är hämtad från en föreläsning av Edit Stormwalther, en landskapsarkitekt vid Malmö stad som arbetar med projektering och växtval, som hölls i kursen *Vegetationsbyggnad – material och projektering* (LK0353).

Statistiken plockades från materialet och omarbetades för att även visa de tio mest planterade arternas familjetillhörighet. Detta för att belysa och jämföra Malmö stads planteringsstrategi med 10-20-30-regeln. De tio mest planterade arterna från 2018 och framåt beskrivs sedan kortfattat utifrån deras fysiologiska egenskaper, ståndortskrav och härdighet (Sjöman & Slagstedt, 2015).

Slutligen jämförs trädens funna egenskaper med de konstaterade kriterierna från avsnitt 4.1. för att visa om/vilka av de tio mest planterade arterna kan användas för att motverka värmeoeffekten i Malmö.

3.3. Avgränsningar

Avgränsningar för undersökningen har till stor del varit av geografisk karaktär då litteraturen i stor utsträckning härrör ur studier från Tyskland, Österrike, Ungern och Storbritannien. Urvalet har gjorts med avsikt på klimatiska omständigheter som råder i länderna där studierna är utförda vilka är applicerbara på fokusområdet Malmö. Jämförbarheten har ansetts hög då klimatet i Centraleuropa, enligt Köppens klimatklassifikation, motsvarar klimatet i södra Sverige idag alternativt vilket det kommer utvecklas till i framtiden.

En annan viktig avgränsning som har gjorts är valet att fokusera på effekten av träd i den urbana värmeön. Forskning har visat på motverkande effekter vid implementering av vattenfunktioner i staden och förekomsten av parker. Ett personligt ökat intresse för växtval och träds kvaliteter har motiverat den här avgränsningen.

Avgränsningar gjordes i val av litteratur bland annat med avseende på relevans, och framför allt med hänsyn till tid sedan publicering. Ingen litteratur äldre än 15 år förekommer i litteraturstudien och endast två källor äldre än så förekommer under avsnittet med material från Malmö stad. De förekommer endast för att belysa olika planteringsstrategier utifrån ett historiskt perspektiv. Tid sedan publicering ansågs vara en relevant avgränsnings trots att kännedomen av värmeöeffekten förekommit sedan åtminstone 1950-talet. Motiveringen för det är att mycket av forskningen som förekommit kring trädets olika effekter på värmeöns publicerats under det nuvarande århundradet. Det anses därför mer relevant då den samtida forskningen bygger på tidigare erfarenheter och kan utföras med modern utrustning.

Malmö stad valdes slutligen som fokusområde på grund av dess geografiska närhet till platserna där litteraturstudierna ägde rum samt dess framträdande arbete med ett hållbart och långsiktigt växtval av träd i hårdgjorda ytor (Food and Agriculture Organization of the United Nations, u.å.).

4. Resultat

4.1. Litteraturstudie

Vid insamling av litteratur har fokus varit på vegetationsanvändning i staden som verktyg för att motverka värmeeffekten och mer specifikt på trädens egenskaper. I materialet har olika karaktärsdrag kunnat identifieras och studerats vilka kan sammanfattas i följande kategorier:

1. Kylning av ytemperatur genom skuggning
2. Kylning av lufttemperatur
3. Förbättring av termisk komfort

4.1.1. Kylning av ytemperatur

Rahman et al. (2019) jämförde i sin studie i München *Tilia cordata* och *Robinia pseudoacacia* med avsikten att undersöka de två arternas kylande effekter genom transpiration och skuggande förmåga. Karaktärsdraget som de konstaterade var viktigast var leaf area index (LAI = bladyta i m² per m² krona). Ytorna de undersökte var asfalt- och gräsytor som låg direkt under eller i nära anslutning till träden. De fann att arterna hade en kylande effekt på båda typerna av ytor, men att skillnaden mellan dem var som störst på de asfalterade ytorna. De förklarar det här som ett samspel mellan både trädens LAI och de två ytornas evaporationsförmåga. *T. cordata* hade ett uppmätt LAI 40% högre än *R. pseudoacacia* (3,64 och 2,61). På asfalten kylde *T. cordata* ytan med 25,6°C medan *R. pseudoacacia* kylde med 12,7°C i jämförelse med gräsytan där de kylde med 9°C och 8°C respektive. Den stora differensen mellan de två ytorna menar de beror på ytornas evaporationsförmåga; på asfaltsyten sker i princip ingen evaporation i kontrast till gräsyten. *T. cordatas* högre LAI innebär även en högre skuggningsgrad vilket resulterar i den stora skillnaden för ytorna. De förklarar att det på gräsyten inte är lika märkbar skillnad mellan arterna då gräset är mindre värmealstrande och med evaporation bidrar till en lägre ytemperatur.

I en annan studie i Dresden (Gillner et al., 2015) undersöktes liknande omständigheter (endast ytttemperaturen av asfalt) fast med andra arter; *Aesculus x carnea* 'Hayne', *Corylus colurna*, *Liriodendron tulipifera*, *Ginkgo biloba*, *Tilia cordata* 'Greenspire' och *Ulmus x hollandica* 'Lobel'; och med leaf area-density (LAD = bladyta i m² per m³ krona) i stället för LAI. De visade att med varje enhetsökning av LAD ökar kylkapaciteten av ytttemperaturen med upp till 4,63°C. Arterna med högst LAD var *C. colurna* och *T. cordata* 'Greenspire' (2,51 och 2,56) vilka gav den största differensen i ytttemperatur, 15,2°C och 13,5°C, medan *G. biloba* och *U. x hollandica* presterade sämst med en kylande effekt av 5,8°C respektive 6,2°C. Både Gillner et al. (2015) och Rahman et al. redovisar liknande resultat och en stark korrelation mellan arternas bladdensitet och deras kylande effekt.

Hellegruber et al. (2020) undersökte i en annan studie samma effekter av trädens egenskaper, i det här fallet av arterna *Acer platanoides*, *Acer platanoides* 'Globosum', *Aesculus hippocastanum*, *Aesculus x carnea*, *Corylus colurna*, *Platanus x hispanica* och *Tilia cordata*. Studien var till skillnad från de två tidigare inte begränsad till en stad utan genomfördes i Dresden, Salzburg, Szeged och Wien parallellt. De utgick dessutom från fler parametrar vad gäller trädens egenskaper och identifierar trädart, trädhöjd och LAD som de tre största faktorerna som påverkar ett trädets kylande effekt på en yta. *A. platanoides* 'Globosum' och *A. hippocastanum* gav högst temperaturdifferens på ytan och var även arterna med högst LAD. Samtliga faktorer fann forskarna ha en stark korrelation med en trädarts skuggande effekt och förklarar det med att trädets olika egenskaper i form av LAD, kronform och kronhöjd är starkt kopplade till arten.

