



INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH  
MILJÖVETENSKAP

# KLIMATTOLERANS HOS URBANA TRÄD I GÖTEBORG

Analys av klimatgränser och framtida klimathot



**Jasmin Smith**

---

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet biologi

Examenskurs i biologi, 15hp

Grundnivå

Termin/år: Vt2024

Handledare: Lasse Tarvainen, institutionen för biologi och miljövetenskap

Examinator: Håkan Pleijel, institutionen för biologi och miljövetenskap



# Innehållsförteckning

Abstract .....	2
Sammanfattning .....	2
Introduktion.....	3
<i>Funktionalitet av urbana träd</i> .....	3
<i>Klimatförändringar</i> .....	3
<i>Implementering av exotiska arter</i> .....	4
Syfte .....	4
<i>Frågeställning och hypotes</i> .....	4
Metod .....	5
<i>Datainsamling av trädarter</i> .....	5
<i>Datainsamling av klimatgränser och klimat</i> .....	6
<i>Statistisk analys</i> .....	7
Resultat.....	7
<i>Klimatgränser baserat på årlig medeltemperatur</i> .....	11
<i>Klimatgränser baserat på maxtemperatur av den varmaste månaden</i> .....	12
<i>Klimatgränser baserat på minimumtemperatur av den kallaste månaden</i> .....	14
<i>Klimatgränser baserat på årlig nederbörd</i> .....	15
<i>Klimatgränser baserat på nederbörd av den blötaste månaden</i> .....	17
<i>Klimatgränser baserat på nederbörd av den torraste månaden</i> .....	18
Diskussion.....	19
<i>Hur väl klarar de nuvarande arterna av dagens klimat?</i> .....	20
<i>Hur väl klarar de nuvarande arterna av det framtida klimatet?</i> .....	21
<i>Tilia europaea</i> .....	22
<i>Hur väl klarar de rekommenderade arterna av det framtida klimatet?</i> .....	22
<i>Potentiella risker och fördelar med exotiska arter</i> .....	24
<i>Felkällor och framtida förslag</i> .....	25
Slutsats .....	26
Tackord .....	26
Referenslista.....	27

## **Abstract**

Urban trees contribute significantly to our society. By providing ecosystem services and a habitat that other urban species and ecosystems depend on, both biodiversity and the people in the city benefit. Some characteristics that the trees possess include functioning as biological filters for the atmosphere and water, as well as positively impacting people's mental health. However, urban trees are challenged by stressors such as pollution and a drier environment, making them particularly sensitive to climate change. The goal of this study was to estimate the expected magnitude of climate change in Gothenburg and compare it with the current urban species' natural climate boundaries to understand the extent of the climate threat and which species appear to be most at risk. Additionally, the current urban species were compared with a group of recommended species from Gothenburg municipality to assess if they would be better suited for the future climate. The results showed that the climate is becoming warmer, and precipitation is increasing, both in prolonged periods and shorter, more extreme periods, which will be challenging for the majority of the already planted urban tree species. This forms the basis for this study's encouragement of introducing new species, including exotic ones, as a solution. The recommended group of species proved to be more suitable for the expected climate, regarding both temperatures and precipitation. However, based solely on distribution data, it is difficult to determine specifically which species are best adapted to the future climate; more information about the individual species' adaptations, tolerances, and morphology is necessary to ensure a more specific and secure conclusion.

## **Sammanfattning**

Urbana träd gör mycket för vårt samhälle. Genom att bidra med ekosystemtjänster och ett habitat, som andra urbana arter och ekosystem är beroende av, gynnas både den biologiska mångfalden och människorna i staden. Egenskaper som träden besitter är bland annat att fungera som biologiska filter för atmosfär och vatten, samt påverka människors mentala hälsa positivt. Eftersom träden utmanas av stadsmiljöns stressfaktorer som föroreningar och torrare miljö så gör det dem extra känsliga för förändringar i klimatet. I denna studie var målet att estimeras hur stora klimatförändringarna förväntas att vara i Göteborg och jämföra dem med de nuvarande urbana arternas naturliga klimatgränser. Detta för att få en uppfattning om hur stort klimathotet kommer att vara och vilka arter som ser ut att befinna sig i störst riskzon. Ytterligare jämfördes även de nuvarande urbana arterna med en lista på rekommenderade arter från Göteborgs kommun för att se om de skulle vara bättre lämpade för det framtida klimatet. Resultatet visade att klimatet blir varmare och nederbörden ökar, både långvarigt och kortare mer extrema perioder. Det är ett klimat som kommer att bli utmanande för majoriteten av dem redan planterade urbana trädarterna, vilket ligger till grund för att denna studie uppmuntrar introduktion av nya arter, inklusive exotiska arter, som en lösning. Den rekommenderade gruppen av arter visade sig i de flesta fall mer lämplig för det förväntade klimatet, i mån av både temperatur och nederbörd. Däremot är det svårt att, baserat endast distribuerings data, konstatera specifikt vilka arter som är bäst anpassade för det framtida klimatet. Mer information om de individuella arternas anpassningar, toleranser och morfologi är nödvändigt för att säkerställa en mer specifik och säkrare slutsats.

## Introduktion

### *Funktionalitet av urbana träd*

Man började med att plantera träd inom städer som dekoration för gatorna, men planteringen fick på senare dagar en viktigare funktion. I takt med städernas tillväxt och föroreningar planterades arter i stället för deras egenskaper, främst för att fungera som biologiska filter och samla upp föroreningar från bland annat luft och vatten (Minelli & Chiusoli, 2000). Med urban miljö menas i denna studie framför allt, asfalterad central stadsmiljö som gator, då det är den delen av urban miljö som vegetationen utsätts för störst antropogena faktorer (Sæbø, 2003). Genom att de urbana träden bidrar med ekosystemtjänster och ett habitat, som andra urbana arter och ekosystem är beroende av, så gynnas både den biologiska mångfalden och människorna i staden. Ett antal tjänster som staden är beroende av är bland annat rötternas förmåga att hålla kvar regnvatten i marken, bidra med kustskydd, motverka översvämningar, skapa skuggning, ljuddämpning, värmeavledning, bättre luftkvalitet och lagring av kol. Många av dessa tjänster har också sekundära positiva effekter, exempelvis leder skuggningen till en nedkylning av staden. Det minskar behovet att på egen hand kyla ner byggnader och sänker därmed energiförbrukningen och ekonomiska kostnader. Genom att reglera klimatet med dess ekosystemtjänster, så är träden därmed även en komponent i lindringen av klimatförändringar. Det finns också ett socialt och estetiskt värde där människans mentala hälsa gynnas av de urbana trädens naturlighet och ger en närmare relation till naturen. I och med förväntad utvidgning av städer och ökad urbanisering kommer urban skog att bli en mer och mer aktuell faktor för att upprätthålla mänsklig välfärd inom städerna (Keeler et al., 2019).

### *Klimatförändringar*

Utöver den naturliga takten av klimatförändringarna så sker, i och med utvidgning av städer och populationsökning, en ytterligare förhöjd förändringstakt där man förväntas att se ett mer extremt klimat och väder. Urbana träd befinner sig inte inom en naturlig miljö och utstår därför ofta någon form och nivå av stressfaktorer (Esperon-Rodriguez, et al., 2022a). Oundvikligen föroreningar som stressfaktor, vilket kan skada metabolismen och täppa igen klyvöppningarna på bladen. Men det förekommer även fler faktorer såsom saltning av gator och mekaniska skador från vägunderhåll och fordon (Minelli & Chiusoli, 2000). Urbana arter, som redan befinner sig i en stressig miljö har därför svårare att hantera extrema väderförhållanden som torka och extrem värme. På grund av framtida klimatförändringar så riskerar därmed flera urbana trädarter att bli dåligt lämpade för inplantering i städerna. En studie över global riskbedömning visade att mer än 50% av alla nuvarande urbana växtarter befinner sig redan idag utanför sina naturliga klimatgränser för årlig medeltemperatur och procenten förväntas stiga i framtiden (Esperon-Rodriguez, et al., 2022a). Det finns flera metoder för att beskriva den framtida klimatsituationen. För att beskriva framtida klimatscenario specifikt i Sverige så utgår Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) från två representativa koncentrationsutvecklingsbanor (RCP), som beskriver strålningsbalansen i atmosfären. Strålningsbalansen beror av den mängd instrålad och utstrålad solenergi på jorden. Skillnaden mellan inkommande och utgående strålning kallas strålningsdrivningen. De antropogena utsläppen ökar mängden växthusgaser i atmosfären, vilket också ökar strålningsdrivningen som leder till en förhöjning av den globala temperaturen. Utvecklingsbanorna baseras i sin tur på en rad antaganden, men förenklat så används utvecklingsbanan RCP4.5 för att beskriva begränsade utsläpp och RCP8.5 för höga utsläpp (Tab. 1). Utifrån båda dessa utvecklingsbanor så förväntas en ökning i både årlig medeltemperatur och medelnederbörd uppnås. Det förväntas även en ökning av mer extremt väder såsom extrema vattenflöden, kraftig dygnsnederbörd och värmeböljor (SMHI, 2015), vilket i sin tur har en påverkan på markfuktigheten. Flera varma dagar i följd i form av en värmebölja har en uttorkande effekt som kan leda till torka (Clark et al., 2010).

**Tabell 1.** ”Antaganden som ligger till grund för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5” (SMHI, 2015)

RCP4.5	RCP8.5
<ul style="list-style-type: none"><li>• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040</li><li>• Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet</li><li>• Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster</li><li>• Omfattande skogsplanteringsprogram</li><li>• Låg energiintensitet</li><li>• Kraftfull klimatpolitik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100 och metanutsläppen ökar kraftigt</li><li>• Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion</li><li>• Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt</li><li>• Stort beroende av fossila bränslen</li><li>• Hög energiintensitet</li><li>• Ingen tillkommande klimatpolitik</li></ul>

### *Implementering av exotiska arter*

I och med funktionaliteten bakom de urbana träderna så är det kritiskt att komma med alternativa lösningar när de inhemska arterna riskerar att bli sämre anpassade till klimatet. Alternativ som har övervägts och implementerats är plantering av exotiska trädarter med en bättre anpassning till rådande och framtida klimat (Sjöman, et al., 2016). Eftersom det finns risker med att introducera nya arter så har ofta auktoriteter inledningsvis en negativ inställning till införandet och inhemska arter prioriteras nästan alltid i första hand. Argument som ligger till grund för den negativa inställningen är: risk för invasivitet och att de introducerade exotiska träderna inte tycks uppfylla rätt roller i ekosystemen dem tillsätts (Sjöman, et al., 2016; Chalker-Scott, 2015). Göteborgs kommun har släppt en lista på trädarter som rekommenderas för inplantering i stadsmiljön. Denna lista består till en majoritet av arter som inte är inhemska till den svenska naturen, men som ändå tycks kunna visa sig lämpliga (Göteborgs stad, 2020)

Hotet mot urban skog är aktuellt och tyder på klimatförändringar som en bidragande orsak. Däremot är ämnet fortfarande mindre utforskat och de exakta klimatorsakerna för de urbana trädens nedgång är ännu oklara. Det behövs därför fler studier och systematiska undersökningar för att öka kunskapen kring ämnet och därmed förbättra chansen att minimera hoten i framtiden, samt säkra nödvändiga resurstillgångar och ekosystemtjänster (Esperon-Rodriguez, 2022b).

### **Syfte**

Det övergripande syftet med denna studie är att evaluera klimathotet över trädarterna i Göteborgs urbana miljö. Det sker genom analys av arternas naturliga klimatgränser och framtida klimat utifrån temperatur och nederbörd. Att få fram en övergripande bild över hur väl anpassade de nuvarande urbana arterna är till framtida förväntade klimat är viktigt. Det bidrar med kunskap kring hur starkt hotet är och vilka arter som befinner sig inom störst risk. Därför bör ämnet studeras djupare. Studien belyser även möjligheten att introducera nya arter, inklusive exotiska arter, som en lösning på bättre anpassade urbana trädarter genom jämförelser med de nuvarande urbana trädarterna.

### *Frågeställning och hypotes*

Studien ska evaluera hur väl Göteborgs urbana trädarter är anpassade till dagens och framtidens klimat med avseende på temperatur och nederbörd, samt bör vi överväga att införa rekommenderade och exotiska trädarter med bättre anpassning? Studien undersöker dem följande hypoteser:

- Urbana trädarter befinner sig på gränsen av sina klimatgränser och riskerar att bli dåligt lämpade för inplantering i Göteborg i takt med klimatförändringar.
- De rekommenderade arterna, inklusive de exotiska, är bättre anpassade till framtida klimat.

## Metod

Arbetet är en litteraturstudie där data och information främst har tagits från databaser, vetenskapliga artiklar och kommunhemsidor. Applikationen Excel har använts för bearbetning av resultaten. De sökverktyg som har använts för vetenskapliga artiklar är Google Scholar, ScienceDirect, Scopus och ReserchGate. Följande söktermer användes: urban trees, climate change, climate threats, climate envelopes, exotic species, non-native species, *Tilia europaea*, *pallida*.

### Datainsamling av trädarter

De nuvarande urbana trädarterna som studien bygger på hämtades från färdiga inventeringar av Sjöman, et al. (2012). I Sjömans studie inventerades de vanligaste urbana trädarter från tio nordiska städer, centrala Göteborg inkluderat, vilket är de arter som för denna studie har valts ut för undersökning. Tabell 2 visar det urval som gjorts för denna studie, vilket är samma lista från Sjöman, et al. (2012) men med ett få exkluderingar. Notera att urvalet exkluderade arterna *Tilia spp.* och *Carpinus betulus*. Orsaken var att *Tilia spp.* inte är specificerat på artnivå och *Carpinus b.* hade för få replikat uppmätt i databasen TreeGOER, vilket ledde till osäkerhet i dem statistiska analyserna. *Tilia europaea* var ett undantag, arten saknades också i databasen men då den var uppmätt av Sjöman, et al. (2012) att stå för 27,1% av alla urbana arter i centrala Göteborg så beskrevs den istället deskriptivt baserat på data från vetenskapliga artiklar.

**Tabell 2.** Urval av arter från Sjömans et al. (2012) inventering av urbana träd i Göteborgs stad.

<i>Acer platanoides</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Tilia europaea</i>
<i>Aesculus hippocastanum</i>	<i>Quercus robur</i>	<i>Ulmus glabra</i>
<i>Betula pendula</i>	<i>Sorbus intermedia</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Tilia cordata</i>	

Göteborgs kommun har rekommenderat en lista på arter som lämpar sig för plantering mellan åren 2020–2025 inom Göteborgs urbana områden (Göteborgs stad, 2020). För att undersöka om de rekommenderade trädarterna skiljer sig från den nuvarande artuppsättningen så hämtades 24 arter från listan. De utvalda arterna kan ses i tabell 3. Notera att urvalet inte är den kompletta listan som presenterades på kommunens hemsida. De arter som inte fanns tillgängliga i databasen TreeGOER eller hade för få replikat har exkluderats.

