GÖTEBORGS UNIVERSITET

INSTITUTION FÖR BIOLOGI OCH MILJÖVETENSKAP

EFFEKTEN AV TORKA PÅ URBANA TRÄD

Mina Johansson

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet miljövetenskap
ES1510, Examensarbete i miljövetenskap I, 15 hp
Grundnivå
Termin/år: VT2023
Handledare: Lasse Tarvainen, Institution för Biologi och Miljövetenskap
Examinator: Annemieke Reurslag Gärdenäs, Institution för Biologi och Miljövetenskap

Abstract

With a changing climate, climate stress increases in the form of elevated temperatures and changed precipitation. As a result, extreme weather such as drought becomes more common and cities are particularly vulnerable. The effects of climate change are amplified in the cities due to the Urban Heat Island effect, which means that cities warm up faster due to the amount of asphalt and concrete combined with lack of vegetation. One way to counteract these effects is to implement green infrastructure in cities, which means increase the amount of vegetation in cities, especially trees.

Trees require certain factors to survive for example water, growing space and nutrition. Cities are usually limited in these factors, which creates a stressful environment for the trees. Trees can be exposed to stress if they do not get enough of these factors. With the changing climate, the precipitation pattern is expected to change which in turn might deteriorate the health status of the trees because of water loss. During stress, the tree's function of performing vital functions such as photosynthesis and water transport, also called hydraulic function, is impaired. This, in turn, can affect the growth of the tree.

I investigated how the stress of the cities, amplified by drought, affects the growth of the tree and how it varies depending on where in the city the trees are planted. The study is a literature review based on six other articles that examined this. The result showed that trees in more open environments such as parks were affected more by drought than trees planted in more restrictive planting beds along streets. The aim of the study was also to investigated how growth was affected by drought years and geographical variation. The result showed lower growth during drought years and that the United States of Amerika (USA) had lower growth compared to the countries Australia and Germany during drought.

The results of this study are contradictory to the general result that several other articles have come up with. The fact that the result is contradictory can be due to a number of factors. Drought effect vary depending on which city the observations are taken from, and which species was investigated. The growth of trees is also influenced by a number of other factors, not just the climate. Other factors that play a role in the growth of trees are age, planting environment and maintenance work, which can have a large individual effect and may have influenced the results of this study. A different conclusion is that street trees have adapted to an already stressful environment and therefor are more prepared for a drought episode because they already have the mechanisms to survive it.

Sammanfattning

Med ett förändrat klimat ökar klimatstressen genom förhöjda temperaturer och förändrad nederbörd. Det leder till att extremväder som torka blir mer vanligt och städer är extra utsatta. I städer förhöjs effekterna på grund av Urban Heat Island effekt vilket betyder att städer värms upp snabbare på grund av mängden asfalt och betong i kombination med avsaknad av vegetation. Ett sätt att motverka dessa effekter är att implementera grön infrastruktur i städerna vilket betyder öka mängden vegetation i städerna, speciellt träd.

Träd kräver vissa faktorer för att överleva, exempel på faktorer är vatten, yta och näring. Städer är oftast begränsade i dessa faktorer vilket skapar en stressfull miljö för trädet. Träd kan utsättas för stress om de inte får tillräckligt med någon av dessa faktorer. Med de förväntade klimatförändringarna riskerar nederbördsmönstret att förändras vilket i sin tur riskerar att försämra trädets hälsa på grund av vattenbrist. Om trädet utsätts för den här typen av stress försämras trädets funktion att utföra livsviktiga funktioner så som fotosyntes och vattentransport även kallad hydraulisk funktion. Detta kan i sin tur påverka trädets tillväxt.

Jag kommer i denna studie undersöka hur stressen i stadsmiljön som förhöjs av torka påverkar trädets tillväxt och hur den varierar beroende på vart i staden trädet befinner sig. Studien är en litteraturstudie och baseras på sex andra artiklar som undersökt detta. Resultatet blev att träd i mer öppna miljöer som parker påverkades mer än träd som var planterade i mer begränsande planteringsbäddar längs gator. Syftet med studien var även att undersöka hur tillväxten påverkades av torkår och geografisk variation. Resultatet påvisade en lägre tillväxt för träden under torkår samt att USA hade lägre tillväxt än jämförda länder Australien och Tyskland under torkår.

Resultat från denna studie är motstridigt till det generella resultatet som ett flertal andra artiklar kommit fram till. De flesta artiklar får ett resultat som säger att gatuträd borde vara mer påverkade än parkträd. Att resultatet är motstridigt kan bero på ett flertal faktorer. Torkeffekten kan variera beroende på vilken stad som observationerna är tagna från samt vilken art som undersöktes. Tillväxten hos träd påverkas även av ett flertal andra faktorer än bara klimatet. Andra faktorer som spelar roll i trädens tillväxt är ålder, planteringsmiljö och underhållsarbete vilket kan ha stor individuell effekt och kan ha påverkat denna studies resultat. En annan slutsats kan vara att träd i gatumiljöer har anpassat sig till tuffare klimat och med det är mer förberedda för torkperioder då de har de inbyggda mekanismerna för att hantera det.

Förord

Detta kandidarbete omfattar 15 högskolepoäng och har utförts vid Institutionen för biologi och miljövetenskap inom programmet Miljövetenskap med naturvetenskaplig inriktning (NMIL) vid Göteborgs universitet.

Jag vill tacka min handledare Lasse Tarvainen för all hjälp och stöd han gett mig under handledartiden. Det har varit otroligt hjälpsamt för att klara av arbetet.

Mina Johansson
Göteborg, 16 Mars 2023

Innehållsförteckning

Abstract **1**

Sammanfattning **2**

Förord **3**

1 Inledning **5**

2 Syfte och frågeställningar **7**

3 Metod **8**

3.1 Datainsamling *8*

3.2 Bearbetning av data *9*

4 Resultat **10**

4.1 Variation av torkeffekt beroende på planteringsplats *10*

4.2 Variation av torkeffekt i relation till torkår *11*

4.3 Variation av torkeffekt mellan arter *12*

4.4 Variation av torkeffekt i relation till geografisk variation *13*

5 Diskussion **14**

5.1 Tillväxten baserad på planteringsplats och år *14*

5.2 Tillväxten för olika arter *16*

5.3 Tillväxten beroende geografisk variation *17*

6 Slutsats **18**

7 Referenser **19**

1 Inledning

Klimatförändringar är ett av de största problemen vår värld står inför och med ökade temperaturer riskerar vi att permanent förändra det globala klimatet som vi människor är beroende av (IPCC, 2022). Effekter som ökade temperaturer, förlorad biodiversitet och ökade risker för extremväder är bara några av de negativa effekter som tillkommer med klimatförändringar. Dessa effekter riskerar att påverka vår jord och dess klimat till ett tillstånd som ej går att återhämta sig från (Stockholm Resilience Centre, u.å.).

En av de viktigaste faktorerna som bidrar till klimatförändringar och de ovannämnda negativa effekterna, är förändrad markanvändning. Att förändra marken kan bero på en ökad produktion av mat eller andra råvaror, eller utbyggnad av städer. Att förändra marken för antropogeniskt syfte leder till att koncentrationer av växthusgaser, speciellt CO_2 ökar. Utsläppen av dessa gaser kommer från bygget, maskinerna, minskning av träd som fångar in kolet och andra diffusa faktorer (Naturvårdsverket, u.å.). Att vi förändrar våra marker är nödvändigt då den globala befolkningen ökar vilket leder till att konsumtionen och behovet av yta för bostäder ökar. Förändrad markanvändning är därför en nödvändighet för människans överlevnad men tillkommer med negativa konsekvenser. Vid förändrad markanvändning behöver träd huggas ner för att göra plats för något nytt. Det här leder till att ekosystemtjänsterna från träden, som gynnar människor, försvinner. Träd bidrar med en mängd olika ekosystemtjänster och hjälper även till på lokal nivå att motarbeta klimatförändringar. Skogar och vegetation agerar som naturliga buffertar som renar vår luft, tar upp överflödigt vatten, sänker temperaturer och ger oss det syre vi behöver för att kunna leva (Coutts et al. 2015; Clearing House Project, u.å.; Zölch et al. 2016).

