



Trädens reglerande roll i den hållbara staden

– en studie av egenskaper som påverkar värmereglering, dagvattenhantering och luftrening

The regulatory role of trees in the sustainable city – a study of traits influencing heat mitigation, stormwater management and air purification

Beata Johansson

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram
Alnarp 2024



Trädens reglerande roll i den hållbara staden – en studie av egenskaper som påverkar värmereglering, dagvattenhantering och luftrening

The regulatory role of trees in sustainable city – a study of traits influencing heat mitigation, stormwater management and air purification

Beata Johansson

Handledare: Anna Levinsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Anna Lund, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0844

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling - kandidatprogram

Kursansvarig inst.: Institutionen för Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2024

Omslagsbild: Beata Johansson

Nyckelord: reglerande ekosystemtjänster, stadsträd, egenskaper, värmereglering, dagvattenhantering, luftrening

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

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

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

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

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

Sammanfattning

I och med stadens ökade befolkningsmängd kan förtätningsprocesserna bidra till att grönområden och delar av trädbestånd försvinner, för att ta plats till nybyggnation. De högt tätbefolkade urbana miljöerna med ökad densitet av byggnader och hårdgjorda miljöer påverkas ofta kraftigt av klimatförändringar. Idag utmanas städer av torka, värmeböljor, översvämningar och dålig luftkvalitet. Dessa utmaningar ger upphov till skador och förluster på både hälsa och miljö. Att plantera träd och dra nytta av deras ekosystemtjänster har förslagits som en naturlig lösning till att hantera de klimatrelaterade effekterna. I och med begränsat utrymme för plantering av träd i staden är det av ännu större vikt att dagens och framtidens val av arter är välgrundade beslut. För en hållbar stadsplanering krävs ökad förståelse över vilka trädarter som bäst tillgodoser de specifika behoven och nyttor en viss plats kräver.

I syfte att underlätta valet av trädart kommer denna litteraturstudie, med hjälp av tidigare forskning, ta reda på vilka artegenskaper som främjar de positiva effekterna av ekosystemtjänsterna; värmereglering, dagvattenhantering och luftrening. Litteraturstudien visade bland annat att träd kan ta upp luftföroreningar genom bladen och att mängden bladarea är en påverkande faktor. Vidare kan träd via transpiration bidra positivt till dagvattenhantering och värmereglering. Studien visade att transpirationshastigheten påverkas av olika faktorer såsom trädkronans storlek.

Därefter kommer denna studie titta närmare på om det finns samband mellan egenskaper som mest effektivt främjar de olika ekosystemtjänsterna. Studien visade exempelvis att vikten av en tätare och mer omfattande trädkrona har positiv inverkan på flera ekosystemtjänster.

Slutligen kommer studien att undersöka hur dessa egenskaper kan ha varierande betydelse och relevans beroende på olika sammanhang. Studien visar att en aspekt vid val av träd är att ta hänsyn till när på året det önskas störst effekt av ekosystemtjänsten. Följaktligen lyfter studien fram en diskussion kring hur lövträd och barrträd kan ha potentiella för- och nackdelar i stadslandskapet.

Nyckelord: stadsträd, reglerande ekosystemtjänster, egenskaper, värmereglering, dagvattenhantering, luftrening

Abstract

With increasing populations in urban areas, densification processes can lead to the disappearance of green spaces and tree stands in order to make room for new constructions. Densely populated urban environments with an increased density of buildings and hardscapes are often significantly affected by climate change. Cities today face challenges such as drought, heatwaves, floods, and poor air quality, resulting in damage and losses to both health and the environment. Planting trees and harnessing their ecosystem services have been proposed as a natural solution to address these climate-related effects. Given the limited space for tree planting in the city, it is even more crucial that current and future species selections are well-founded decisions. Sustainable urban planning requires an increased understanding of which tree species that are best suited to meet the specific needs and benefits that a particular location requires.

In an effort to facilitate the choice of tree species, this literature review will explore the trait characteristics that promote the deliverance of the ecosystem services: heat regulation, stormwater management, and air purification. The study revealed that trees can absorb air pollutants through their leaves, with the quantity of leaf area being a influencing factor. Furthermore, trees contribute positively to stormwater management and heat regulation through transpiration. The study indicated that the transpiration rate is influenced by various factors, such as the size of the tree canopy.

Furthermore, this study will examine whether there are connections between characteristics that most effectively promote different ecosystem services. For instance, the study demonstrated that the importance of a denser and more extensive tree canopy has a positive impact on several ecosystem services.

Finally, the study investigates how these characteristics may have varying importance and relevance depending on different contexts. The study emphasizes that one aspect to consider in tree selection is the timing of the year when the greatest impact of the ecosystem service is desired. Consequently, the study initiates a discussion on the potential advantages and disadvantages of deciduous and coniferous trees in urban landscapes.

Keywords: urban tree, regulating ecosystem services, traits, heat mitigation, stormwater regulation, air purification

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	8
Figurförteckning.....	9
Begreppsförklaringar.....	10
1. Inledning.....	11
1.1. Mål och syfte	13
1.2. Frågeställningar	13
2. Material och metod.....	14
2.1. Litteraturstudie.....	14
2.2. Avgränsningar	14
3. Resultat.....	15
3.1. Värmereglering	15
3.1.1. Påverkande faktorer.....	16
3.2. Dagvattenhantering	17
3.2.1. Påverkande faktorer.....	18
3.3. Luftrening.....	21
3.3.1. Påverkande faktorer.....	22
3.4. Överblick över påverkande artegenskaper.....	23
4. Diskussion.....	24
4.1. Gemensamma egenskaper för olika ekosystemtjänster	24
4.1.1. Barrträd och lövträd kan ha potentiella för- och nackdelar utifrån olika aspekter	25
4.2. Tillämpning av resultatet i praktiken	27
4.3. Vidare forskning.....	27
4.4. Slutsatser	28
5. Referenser	29

Tabellförteckning

Tabell 1. Reglerande ekosystemtjänster och påverkande egenskaper	23
--	----

Figurförteckning

Figur 1. Två personer sittandes i skuggan på en bänk. (Royan, J. 2005)	15
Figur 2. Till vänster Juglans mandshurica och till höger Betula pendula i avlövat tillstånd	16
Figur 3. Tre enskilda formträd. Från vänster: konformad, sfärisk och cylinderformad.....	17
Figur 4. Illustration av nederbördsfördelningsprocesser.	18
Figur 5. Illustration av skillnaden på interceptionsförmågan mellan barr- och lövträd under sommarn respektive vintern	21
Figur 6. Trikomer. (Dartmouth College 2007)	22

Begreppsförklaringar

Egenskaper – I denna studie återkommer termen "egenskaper", vilket motsvaras av det engelska ordet "traits". Begreppet "traits" används inom biologin för att beskriva observerbara och ärftliga egenskaper eller karakteristiska drag hos växter. Dessa egenskaper bestäms av genetiska faktorer och kan påverka växtens form, struktur, funktion och anpassning till olika miljöer. "Traits" används vid studier och klassificering av växter och fungerar som signaturer för identifiering och gruppering av olika arter, även de som inte är genetiskt besläktade. Termen ger en övergripande förståelse av växtvärlden, från yttre karaktärsdrag till djupare fysiologiska funktioner (Luong et al. 2022, Guo et al. 2017).

Fysiologiska egenskaper – Begreppet 'traits' innefattar olika fysiologiska egenskaper. Fysiologiska egenskaper hos växter refererar till de olika processer och funktioner som inträffar på en cellulär och molekylär nivå inom växten. Dessa egenskaper påverkar växtens tillväxt, utveckling och överlevnad. Exempel på fysiologiska egenskaper är transpiration och fotosyntes (Luong et al. 2022, Guo et al. 2017).

