



INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH
MILJÖVETENSKAP

TORKSTRESS HOS URBANA TRÄD I GÖTEBORG

Effekter av låg vattentillgång under torkan 2018



Andrea Sartorius

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet miljövetenskap
ES1510, Examensarbete i miljövetenskap I, 15 hp

Grundnivå

Termin/år: VT 2023

Handledare: Johan Uddling Fredin vid institutionen för biologi och miljövetenskap

Examinator: Annemarie Reurslag Gärdenäs vid institutionen för biologi och miljövetenskap

Abstract

During late spring and most of the summer in the year of 2018 the weather in Sweden was more extreme than normal, with high temperatures and few rainfalls. This resulted in a drought, of which the effects were noticed all over the country. One of the noticeable effects was an earlier leaf abscission from trees. However, the effects of drought in an urban area are quite different compared to other environments.

Something that is not very well studied is the effects of drought on vegetation growing in cities. The city environment is different compared to the tree's natural environment, with its hard surfaces and buildings covering the sunlight and trapping extra heat due to various physical phenomena. This type of environment has various impacts on the trees, for example low infiltration of water into the soil surrounding the roots, which often result in water stress. Trees in turn affects the local climate, and ultimately the people living the city by the ecosystem services they provide. The impact on humans is one reason among many to take interest in the studies of the effects of drought on urban trees.

Different species of trees have different characteristics, among them varying water use strategies and photosynthetic activity. Therefore, it is important to choose the species and the planting method carefully when planting new trees in the rough environment of a city. With these challenges in mind, this study was designed to study the effects of drought on urban vegetation. The main question was which trees experienced a negative effect of drought, and more specifically if the species and permeability of the surface under the tree crown influenced the trees' ability to mitigate the drought in 2018.

The method consisted of a combination of field-based measurements and remote sensing data analyses on a sample of urban trees in the Swedish city of Gothenburg, chosen with random sampling from a public database, based on certain criteria such as species, age and permeability of the surface covered by the tree crown. This resulted in a sample with a size of 44 individual trees, 23 of the species *Tilia europaea* and 21 of the species *Quercus robur* which were growing with different fractions of permeable surface below the tree crown (high $\geq 50\%$ and low $< 50\%$ respectively). The remote sensing consisted of a comparison of the data from the field studies with data on the change in the Normalized Difference Vegetation Index, NDVI (Δ NDVI). NDVI displays the greenness or relative biomass observable from above. The comparison was done to estimate effects linked to the drought between late July 2017 and 2018.

The results from the study showed a significant negative change in Δ NDVI for all studied trees (mean = -0,017) ($p = < 0,1$). Also, a significant interaction between species and surface permeability was found, with the largest NDVI decline occurring in *Quercus robur* with a high fraction of permeable soil under the tree crown ($p = 0,029$). No general difference in effect on NDVI could be proven between the species *Tilia europaea* and *Quercus robur*. Neither a general significant difference between NDVI for high and low fraction of permeability of the surface below the crown was shown. Both of these results differ from previous studies. The result from this study is a good example for showing the complexity that comes with studying urban trees, and the need for the development of better methods for assessing this issue.

Sammanfattning

Vädret under sen vår och sommar i Sverige år 2018 avvek från tidigare år med ovanligt höga temperaturer och låg nederbördsmängd, vilket resulterade i torka. Effekterna av torkan var påtagliga på många håll i landet med bland annat tidigare lövfällning hos träd. Dock finns det stora skillnader mellan effekter av torka på vegetation i stadsmiljö jämfört med andra miljöer.

På grund av kunskapsbristen kring torkeffekter på urban vegetation är det av intresse att studera dessa. Stadsmiljön skiljer sig mycket från trädets naturliga miljö med sina hårdgjorda ytor och byggnader som skymmer solljus och alstrar extra värme till följd av olika fysikaliska fenomen. Denna typ av miljö har olika effekter på träden, exempelvis låg infiltration av vatten till jorden som omger rötterna, som ofta leder till vattenstress. Träd i stadsmiljö bidrar med många ekosystemtjänster till människor, däribland en lokal avkylning av luften genom transpiration. För att träden ska kunna transpirera samt växa och utvecklas krävs en tillräcklig vattentillgång för rötterna. Nyttan för människor är ett av alla skäl till att det är intressant att studera stadsträd.

Olika arter av träd har varierande egenskaper vad gäller bland annat vattenhantering och fotosyntetisk aktivitet. Därför är strategiska val av såväl art som planerings sätt viktigt när nya träd planteras i städer, vars tuffa miljö ställer höga krav på träden. Mot bakgrund av detta syftar denna studie till att studera torkeffekter på urban vegetation. Den huvudsakliga frågan handlade om att ta reda på vilka träd som uppvisade en negativ effekt av torka, mer specifikt om trädarten och andelen permeabel markyta under trädkronan hade någon påverkan på trädens förmåga att hantera torkan 2018.

Metoden bestod av en kombination av mätningar i fält och fjärranalys av datan från ett urval av stadsträd i centrala Göteborg, utvalda med randomiserat urval från en publik databas, baserat på specifika kriterier såsom art, ålder och permeabiliteten hos ytan under trädkronan. Detta resulterade i ett stickprov med 44 träd, 23 av arten *Tilia europaea* och 21 av arten *Quercus robur* som växte med olika andel permeabel yta under trädkronan (hög $\geq 50\%$ resp. låg $< 50\%$). Fjärranalys användes för att jämföra fältdatan med data på förändring i Normalized Difference Vegetation Index, NDVI (Δ NDVI) som visar grönskan eller den relativa biomassan synlig ovanifrån. Jämförelsen gjordes för att uppskatta effekterna av torkan mellan slutet på juli 2017 och 2018.

Resultaten från studien visade på en signifikant negativ Δ NDVI sett till alla testträd (medelvärde = -0,017) ($p = < 0,1$). Vidare fanns det en signifikant interaktion mellan art och permeabilitet, där arten *Quercus robur* och en hög permeabilitet ($\geq 50\%$) under trädkronan uppvisade den största nedgången i NDVI ($p = 0,029$). Ingen generell skillnad i effekt på NDVI kunde påvisas mellan arterna *Tilia europaea* och *Quercus robur*. Inte heller mellan olika andel permeabel yta under trädkronan kunde någon generell effekt på NDVI visas. Båda dessa resultat motsäger tidigare studier. Resultaten från denna studie är ett bra exempel på komplexiteten som kommer med att studera stadsträd, vilket tydliggör behovet av att utveckla bättre metoder för studier inom området.

Förord

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och har genomförts vid Institutionen för biologi och miljövetenskap inom kandidatprogrammet Miljövetenskap med naturvetenskaplig inriktning vid Göteborgs universitet.

Jag vill börja med att tacka min handledare Johan Uddling för all värdefull återkoppling på arbetet. Tack till masterstudenten Ivan Ružić som hjälpt mig med metoden och gett mig annan användbar information. Vill även tacka Annemarie Reurslag Gärdenäs, Lasse Tarvainen med flera på institutionen som bidragit med tips på referenser och vägledning. Dessutom vill jag rikta ett stort tack till min familj och mina vänner som kommit med många stöttande ord under arbetets gång.

Andrea Sartorius
Göteborg, augusti 2023

Innehållsförteckning

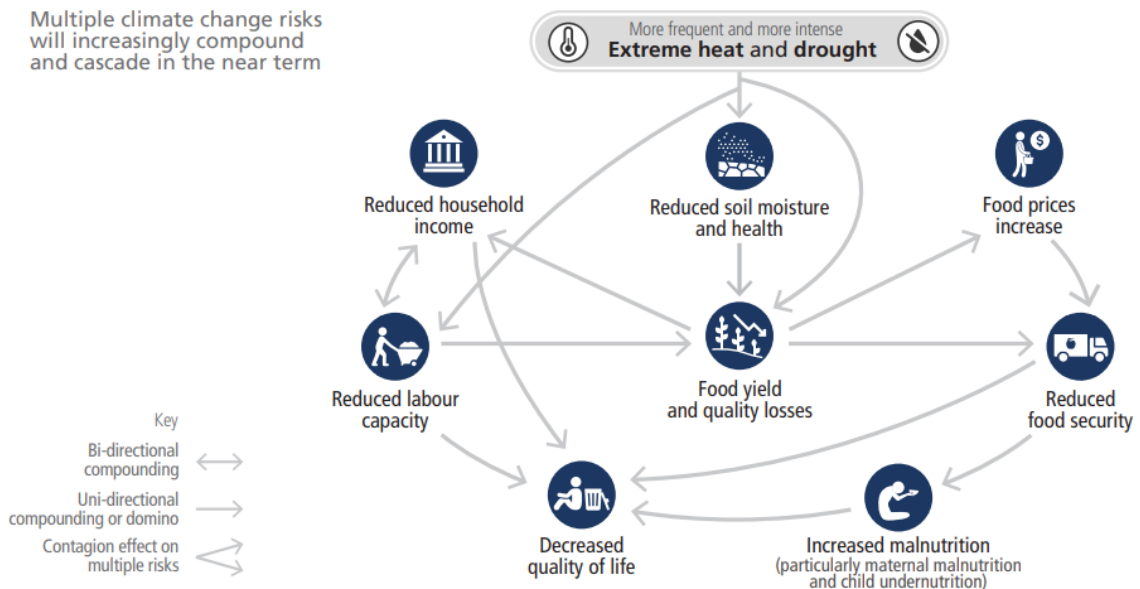
Abstract	2
Sammanfattning	3
Förord	4
1. Inledning.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte.....	10
1.3 Frågeställningar	10
2. Metod	11
2.1 Urval av testträd.....	11
2.2 Datainsamling – mätningar i fält	13
2.3 Datainsamling och beräkningar – NDVI	13
2.4 Dataanalys – statistiska test och beräkningar	14
3. Resultat.....	15
3.1 Effekter av torkan sett till alla testträd.....	15
3.2 Effekter av torkan beroende på art och permeabilitet.....	15
4. Diskussion	20
4.1 Allmänna effekter av torkan sett till alla testträd.....	20
4.2 Interaktion mellan <i>Quercus robur</i> och hög permeabilitet	20
4.3 Förslag på vidare studier inom ämnet.....	22
5. Slutsats	23
6. Referenser.....	24