Våra städer är extra utsatta för klimatförändringar på grund av urban heat island effekten (UHI) även kallad urbana värmeö effekten (United states Environmental protection agency, 2023). Urbana värmeö effekten orsakas av kraftigare uppvärmning av stadsmiljön på grund av mängden betong och asfalt i staden som absorberar värme bättre än vad vegetation gör samt att materialet och densiteten av bostäder bevarar värmen lättare. I städer bidrar även människor med värmeutsläpp genom uppvärmning av bostäder och mängden utsläpp från trafiken vilket bidrar till uppvärmningseffekten (Folkhälsomyndigheten, 2018). Eftersom städer har mindre andel vegetation än naturliga skogar betyder det att de inte kyls ner i samma utsträckning och vi får en förhöjd värmeeffekt som kan leda till ett flertal obekväma situation som starkare värmeböljor och förorenad luft (Rötzer et al. 2021; Nitschke et al. 2017). Fler städer har börjat implementera grön infrastruktur för att motarbeta effekterna som klimatförändringar har på vår livsmiljö och försöker ta tillbaka de naturliga positiva effekterna som vegetation har i städer (Dervishi et al. 2022).

Problemet som uppstår är att träd och annan vegetation är känsliga och utsätts för påfrestningar när de planteras i våra städer. Ökade temperaturer, kemikalier och utsläpp, minskad mängd näring, minskad tillgång till vatten och ett flertal andra faktorer skiljer sig mellan växtområdena i städer och de naturliga skogarna. Den största skillnaden mellan naturliga skogar och de urbana miljöerna är deras tillväxtområde. Städer har begränsat utrymme för de urbana träden vilket

inte är optimalt för träden då de behöver yta för att deras rötter ska växa och för att vattenupptaget ska vara så optimalt som möjligt. Städer består också till störst del av sten och betong vars genomsläpplighet är extremt begränsat jämfört med jord. Det leder till begränsning i mängden vatten som träden får tillgång till vilket kan leda till torkstress (Holopainen et al. 2005). I en global studie av Esperon-Rodriguez et al. (Esperon-Rodriguez et al. 2021, 2) visades de att av all vegetation i våra städer tros 50 % överskrider sin värmetolerans mot årsmedeltemperaturen. Den siffran förväntas öka i framtiden med klimatförändringarna (Esperon-Rodriguez et al. 2021, 1) samtidigt som nederbördsmönstret förväntas påverkas och torkperioder blir längre och mer frekventa i vissa delar av världen (Eriksson et al. 2016; Naturvårdsverket, u.å.). Förhållandena för träden förväntas därmed försämras och träden riskerar att skadas eller dö. Det är dock mer än bara klimatet som påverkar livslängden på trädena, övervakning, planering och underhåll är viktiga delar som påverkar trädens överlevnad i våra städer (Escobedo et al. 2016; Dervishi et al. 2022).

Träd är beroende av många faktorer för att överleva. Dessa faktorer är inte den samma för alla träd. Träd av olika arter kräver olika miljöer för att överleva och må bra. De viktigaste faktorerna som tas upp av majoriteten av forskningen är sol, näring, utrymme att växa, kol, rätt klimat och vatten. Om tillgången till någon av dessa faktorer begränsas kan det leda till skada och till och med död för trädet. Träd som är planterade ensamma i begränsade utrymmen som längs med en parkering eller gata är därför mest utsatta då det är stor risk att någon av dessa faktorer begränsas, speciellt vattentillgången. Växtbädden där trädet är planterat karaktäriseras ofta av hög kompakthet, begränsande vattenfiltrering och begränsande syresättning vilket kan påfresta trädet både genom torkstress men även översvämning (Helsingborg, u.å; Liu, 2021; Sand, 2018). Marken runt omkring trädet är därför viktigt för att säkerställa att trädet får allt den behöver för att överleva. Det här är dock inte lätt att säkerställa i en stad byggd med asfalt. Förhållandena för träd längst gator och parkering är extremt annorlunda från den naturliga miljö som trädet borde ha och skapar därför en miljö där trädet missgynnas (Huang et al. 2021; Czaja et al. 2020). En av de vanligaste anledningarna till att träd skadas eller dör i förtid har kopplats till torka (Sjöman et al. 2015; Zwieniecki et al. 2015).

Att träd dör från uttorkning kan kopplas till att den hydrauliska funktionen i xylemrören förloras eller begränsas (Adams et al. 2017; Hartmann et al. 2022; Huang et al. 2021). Vattenbalansen är en av de viktigaste delarna till trädets överlevnad. Träd behöver vatten för att utföra fotosyntes som är den funktionen som skapar energin som trädet sen använder för att växa. För att fotosyntesen ska fungera som den ska behöver trädet tillgång till vatten och kol. Kolet tar trädet från koldioxiden i luften. Vissa studier har därför påvisat en positiv effekt av ökade CO_2 koncentrationer i luften. Om mängden tillgängligt CO_2 ökar leder det till ökade temperaturen som gör att växtsäsongen ökar och träden kan växa under längre tid (Hartmann et al. 2022).

Problemet uppstår om trädet inte har tillgång till vatten. Ökade temperaturer leder till en ökad transpiration vilket betyder att trädet släpper ut vatten och vattenbrist uppstår. Vattnet transporteras genom xylemrören i trädet upp och ut genom lövens klyvöppningar. Allt detta sker med hjälp av tryck och vatten potentialer. Om trädet släpper ut vattnet kommer vattenbrist uppstå och trädet riskeras att skadas. Om vattnet dras ut i för stor grad kan dragkraften skada

trädet och släppa in syre i transportrören vilket kan leda till embolism och vattentransporten stannar av. Detta kallas hydraulic failure. För att motverka torkeffekten kan trädet därför stänga sina klyvöppningar och inte släppa ut något vatten. Det tillkommer dock med negativa konsekvenser då stängda klyvöppningar resulterar i ett minskat upptag av kol som behövs för fotosyntesen. Utan fotosyntesen kan ingen tillväxt ske och ingen energi skapas. (Hartmann et al. 2022; Adams et al. 2017; Huang, et al. 2021). Om trädet inte får tillgång till kol kan kolsvält uppstå och flera viktiga mekanismer hos trädet kan gå förlorade eller skadas.

Val av art är därför en viktig del av planteringen då chansen för överlevnad ökar markant om arten som väljs redan har beredskapen för att hantera de tuffa förhållandena (Sanders et al. 2013). Men det är inte bara arten som är viktig utan planteringsplatsen. Flera studier påvisar att desto mer begränsande tillväxtplats desto sämre blir tillväxten (Rötzer et al. 2021; David et al. 2018; Esperon-Rodriguez et al. 2021, 1; Vico et al. 2014). Det beror oftast på tillgången till vatten. Vatten anses vara den viktigaste faktorn för trädens överlevnad speciellt om det kombineras med andra faktorer som ökade temperaturer i jorden eller luften eller låga halter av näring (Zhang et al. 2020; Vico et al. 2014; Eriksson et al. 2016).

Flera studier har gjorts för att mäta trädens respons på torkstress men det saknas studier på hur effekten varierar i urban miljö (Meineke et al. 2018). Information saknas på hur de ökade temperaturerna och förändrade nederbördsmönster påverkar de urbana träden speciellt gällande tillväxt. Högre temperaturer och förändrade nederbörds mönster leder till större risk för torka och mer påfrestning på träden vilket leder till försämring i trädens förmåga att hantera och tåla de extrema förhållandena. Det saknas även information om hur torkeffekten varierar beroende på vart i staden vi befinner oss. Vad är effekten på trädens tillväxt mellan olika miljöer som parkmiljö och gatumiljö?