Även en studie av Armson, Rahman och Ennos (2013) fick ett liknande resultat då de fann att effekten av ett trädets skugga beror till väldigt hög grad på kronans egenskaper. Enligt deras studie fann de ett signifikant positivt samband mellan ett trädets LAI och dess kylande verkan. Studien gjordes i Manchester och inkluderade arterna *Crataegus laevigata*, *Sorbus arnoldiana*, *Prunus* 'Umineko', *Pyrus calleryana* och *Malus* 'Rudolph'. Av de inkluderade arterna var det *C. laevigata* och *P. calleryana* som hade högst uppmätt LAI och bidrog med högst kylning av ytan, 16°C och 15°C vardera i jämförelse med ca 10°C reduktion av resterande arter. De resonerade även kring en trädindividuets kronform och storlek som starkt bidragande till effekten av skuggan och menade att en krona som har ett förhållande mellan höjd och bredd närmre 1 har en starkare kylande effekt än en krona som är mer långsmal. De menar att en art med en smalare och högre krona skuggar samma yta under kortare tid än den mer runda jämbreda kronan som därigenom uppnår en högre kyleffekt. Likt Armson et al. (2013) visade även en annan studie (Speak et al., 2020) att det är just trädets kronform och LAI som bidrar till större skuggeffekt. De fann likt studier ovan att högre LAI gav en större kylande effekt

samt att en bred krona resulterade i en större kylning än en hög krona och att skärmlika och pyramidala kronor tillsammans med högt LAI resulterade i störst inverkan.

4.1.2. Kylning av lufttemperatur

Till skillnad från vad Armson et al. (2013) fann om kylning av ytemperatur visade studien däremot inte på någon signifikant reduktion av lufttemperatur under träden i undersökningen då den uppmättes till endast 0,1°C. Dels förklarar de resultatet med att de använda termometrarna har en felmarginal på 0,2°C, dels att de studerade trädindividerna var av ganska ung ålder (ca 13 år) och hade relativt små kronor och det förekom en lätt bris. Därmed skulle varm luft enkelt transporteras in under kronorna från omgivningen genom advektion. Gillner et al. (2015) visade emellertid en temperaturminskning på 0,9–2,6°C under träden och en relativ luftfuktighet 0,5–6,4% högre än i omgivningen. Den största differensen i deras undersökning gäller även för den här kategorin arterna *C. colurna* och *T. cordata* 'Greenspire' vilka hade högst LAD. Forskarna visade även att *C. colurna* och *T. cordata* 'Greenspire' erhöll den högsta uppmätta transpirationsgraden. Temperaturminskningen konstaterar de beror på hög LAD och hög transpirationsgrad, men för att större temperaturförändringar ska ske krävs signifikant ökning av LAD eller transpirationsgrad. De menar att med en tätare krona blockeras en större andel värmestrålning och således sker en lägre värmealstring i ytorna under trädkronan. Den högre luftfuktigheten bidrar också till en lägre temperatur.

Studien av Helletsgruber et al. (2020) visade en sänkning av lufttemperaturen för samtliga arter i undersökningen varav *A. x carnea* visade lägst förändring på 2,7°C *P. x hispanica* störst förändring på 5,1°C. Resultaten funna av Armson et al. (2013) som inte visade någon signifikant reduktion skiljer sig väldigt mycket från den här studien medan Gillner et al. (2015) likt den här fann en reduktion vilken dock inte var av samma magnitud. Helletsgruber et al. (2020) fann att den största bidragande faktorn till en ökad temperaturminskning låg i trädets stamomkrets. De motiverar fyndet med att det finns en stark korrelation mellan trädets stamomkrets och flera andra av trädets morfologiska parametrar: kronarea, kronvolym och trädhöjd. Dessutom visade de att de funna parametrarna tillsammans med en lägre kronhöjd gav den absolut största inverkan på lufttemperaturen.

Likt studierna ovan visade även Rahman et al. (2019) en temperaturminskning under träden undersökta i studien. En minskning på 0,9°C och 1,6°C respektive påvisades för *R. pseudoacacia* och *T. cordata*. Även här fann de ett samband mellan transpirationsgraden av arterna och en temperaturminskning. Den genomsnittliga transpirationen var nämligen nästan dubbelt så hög för *T. cordata* som *R.*

pseudoacacia, 0,09 ml cm⁻² min⁻¹ i jämförelse med 0,05 ml cm⁻² min⁻¹. Däremot visade *R. pseudoacacia* en mer regelbunden transpiration under dagen medan transpirationen minskade för *T. cordata* fram mot eftermiddagen, vilket resulterade i en mindre signifikant temperaturdifferens under träden vid dagens senare timmar. De fann även att tack vare ett lägre vattenbehov och en glesare krona hos *R. pseudoacacia* förekom en högre jordfuktighet och jordtemperatur vilket därmed innebar en lägre lufttemperatur närmre marken på gräsytor än under *T. cordata*.

I en metaanalys av Rahman et al. (2020) samlade de en stor mängd litteratur för att undersöka dess resultat kring effekten av trädets olika egenskaper på deras temperaturminskande förmåga. De drog slutsatsen att den absolut största bidragande faktorn till lägre lufttemperaturer är kopplad till ett trädets LAI och att det vidare var kopplat till en högre tillväxtgrad och slutstorlek. Lövträd lämpar sig bäst för det kylande ändamålet, men de menar att barrträd också kan användas om ståndorten lämpar sig och skugga är viktigare än transpiration då barrens anatomi begränsar transpirationsgraden i jämförelse med vanliga blad. De fann även att träd med tunnare (<0,15 mm) och enkla blad bidrar med mer kylning än de med sammansatta och medeltjocka (>0,15 mm) blad genom en mycket högre grad transpiration där vattentillgången inte är begränsad.

4.1.3. Förbättring av termisk komfort

För att kunna bestämma olika trädets påverkan på termisk komfort använde sig Helletsgruber et al. (2020) av en wet bulb globe thermometer (WBGT). De fann en temperaturminskning från 3,1°C (*A. platanoides* 'Globosum') till 4,7°C (*P. x hispanica*). Den största faktorn som påverkade resultatet var klimatet som träden befann sig i. Då studien genomfördes i flera olika länder befann de sig i något varierande klimatzoner och de upptäckte till följd av det att träd i ett varmt tempererat klimat (Cfb/Cfa) hade en större kylande effekt än de i ett kalltempererat klimat (Dfb). Liket tidigare kategorier fann de återigen även effekten av större stamomkrets, kronvolym och låg kronhöjd som starka faktorer för att uppnå en större temperaturdifferens. Forskarna menar att faktorerna samspelar för att skugga en specifik punkt under längre tid vilket medför ett större tidsintervall för trädets egenskaper att ge effekt.