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Klimatforskningen är helt ense om den globala uppvärmningens existens. Något som inte är lika välstuderat är uppvärmningens olika effekter, både på kort och lång sikt. Ofta är effekterna komplexa och uppträder i olika kaskader som är svåra att förutse (se Figur 1). Det största bidraget till den globala uppvärmningen har antropogent ursprung, där förbränning av fossila bränslen utgör den största delen följt av markanvändning. I och med temperaturökningen förutspås det att många olika platser på jorden kommer att drabbas av mer klimatförändringar i form av mer extremväder i framtiden, däribland fler torrperioder (IPCC, 2023). En torrperiod kännetecknas av en tidsperiod med en mindre nederbördsmängd än normalt, vilket även kallas meteorologisk torka. Detta leder till vattenbrist på olika ställen i det hydrologiska systemet. Exempelvis kan en låg nederbördsmängd orsaka brist på infiltration av markvatten som i sin tur kan leda till minskad vattentillgänglighet för växtrötter samt brist på grundvatten till följd av ett minskat vattenflöde nedåt i jordlagren. Den meteorologiska torkan kan alltså orsaka långtgående konsekvenser för det hydrologiska systemet som både växter, djur och människor är beroende av. Dessutom är människor och djur beroende av olika ekosystemtjänster, som också begränsas av växternas välmående (SMHI, 2023). Exempel på sådana ekosystemtjänster är förbättrad luftkvalitet samt avkyllning genom transpiration och skuggning (Brune, 2016; Turner-Skoff & Cavender, 2019). I en tid med ett varmare klimat och fler torrperioder är det därför av stort intresse att utveckla olika strategier för att optimera växters torktålighet.

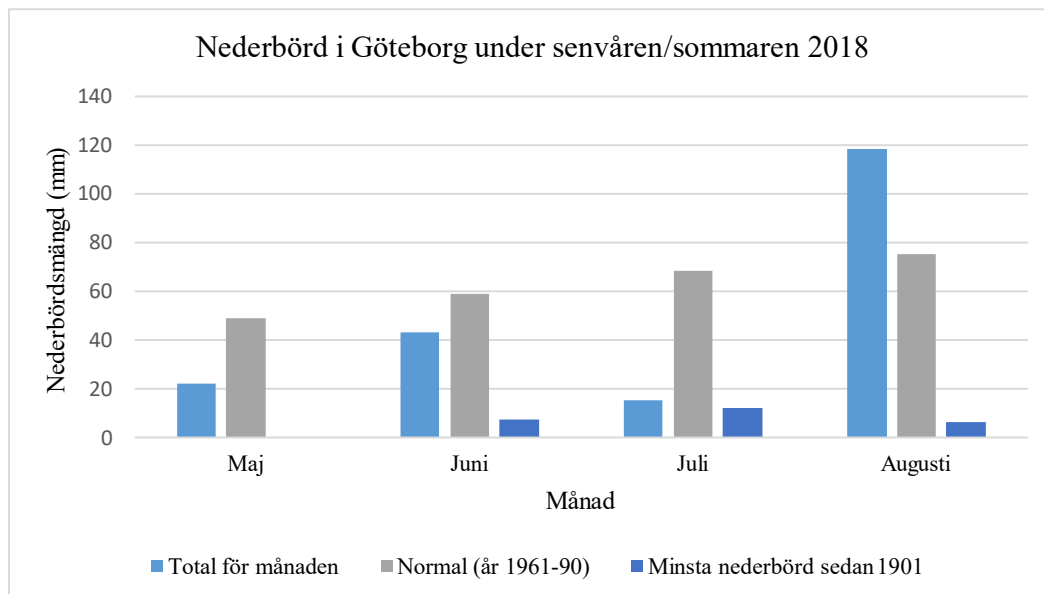
c) Example of complex risk, where impacts from climate extreme events have cascading effects on food, nutrition, livelihoods and well-being of smallholder farmers



Figur 1 – Översikt över möjliga orsaker till följd av extremvärme samt torka. Bildkälla: IPCC, 2023.

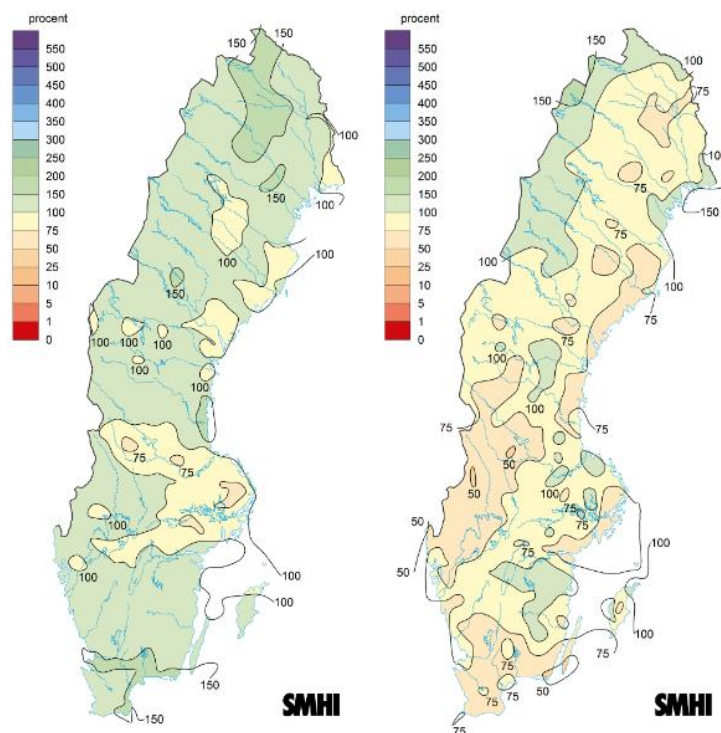
År 2018 var nederbördsmängden under sen vår och sommar i Sverige ovanligt låg, enligt SMHI:s rapport “Sommaren 2018 - en glimt av framtiden?” (2019). Göteborg var inget undantag. Under maj till juli låg nederbördsmängden i Göteborg stadigt under det normala

för dessa månader där juli avvek mest med en total nederbörd på 15 mm, 53 mm lägre än det normala för månaden. I augusti ändrades trenden och den totala mängden nederbörd översteg i stället den normala med 43 mm, och torrperioden var därmed över (SMHI, 2018) (se Figur 2).



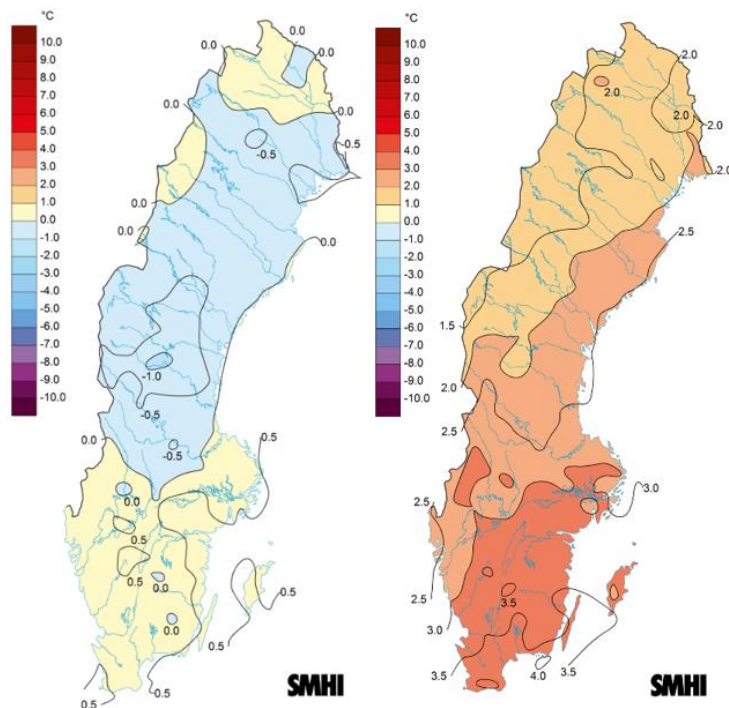
Figur 2 - Nederbördsmängd (mm) per månad för Göteborg under sensvåren och sommaren 2018. Datakälla: rapporten "Nederbörd, solsken och strålning – juni/juli/augusti 2018" från SMHI.

För att sätta torkåret 2018 i perspektiv kan vädret jämföras med sommaren år 2017, som inte kan klassas som ett extremår vad gäller temperatur och nederbörd. Under sommaren 2017 avvek varken nederbördsmängden eller medeltemperaturen från den 30-åriga referensperioden mellan 1961–1990, till skillnad från sommaren 2018 (SMHI, 2023) (se Figur 3 och 4). Därmed är sommaren 2017 rimlig att välja som referens för att jämföra torkeffekter till följd av torkan under sommaren 2018.



Figur 3 - Visar avvikelsen från nederbörden i % av den normala nederbörden för sommaren 2017 (t.v.) respektive sommaren 2018 (t.h.), baserat på referensperioden 1961–1990.

Källa: SMHI, 2023.