**Tabell 3.** Urval av arter från Göteborgs lista på rekommenderade arter för plantering i urban miljö.

<i>Acer campestre</i>	<i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Quercus coccinea</i>
<i>Acer platanoides</i>	<i>Ginkgo biloba</i>	<i>Quercus frainetto</i>
<i>Acer rubrum</i>	<i>Koelreuteria paniculata</i>	<i>Quercus robur</i>
<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Magnolia kobus</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
<i>Celtis occidentalis</i>	<i>Ostrya carpinifolia</i>	<i>Styphnolobium japonicum</i>
<i>Cornus mas</i>	<i>Pinus heldreichii</i>	<i>Tilia tomentosa</i>
<i>Corylus colurna</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Zelkova serrata</i>
<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Pinus ponderosa</i>	

## *Datainsamling av klimatgränser och klimat*

De databaser som användes för att hämta information om de utvalda arternas klimatgränser är *Globally Observed Environmental Ranges* (TreeGOER) (Kindt, 2023) och GlobalTreeSearch (BGCI, 2024). GlobalTreeSearch är en online-databas som har insamlad data för ungefär 60 000 trädarter i mån av geografisk utbredning. Den användes för att fastställa vilka trädarter som är inhemska för Sverige. TreeGOER är en liknande databas, den har data för ungefär 48 000 trädarter och deras observerade klimatgränser uttrycks i diverse variabler/klimatindikatorer. Klimatindikatorerna är de som representerar arternas optimala klimatförhållanden baserat på deras utbredning. De klimatindikatorer som valdes för denna studie är:

- Årlig medeltemperatur
- Maxtemperaturen av den varmaste månaden
- Minimumtemperaturen av den kallaste månaden
- Årlig nederbörd
- Nederbörd av den blötaste månaden
- Nederbörd av den torraste månaden

Beroende på klimatindikator så användes den 95e och 5e percentilen av arternas klimatgränser. Detta för att få ett mått på just gränserna av arternas utbredning. Den 95e percentilen är ett mått på den övre gränsen av arternas klimatgränser, medan den 5e percentilen är ett mått på den undre gränsen av klimatgränserna. Årlig temperatur är ett mått på medelvärdet av alla uppmätta temperaturer genom året, här användes den 95e percentilen. Maxtemperaturen av den varmaste månaden är ett mått på medelvärdet av månadens alla dagars maxtemperatur, för den varmaste månaden på året, här användes den 95e percentilen. Minimumtemperaturen av den kallaste månaden är ett mått på medelvärdet av månadens alla dagars minimumtemperatur, för den kallaste månaden på året, här användes både den 95e och 5e percentilen. Årlig nederbörd är ett mått på den totala mängden nederbörd genom året, här användes både den 95e och 5e percentilen. Nederbörd av den blötaste månaden är ett mått på den totala nederbörden för den månaden med mest nederbörd för året, här användes den 95e percentilen. Nederbörd av den torraste månaden är ett mått på den totala nederbörden för den månaden med minst nederbörd på året, här användes den 5e percentilen. Det finns flera lämpliga alternativ för att avgöra trädarternas klimattoleranser, men orsaken till att just dessa indikatorer har valts beror på jämförelser mellan datan hämtad från SMHI och datan från TreeGOER. För att en lämplig jämförelse skulle kunna ske så behövde klimatindikatorerna finnas i båda databaser (för klimatet och för arterna) eller åtminstone vara tillräckligt likvärdiga med en möjlighet till modifiering för få datan att stämma överens.

SMHI användes som källa för datan om Göteborgs nutida och framtida klimat. För att kunna jämföra de urbana arterna med klimatet så hämtades data om ovan klimatindikatorer även för klimatet i Göteborg. Datan hämtades från SMHI:s sida [års- och månadsstatistik](#). Då indikatorerna naturligt fluktuerar så beräknades ett medelvärde för åren 2019–2023. Datan för framtida klimatscenarion hämtades från SMHI:s sida [fördjupad klimatscenariotjänst](#), som baseras på simuleringar och klimatmodeller. Filtringen i sökfälten som användes bestod av Västra Götalands län som geografiskt område, år 2071–2100 som period och båda utsläppsscenario RCP4,5 och RCP8,5. Däremot var deras klimatindikatorer inte baserade på månads-nivå, utan årstids-nivå. De valda indikatorer som baseras på månads-nivå hade alltså i stället motsvarande data mätt under loppet av årstider. Exempelvis motsvaras indikatorn ”maxtemperaturen av den varmaste **månaden**” i stället ”maxtemperaturen av den varmaste **årstiden**”.

Datan var heller inte specifik för Göteborg, utan mätt för hela Västra Götalands län. För att omvandla datan för specifikt Göteborg och till en månads-nivå så gjordes följande antaganden:

- Den absoluta klimatförändringen i antal grader Celsius och mängd nederbörd i milliliter mätt under loppet av årstider motsvarar samma förändring mätt för månader.
- Den absoluta klimatförändringen som sker över hela Västra Götalands Län motsvarar samma förändring specifikt över Göteborg också.

Med dessa antaganden så kunde de förväntade förändringarna i temperatur och nederbörd appliceras direkt på datan hämtad över Göteborgs nuvarande klimat och därigenom få en estimerad klimatförändring specifikt över Göteborg.

Ytterligare hämtades följande klimatindikatorer från SMHI:s fördjupade klimatscenariotjänst:

- Antal torra dygn
- Längsta torrperioden
- Antal dygn med extrem nederbörd (>20 mm)
- Antal högsommarygn (>25°C)
- Längsta perioden av högsommarygn

Indikatorerna jämfördes inte med arternas klimatgränser i form av datajämförelser och statistiska tester. Detta eftersom motsvarande data inte fanns att hämta för arterna, samt datan över klimatet fanns endast för hela Västra Götalands län och inte specifikt över Göteborg nuvarande klimat. Evaluering av dessa klimatindikatorer gjordes för att få en bättre förståelse över extremare väder som förväntas utifrån framtidsscenarierna RCP4,5 och RCP8,5.

### *Statistisk analys*

För att testa en skillnad mellan dem rekommenderade och nuvarande trädarterna så gjordes one-tailed och two-tailed t-test med signifikansgränsen 0,05. Då variansen inte var lika mellan dataseten så användes Excels funktion ”t-test: Två sampel antar olika varianser”, som använder sig av Welch t-test. Totalt gjordes åtta tester på dem sex klimatindikatorerna. Årlig nederbörd testades för 95e och 5e percentilen (two-tailed), hypotesen var att de rekommenderade arterna har klimatgränser som skiljer sig signifikant från de nuvarande arterna. Nederbörd av den blötaste månaden testades för 95e percentilen (one-tailed), där hypotesen var att de rekommenderade arterna har klimatgränser med en signifikant högre nederbörd. Nederbörd av den torraste månaden testades för den 5e percentilen (two-tailed), där hypotesen var att de rekommenderade arterna har klimatgränser med en signifikant lägre nederbörd. Årlig medeltemperatur testades för den 95e percentilen (one-tailed), hypotesen var att de rekommenderade arterna har klimatgränser som skiljer sig signifikant från de nuvarande arterna. Maxtemperatur av den varmaste månaden testades för den 95e percentilen (one-tailed), där hypotesen var att de rekommenderade arterna har klimatgränser med signifikant högre nederbörd. Minimumtemperatur av den kallaste månaden testades för 95e och 5e percentilen (two-tailed), hypotesen var att de rekommenderade arterna har klimatgränser som skiljer sig signifikant från de nuvarande arterna.

## **Resultat**

I tabell 4 och 5 kan man se den sammanställda datan av klimatindikatorerna hämtad från databasen TreeGOER, vilket alla analyser i denna studie bygger på. Datan inkluderar arternas klimatgränser för nederbörd och temperatur, samt antal replikat. Replikaten är antal observationer som skett för arterna och det som arternas klimatgränser är beräknat från. Tabell 4 visar data för de nuvarande arterna i Göteborg, alltså de arter som i nuläget befinner sig i staden. Tabell 5 visar data för dem rekommenderade arterna, som då är arter rekommenderade för plantering i Göteborg.

**Tabell 4.** Sammanställd data av klimatindikatorerna av dem nuvarande urbana trädarterna, klimatgränserna för nederbörd och temperatur inkluderat, samt antal replikat för varje art.

Nuvarande arter:	Antal replikat	Nederbörd (mm)				Temperatur (°C)			
		MAX <sub>N</sub> Q95	MIN <sub>N</sub> Q05	Total <sub>N</sub> Q95	Total <sub>N</sub> Q05	MAX <sub>T</sub> Q95	MIN <sub>T</sub> Q95	MIN <sub>T</sub> Q05	Medel <sub>T</sub> Q95
<i>Acer platanoides</i>	114 582	130,0	25,3	1186,2	543,2	28,0	1,4	-11,2	11,8
<i>Aesculus hippocastanum</i>	43 619	144,3	26,3	1231,5	552,2	26,0	2,0	-6,5	11,7
<i>Betula pendula</i>	171 948	138,1	25,4	1190,8	550,0	25,3	1,7	-13,2	11,7
<i>Fagus sylvatica</i>	176 985	153,2	29,7	1325,2	593,3	25,5	2,1	-5,5	11,5
<i>Fraxinus excelsior</i>	171 779	152,6	27,8	1309,9	569,0	25,7	2,0	-6,9	11,5
<i>Quercus robur</i>	182 779	129,6	26,9	1136,7	563,2	25,7	2,2	-7,5	12,2
<i>Sorbus intermedia</i>	2345	141,7	28,9	1246,3	569,0	22,6	1,5	-4,5	10,0
<i>Tilia cordata</i>	48 354	133,5	25,7	1190,6	554,7	25,7	1,2	-11,5	11,4
<i>Ulmus glabra</i>	58 221	176,8	25,9	1430,9	547,5	23,7	1,5	-8,4	10,2
<i>Ulmus minor</i>	37 745	125,5	14,7	1068,0	472,1	30,3	3,4	-3,8	14,6

Antal replikat = det antalet individer som observerats per art, MAX<sub>N</sub>Q95 = 95e percentilen av klimatindikatorn **nederbörd av den blötaste månaden**, MIN<sub>N</sub>Q05= 5e percentilen av klimatindikatorn **nederbörd av den torraste månaden**, Total<sub>N</sub>Q95= 95e percentilen av klimatindikatorn **årlig nederbörd**, Total<sub>N</sub>Q05 = 5e percentilen av klimatindikatorn **årlig nederbörd**, MAX<sub>T</sub>Q95 = 95e percentilen av klimatindikatorn **maxtemperaturen av den varmaste månaden**, MIN<sub>T</sub>Q95 = 95e percentilen av klimatindikatorn **minimumtemperaturen av den kallaste månaden**, MIN<sub>T</sub>Q05= den lägsta temperaturen uppmätt för klimatindikatorn **minimumtemperaturen av den kallaste månaden**, Medel<sub>T</sub> = 95e percentilen av klimatindikatorn **årlig medeltemperatur**.

**Tabell 5.** Sammanställd data av klimatindikatorerna för de rekommenderade urbana trädarterna, klimatgränserna för nederbörd och temperatur inkluderat, samt antal replikat för varje art

Rekommenderade arter:	Antal replikat	Nederbörd (mm)				Temperatur (°C)			
		MAX <sub>N</sub> Q95	MIN <sub>N</sub> Q05	Total <sub>N</sub> Q95	Total <sub>N</sub> Q05	MAX <sub>T</sub> Q95	MIN <sub>T</sub> Q95	MIN Q05	Medel <sub>T</sub> Q95
<i>Acer campestre</i>	99 462	130,9	29,4	1184,2	591,0	27,8	2,3	-4,27	12,8
<i>Acer platanooides</i>	114 582	129,9	25,3	1186,2	543,2	28,0	1,4	-11,2	11,8
<i>Acer rubrum</i>	14 718	178,7	35,2	1499,4	808,9	33,3	5,1	-17,7	19,9
<i>Cedrus atlantica</i>	1958	140,4	9,4	1171,6	588,9	30,0	3,5	-2,8	14,5
<i>Celtis occidentalis</i>	4071	138,5	13,0	1235,2	574,4	33,5	-0,8	-16,6	15,2
<i>Cornus mas</i>	22 759	143,0	26,3	1216,2	578,8	28,4	1,7	-4,8	12,8
<i>Corylus colurna</i>	677	127,1	21,4	1107,0	503,7	27,1	1,5	-5,7	11,4
<i>Crataegus monogyna</i>	181 609	147,8	21,1	1261,7	556,8	28,7	3,1	-4,7	13,7
<i>Ginkgo biloba</i>	2421	303,3	15,4	1602,5	608,9	32,0	2,5	-9,9	16,5
<i>Gleditsia triancanthos</i>	12 069	147,7	10,3	1271,2	437,7	35,1	5,1	-10,8	18,6
<i>Koelreuteria paniculata</i>	1794	201,3	5,0	1285,4	459,5	32,8	5,2	-8,7	17,6
<i>Magnolia kobus</i>	339	313,0	25,0	2060,5	883,8	30,3	0	-11,5	14,6
<i>Ostrya carpinifolia</i>	3337	209,2	14,5	1494,5	614,5	30,0	4,4	-3,7	15,0
<i>Pinus heldreichii</i>	41	178,4	12,7	1322,8	636,1	29,0	5,0	-9,7	14,8
<i>Pinus nigra</i>	17 277	133,9	22,0	1164,5	481,0	29,3	2,1	-4,1	12,5
<i>Pinus ponderosa</i>	4995	205,1	4,0	1156,3	320,7	31,8	0,9	-12,7	13,3
<i>Quercus coccinea</i>	680	158,7	38,4	1434,0	744,3	32,2	1,4	-11,8	15,6
<i>Quercus frainetto</i>	164	136,4	10,9	899,5	481,7	31,6	4,0	-5,3	15,0
<i>Quercus palustris</i>	3901	134,4	31,6	1243,5	667,0	32,1	1,4	-9,4	14,3
<i>Quercus robur</i>	182 779	129,6	26,9	1336,7	563,2	25,7	2,2	-7,5	12,2
<i>Robinia pseudoacacia</i>	86 780	146,9	18,9	1241,5	542,9	30,2	3,6	-6,6	14,7
<i>Styphnolobium japonicum</i>	949	153,4	18,6	1232,7	662,8	30,2	2,0	-6,6	14,2
<i>Tilia tomentosa</i>	1259	123,5	29,2	1219,2	610,6	29,7	1,5	-5,2	12,3
<i>Zelkova serrata</i>	2318	326,5	20,8	1900,3	1110,6	30,4	0,2	-9,0	15,2

Antal replikat = det antalet individer som observerats per art, MAX<sub>N</sub>Q95 = 95e percentilen av klimatindikatorn **nederbörd av den blötaste månaden**, MIN<sub>N</sub>Q05= 5e percentilen av klimatindikatorn **nederbörd av den torraste månaden**, Total<sub>N</sub>Q95= 95e percentilen av klimatindikatorn **årlig nederbörd**, Total<sub>N</sub>Q05 = 5e percentilen av klimatindikatorn **årlig nederbörd**, MAX<sub>T</sub>Q95 = 95e percentilen av klimatindikatorn **maxtemperaturen av den varmaste månaden**, MIN<sub>T</sub>Q95 = 95e percentilen av klimatindikatorn **minimumtemperaturen av den kallaste månaden**, MIN<sub>T</sub>Q05= den lägsta temperaturen uppmätt för klimatindikatorn **minimumtemperaturen av den kallaste månaden**, Medel<sub>T</sub> = 95e percentilen av klimatindikatorn **årlig medeltemperatur**.

Klimatindikatorerna över Göteborgs klimat visade en tydlig ökning i både temperatur och nederbörd, vilket stämmer in på båda framtidsscenarioer RCP4,5 (begränsade utsläpp) och RCP8,5 (höga utsläpp), men ökningen är generellt som störst för RCP8,5. Den årliga medeltemperaturen förväntas stiga från 9,8°C till 12,5°C för RCP4,5 och till 14,2°C för RCP8,5. Maxtemperaturen av den varmaste månaden förväntas också att stiga, från 23,9°C till 26,4°C för RCP4,5 och till 28,2°C för RCP8,5. Den största ökningen i temperatur är för minimumtemperaturen av den kallaste månaden, där temperaturen ökar från -1,6°C till 2°C för RCP4,5 och till 4,2°C vid

RCP8,5 som är en total ökning med 5,8°C. Den årliga nederbörden förväntas ha en ökning från 990 mm till 1074 mm för RCP4,5 och till 1122 mm för RCP8,5. Man kan också se att den blötaste månaden blir blötare och ökar från det nuvarande 153 mm till 158 mm för RCP4,5 och till 164 mm för RCP8,5. Däremot är denna ökning minimal. Den torraste månaden kommer också att bli blötare med en ökning från 19,6 mm till 27,6 mm för RCP4,5 och 33,6 mm för RCP8,5 (Tab. 6).