Morfologiska egenskaper – Begreppet 'traits' innefattar även morfologiska egenskaper. Morfologiska egenskaper hos en växt avser de observerbara fysiska strukturerna och formerna hos växten. Dessa egenskaper ger detaljerad information om växtens yttre utseende och struktur och omfattar allt från rötter, stammar och blad till blommor och frukter (Luong et al. 2022, Guo et al. 2017).

1. Inledning

Urbaniseringen är en stark trend både i Sverige och globalt (IVA 2017). Enligt FN (2022) bor idag majoriteten av jordens invånare i städer och år 2050 förväntas siffran öka till 70%. I takt med att allt fler människor bor i städer måste städerna anpassa sig genom olika förtätningsprocesser. De högt tätbefolkade stadsmiljöerna med ökande densitet av byggnader och hårdgjorda miljöer påverkas ofta kraftigt av olika utmaningar (Deak Sjöman et al. 2015). Stadslandskapet är ett komplext nätverk av rumsliga strukturer där byggnader, infrastruktur, grönområden och vattensamlingar samverkar. Därmed skiljer sig stadens värme- och vattenbalans avsevärt jämfört med det omgivande landskapet. Ett kraftigt skyfall kan få förödande konsekvenser i en stad där majoriteten är hårdgjorda ytor vilket innebär att vattnet har begränsad möjlighet att rinna undan (Deak Sjöman et al. 2015). Likaså kan en värmebölja innebära ökad risk för att människor i städer utsätts för värmestress jämfört med de som bor utanför. Det beror på att landsbygden har högre andel vegetation och fuktig mark som bidrar till att kyla omgivningen medan staden till största del består av hårdgjorda material och där omfattningen av vegetation är betydligt lägre. Vidare påverkas städer kraftigare av dålig luftkvalitet jämfört med landsbygden (Nowak et al. 2018). Enligt Europeiska miljöbyråns (EEA) analys från 2023 är luftföroreningar den största miljörelaterade hälsorisken i Europa och enligt Naturvårdsverket (2023a) orsakar luftföroreningar tusentals förtida dödsfall i Sverige varje år.

I takt med den rådande globala uppvärmningen och att allt fler människor flyttar till urbana områden, kommer inte dessa utmaningar att avta utan snarare öka. Dessa utmaningar ger upphov till skador och förluster på både hälsa och miljö. För att länder ska uppnå det globala målet ”Mål 11 – hållbara städer och samhällen” måste dagens och framtidens samhällsutveckling och stadsplanering bemöta sociala, miljömässiga och ekonomiska utmaningar i städer (Naturvårdsverket 2023b). Det globala målet ”Mål 11 – hållbara städer och samhällen” inkluderar exempelvis delmålen; ”11.5 Mildra de negativa effekterna av naturkatastrofer” och ”11.6 Minska städers miljöpåverkan” (Globala målen 2022).

Enligt Boverket (2023) är inkluderandet av grön infrastruktur i stadsplanering en naturbaserad lösning till att hantera samhällsutmaningar. Denna naturliga lösning utgår från naturens egen förmåga att lösa samhällsutmaningar, genom att dra nytta av ekosystemens funktioner, kända som ekosystemtjänster (Naturvårdsverket 2023).

Ett av de mest effektiva verktygen för att minska de klimatrelaterade effekterna är att bevara och utveckla stadens vegetation och grönområden (Deak Sjöman et al. 2015). Speciellt värdefullt i detta sammanhang är urbana träd och dess reglerande ekosystemtjänster (Salmond et al. 2016, Scholz et al. 2018). Reglerande ekosystemtjänster är de tjänster som naturen tillhandahåller genom att reglera kritiska processer, exempelvis luft- och vattenrening och klimatreglering (Naturvårdsverket 2024).

Flera tidigare studier har tydligt visat på de positiva effekter som stadsträd har både på klimatet och människors hälsa. Till exempel kan stadsträd betydligt förbättra människors termiska komfort utomhus och resultera i lägre nivåer av värmestress, särskilt under perioder av värmeböljor (Salmond et al., 2016). Enligt en metaanalys är det vanligt att stadsområden med vegetation upplever en genomsnittlig kylningseffekt på mellan 0,5 och 3 grader, beroende på vegetationstypen (Manickathan et al., 2017; Knight et al. 2021). Vidare finns det ett flertal studier som belyser hur träd kan bidra till stadens dagvattenhantering (Berland et al. 2017, Beidokhti & Moore 2021, Zölch et al. 2017; Kirnbauer et al., 2013). En studie från Hamilton, Kanada, visade exempelvis att gatuträd kunde minska mängden nederbörd att nå marken med mellan 6,25 och 27% (Kirnbauer et al., 2013). Likaså presenterar flera studier hur träd kan vara effektiva i att rena luften. I Peking visade en studie att koncentrationen av luftförorenade partiklar var avsevärt lägre på en gata med gatuträd jämfört med en gata utan träd (Salmond et al., 2016). En annan tidigare studie av Baró et al. (2014) visar att stadsträd i Barcelona bidrar till att reducera 22% av partikelutsläppen.

Sammanfattningsvis har plantering av träd i staden förslagits som en naturlig lösning till att hantera samhällsutmaningar och minska eller undvika de negativa klimatrelaterade effekterna (Salmond et al. 2016, Scholz et al. 2018). Första steget till att implementera detta tillvägagångssätt är att veta vilka trädarter man ska plantera för att tillgodose just de nyttor som behövs på en specifik plats eller situation (Abreu-Harbich et al. 2015, Knight et al. 2021). I och med att det finns begränsat utrymme för plantering av träd i staden är det av stor betydelse att dagens och framtidens val av trädarter är ett välgrundat beslut. I denna studie har jag därför undersökt vilka artgenskaper som är viktiga att beakta i val av träd för att tillgodose ekosystemtjänsterna; värmereglering, dagvattenhantering och luftrening.

Den ökade förståelsen för sambanden mellan arter, egenskaper och ekosystemtjänster skulle bredda erkännandet av grön infrastruktur, stimulera bevarandet och planeringen av träd i syfte att uppfylla olika mål och lagkrav och bidra till en hållbar stadsplanering (Berland et al. 2017, Scholz et al. 2018 & Beidokhti et al. 2021).

1.1. Mål och syfte

Målet med studien är att sammanställa kunskap och ge en översikt över sambanden mellan arter, deras egenskaper och ekosystemtjänster. Syftet är att underlätta valet av trädarter genom att identifiera de specifika egenskaper hos urbana träd som främjar ekosystemtjänsterna; värmereglering, dagvattenhantering och luftrening. Studien strävar även efter att närmare undersöka om det finns gemensamma egenskaper hos träd som gynnar de olika ekosystemtjänsterna. Detta görs för att avgöra om det är nödvändigt att välja olika trädarter beroende på vilken specifik ekosystemtjänst som behövs på platsen. Detta med målsättningen att bidra till bättre beslutsfattande vid val av träd inom urbana miljöer.

1.2. Frågeställningar

Vilka är de morfologiska och fysiologiska egenskaper hos stadsträd som bidrar till värmereglering, dagvattenhantering och luftrening?

Vilka specifika gemensamma egenskaper hos träd kan identifieras som mer effektiva för att gynna flera ekosystemtjänster?

