



Etableringsbevattning av stadsträd

Hur kan en biologiskt optimal bevattningsregim utformas och samtidigt vara resurseffektiv att utföra?

Victor Eklund

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

LTV-fakulteten/Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Landskapsingenjörsprogrammet

Alnarp, 2022



Etableringsbevattning av stadsträd

Hur kan en biologiskt optimal bevattningsregim utformas och samtidigt vara resurseffektiv att utföra?

Victor Eklund

Handledare: Anders Kristoffersson, SLU, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Tobias Emilsson, SLU, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Landskapsarkitektur

Kurskod: EX0841

Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet

Kursansvarig inst.: Helena Persson

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2022

Omslagsbild: Fotografi av författaren, stadsträd under etablering i Malmö.

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Nyckelord: Stadsträd, bevattning, trädetablering, etableringsbevattning, etableringsskötsel.

Sveriges lantbruksuniversitet

LTV-fakulteten

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sammanfattning

Fullvuxna stadsträd har stor förmåga att leverera ekosystemtjänster för oss människor. För att kunna bli fullvuxna anses kvalitén på den bevattning som utförs innan träd själva kan försörja sig på vatten, etableringsbevattning, vara avgörande. Det här arbetet syftar till att undersöka hur etableringsbevattning kan utföras för att optimera etablering av stadsträd genom att vara biologiskt optimal men samtidigt resurseffektiv att utföra. Ämnet undersöks genom en inledande litteraturstudie som sedan efterföljs av en fallstudie inriktad på Helsingborg Stad med tillägg från Malmö Stad.

Resultatet från studien framhåller delvis att kvalitén på etableringsbevattning av stadsträd i svenska kommuner kan vara bristfällig. Detta kan orsakas av att skötselbeskrivningar ofta är generella, frekvensbaserade och saknar tydliga kontrollkrav trots att studerad litteratur indikerar att detta bör undvikas. Det kan även orsakas av bristande kompetens och närvaro på platsen från den utförande entreprenören. Samtidigt visar resultatet att det förekommer utförare som i motsats till den angivna problematiken levererar en hög kvalitet på bevattningen genom att justera rutinen efter behov. Beställare kan därför uppnå en biologiskt optimal bevattningsregim genom att ställa större krav på kompetenta och närvarande entreprenörer samt i högre grad anpassa skötselbeskrivningar efter specifika behov. Resultatet från studien framhåller också att fuktsensorer kan vara effektiva verktyg för att optimera etableringsbevattning av stadsträd genom att behovsanpassa utförandet och samtidigt möjliggöra för förbättrad planering och kontroll.

För ett resurseffektivt utförande av biologiskt optimala bevattningsregimer lyfter resultatet från studien fram ett antal tillvägagångssätt. Ökade investeringar i etableringsbevattning såsom fuktsensorer kan vara resurseffektivt om det genererar fler lyckade trädetableringar. Samtidigt leder användandet av fuktsensorer inte nödvändigtvis till minskade kostnader eftersom bevattningsregimen då följer trädens verkliga vattenbehov. Beroende på meteorologiska variationer mellan olika år, så kallad årsmån, kan användandet istället leda till ökade kostnader för bevattning vissa år och minskade kostnader andra år. Därtill anses kommunala resurser generellt begränsade. För att vara resurseffektiva kan fuktsensorerna därför behöva prioriteras till särskilda fall. En annan viktig resurseffektivisering kan vara upprättandet av närliggande vattenposter. Resultatet från studien visar att det finns goda förutsättningar att optimera etableringsbevattning av stadsträd idag med en resurseffektiv hållning.

Nyckelord: stadsträd, trädetablering, etableringsbevattning, etableringsskötsel

Abstract

Fully grown urban trees have great ability to deliver ecosystem services for us humans. In order to become fully grown, the quality of the irrigation carried out before trees are self-sufficient on water, establishment irrigation, can be crucial. This study aims to investigate how establishment irrigation can be carried out to optimize the establishment of urban trees by being biologically optimal but at the same time resource efficient to carry out. The topic was investigated through an initial literature study followed by a case study on the city of Helsingborg with additions from the city of Malmö.

The result of the study partly highlights that the quality of establishment irrigation of urban trees in Swedish municipalities may be deficient. This can be caused by the fact that maintenance descriptions are often general, frequency-based and lack clear control requirements, despite the fact that the literature studied indicate that this should be avoided. It can also be caused by a lack of competence and presence on the site from the performing contractor. However, contrary to the stated problem, the result also shows that there are performers who deliver high quality of irrigation by adjusting the routine in relation to the need. Municipalities can therefore achieve a biologically optimal irrigation regime by placing greater demands on competent and present contractors and to a greater extent adapt maintenance descriptions to specific needs. The result also highlights that moisture sensors can be effective tools for optimizing the establishment of urban tree irrigation by adapting the performance to specific needs while enabling improved planning and control.