**Tabell 6.** Klimatindikatorer idag (2019–2023) och i framtiden (2071–2100) baserat på framtidsscenario RCP4,5 och RCP8,5 i Göteborg.

Tidsperiod	Årlig medeltemperatur (°C)	Maxtemperatur för varmaste månad (°C)	Minimumtemperatur för kallaste månad (°C)	Årlig nederbörd (mm)	Nederbörd av blötaste månad (mm)	Nederbörd av torraste månad (mm)
<b>2019–2023 (Idag)</b>	9,8	23,9	-1,6	990	153	19,6
<b>2071–2100 (RCP4,5)</b>	12,5	26,4	2,0	1074	158	27,6
<b>2071–2100 (RCP8,5)</b>	14,2	28,2	4,2	1122	164	33,6

Som sågs i tabell 6 så förväntas nederbörden att stiga, både under den torraste och blötaste uppmätta månaden. Men det reflekterar inte det extremare vädret som tenderar att vara under ännu kortare perioder i form av torka och översvämningar. Tabell 7 innehåller mer extrema klimatindikatorer som reflekterar torka, hög nederbörd och hög värme. Torka i form av antal torra dygn och sammanhängande torrperioder är mer eller mindre oförändrat i framtiden, det är en minimal minskning i antal dygn. Största minskningen för antal torra dygn är med totalt två dygn från idag (235 dygn) till RCP8,5 (233 dygn). Största minskningen för sammanhängande torrperiod är 0,4 dygn från idag (20,7 dygn) till RCP8,5 (20,3). Vad gäller antal dygn med extrem nederbörd (>20mm) så förväntas de att öka, från 4 dygn till 5,7 dygn för RCP4,5 och 6,9 dygn för RCP8,5. Antal högsommardygn och sammanhängande högsommarperiod förväntas också att öka, med en relativt stor ökning i jämförelse till klimatindikatorerna kopplade till torka. Antal högsommardygn (>25 °C) förväntas öka från 10,2 dygn till 25,5 dygn för RCP4,5 och 42,8 dygn för RCP8,5. Längsta sammanhängande högsommarperiod förväntas öka från 4,3 dygn till 9,1 dygn för RCP4,5 och 14,7 dygn för RCP8,5. Resultatet från dessa mer extrema klimatindikatorer stämmer bra överens med klimatindikatorerna i tabell 6. Det förväntas alltså att bli en ökning i nederbörd, vilket inkluderar även korta perioder av extrem nederbörd, samt förväntas en mer eller mindre oförändrad torka (tab. 7). Temperaturerna förväntas också att stiga (tab. 6), inkluderat mer extremt väder som korta perioder av högsommardygn och sammanhängande högsommarperioder (tab. 7).

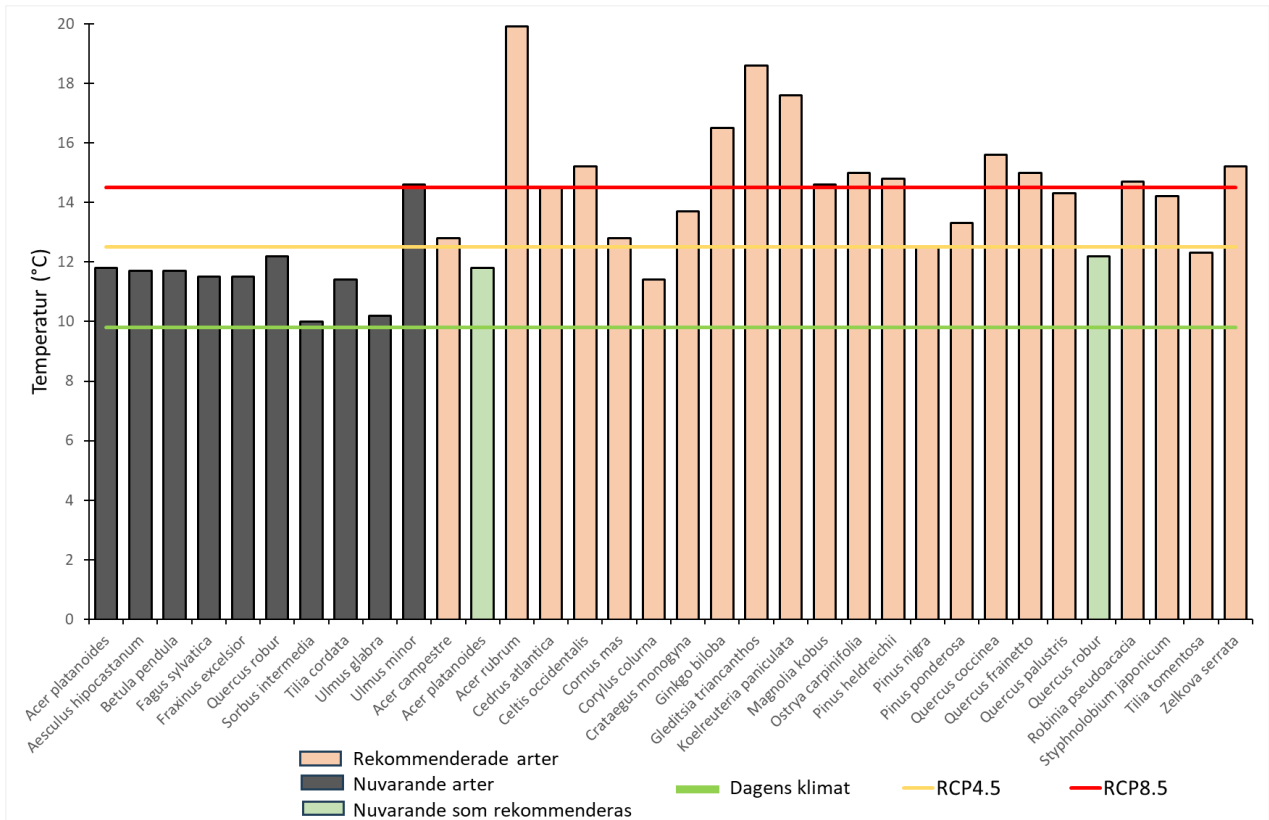
**Tabell 7.** Klimatindikatorer idag (1971–2000) och i framtiden (2071–2100) baserat på framtidsscenario RCP4,5 och RCP8,5 i Västra Götalands Län. Alla indikatorer är mätta för perioden av ett helt år.

Tidsperiod	Antal torra dygn	Längsta torrperiod (Sammanhängande dygn)	Antal dygn med extrem nederbörd (>20mm)	Antal högsommar dygn (>25 °C)	Längsta högsommarperiod (Sammanhängande dygn)
1971–2000 (Idag)	235	20,7	4	10,2	4,3
2071–2100 (RCP4,5)	234	20,5	5,7	25,5	9,1
2071–2100 (RCP8,5)	233	20,3	6,9	42,8	14,7

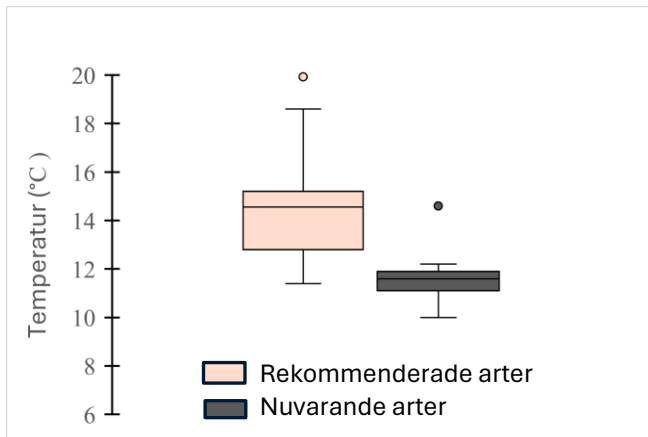
### *Klimatgränser baserat på årlig medeltemperatur*

Den årliga medeltemperaturen i Göteborg förväntas att stiga från 9,8°C till 12,5°C (RCP4,5) och till 14,2°C (RCP8,5). Figur 1 visar hur klimatgränserna av de nuvarande och rekommenderade arterna befinner sig i förhållande till Göteborgs årliga medeltemperatur. Med avseende på nuvarande klimat i Göteborg (gröna linjen) så lever ingen av de nuvarande arterna över sina naturliga klimatgränser. Det menas med att ingen art faller under den grönmarkerade linjen som representerar en årlig medeltemperatur på 9,8°C. Istället ser man att Göteborgs klimat befinner sig under arternas klimatgränser, vilket innebär att Göteborgs årliga medeltemperatur är lite kallare än majoriteten av de nuvarande arternas klimatgränser. De nuvarande arter som faller i höjd med dagens klimat är arterna *Sorbus intermedia*, oxel och *Ulmus galabra*, skogsalm. Att de ligger nära den gröna linjen innebär att deras klimatgräns befinner sig i områden med liknande årliga medeltemperatur som det av Göteborg. Endast en av arterna, *Ulmus minor*, lundalm, har en klimatgräns som faller i höjd med framtidsscenario RCP8,5 (röda linjen). *Quercus robur*, ek, är den enda arten som befinner sig i höjd med RCP4,5 (gula linjen). Resterande arter: *Acer platanoides*, Lönn, *Aesculus hippocastanum*, Hästkastanj, *Betula pendula*, vårtbjörk, *Fagus sylvatica*, bok, *Fraxinus excelsior*, ask och *Tilia cordata*, Lind har sina klimatgränser strax under framtidsscenario RCP4,5 (gula linjen).

I figur 1 syns det även att alla de rekommenderade arterna finns i miljöer där årlig medeltemperaturerna överstiger Göteborgs nuvarande årsmedel (gröna linjen). Närmare framtidsscenario RCP4,5 (gula linjen) finner man nio arter som har sina klimatgränser däromkring. *Corylus colurna* och *Acer platanoides* hamnar någonstans mitt emellan dagens klimat och RCP4,5. *Acer campestre*, *cornus mas*, *Tilia tomentosa*, *Quercus robur* och *Pinus nigra* har klimatgränser i höjd med RCP4,5. *Pinus Ponderosa* och *Crataegus carpinifolia* har klimatgränser mellan RCP4,5 och RCP8,5 (röda linjen). Resten av arterna finner sin klimatgräns omkring RCP8,5. *Ostrya carpinifolia*, *Celtis occidentalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Styphnolobium japonicum*, *Quercus coccinea*, *Quercus frainetto*, *Quercus palustris*, *Magnolia kobus*, *Pinus heldreichii*, *Cedrus atlantica* och *Zelkova serrata* är de arter som befinner sig i höjd med RCP8,5. *Acer rubrum*, *Gleditsia triacanthos*, *Ginkgo biloba* och *Koelreuteria paniculata* befinner sig med flera grader ovanför klimatlinjen RCP8,5. Det innebär att de naturligt befinner sig i områden med mycket högre årlig medeltemperatur jämfört med alla klimatscenarion för Göteborg.



**Figur 1.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (grå staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån årlig medeltemperatur (baserat på 95e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.



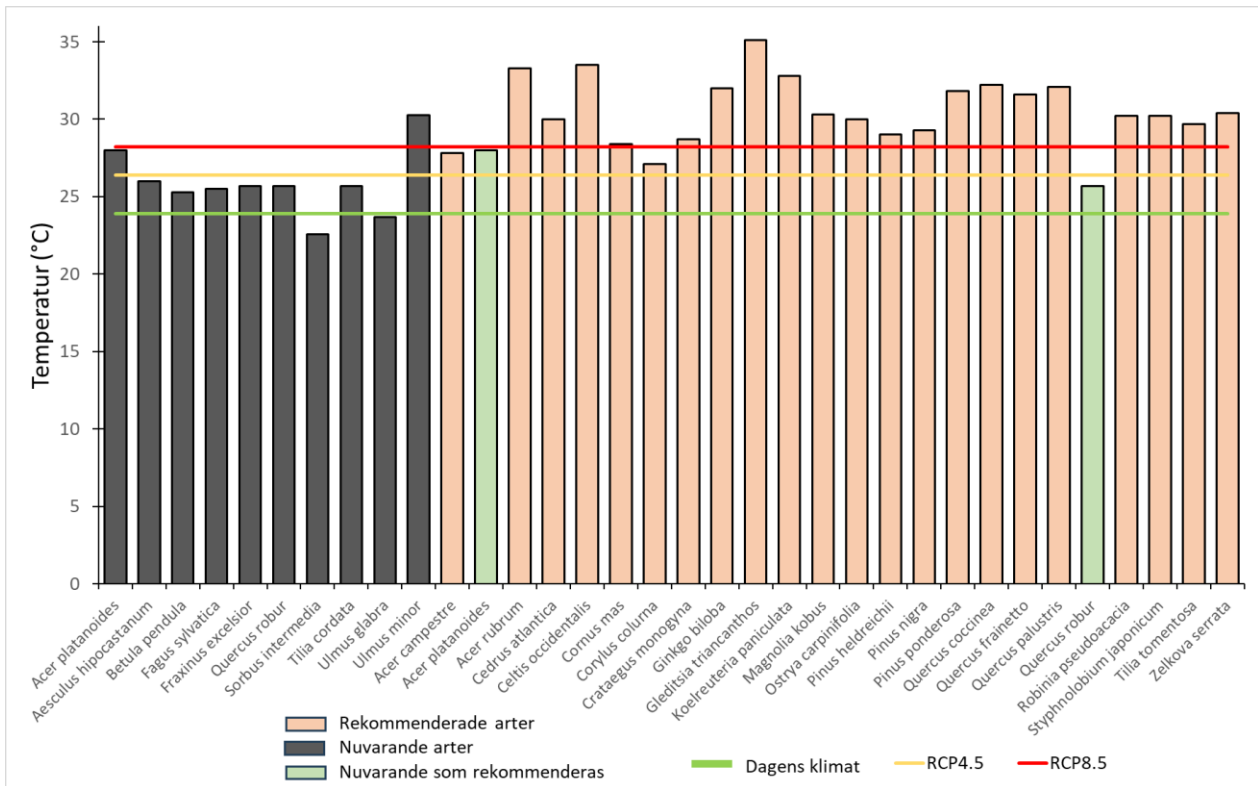
**Figur 2.** Skillnaden i årlig medeltemperatur mellan de rekommenderade och nuvarande trädarterna i Göteborg. 95e percentilen har använts för dataseten. Medianen (mittlinjen i boxarna), 75e percentilen (övre linjen), 25e percentilen (undre linjen) och 90e och 10e percentilerna (whiskers) visas. Punkterna indikerar datapunkter utanför whiskers.

Generellt har de rekommenderade arterna en spridning med högre naturliga årsmedeltemperaturer jämfört med de nuvarande arterna. Ett Welch t-test ger också mycket starka bevis för att de rekommenderade arternas klimatgränser har signifikant högre årlig medeltemperatur. (fig. 2,  $t = 4,91$ ,  $p < 0,0001$ ).