2. Material och metod

2.1. Litteraturstudie

Arbetet är en litteraturstudie där vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och material från olika offentliga myndigheter och förvaltningar ligger som huvudsaklig bas. Det litterära materialet har i stor utsträckning hämtats från olika databaser såsom Web of Science, Google Scholar, ScienceDirect, Primo och Scopus. Utöver dessa har sökmotorn Google använts i sökandet av ytterligare information. Sökord som används har bland annat varit: ”urban trees”, ”traits”, ”heat mitigation”, ”stormwater regulation”, ”dustretention” & ”regulating services”. Information har varit mer lättillgänglig via elektroniska källor än via tryckta, då den senaste forskningen och uppdaterade rapporter krävs i detta ämne. En bok har nyttjats; Träd i urbana landskap av Sjöman och Slagstedt (2015).

2.2. Avgränsningar

Studien avgränsas till att studera följande tre reglerande ekosystemtjänster; dagvattenhantering, temperaturregulering och hantering av luftkvalitet. Studien är avgränsad till att studera träd och ingen annan vegetation, och fokuset är träd i urban miljö. När det kommer till ekosystemtjänsten luftrening är studien avgränsad till att studera luftföroreningar i partikelform och inte gasform. Vidare fokuserar studien endast på artegenskapers påverkan på ekosystemtjänsterna. Studien tar inte hänsyn till andra påverkande faktorer och aspekter, såsom placering och utformning, omgivande miljö och meteorologiska egenskaper etc.

3. Resultat

I följande text presenteras de tre reglerande ekosystemtjänsterna; värmereglering, dagvattenhantering och luftrening. Varje tjänst inleds med en översiktlig beskrivning av de biologiska processer som genererar tjänsten. Därefter beskrivs påverkande faktorer med inriktning på hur fysiologiska och morfologiska egenskaper hos trädarter påverkar ekosystemtjänsten.

3.1. Värmereglering

Stadsträd kan bidra till värmereglering på två olika sätt, genom skuggning från solinstrålning och transpiration. Under dagen bidrar trädkronorna med skuggning vilket minskar insläppet av kortvågsstrålning att nå marken (figur 1). Transpiration innebär att träd tar upp vatten från marken som sedan transporteras till bladen där det avdunstar. Denna process kräver energi, vilket tas från omgivningen och därmed skapas en kyleffekt i luften. (Rahman et al. 2020, Manickathan et al. 2017). Enligt Rahman et al. 2020 bidrar skuggning huvudsakligen till mest nedkylning under värmeböljor jämfört med transpiration eftersom vid väldigt höga temperaturer stänger träden sina klyvöppningar vilket stoppar transpirationen. Däremot under mildare sommarförhållanden kan transpiration ha en mer betydande roll (Rahman et al. 2020). Forskaren Kuttler (2011) drog slutsatsen att 80% av kylningseffekten kommer ifrån skuggning och 20% från transpiration.



Figur 1. Två personer sittandes i skuggan på en bänk. (Royan, J. 2005)

3.1.1. Påverkande faktorer

Träd av olika arter uppvisar varierande egenskaper som påverkar deras anpassning till solinstrålning och därav har en direkt inverkan på mikroklimatet. Många forskningsstudier visar att skuggeffekten är beroende av trädets strukturella egenskaper (Abreu-Harbach et al., 2015; Rahman et al., 2020). Exempelvis bidrar ett träd med högre Leaf Area Index (LAI) till ökad skuggning. LAI är ett mått på trädets totala bladarea mätt rakt underifrån. Ett ökad LAI-värde innebär att trädet har fler och/eller större blad, vilket leder till tätare och mer omfattande trädkrona vilket i sin tur ökar skuggeffekten (Rahman et al., 2020). Enligt Deak Sjöman et al. (2015) kan lövträd vara effektivare på temperaturreglering eftersom de förhållandevis har bredare och större trädkronor vilket i sin tur ger en skugga på en större yta. Exempel på träd som ger mycket tät beskuggning är bok (*Fagus sylvatica*), hästkastanj (*Aesculus hippocastanum*) och lind (*Tilia spp.*) (Deak Sjöman et al. 2015). Enligt Manickathan et al. (2017) bör bladarea-tätheten vara tillräckligt hög för att absorbera solinstrålningen främst i trädets övre del, vilket resulterar i skuggning av den nedre delen och bidrar till luftkylning genom att de nedre bladen fortsätter transpirera.

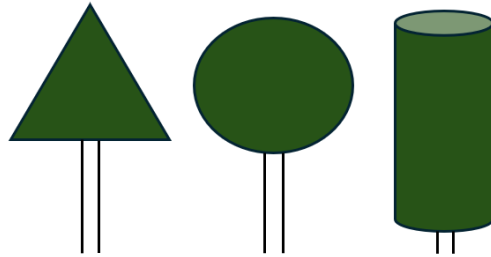
BAI (Branch Area Index) är ytterligare en påverkande faktor till skuggeffekten. BAI är ett mått som förklarar trädets grenstruktur och fördelningen av grenarna inom kronan (Rahman et al., 2020). Enligt Deak Sjöman et al. (2015) kan det vara nödvändigt att veta att olika arter av lövfällande träd har olika grenstrukturer och kronuppbbyggnader som lövlösa vilket i sin tur påverkar ljusgenomsläppligheten och skuggeffekten under vintern. Exempelvis en vårtbjörk (*Betula pendula*) med en mängd smågrenar i kronan ger en mycket tätare beskuggning i avlövat tillstånd jämfört med en manchurisk valnöt (*Juglans mandshurica*) som har glesare kronuppbbyggnad (figur 2) (Deak Sjöman et al. 2015).



Figur 2. Till vänster *Juglans mandshurica* och till höger *Betula pendula* i avlövat tillstånd

Vidare påverkas värmeregleringen av trädets höjd och trädkronans form (Rahman et al., 2020). Resultaten från en studie i Serbien indikerar att träd med

cylinderformade kronor har överlägsen kapacitet att sänka omgivningstemperaturen jämfört med träd med sfäriska och koniska kronformer (figur 3) (Milosevic et al., 2017). Enligt Rahman et al. (2020) är trädets höjd av särskild vikt för att avlägsna värme på fotgängarnivån, då transpirationen kan ha en kylande effekt.



Figur 3. Tre enskilda formträd. Från vänster: konformad, sfärisk och cylinderformad.

Träds förmåga till kylningseffekt via transpiration påverkas av transpirationshastigheten, ökad transpiration innebär ökad kyleffekt (Manickathan et al., 2017). På bladens yta finns mikroskopiska öppningar som kallas stomata och det är de som reglerar transpirationen. En låg stomata-resistens i bladen anses vara viktigt för hög transpirationshastighet eftersom det betyder att stomata kan öppna sig effektivt och släppa ut vatten (Manickathan et al., 2017). Generellt sett har lövträd högre transpirationshastigheter än barrträd, eftersom lövträd har högre fotosynteskapacitet och därmed kräver ökad vattenupptagning (Fu et al., 2021, Clapp et al. 2014). Även leafareaindex (LAI) har en påverkan på transpirationshastigheten (Zölch et al. 2017).