Armson et al. (2012) fann också en signifikant förbättring av termisk komfort då de mätte temperaturminskningar mellan 5–7°C med en globtermometer i skugga, det var däremot ingen större skillnad i temperaturen i skugga vid ytor av betong i jämförelse med gräs. De fann dock att lufttemperaturen vid de solbelysta gräsytorerna nådde något högre temperaturer än de av betong. De förklarar att det med stor sannolikhet beror på att gräset har ett högre albedo än betongytan och därmed återspeglar en större andel värmestrålning vilket fångas av den här typen av

termometer. Studien av Armson et al. (2013) visade också på en förbättring av den termiska komforten då de med en globtermometer mätte en genomsnittlig temperaturminskning på 4°C. De fann i början av sommaren att *C. laevigata* uppnådde en högre kylningsgrad än de andra arterna vilket de menar beror på att *C. laevigata* uppnår sin maximala LAD tidigare än övriga arter i undersökningen och därmed kan uppnå en större effekt.

Metaanalysen av Rahman et al. (2020) konstaterade att de två mest inverkanseffektiva faktorerna på termisk komfort grundar sig i ett trädets skuggnings- och transpirationsförmåga. Den viktigaste egenskapen hos trädet menar de sedan är ett trädets LAI eftersom en tätare krona bidrar till en andel värmestrålning som blockeras av kronan. Därmed uppstår en större skuggande effekt som resulterar i en mindre andel värmealströmning och begränsad andel värmestrålning som markytan kan tillföra och således en lägre temperatur med högre termisk komfort.

4.1.4. Summering

Resultatet från studierna och de tre kategorierna kan summeras enligt tabell 2 nedan.

Tabell 2. Sammanställning av parametrar som bidrar till ett trädets kylande egenskaper.

Kylning av ytemperatur	Kylning av lufttemperatur	Förbättring av termisk komfort
Högt LAI/LAD	Högt LAD/LAI	Högt LAD/LAI
Kronform med höjd-/breddförhållande = 1	God och jämn transpiration under dagen – vattensnåla	Större effekt av träd i varmt tempererat klimat
<i>Eller:</i>	Högt träd med låg nedre kronhöjd	Hög kronvolym och låg nedre kronhöjd = långvarig skugga på samma yta
Pyramidal eller skärmlik krona	Lövträd > barrträd	
Vilken markyta som skuggas – asfalt > gräs	Tunna blad (<0,15 mm) > tjocka blad (>0,15 mm)	
	Enkla blad > sammansatta blad	

Den studerade litteraturen var enig om trädens inverkan på mikroklimatet i staden och vidare trädets motverkande effekt på värmeönskan. Den största faktorn hos ett träd som bidrar till minskad värmebildning är trädets LAI och LAD tillsammans med en stor kronvolym och låg nedre kronhöjd. Transpirationen framkom ur

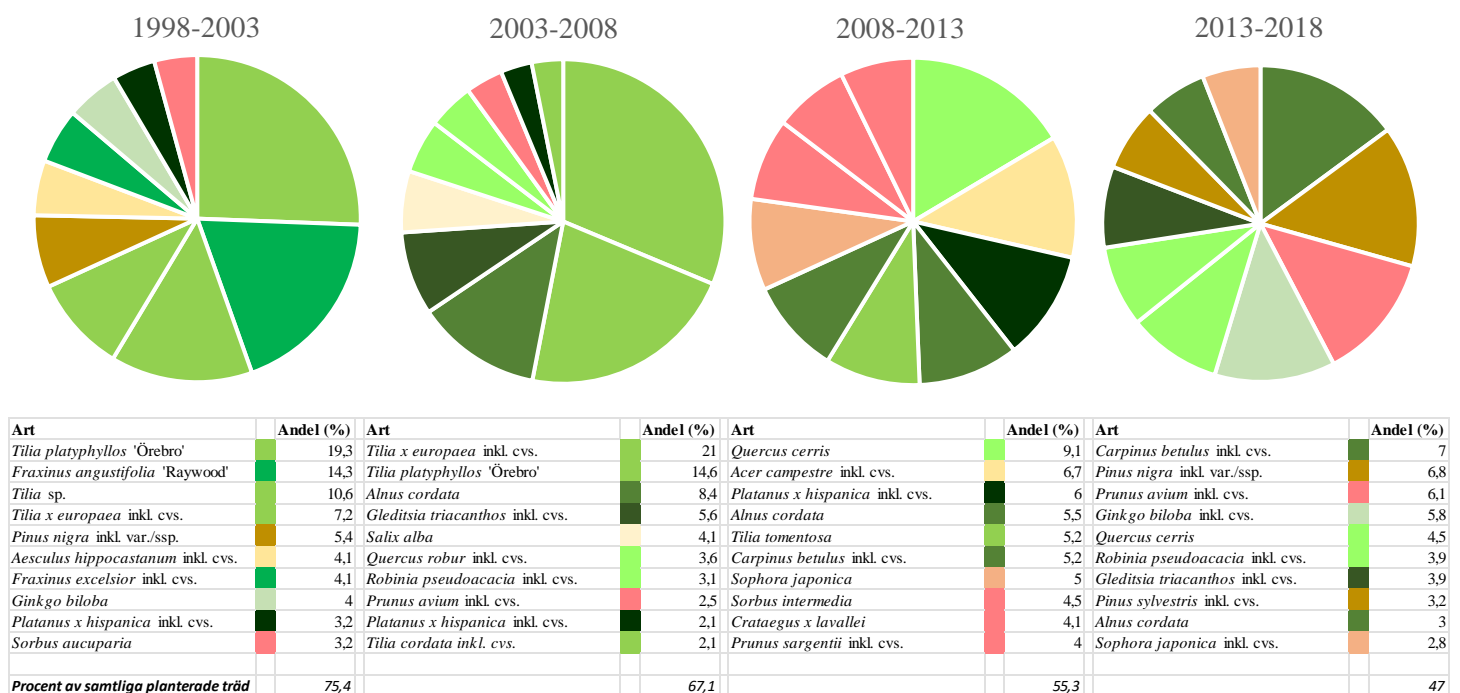
litteraturstudien som viktig i reglerandet av lufttemperatur samt förbättrandet av termisk komfort. En jämn och kontinuerlig transpiration under dagen var mer gynnsam för att ha en inverkan på temperaturen än en mycket hög transpiration.