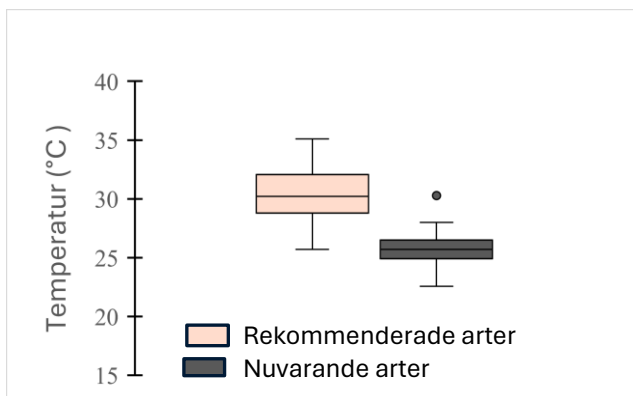
### Klimatgränser baserat på maxtemperatur av den varmaste månaden

Maxtemperaturen av den varmaste månaden i Göteborg, alltså medelvärdet av de varmaste dagarna av den varmaste månaden på året, förväntas att öka från 23,9°C till 26,4°C (RCP4,5) och till 28,2°C (RCP8,5). I figur 3 befinner sig majoriteten av alla nuvarande arter över linjen för dagens klimat. *Sorbus intermedia* och *Ulmus glabra* har sina naturliga klimatgränser i höjd med eller strax under Göteborgs nuvarande klimat, likaså är det de arter som befinner de sig i höjd

med Göteborgs nuvarande årliga medeltemperatur (fig. 1). *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior* och *Tilia cordata* har klimatgränser i höjd med eller strax under RCP4,5. *Acer platanoides* och *Ulmus minor* är de enda arter som observeras finnas i områden i höjd med eller över RCP8,5. *Ulmus minor* observeras också ha en årlig medeltemperatur i höjd med RCP8,5 (fig. 1).



**Figur 3.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (gråa staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån maxtemperatur av den varmaste månaden (baserat på 95e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenariot RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.



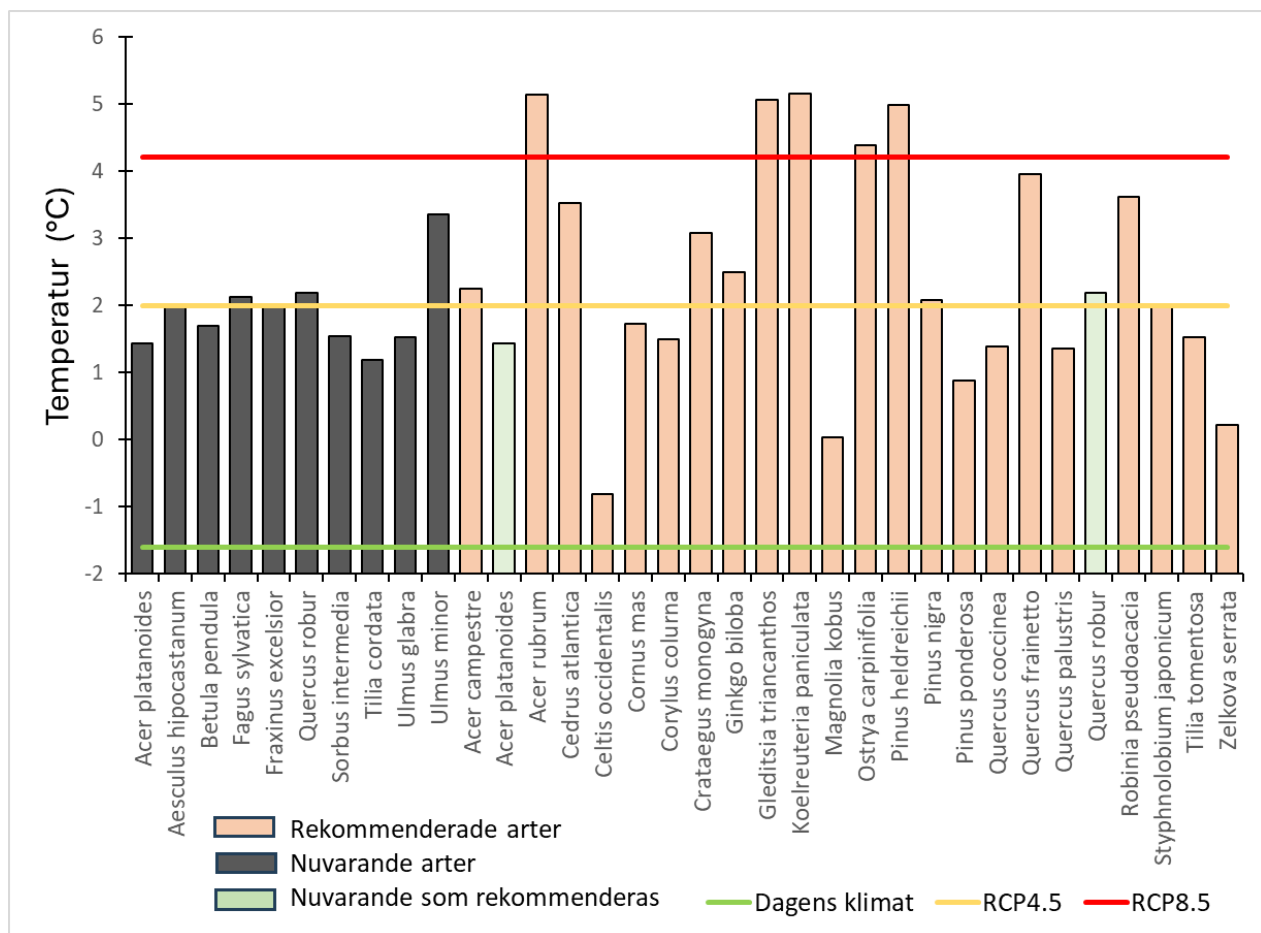
**Figur 4.** Skillnaden i maxtemperatur av den varmaste månaden mellan de rekommenderade och nuvarande trädarterna i Göteborg. 95e percentilen har använts för dataseten. Medianen (mittlinjen i boxarna), 75e percentilen (övre linjen), 25e percentilen (undre linjen) och 90e och 10e percentilerna (whiskers) visas. Punkten indikerar en datapunkt utanför whiskers.

Alla de rekommenderade arterna visar sig befinnas inom miljöer med naturligt högre maxtemperaturer av den varmaste månaden än Göteborgs maxtemperatur och nästan alla arter når upp till eller över klimatscenariot RCP8,5 (fig.3). *Quercus robur* och *Corylus colurna* är de arter med klimatgränser i höjd med RCP4,5, de befinner sig också i höjd med RCP4,5 för årlig medeltemperatur (fig. 1). *Acer platanoides*, *Acer campestre*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Pinus heldreichii* och *Pinus nigra* har sina klimatgränser i nivå med RCP8,5. Resterande arter *Acer rubrum*, *Ostrya carpinifolia*, *Celtis occidentalis*, *Gleditsia triacanthos*, *Robinia pseudoacacia*, *Styphnolobium japonicum*, *Tilia tomentosa*, *Quercus coccinea*, *Quercus frainetto*, *Quercus palustris*, *Ginkgo biloba*, *Magnolia kobus*, *Pinus ponderosa*, *Cedrus atlantica*, *Koelreuteria paniculata*, och *Zelkova serrata* befinner sig istället flera grader över RCP8,5. Varav de flesta av de arterna också befinner sig i höjd med eller över RCP8,5 för årlig medeltemperatur, bland annat *Acer rubrum*, *Gleditsia triacanthos* och *Koelreuteria paniculata*.

Precis som i fallet med årlig medeltemperatur i figur 2, så kan man se en trend mellan de rekommenderade arterna och de nuvarande arterna för maxtemperaturen av den varmaste månaden (fig. 5). Generellt befinner sig de rekommenderade arter inom områden med högre maxtemperaturer av den varmaste månaden i jämförelse med de nuvarande arterna i Göteborg. Ett Welch t-test ger mycket starka bevis för en signifikant skillnad (fig. 4,  $t = 5,6$ ,  $p < 0,0001$ ).

#### Klimatgränser baserat på minimumtemperatur av den kallaste månaden

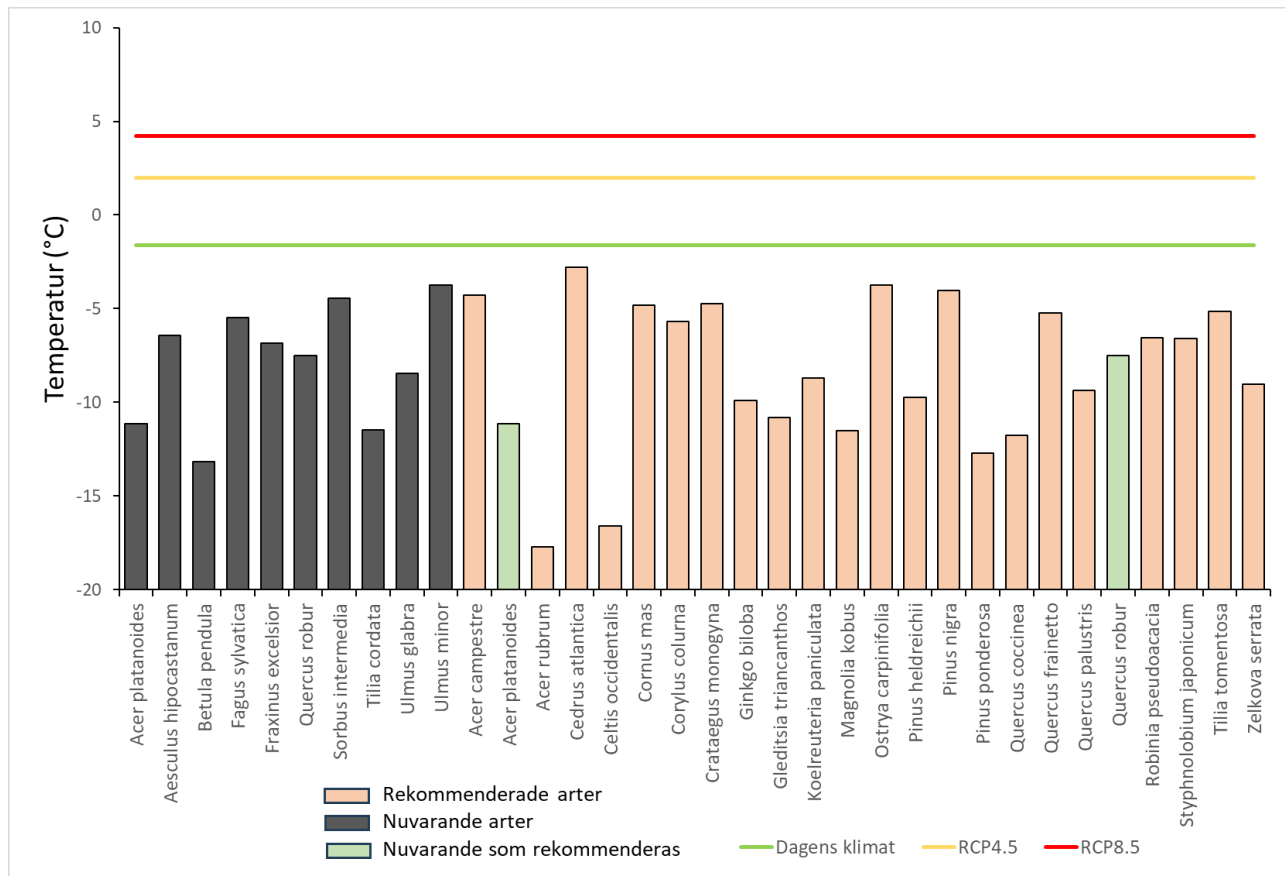
Minimumtemperaturen av den kallaste månaden i Göteborg, alltså medelvärdet av den kallaste månadens alla dagars kallaste uppmätta temperatur, förväntas att öka från  $-1,6^{\circ}\text{C}$  till  $2,0^{\circ}\text{C}$  (RCP4,5) och till  $4,2^{\circ}\text{C}$  (RCP8,5). Utgår man ifrån den 95e percentilen, alltså den övre klimatgränsen, så befinner sig majoriteten av de nuvarande arterna närmare framtidsscenarioet RCP4,5 (fig. 5). *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior* och *Quercus robur* befinner sig lagom i höjd med RCP4,5. *Acer platanoides*, *Sorbus intermedia*, *Tilia cordata* och *Ulmus glabra* har en klimatgräns som ligger en bit under RCP4,5 men betydligt närmare klimatlinjen RCP4,5 än dagens klimat. Endast en art har en minimumtemperatur över RCP4,5, vilket är *Ulmus minor* som befinner sig närmare framtidsscenarioet RCP8,5.



**Figur 5.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (gråa staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån minimumtemperatur av den kallaste månaden (baserat på 95e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.

Gruppen med rekommenderade arter visar mer variation i sina klimatgränser (fig. 5). *Celtis occidentalis*, *Magnolia kobus* och *Zelkova serrata* har sina klimatgränser närmare dagens klimatlinje än RCP4,5. Utöver dem arterna så befinner sig 12 arter omkring RCP4,5. *Acer campestre*, *Cornus mas*, *Styphnolobium japonicum*, *Quercus robur* och *Pinus nigra* har sina klimatgränser lagom i höjd med RCP4,5, medan *Acer platanoides*, *Corylus colurna*, *Tilia tomentosa*, *Quercus palustris* och *Pinus ponderosa* befinner sig en bit under, däremot närmare

RCP4,5 än dagens klimatlinje. *Ginkgo biloba* ligger strax över RCP4,5. Resterande nio arter har klimatgränser närmast RCP8,5. Bara *Ostrya carpinifolia* och *Quercus frainetto* har sin klimatgräns i höjd med RCP8,5, resten befinner sig antingen över eller under. *Crataegus monogyna* och *Cedrus atlantica* har klimatgränsen under, men befinner sig ändå närmare RCP8,5 än RCP4,5. *Acer rubrum*, *Gleditsia triacanthos* och *Koelreuteria paniculata* har sin klimatgräns en bit över RCP8,5. Dessa tre arter har också observerade höga årliga medeltemperaturer (fig. 1) och maxtemperaturer (fig. 3). Det finns inget statistiskt bevis för en skillnad mellan de nuvarande och rekommenderade arterna (Welch t-test,  $t = -1,4$ ,  $p > 0,1$ ).