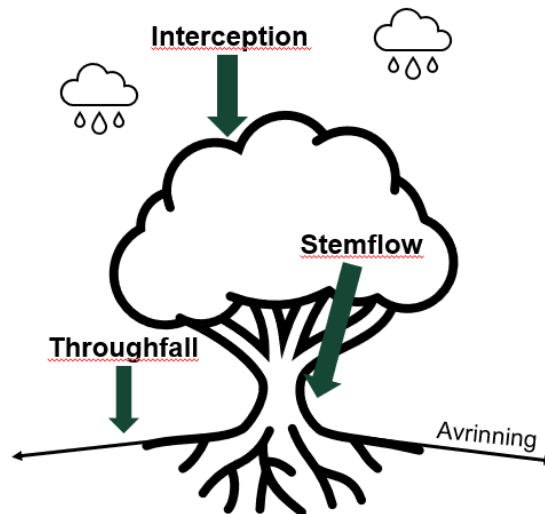
3.2. Dagvattenhantering

Träd kan bidra till dagvattenhanteringen genom att påverka mängden avrinning som kommer in i dagvattensystemet eller andra ledningar (Zölch et al. 2017). Träd kan bidra till att minska eller fördröja avrinning på olika sätt, exempelvis genom transpirationsprocesser och genom interception av nederbörd (Berland et al. 2017, Beidokhti & Moore 2021). Interception inträffar under eller omedelbart efter en stormhändelse medan transpiration bidrar till att reglera markfuktigheten mellan sådana händelser (Berland et al. 2017).

Evapotranspiration innefattar flera faser. En av dessa faser kallas evaporation, där vattnet avdunstar från växtbädden. En annan process är interception, där vatten

landar på bladen och därefter avdunstar från dessa ytor. Därefter följer transpiration, där vatten tas upp av rötterna och transporteras till bladen där det avdunstar. Slutligen ingår guttation som den sista processen, vilket innebär transpirerat vatten som ej avdunstar (Livesley et al. 2014, Berland et al. 2017). Genom att öka transpirationen frigörs mer porutrymme i jorden som gör det tillgängligt att lagra dagvatten vilket minskar mängden avrinning över land (Kuehler et al. 2017).

Träd har olika nederbördsfördelningsprocesser (figur 4), såsom interception, throughfall och stemflow (Beidokhti & Moore 2021, Berland et al. 2017). Interception är det vattnet som lagrats i trädkronan och som avdunstar från trädytor, alltså innefattar all nederbörd som hindras från att bli dagvatten. Throughfall är det vatten som passerar genom trädkronan eller som droppar från trädens ytor. Stemflow är det vatten som rinner ner längs ett träds stam, som antingen infiltreras i marken eller leder till avrinning om vattnet tillförs snabbare än infiltrationshastigheten (Beidokhti & Moore 2021). Interception är viktigt för det minskar genomflödet av throughfall och stoppar därmed avrinningsflöden (Livesley et al. 2014). Interception kan skydda vattenkvalitén genom att minska volymen av dagvattenavrinning genom att minska jorderosion och utspolning av föroreningar (Berland et al. 2017).



Figur 4. Illustration av nederbördsfördelningsprocesser.

3.2.1. Påverkande faktorer

Transpirationshastigheten varierar mellan och inom arter beroende på trädstorlek, ålder, hälsa och markfuktighetsförhållanden (Berland et al. 2017). Transpirationen är även beroende av LAI. Träd med omfattande lövverk och hög bladdensitet kan

bidra till att minska mängden dagvatten på marken genom ökad vattenånga (Zölch et al. 2017). Transpirationshastigheten påverkas även av stomata (små öppningar i bladens yta). Om stomata är öppna tillåts mer vattenånga att avdunsta, medan stängda stomata minskar vattenförlusten. Regleringen av stomata påverkar därmed transpirationen och dagvattenhanteringen (Manickathan et al., 2017). Barrträd tenderar att ha lägre transpirationshastigheter än lövfällande träd (Fu et al., 2021, Clapp et al. 2014). En studie av Scharenbroch et al. (2016) jämförde sju olika trädarter och deras förmåga att minska avrinning. Resultatet visade att prärieek (*Quercus macrocarpa*) är bäst kopplad till att hantera regnvatten. Denna art hade nämligen högst förmåga till transpiration på grund av dess totala bladarea (Scharenbroch et al. 2016). En studie av Levinsson et al. (2024) undersökte transpirationskapaciteten hos nio olika trädarter under översvämning. Resultaten visar på betydande variationer, där vissa arter uppvisar en dubbelt så hög transpirationskapacitet jämfört med andra. Hybridmagnolia (*Magnolia x loebneri*) identifierades i studien som en av de arterna med lägst transpirationskapacitet, medan rödask (*Fraxinus pennsylvanica*) framträdde som en av de arterna med högst transpirationskapacitet (Levinsson et al 2024).

Trädets morfologiska egenskaper är en av de viktigaste faktorerna vid interception (Yan et al. 2021, Beidokhti & Moore 2021). När det kommer till trädens egenskaper varierar interceptionen kraftigt inom arter beroende på trädstorlek och hälsa, bladyta, bladjämnhet och barktjocklek och grovhet på barken (Berland et al. 2017, Yan et al. 2021). Träd med större krontäthet fångar större mängd nederbörd (Livesley et al. 2014). Hos lövträd är interceptionen mycket högre under perioden träden har löv (Berland et al. 2017).

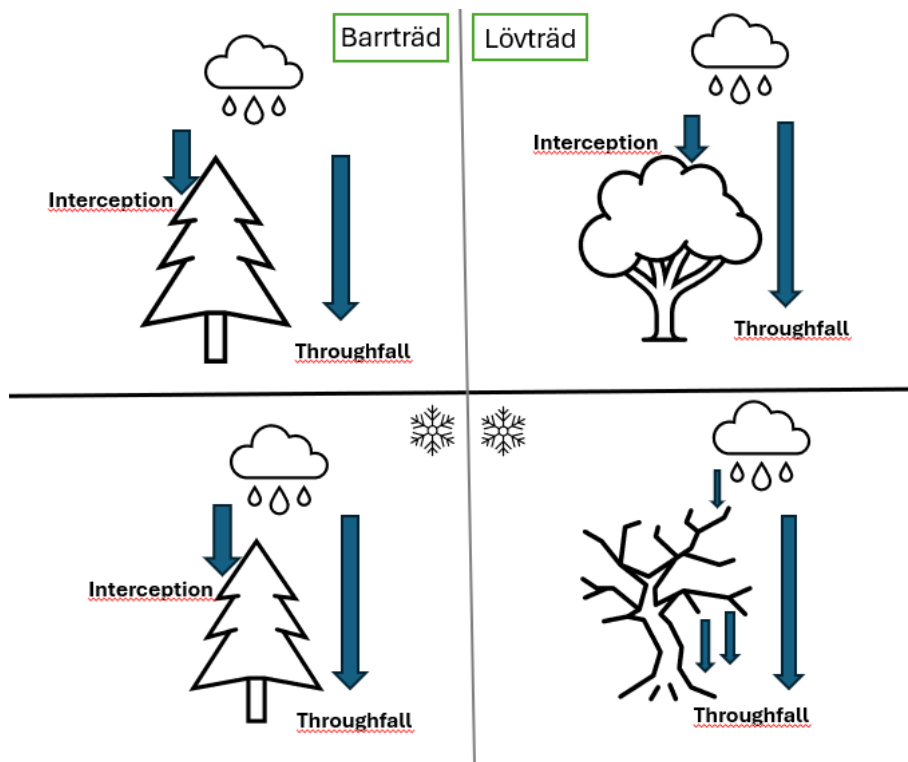
En studie av Kirnbauer et al. (2013) jämförde fyra lövträdarter (*Ginkgo biloba*, *Platanus x acerifolia*, *Acer saccharinum* & *Liquidambar styraciflua*.) för att jämföra deras förmåga till interception och transpiration. Resultatet visade att *Liquidambar styraciflua* hade betydligt bättre förmåga att fånga upp och lagra vatten i trädkronan och sedan avdunsta det och menar att det beror på att *Liquidambar styraciflua* hade förhållandevis högre LAI (Kirnbauer et al. 2013).