Figur 4 - Visar avvikelsen från medeltemperaturen i °C för sommaren 2017 (t.v.) respektive sommaren 2018 (t.h.), baserat på referensperioden 1961–1990.

Källa: SMHI, 2023.

Torkan 2018 hade en stor påverkan på vegetationen runt om i landet, exempelvis i form av tidigare färgförändring och lövfällning hos träd. Lövfällningen är en vanlig respons på torka eftersom det minskar förlusten av vattenånga via bladets klyvöppningar (TT, 2018). Dessutom inföll torkan under trädens tillväxtsäsong när de är mer beroende av en fungerande metabolism för tillväxten och således är känsligare för torka under just den delen av året, särskilt i det nordiska klimatet där den varma och ljusa säsongen vanligtvis är kortare än i större delen av världen i övrigt (Saebo et al, 2003).

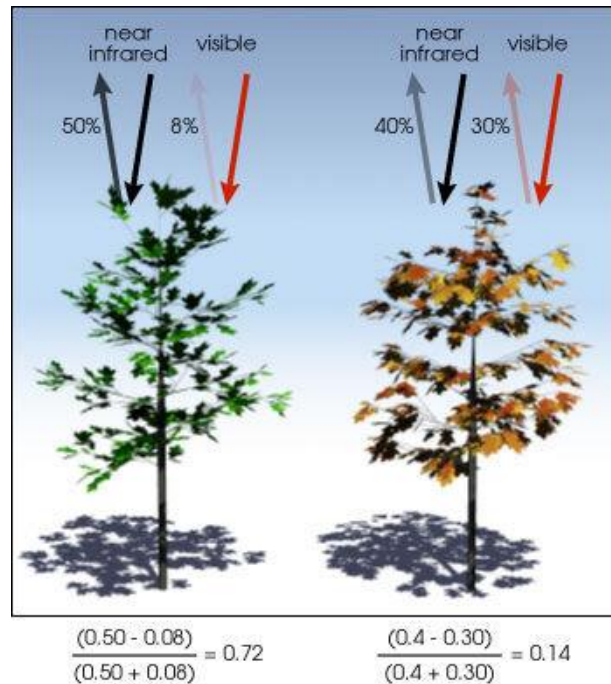
Dock skiljer sig torkeffekterna åt beroende på vilken miljö träden växer i. Den urbana miljön är speciell med mycket hårdgjorda ytor och byggnader som bland annat höjer den lokala lufttemperaturen och minskar vatteninfiltrationen, som i sin tur minskar markfuktigheten och därmed rötternas vattentillgång (Brandt et al, 2021; Brune, 2016). Fenomenet att den lokala lufttemperaturen höjs till följd av stadsmiljön kallas för "Heat Island Effect", där områdena som värms upp kallas "Urban Heat Islands", UHI. Anledningen till detta är främst att byggnader absorberar solinstrålning och släpper ut den i form av värme medan omgivande vegetation använder en stor del av energin från solen till att avdunsta vatten istället (Brune, 2016). Värmeeffekten förstärks sedan av antropogena värmeutsläpp. Sammantaget gör dessa effekter att stadsträd generellt utsätts för mer stress till följd av torka och hetta jämfört med träd som växer i mer "naturliga" miljöer (Brandt et al, 2021; Brune, 2016). På grund av den ökade utsattheten för värme och torka är vattentillgången en betydande begränsande faktor för tillväxt och välmående för stadsträd. Vatten krävs för att träden ska kunna upprätthålla sin fysiologiska funktion eftersom transpirationen behövs för att bland annat kunna fotosyntetisera och växa. Tillväxten påverkar bland annat lövsättningen, som i sin tur påverkar mängden grönska (klorofyll och total bladyta) som trädkronan uppvisar (Hirons et al, 2021).

Även inom gruppen stadsträd finns det variationer i känslighet för torkstress. Träd i parkmiljö växer oftast under mer gynnsamma förhållanden än träd i gatumiljö. Detta då parkträd vanligen har en högre andel permeabel yta under kronan än gatuträd som tenderar att växa omgivna av hårdgjorda ytor såsom asfalt som minskar infiltrationen av vatten till rötterna. Detta har stor betydelse för vattentillgången och därmed graden av torkstress trädet utsätts för. Tidigare studier har visat på att en låg andel permeabel yta under kronan gör att trädets motståndskraft mot torkstress blir svagare. Detta tros främst bero på en försämrad infiltration och lagring av vatten i marken kring trädets rötter (Konarska et al, 2015; Brandt et al, 2021; Sand et al, 2018; Saebo et al, 2003). Effekterna av en låg vattentillgång är än mer påtaglig för yngre stadsträd vars rotsystem är mer begränsat än äldre träd och därför dör ofta stadsträd under tidiga levnadsår innan rotsystemet är mer etablerat och klarar större svängningar i vattentillgång (Schütt et al, 2022).

Transpirationen gör att växten använder solenergin till vattenavdunstning i stället för att producera värme. Vattnet lämnar trädet i gasform via stomata, aktivt reglerade porer i bladytan som sköter gasutbytet mellan luften och bladet (Brune, 2016).

Stomatakonduktans är ett mått på stomatas öppningsgrad, och är därmed avgörande för hur mycket transpiration som kan ske. Vegetationens stomatakonduktans och transpiration är en funktion av strålning, luftfuktighet samt trädartens specifika Leaf Area Index, LAI. En hög stomatakonduktans är kopplad till hög transpiration och fotosyntetisk aktivitet hos träd. Dessutom beror transpirationshastigheten hos träd på den specifika artens vattenreglering. Olika arter har till exempel varierande stomatakonduktans. Detta innebär att olika arter har olika möjlighet att kontrollera sin vattenförlust via stomata, där en högre konduktans kan kopplas till en större förlust av vattenånga via stomata. Ju större vattenförlust, desto större risk har trädet att bli uttorkat. En annan faktor som påverkar transpirationen är vattentillgången, vilket i sin tur påverkas av permeabiliteten hos marken. En högre vattentillgång innebär en möjlighet för trädet att öka transpirationen och på så vis öka avkylningen av sig självt samt den omgivande miljön. Därmed är stomatakonduktansen avgörande för trädets torktålighet, eftersom det påverkar transpirationshastigheten, som i sin tur påverkar hastigheten för trädets konsumtion av markvattnet och därmed risken för uttorkning (Konarska et al, 2015).

För att undersöka effekterna av torkstress kan olika parametrar hos träden mätas. Ett sådant mått är NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), som är ett dimensionslöst vegetationsindex som mäter hur mycket rött ljus som reflekteras av en given markyta, däribland eventuell vegetation. Detta beräknas i form av en kvot innehållande andelen rött (R) och nära infrarött (NIR) ljus som reflekterats av markytan (se Ekvation 1 nedan). NDVI kan användas för att uppskatta vegetationens hälsa eftersom frisk vegetation med mer klorofyll absorberar en hög andel rött ljus (se Figur 5). På detta vis kan NDVI användas för att mäta densiteten av grönska för en given markyta. Detta kan i sin tur ge en indikation på den fotosyntetiska aktiviteten hos vegetationen (GISGeography, 2023).



Figur 5 - Illustrerar betydelsen av NDVI-värdet för vegetationens välmående.
T.v.: mer välmående, t.h.: mindre välmående. Bildkälla: NASA (2000), sida 1.

1.2. Syfte

Syftet med studien är att studera effekter av den minskade nederbördsmängden under sen vår och sommar år 2018 på träd som växer i urban miljö i centrala Göteborg. Specifikt ska två olika trädarters torktålighet jämföras samt hur denna kan variera beroende på andelen permeabel yta under trädkronan.

Två trädarter valdes ut med hänsyn till stomatakonduktans för varje art baserat på en tidigare studie i Göteborg (Konarska et al, 2015).

1.3. Frågeställningar

- Uppvisade alla testträd en genomsnittlig negativ påverkan (NDVI-minskning) till följd av torkan?
- Finns det någon skillnad i torkeffekter mellan testträd av arterna *Tilia europaea* och *Quercus robur*?
- Har andelen permeabel yta under kronan någon betydelse för trädens förmåga att hantera torkan?

2. Metod

Metoden inkluderade både arbete i fält i form av mätningar på utvalda individuella träd i olika miljöer samt fjärranalys i QGIS för att välja ut träd samt tolka resultaten. Detta utfördes i flera steg. Först gjordes förberedelser inför fältarbetet med litteratursökning och urval av testträd att undersöka i fält m.h.a. en träddatabas från Göteborgs stad. Därefter utfördes fältmätningarna. Sedan sammanställdes och analyserades insamlade data och ytterligare beräkningar gjordes. Efter det beräknades skillnaden i NDVI mellan slutet på juli 2017 och slutet på juli 2018. NDVI-förändringen användes sedan som vegetationsmått för att mäta torkeffekter på testträden genom att läsa av NDVI-förändringen för deras individuella geografiska positioner.

2.1. Urval av testträd

Enligt Konarska et al. (2015) har arten *Quercus robur* en stomatakonduktans, g_s på cirka 200 $\text{mmol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ och arten *Tilia europaea* en på cirka 100 $\text{mmol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ i solljus mitt på dagen. På grund av den stora skillnaden i stomatakonduktans är de arterna särskilt intressanta att jämföra torktåligheten hos.