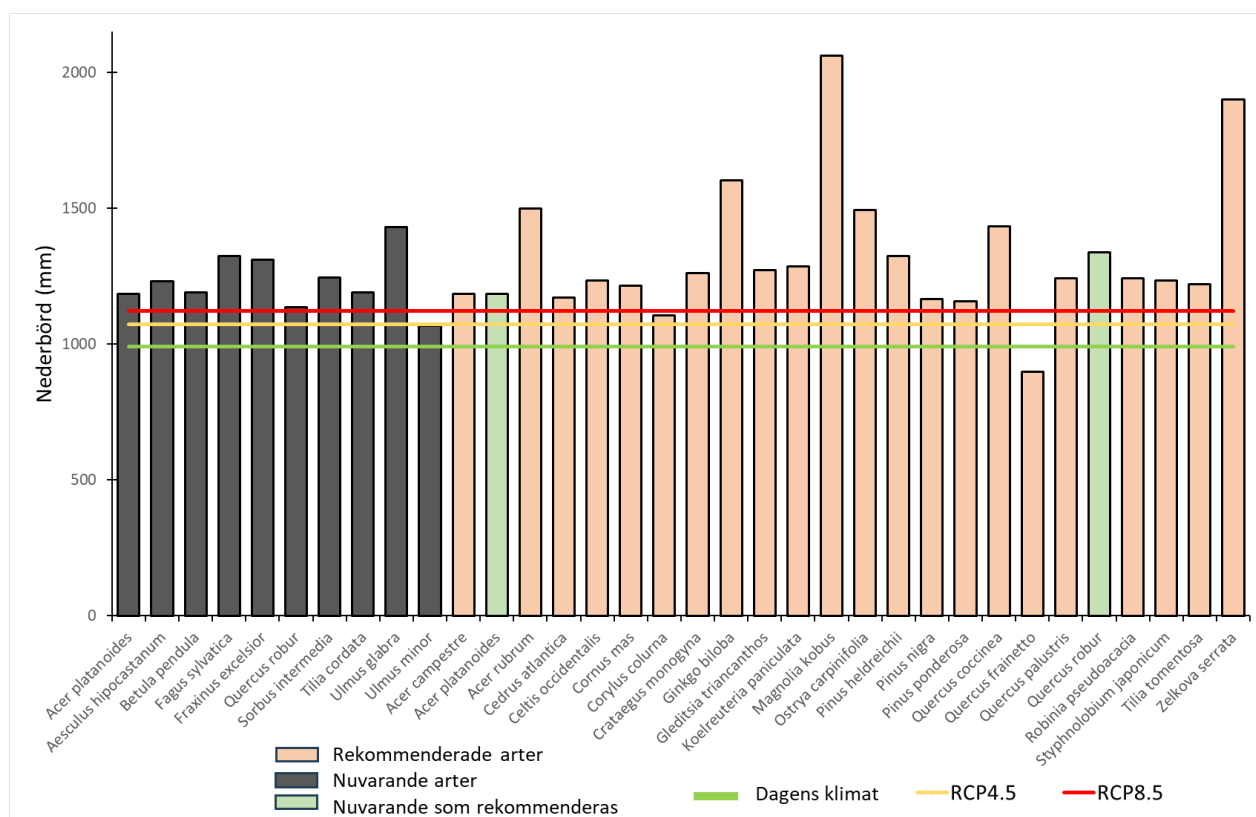
**Figur 6.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (gråa staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån minimumtemperatur av den kallaste månaden (baserat på 5e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.

Däremot när man jämför arterna utifrån den 5e percentilen av den kallaste månaden så ser man att alla arter, nuvarande och rekommenderade observeras att kunna leva i miljöer med kallare minimumtemperaturer än Göteborg (fig. 6). För den 5e percentilen ser man att *Acer rubrum*, *Gleditsia triacanthos* och *Koelreuteria paniculata* också har klimatgränser med en mycket lägre temperatur än Göteborgs nuvarande minimumtemperatur, medan de för 95e percentilen har klimatgränser över RCP8,5 (fig. 5). Det finns inget statistiskt bevis för att de rekommenderade arternas klimatgränser skiljer sig från de nuvarande arterna (Welch t-test,  $t = -0,36$ ,  $p > 0,1$ ).

#### Klimatgränser baserat på årlig nederbörd

Den årliga nederbörden i Göteborg, alltså hur mycket som regnat under hela året, förväntas öka från 990mm till 1074mm (RCP4,5) och till 1122mm (RCP8,5). Baserat på 95e percentilen så har ingen av de nuvarande urbana trädarterna sin klimatgräns i höjd med dagens klimatlinje, majoriteten av alla nuvarande arter har i stället en klimatgräns över klimatlinjen RCP8,5 (fig. 7). Förutom att *Ulmus minor* befinner sig i höjd med klimatgränsen av RCP4,5 och *Quercus robur*

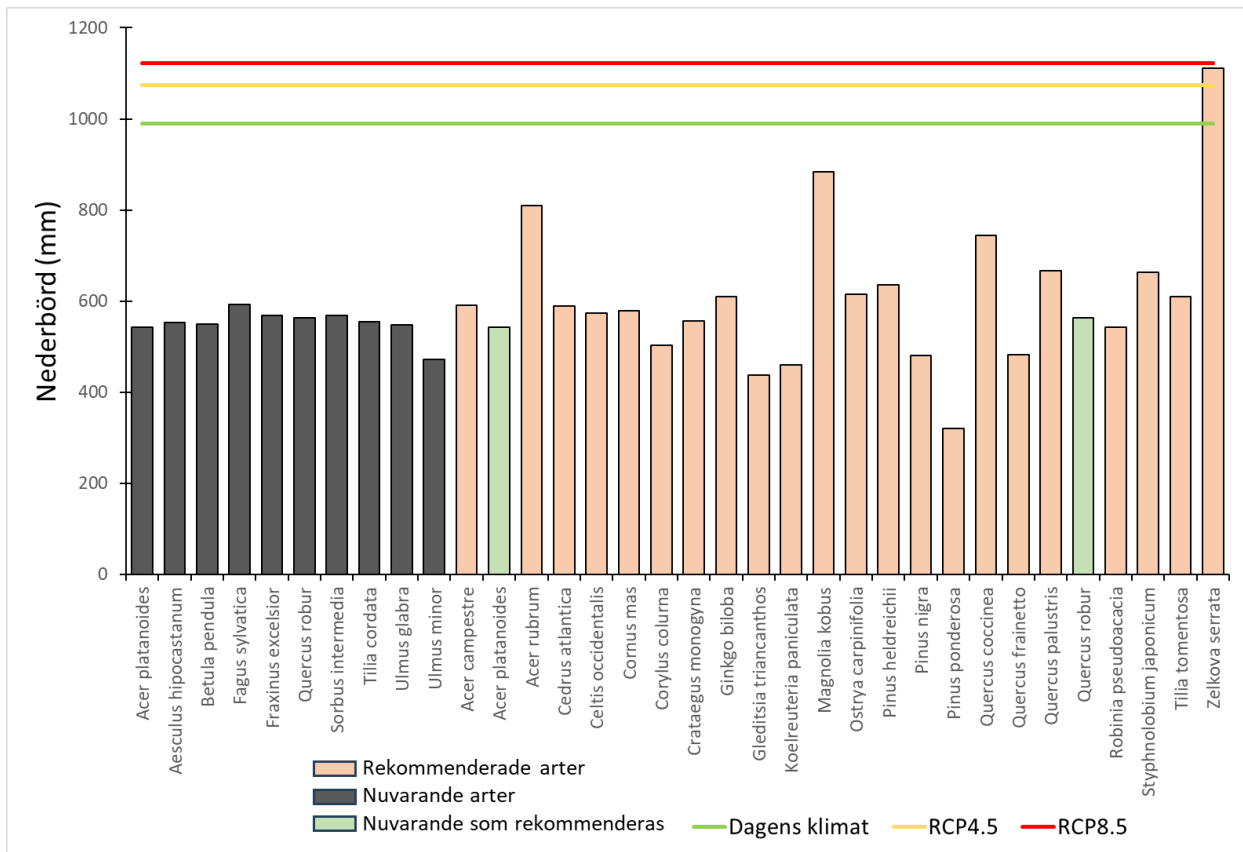
befinner sig i höjd med RCP8,5, så befinner sig resten av arterna över gränsen för RCP8,5. *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Sorbus intermedia*, *Tilia cordata* och *Ulmus glabra* har alltså en klimatgräns av en årlig nederbörd som överstiger den som förväntas i Göteborg vid framtidsscenarioet RCP8,5.



**Figur 7.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (gråa staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån årlig nederbörd (baserat på 95e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.

Liknande för de nuvarande arterna så har majoriteten av de rekommenderade arter sina klimatgränser över klimatlinjen RCP8,5 (fig. 7). *Quercus frainetto* är undantaget och har en klimatgräns under dagens klimatlinje. *Corylus colurna*, *Pinus nigra*, *pinus ponderosa* och *Cedar atlantica* har sin klimatgräns i höjd med RCP8,5. *Acer rubrum*, *Acer platanoides*, *Acer campestre*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Ostrya carpinifolia*, *Celtis occidentalis*, *Gleditsia triacanthos*, *Robinia pseudoacacia*, *Styphnolobium japonicum*, *Tilia tomentosa*, *Quercus coccinea*, *Quercus palustris*, *Quercus robur*, *Ginkgo biloba*, *Magnolia kobus*, *pinus heldreichii*, *Koelreuteria paniculata* och *Zelkova serrata* har alla sina klimatgränser ovanför klimatlinjen RCP8,5. Varav *Ginkgo biloba*, *Magnolia kobus* och *Zelkova serrata* når allra högst årlig nederbörd. Det finns dock inget statistiskt bevis för att de rekommenderade arternas klimatgränser skiljer sig från de nuvarande arterna (Welch t-test,  $t = 2,04$ ,  $p > 0,1$ ).

Utifrån arternas 5e percentil så observeras alla arter, nuvarande och rekommenderade inkluderat, i miljöer med naturligt lägre årlig nederbörd än Göteborgs nuvarande årliga nederbörd (fig. 8). Undantaget är *Zelkova serrata*, som har en klimatgräns i höjd med RCP8,5. Det finns inget statistiskt bevis för en skillnad mellan klimatgränserna av dem rekommenderade och nuvarande arterna (Welch t-test,  $t = 1,70$ ,  $p > 0,1$ ).

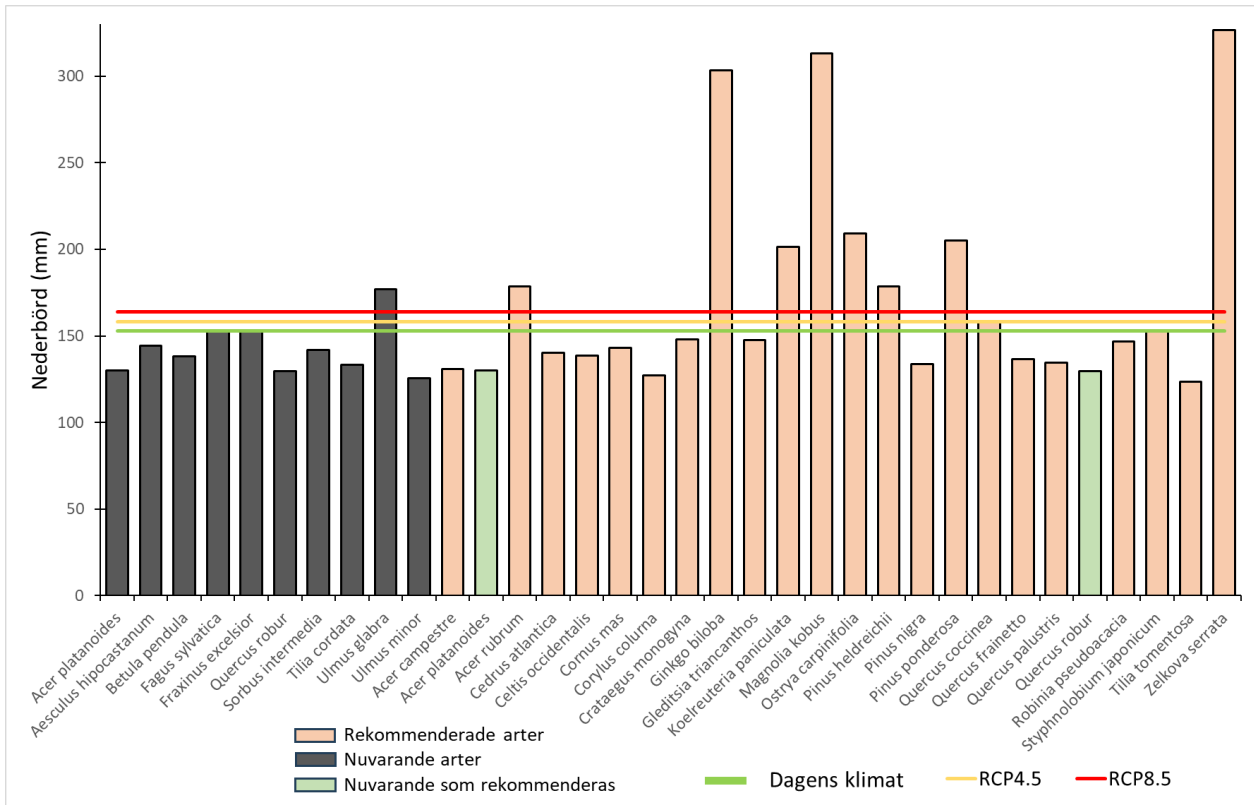


**Figur 8.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (gråa staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån årlig nederbörd (baserat på 5e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.

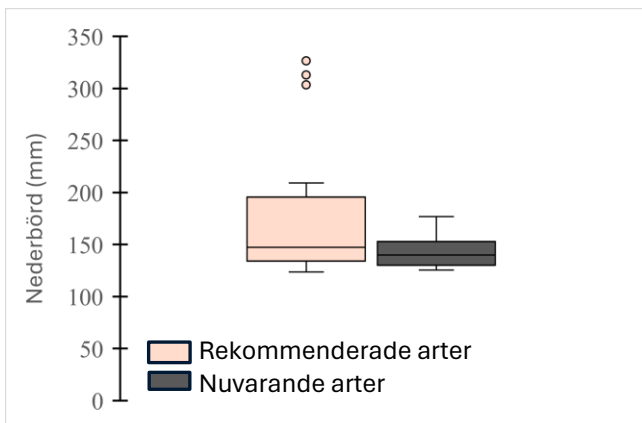
### Klimatgränser baserat på nederbörd av den blötaste månaden

Nederbörden av den blötaste månaden i Göteborg, alltså den månad på året som haft störst nederbörd, förväntas att öka från 153 mm till 158 mm (RCP4,5) och till 164 mm (RCP8,5). Majoriteten av alla nuvarande urbana trädarter befinner sig i miljöer som naturligt inte utsätts för lika hög nederbörd under den blötaste månaden som i Göteborg (fig. 9). *Fagus sylvatica* och *Fraxinus excelsior* befinner sig i höjd med dagens klimatlinje. *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Quercus robur*, *Sorbus intermedia*, *Tilia cordata* och *Ulmus minor* har klimatgränser under dagens klimatlinje. *Ulmus glabra* är ett undantag och befinner sig över klimatlinjen RCP8,5.

De rekommenderade arterna visar likande resultat. Majoriteten av arterna befinner sig i miljöer som naturligt inte utsätts för lika hög nederbörd under den blötaste månaden, men har också ett få antal som överstiger RCP8,5 (fig. 9). *Acer platanoides*, *Acer campestre*, *Cornus mas*, *Corylus colurna*, *Crataegus monogyna*, *Celtis occidentalis*, *Gleditsia triacanthos*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia tomentosa*, *Quercus palustris*, *Quercus robur*, *Pinus nigra* och *Cedrus atlantica* *Koelreuteria paniculata* och *Zelkova serrata* har alla sin klimatgräns under dagens klimatlinje. *Styphnolobium japonicum* har sin klimatgräns i höjd med dagens klimatlinje och *Quercus coccinea* har sin i höjd med RCP4,5. *Acer rubrum*, *Ostrya carpinifolia*, *Ginkgo biloba*, *Magnolia kobus*, *Pinus heldreichii*, *Pinus ponderosa*, *Koelreuteria paniculata* och *Zelkova serrata* är de arter som har klimatgränser som når över RCP8,5. Däribland finns tre arter som utmärker sig ytterligare genom att nå en klimatgräns av betydligt högre nederbörd: *Ginkgo biloba*, *Magnolia kobus* och *Zelkova serrata*.



**Figur 9.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (grå staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån nederbörd av den blötaste månaden (baserat på 95e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.