2 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att undersöka effekten som torka har på urbana träd och om effekten skiljer sig mellan mer fria planteringsmiljöer eller mer restriktiva planteringsmiljöer, så som parker och gator.

Frågeställningar som kommer användas är

1. Hur skiljer sig effekten av torka mellan träd som planterats i fri miljö som parker och träd som är planterade i växtbäddar på gatorna?
2. Hur skiljer sig torkeffekten mellan olika arter?
3. Finns det någon geografisk variation på torkeffekten i urbana miljöer?

3 Metod

3.1 Datainsamling

För att samla in data användes olika databaser så som Google Scholar, GreenFile och Scopus. Sökorden som användes var exempelvis ”*trees*”, ”*drought*”, ”*parks*”, ”*streets*” och ”*urban forestry*”. Artiklarna analyserades på deras innehåll för att avgöra dess relevans och för att ta ut data för egna beräkningar på hur torka påverkar en relativ tillväxt. Kriterier som artiklarna var tvungna att förhålla sig till var planteringsplatsen som valdes till urban miljö. Artiklarna var även tvungna att undersöka effekten av torkår innan, under och efter ett torkår, utefter utvald tillväxteffekt, ring width index (RWI) samt att de var tvungna att ha med andra aspekter så som utvald art, land eller klimat. För att få ett bra medelvärde på effekten innan och efter ett torkår användes de fem åren innan och de fem åren efter en torka. Både *in situ* och *ex situ* studier användes för att få kunskap om effekter och responsen men för analysen användes endast *in situ* studier för att kunna jämföra de studerade responsen i de specifikt utvalda miljöerna. Det gjorde att mängden möjliga studier begränsades något. De utvalda miljöerna som valdes att undersökas inom ett urbant område var parkmiljö och gatumiljö. Parkmiljön ska representera en fri miljö där träden får växa fritt utan begränsningar i tillväxtområde men fortfarande utsätts för påverkan som tillkommer med en urbanmiljö. Gatumiljön ska representera en begränsande tillväxtmiljö. Träd som är planterade längs med gator är oftast planteras i växtbäddar som begränsar tillväxtytan och andra faktorer som mängden tillgängliga näringsämnen och vatten.

Artiklar valdes ut efter hur bra de passade in på dessa kriterier men även hur relevanta de var för ämnet och de frågeställningar som ska besvaras. Jag begränsade urvalet till artiklar som undersökte samma effekter och respons för att datan ska vara jämförbara. Det begränsade urvalet ytterligare och datasetet fick bestå av endast sex artiklar. Den effekt som valdes ut och ska undersökas är relativ tillväxteffekt. I majoriteten av de sex utvalda studierna beräknas RWI, ring width index, som är ett mått på tillväxten i träden med hjälp av trädets ringar. Det här kallas dendrokronologimetod. För att ta fram datan borrar man i trädet för att få ut en kärna av stammen som man sedan använder för att analysera avståndet mellan dess ringar. Man kan då ta fram data som ålder och tillväxt hos trädet. Trädets ringar kan vara olika stora beroende på utomstående faktorer som temperatur, torka, näring eller liknande. Skillnaden mellan ringarna är grunden till indexet och genom att standardisera detta skapas ett index av den förväntade storleken på ringen vid en utvald ålder och under ideella förhållanden. Det gör att man kan jämföra den observerade ringen med en förväntad siffra och få fram om trädet växer snabbare, långsammare eller stabilt av vad den borde. Det gör att avvikande siffror kan kopplas till utomstående faktorer som torka och man kan då mäta effekten som torka hade på tillväxten. Vid analyser av dendrokrononologiska studier tas detta Ring Width Index fram för att beräkna tillväxten hos träden under specifika förhållanden för att se hur utomstående faktorer påverkar tillväxten långsiktigt.

Av de utvalda artiklarna använde fyra av de sex artiklarna specifikt det här index medan de andra två använde mått på relativ tillväxt i biomassa och relativ tillväxt i höjd vilket ansågs jämförbara och därför kombinerades värdena till ett gemensamt index som framöver kommer

kallas relativt tillväxtindex. För att kunna jämföra värdena omvandlade jag dom till samma skala för att få en relativ tillväxt. Jag använde därför följande ekvation för att få ut den relativa tillväxten av biomassan och höjden.

$$\frac{Observerade\ tillväxten}{Förväntade\ tillväxten} = Relativ\ tillväxt$$

De observerade värdena och de förväntade värdena togs båda från artiklarna och sattes in i ekvationen för att få ut den relativa tillväxten. De förväntade värdena var uträknade i artiklarna med hjälp av exempelvis modeller som DISMUT eller från tidigare observationer från tidigare studier som undersökt dessa träd. RWI värdena var redan anpassade till en relativ tillväxt vilket gjorde att jag kunde börja jämföra dom. Värdena togs fram från presenterade grafer från artiklarna och avlästes manuellt. De tillväxtvärden som togs fram kom från olika länder, arter och torkår.

3.2 Bearbetning av data

Bearbetning av datan gjordes genom statistiska test och uträkning av signifikans. Data samlades in genom studier gjorda *in situ* på parkträd och gatuträd men även odefinierade urbana träd. Följande 6 artiklar användes i studien.

Skribent	Arter	Land och stad	Artiklar - titel	Klimatzon
Nitschke et al. 2017	*Ulmus procera – Engelsk alm, Quercus robur - Skogsek, Platanus acerifolia - Platan, Ulmus Laevis - Vresalm*	Australien, Melbourne	The influence of climate and drought on urban tree growth in southeast Australia and the implications for future growth under climate change	Varmt tempererat
Rötzer et al. 2021	*Tilia cordata - Skogslind, Robinia pseudoacacia - Robinia*	Tyskland, Würzburg	Urban tree growth and ecosystem services under extreme drought	Tempererat
Zhang, et al. 2020	50 arter	Australien, Canberra	Urban forest responses to climate change: A case study in Canberra	Varmt tempererat
Fahey, et al. 2013	*Gymnocladus dioicus – Kentucky kaffesläktet, Pinus strobus - Weymouthtall, Acer saccharum - Silverlönn, Liriodendron tulipifera - Tulpanträd*	USA, Lisle	Tree Growth and Resilience to Extreme Drought Across an Urban Land-use Gradient	Tempererat
Mareike Hirsch 2022	*Acer platanoides - Skogslönn, Quercus robur - Skogsek, Carpinus betulus - Avenbok, Tilia cordata - Skogslind, Platanus × hispanica - Platan*	Tyskland, Karlsruhe & Rheinstetten	Drought tolerance differs between urban tree species but is not affected by the intensity of traffic pollution	Tempererat

Moser-Reischl et al. 2019	*Tilia Cordata - Skogslind, Robinia pseudoacacia - Robinia*	Tyskland, München	Growth patterns and effects of urban micro-climate on two physiologically contrasting urban tree species	Tempererat

Tabell 1. Tabell över utvalda artiklar som användes som underlag för egen studie. En sammanställning av datan som togs med från studierna.

Ett Excel blad med den insamlade datan togs fram där effekten av torka sammanställdes med annan relevant fakta som vilken art eller land som studien gällde samt om det var tork-år eller inte. Excelbladet konverterades för att sedan läggas in i programmet R (version 4.1.2) för framställning av grafer och beräkning av signifikans. För att undersöka hur torkeffekten varierade jämfördes resultaten från den framtagna datan på torkeffekten, med de utvalda faktorerna planteringsplats, torkår och land. Jämförelsen gjordes för att se den generella effekten som torka hade och hur den varierade beroende på utvald faktor. ANOVA envägs test användes främst för att analysera hur torkeffekten varierade beroende på utvald variabel. Relativ tillväxt användes som beroende variabel medan plats eller torkår som oberoende variabler.