För att välja ut ett stickprov användes en databas tillhandahållen av Göteborgs stad, Park och Natur, med geografiska data för cirka 70 000 individuella träd i Göteborg. Datan innehöll information om bland annat trädets geografiska position, art, planteringsår med mera. Datan behandlades i GIS-programmet och kartverktyget QGIS (version 3.22.7) samt i Microsoft Excel (se Figur 6 och 7). Utifrån dessa data selekterades ett stickprov med hjälp av ett randomiserat urval utifrån följande kriterier:

- Tillgänglig data
- Arterna *Quercus robur*, skogsek, och *Tilia europaea*, parklind
- Planteringsår ≤ 30 år innan 2018
- Plats: endast centrala Göteborg
- Geografisk position: åtminstone ett kvarters avstånd mellan varje enskilt träd

Vad gäller valet av planteringsår fanns det mest data tillgänglig i intervallet ≤ 30 år innan 2018. Datan för träd med planteringsår mer än 30 år innan 2018 hade för stor spridning i planteringsår och var för få till antalet för att kunna jämföras med varandra och med de yngre träden. För att öka jämförbarheten begränsades därför urvalet till ≤ 30 år innan 2018.

Dessutom valdes träd vid lokaler baserat på andelen permeabel markyta under trädkronan. Permeabel markyta definieras som ett material som antas ha goda infiltrationsmöjligheter såsom smågrus, bar jord eller gräs. För att uppskatta andelen permeabel markyta gjordes en fjärranalys i QGIS av ett ortofoto över Göteborg (flygfoto) från år 2019. Genom detta kunde urvalet anpassas så att de ingående träden hade en varierande andel permeabel yta under trädkronan genom att göra en grov uppskattning av permeabiliteten hos ytan kring trädets utifrån ortofotot. Efter att den mer exakta andelen permeabel markyta hade bestämts med fältmätningar kunde testträden delas in i två kategorier:

- Hög permeabilitet, $\geq 50\%$ permeabel yta under kronan
- Låg permeabilitet, $< 50\%$ permeabel yta under kronan

Av olika skäl exkluderades 6 träd från fältmätningar/analys. Urvalet resulterade i ett stickprov, *n* med storleken 44 träd, varav 23 var av arten *Tilia europaea* och 21 av arten *Quercus robur* (förutom en individ av arten *Quercus rubra*). Eftersom det endast var ett träd som tillhörde en annan art av släktet *Quercus*, *Quercus rubra* så benämns alla träd av det släktet som *Quercus robur* i denna studie. När urvalet var fastställt så utfördes fältmätningar på testträden (se rubrik 2.2).

	H	I	J	K	L	M
1	gata_plats	slakte	art	alder	stam_omf	plantering
2	Masthuggstorget	Quercus	Quercus robur f. fastigiata 'Fastigiata Koster'	-	-	2004
3	Dag Hammarskjöldsleden	Quercus	Quercus rubra	Ung	-	2002
4	Emigrantvägen		Quercus robur		-	2006
5	Kungsladugårdsgatan	Quercus	Quercus robur f. fastigiata 'Fastigiata Koster'	-	-	2004
6	Järntorgsgatan	Quercus	Quercus robur fastigiata 'Fastigate Koster'	-	-	2015
7	Kungsladugårdsgatan		Quercus robur 'Fasigiata Koster'		-	2005
8	P-bolagets		Quercus robur fk 'Ulltuna' E		-	2006
9	Emigrantvägen	Quercus	Quercus robur	-	-	2006
10	Mårten krakowgatan		Quercus robur fk Ultuna E		-	2005
11	Mariaplan	Quercus	Quercus robur fastigiata 'Fastigate Koster'	Ung	-	2022
12	Emigrantvägen		Quercus robur		-	2006
13	Mårten krakowgatan		Quercus robur fk Ultuna E		-	2005
14	Järntorget	Quercus	Quercus robur f. fastigiata 'Fastigiata Koster'	-	-	1999
15	Emigrantvägen		Quercus robur		-	2006
16	Götatunneln söder		Quercus robur 'Fastigiata Alnarp'		-	2006
17	Monumentet på Allmänavägen		Quercus robur 'Koster'		-	2011
18	Masthuggstorget		Quercus robur 'Fastigiata Koster'		-	2004
19	Kaserntorget		Quercus robur 'Fastigiata'		-	2006
20	Emigrantvägen	Quercus	Quercus robur	-	-	2006
21	Mårten krakowgatan		Quercus robur fk Ultuna E		-	2005
22	Krokslättsplatsen	Quercus	Quercus robur	-	-	2008
23	Emigrantvägen	Quercus	Quercus robur	-	-	2006
24	Kungsladugårdsgatan		Quercus robur 'Fasigiata Koster'		-	2005
25	Emigrantvägen		Quercus robur		-	2006
26	Mariaplan	Quercus	Quercus robur fastigiata 'Fastigate Koster'	Ung	-	2015

Figur 6 – Visar ett urval av information som kunde hämtas för varje träd i databasen från Göteborgs stad, här i Microsoft Excel.



Figur 7 – Visar ett exempel på hur träddatan kunde behandlas i QGIS. Varje grön punkt utgör ett träd med tillhörande information om art, plats, planteringsår m.m.

2.2. Datainsamling – mätningar i fält

När stickprovet var fastställt utfördes det olika mätningar på träden i stickprovet vid deras respektive lokaler i staden. Inför fältstudien utformades ett protokoll för utförandet av mätningarna för att underlätta arbetet i fält. Protokollet innehöll följande parametrar:

- Trädkronans area genom att mäta den korsvisa diametern på kronan med olika mätverktyg såsom måttejp, avståndsmätare och mätapp i mobiltelefon för att senare kunna beräkna kronans vertikalt projicerade area
- Area permeabel markyta under trädkronan med mätapp i mobiltelefon samt efterföljande geometriska beräkningar. Denna area användes sedan för att beräkna andelen permeabel markyta under trädkronan
- Bekräfta trädarten från databasen med boken ”Flora för svenska träd i vintertid”
- Ta foton av träden samt dess omgivande miljö med mobilkameran för vidare analys och framtida referens

Följande material användes vid fältmätningarna:

- 30 m justerbar måttejp i metall
- 40 m avståndsmätare laser
- Mobilappen ”Mäta avstånd & AR Mätverktyg”
- Flora för svenska träd i vintertid, ”Den stora knoppboken” av Claes Lööw
- Kamera i mobiltelefon

2.3. Datainsamling och beräkningar – NDVI

Näst efter fältmätningarna gjordes ytterligare en datainsamling i form av satellitdata från PlanetScope innehållande NDVI (Planet, 2023). Urvalet av satellitdata gjordes enligt samma kriterier och metod som i en studie av Ivan Ružić (2023). Satellitdatan användes sedan för att beräkna värdet på NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) för varje testträd för slutet av juli 2017 och slutet av juli 2018. Därefter beräknades förändringen mellan dessa två värden, vilket resulterade i en differens i NDVI (Δ NDVI) mellan slutet på juli 2017 och slutet på juli 2018 för varje testträd. Denna differens lades in som ett nytt kartlager med en noggrannhet på 3 x 3 m per pixel tillsammans med testträdens geografiska positioner. Nedan visas Ekvation 1 och 2 som användes för de nämnda beräkningarna.

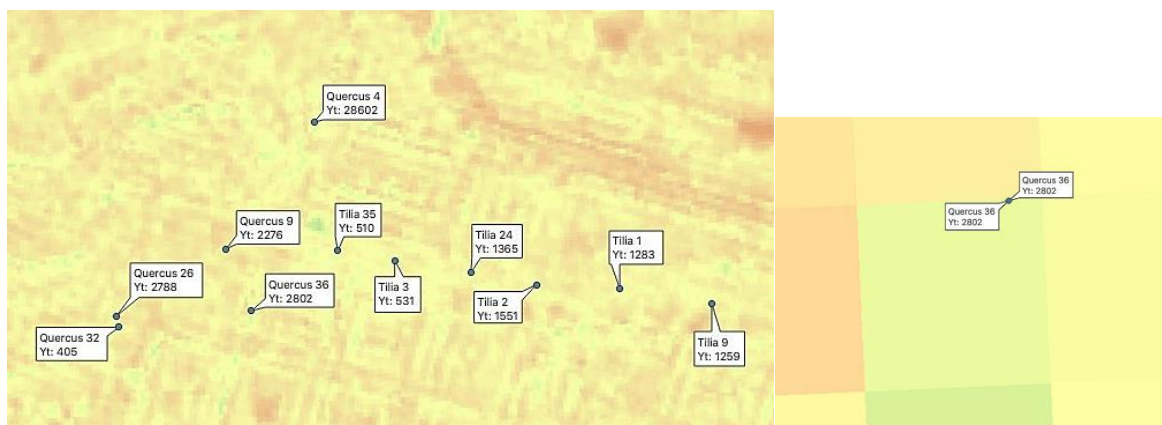
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Ekvation 1: ger ett NDVI-värde för ett givet tillfälle för en specifik pixel. Värdena representerar hur stor andel ljus av en viss våglängd som reflekteras av den givna markytan som pixeln täcker. NIR betecknar andelen reflekterat nära infrarött ljus ($\lambda \sim 0.8 \mu\text{m}$) medan R betecknar andelen reflekterat rött ljus ($\lambda \sim 0.6 \mu\text{m}$) (GISGeography, 2023; ArcGIS, u. å.).

NDVI t2 – NDVI t1

Ekvation 2: ger förändringen i NDVI mellan två givna tillfällen (t1 respektive t2) för en specifik pixel. Ett negativt värde innebär att NDVI har minskat mellan de två tillfällena, medan ett positivt betyder att NDVI har ökat. För denna studie definierades t1 som slutet på juli 2017 och t2 slutet på juli 2018.

Värden för NDVI-förändringen lades in som ett separat lager med exakta geografiska positioner i QGIS med en noggrannhet på 3 x 3 m per pixel på kartan. Differenserna kunde sedan avläsas med hjälp av fjärranalys för varje testträd (se Figur 8).