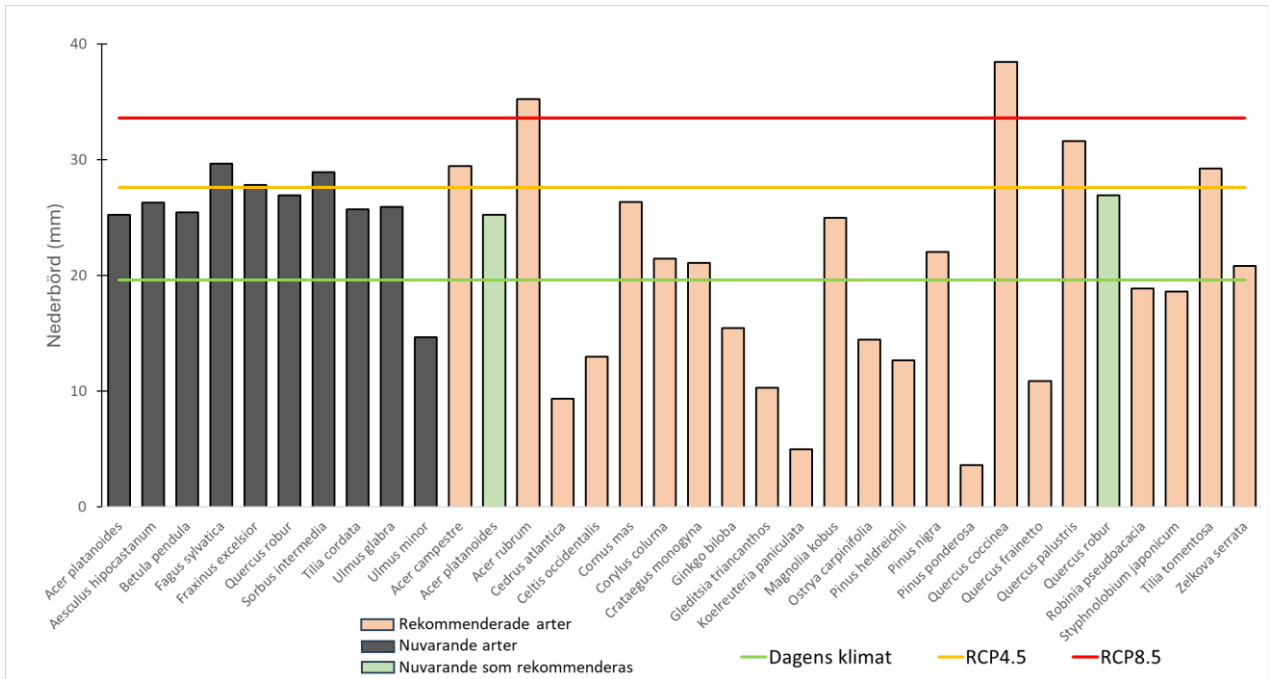


**Figur 10.** Skillnaden i maxtemperatur av den varmaste månaden mellan de rekommenderade och nuvarande trädarterna i Göteborg. 95:e percentilen har använts för dataseten. Medianen (mittlinjen i boxarna), 75e percentilen (övre linjen), 25e percentilen (undre linjen) och 90e och 10e percentilerna (whiskers) visas. Punkterna indikerar datapunkter utanför whiskers.

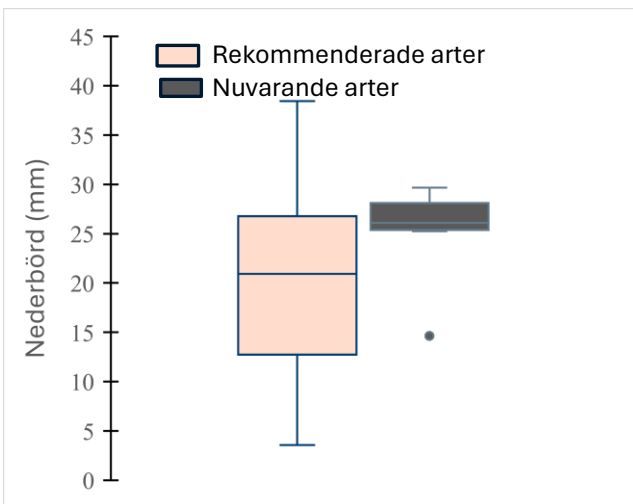
Ett Welch t-test ger även starka bevis för att de rekommenderade arterna har klimatgränser med signifikant högre nederbörd än de nuvarande arterna (fig. 10,  $t = 2,26$ ,  $p < 0,05$ ).

### Klimatgränser baserat på nederbörd av den torraste månaden

Nederbörden av den torraste månaden i Göteborg förväntas att stiga från 20 mm till 28 mm (RCP4,5) och till 34mm (RCP8,5). Utifrån arternas 5e percentilen så observeras ingen av de nuvarande arterna, förutom *Ulmus minor*, i områden med så låg nederbörd under den torraste månaden som för Göteborg (fig. 11). Arterna befinner sig i stället mer i höjd med den nederbörd som förväntas vid RCP4,5. Ingen art når upp till RCP8,5.



**Figur 11.** Klimatgränser hos Göteborgs nuvarande (gråa staplar), nuvarande som rekommenderas (gröna) och övriga rekommenderade (beigea staplar) urbana trädarter och deras klimatgränser utifrån nederbörd av den torraste månaden (baserat på 5e percentilen). Linjerna representerar klimatet i Göteborg, dagens klimat som grön linje, framtidsscenarioet RCP4,5 som gul linje och RCP8,5 som röd linje.



**Figur 12.** Skillnaden i maxtemperatur av den varmaste månaden mellan de rekommenderade och nuvarande trädarterna i Göteborg. 5:e percentilen har använts för dataseten. Medianen (mittlinjen i boxarna), 75e percentilen (övre linjen), 25e percentilen (undre linjen) och 90e och 10e percentilerna (whiskers) visas. Punkterna indikerar datapunkter utanför whiskers.

För de rekommenderade arterna så är klimatgränserna generellt mer utspridda (fig.11). *Cedrus atlantica*, *Celtis occidentalis*, *Ginkgo biloba*, *Gleditsia triacanthos*, *Koelreuteria paniculata*, *Ostrya carpinifolia*, *Pinus heldreichii*, *Pinus ponderosa*, *Quercus frainetto*, *Robinia pseudoacacia* och *Styphnolobium japonicum* har alla observerats i områden med mindre nederbörd av den torraste månaden än Göteborgs nuvarande nederbörd. *Corylus colurna*, *Crataegus monogyna*, *Pinus nigra* och *Zelkova serrata* har istället sin gräns i områden med liknande nederbörd som Göteborgs nuvarande. *Acer campestre*, *Acer platanoides*, *Cornus mas*, *Magnolia kobus*, *Quercus robur* och *Tilia tomentosa* befinner sig i höjd med RCP4,5. *Acer rubrum*, *Quercus coccinea* och *Quercus palustris* befinner sig i höjd med RCP8,5. Det finns en signifikant skillnad mellan de

rekommenderade arternas klimatgränser och de nuvarande arterna i Göteborg (fig.12,  $t = 2,37$ ,  $p < 0,05$ ).

## Diskussion

För att enkelt sammanfatta hur klimatförändringarna kommer att påverka klimatet och vädret över Göteborg, så visar resultaten att temperaturen kommer att stiga med några grader och nederbörden att öka, men relativt lite. Att temperaturen förväntas öka finns det gott stöd för från

andra studier (Sjöman, et al., 2016; Esperon-Rodriguez, et al., 2022a). Det som är intressant är att nederbörden förväntas öka och perioder av torka förblir mer eller mindre densamma, vilket är motsatsen till den generella uppfattningen om klimatförändringar där nederbörd förväntas minska och torka öka (Sjöman, et al., 2016; Esperon-Rodriguez, et al., 2022a). Nederbörden är däremot generellt mycket varierande och därför ofta svår att förutspå (Lindner, et al., 2010) och beroende på vilka modeller man använder sig av så kan resultatet variera, men viktigast så skiljer det sig beroende på regioner. En översiktsartikel skriven av Lindner, et al. (2010) belyser klimatpåverkan regionalt och hänvisar till Sverige som *boreal zone*. Resultaten från den studie stämmer bra överens med mitt resultat. Lindner beskriver en ökning i temperatur med 3,5-5°C med större ökning under vinter (4-7°C) än sommar (3-4°C), samt en ökning i nederbörd med 40%. Min studie påvisar en ökning i årlig medeltemperatur med 2,7-4,4°C, varav minimumtemperaturen av den kallaste månaden på året har en ökning med 3,6-5,8°C och maxtemperaturen av den varmaste månaden på året har en ökning med 2,5-4,3°C. Nederbörden förväntas inte öka i samma utsträckning som 40%, men total årsnederbörd visar på en tydlig ökning med 8–13%. Resultaten är däremot specifika för Göteborg, ser man till hela Västra Götaland så förväntas en ökning i årsmedelnederbörd att vara kring 40% enligt RCP8,5 (SMHI, 2015).

Värt att ta upp är metoden som de framtida klimatindikatorerna beräknats utifrån och hur det eventuellt kan ha påverkat resultaten. Eftersom data över framtida klimat inte fanns tillgänglig specifikt över Göteborg så applicerades förändringen som var över hela Västra Götalands län på den nuvarande klimatdatan över Göteborg. Detta med antagandet att förändringen i Västra Götaland är proportionerlig med förändringen i Göteborg. Eftersom resultaten inte visar sig radikala i jämförelse med dem av Västra Götaland och visar samma riktning av förändring så är risken att det ska ha förvrängt resultatet relativt låg. Med det sagt så är resultatet av de förväntade klimatförändringarna i Göteborg rimliga.

#### *Hur väl klarar de nuvarande arterna av dagens klimat?*

De nuvarande planterade urbana arterna i Göteborg verkar klara av dagens klimat utifrån de flesta klimatindikatorerna bra. Vad gäller arternas klimatgränser i förhållande till temperaturen så har klimatindikatorerna "årlig medeltemperatur" och "maxtemperatur av den varmaste månaden" likande resultat. Majoriteten av arternas klimatgränser tenderar att befinna sig mellan dagens klimatlinje och RCP4,5, vilket innebär att Göteborg idag befinner sig inom arternas klimatgränser. Vad gäller minimumtemperaturen av den kallaste månaden baserat på den 5e percentilen så visar sig alla arterna ha en tolerans mot en lägre minimumtemperatur än vad Göteborg har idag. Det innebär att det inte finns en stress skapad av kyla. Generellt så har arterna alltså goda förutsättningar för att må bra i Göteborgs nuvarande klimat med avseende på temperatur. Vissa arter lite bättre än andra beroende på avstånd från Göteborgs klimatlinje. Exempelvis *Ulmus glabra* och *Sorbus intermedia* som man kan se befinner sig mycket nära gränsen för dagens klimat både i årlig medeltemperatur och maxtemperatur av varmaste månad.

Den årliga nederbörden har visat sig vara varken för torr eller för blöt eftersom arternas undre klimatgränser befinner sig långt under den nuvarande nederbörden och de övre klimatgränserna i höjd med eller över nederbörden för RCP8,5. Däremot är nederbörden av den torraste månaden i Göteborg idag torrare än vad arternas undre klimatgräns visar att de klarar av. Det innebär att arterna utsätts för ett torrare klimat än vad de är vana vid. Nederbörd av den blötaste månaden visar sig också blötare i Göteborg än vad arterna övre klimatgräns klarar av. Allt som allt innebär det att den årliga nederbörden inte är ett problem för arterna, men perioder av torka och hög nederbörd sätter stress på de nuvarande arterna idag.

De urbana trädarterna som idag är planterade i Göteborg mår utifrån klimatindikatorerna för temperatur bra. Utifrån klimatindikatorerna för nederbörden har de förutsättningar att må bra, dock utsätts de för stress från torrare och blötare perioder.

### *Hur väl klarar de nuvarande arterna av det framtida klimatet?*

Ökningen i den årliga nederbörden kommer fortfarande befinna sig inom arternas klimatgränser. Förändringen i årlig nederbörd är dock mer eller mindre försumbar då ökningen är minimal. Ökningen i nederbörd av den blötaste månaden förväntas också öka relativt lite men eftersom den blötaste månaden idag redan är för blöt för de nuvarande arterna så kan framtiden visa sig ännu svårare för arterna. Eftersom översvämningar är ett vanligt problem inom Göteborg (SGI & MSB 2021) finns även risken att dessa ökar, framför allt med tanke på att denna studie visar att dagar med extrem nederbörd också förväntas öka. Undantaget är nederbörden av den torraste månaden som förväntas ha en relativt stor ökning i jämförelse. Idag är den torraste månaden för torr men vid RCP4,5 och RCP8,5 så kommer arterna att befinna sig inom sina klimatgränser.

Den förväntade förändringen i nederbörd skulle kunna påverka arterna negativt men det är främst den förvänta förändringen i temperatur som kommer skapa störst problem. Arterna som idag befinner sig nära eller redan nu utanför sina klimatgränser har störst risk att inte vara tillräckligt anpassade för det framtida klimatet. Det gäller främst arterna *Ulmus glabra* och *Sorbus intermedia*. Eftersom de under dagens klimat befinner sig relativt nära sina temperaturoptimum så kommer Göteborg generellt befinna sig över deras klimatgränser med alla klimatindikatorer för temperatur vid både RCP4,5 och RCP8,5.

Vad gäller resten av arterna så har de flesta sina klimatgränser i höjd med eller strax under framtidsscenariot RCP4,5. Därför skulle jag påstå följande arter vara tillräckligt anpassade för att klara av framtidsscenariot RCP4,5: *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Tilia cordata* och *Ulmus minor*. Trots att arternas klimatgränser egentligen befinner sig strax under RCP4,5 så finns det argument för att denna mindre temperaturskillnad inte nödvändigtvis kommer att bli ett problem. Arterna är kapabla till aklimatisering (Atkin, et al., 2005), framför allt tempererade arter, då de arterna från ett tempererat klimat naturligt upplever större temperaturskillnader så har de en bättre förmåga att aklimatisera sig till långvariga temperaturförändringar (Cunningham & Read, 2002). Nästan alla dessa arter kommer däremot sannolikt ha svårigheter att överleva vid framtidsscenariot RCP8,5. RCP8,5 har temperaturer som överstiger de flesta arternas övre klimatgränser med flera grader, vilket också inkluderar minimumtemperaturen av den kallaste månaden. En viktig aspekt är att vissa arter behöver en period av kyla för att fungera ordentligt. Många arter använder kylan som en indikator på när det är lagom att blomma, kallat vernalisering (Kim, et al., 2009) och inducerar fysiologiska förberedelser inför kylan, kallat kallhärdning (Vitra, et al., 2017). Eftersom de övre klimatgränserna för de nuvarande arterna minimumtemperatur inte når upp till RCP8,5 riskerar temperaturerna att bli för varma. Temperaturen av RCP8,5 för alla klimatindikatorer förväntas alltså att bli för höga. De nuvarande urbana arterna observeras inte normalt i områden med så hög temperatur och riskerar därför att inte vara värmetåliga nog att klara denna förändring.

Den art som faktiskt har en chans att klara RCP8,5 skulle vara *Ulmus minor*. *U. minor* är ett undantag och befinner sig strax över RCP8,5 för både den årliga medeltemperaturen och maxtemperaturen av den varmaste månaden. Även den 95e percentilen av klimatgränsen för minimumtemperaturen av den kallaste månaden befinner sig närmare RCP8,5, vilket skulle kunna tyda på att kalla vintrar inte är lika nödvändiga för arten. Däremot når artens klimatgräns inte upp till RCP8,5 för årlig nederbörd eller nederbörd av den blötaste månaden. Risken att för hög nederbörd begränsar arten finns. Annars har arten generellt goda förutsättningar att klara av RCP8,5.