Trädets kronform samverkar med faktorer som LAI och LAD då kronans form påverkar dess skuggningsgrad. En smal krona skuggar en mindre yta medan en pyramidalt eller skärmformad skuggar en avsevärt större yta. Det är just med avseende på transpiration som barrträd har en begränsad motverkande effekt i jämförelse med lövträd, men de kan beroende på artens habitus likväl bidra med skugga för att reglera yttemperaturer.

4.2. Malmö stads planterade träd

Under en föreläsning av Stormwalther¹ presenterades statistik över vilka tio trädarter som Malmö stad planterat mest av i hårdgjorda ytor. Statistiken sträcker sig över 5-årsperioder från 1998 till 2018 och är sammanställd i figur 10 under nästa avsnitt.

4.2.1. De mest planterade träden 1998–2018



¹ Edit Stormwalther, landskapsarkitekt, Malmö stad, föreläsning 2021-12-13.

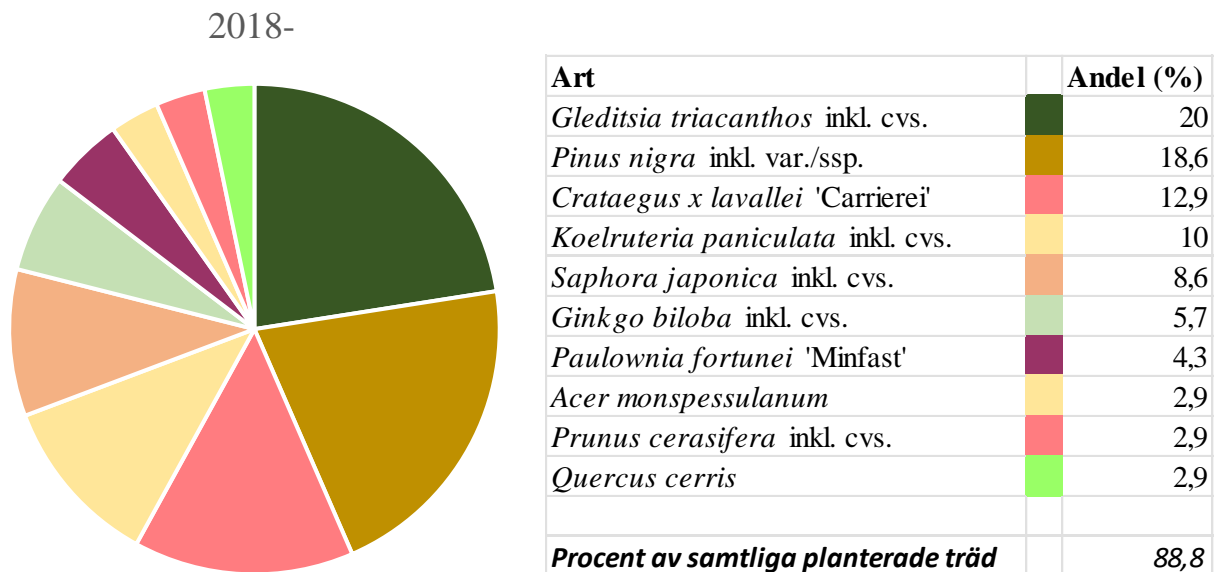
Figur 10. Grafisk representation över de 10 mest planterade träden i Malmö stad indelat i 5-årsperioder sedan 1998. Färg motsvarar artens familj. Obs.: Summan av andelarna utgör inte 100% av planterade träd under respektive period.

Ur cirkeldiagrammen med tillhörande tabeller kan fördelning av de tio mest planterade arterna utläsas samt hur många olika familjer arterna tillhör. Under samtliga perioder härrör de vanligaste planterade träden från 7 olika familjer varav samtliga däremot inte är representerade varje period. Santamour (1990) argumenterade i en artikel för 10-20-30-regeln vilken förespråkade att plantera högst 10% av samma art, 20% av samma släkte och 30% av samma familj i urban miljö. Förslaget uppkom efter framfarten av almsjukan i USA och var ämnat som en strategi för skydda växtligheten i urbana miljöer från sjukdomar genom en ökad diversitet. Regeln har enligt Kendal, Dobbs och Lohr (2014) använts i stora delar av världen som riktlinje vid förvaltning och planering av urban vegetation.

Det vanligaste planterade släktet för perioderna 1998–2003 och 2003–2008 var överlägset *Tilia* som motsvarade 37,1% respektive 37,7% av samtliga planterade träd. Den planteringsstrategin sammanfaller inte med tumregeln presenterad av Santamour (1990), men vid de två följande 5-årsperioderna syns det en trend som tyder på förändrad en förändrad strategi och en ökad diversitet. Dels utgjorde det störst representerade släktet endast 14,3% (*Tilia*) samt 7% (*Carpinus*) under respektive period, dels utgör de tio mest planterade arterna en markant minskad andel av den totala mängden planterade träd.

Malmö stad arbetar till synes med Santamours strategi, men tillämpar enligt Stormwalther en något striktare strategi vilken är mer i linje Barkers (1975) förslag om att plantera högst 5% av samma art. Malmö stad strävar nämligen efter att uppnå en fördelning av högst 5% av varje art, 10% av varje släkte och 20% av varje familj med en hög varietet av 1000 olika arter och sorter. I figur 11 visas andelen planterade träd från 2018 och framåt.

4.2.2. De mest planterade träden 2018-



Figur 11. Sammanställning av de tio mest planterade arterna i Malmö stad sedan 2018.

Som går att utläsa ur figur 11 härstammar de tio mest planterade träden från åtta familjer och de dominerande arterna är *G. triacanthos* och *P. nigra*. De två arterna utgör också den största representationen av två familjer på 20% respektive 18,6% vilket är i linje med målet att plantera högst 20 % av en och samma familj. Nedan följer en sammanställning av de tio trädens egenskaper, härdighet och ståndortspreferenser (Sjöman & Slagstedt, 2015):

1. *G. triacanthos* – Blir 4–25 m hög och 5–8 m bred beroende på sort. Som ung med smalt habitus, utvecklar med tiden ett brett skärmlikt habitus. God torkuthållighet och vattenhushållning samt värmegynnad.
2. *P. nigra* – 10–15 m hög (kan bli 30–40 m i optimala förhållanden). Som ung pyramidformat habitus, blir med tiden brett kvastformigt med horisontella grenvåningar. Skuggtålig, värmegynnad och salttålig vilket gör den väl anpassad till stadsmiljön. Grova barr och mörka toner från bark till barr ger ett mycket mörkt intryck.
3. *C. x lavalleyi* 'Carrierei' – Blir 5–7 m hög och 5 m bred. Tunt och spinkigt habitus som ung, men utvecklas till brett rundad med mycket tät krona. Klarar en mycket varm och delvis torr ståndort och är även tålig mot vindutsatta miljöer och luftföroreningar.
4. *K. paniculata* – Blir 4–8 m hög (kan bli 15 m i naturen) med en lika bred krona. Som ung mycket tunn och oregelbunden kronform men utvecklar

en tät rund krona med åren. Mycket värmetålig och frodas i full sol och är torktålig efter ordentlig etablering (innan dess mycket känslig för torka). Bör inte stå i allt för vindutsatta lägen.