Figur 8 – Visar lagret med värden för NDVI-förändringen i två zoomningar, t.h. mer zoom än t.v.

2.4. Dataanalys – statistiska test och beräkningar

Datansamlingarna efterföljdes av analyser av den insamlade datan. Programmen Microsoft Excel och RStudio (version 22.7.2) användes för alla statistiska test och beräkningar samt för skapandet av grafer och tabeller.

I Microsoft Excel användes dels ett statistiskt test med hjälp av att beräkna konfidensintervall med ett medelvärde för alla testträd, dels linjär regression för att undersöka om det fanns några signifikanta linjära samband mellan faktorerna kronarea och permeabilitet samt mellan Δ NDVI och permeabilitet.

I RStudio användes funktionen ”aov()” som står för ”analysis of variance” och finns med i baspaketet i R för att utföra följande variansanalyser:

- Tvåvägs-ANOVA med den beroende faktorn Δ NDVI samt de oberoende faktorerna art (*Quercus robur* resp. *Tilia europaea*) och permeabilitet (hög $\geq 50\%$ resp. låg $< 50\%$). Testet gav svar på om det fanns signifikanta behandlingseffekter från art eller permeabilitet på Δ NDVI samt om det fanns någon interaktion mellan art och permeabilitet.
- Envägs-ANOVA med den beroende faktorn Δ NDVI för arten *Quercus robur* och den oberoende faktorn permeabilitet samt motsvarande test för arten *Tilia europaea*. Testerna gav svar på om det fanns någon signifikant påverkan på Δ NDVI för arten *Quercus robur* resp. *Tilia europaea* från behandlingen permeabilitet.

3. Resultat

Här redovisas resultat för att besvara studiens tre frågor om hur de utvalda stadsträden påverkades av torkan 2018 baserat på förändringen i NDVI (Δ NDVI). Denna effekt undersöktes på flera olika sätt: den allmänna trenden för alla testträd, eventuella skillnader mellan de två arterna, betydelsen av andel permeabel yta under trädkronan, samt om betydelsen av permeabel yta var olika för de två arterna.

3.1. Effekter av torkan sett till alla testträd

För att undersöka effekterna av torkan analyserades först alla testträdens Δ NDVI tillsammans. Torkeffekten mättes genom att kolla om det fanns en genomsnittlig förändring i NDVI (Δ NDVI signifikant skild från noll), här med hjälp av att beräkna konfidensintervallet för hela stickprovet. Genom detta kunde sannolikheten för om populationens genomsnittliga Δ NDVI skulle ligga inom konfidensintervallet beräknas. Efter denna analys kunde det konstateras att det med 95% sannolikhet fanns en statistiskt signifikant negativ Δ NDVI mellan slutet på juli 2017 och slutet på juli 2018, sett till alla testträd (se Tabell 1).

Tabell 1 – Visar resultat från statistiskt test med konfidensintervall gällande den genomsnittliga förändringen i Δ NDVI (Medel Δ NDVI) sett till alla testträd.

Medel Δ NDVI	-0,017
Standardavvikelse	0,063
Konfidensintervall 90% (\pm)	0,016
Differens (Medel Δ NDVI + <i>konf.int.</i>)	-0,0011
Differens (Medel Δ NDVI – <i>konf.int.</i>)	-0,033
Signifikans för negativ effekt ($p < 0,05$)	Ja, med 95% konf.

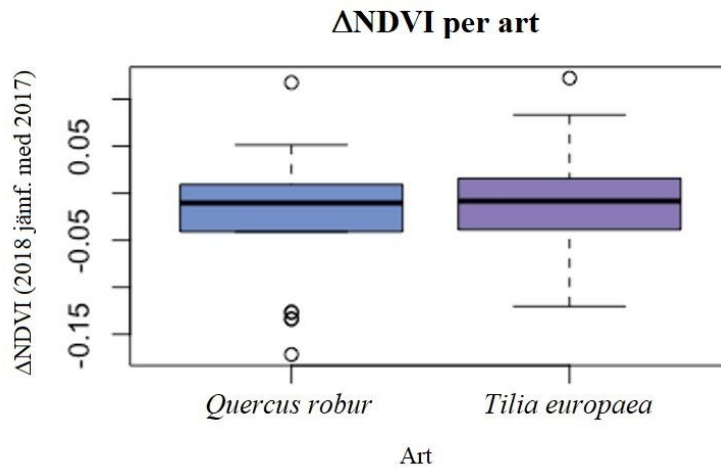
3.2. Effekter av torkan beroende på art och permeabilitet

För att ta reda på om Δ NDVI i juli 2018 jämfört med juli 2017 skilde sig mellan arterna *Tilia europaea* och *Quercus robur* samt om det fanns en påverkan från andelen permeabel yta under trädkronan (hög $\geq 50\%$ /låg $< 50\%$) utfördes en variansanalys i form av en tvåvägs-ANOVA. Denna visar om Δ NDVI var olika mellan de två arterna, om permeabilitet under trädkronan hade en effekt på Δ NDVI samt om det finns någon interaktion mellan art och permeabilitet som påverkade Δ NDVI. Resultaten från variansanalysen sammanfattas i Tabell 2.

Tabell 2 - Sammanfattning av resultat från tvåvägs-ANOVA.

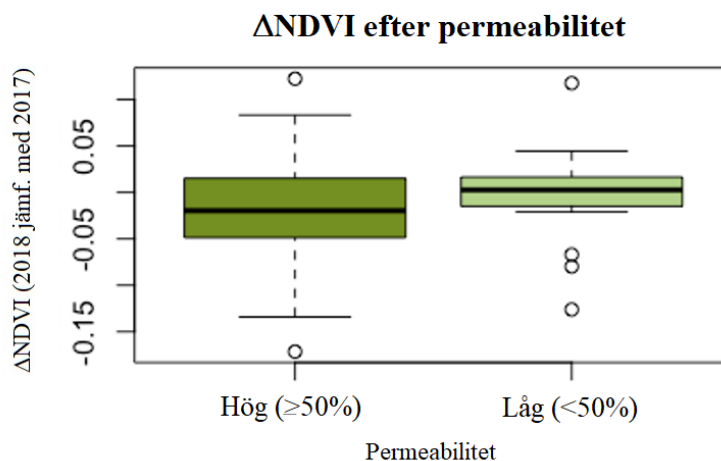
	F-värde	Pr(>F)	Signifikans
Art (<i>Tilia europaea</i> / <i>Quercus robur</i>)	0,8	0,38	Nej
Permeabilitet (Hög/Låg)	1,8	0,19	Nej
Interaktion (Art:Permeabilitet)	5,2	0,029	Ja, med >95% konf.

I Figur 9 visas fördelningen av data på Δ NDVI för alla testträd uppdelat efter art. Lådagrammen visar att spridningen av datan samt medianvärdet är relativt lika för den höga respektive låga permeabiliteten, men att datan för *Quercus robur* innehåller fler outliers med negativa värden än för *Tilia europaea* (tre jämfört med inga).



Figur 9 - Lådagram för alla testträd grupperade efter art (*Quercus robur* och *Tilia europaea*). Cirklarna visar "outliers" och de tjocka svarta strecken visar medianvärden för resp. grupp. De färgade "lådorna" avgränsas av den nedre och undre kvartilen, och innehåller därmed 50% av datan för gruppen. Felstaplarna visar det högsta (överst) och det lägsta värdet (underst).

I Figur 10 visas fördelningen av data på Δ NDVI för alla testträd med olika andel permeabel yta under kronan (där hög = $\geq 50\%$ och låg = $< 50\%$ permeabilitet). Lådagrammen visar att spridningen av datan kring medianvärdet är större för den höga permeabiliteten än för den lägre, och att den låga permeabiliteten har ett högre medianvärde samt innehåller fler "outliers" (fyra jämfört med två) än den högre permeabiliteten.



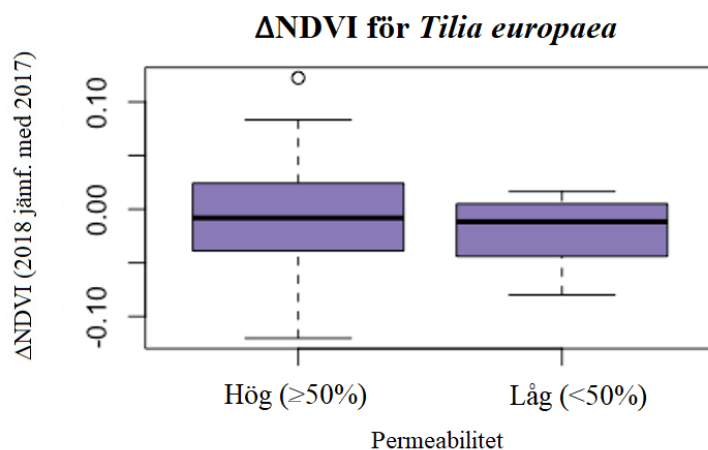
Figur 10 - Lådagram för alla testträd grupperade efter hög ($\geq 50\%$) resp. låg ($< 50\%$) permeabilitet. Cirklarna visar "outliers" och de tjocka svarta strecken visar medianvärden för resp. grupp. De färgade "lådorna" avgränsas av den nedre och undre kvartilen, och innehåller därmed 50% av datan för gruppen. Felstaplarna visar det högsta (överst) och det lägsta värdet (underst).

Eftersom permeabilitet och art uppvisade en signifikant interaktion (se Tabell 2) redovisas även resultat från en envägs-ANOVA för varje art i Tabell 3. Resultaten från dessa två test visar att faktorn permeabilitet har en påverkan på Δ NDVI för *Quercus robur* ($p = 0,033$), men inte för *Tilia europaea* ($p = 0,46$).