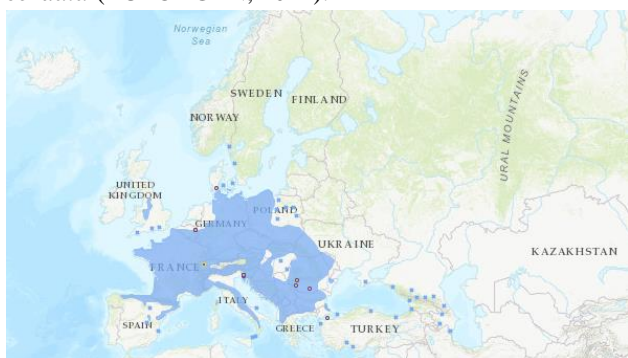
Resultatet tyder alltså på att utifrån arternas utbredning så kommer majoriteten av de nuvarande urbana trädarterna i Göteborg att klara av dem framtida klimatförändringarna om RCP4,5 uppnås, men inte om RCP8,5 uppnås, vilket endast en art visat sig lämplig för. Detta resultat stämmer bra överens med en studie av Sjöman, et al. (2016). I Sjömans studie förväntas också en majoritet av

våra inhemska arter att ha en sämre överlevnad med de ökande stressfaktorerna som visar sig i takt med bland annat klimatförändringar.

### *Tilia europaea*



**Figur 13.** Det blåa fältet visar utbredningen av arten *Tilia cordata* (EUFORGEN, 2024).



**Figur 14.** Det blåa fältet visar utbredningen av arten *Tilia cordata* (EUFORGEN, 2024).

Av alla de planterade arterna i Göteborg idag så är *Tilia europaea* den vanligaste (Sjöman, et al., 2012). Därför är den värd att nämna och beskrivas mer deskriptivt trots att arten inte kunnat inkluderas i analyserna. *Tilia europaea*, också känd som *common lime* eller parklind, är en hybrid mellan *Tilia cordata* och *Tilia platyphyllos*. *T. cordata* och *T. platyphyllos* har båda en naturlig utbredning i Europa mellan sydliga Finland och sydliga Italien (fig. 13,14) (Jensen & Canger, 1998). Mer nordlig utbredning är limiterad av de lägre temperaturerna och sydlig utbredning limiterad av torka under sommarperioder (Pigott, 1991). Parklinden är inte inhemska till den svenska floran, utan planterades först under 1700–1800 talet för att ha i trädgårdar och alléer, därefter har vilda exemplar hittats (Bengtsson, 2005). Det är nu en av de vanligaste urbana trädarterna i Norden och planteras ofta som park eller gatuträd (Pauleit, et al., 2002).

En studie belagd i Norge visade att parklinden tolererar stadsmiljön mycket bra och bättre än

andra arter i samma studie. Arten visar även en anpassning specifikt till gatmiljön där den till och med visat sig mer kraftfull än i parkmiljöer (Fostad & Pedersen, 1997). Arten är motståndskraftig mot urbana föroreningar (Minelli & Chiusoli, 2000) och tolererar ett flertal urbana jordarter. Vidare är arten tolerant mot värme, vind (Lobdell, et al., 2023) och torka (Stångby skolan, 2024). Optimala förhållanden för arten är egentligen näringsrik och fuktig mark med mycket utrymme för rötterna. Kompakt mark med dålig dränering som ofta förekommer i centrala urbana miljöer hämmar utvecklingen och gör arten mer mottaglig för angrepp, bland annat bladlöss (E-planta, 2024). Trots det verkar arten finnas i stor utbredning inom städer (Pigott, 1991) och rekommenderas som gatuträd (Stångby plantskola, 2024). Den tillgängliga informationen om arten är mycket begränsad för att vara ett så vanligt planterat urbant träd (pauleit, et al., 2002), även jämfört med dess föräldraarter. Däremot eftersom hybriderna visar anatomiska egenskaper från föräldraarterna *Tilia cordata* och *Tilia platyphyllos* (Jaegere, T. D., et al., 2016) så skulle man kunna göra antagandet att artens klimatgränser liknar dem av *Tilia cordata*, som inkluderats i analyserna. Med den tillgängliga informationen skulle jag påstå att arten har goda förutsättningar för att klara framtidsscenarioet RCP4,5, tillsammans med sin föräldraart *Tilia cordata*. Estimeringen bör dock tas med stor försiktighet, mer information om den egentliga artens utbredning och morfologi krävs för ett säkrare resultat.

### *Hur väl klarar de rekommenderade arterna av det framtida klimatet?*

Majoriteten av dagens urbana trädarter, där 12 av 13 arter är inhemska (BGCI, 2024), förväntas antingen att inte kunna leva kvar eller leva suboptimal i framtiden. Det ger ett väldigt litet urval av inhemska arter vid planering av hållbara urbana träd, även med tanke på att den svenska floran endast har totalt 30 inhemska trädarter (Sjöman, et al., 2016). Det är kritiskt att upprätthålla en diversitet av urbana arter. Diversiteten är viktig för att populationen ska vara hållbar och resiliert mot förändringar och motgångar, som bland annat klimatförändringar och angrepp som

sjukdomar. Med en god resiliens så försäkras även ekosystemtjänsterna som vi drar nytta av (Sjöman, et al., 2016; Raupp, et al., 2006; Elmqvist, et al., 2003). Den nuvarande diversiteten av urbana trädarter förväntas bli sämre anpassade och med en högre dödlighet i takt med klimatförändringarna. Det visar hur aktuellt behovet är att introducera nya arter, exotiska inkluderade, i försök att öka diversiteten och säkra ekosystemtjänsterna.

När man ska införa nya arter oavsett inhemska eller inte, måste man också överväga vilket mikroklimat som individerna kommer från. Göteborg ligger längst kusten, vilket påverkar tillväxtperioderna hos träden. Under milda vintrar och vår är det vanligt med frost vid kusten, vilket innebär att träden adapterats för att börja växa och blomma senare än dem som växer längre in på kontinenten. Även om arten generellt passar profilen för att planteras in i Göteborg, så är det viktigt att överväga andra egenskaper som om individen kommer från ett kontinentalt område, där eventuellt naturligt urval lett till en bättre anpassning för just kontinentalt klimat. Det kan leda till tidig tillväxt som riskerar frostsador, vilket i sin tur ökar mottagligheten för andra faktorer, bland annat sjukdomar (Sæbø, 2003). Trots att arterna visar god potential för inplantering vid klimatundersökningar så bör även sådana faktorer övervägas för att öka chansen för en bra anpassning.

Göteborg kommun har skapat listan av de rekommenderade arterna utifrån de arter som anses lämpliga för att planteras i Göteborgs urbana miljö. Det innebär att faktorer som bland annat sjukdomar, artuppsättning och klimat har tagits hänsyn till (Göteborgs stad, 2020). Att listan förväntas ha arter med en bra anpassning ligger till grund för denna studies hypotes, att de rekommenderade arterna är bättre anpassade till det förväntade klimatet. När de rekommenderade trädarterna jämfördes med de nuvarande urbana trädarterna så visade nästan alla jämförelser en visuell trend. De rekommenderade trädarterna tenderar att ha högre temperatur och nederbörd i de flesta klimatindikatorerna. Detta visade sig sant i fyra av sex klimatindikatorer när en skillnad testades. De rekommenderade trädarterna har en mycket starkt signifikant högre årlig medeltemperatur och maxtemperatur av den varmaste månaden än de nuvarande urbana trädarterna, vilket betyder att de rekommenderade arterna befinner sig naturligt i områden med varmare temperaturer, både långvariga och kortvariga. Eftersom temperaturen förväntas stiga i Göteborg så är det passande. Om man isolerar frågan vare sig arterna är tillräckligt anpassade till just den förväntade värmen eller inte, så ser man tydligt att värmen generellt inte kommer att vara något problem för de rekommenderade arterna.

Det är däremot viktigt att också ta hänsyn till dem kallare perioderna, som minimumtemperatur av den kallaste månaden. Trots att Göteborgs kallare perioder blir varmare så kommer temperaturerna förbli relativt låga, samt förväntas fortfarande perioder med sen vårfrost förbli oförändrat trots klimatförändringar (Muffler, et al., 2016). En studie skriven av Muffler, et al. (2016) visar en koppling mellan klimatförhållanden i trädarternas naturliga utbredning och deras känslighet för frostsador. Den rekommenderade gruppen visade inga statistiska bevis för att skilja sig från de nuvarande arterna i mån av minimumtemperaturen av den kallaste månaden. Men som nämnts innan bör områdets mikroklimat övervägas innan man inför en ny art, framförallt om den är tagen från ett mycket varmare område utan risker för bland annat frostsador. Majoriteten av de rekommenderade arter har dock sin övre klimatgräns i höjd med eller under RCP4,5 för minimumtemperaturen. Det innebär att deras tolerans för varmare kalla perioder inte sträcker sig längre än till RCP4,5. Exempelvis *Celtis occidentalis*, *Magnolia kobus* och *Zelkova serrata* som har sin övre tolerans närmare dagens minimumtemperatur än RCP4,5 ger tecken på att de kanske har ett starkare behov av en kallare period. Dessa arter kan då visa sig mindre passande för inplantering närmare RCP4,5 och RCP8,5. Ungefär en tredje del av de rekommenderade arterna visar klimatgränser i höjd med RCP8,5 för minimumtemperaturen. Deras 5e och 95e percentil visar också att de tål både kallare (temperaturer under Göteborgs nuvarande klimat) och varmare (över RCP8,5) minimumtemperaturer, vilket är till en fördel. De arter som ska planteras för framtiden under perioden 2071–2100 behöver planteras inom en

snarare framtid för att träden ska kunna vara tillräckligt gamla och utvecklade för att kunna bidra med ekosystemtjänster. Annars finns risken att arterna anpassade till det framtida klimatet behöver planteras under suboptimala förhållanden som råder idag, men eftersom arterna har en bred tolerans så är den risken liten i just detta fall.

De rekommenderade arterna har generellt goda förutsättningar för den årliga nederbörden och den nederbörden av den torraste månaden. För den årliga nederbörden så har de rekommenderade arterna sin lägre klimatgräns relativt långt under dagens klimat och den övre klimatgränsen generellt i höjd med eller strax över RCP8,5, vilket innebär att den årliga nederbörden kommer vara varken för låg eller för hög. För nederbörden av den torraste månaden finns lite mer variation i klimatgränserna. Men de flesta arter har sin lägre klimatgräns i höjd med eller under RCP4,5. Det tyder på att de rekommenderade arterna generellt klarar dem torrare förhållanden som förväntas och i många fall även tolererar mer än vad som förväntas. Undantag är *Quercus coccinea* och *Acer rubrum* som har sin lägsta torktolerans ovanför klimatlinjen RCP8,5. Det innebär att arterna kommer ha svårt att klara av torkan vid RCP8,5, men framför allt vid RCP4,5.

Intressant nog visade sig de rekommenderade arterna ha starka bevis för att finnas i områden med signifikant mer nederbörd av den blötaste månaden än de nuvarande arterna i Göteborg. Men genom att titta på datan i grafen så ser man att majoriteten av arternas klimatgränser faktiskt sammanfaller med liknande resultat som de nuvarande arterna, vilket är strax under klimatlinjen för dagens nederbörd. Mest troligen beror det signifikanta resultatet på att det finns ett få tal arter med klimatgränser som når betydligt långt över klimatlinjen RCP8,5, vilket är främst arterna *Magnolia kobus*, *Ginkgo biloba* och *Zelkova serrata*. Det säger oss att dessa arter klarar av den förväntade nederbörden bra. Resterande arter befinner sig generellt strax under klimatgränserna. Det innebär att majoriteten av arterna kommer att möta en högre nederbörd av den blötaste månaden än vad deras övre klimatgräns visar att de klarar av. Det indikerar att arterna är relativt känsligare för höga regnfall. Med tanke på att översvämningar är vanliga i Göteborg (SGI & MSB 2021) och dagar med extrem nederbörd förväntas öka så sätter de arterna i en ännu större riskzon.

De rekommenderade arterna har alltså generellt goda förutsättningar för att klara av det framtida klimatet, både med avseende på temperatur och nederbörd, samt för både RCP4,5 och RCP8,5. I jämförelse med de nuvarande urbana trädarterna i Göteborg så är de rekommenderade arterna mer anpassade för klimatet. De problem som vissa arter riskerar att möta är för höga temperaturer av den kallare månaden och för hög nederbörd av den blötaste månaden. I mitt arbete så har de rekommenderade arterna även analyserats som gruppen i helhet. Med dessa analyser så kan man se att vissa arter lämpar sig bättre än andra. Det skulle därför vara rimligt att i framtida studier filtrera ut de arter som visar sig bättre än andra inom gruppen.

#### *Potentiella risker och fördelar med exotiska arter*

Om de rekommenderade trädarterna skulle anses lämpliga för att planteras in i Göteborg utifrån ett klimatperspektiv så finns det ytterligare aspekter att tänka på. De arter som rekommenderas är till en majoritet (ca. 80%) (BGCI, 2024) exotiska och bär därför med sig risker som att inte uppfylla rätt roller i ekosystemen, samt riskerar att bli invasiva och etableras i de naturliga ekosystemen där urbana arter trängs undan. Dessa argument är inte helt obegrundade men har däremot inte starkt stöd av vetenskapliga bevis. Studier pekar ofta på motsatsen (Sjöman, et al. 2016a; Chalker-Scott, 2015; Kendle & Rose, 1999; Hitchmough, 2011). Urbana inhemska arter, som naturligt befinner sig inom skogssamhällen, är ofta sämre anpassade till stadsförhållanden och har därför svårt att bidra med ekosystemtjänster eftersom de vanligtvis befinner sig under stress. Exotiska arter kan i de flesta fall uppfylla rollen av en inhemsk art minst lika effektivt då de ofta är utvalda för en bättre anpassade till den svårare stadsmiljön (Sjöman, et al., 2016; Chalker-Scott, 2015). Andra inhemska arter i nära anslutning till exotiska träd har heller inte visat en negativ effekt av introducerade exotiska arter. Det som oftast avgör effekten av den exotiska

arten på artdiversiteten hos nära sammankopplade arter är inte ursprunget av trädet utan att trädet uppfyller nödvändiga krav som rätt diversitet, struktur och funktion (Chalker-Scott, 2015). Att det finns en risk för invasivitet hos introducerade trädarter är sant, men det är långt från alla introducerade arter som visar sig invasiva, det är här som exotiska arter felaktigt oftast översätts till invasiva arter. Viktigt är också att förstå att en art kan vara invasiv inom ett visst geografiskt område men inte ett annat. Kontexten är därmed kritisk att ta hänsyn till när introducerade arter övervägs för ett område, samt möjligheterna till att minska risken för invasivitet genom åtgärder som minskar spridningen av arterna till naturområden utanför staden (Sjöman, et al., 2016). Denna negativa inställning är också ett hinder för diversiteten. Eftersom det inhemska urvalet för klimatanpassade arter visat sig limiterat så krävs nyintroducerade exotiska arter för att nå en viss diversitet i städerna och på så sätt upprätthålla en resiliens i ekosystemen som är extra viktigt med tanke på riskerna av ökad stress från klimatförändringar (Sjöman, et al. 2016; Raupp, et al., 2006; Elmquist, et al., 2003). Litteraturen som använts i denna studie menar att riskerna inte är så påtagliga som många tror att de är och i många fall kan exotiska arter visa sig bättre lämpade för den urbana miljön (Sjöman, et al. 2016a; Chalker-Scott, 2015; Kendle & Rose, 1999; Hitchmough, 2011). Med en utförlig planering, goda kunskaper om arten och ekosystemet som arten planteras i, så skulle riskerna för invasivitet och ekologisk otillräcklighet minskas och ge goda förutsättningar för att utöka diversitet i den urbana miljön (Sjöman, et al., 2016a).