5. *S. japonica* – Blir 15–20 m hög och 12–18 m bred och bildar ett brett skärmformat habitus. Gles grenarkitektur och sent bladutspring. Värme- och torktålig och fungerar väl i stadsmiljö.
6. *G. biloba* – Blir som högst 15 m i Sverige och 4–7 m bred. Unga träd mycket smalt habitus med korta grenar. Utvecklar en relativt tät krona sommartid trots glest grenverk. Får ett oregelbundet pyramidalt habitus som äldre. Värmegynnad med dålig utveckling i skugga men torktålig och hårdig mot luftföroreningar.
7. *P. fortunei* 'Minfast' – Blir upp till 12 m högt och 6–8 m brett. Träd med enormt snabb tillväxt. Som ung upprätt koniskt växtsätt, men blir brett skärmlikt med åren. Gles grenarkitektur med stora blad som ger en rik skuggning. Mycket värmekrävande och näst intill inte hårdig i Sverige om inte planterad i större kvaliteter.
8. *A. monspessulanum* – Blir 6–8 m hög och utvecklar en 6 m bred krona. Hårdigt träd med hög torktålighet och värmegynnad men däremot saltkänslig. Något läderaktiga blad.
9. *P. cerasifera* – Blir 5–7 m hög och 3–6 m bred. Som ung ett smalt pyramidalt habitus som utvecklas till en bredare rund till oregelbunden krona. Värmetålig och värmegynnad men tål halvskugga, torka och vind.
10. *Q. cerris* – Blir 20–25 m hög och nästan lika bred. Snabbväxande med en öppen kronarkitektur i ung ålder, men som blir brett välvd och tät med tiden. Ursprunget från södra Europa gör den mycket värme- och torktålig.

Samtliga tio träd planterade från 2018 och framåt är värmegynnade och torktåliga, vilket gör dem lämpliga att använda i en urban och hårdgjord miljö. Flera av dem har en rund eller skärmlik krona varav vissa är tätare än andra trots varierande täthet i grenarkitektur. I tabell 3 och 4 sammanställs de tio mest planterade träden 1998–2003 respektive från 2018 och framåt gentemot de egenskaper som visade sig viktiga för att motverka värmeöeffekten.

Tabell 3. Sammanställning av på vilket vis de tio mest planterade träden i Malmö från 1998–2003 motverkar värmebildning.

Art	Kylning av yttemperatur	Kylning av yttemperatur	Förbättring av termisk komfort
-----	----------------------------	----------------------------	--------------------------------------

<i>T. platyphyllos</i> 'Örebro'	X	X	X
<i>F. angustifolia</i> 'Raywood'	X	X	X
<i>Tilia</i> sp.	X	X	X
<i>T. x europaea</i> inkl. cvs.	X	X	X
<i>P. nigra</i> inkl. var./ssp.	X (till viss del)	-	-
<i>A. hippocastanum</i> inkl. cvs. (obs. sjukdomar)	-	-	-
<i>F. excelsior</i> inkl. cvs. (obs. sjukdomar)	-	-	-
<i>G. biloba</i>	X	-	X
<i>P. x hispanica</i> inkl. cvs.	X	X	X
<i>S. aucuparia</i>	-	-	-

Tabell 3 visar de tio mest planterade träden i Malmö från 1989–2003 och demonstrerar ett gott motverkande bidrag mot värmeöeffekten bland några av arterna. Däremot utgjordes planteringarna under den perioden av en överväldigande andel av släktena *Tilia* och *Fraxinus* och flera av arterna är idag sjukdomsdrabbade och inte lämpade till staden som ståndort vilket gör sig till känna i form av begränsade bidrag till att motverka värmebildning.

Tabell 4. Sammanställning av på vilket vis de tio mest planterade träden i Malmö från 2018 och framåt motverkar värmebildning.

Art	Kylning av yttemperatur	Kylning av yttemperatur	Förbättring av termisk komfort
<i>G. triacanthos</i>	X	-	X (till viss del)
<i>P. nigra</i> (till viss del)	X (till viss del)	-	-
<i>C. x lavalleyi</i> 'Carrierei'	X	X	X
<i>K. paniculata</i>	X	-	-
<i>S. japonica</i>	X	X	-

<i>G. biloba</i>	X	-	X
<i>P. fortunei</i> 'Minfast'	X	X	X
<i>A. monspessulanum</i>	X	-	X
<i>P. cerasifera</i>	X	-	X
<i>Q. cerris</i>	X	X	X

I jämförelse med träden planterade 1998–2003 innehar fler av träden som planteras mest i Malmö idag en eller flera egenskaper som högt LAI/LAD, runt/pyramidalt/skärmlikt habitus och vattensparsamhet (enligt tabell 2). Således bidrar samtliga tio träd planterade idag till att motverka värmeöeffekten i den urbana miljön i större utsträckning än för 20 år sedan.

4.2.3. Summering

Av träden planterade i Malmö idag är *P. nigra* det med minst bidragande egenskaper mot värmeöeffekten. Även *K. paniculata* har en begränsad effekt vad gäller påverkan av lufttemperatur och termisk komfort.

Resterande träd i undersökningen och framför allt *C. x lavalleyi* 'Carrierei', *P. fortunei* 'Minfast' och *Q. cerris* besatt egenskaper lämpade för att påverka alla fenomen som bidrar till värmebildning i staden; täta kronor (högt LAI/LAD), pyramidalt, runt eller skärmlikt habitus och blir alla relativt stora träd tack vare god härdighet mot omständigheterna som råder i staden (till exempel torka, värme och föroreningar).

5. Diskussion

5.1. Resultatdiskussion

5.1.1. Litteraturstudie

LAI och LAD är bland de mest betydelsefulla egenskaperna med avseende på motverkan av värmeöeffekten. Det beror på att en tätare krona leder till lägre genomsläpplighet av värmestrålning. Rör sig en person i skuggan av träden kommer den träffas av en mindre andel direkt solljus och således sker ingen direkt uppvärmning av personen eller luften. Dessutom förhindras även värmestrålningen från att nå ytor med lågt albedo och hög värmehållande förmåga vilket därför i sin tur resulterar i mindre indirekt uppvärmning genom återstrålning av värme från stadens hårdgjorda ytor.