For a resource efficient execution of biologically optimal irrigation regimes, the results of the study highlight a number of approaches. Increased investments in establishment irrigation such as moisture sensors can be resource efficient if it generates more successful tree establishments. At the same time, the use of moisture sensors does not necessarily lead to reduced costs since the irrigation regime then follows the actual water needs of the trees. Depending on annual variation in meteorological conditions the cost for irrigation can increase some years in comparison to current frequency-based regimes. In addition, municipal resources are generally considered limited. In order to be particularly resource efficient, moisture sensors may therefore need to be prioritized to specific cases. Another important resource efficient approach can be the establishment of nearby water hydrants. The results of the study show that there are good conditions for optimizing the establishment irrigation of urban trees today with a resource-efficient approach.

Keywords: urban trees, tree establishment, establishment irrigation, establishment management.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte.....	9
1.3	Avgränsning.....	9
2.	Metod och material	10
3.	Etableringsbevattning idag.....	11
3.1	Organisering	11
3.2	Skötselbeskrivningar och kontroll	11
3.3	Appliceringstekniker.....	14
3.4	Kvalité och ekonomi.....	16
4.	Faktorer som påverkar träds etableringsförmåga.....	19
4.1	Artspecifika faktorer	19
4.2	Platsspecifika faktorer.....	21
4.3	Kvalitet	22
4.4	Sammanfattning.....	22
5.	Metoder för en biologiskt optimal bevattningsregim	24
5.1	Modeller baserade på evapotranspiration	24
5.2	Fuktsensorer	25
5.3	Resurseffektivt utförande av behovsanpassad etableringsbevattning.....	27
6.	Fallstudie	29
6.1	Etableringsbevattning Helsingborg	29
6.1.1	Etableringsbevattning idag	29
6.1.2	Behovsanpassad etableringsbevattning.....	32
6.2	Perspektiv från en annan stad	36
6.2.1	Etableringsbevattning idag	36
6.2.2	Behovsanpassad etableringsbevattning.....	37
7.	Diskussion.....	39
7.1	Resultatdiskussion	39
7.2	Metoddiskussion	41
8.	Slutsatser	42

Referenser	43
Muntliga källor.....	49
Tack	50

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Under lång tid har träd haft ett stort värde för oss människor. Redan i det forntida Egypten för omkring 5000 år sedan dyrkades träd och gudar framställdes som trädlika skepnader (Hughes 1992). Att plantera träd ansågs värdefullt för själens utveckling och krävande åtgärder togs till för att plantera och bevattna träd intill bland annat tempel (ibid.). Idag kan värdet av att plantera träd i staden beskrivas med stöd från forskning. Stadsträd levererar ekologiska värden såsom att erbjuda habitat för vilda djur och växter (McPherson et al. 2011), ekonomiska värden såsom att minska dagvattenavrinningen vilket lindrar utbyggnadsbehovet av dagvattenhanterande infrastruktur (Berland et al. 2017) samt sociala värden såsom att minska arbetsrelaterad stress (Lotttrup et al. 2013). Idag samlar vi ofta de värden som träd kan bidra med under begreppet ekosystemtjänster (Roy et al. 2012). För att träden vi planterar i stadsmiljö ska ha som störst förmåga att leverera ekosystemtjänster är det essentiellt att de blir fullvuxna (ibid.). Om träd dör unga minskar kapaciteten att leverera ekosystemtjänster och planteringsåtgärden riskerar att bli en bortkastad ekonomisk investering med ett negativt klimatavtryck (Koeser et al. 2014). Det är därför eftersträvänsvärt att nyplanterade träd i urban miljö ges möjlighet att bli fullvuxna så att de kan bidra med en maximal mängd ekosystemtjänster under sin livstid och en minimal mängd otjänster.

Samtidigt visar flera studier att många nyplanterade stadsträd i dör redan under sina första år (Gilbertson & Bradshaw 1990; Nowak et al. 2004; Koeser et al. 2014). Från studierna framgår att ett avgörande skäl till den höga dödligheten är en bristande bevattning under trädens inledande år (ibid.). Detta stärks även av annan facklitteratur som påvisar att den viktigaste faktorn för att träd ska överleva på sin nya växtplats är att de får en noggrann bevattning (Kozlowski & Davies 1975; Watson & Himmelick 1997; Sjöman & Slagstedt 2015b). Efter plantering utsätts nämligen träd för vad som brukar benämnas planteringsstress (Grossnickle 2005; Levinsson 2015; Fini & Brunetti 2017). En orsak till planteringsstress är att rotsystemet på nyplanterade träd brister i storlek i förhållande till kronan.