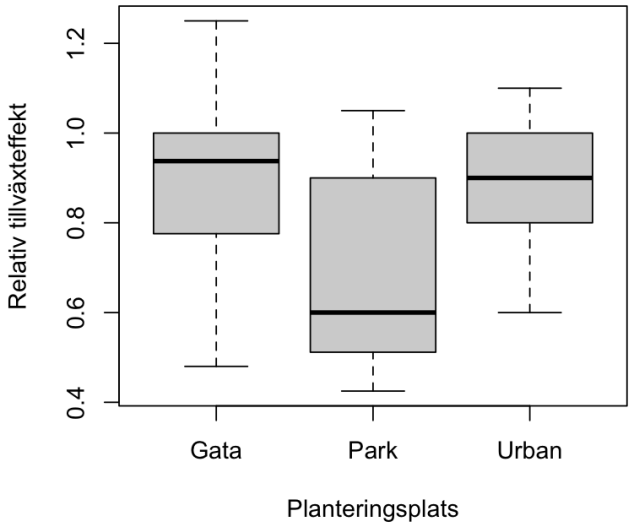
Vid en analys av hur olika arter reagerade olika på torka användes den insamlade datan fast uttag av specifik art gjordes. De två vanligaste förekommande arterna från artiklarna, *Tilia Cordata* och *Robinia pseudoacacia*, jämfördes. För analys av hur planteringsplatsen påverkades av torka användes tre olika områden. Dessa klassas i studierna som ”Urban”, ”Park” och ”Gata”. Där ”Park” är platser med mer öppna ytor som parker, ”Gata” är mer begränsande planteringsplatser som växtbäddar längs gator och Urban är odefinierade platser inom städer. Urbana platser kan vara både parker och gator. Tillväxteffekten beroende på geografisk variation under torkår analyserades och baserades på observationernas provtagningsland. De landen som valdes att analyseras var Australien, Tyskland och USA. Eftersom den framtagna datan var begränsad finns det endast en artikel som har provtagningar från USA, två från Australien och tre från Tyskland. Av de utvalda artiklarna fanns det data både från de närmsta fem åren innan ett torkår, självaste torkåret och de nästkommande fem åren efter en torka. Dessa år med dokumenterad torka var 1998, 2003, 2005, 2011, 2015 och 2019. För att undersöka hur tillväxten varierade beroende på torkår eller ej beräknades medelvärdet för de fem åren innan och ett medelvärde för de nästkommande fem år, om inte annat värde angavs i artikeln. Den relativa tillväxteffekten utgår från den förväntade tillväxten. Det betyder att en tillväxteffekt på ”1” är den samma som förväntad tillväxt och ingen påverkan på tillväxten är observerad.

4 Resultat

4.1 Variation av torkeffekt beroende på planteringsplats

Den relativa tillväxten påverkades av planteringsplatsen ($p < 0.05$) och var lägre i parkmiljö än i gatumiljö eller i odefinierad urbanmiljö (Figur 1) under torkår. Park hade en median på 0,6

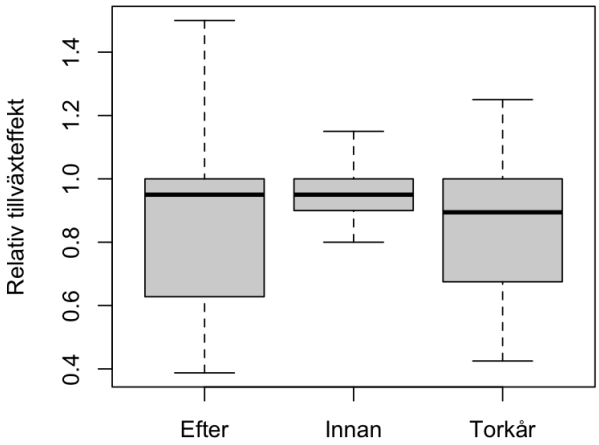
men med stor varians. Gata hade en median på cirka 0,95, också med stor variation. Urban låg strax under Gata på drygt 0,9, men med mindre varians. Gata träden är därför nästan opåverkade medan Parkträden har en försämrad tillväxt på nästan 40% under torkår.



Figur 1. Variation på i relativ tillväxt beroende på planteringsplats. I låddiagrammen visas medianvärdet (svart streck), över och undre kvartilerna. Öppna cirklar ange utliggare.

4.2 Variation av torkeffekt i relation till torkår

Den relativa tillväxten påverkas inte (p=0,3) om trädet utsätts för torka eller inte (figur 2). Den relativa tillväxten var dock lägre under åren med observerat torka. De åren innan och efter ett torkår hade en relativ tillväxteffekt på cirka 0,95, medan året med observerad torka hade en lägre effekt på cirka 0,9. Alla observationer hade en försämrad tillväxt då effekten låg under 1 men på grund av ej signifikant värde går det ej att säkerställa att försämringen av tillväxten beror på observationernas relation till ett torkår. Variansen var dock stor för både under observerat torkår och efter torkår, men innan torkår är variansen relativt koncentrerad.

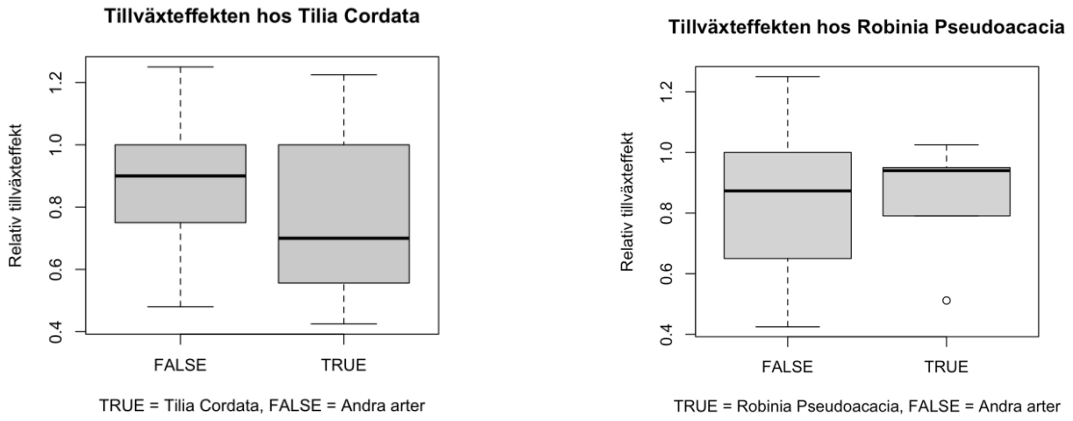


Figur 2. Variation på relativ tillväxt beroende på torkår eller inte. I låddiagrammen visas medianvärdet (svart streck), över och undre kvartilerna. Öppna cirklar ange utliggare

4.3 Variation av torkeffekt mellan arter

I figur 3 illustreras effekten hos *T. Cordata* och *R. pseudoacacia* samt hur de relaterar till de andra arternas relativa tillväxteffekt under torkår. *T. Cordata* har ett relativt tillväxtvärde på cirka 0,7 jämfört med resterande arter på cirka 0,9. *T. Cordata* påvisar dock ingen signifikant skillnad med de andra arterna (p=0,3), men stor varians hos båda grupperna kan observeras. *R. pseudoacacia* har ett värde på cirka 0,95 medan resterande arter ligger på cirka 0,9 vilket kan tolkas att observationerna av *R. pseudoacacia* var opåverkade och hade en relativt stabil tillväxt speciellt eftersom variationen var liten bland observationerna. Ett ANOVA test visade dock att *R. Pseudoacacia* ej påvisade någon signifikant skillnad mellan resterande arter (p=0,8).