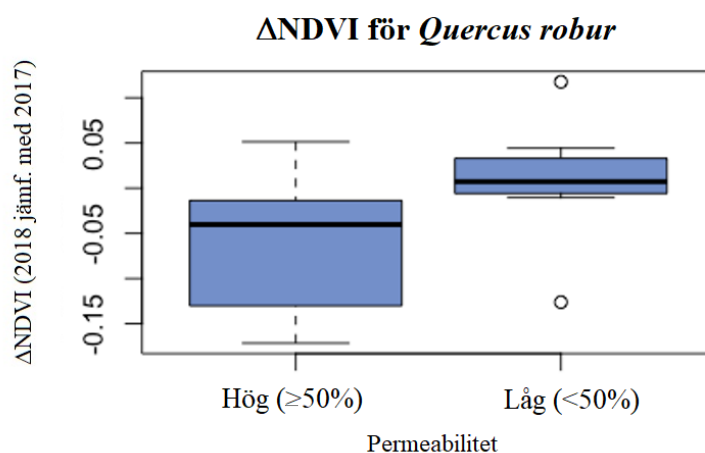
Tabell 3 - Resultat från envägs ANOVA för *Q. robur* resp. för *T. europaea*.

Art	Faktor	F	Pr(>F)	Signifikans
<i>Tilia europaea</i>	Permeabilitet	0,56	0,46	Nej
<i>Quercus robur</i>	Permeabilitet	5,3	0,033	Ja, med >95% konf.

I Figur 11 och 12 visas fördelningen av data på Δ NDVI per art med olika andel permeabel yta under trädkronan (där hög = $\geq 50\%$ och låg = $< 50\%$ permeabilitet). Det fanns en betydligt större skillnad i medianvärdet för Δ NDVI mellan hög och låg permeabilitet för *Quercus robur* jämfört med för *Tilia europaea*. Dessutom var spridningen kring medianvärdet är större för hög permeabilitet än för låg för *Quercus robur*, till skillnad från *Tilia europaea* där spridningen samt medianvärdena var nästan helt lika.

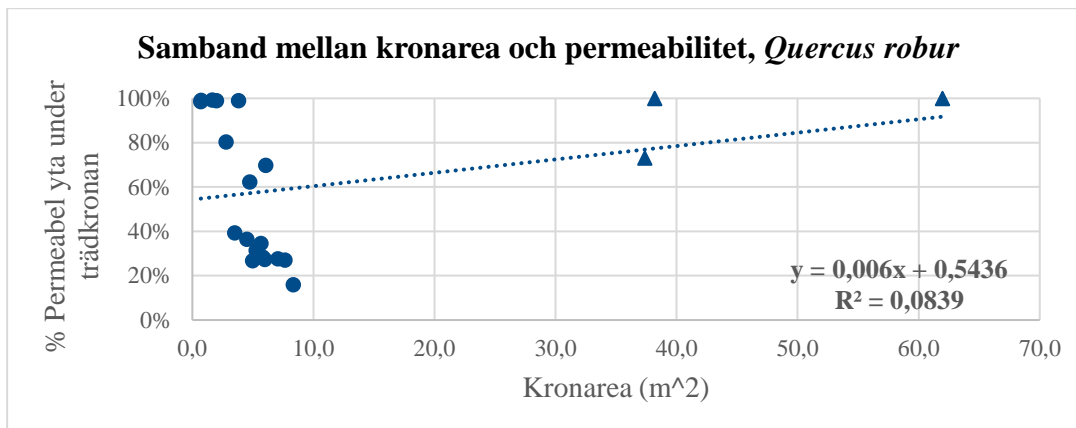


Figur 11 – Lådagram för *T. Europaea* med hög ($\geq 50\%$) resp. låg ($< 50\%$) permeabilitet. Cirkelarna visar "outliers" och de tjocka svarta strecken visar medianvärden för resp. grupp. De färgade "lådorna" avgränsas av den nedre och undre kvartilen, och innehåller därmed 50% av datan för gruppen. Felstaplarna visar det högsta (överst) och det lägsta värdet (underst).



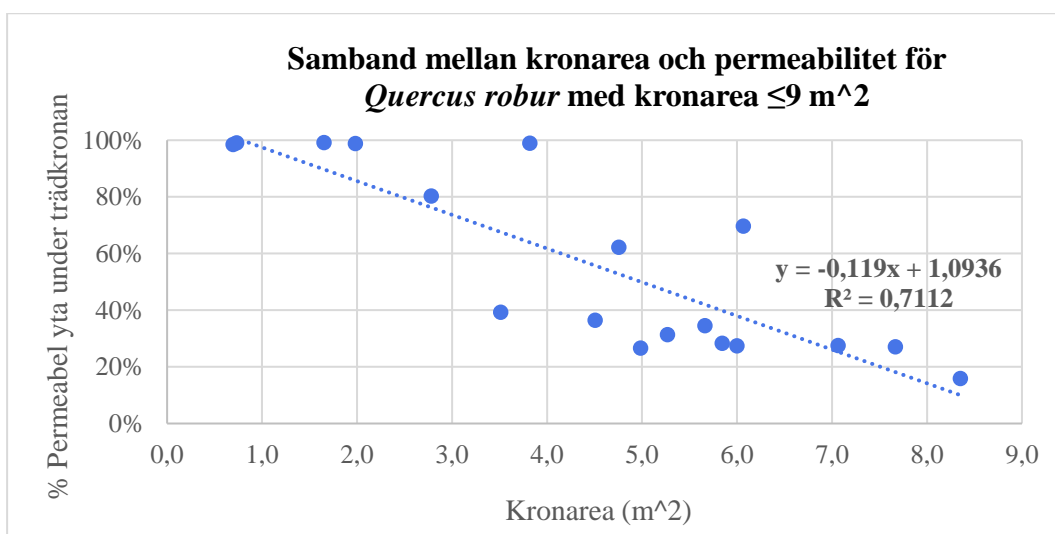
Figur 12 - Lådagram för *Q. robur* med hög ($\geq 50\%$) resp. låg ($< 50\%$) permeabilitet. Cirkelarna visar "outliers" och de tjocka svarta strecken visar medianvärden för resp. grupp. De färgade "lådorna" avgränsas av den nedre och undre kvartilen, och innehåller därmed 50% av datan för gruppen. Felstaplarna visar det högsta (överst) och det lägsta värdet (underst).

För att undersöka om det fanns någon annan egenskap som *Quercus robur*-trädens procentuella permeabilitet samvarierade med genomfördes ytterligare data-analyser. När Δ NDVI för alla *Quercus robur* studerades visade det sig att träden med störst negativ Δ NDVI var de med minst kronarean (se Figur 13).



Figur 13 - Visar samband mellan kronarean och permeabilitet för alla testträd av arten *Q. robur*. Trianglar betecknar träd med en kronarean >9 m², medan cirklar betecknar en kronarean ≤9 m². Linjen i grafen är anpassad efter alla datapunkterna.

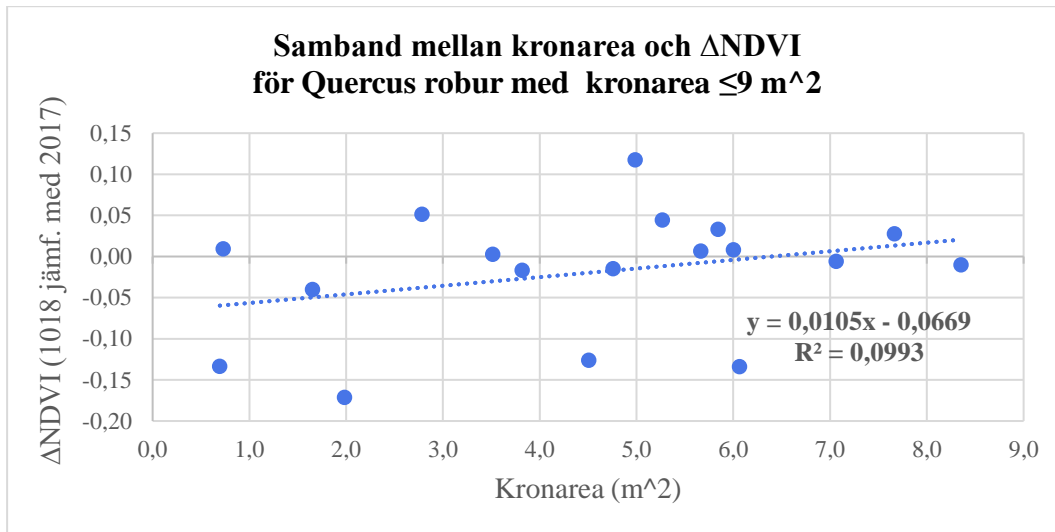
I Figur 13 syns att endast tre testträd av arten *Quercus robur* hade stora kronor (kronarean >9 m²), medan resterande hade mindre (kronarean ≤9 m²). Därför gjordes en grafisk framställning av ytterligare ett samband mellan kronstorlek och permeabilitet för de mindre träden av denna art, exklusive de största kronorna (se Figur 14).



Figur 14 - Visar samband mellan kronarean och permeabilitet för de testträd av arten *Quercus robur* som hade en kronarean ≤9 m².