Faktorer som samspelar med och stärker effekten av LAI och LAD är, inte oväntat, en stor kronvolym och en låg nedre kronhöjd. Ett träd med högt LAI/LAD innebär som konstaterat en högre skuggningsgrad. Kombinerat det med en större krona blir det logiska resultatet en större skuggad yta och därmed blir effekten av en tätare krona mer effektiv. Att ett träd med hög kronvolym tillsammans med låg nedre kronhöjd ger en kraftigare kylande effekt beror på att trädets skugga täcker en större yta under längre tid. Ett träd med hög nedre kronhöjd skuggar däremot samma yta under en kortare tid då skuggan kommer röra sig desto snabbare under dagen ju högre upp från marken kronan befinner sig. Likt dessa faktorer innehar även kronans form en lika viktig roll. En krona med ett höjd-breddförhållande närmre 1 eller som är pyramidalt eller skärmligt formad kommer enligt samma principer skugga en större yta under längre tid än en krona som är mer konisk och upprätt.

Den positiva korrelationen mellan ett trädets stamomkrets och dess kylande förmåga beror antagligen på att ett träd med större stamomkrets med väldigt hög sannolikhet är äldre, väletablerat, och välutvecklat. En god utveckling av en trädindivid kommer sannolikt resultera i en större krona och även en högre grad näringstransport och transpirationsförmåga. De egenskaperna faller inom samma kategori som högre

LAI och LAD samt med den mer skuggivande effekten av en större krona. Som konstaterat i teoribakgrunden bidrar ett träd transpiration som del av evapotranspirationen till en kylande effekt och ett mer välutvecklat och etablerat träd har med stor sannolikhet en högre transpirationsgrad än ett träd som lever under sämre och stressade förhållanden.

Transpirationen som ett träd bidrar med är också en viktig faktor, framför allt vad gäller termisk komfort och inverkan på lufttemperatur. Ett mindre vattenkrävande träd med transpiration även under eftermiddagen kan vara att föredra beroende på yta och plats för att påverka temperaturen senare på dagen då värmebildningen i staden nått sin höjd. Det beror på att ett träd med en mycket högre transpirationsgrad kommer förbruka den tillgängliga markfukten snabbare och därmed inte transpirera alls eller i lika stor utsträckning ju längre tiden går. Med tanke på de relativt torra förhållandena som råder för de flesta hårdgjorda växtbäddarna i staden är det ytterligare motiverat att välja rätt träd på rätt plats, det vill säga arbeta med en god ståndortsanpassning.

De olika egenskaperna tillhörande lövträd respektive barrträd visade sig viktiga i sammanhanget som är värmeöffekten. Barrträd kan nämligen precis som lövträd ge en stor och tät skugga beroende på art och habitus då många arter har låg nedre kronhöjd och ett pyramidalt växtsätt. Det resulterar i en konstant och effektiv skugga som förhindrar värmeuppbyggnad i markytan, däremot innebär barrrens anatomi en begränsad transpirationsgrad i kontrast till lövträden. Därav synliggörs ytterligare en dimension vid växtval för att motverka värmeöffekten, vilken inverkan vill projektören uppnå med trädet?

I och med bristerna konstaterade ovan med avseende på barrträdens inverkan på värmebildning blir det relevant att reflektera över var man placerar olika arter. En positiv egenskap med barrträd är att de i många fall är vintergröna och därmed tillför en grön kvalitet till den urbana miljön året runt till skillnad från majoriteten av lövträden. Den lövfällande egenskapen hos lövträd är dock något som kan utnyttjas till dess fördel. På grund av Sveriges geografiska belägenhet relativt långt upp i den norra hemisfären är dagarna korta och kalla på vinterhalvåret medan de är långa och varma på sommarhalvåret. Lövträd kan därför strategiskt placeras vid fasader i söderläge för att på sommaren bidra med skugga och svalka och i förlängning sänka energikonsumtionen relaterad till kylning. På vintern släpper de i stället igenom solljus genom dess bara kronor för att öka den naturliga ljusmängden inomhus samt tillförseln av värme. Barrträden däremot borde utnyttjas i skuggade lägen där de ofta frodas bättre eller där skugga av fasader inte är eftertraktat samt då vintergröna inslag önskas.

I och med olika markytors värmehållande förmåga till följd av bland annat olika albedo är det även relevant att reflektera över var i staden och rummet träden placeras för att ge störst verkande effekt. I brist på utrymme i ett gaturum som går i västlig till östlig riktning kan det vara lämpligt att placera träden på rummets södra sida för att få en så stor skuggning av den hårdgjorda markytan som möjligt; är målet däremot att skugga fasaderna bör de placeras på rummets norra sida. Då litteraturstudien visade att skuggning av asfalterade ytor resulterar i en större temperatursänkning än av gräsytor belyser det vikten av att prioritera implementering av grönstruktur i stadens hårdgjorda utrymmen.

Med avseende på att förbättra termisk komfort visade litteraturstudien att effekten av träd i den urbana miljön är större i ett varmt tempererat klimat än ett kalltempererat klimat. I dagsläget är klimatet i Sverige kalltempererat enligt Köppens klimatklassifikation (Dfb) och därför skulle kanske effekten av träd på termisk komfort i svenska städer kunna försummas. Däremot är det som tidigare konstaterat mycket troligt att det svenska klimatet inom 50 år kommer vara av varmt tempererad karaktär (Cfb). Till följd av den kommande utvecklingen av klimatet i Sverige är det därför absolut relevant att ha trädens roll i stadsrummet i åtanke. Det är särskilt viktigt eftersom träd är ett levande material som kan ta lång tid på sig att uppnå dess fulländade kvaliteter, men väl fullvuxna kan de tillföra en mängd andra ekosystemtjänster i staden.

I ljus av hur nyanserad problematiken kring värmeöeffekten är kan en lämplig slutsats vara att problemet som värmebildning och vidare värmeöeffekten utgör i urbana miljöer är en problematik som inte har en specifik lösning. Att hantera fenomenet kräver därför en holistisk angreppsstrategi där flera discipliner inom stadsbyggande och arkitektur måste samverka för att få största möjliga effekt.

5.1.2. Träd i Malmö stad

Undersökningen och jämförelsen av arterna planterade i Malmö från 2018 och framåt visade att samtliga träd i viss mån besatt egenskaper som motverkar värmeöeffekten. Resultatet är dock aningen undervärdigande då man hade kunnat föreställa sig betydligt större variation i trädens bidragande egenskaper, särskilt med avsikt på att träden planterade 1998–2003 också visade sig inneha egenskaper som har en inverkan på värmeöeffekten. Förklaringen till resultatet grundar sig dock i ett relativt enkelt resonemang; ett träd som frodas i staden kommer få en grönskande krona på sommaren som mer eller mindre bidrar till att sänka yttemperaturen, lufttemperaturen och förbättra den termiska komforten genom skugga och transpiration.