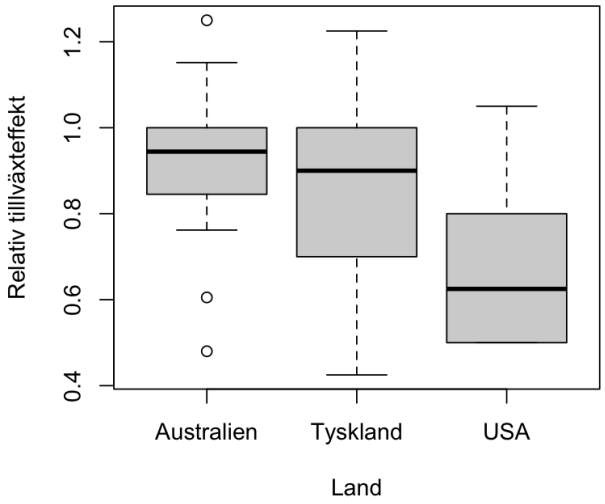
De resterande arterna varierar mellan graferna. Det beror på att datan som ingår i gruppen FALSE skiljer sig mellan graferna. I vänstra grafen har *T. Cordata* tagits ut från gruppen eftersom *T. Cordata* ska jämföras med resterande arter från den framtagna datan. I högra grafen har istället *R. pseudoacacia* tagits ut från gruppen eftersom *R. Pseudoacacia* ska jämföras med gruppen. I båda graferna ligger dock medianen för den relativa tillväxteffekten på cirka 0,9 för de resterande arterna, dock med stor varians. Eftersom T. Cordata och resterande arter ligger under 1 kan man se en effekt av torka på arterna men eftersom ANOVA envägstest visade på ej signifikant går det ej säkerställa att det beror på observerade arter.



Figur 3. I den vänstra grafen är T. Cordata uttagen och jämförs med resterande arter från datan. I den högra grafen är R. pseudoacacia uttagen och jämförs med resterande arter från datan. TRUE motsvarar den uttagna arten medan FALSE motsvarar resterande arter i databladet.

4.4 Variation av torkeffekt i relation till geografisk variation

För att undersöka hur tillväxteffekten kan variera geografiskt under torkår gjordes en analys hur den relativa tillväxten varierade mellan länderna där provtagning skedde (figur 4). Observationerna från Australien hade en tillväxteffekt på cirka 0,95 med relativt låg varians. Tyskland hade en tillväxteffekt på cirka 0,90 men med stor variation bland observationerna. USA hade en tillväxteffekt på cirka 0,6. USA påvisade lägre tillväxt i relation till de andra länderna det vill säga större effekt av torkan ($p<0,05$).



Figur 4. Relativa tillväxteffekten beroende på land. I låddiagrammen visas medianvärdet (svart streck), över och undre kvartilerna. Öppna cirklar anger utliggare

5 Diskussion

5.1 Tillväxten baserad på planteringsplats och år

Resultatet blev att parkträd är mer påverkade av torka än vad träd i gatumiljö är samt att torkår har minimal effekt jämfört med närliggande år. Det skulle betyda att träd inte alls påverkas av trängre och torrare planteringsplats eller extremväder vilket inte stöds av andra artiklar (Sanders et al. 2013; Adams et al. 2017; Gillner et al. 2014; Calfapietra et al. 2014). Att resultat fortfarande visar detta med signifikant nivå betyder att det måste vara andra faktorer som ej tagits med i beräkningen som påverkat resultatet. Andra faktorer som ålder och planteringsmetod är viktiga för trädets tillväxt (Lopez et al. 2021). Den här studien har ej använt ålder som en påverkande faktor och har ej varit i fokus i de använda artiklarna. Det kan ha påverkat resultatet om åldern på träden skiljer sig markan mellan studierna och det ej tas hänsyn till. Ålder har en påverkan på trädet då äldre träd ej behöver prioritera tillväxt för överlevnad. Äldre träd har större kapacitet för att lagra kol och kan därför lättare anpassa sig vid torka genom att stänga klyvöppningarna där vattensläpps ut och kol tas in. Genom att stänga klyvöppningarna kan trädet då bevara vattnet. Unga träd har inte samma möjlighet för det här och har ett större behov av att hålla klyvöppningarna öppna (Bryant et al. 2023; Lopez 2021). I de använda studierna varierar det hur mycket hänsyn de tagit till åldern. I studien av Craig et al (2017) observerades träd med åldern <20 år. I studien av Rötzer et al (2021) var medelåldern cirka 50 för träden och i studien av Zhang et al (2021) varierade åldern från 30 till 90 på träden bara för att ge några exempel. Eftersom RWI indexet är baserat på ålder har åldern tagits hänsyn till i de individuella studierna men om effekten som resulterade från studierna är beroende på åldern och det ej tagits hänsyn till i denna studie kan det fortfarande påverka resultatet.

Tidigare studier påvisar att träd påverkas av torka (Calfapietra et al. 2014; Lopez et al. 2021; Eriksson et al. 2016). Inte alla artiklar har dock undersökt tillväxt. Det som sker när träd utsätts för höga temperaturer och torka är att klyvöppningarna stängs och fotosyntesen och hydrauliska funktionerna försämras. Det har en direkt koppling till trädets transpiration och energiproduktion. Andra responser som transpiration och rottillväxt är möjligen mer påverkade av torka (Sand et al. 2018). RWI ska dock vara ett bra mått på hur trädet påverkas under lång tid (Salomón et al. 2022; Gillner et al. 2014) men som vissa studier nämner är det svårt att hitta studier där man undersökt torkas effekt under lång tid på grund av att det är tidskrävande och svårare att utföra (Meineke et al. 2018). Det kan resultera i att den effekt som den här studien valt att undersöka (tillväxt utefter RWI) ej var den primära faktorn som påverkades. Att undersöka flera responser hade därför varit gynnsamt för att få en helhetsbild av hur träden påverkas av torka istället för att begränsa sig till en respons.

Som framförs av flera studier är platsen viktig för trädets överlevnad. Planering är en av de viktigaste stegen för att säkerställa att trädet kommer överleva (Czaja et al. 2020; Schütt et al. 2022; Sanders et al. 2013). Val av plats och art är därmed viktiga aspekter att ta hänsyn till. Att denna studies resultat skulle visa på att ”Park” platser är mer påverkade än gatuträd är därför överraskande. En anledning varför kan vara att studierna ej var jämförbara (Salomón et al. 2022; Östberg et al. 2021; Kraemer et al. 2022). Vid experiment som baseras på metereologisk data och utförs *in situ* saknas det mallar och standardiserade parametrar att utgå ifrån vilket gör att

olika studier kan ses som lika men viktiga detaljer skiljer sig. En av de parametrarna kan var bedömningen av hur urban en plats är, även kallad den urbana gradienten. Studierna som valdes använde platser som park, gata och urban. Träd beskrevs vara planterade i parker och längs med gator men inte alla studier tydligt definierade vad det innebär. Fokuset i studierna låg inte på hur planteringsplatsen såg ut för trädena vilket kan ha resulterat i att vissa träd klassades som gatuträd när de egentligen var planterade fritt som ett parkträd. Det kan ha resulterat i att den urbana bedömningen av planteringsplatsen som gjordes för att bestämma hur urban den är, blev skev. Ytterligare information om planteringsplatserna och förutsättningarna kring platserna hade varit användbart för att säkerställa att den framtagna datan var jämförbar.