En linjär regression utfördes för att undersöka om det negativa sambandet mellan kronarean och andelen permeabel yta för de minsta *Quercus robur*-träden med en kronarean ≤9 m² i Figur 14 var signifikant. Regressionen visade en hög förklaringsgrad, $R^2 = 0,7$, $F = 39$ och signifikans för F -värdet med 95% konfidensgrad ($p = 1,1 \cdot 10^{-5}$). Detta tyder alltså på att de träd av arten *Quercus robur* som hade en liten kronstorlek även hade en hög andel permeabel yta under kronan. För att studera effekten av kronarean på träden av arten *Quercus robur* med

en kronarea $\leq 9 \text{ m}^2$ på ΔNDVI illustrerades förhållandet mellan kronarean och ΔNDVI i Figur 15. Linjen som anpassats efter dessa datapunkter har förklaringsgraden, $R^2 = 0,099$. För att undersöka om sambandet i Figur 15 var signifikant utfördes en linjär regression. Denna visade inte signifikans ($p = 0,2$).



Figur 15 - Spridningsdiagram som visar det linjära sambandet mellan kronarea och ΔNDVI för de testträd av arten *Quercus robur* som hade en kronarea $\leq 9 \text{ m}^2$.

Eftersom det linjära sambandet mellan kronarea och ΔNDVI inte var signifikant (se Figur 15) undersöktes det om omgivande vegetation i form av gräs kan ha bidragit till nedgången i NDVI för *Quercus robur*-träden med en hög andel permeabel yta under trädkronan. Därför utfördes en separat statistisk analys av ΔNDVI för 5 *Quercus robur*-träd med en kronarea $\leq 9 \text{ m}^2$ med omgivande gräs. Analysen påvisade en signifikant nedgång i NDVI. Detta medan 13 träd av samma art och kronarea, men utan omgivande gräs inte uppvisade någon signifikant nedgång (konfidens 90%). Denna analys kan alltså ge en indikation på att teorin om att gräs hade en påverkan på NDVI för dessa träd (se Figur 16 för jämförelse mellan träd med respektive utan omgivande gräs).



Figur 16 – Visar bilder på testträd av arten *Quercus robur* med en kronarea $\leq 9 \text{ m}^2$ med (överst) resp. utan (nederst) omgivande gräs.

4. Diskussion

4.1. Allmänna effekter av torkan sett till alla testträd

Enligt det statistiska testet presenterat i Tabell 1 fanns det en signifikant negativ Δ NDVI sett till alla testträd. Detta stöds av tidigare studier, som visat att vattentillgången är en betydande begränsande faktor för tillväxten och därmed välmåendet hos stadsträd (Hirons et al, 2021). Detta gör att någon form av negativ påverkan på trädens grönska till följd av torkan förmodligen finns.

För att undersöka vilken effekt andelen permeabel yta hade för Δ NDVI gjordes en analys av sambandet mellan permeabilitet och Δ NDVI för alla testträd (se Tabell 2). Enligt denna analys fanns det ingen generell effekt på Δ NDVI från faktorn permeabilitet. Alltså går det inte att säga säkert att permeabiliteten hos markytan hade en påverkan på Δ NDVI för alla testträden, oavsett art.

Variansanalysen för respektive art visade sedan att hög permeabilitet hade en negativ påverkan på Δ NDVI för *Quercus robur* men inte för *Tilia europaea* (se Tabell 3). Att permeabiliteten endast hade en negativ inverkan på *Quercus robur* skulle kunna bero på olika faktorer, men en trolig sådan är att denna art har en högre stomatakonduktans och således ett större vattenbehov eftersom vattenförlusten via stomata är större, och därmed gör den mer känslig för vattenbrist (Konarska et al, 2015).

Även om det fanns en nedgång i NDVI när alla testträd analyserades som oberoende replikat så skulle vidare analyser visa att denna effekt berodde på art och lokala tillväxtförhållanden. Detta diskuteras vidare under rubrik 4.2.

4.2. Interaktion mellan *Quercus robur* och hög permeabilitet

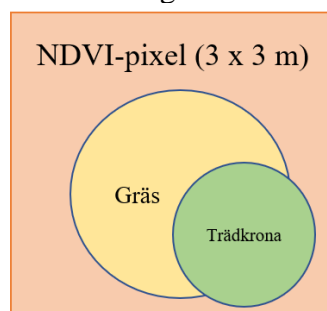
Trots att påverkan på Δ NDVI från varken faktorn art eller permeabilitet var signifikant, så fanns det en signifikant interaktion mellan art och permeabilitet (se Tabell 2). Den signifikanta interaktionen talar för att det inte går att utesluta att permeabiliteten har påverkan på Δ NDVI, men att det kan finnas olika förklaringar till denna interaktionseffekt, exempelvis i form av en påverkan från flera olika faktorer. En möjlighet är att de testträd av arten *Quercus robur* med hög permeabilitet hade någon annan gemensam faktor som bidrog till en minskad torktålighet vid hög andel permeabel yta under trädkronan, exempelvis liten kronarea.

Interaktionen orsakades av stor NDVI-nedgång hos *Quercus robur* med hög permeabilitet (se Figur 11). Det finns flera olika möjliga förklaringar till denna NDVI-nedgång. Ett alternativ är att det inte är gynnsamt för torktåligheten hos *Quercus robur* att ha en hög permeabilitet. Dock är detta inte särskilt troligt eftersom det motsäger tidigare studier, som menar att en hög permeabilitet är fördelaktigt för trädet eftersom det ökar trädrötternas vattentillgång (Konarska et al, 2015; Brandt et al, 2021).

För att söka efter andra eventuella orsaker till interaktionen studerades sambandet mellan kronarea och permeabilitet för träden av arten *Quercus robur* med en kronarea ≤ 9 m². Det visade sig att det fanns en signifikant negativ korrelation mellan dessa faktorer (se Figur 14).

Alltså verkar det som att testträden av arten *Quercus robur* som hade en mindre kronarea också hade en högre yppermeabilitet. Därför är det möjligt att den signifikanta negativa effekten hos *Quercus robur* med hög permeabilitet kan förklaras av kronstorleken hos testträden, det vill säga att träd med mindre kronarea har en lägre torktålighet, trots den högre permeabiliteten. Om anledningen till att kronarean var mindre var på grund av att dessa träd var yngre hade det stämt väl överens med tidigare studier som visat att yngre stadsträd som har ett litet rotsystem och internt vattenlager är mer torkkänsliga än äldre stadsträd (Schütt et al, 2022). Dock inkluderades inte åldern på testträden i analyserna för denna studie, vilket gör att det inte går att dra några säkra slutsatser kring kopplingen mellan kronarea och ålder.

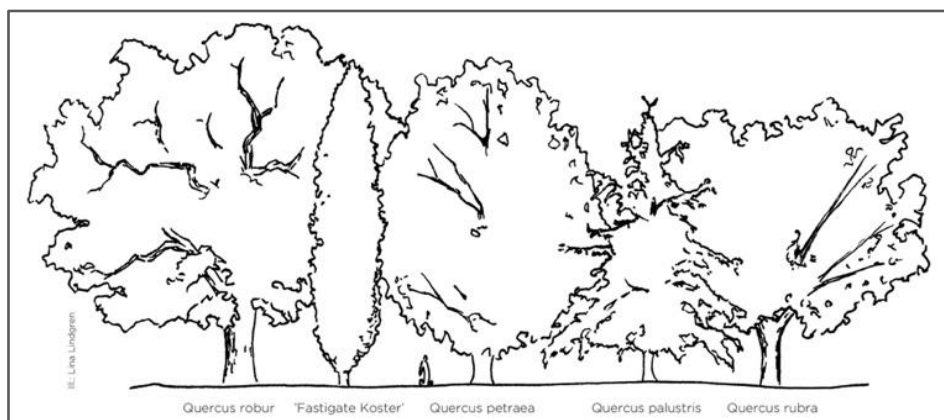
En annan möjlighet är att de *Quercus robur* med en kronarea ≤ 9 m² också hade någon annan faktor gemensamt, exempelvis att de var omgivna av gräs som vissnat under torkan och utgjort en betydande del av pixeln med NDVI-värdet (upplösning 3 x 3 m²) (se Figur 17). Detta skulle innebära att NDVI-värdet kanske inte främst visar på en förändring i grönska hos trädkronans yta, utan mer en förändring hos omgivande vegetation, då troligtvis gräs som vissnat (eftersom gräs vissnar tidigt under torka) och gett en minskning i NDVI. Det negativa sambandet mellan kronarea och permeabilitet (se Figur 14) kan styrka resonemanget om påverkan från övrig vegetation inom pixeln, eftersom träd med minst kronarea har mer omgivande yta inom pixeln. För 5 av 18 träd var markytan runt trädstammen åtminstone delvis täckt av gräs, och därför är det också mer troligt att det fanns mer påverkan från annan vegetation inom samma NDVI-pixel i dessa fall. En statistisk analys av de 5 *Quercus robur*-träden med liten kronarea (≤ 9 m²) med omgivande gräs visade en signifikant nedgång i NDVI. Ingen signifikant nedgång kunde visas för 13 testträd av samma art och kronstorlek. Den analysen kan således stärka teorin om att gräset orsakade nedgången (se Figur 16).



Figur 17 - Illustration över påverkan från gräs på värdet för NDVI i pixeln.

Tidigare studier tyder på att arter med högre stomatakonduktans skulle vara mindre torktåliga på grund av kopplingen till en ökad vattenåtgång (Konarska et al, 2015). Således skulle träd som tillhör arten *Quercus robur* vara mindre torktåliga än de som tillhör *Tilia europaea*. Detta stöds inte helt av resultatet från denna studie. Analysen visade ingen signifikant påverkan på Δ NDVI från arten i sig (se Tabell 2). Det denna studie kunde visa på var att *Quercus robur* med en kronstorlek ≤ 9 m² uppvisade en större nedgång i NDVI än *Quercus robur* med större kronstorlek samt *Tilia europaea*. Därför finns det förmodligen någon annan faktor som metoden inte tog hänsyn till, som exempelvis att stickprovsstorleken var för liten för att kunna styrka sambandet mellan stomatakonduktans och torktålighet, eller att det finns någon form av oavsiktligt beroende, till exempel att avstånden mellan trädens geografiska positioner var för små.