Men varför planterar man nya träd idag i stället för att fortsätta med samma som tidigare vilka också delvis motverkar värmebildning i staden? Svaret är att det i början på 2000-talet inte fanns en lika tydlig riktning vad gäller hög diversitet bland stadsträden. Analyserar man däremot utvecklingen under följande perioder presenterade i figur 10 är det uppenbart att en sådan strategi tar form då andelen av respektive planterad art utgör en mycket mindre del av det totala antalet planterade arter. Dessutom har flera av träden planterade 1998–2003 inte lika stor härdighet mot den torra och varma ståndorten som staden utgör stora delar av året och är därför i större risk för skadedjursangrepp och sjukdomar. Arterna som planteras idag har bättre tork- och värmetålighet och kommer därför vara mer tillväxtkraftiga i en framtid som lär karaktäriseras av högre temperaturer och fler extrema väderfenomen.

Viktigt att anmärka är den stora andelen av samma art/släkte som planteras idag, det överstiger synnerligen målen i Malmös strategi. Dock är syftet med strategin att uppnå en 5-10-20-fördelning sett till helheten, inte nödvändigtvis vid nya planteringar. Det innebär att då en så stor andel planteras av enskilda arter idag utgör de ändå en minoritet med avseende på artfördelningen i staden totalt sett och gör nog knappt ändå ett avtryck i den antagligen fortfarande i stort *Tilia*-dominerade urbana skogen.

Med allt gott som de tio arterna planterade idag för med sig uppstår även en potentiell problematik. Många av arterna är exoter och således är det svårt att avgöra om arterna kommer vara av invasiv karaktär och sprida sig ohämmat, inte olikt det aktuella exemplet som gudaträdet, *Ailanthus altissima*, utgör i Malmö idag. Att arten vilken hade utmärkta egenskaper för att hantera staden som ståndort plötsligt blir rödlistad på grund av aggressiv rottillväxt som kan skada ledningar, husgrunder och gatubeläggningar, samt har en tendens att skjuta rotskott måste tas bort innebär extrema skötselinsatser och kostnader. *Paulownia* som är ett av de tio mest planterade träden i Malmö idag utgör inget direkt hot i det relativt kyliga svenska klimatet, men kan vara en art att vara vaksam kring då den som stadsträd i delar av USA och Kina breder ut sig väldigt aggressivt (Sjöman & Slagstedt, 2015).

De funna resultaten visar emellertid på en annan aspekt, vikten av träd i staden över lag. I princip alla träd som planteras i staden idag har karaktärsdrag som motverkar värmebildningen i staden. Det är ett mycket positivt resultat och belyser faktumet att alla träd har en inverkan i den urbana miljön med avseende på värmeöeffekten. Det blir också tydligt att det i första hand är ett korrekt växtval anpassat till ståndorten som har störst inverkan på värmeöeffekten. Först efter den analysen är gjord bör man titta på sekundära aspekter som trädarternas individuella egenskaper och placera dem på just den plats där de gör mest nytta och även fyller den estetiska funktion som landskapsarkitekturen utgör i staden.

5.2. Metoddiskussion

5.2.1. Litteraturstudie

Metoden som användes för att finna och sortera litteratur fungerade väl i de olika databaser som utnyttjades. Då avgränsningen vid val av litteratur skedde med stor tyngd vid geografisk närhet och klimatisk likhet ägde forskningen i litteraturen framför allt rum i större städer i Centraleuropa och i Manchester med ett maritimt klimat likt det i Malmö. Den aktuella avgränsningen förenklade processen vid tillämpning av fynden på Malmö som referensplats. Däremot lästes även ett fåtal artiklar från bland annat Tel Aviv och Melbourne. De klimatiska förhållandena och de inhemska arterna som förekommer på de platserna skiljer sig i mycket stor utsträckning från de aktuella förhållandena i södra Sverige, deras resultat kan däremot ändå vara av värda att ha i åtanke. Studien grundar sig trots allt i värmebildning i staden och med antagandet att väderförhållandena kommer förändras i takt med klimatförändringarna. I och med det kan omständigheterna i de mycket mer tempererade klimaterna vara en stor källa till lärdomar vid framtida forskning och växtval i urban miljö.

Forskningsområdet som värmeöeffekten utgör är mycket stort, men nischen av träds egenskapers inverkan utgör är ett relativt liten del, särskilt med avseende på de geografiska begränsningarna i studien. Således förekommer samma forskare som författare till flera av studierna vilket kan ses som en felkälla. Vid analys av de aktuella studierna har dock ingen partiskhet till tidigare forskning upptäckts och resonemang har förts sakligt kring tidigare fynd vilket har resulterat i att de har ansetts trovärdiga. Å andra sidan innebär även den begränsade andelen aktiva forskare inom området att det kan förekomma en brist på infallsvinklar och frågeställningar. Därmed borde liknande studier framöver ha detta i åtanke och försöka finna en större mångfald av artiklar och författare för att undvika potentiella oönskade begränsningar.

5.2.2. Träd i Malmö

Datan relaterad till de mest planterade träden i Malmö är hämtad från en föreläsning av en landskapsarkitekt anställd vid Malmö stad. Det innebär att presentationen av datan kan vara vinklad eller på något sätt formulerade på ett vis som inte representerar verkligheten. Om sådant är fallet kan endast kontrolleras genom att personligen kontrollera datakällorna och göra relevanta trädinventeringar i staden. I och med den här studiens omfattning i storlek och tidsbegränsning hade en sådan omfattande datahantering varit av alldeles för stor skala och därför har den här metoden ansetts tillräcklig. Däremot hade avsnittet kunnat nyanseras av intervjuer

med växtvalsansvariga/projektörer i Malmö för att ge en större uppfattning om avsikten med olika val och strategier.

5.3. Slutsats

Ett träd borde ha hög LAI/LAD för att ge en stor bidragande effekt mot värmeön i staden. Trädet bör även ha en god och jämn transpirationsförmåga under hela dagen för att motverka värmebildning även på eftermiddagen. Ett runt, pyramidalt eller skärmligt habitus är också att önska. Då även låg nedre kronhöjd är en starkt bidragande faktor borde träd av solitärkvalitet eller flerstammig kvalitet väljas där platsen tillåter; inte endast för att motverka värmebildning utan även för att öka mångfalden av trädformer i staden. Barrträd fyller en funktion vad gäller att motverka värmeöeffekten och särskilt estetiskt under vinterhalvåret, men bidrar inte i riktigt lika stor utsträckning som lövträd.