Trädets struktur och barkens egenskaper spelar en avgörande roll i hur mycket av den uppfångade nederbörden som omvandlas till stemflow (Livesley et al. 2014). Stemflow förekommer mindre frekvent och i mindre omfattning på träd med grov bark jämfört med de med slät bark (Livesley et al. 2014, Zabret & Sraj 2019). Om målet är att träden ska hantera större mängder nederbörd, är träd med grövre bark att föredra, eftersom denna egenskap främjar detta syfte. Den grövre barken skapar ytor där vatten kan samlas, vilket innebär att en betydande mängd vatten krävs för att initiera stemflow. Därmed är valet av barkens struktur en viktig faktor för att

reglera och maximera effekten av vattenflödet från träden (Zabret & Sraj 2019). Enligt Livesley et al. (2014) tenderar lövträd ha slätare bark vilket gör att det krävs en mindre mängd nederbörd för att initiera stemflow jämfört med barrträd som ofta har grövre struktur och kan absorbera förhållandevis större mängder vatten.

Träds förmåga till adsorption av vatten på löv och grenar är den primära mekanismen till interception och påverkar effekten av interceptionen (Yan et al. 2021). Adsorption innebär att vattnet fastnar på ytan, och ska inte förväxlas med absorption som innebär att vattnet sugts upp (Wikipedia 2023). Adsorptionsförmågan är beroende av trädens morfologiska egenskaper. Trädets bladstruktur och trikomer (hårlik struktur på blad) har störst påverkan på adsorption av vatten på blad (Yan et al. 2021). Trikomer på bladen är en struktur som gör att blad kan hålla regndroppar och ökar därför volymen adsorberat vatten. Enligt Yan et al. 2021 är trikomer betydligt vanligare hos lövträd än barrträd.

Flera tidigare studier hävdar att barrträd har bättre förmåga att interceptera regnvatten jämfört med lövträd (Beidokhti & Moore 2021, Zabret & Sraj 2019; Clapp et al. 2014). Detta beror på att barrträd generellt sett har ett tätare växtsätt än lövträd och därav är bättre på att hålla undan vattnet från dagvattenhanteringssystemet (Zabret & Sraj 2019). Likaså kan barrträd tack vare dess trädkrona fånga upp vatten året runt (figur 5). Enligt Clapp et al. (2014) kan barrträd beroende på art ta upp 20–40% av den årliga nederbörden jämfört med lövträd som endast kan ta upp 10–20%. Interception är även den beroende av LAI (Zölch et al. 2017). Enligt Clapp et al. (2014) kan träd med högre LAI interceptera större mängd regnvatten under en stormhändelse eftersom högre LAI tillåter trädet fånga och hålla vatten under längre tid innan det når sin mättnadsgrad och sen når marken via throughfall. Lövträd har under sin avlövsperiod därmed lägre LAI (Clapp et al. 2014). För att få en effektiv interception året om så rekommenderar Deak Sjöman et al. (2015) vintergröna barrträd såsom tallar, (*Pinus spp.*) och granar (*Abies spp.* & *Picea spp.*).



Figur 5. Illustration av skillnaden på interceptionsförmågan mellan barr- och lövträd under sommarn respektive vintern

3.3. Luftrening

Träd kan rena luften från en mängd olika luftföroreningar, både gaser (exNO₂, CO₂, O₃, SO₂) och partiklar. Denna studie fokuserar på hur träd kan rena luftföroreningar i partikelform, vilket är till storlek de minsta luftföroreningarna. Dessa partiklar kan i sin tur delas upp i två kategorier; PM₁₀ och PM_{2.5}. PM₁₀ är partiklar med en diameter upp till 10µm och PM_{2.5} för de som är mindre än 2.5µm (Szabó et al. 2023). De primära källorna som ökar nivåerna av luftföroreningar i partikelform är utsläpp från fordon och utsläpp från industrier (Chen et al. 2023, Szabó et al. 2023). Ju mindre partiklarna är desto större är deras adsorptionskapacitet (förmåga att binda ämnen) och därmed ökar deras potential att bidra till förorening (Szabó et al. 2023). Partiklar (PM) är en av de värsta föroreningarna i stadsmiljö (Chen et al. 2023).

Träd kan fungera som ett "levande filter" och fånga upp luftföroreningar i partikelform med hjälp av sina blad. Partiklar som fastnar på bladens yta kallas för deposition (Nowak et al. 2018). En betydande del av partiklarna sitter kvar på

bladen och på så sätt avlägsnas från luften. Partiklarna kan sedan deponeras till marken via nederbörd eller med bladen som faller på hösten (Nowak et al. 2018).

3.3.1. Påverkande faktorer

Det finns flera tidigare studier som visar att partiklar har en tendens att fastna i högre utsträckning på vissa trädarter. Träds förmåga att hålla kvar partiklar påverkas av olika morfologiska bladegenskaper såsom bladyta, bladform och bladytans struktur (Szabó et al. 2023). Flera tidigare studier har konstaterat att trädens kapacitet att rena luften ökar med ökande bladyta, och att större träd med en mer omfattande bladyta har bättre förmåga att rena luften. Trädens luftrenande egenskaper genom deposition ökar i takt med ökningen av bladytan då det är vid bladytan partiklarna tenderar att fästa sig (Jia et al. 2021, Chen et al. 2017, Szabó et al. 2023).

Vidare har flera mikrostrukturella egenskaper såsom graden av bladgrovhet och antalet trikomer (figur 6) visat sig vara avgörande faktorer för en trädarts förmåga att rena luften (Chen et al. 2017, Jia et al 2021; Erkebaev et al. 2021). Flera tidigare forskningsstudier har enats om att bladytor med räfflor och trikomer har en ökad kapacitet att adsorbera partiklar jämfört med släta löv (Jia et al 2021, Szabó et al. 2023; Yang et al. 2015). Exempelvis en studie av Szabó et al. (2023) jämförde silverlinds (*Tilia tomentosa*) och asks (*Fraxinus excelsior*) förmåga att rena luften. Resultatet visade att silverlind har högre förmåga att hålla kvar partiklar på sina blad än ask. Szabó motiverade att det beror på bladstrukturen då ask har glänsande och släta blad och därför fångade färre partiklar medan silverlinden hade betydligt högre kapacitet att hålla kvar partiklarna på grund av deras blad består av flertalet täta trikomer (Szabó et al. 2023). Likaså en studie av Yang et al. (2015) rekommenderar silverlind (*Tilia tomentosa*) som en lämplig art att ha i städer i syfte att rena luften.



Figur 6. Trikomer. (Dartmouth College 2007)

Enligt många tidigare studier är barrträd mer effektiva i partikeluppsamling jämfört med lövträd (Yang et al. 2015, Gao et al. 2022 & Chen et al. 2017). I exempelvis en studie av Jia et al. (2021) jämfördes 16 olika arter inom olika kategorier, där barrväxten himalayaceder (*Cedrus deodra*) hade högsta luftreningseffekt. Den högre effektiviteten hos barrträd menar flera forskare bero på dess komplexa bladstruktur, närmare bestämt dess nål-lika barr. Denna egenskap resulterar i en högre LAI. Vidare uppvisar barrträd i allmänhet ha en tätare trädskrona jämfört med lövträd. Ytterligare är barrträd städsegröna och har ett året-runt förekommande

lövverk vilket möjliggör att barrträd kontinuerligt kan förbättra luftkvaliteten över hela året (Yang et al. 2015, Gao et al. 2022; Chen et al. 2017).