En möjlig faktor som kan ha bidragit till det motstridiga resultatet är att ek-arten visade sig vara en klonvariant av *Quercus robur*, kallad 'Fastigiata', vilket inte var planerat enligt studiens utformning. Denna klonvariant är inte studerad i lika stor omfattning som mer naturligt förekommande *Quercus robur*-träd, och enligt litteratursökningar inom ramen för denna studie är stomatakonduktansen ännu inte fastställd. För att veta med säkerhet att *Quercus robur* 'Fastigiata' har samma stora skillnad i stomatakonduktans jämfört med *Tilia europaea* som *Quercus robur* krävs ytterligare studier av stomatakonduktansen för *Quercus robur* 'Fastigiata'. Dessutom har klonvarianten en speciell morfologi med en avlång krona på höjden och en mindre kronarea än den vanliga varianten av *Quercus robur*. Detta illustreras i Figur 18. Den annorlunda formen på kronan kan tänkas påverka trädets egenskaper, exempelvis en förändrad stomatakonduktans, men även att valet av NDVI som mått kan vara svårare att använda. Exempelvis kan det vara en nackdel att upplösningen för NDVI var 3 x 3 m om kronarean täcker en såpass liten andel av pixeln att den inte kan påverka värdet för NDVI mer än vad omgivande vegetation som till exempel gräs gör.



Figur 18 - Skiss över olika varianter av ekträd från släktet *Quercus*.
Illustrator: Lina Lindgren. Bildkälla: Stångby plantskola.

4.1. Förslag på vidare studier inom ämnet

Det finns många olika sätt att förbättra metoden och upplägget inför framtida studier inom ämnet. En möjlig felkälla i denna studie är att urvalet av träd med planteringsår ≤ 30 år innan 2018 kan ha varit ett för brett intervall för att träden skulle vara jämförbara. För framtida studier vore det därför fördelaktigt att göra ett snävare urval vad gäller planteringsår för att minska variationen hos olika faktorer som kan påverkas av planteringsåret. Ytterligare ett förslag till metodförbättring skulle kunna vara att kompensera för klonvarianten av *Quercus robur* och träd med en liknande morfologi. Med den avlånga formen på kronan blir metoden för denna studie otillräcklig och skulle antingen behöva ersättas med ett annat mått på torkstress, exempelvis genom att mäta bladdensiteten snarare än NDVI för kronarean eller att utesluta träd som är omgivna av annan vegetation. Dessutom vore det fördelaktigt att utöka stickprovet, för att öka chansen att upptäcka fler eventuella samband mellan trädart samt permeabiliteten hos marken under trädkronan och trädets förmåga att hantera torra.

Ett annat förslag är att göra mer omfattande analyser av markens egenskaper för att för att söka efter fler betydelsefulla faktorer för torktåligheten. Något som är svårt att påvisa är direkta orsakssamband mellan olika faktorer som kan påverka trädets torktålighet, exempelvis

markytans permeabilitet och det specifika trädets faktiska vattentillgång. För detta krävs mer djupgående studier av markens specifika egenskaper, exempelvis om trädet planterats i skelettjord, om marken är kompakterad och hur djupt jordlagret sträcker sig i vertikalt samt horisontellt led. Dessutom behövs mer kännedom om trädets rötter, exempelvis rotutbredningen.

Ytterligare faktorer som vore intressanta att inkludera i analysen är fler olika mått på väderförhållanden, som exempelvis lufttemperatur, solinstrålning, luftfuktighet samt nederbörd under både normala samt mer extrema meteorologiska perioder. En effekt som inte är särskilt välstuderad är en eventuell acklimatisering hos träd som växt i samma miljö under en längre tid. Acklimatisering kan resultera i en ökad torktålighet hos trädet, exempelvis om det genomlevt fler torrperioder och anpassat sitt rotsystem efter dessa. Analysen hade därför kunnat bli mer djupgående om de olika måtten dessutom studerades över längre tid än ett år samt innefattade fler torrperioder.

Ett sätt att göra jämförelsen mellan trädarter mer noggrann hade varit att studera arternas egenskaper noggrannare. En relevant sådan egenskap är deras Leaf Area Index, LAI som beskriver hur del av ytan under trädtaget som täcks av löven genom att beräkna hur stor andel av markarean under trädtaget som täcks av blad, och skiljer sig åt beroende på trädart. På så vis hade en mer noggrann uppskattning av kronarean för de olika träden kunnat göras genom att ta hänsyn till den sammanlagda bladytan. Dessutom ger LAI en indikation på trädets primärproduktion, transpiration, näringsanvändning med mera.

5. Slutsats

Sammanfattningsvis finns det några slutsatser som kan dras av resultaten från denna studie. Inledningsvis kan det konstateras att det fanns en generell minskning i NDVI mellan slutet på juli 2017 och 2018 sett till alla testträd. Detta tyder på att torkan med hög sannolikhet hade en negativ effekt på vegetationen, även om det finns vissa osäkerheter kring om det var just trädkronornas yta som påverkades eller kanske även omgivande yta som rymdes i pixeln för träd med små kronor.

Vad gäller art kunde det inte påvisas någon skillnad i torkeffekter mellan arterna *Tilia europaea* och *Quercus robur*. Vidare visades ingen signifikant generell skillnad i torkeffekter mellan hög ($\geq 50\%$) och låg ($< 50\%$) andel permeabel yta under trädkronan för någon av arterna. Båda dessa slutsatser motsäger tidigare studier. Däremot fanns det en signifikant interaktion mellan arten *Quercus robur* och en hög andel permeabel yta under trädkronan. Detta tyder på att det förmodligen finns någon faktor i kombinationen av arten *Quercus robur* och en hög andel permeabel yta som ger en starkare negativ torkeffekt. För arten *Tilia europaea* hade andelen permeabel yta ingen effekt.

Avslutningsvis finns det många olika skäl till att bedriva vidare studier som behandlar torktålighet hos stadsträd. Med en framtid där extremväder kommer bli ännu mer frekventa är det viktigare än någonsin att se över möjliga förebyggande åtgärder för att tackla problemen de medför. Där kan urbana träd spela en viktig roll genom att bidra med många olika ekosystemtjänster såsom lokal avkylning, skuggning från solinstrålning samt en förbättrad vattenhantering. Genom att studera hur trädens torktålighet kan förbättras kan vi få reda på hur deras förmåga att utföra dessa tjänster maximeras.

6. Referenser

ArcGIS. (u. å.). *NDVI function*. Hämtad 2023-08-18 från <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm>

Brandt, L. A., Johnson, G. R., North, E., A., Faje, J., Rutledge, A. (2021). Vulnerability of Street Trees in Upper Midwest Cities to Climate Change. *Front. Ecol. Evol.* 9:721831. DOI: 10.3389/fevo.2021.721831

GISGeography. (2023). *What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?* Hämtad 2023-08-18 från <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>

Göteborgs stad, Park och Natur. <https://www.goteborg.se/>

Hirons, A. D., Watkins, J. H. R., Baxter, T. J., Miesbauer, J. W., Male- Muñoz, A., Martin, K. W. E., ... Sjöman, H. (2021). Using botanic gardens and arboreta to help identify urban trees for the future. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, 3(2), 182–193. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10162>

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023 Synthesis Report*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

Konarska, J., Uddling, J., Holmer, B., Lutz, M., Lindberg, F., Pleijel, H., Thorsson, S. (2015). Transpiration of urban trees and its cooling effect in a high latitude city. *Int J Biometeorol* (2016) 60:159–172. DOI 10.1007/s00484-015-1014-x

Lööw, Claes. (2018). Den stora knoppboken: Sveriges lövfällande lignoser i vintertid. Lomma: Claes Lööw.

NASA. (2000). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Hämtad 2023-05-05 från https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

Planet. (2023). 'Planet | Homepage'. Planet | Homepage. Hämtad 2023-05-10 från https://www.planet.com/?utm_source=google&utm_medium=paid-search&utm_campaign=discovery&utm_content=main-brd-responsive-search&gad=1

Ružić, Ivan. (2023). *Changes in urban greenery during the 2018 heat wave – a case study for Göteborg using remote sensing*. [Mastersuppsats, Göteborgs universitet]. Gothenburg University Publications Electronic Archive. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/77291>

Saebo, A., Benedikz, T., Randrup, T., B. (2003). Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2 (2003): 101–114. DOI 1618-8667/03/02/02-101

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

Schütt, A., Becker, J., N., 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 Forestry & Urban Greening*. 75 (2022) 127692. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127692>

SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (2018). *Nederbörd, solsken och strålning – juni/juli/augusti 2018*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik>

SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (2019). *Sommaren 2018 - en glimt av framtiden?* <https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/sommaren-2018-en-glimt-av-framtiden-1.149088>

SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (2023). *Torka*. Hämtad 2023-08-17 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/torka/torka-1.111075>

SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (2023). *Värmebölja*. Hämtad 2023-08-24 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/varmebolja-1.22372>

Stångby plantskola. (u.å.). *Quercus robur 'Koster' – pelarek*. Hämtad 2023-05-05 från <https://stangby.nu/sortiment/quercus-robur-fastigiata-gruppen-koster/>

TT. (2018, 24 juli) SVT nyheter, 2018. Stressade växter kämpar mot torkan. *SVT nyheter*. Hämtad 2023-05-05 från <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/stockholm/stressade-vaxter-kampar-mot-torkan>

Turner-Skoff, J., B., Cavander, N. (2019). The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, People, Planet*. 2019;1:323–335. DOI: 10.1002/ppp3.39