Framför allt är det viktigt att minnas att ett levande träd är bättre än inget träd alls – all större vegetation som frodas i staden kommer bidra med en skuggande och kylande effekt, låt inte den tjänsten gå till spillo. Det är därför mycket viktigt att ha ståndortsanpassning och olika sekundära effekter och tjänster som träden kan bidra med i åtanke vid växtval i den urbana miljön för att nyttja så många tjänster som möjligt av det levande material vi landskapsarkitekter arbetar med.

5.4. Vidare forskning

Framtida forskning inom området kunde ytterligare utveckla var i stadsrummet effekten av olika trädarter har störst inverkan. Det vore även intressant att undersöka om trädens förmåga att absorbera koldioxid ur luften har en inverkan på värmebildningen i staden. Det kunde även vara intressant att ytterligare undersöka effekten av träd i olika ytor, inte bara i gräsytor utan även i planteringar som woodland och rain gardens.

Inverkan och samverkan av olika konstellationer av grönytor i staden för att motverka värmeöeffekten är något som har skrivits om i litteraturen som borde utforskas i större utsträckning. Effekten av stora parker i jämförelse med små parker, jämförelse mellan inverkan av grönstråk, alléer och parker. Sedan borde samverkan av flera faktorer som grönska, vatten samt markyte- och fasadegenskaper utforskas för att finna mer helhetsomfattande strategier för att motverka värmebildning i våra urbana miljöer.

Referenser

- Andreou, E. (2013). Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy*. 55 (Jul.), 182-188.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.040>
- Armson, D., Stringer, P. & Ennos, A.R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11 (3), 245-255.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>
- Armson, D., Rahman, M. A. & Ennos, A. R. (2013). A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK. *Arboriculture & Urban Forestry*. 39 (4), 157-164.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Barker, P.A. (1975). Ordinance control of street trees. *Journal of Arboriculture*. 1 (11), 212-216.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A. & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppens-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 5, 180214.
- Bernes, K. (2016). *En varmare värld: Växthuseffekten och klimatets förändringar*. 3 uppl., Stockholm: Arkitektkopia.
- Britannica (2019). *European heat wave of 2003*.
<https://www.britannica.com/event/European-heat-wave-of-2003> [2022-02-07]
- Folkhälsomyndigheten (2020). *Värmeböljor*.
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/krisberedskap/varmeboljor/> [2022-02-03]
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (u.å.). *Recognised Cities*. <https://treecitiesoftheworld.org/directory.cfm> [2022-02-24]
- Gago, E.J., Roland, J., Pacheco-Torres, R. & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 25 (Sep.), 749-758.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S. & Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*. 143 (Nov), 33-42.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.005>
- Helletsgruber, C., Gillner, S., Gulyás, Á., R. Junker, R., Tanács, E. & Hof, A. (2020). Identifying Tree Traits for Cooling Urban Heat Islands – A Cross-

- City Empirical Analysis. *Forests*. 11 (10), 1064.
<https://doi.org/10.3390/f11101064>
- Huang, Q. & Lu, Y. (2018). Urban heat island research from 1991 to 2015: a bibliometric analysis. *Theoretical and Applied Climatology*. 131, 1055-1067. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2025-1>
- International Panel on Climate Change (IPCC) (2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. (IPCC report, 2015). Genève: International Panel on Climate.
https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- Javadi, R. & Nasrollahi, N. (2021). Urban green space and health: The role of thermal comfort on the health benefits from the urban green space; a review study. *Building and Environment*. 202 (Sep.), 108039.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108039>
- Kendal, D., Dobbs, C. & Lohr, V.I. (2014). Global patterns of diversity in the urban forest: Is there evidence to support the 10/20/30 rule? *Urban Forestry & Urban Greening*. 13 (3), 411-417.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.04.004>
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Kondo, H. & Hanaki, K. (2006). Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning. *Applied Energy*. 83 (6), 649-668. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.06.001>
- Kleerekoper, L., van Esch, M. & Baldiri Salcedo, T. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*. 64 (Jul.), 30-38.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>
- Madlener, R. & Sunak, Y. (2011). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society*. 1 (1), 45-53.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2010.08.006>
- Malmö stad (2018). *Översiktsplan för Malmö: Planstrategi*. Malmö: Malmö stad.
https://malmo.se/download/18.4f363e7d1766a784af162af/1610100094509/%C3%96VERSIKTSPLAN%20F%C3%96R%20MALM%C3%96_antagen_31maj2018.1%C3%A5g.webb.pdf
- Malmö stad (u.å. a). *Limhamn*.
<https://malmo.se/Stadsutveckling/Stadsutvecklingsomraden/Limhamn.html> [2022-02-07]
- Malmö stad (u.å. b). *Västra Hamnen*.
<https://malmo.se/Stadsutveckling/Stadsutvecklingsomraden/Vastra-Hamnen.html> [2022-02-07]
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. 2. ed. London: Routledge. 59-71.
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T. & Pauleit, S. (2019). Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species.

- Urban Ecosystems*. 22 (2019), 683-697. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00853-x>
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Resischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H. & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*. 170 (Mar.), 106606. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Santamour, F.S. (1990). Trees for urban planting: diversity, uniformity, and common sense. *Proceedings of the Seventh Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA, 1990)* Juni 11-12, Lisle, USA. 57-65.
- SCB (2021). *Tätorter i Sverige*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/tatorter-i-sverige/> [2022-02-03]
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015). *Stadsträdslexikon*. Upplaga 1:3, Lund: Studentlitteratur
- SMHI (2021a). *Klimatförändringen är tydlig redan idag*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatforandringarna-marks-redan-idag-1.1510> [2022-01-26]
- SMHI (2021b). *Klimatförändringar orsakade av människan*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatpaverkan/klimatforandringar-orsakade-av-manniskan-1.3833> [2022-01-26]
- SMHI (2021c). *Relativ fuktighet under året och dygnet*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet/relativ-fuktighet-under-aret-och-dygnet-1.170576> [2022-02-15]
- SMHI (2022). *Värmebölja*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/varmebolja-1.22372> [2022-02-03]
- Speak, A., Montagnani, L., Wellstein, C. & Zerbe, S. (2020). The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling. *Landscape and Urban Planning*. 197 (Maj), 103748. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103748>
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*. 25 (2), 99-103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M. & van den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and environment*. 83 (Jan.), 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- UN-Habitat (2020). *The Value of Sustainable Urbanization*. (World Cities Report 2020). Nairobi: UN-Habitat. https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf
- Wang, Y., Berardi, B. & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*. 114 (Feb.), 2-19.