3.4. Överblick över påverkande artegenskaper

Tabellen nedan är en sammanfattning av resultatet från litteraturstudien. Tabellen visar de egenskaper som påverkar ekosystemtjänsterna; värmereglering, dagvattenhantering och luftrening (tabell 1).

Tabell 1. Reglerande ekosystemtjänster och påverkande artegenskaper.

Påverkande egenskap	Värmereglering	Dagvattenhantering	Luftrening
<u>Leaf area index</u>	X	X	X
<u>Branch area index</u>	X		
Bladmikrostruktur		X	X
Bladform	X		X
Bladtäthet	X		X
Trädkronans form	X		
Trädkronans täthet		X	X
Trädkronans storlek	X	X	X
Trädets höjd	X	X	
<u>Stomata resistens</u>	X	X	
Transpirationshastighet	X	X	
<u>Throughfall</u>		X	
<u>Stemflow</u>		X	
<u>Interception</u>		X	

4. Diskussion

Valet av trädart har en betydande inverkan på vilka ekosystemtjänster som främjas och hur omfattande dess påverkan blir. Att fatta välgrundade beslut vid valet av trädart underlättas av kunskap om önskade fysiologiska och morfologiska egenskaper hos träden. Genom att öka förståelsen för påverkande arteeskaper kan vi undersöka om det finns gemensamma egenskaper som gynnar flera ekosystemtjänster. Även om information om dessa egenskaper är tillgänglig, återstår en utmaning i att göra informerade val bland trädarter, eftersom deras egenskaper kan ha varierande betydelse och relevans beroende på det specifika sammanhanget. Nedan följer en diskussion av ekosystemtjänsterna, med betoning på olika aspekter som bör beaktas vid valet av trädart, baserat på den inhämtade informationen i resultatdelen

4.1. Gemensamma egenskaper för olika ekosystemtjänster

Leaf Area Index (LAI) och trädkronans täthet verkar vara gemensamma nämnare för att ha inverkan på ekosystemtjänsterna värmereglering, dagvattenhantering och luftrening (tabell 1). Exempelvis visar flera studier att ett ökat LAI-värde ökar interceptionen, ger ökad skuggning, ökar transpirationshastigheten och ökar luftreningsförmågan (Zölch et al 2017, Rahman et al., 2020, Clapp et al. 2014, Yang et al. 2015; Gao et al. 2022). Vidare har träd med större krontäthet ett mer omfattande bladverk och kan därför ha bättre potential till att fånga större mängd nederbörd och fånga fler luftföroreningar i partikelform (Livesley et al. 2014, Gao et al. 2022; Chen et al. 2017). Likaså blir skuggeffekten större ju mer omfattande och tät trädkronan är (Rahman et al. (2020)). Med denna bakgrund kan man tänka att artvalet därav blir enkelt, att plantera ett träd med ett så högt LAI och tät trädkrona som möjligt. Däremot finns det andra aspekter att ta hänsyn till vid artval. Exempelvis belyser Knight et al (2021) vikten av att hitta en balans mellan att maximera trädkronans yta för att skapa en positiv kyleffekt under dagen och att undvika att minska strålningskylningen vid natten. På dagen kan det vara fördelaktigt att maximera trädkronans yta för att öka mängden skugga vilket kan

vara särskilt viktigt för att skapa en mer behaglig och sval miljö under varmare dagar. Däremot på natten kyls omgivningen genom strålningskylning, vilket är en process där värme strålas ut i rymden. Om träden är för täta eller har för stor bladytta kan de hindra strålningskylningen genom att skapa ett isolerande skikt och därigenom hålla kvar värme. Detta kan resultera i högre nattliga temperaturer, vilket kan påverka det lokala mikroklimatet och människors komfort under natten Knight et al (2021).

En annan betydelsefull gemensam morfologisk egenskap, som tydligt framgår av resultaten, är att förekomsten av trikomer tydligt kan främja både trädets förmåga till luftrening och interception. Flera tidigare studier har fastställt att antalet trikomer primärt påverkar en trädarts kapacitet att rena luften (Chen et al., 2017; Szabó et al., 2023; Yang et al., 2015). Likaså har flera tidigare studier exempelvis Yan et al. (2021) förstärkt detta genom att hävda att trikomer utgör den mest inflytelserika faktorn för adsorptionen av vatten på bladen vilket utgör den primära mekanismen bakom interception. Jia et al. (2021) argumenterar därför för att trikomer kan användas som ett effektivt kriterium vid val av trädarter, med tanke på dess starka inflytande som en avgörande faktor. Flera studier konstaterar att lövträd generellt sett oftare är försedda med trikomer jämfört med barrträd (Jia et al., 2021; Yan et al., 2021). Däremot har tidigare forskning konsekvent indikerat att barrträd är mer effektiva än lövträd när det kommer till luftrening (Yang et al. 2015, Gao et al. 2022 & Chen et al. 2017). Mot bakgrund av dessa resultat kan det vara lämpligt att särskilt överväga trikomer som ett avgörande kriterium vid valet av olika lövträd, snarare än att använda det som det primära övervägandet när man jämför mellan barr- och lövträd.

4.1.1. Barrträd och lövträd kan ha potentiella för- och nackdelar utifrån olika aspekter

När det kommer till val av trädart är det viktigt att beakta den tidpunkt på året då det är viktigast att trädet uppfyller sin funktion och ger optimal nytta av ekosystemtjänsten. Denna aspekt har väckt en diskussion kring hur lövträd och barrträd kan utifrån olika perspektiv ha potentiella för- och nackdelar i stadslandskapet. Dessa två typer av träd, ofta indelade i lövfällande och städsegröna kategorier, har visat sig ha varierande påverkan på de valda ekosystemtjänsterna. Exempelvis i ett land med störst problem på sommarhalvåret med värmeböljor är lövträd bättre på att anpassa mikroklimatet än barrträd (Fu et al. 2021). Men i länder som har höga nivåer av solinstrålning året runt kan det vara viktigare att välja vintergröna träd eller träd som ger betydande skugga även som lövlösa (Fu et al. 2021). Däremot en sänkning av lokala temperaturen på vintern som orsakas av skuggning från vintergröna gatuträd kan i stället ha en negativ effekt

på hälsan och annat. Minskade ljusnivåer på vintern kan ha negativ inverkan på individens mentala hälsa och ökad skuggning kan också resultera i lägre inomhustemperatur, som till exempel kan leda till ökad energiförbrukning för byggnadsuppvärmning på vintern (Salmond et al. 2016). I länder med varierat klimat, som i Sverige, kan årstiderna skapa komplexa förhållanden då man på sommaren vill ha beskuggning av ett utsatt område men på vinterhalvåret kan det vara nödvändigt med stor mängd solljus på samma plats. Därför är det enligt Deak Sjöman et al. (2015) viktigt att vid val av träd inte enbart välja en art efter sommarhalvåret, när bladmassan har sin största påverkan på luft- och marktemperaturen. Utan likaså viktigt att inkludera bedömningen av hur trädets höjd och kronstruktur påverkar värme- och ljusförhållandena under vintertiden.

Vidare när det gäller att välja ett träd i syfte att hantera dagvattnet finns det en potentiell skillnad mellan barr- och lövträd. Flertalet studier i resultatdelen hävdar att barrträd har bättre förmåga att interceptera regnvatten jämfört med lövträd (Beidokhti & Moore 2021, Clapp et al. 2014; Zabret & Sraj 2019). Det beror bland annat på att barrträd tack vare dess året-runt lövverk kan vara aktiva med interception året runt (Beidokhti & Moore 2021). Därför hävdar Clapp et al. (2014) att det kan vara mer betydelsefullt att välja barrträd för att hantera dagvatten på platser där huvuddelen av årsnederbörden inträffar under den lövfria perioden. Däremot om huvuddelen av årsnederbörden inträffar under sommaren, har frånvaron av löv under vintern en mindre påverkan på den totala mängden nederbörd som avlägsnas genom interception. Med andra ord behöver inte barrträd nödvändigtvis vara ett överlägset val på platser där nederbörden är mest intensiv under perioden då lövfällande träd har sina blad (Clapp et al 2014).