### *Felkällor och framtida förslag*

Det är svårt för auktoriteter inom Göteborg att påverka effekten av klimatförändringarna men det finns metoder för att minska effekterna av stadens onaturliga miljö, vilket är viktigt att satsa på för att minska den totala påfrestningen på de urbana träden och ge dem godare förutsättningar för att utvecklas och överleva. Exempelvis för att underlätta problemet med torka och även större regnfall så har man bland annat i Stockholm använt sig av skelettjord som lösning (Lindberg, 2007). Marken i städerna utsätts för stor belastning från trafik och gående, samt ofta täckt av vattenfrånstötande material, som asfalt. Detta leder till torrare och mer kompakt jord med färre porer. Utan tillräckligt med utrymme och porer har rötterna svårt att växa och riskerar syrebrist (Rolf, 1993). När rötterna växer i kompakt jord har de även svårt att komma djupare ner i marken för att hantera torkan (Sjöman, et al., 2018). Nackdelen med perioder av höga regnfall utifrån trädens perspektiv är att kompakt jord med vattenfyllda porer och dålig dränering ökar också risken för syrebrist, då rötterna också är i behov av syre från luften (Rolf, 1993). En lösning som skulle motverka problem med torrare och blötare månader är att plantera träden i skelettjord. Det är jord blandat med stenlager, ofta grov makadam, vilket gör marken mer porös och mer motståndskraftig för högre tryck. Det hindrar marken från att bli för kompakt och lämnar därför utrymme för rötter, större vattenmassor och lufttillgång, vilket gynnar trädens hälsa och minskar även risken för översvämningar (Stångby plantskola, 2024; Engberg, et al., 2010; Lindberg, 2007). Eftersom träden i sig har förmågan att bibehålla vatten i jorden (Keeler et al., 2019) så gynnas även markfuktigheten av ett ökat antal planterade träd.

Det är viktigt att ha i åtanke att resultaten från denna studie endast är baserade på klimatvariabler. Det finns många fler faktorer än klimatfaktorer som har en påverkan på vilka arter som kommer att klara av framtidens förhållanden och därför påverka dem sanna resultaten. Arternas fysiologiska egenskaper och toleranser har en stor influens. Exempelvis hade arternas individuella egenskaper hos stomata och bladens turgor loss point, optimala temperaturer för fotosyntes (Crous, et al. 2022; Sjöman, et al., 2018), vernalisering och kylhärdning onekligen bidragit till en ett säkrare resultat. Utöver arternas fysiologiska egenskaper så finns även faktorer som sjukdomar, näring och mineraler i jorden (Esperon-Rodriguez, et al., 2022b), samt alla faktorer i direkt anknytning till den urbana miljön, då urbana miljöer inte är en naturlig miljö så är stressfaktorer till en viss nivå oundvikliga (Chalker-Scott, 2015). Som nämnts är det den asfalterade urbana delen av staden som utsätts för mest antropogena faktorer, vilket gör de arter planterade som gatuträd finner sig inom störst riskzon (Bengtsson, 2003). Den här studien tar inte

hänsyn till dessa faktorer, utan evaluerar bara hot som konsekvens av klimatförändringar. Med det sagt så finns det en stor risk för en överestimering av vilka arter som kommer att klara klimatförändringarna. Jag föreslår att ytterligare studier inkluderar de biotiska och antropogena faktorerna samtidigt som de abiotiska klimatfaktorerna för att få en bättre bild av hur stort det totala hotet är, samt vilka arter som är och kommer att bli mest utsatta. Det verkar däremot som toleransen hos urbana arter idag är ännu lite studerat och de flesta studier visar ofta motsägelsefulla och otydliga resultat (Sjöman, et al., 2018). Det finns därför stort behov av fler studier som mäter bland annat torktoleransen hos urbana arter. Föredraget skulle egenskaper experimentellt testas på arter i urbana områden, vilket också ger chansen att upptäcka någon eventuell adaptation till stadsmiljön.

Hade det funnits mer tid till arbetet så skulle även en inventering av de nuvarande arternas hälsa i Göteborg kunnat bidra med värdefull information. Genom att värdera tillståndet av arterna skulle det ge en bättre bild av om arterna faktiskt trivs eller bara överlever. För att arterna ska kunna bidra med ekosystemtjänster krävs det att de frodas i sin miljö (Esperon-Rodriguez, et al., 2021). Om en art idag visar svaga livstecken så är risken större att klimatförändringarna har en större påverkan. Hade möjligheten funnits för en sådan inventering så finns det en chans att individuella arter hade klassats som mer eller mindre riskbenägna.

Det denna studie ger är en mer övergripande bild som baseras på arternas naturliga distribueringar, där förutsättningen är att där arterna vanligen förekommer är där de mår som bäst. Däremot finns en potentiell felkälla i arternas utbredning, vilket är att om större plantager av arter förekommer i områden som de naturligt inte växer i så kan det visa på en utbredning som inte är helt naturlig och inte heller helt optimal. Det skulle kunna finnas större plantager med arter som då lever suboptimalt. Arter skulle även kunna ha förmågan att växa i en viss miljö men på grund av spridningsbegränsning inte gör det. Därför bör man tolka dessa klimatgränser med försiktighet och inte dra några hårda gränser.

## **Slutsats**

Det resultaten i denna studie visar är att klimatet i Göteborg förväntas att bli varmare och nederbörden att öka. Ytterligare förväntas extremare väder, där perioder av hög nederbörd och värme förväntas att bli fler och längre. De nuvarande urbana trädarterna trivs i Göteborgs nuvarande klimat och förväntas även att ha relativt goda förutsättningar för att klara av framtidsscenarioet RCP4,5. Däremot kommer majoriteten inte klara av ett klimat närmare RCP8,5, eftersom arterna kommer att befinna sig utanför sina klimatgränser för både temperatur och nederbörd. Därmed finns det ett behov av att introducera nya arter, varav denna studie uppmuntrar även exotiska arter. Vad gäller de rekommenderade arterna och deras anpassning till det framtida klimatet så har de visat bättre förutsättningar att klara framtidens klimat i mån av både RCP4,5 och RCP8,5 för de flesta klimatindikatorer, där fyra av sex klimatindikatorer visade en signifikant skillnad. Däremot riskerar även de rekommenderade arterna att möta motgångar i form av perioder med hög nederbörd och för varma kalla perioder. Det är svårt att endast utifrån distribueringssdata säkert säga specifikt vilka arter som kommer att klara sig bäst. Det krävs mer information kring dem individuella arternas anpassning, tolerans och morfologi, för att säkerställa ett mer specifikt och säkrare svar.

## **Tackord**

Stort tack till Lasse Tarvainen som handlett arbetet och Håkan Pleijel som examinerat arbetet!

## Referenslista

- Bengtsson, R. (2005) Doctoral thesis - Variation in common lime (*Tilia x europaea* L.) in Swedish Gardens of the 17th and 18th centuries. Department of Landscape Management and Horticultural Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, 2005:64 <https://res.slu.se/id/publ/12665>
- BGCI (2024) GlobalTreeSearch online database. Botanic Gardens Conservation International. Richmond, UK, [https://tools.bgci.org/global\\_tree\\_search.php](https://tools.bgci.org/global_tree_search.php), hämtad 2024-04-22
- Chalker-Scott, L. (2015) Nonnative, Noninvasive Woody Species Can Enhance Urban Landscape Biodiversity. *Arboriculture and Urban Forestry*. 41. 173-186. <https://doi.org/10.48044/jauf.2015.017>
- Clark, R. T., Murphy, J.M., Brown, S.J. (2010) Do global warming targets limit heatwave risk? *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 37, L17703 <http://doi.org/10.1029/2010GL043898>
- Crous, K. Y., Uddling, J. & De Kauwe, M. G. (2022) Temperature responses of photosynthesis and respiration in evergreen trees from boreal to tropical latitudes. *New phytologist foundation* Vol234, issue 2, 353-374 <https://doi.org/10.1111/nph.17951>
- Cunningham, S.C & Read, J. (2002) Do temperate rainforest trees have a greater ability to acclimate to changing temperatures than tropical rainforest trees? *New phytologist foundation* Vol157, issue 1, 55-64. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00652.x>
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B. & Norberg, J. (2003) *Frontiers in ecology and the environment*, Vol 1, issue 9, 488-494 [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- Engberg, R., Eskilsson, S., Orvesten, A. & Stål, Ö. (2010) *Trädhandbok för Uppsala kommun*, version 1.
- Esperon-Rodriguez, M., Rymer, P. D., Power, S. A., Barton, D. N., Cariñanos, P., Dobbs, C., Eleuterio, A. A., Escobedo, F. J., Hauer, R., Hermy, M., Jahani, A., Onyekwelu, J. C., Östberg, J., Pataki, D., Randrup, T. B., Rasmussen, T., Roman, L. A., Russo, A., Shackleton, C., Solfjeld, I., Doorn, N. S., Wells M. J., Wiström, B., Yan, P., Yang, J., Tjoelker, M. G. (2022a) Assessing climate risk to support urban forests in a changing climate. *Plants, People, Planet*, 4(3), 201–213. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10240>
- Esperon-Rodriguez, M., Tjoelker, M.G., Lenoir, J., Baumgartner, J. B., Beaumont, L.J., Nipperess, D.N., Power, S.A., Richard, B., Paul D. Rymer, P.D., Gallagher R.V. (2022b) Climate change increases global risk to urban forests. *Nat. Clim. Chang.* **12**, 950–955. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01465-8>
- EUFORGEN (2003) Distribution map of *Tilia platyphyllos* <https://www.euforgen.org/species/tilia-platyphyllos/>
- EUFORGEN (2003) Distribution map of *Tilia cordata* <https://www.euforgen.org/species/tilia-cordata/>

- E-planta, *Tilia x europaea* 'Övedskloster' E - herrgårdslind 'Övedskloster' E  
[https://eplanta.com/vaxter\\_yrkesanvandar/tilia-x-europaea-ovedskloster-e/](https://eplanta.com/vaxter_yrkesanvandar/tilia-x-europaea-ovedskloster-e/) hämtad 2024-05-04
- Fostad, O. & Pedersen, P. A. (1997) Vitality, variation, and causes of decline of trees in Oslo center (Norway) *Journal of Arboriculture* 23(4) <https://doi.org/10.48044/jauf.1997.024>
- Göteborgs Stad (2020) REKOMMENDERADE TRÄD 2020–2025. Park och Naturförvaltningen.
- Hitchmough, James. (2011). Exotic plants and plantings in the sustainable, designed urban landscape. *Landscape and Urban Planning - LANDSCAPE URBAN PLAN*. 100. 380-382. [10.1016/j.landurbplan.2011.02.017](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.017)
- Jaegere, T., Hein, S. & Claessens, H (2016). A Review of the Characteristics of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Their Implications for Silviculture in a Changing Climate. *Forests* 7, no. 3: 56. <https://doi.org/10.3390/f7030056>
- Jensen, J. S. & Canger, S. (1998) Noble Hardwoods Network: Report of the Third Meeting, Lime (*Tilia* spp.) EUFORGEN. <https://www.euforgen.org/publications/publication/noble-hardwoods-network-report-of-the-third-meeting/>
- Keeler, B.L., Hamel, P., McPhearson, T. *et al.* Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature. *Nat Sustain* 2, 29–38 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0202-1>
- Kendle, A.D. & Rose, J.E.(2000). The aliens have landed! What are the justifications for ‘native only’ policies in landscape plantings?. *Landscape and Urban Planning*. 47. 19-31. [10.1016/S0169-2046\(99\)00070-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00070-5)
- Kim, D., Doyle, M., R., Sung, S. & Amasino, R., M. (2009) Vernalization: Winter and the timing of flowering in plants. *Annual review of cell and development biology* Vol 25:277-299 <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.042308.113411>
- Kindt, R. (2023) TreeGOER: A database with globally observed environmental ranges for 48,129 tree species. *Global Change Biology*, 29, 6303–6318. <https://doi.org/10.1111/gcb.16914>
- Lindberg, M. (2007) Trädrötter i skelettjord – en fallstudie i Stockholm. Examensarbete inom landskapsingenjörsprogrammet
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., J. Lexer, M., Marchetti, M. (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, Vol 259, Issue 4, 698-709, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>
- Lobdell, M. S., Jablonski, E. J. & Worcester, L. B. (2023) Register of *Tilia* Cultivators *HortScience* 58(3) 341-363 <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16882-22>
- Minelli, A. & Chiusoli, A. (2000) New shapes and new species in street tree population. *International Symposium on plant health in urban horticulture*.

- Mónica, B., Barradas V. L. (2016) Transpiration and stomatal conductance as potential mechanisms to mitigate the heat load in Mexico City, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 20, Pages 152-159, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.08.004>
- Muffler, L., Beirekunnhlein, C., Aas, G., Jentsch, A., Schweiger, A., H., Zohner, C. & Kreyling, J. (2016) Distribution ranges and spring phenology explain late frost sensitivity in 170 woody plants from the Northern Hemisphere. *Global ecology and biogeography*, Vol 25, Issue 9, 1061-1071. <https://doi.org/10.1111/geb.12466>
- Pauleit, S., Jones, N., Garcia-Martin, G., Garcia-Valdecantos, J. L., Rivière, L. M., Vidal-Beaudet, L., Bodson, M. & Randrup, T. B. (2002). Tree establishment practice in towns and cities – Results from a European survey. *Urban Forestry & Urban Greening*. 1. 83-96. [10.1078/1618-8667-00009](https://doi.org/10.1078/1618-8667-00009)
- Pigott, C. D. (1991) *Tilia Cordata* Miller. *Journal of Ecology*, Vol. 79, No 4, 114-1207. <https://doi.org/10.2307/2261105>
- Raupp, M., Cumming, A. B. & Raupp, E. C. (2006). Street Tree Diversity in Eastern North America and Its Potential for Tree Loss to Exotic Borers. *Arboriculture and Urban Forestry*. 32. 297–304. [10.48044/jauf.2006.038](https://doi.org/10.48044/jauf.2006.038)
- Rolf, K. (1993) Metoder för rekultivering av packningskadad mark i urban miljö. Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet <https://res.slu.se/id/publ/125644>
- Sæbø, A., Benedikz, T. & Randrup, T. B. (2003) Selection of trees for urban forestry in Nordic countries. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol 2:2, 101–114 <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00027>
- SJI och MSB 2021, Riskområden för ras, skred, erosion och översvämning, Redovisning av regeringsuppdrag enligt regeringsbeslut M2019/0124/Kl, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, Karlstad
- Stångby plantskola, Växtbäddar <https://stangby.nu/vaxtbaddar/> hämtad 2024-05-09
- Stångby plantskola, *Tilia x europaea* ‘Pallida’ – parklind. <https://stangby.nu/sortiment/tilia-x-europaea-pallida/> hämtad 2024-05-06
- Sjöman, H., Östberg, J., Bühler, O. (2012) Diversity distribution of the urban tree population in ten major Nordic cities. *Urban Forestry & Urban Greening* vol 11, issue 1, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.09.004>
- Sjöman, H., Morgenroth, J., Sjöman, J. D., Sæbø, A., Kowarik, I. (2016) Diversification of the urban forest – Can we afford to exclude exotic tree species? *Urban Forestry & Urban Greening* vol 18, 237-241. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.011>
- Sjöman, H., Hiron, A., Bassuk, N. L. (2018). Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban Ecosystems*. 21. [10.1007/s11252-018-0791-5](https://doi.org/10.1007/s11252-018-0791-5)
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet (2015) Framtidsklimat i Västra Götalands län. *Klimatologi* nr.24, ISSN: 1654–2258.

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet (2023) Fördjupad klimatscenariotjänst, [https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/met/vastra\\_gotalands\\_lan/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/year/anom](https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/met/vastra_gotalands_lan/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/year/anom), 2024-04-04

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet (2019-2023) Års- och månadsstatistik, <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik>, hämtad 2024-04-19

Vitra, A., Lenz, A. & Vitasse, Y. (2017) Frost hardening and dehardening potential in temperate trees from winter to budburst. New phytologist foundation Vol 216, issue 1, 113-123 <https://doi.org/10.1111/nph.14698>