Problemet med planteringsplatsen återfinns även i torkåren. Eftersom mängden studier som fanns tillgängliga var begränsad fick flera torkår användas för att kunna se en generell effekt som torkår hade på den relativa tillväxten. Olika torkår kunde dock ha olika effekt på olika platser vilket ej togs hänsyn till I den här studien. Ett av torkåren som togs upp i en av studierna var 2005 och ett annat 2018. De torkåren och vart dessa torkår skedde spelar stor roll. 2005 kan ha varit ett extremår av torka för ett land men ett mildare torkår för ett annat land. För att förbättra resultatet, och skapa en djupare analys hade det vart fördelaktigt att undersöka ett torkår på flera platser, eller flera torkår på en och samma plats. Det hade underlättat analysen vid jämförelse av platserna eller åren emellan. Det hade ökat validiteten och jämförbarheten av studierna. Eftersom den här studien var beroende av redan existerande studier var det ej möjligt att välja en specifik plats eller specifikt år då mängden data hade blivit för begränsad för att kunna utföra en analys på. Ett sätt att förbättra analysen hade varit att ta med andra faktorer som kan kopplas till torka, exempelvis årsmedelnederbörd under de torktillfällena eller andra värden så som torkindex som SPEI eller DMI som är två olika index på fukt eller torka. Genom att ta med andra faktorer kopplade till torka hade en starkare koppling mellan torka och effekt kunnat observerats.

Den relativa tillväxteffekten baserades på värden från grafer. Det leder också till osäkerhet då värdena kan ha misstolkats. För tillväxteffekten på åren innan och efter torka användes även ett medelvärde för att lättare kunna jämföra de olika åren. Det kan ha stor effekt om året direkt efter ett torkår fortfarande hade stor påverkan från torkan medan de senare 4 åren hade trädet återhämtat sig kan medelvärdet av de 5 nästkommande åren missa viktig information. Variansen bland datan kan ha påverkat resultatet och observerad effekt kan ha kompenserats av år med ingen observerad effekt.

En annan anledning varför resultatet visade på högre effekt av torka hos parkträd kan bero på att gatuträd har anpassat sig till tuffare klimat och har under åren av tillväxt anpassat sig till den stress som tillkommer med gatumiljön. Rotsystemet har växt under stressade förhållanden och har lärt sig att optimera vattenupptaget vilket gör att de påverkas mindre av torkperioder än vad parkträd gör. Det här beror dock på vilket art som planterats i vilken miljö då olika arter anpassar sig olika bra till olika miljöer. Arter som dock anpassat sig bra till stadsmiljöns begränsningar har en fördel vid torkperioder då de har det som krävs för att överleva och riskerar därför att påverkas mindre av utomstående faktorer så som torka eller ökade temperaturer. För att få bättre förståelse för hur rotsystemets tillväxt påverkas av

planteringsplats och hur det förbättrar trädets möjligheter för överlevnad under extremväder behövs flera undersökningar som specifikt undersöker rotsystemen. Det kan vara en rimlig anledning till varför gatuträd påvisade en mindre effekt och kan därför vara fördelaktigt att fortsätta forskning inom det området för att säkerställa kopplingen mellan trädets överlevnad och dess rotsystem. För att förbättra kunskaper inom området kan det vara fördelaktigt att även undersöka koppling mellan art och rotsystem i trängre och torrare planteringsmiljöer då effekten kan variera mellan arter.

5.2 Tillväxten för olika arter

Arterna *T. Cordata* och *R. pseudoacacia* ingick i de tyska studier som inkluderades i denna sammanfattning vilket gör det möjligt att evaluera deras känslighet för torka utan påverkan av geografisk variation. *T. Cordata* påvisade en sämre tillväxt än vad *R. pseudoacacia* gjorde under torkår. *R. pseudoacacia* har även en högre tillväxt relativt de andra arterna medan *T. Cordata* har sämre tillväxt relativt de andra arterna. *T. Cordata* förekommer ofta som en känsligare art för torka medan *R. pseudoacacia* framkommer som en mindre känslig art vilket påvisas av ett andra studier (Dervishi et al. 2022; Moser et al. 2016).

Olika arter är olika väl anpassade till olika klimat men ingen art gynnas av extremväder. Olika arter har dock olika mekanismer för att hantera extremväder som torka. Vissa arter väljer att stänga sina klyvöppningar för att spara vatten medan andra väljer att hålla dom öppna för att ej hämma upptaget av kol. (Bryant et al. 2023). Det finns dock flera anledningar än regleringen av klyvöppningarna till varför en art är bättre anpassad för klimatförändringar. En annan anledning är plasticitet där *R. Pseudoacacia* är mer tålig än *T. Cordata* på grund av xylem plasticitet. (Dervishi et al. 2022; Su et al. 2021). Xylem plasticitet är möjligheten för träden att ändra storlek och produktionen av dessa xylem och floem celler för att anpassa sig till tuffare klimat. (Sjöman 2007; Gricar et al. 2015). Ett annan egenskap som påverkar hur påverkad en art blir av torka har med deras löv att göra. Hur bladen ser ut och trädets möjlighet att anpassa bladets storlek och yta gör arten mer eller mindre tålig för torka (Lizell et al. 2021). Olika arter här därför genetiskt underlag som kan vara gynnsamma för extremväder, vilket gör att vissa arter har större kapacitet att hantera extremväder än andra. Som tidigare nämnt har arter olika mekanismer för hantering av till exempel torka men beroende på förutsättningarna vid planteringsplatsen kan dessa mekanismer vara olika bra (Bryant et al. 2023). Vid planering av städer är val av art därför viktigt då den genetiska variationen ökar chansen för trädets överlevnad (Liu et al. 2021). För den här studien hade kan endast slutsatser dras kring Tyskland och hur *T. Cordata* och *R. pseudoacacia* reagerar i den observerade miljön och under de utvalda torkåren. Andra artiklar kan ha fått andra resultat om de undersökt dessa arter under andra förhållanden.

Eftersom olika arter reagerar olika på torka är det viktigt att kartlägga när torkan skedde då olika arter har maximal tillväxt vid olika perioder på året. Om torkan faller samtidigt som tillväxten är som högst är det större risk att trädet blir påverkade och tillväxten hämmas. Om torkar däremot faller efter den tillväxtperioden behöver trädet endast fokusera på att motarbeta torkan istället för att växa (Salomón et al. 2022). Beroende på när torkan tog plats i de studerade

artiklarna kan effekten ha varierat vilket kan ha varit en anledning till att effekten inte observerades specifikt eftersom vissa studier endast kollade på parkträd och andra endast på gatuträd. Om dessa studier gjordes under olika perioder för olika arter kan resultatet påvisa en respons som ej sammanfaller med den förväntade effekten av att gatuträd borde påverkats mer än parkträden.

5.3 Tillväxten beroende geografisk variation

Planering inför plantering av urbana grönområden är viktigt då ett flertal faktorer kan skilja sig. Beroende på vart i världen du befinner dig påverkas arter olika av torka (Esperon-Rodriguez et al. 2021, 1). Förutsättningarna för att växterna ska trivas beror på ett flertal faktorer som påverkas av geografin, topografin, ekologin m.m. Olika klimatzoner och olika länder påverkas olika av klimatförändringarna där vissa länder kommer få ett mer trivsamt klimat för vissa trädarter medan andra kommer få ett sämre klimat för vissa trädarter beroende på hur nederbördsmönstret förändras och hur temperaturen förväntas öka i de olika länderna (Naturvårdsverket, u.å.). Det här kommer även ske inom länder, speciellt om länder sträcker sig över flera klimatzoner (Eriksson et al. 2016). Det här är viktiga aspekter att tänka på inför val av art och plats för grönområden i städer. Det här kan ses i figur 4 med undersökningen av hur den relativa tillväxten varierar mellan olika länder under torkåren. Där kunde vi se att Australien och Tyskland hade relativt samma tillväxt under torkperioder medan USA hade en betydligt lägre tillväxt.