Ytterligare indikerar resultaten att det finns fler tidigare studier som stöder uppfattningen att barrträd har en effektivare förmåga att rena luften jämfört med lövträd (Yang et al. 2015, Gao et al. 2022 & Chen et al. 2017). Därför kan det vara fördelaktigt att välja ett barrträd på en specifik plats vars huvudfunktion är att rena luften. Enligt Yang et al. (2015) är inte något barrträd bland de 20 mest använda trädarterna i världen. I och med att barrträd inte är vanligt inslag kan det skapa en möjlighet att förbättra luftkvalitén i städer där barrträd inte är vanligt förekommande. Enligt Deak Sjöman et al. (2015) är luftföroreningar på norra halvklotet särskilt utmanade under vintern. Enligt en studie av Pace & Grote (2020) varierar förmågan hos löv- och barrträd att rena luften beroende på land. I länder med varmare klimat uppvisar lövträd generellt sett en tidigare bladspäckning på våren och en senare lövfällning på hösten. Detta resulterar i en längre växtsäsong, vilket gör att tidsramen för lövfällande och städsegröna träd blir mer likvärdig (Pace & Grote 2020). Mot bakgrund av detta skulle barrträd troligen vara mer

betydelsefulla i länder som Sverige, där träden har en relativt lång period utan löv jämfört med länder med varmare klimat.

4.2. Tillämpning av resultatet i praktiken

Även om resultaten från denna studie kan erbjuda användbar information vid val av trädarter i urban miljö, är det viktigt att vara medveten om vissa begränsningar när man tillämpar resultaten. Denna studie har exempelvis kommit in på olika arter som tidigare studier förslagit som lämpliga arter i olika sammanhang. Däremot är det viktigt att förstå att dessa förslag på arter kan vara av begränsad relevans. Flertalet artförslag har enbart fokuserat dess förmåga att tillhandahålla en specifik ekosystemtjänst, och inte nödvändigtvis tagit hänsyn till andra faktorer som artens lämplighet för specifika planteringsplatser. För att uppnå mer generaliserade resultat rekommenderar jag därför användarna att söka ytterligare information om de föreslagna arterna för att bedöma deras anpassningsförmåga till det lokala klimatet. I och med detta bör tolkningen av resultaten i denna studie inriktas på identifiering av de egenskaper som är av central betydelse, snarare än att ensidigt fokusera på de specifika trädarter som föreslagits.

En annan viktig aspekt att överväga vid tillämpningen av resultaten i praktiken är att förstå att denna studie endast har belyst artegenskapers inverkan på ekosystemtjänster. Den faktiska effekten av en ekosystemtjänst påverkas inte bara av artegenskaper utan påverkas också av flera andra faktorer, såsom meteorologiska förhållanden, platsförhållanden, stadens geometri och placering. Exempelvis kommer inga träd kunna utveckla sin fulla potential att leverera den rad ekosystemtjänster utan att rötterna har tillgång till utrymme, syre, vatten och näring. Därför är det viktigt att möjliggöra för en god trädetablering och utveckling (Deak Sjöman et al. 2015). Ett annat exempel är att en trädart som har potentialen att rena luften i stället kan bidra till ökade luftkvalitetsproblem om trädbeståndet är placerat på ett sådant sätt att det bromsar upp lufttillströmningen och på så sätt skapar koncentrationer av föroreningar (Yang et al. 2015).

4.3. Vidare forskning

För att utveckla riktlinjerna för stadsplanering och effektiv förvaltning av urbana grönområden är det relevant att närmare undersöka det komplexa samspelet mellan olika faktorer och deras påverkan på ekosystemtjänsternas effektivitet. Framtida forskning bör sträva efter att integrera artegenskaper med andra betydande faktorer, såsom stadens struktur och topografi. Dessutom är det nödvändigt att förstå hur inflytelserik varje enskild påverkande faktor är. Vidare forskning skulle också

kunna inriktas på att utveckla studier som analyserar långsiktiga effekter av olika trädarter, med hänsyn till trädens livscykel och deras påverkan över tid. Genom en sådan ökad förståelse kan vi bättre informera framtidens beslutsfattare och skapa mer hållbara och välmående urbana landskap.

4.4. Slutsatser

Sammanfattningsvis har denna studie fördjupat förståelsen för sambanden mellan värmereglering, dagvattenhantering och luftrening inom urbana miljöer genom att analysera påverkande artegenskaper hos träd. Huvudsyftet med arbetet var att underlätta beslutsfattandet kring val av trädarter för att optimera ekosystemtjänsterna i städer. Av litteraturen som sammanställts finns det underlag för att dra slutsatsen att det finns gemensamma egenskaper som gynnar flera ekosystemtjänster. Exempelvis visade studien att utmärkande egenskaper hos barrträd, såsom högre LAI och året-runt lövverk, hade positiv inverkan på både dagvattenhantering och luftrening. Vidare visar studien att artegenskaper kan ha varierande betydelse och relevans beroende på olika sammanhang. En sådan aspekt är när på året det är viktigast för trädet att uppfylla sin funktion. Slutligen har denna forskning inte bara bidragit med insikter om artegenskapers påverkan på ekosystemtjänster utan har även lagt grunden för framtida studier att ytterligare förbättra vår kunskap.

5. Referenser

Abreu-Harbich, L.V., Labaki, L.C. & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*. 138, 99-109.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204615000390?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1

Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D.J. & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*. 43, 466-479.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-014-0507-x>

Beidokhti, A.N. & Moore, T.L. (2021). The effects of precipitation, tree phenology, leaf area index, and bark characteristics on throughfall rates by urban trees: A meta-data analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*. 60, 127052.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866721000777?via%3Dihub>

Berland, A., Shiflett, S.A., Shuster, W.D., Garmestani, A.S., Goddard, H.C., Herrmann, D.L. & Hopton, M.E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning*. 162, 167-177. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204617300464>

Boverket (2023) *Klimatanpassning genom ekosystemtjänster*.

<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/uppdrag/klimatanpassningsarbete-for-den-bygga-miljon/temaomraden/klimatanpassning-genom-ekosystemtjanster/> (2024-02-07)

Chen, H., Kardos, L., Gyeviki, M., Hrotko, K., mfl (2023). Evaluating the capability of woody plants to capture atmospheric heavy metals in Budapest. *Innovation*. 11(1), 67-81.

<https://www.researchgate.net/publication/371652850> [Evaluating the capability of woody plants to capture atmospheric heavy metals in Budapest](https://www.researchgate.net/publication/371652850)

Chen, L., Liu, C., Zhang, L., Zou, R. & Zhang, Z. (2017). Variation in tree species ability to capture and retain airborne fine particulate matter (PM2.5). *Scientific Reports*. 7, 3206.

<https://www.nature.com/articles/s41598-017-03360-1>

Clapp, C.J., Ryan, D.H., Harper, R.W. & Bloniarz, D.V. (2014). Rationale for the increased use of conifers as functional green infrastructure: A literature review and synthesis. *Arboricultural Journal*. 36(3).

https://www.researchgate.net/publication/269286175_Rationale_for_the_increased_use_of_conifers_as_functional_green_infrastructure_A_literature_review_and_synthesis

Deak Sjöman, J., Sjöman, H. & Johansson, E. (2015). Staden som växtplats. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red.) *Träd i urbana landskap*. Studentlitteratur AB, Lund. 231-330.

Erkebaev, T., Attokurov, K., Sattarov, A., Shaimkulova, M., Orozaliev, N., Erkebaev, T., Topchubaeva, E., Kaparova, N. & Abdullaeva, Z. (2021). Dust retention ability of plants as a factor improving environment air. *American Journal of Plant Sciences*. 12(2).

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=107330>

European Environment Agency (EEA) (2023). *Förtida dödsfall på grund av luftföroreningar fortsätter att minska inom EU, och fler insatser behövs för en giftfri miljö*.

<https://www.eea.europa.eu/sv/highlights/fortida-dodsfall-pa-grund-av> (2024-02-07)

FN (2022) *Allt fler människor bor i städer*. <https://fn.se/wp-content/uploads/2023/09/3-23-Mal-11.pdf> (2024-02-07)

Fu, J., Dupre, K., Tavares, S., King, D. & Banhalimi-Zakar, Z. (2021). Optimized greenery configuration to mitigate urban heat: A decade systematic review. *Frontiers of Architectural Research*. 11(3), 466-491.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209526352100100X#bib76>

Gao, Z., Qin, Y., Yang, X. & Chen, B. (2022). PM10 and PM2,5 dust-retention capacity and leaf morphological characteristics of landscape tree species in the Northwest of Hebei Province. *Atmosphere*. 13(10), 1657. <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/10/1657>

Globala målen. (2022). *11 Hållbara städer och samhällen*.

[Mål 11: Hållbara städer och samhällen - Globala målen \(globalamalen.se\)](https://www.globalamalen.se) [2024-03-19]

Guo, E., Ma, L., Yuan, S. & Wang, R. (2017). Morphological, physiological and anatomical traits of plant functional types in temperate grasslands along a large-scale aridity gradient in northeastern China. *Scientific Reports*. 7, 40900. <https://www.nature.com/articles/srep40900>

IVA. (2017). *Den urbana utvecklingens drivkrafter och konsekvenser*. (IVA-M 476). Kungl.

Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA). [Rapport: Den urbana utvecklingens drivkrafter och konsekvenser \(iva.se\)](https://www.iva.se)

Jia, M., Zhou, D., Lu, S. & Yu, J. (2021). Assessment of foliar dust particle retention and toxic metal accumulation ability of fifteen roadside tree species: Relationship and mechanism. *Atmospheric Pollution Research*. 12(1), 36-45.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104220302233>

Kirnbauer, M.C., Baetz, B.W & Kenney, W.A. (2013). Estimating the stormwater attenuation benefits derived from planting four monoculture species of deciduous trees on vacant and underutilized urban land parcels. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12(3), 401-407.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866713000290?via%3Dihub>

Knight, T., S. Price, D. Bowler. (2021). How effective is ‘greening’ of urban areas in reducing human exposure to ground-level ozone concentrations, UV exposure and the ‘urban heat island effect’? An update systematic review. *Environmental Evidence*. 10, 12.

<https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-021-00226-y>

Kuehler, E., Hathaway, J. & Tirpak, A. (2017). Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. *Ecohydrology*. 10(3).

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85018748765&origin=inward>

Kuttler, W. (2011). Climate change in urban areas. Part 2, Measures. *Environmental Sciences Europe*. 23, 21. <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/2190-4715-23-21>

Livesley, S.J, Baudinette, B. & Glover, D. (2014). Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees – The impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13, 192-197 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866713000952?via%3Dihub>

Levinsson, A., Emilsson, T., Sjöman, H. & Wiström, B. (2024). Using stomatal conductance capacity during water stress as a tool for tree species selection for urban stormwater control systems. *Urban Forestry & Urban Greening*. 91, 128164.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866723003357>

Luong, J.C & Loik, M.E. (2022). Adjustments in physiological and morphological traits suggest drought-induced competitive release of some California plants. *Ecology and Evolution*. 12(4).

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.8773>

Manickathan, L., Defraeye, T., Allegrini, J., Derome, D. & Carmeliet, J. (2017). Parametric study of the influence of environmental factors and tree properties on the transpirative cooling effect of trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. 248, 259-274.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192317303349?via%3Dihub>

Milosevic, D.D., Bajanski, I.V. & Savic, S.M. (2017). Influence of changing trees locations on thermal comfort on street parking lot and footways. *Urban Forestry & Urban Greening*. 23, 113-124. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866716303533>

Naturvårdsverket (2023a) *Luft*. <https://www.naturvardsverket.se/luft/> (2024-02-07)

Naturvårdsverket (2023b) *Naturbaserade lösningar*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatanpassning/naturbaserade-losningar/> (2024-02-07)

Naturvårdsverket (2024) *Vad är ekosystemtjänster* <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-och-vattenanvandning/ekosystemtjanster/vad-ar-ekosystemtjanster?language:sv> (2024-02-07)

Pace, R. & Grote, R. (2020). Deposition and resuspension mechanisms into and from tree canopies: a study modeling particle removal of conifers and broadleaves in different cities. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2020.00026/full>

Rahman, M.A., Hartmann, C., Moser-Reischl, A., Freifrau von Strachwitz, M., Paeth, H., Pretzsch, H., Pauleit, S. & Rötzer, T. (2020). Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. *Agricultural and Forest Meteorology*. 287, 107947. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192320300496>

Salmond, J.A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K.N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R.N & Wheeler, B.W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*. 15, 36. <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-016-0103-6>

Scharenbroch, B.C, Morgenroth, J. & Maule, B. (2016). Tree species suitability to bioswales and impact on the urban water budget. *Journal of Environmental Quality*. 45(1), 199-206. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2015.01.0060?sid=vendor%3Adatabase>

Scholz, T., Hof, A. & Schmitt, T. (2018). Cooling effects and regulating ecosystem services provided by urban trees – novel analysis approaches using urban tree cadastre data. *Sustainability*. 10(3), 712. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/712>

Szabó, V., Chen, H., Hrotkó, K. & Kohut, I. (2023). Investigation of dust deposition in vegetation period as an ecological service on urban trees in Budapest – a case study. *Pollutants*. 3(4), 507-520. <https://www.mdpi.com/2673-4672/3/4/35>

Wikipedia (2023) *Adsorption*. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Adsorption> (2024-02-19)

Yan, T., Wang, Z., Liao, C., Xu, W. & Wan, L. (2021). Effects of the morphological characteristics of plants on rainfall interception and kinetic energy. *Journal of Hydrology*. 592, 125807.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169420312683>

Yang, J., Chang, Y. & Yan, P. (2015). Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM 2.5 pollution. *Atmospheric Pollution Research*. 6(2), 267-277.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S130910421530235X>

Zabret, K. & Sraj, M. (2019). Evaluating the Influence of Rain Event Characteristics on Rainfall Interception by Urban Trees Using Multiple Correspondence Analysis. *Water*. 11(12), 2659.

<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/12/2659>

Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P. & Pauleit, S. (2017). Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research*. 157, 135-144.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935117309611>

Figurer:

Royan, J. (2005). *India - Kolkata chat under a tree*. [fotografi].

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:India_-_Kolkata_chat_under_a_tree_-_4241.jpg [2024-02-29]. [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>)], via Wikimedia Commons

Dartmouth Electron Microscope Facility, Dartmouth College (2007). *Coleus leaf trichomes*.

[fotografi]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coleus_leaf_trichomes_SEM.jpg [2024-02-29]. [CCO 1.0 (<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>)], via Wikimedia Commons