Vi vet att värmeö effekten påverkar klimatet i en stad. Beroende på hur en stad är uppbyggd kan denna effekt variera och olika städer påverkas därför olika på klimatförändringar. På samma sätt påverkas statsklimatet av mängden människor, bilar och trafik och klimatet varierar därför också mellan städer. Större städer som Tokyo förväntas påverkas mer än andra städer på grund av dess storlek och urbanisering (Moser et al. 2018). I Santiago de Chile förväntas klimatförändringarna påverka klimatet positivt för växterna då växtsäsongen förlängs (Moser et al. 2018). Vegetation som växer i specifika klimat är anpassade efter det klimatet vilket betyder att växter som är vana vid extrema klimat lättare anpassar sig till stadsmiljö där liknande förhållande finns (Liu et al. 2021). Det är därför viktigt vid val av art att man väljer arter från tuffare klimat eller med de inbyggda mekanismerna för att hantera tuffare klimat.

Escobedo et al. (2016) tar de upp att Santiago de Chile har en procentuell dödssiffra för träden på 3% där klimatet är medelhavsklimat. I staden San Juan i Chile ligger procenten på 30-40% men klimatet är subtropiskt. I USA, Gainsville som även där har subtropiskt klimat ligger procenten på 10-19% (Escobedo et al. 2016). Klimatet har en viktig del i träds överlevnad men det finns fler faktorer som spelar roll. Det kan vi se mellan San Juan och Gainsville där samma klimat råder men dödssiffran skiljer sig. Escobedo argumenterar därför att det är viktigt med underhåll och montering av dessa träd, att det måste ske på ett korrekt sätt för att lägga en bra grund för trädens överlevnad. En annan artikel tar upp ett liknande argument där trädens dödlighet var beroende på vart i staden de var planterade utifrån ett ekonomiskt perspektiv

(Czaja et al 2020). De rikare delarna eller rikare städer där underhåll var konsekvent och planerat överlevde träden bättre än i de delar där de lämnades utan underhåll.

Planering och underhåll är därför viktiga delar av trädets överlevnad. Beroende på ett lands prioriteringar och forskning kring dessa frågor kan effekten variera. Det är svårt att säga en generell slutsats kring torkas effekt på geografisk variation då flera faktorer spelar roll, och för att kunna se hur effekten varierar geografiskt behövs mer data. Den här studien kan inte dra någon slutsats kring den geografiska effekten då observationerna är för få. Flera studier som undersöker flera faktorer så som planteringsplats, skötsel och klimat behövs för att kunna dra dessa slutsatser I den här studien har endast 1 forskningsstudie från USA, 2 från Australien och 3 från Tyskland gjorts. För att få ett bättre mer representativt resultat behövs fler studier tas med. Dessa länder är även stora och stor variation finns inom landet vilket är viktiga aspekter att ta hänsyn till då ett värde från ett stort land aldrig kommer vara representativt.

6 Slutsats

Denna studie syftade till att undersöka effekten som torka har på urbana träd och baserades på tidigare studier. Studien resulterade i att parkträd var mer påverkade av torka än gatuträd. Tidigare studier gav motstridande resultat och påvisar att gatuträd borde påverkas mer än parkträd. Vissa studier visar dock på att beroende på klimatzon, planering och underhållsarbete kan effekten variera. Artiklar och studier gjorda för att undersöka responsen av träd framför likande resultat att det finns ett flertal faktorer att undersöka som kan påverka resultatet inte bara planteringsplats. Vi kan därför dra slutsatsen att urbana träd är påverkade av torka men att förutsättningarna för trädets överlevnad är komplexa och beror på ett flertal faktorer så som vilken art som planteras, hur och när planteringen skedde och vart i världen planteringen sker. Underhållsarbete och fler studier med långtids övervakning behövs för att kunna ge ett pålitligt resultat.

7 Referenser

Adams, H., Zeppel, M., Anderegg, W., Hartmann, H., Landhäusser, S., Tissue, D., Huxman, T., Hudson, P., Franz, T., Allen, C., Anderegg, L., Barron-Gafford, G., Beerling, D., Breshears, D., Brodribb, T., Bugmann, H., Cobb, R., Collins, A., Dickman, L., … McDowell, N., (2017). A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. Nature ecology and evolution, volym(1), 1285-1291. DOI: 10.1038/s41559

Bryant, K., Fredericksen, B., Hudiburg, T., Rosenthal, D., (2023). Physiological strategies for handling summer water stress differ among co-existing species and between juvenile and mature trees. *Front. For. Glob. Change* 5:1018789. 10.3389/ffgc.2022.1018789

Calfapietra, C., Peñuelas, J., Niinemets, Ü., (2014). Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress. *Trends in plant science, volym*(20), 1360-1385. http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2014.11.001

Clearing House Project (u.å.). *Ecosystem services of a tree*. https://clearinghouseproject.eu/ecosystem-services-of-a-tree/,

Coutts, A., White, E., Tapper, N., Beringer, J., Livesley, S., (2015). Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three con- trasting street canyon environments, *theoretical and applied climatology, volym*(124), 55-68. DOI 10.1007/s00704-015-1409-y

Czaja, M., Kołton, A., Muras, P., (2020). The Complex Issue of Urban Trees—Stress Factor Accumulation and Ecological Service Possibilities. *Forests, volym*(11). doi:10.3390/f11090932

David, A., Boura, A., Lata, J., Rankovic A., Kraepiel, Y., Charlot, C., Barot, S., Abbadie, L., Ngao, J., (2018). Street trees in Paris are sensitive to spring and autumn precipitation and recent climate change. *Urban ecosystems, volym*(21), 133-145. DOI 10.1007/s11252-017-0704-z

Dervishi, V., Poschenrieder, W., Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Pretzsch, H., (2022). Effects of Climate and Drought on Stem Diameter Growth of Urban Tree Species. *Forests,* 13, 641. https://doi.org/10.3390/f13050641

Eriksson, H., Bergqvist, J., Hazell, P., Isacsson, G., Lomander, A., Black-Samuelsson, S., (2016*). Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning i skogsbruket*. Skogsstyrelsen.

Escobedo, F., Palmas-Perez, S., Dobbs, C., Gezan, S., Hernandez, J., (2016). Spatio-Temporal Changes in Structure for a Mediterranean Urban Forest: Santiago, Chile 2002 to 2014. *Forests*, *volym*(7), doi:10.3390/f7060121

Esperon-Rodriguez, M., Rymer, P., Power, S., Barton, D., Cariñanos, P., Dobbs, C., Eleuterio, A., Escobedo, F., Hauer, R., Hermy, M., Jahani, A., Onyekwelu, J., Östberg, J., Roman, L., Pataki, D., Russo, A., Randrup, T., Shackleton, C., Wells, M., Tjoelker, M., (2021) Assessing climate risk to support urban forests in a changing climate. *Plants, People, Planet, volym*(4), 201-213. DOI: 10.1002/ppp3.10240

Esperon-Rodriguez, M., Baumgartner, J., Beaumont, L., Lenoir, J., Nipperess, N., Power, S., Richard, B., Rymer, P., Tjoelker, M., & Gallagher, R. V. (2021). Climate-change risk analysis for global urban forests. *bioRxiv*. https://doi.org/10.1101/2021.05.09.443030

Fahey, R., Bialecki, M., Carter, D., (2013). Tree Growth and Resilience to Extreme Drought Across an Urban Land-use Gradient. *Arboriculture & Urban Forestry, 39*(6): 279–285. Doi saknas.

Folkhälsomyndighetern (2018). *Värmestress I urbana utomhusmiljöer* (). https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/e5286456e91c442a923c6884d84f79be/varmestress-urbana-utomhusmiljoer-18061-webb-181112.pdf

Gillner, S., Bräuning, A., Roloff, A., (2014). Dendrochronological analysis of urban trees: climatic response and impact of drought on frequently used tree species. *Trees, volym*(28), 1079-1093, DOI 10.1007/s00468-014-1019-9

Gricar, J., Prislan P., De Luis M., Gryc V., Hacurova J., Vavrčik H., Čufar K., (2015) Plasticity in variation of xylem and phloem cell characteristics of Norway spruce under different local conditions, *frontiers in plant science, volym*(6),. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00730

Hartmann, H., Bastos, A., Das, A., Esquivel-Muelbert, A., Hammond, W., Martínez-Vilalta, J., McDowell, N., Powers, J., Pugh, T., Ruthrof, K., Allen, C., (2022). Climate Change Risks to Global Forest Health: Emergence of Unexpected Events of Elevated Tree Mortality Worldwide. *Annual review connect, volym*(73), 673-702. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-012804

Hirsch, M., Böddeker, H., Albrecht, A., Saha, S., (2022). Drought tolerance differs between urban tree species but is not affected by the intensity of traffic pollution. *trees*. https://doi.org/10.1007/s00468-022-02294-0

Holopainen, M., Leino, O., Kämäri, H., Talvitie, M., (2005) Drought damage in the park forests of the city of Helsinki, Urban Forestry & Urban Greening 4 (2006) 75–83, doi:10.1016/j.ufug.2005.11.002

Huang, W., Fonti, P., Lundqvist, S., Larsen, j., Hansen, J., Thygesen, L., (2021). Differences in xylem response to drought provide hints to future species selection. *New forests, volym(*53), 759-777. https://doi.org/10.1007/s11056-021-09885-8

Helsingborg. (u.å.). *Riktlinjer för träd I gatumiljö*. https://tekniskhandbok.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/64/2019/01/riktlinjer-for-trad-i-utemiljo-190118.pdf

Kraemer, R., Kabisch, N., (2022). Parks Under Stress: Air Temperature Regulation of Urban Green Spaces Under Conditions of Drought and Summer Heat. *Front. Environ. Sci*. 10:849965. doi: 10.3389/fenvs.2022.849965

Liu, M., Zhang, D., Pietzarka, U., Roloff, A., (2021). Assessing the adaptability of urban tree species to climate change impacts: A case study in Shanghai. *Urban Forestry & Urban Greening* 62 (2021) 127186. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127186

Lizell, A., (2021) *Vad gör en växt torktålig?,* [Kandidatarbete, SLU].

Lopez, J., Tor-ngern, P., Oren, R., Kozii, N., Laudon, H., (2021). How tree species, tree size, and topographical location influenced tree transpiration in northern boreal forests during the historic 2018 drought. *Global Change Biology, volym*(27), 3066-3078. DOI: 10.1111/gcb.15601

Meineke, E., Frank, S., (2018). Water availability drives urban tree growth responses to herbivory and warming. *Journal of applied ecology, volym*(55), 1701-1713, DOI: 10.1111/1365-2664.13130

Moser, A., Rötszer, T., Pauleit, S., Pretsch, H., (2016). The Urban Environment Can Modify Drought Stress of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests*, volym(3). https://doi.org/10.3390/f7030071

Moser, A., Uhl, E., Rötzer, T., Biber, P., Caldentey, J., Pretzsch, H., (2018). Effects of climate trends and drought events on urban tree growth in Santiago de Chile, *Cien. Inv. Agr. 45*(1):35-50. DOI 10.7764/rcia.v45i1.1793

Moser-Reischl, A., Rahman, M., Pauleit, S., Pretzsch, H., (2019). Growth patterns and effects of urban micro-climate on two physiologically contrasting urban tree species. *Landscape and Urban Planning 183* (2019) 88–99. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.11.004

Naturvårdsverket (u.å.). *Effekter i världen*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/klimatet-i-framtiden/effekter-i-varlden/

Naturvårdsverket (u.å.) *Därför blir det varmare*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/

Naturvårdsverket (u.å.) Klimatet förändras. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/klimatet-forandras/

Nitschke, C., Nichols, S., Allen, K., Dobbs, C., Livesley, S., Baker, P., Lynch, Y., (2017), The influence of climate and drought on urban tree growth in southeast Australia and the implications for future growth under climate change, *Landscape and urban planning, volym*(167), 275-287, http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.012

Parmesan, C., M.D.Morecroft, Y.Trisurat, R.Adrian, G.Z.Anshari, A.Arneth, Q.Gao, P.Gonzalez, R.Harris, J.Price, N. Stevens, and G.H. Talukdarr, 2022: Terrestrial and Freshwater Ecosystems and Their Services. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 197–377, doi:10.1017/9781009325844.004.

Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Rahman, M.A., Hartmann, C., Paeth, H., Pauleit, S., Pretzsch, H., (2021). Urban tree growth and ecosystem services under extreme drought. *Agricultural and forest metereology*, 308-309 (2021) 108532. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108532

Salomón, R., Peters, R., Zweifel, R., Sass-Klaassen, U., Stegehuis, A., Smiljanic, M., Poyatos, R., Babst, F., Cienciala, E., Fonti,P., Lerink, B., Lindner, M., Martinez-Vilalta, J., Mencuccini, M., Nabuurs, G., van der Maaten, E., von Arx, G., Bär, A., Akhmetzyanov, L., … Steppe, K., (2022). The 2018 European heatwave led to stem dehydration but not to consistent growth reductions in forests. *Nature communications,* 13-28. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27579-9

Sand, E., Konarska, J., Howe, A., Andersson-Sköld, Y., Moldan, F., Pleije, H., Uddling, J., (2018). Effect of ground surface permeability on the growth of urban linden trees. *Urban ecosystem, volym*(21), 691-696. https://doi.org/10.1007/s11252-018-0750-1

Sanders, J., Grabosky, J., Cowie, P., (2013). Establishing Maximum Size Expectations for Urban Trees with Regard to Designed Space. *Arboriculture & Urban Forestry, volym*(39), 68-73. Doi saknas.

Schütt, A., Becker, J., Gröngröft, A., Schaaf-Titel, S., Eschenbach, A., (2022). Soil water stress at young urban street-tree sites in response to meteorology and site parameters. *Urban forest and urban greening, volym*(75), 127692. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127692

Sjöman, H. (1 januari 2007) Trädarters tolerans – naturliga förhållanden som en riktlinje för ett mer kvalificerat växtval för stadens varierande ståndortsförhållanden. *SLU tankesmedjan MOVIUM.*
https://www.movium.slu.se/tradarters-tolerans-naturliga-forhallanden-som-en-riktlinje-ett-mer-kvalificerat-vaxtval-stadens

Sjöman, H., Hirons, A., Bassuk, N., (2015) Urban forest resilience through tree selection—Variation in drought tolerance in Ace. Urban forest and urban greening, volym(14), 858-865. http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.004

Stockholm Resilience Centre (u.å.). *The nine planetary boundaries*. planetary B https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/the-nine-planetary-boundaries.html

Su, B., Wang, L., Shangguan, Z. (2021) Morphological and physiological responses and plasticity in *Robinia pseudoacacia* to the coupling of water, nitrogen and phosphorus. *Journal of plant nutrition and soil science, volym*(184), 271-281. https://doi.org/10.1002/jpln.202000465

United states Environmental protection agency, (2023) *Reduced urban heat island effect*, epa.gov hämtad 2023-03-01 från https://www.epa.gov/green-infrastructure/reduce-urban-heat-island-effect

Vico, G., Revelli, R., Porporato, A. (2014) Ecohydrology of street trees: design and irrigation requirements for sustainable water use, *Ecohydrology, volym*(7), 508-523. DOI: 10.1002/eco.1369

Zhang, B., Brack, C., (2020). Urban forest response to climate change: A case study in Canberra. *Urban forest and urban greening, volym*(57), 126910. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126910

Zwieniecki, M.A. and Secchi, F. (2015), Xylem hydraulic function under new climate normal. Plant Cell Environ, 38: 1713-1724. https://doi.org/10.1111/pce.12412

Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., Pauleit, S., (2016), Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale, *Urban Forestry and Urban Greening, volym*(20), 305-316. http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011

Östberg, J., Sandberg, K., Wiström, B., (2021). Rating of parameters used to assess tree vitality by urban foresters and ecologists in Sweden, using the Delphi method. *Urban forestry and urban greening, volym*(62), 127134, https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127134