Exempelvis visar Gilman (1988) att fältodlade träd kan tappa 91–95 % av sitt rotsystem vid uppgrävningen. Krukodlade träd grävs visserligen inte upp och får således inga kapade rötter men utvecklar istället mycket små rotsystem eftersom krukans storlek begränsar dess utbredning (Spomer 1980). En annan orsak till planteringsstressen är att rotsystemet på träd ofta skadas från en ovarsam hantering under transporten från plantskola till växtplats (Koeser et al. 2009) samt från torkskador vid lagring om planteringen försenas ett antal dagar (Watson & Himmelick 1997). Vidare kan även planteringsstressen induceras av att jordsubstratet på den nya växtplatsen ofta skiljer sig från det odlingssubstrat som omger trädets rotsystem. Skillnaden i substrat kan medföra att odlingssubstratet där rotsystemet finns snabbt dräneras på vatten och att rotsystemet riskerar att torka ut (Spomer 1980). Som en konsekvens av den planteringsstress som stadsträd utsätts för, är rotsystemet vanligen kraftigt försvagat på den nya växtplatsen och har svårt att på egen hand försörja kronan med vatten (Gilman 1989). Detta kan i sin tur leda till uttorkning följt av toppdöd och till sist att träd dör (Levinsson 2015). Nyplanterade träd måste därför bevattnas under de år som planteringsstressen pågår till dess att rotsystemets utbredning är återställt (Watson & Himmelick 1997).

Perioden av planteringsstress beskrivs ofta med termen etablering (Levinsson et al. 2017). Ett flertal komplicerade definitioner av termen etablering har föreslagits, men i denna uppsats kommer en enklare definition av Day & Harris (2007) att användas. De menar att träd är i en fas av etablering så länge de behöver bevattnas. Denna definition utesluter visserligen de träd som avses att bevattnas kontinuerligt under sin livstid eftersom de då aldrig blir etablerade. Dessutom anser Levinsson et al. (2017) att detta förutsätter att träd faktiskt genomgår en period av bevattning för att kunna anses vara i sin etableringsperiod. Träd som planteras och därefter aldrig bevattnas omfattas således inte heller av definitionen. Men eftersom de flesta träd som planteras i urban miljö dels kräver bevattning under sina första år och dels avses att inte vattnas genom hela sin livstid, kan denna definition anses som acceptabel. Därför kommer etablering i denna uppsats definieras som den period då träd behöver bevattnas efter plantering till dess att de är självförsörjande på vatten. Termen etableringsbevattning avser därför i arbetet den bevattning som sker under denna period av etablering.

Den bakomliggande orsaken till att ovan nämnda studier visar att många nyplanterade stadsträd dör under sina första år beror således på en bristande etableringsbevattning. Genom att först kartlägga den problematik som finns i svenska kommuner idag gällande etableringsbevattning strävar arbetet till att undersöka hur etableringsbevattning av stadsträd kan utföras för att så många träd som möjligt ska få en framgångsrik etablering, detta kommer i arbetet att definieras som en biologiskt optimal bevattningsregim. Samtidigt poängterar Vogt et al. (2015) att offentliga skötselbudgetar ofta begränsas av knappa resurser. För att vara

ekonomiskt genomförbar kan därför utformandet av bevattningsregimen behöva anpassas till begränsade resurser. Därför strävar arbetet även till att undersöka hur en biologiskt optimal bevattningsregim samtidigt kan vara resurseffektiv att utföra.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet var att undersöka hur etableringsbevattning kan utföras för att optimera etablering av stadsträd.

Inom detta arbete besvarades följande frågeställning:

- Hur ser en biologiskt optimal bevattningsregim ut vid etablering av stadsträd och hur kan den utformas för ett resurseffektivt utförande?

1.3 Avgränsning

Detta arbete begränsade sig till att undersöka hur etableringsbevattning kan utföras för att optimera etablering av stadsträd. Arbetet behandlade därför inte annan slags bevattning, trädetablering eller etableringsbevattning för träd utanför stadsmiljö. På grund av arbetets omfattning genomfördes endast en översiktlig beskrivning av hur etableringsbevattning hanteras idag utifrån organisation, skötselbeskrivningar, ekonomi samt appliceringstekniker. Arbetets omfattning har även medfört att endast de vanligast förekommande lösningarna på en biologiskt optimal etableringsbevattning diskuterades. Således redogjordes inte för alla former av etableringsbevattning. Arbetet utredde endast hur etableringsbevattning kan utföras resurseffektivt ur ett ekonomiskt perspektiv och behandlade därför inte andra resurser som exempelvis vatten. På grund av arbetets omfattning fokuserades studien på svenska kommuner.

2. Metod och material

För att nå målet med arbetet genomfördes inledningsvis en litteraturstudie. Först studerades hur etableringsbevattning av stadsträd vanligen utförs idag för att ge en bild av hur man generellt sett arbetar i svenska kommuner. För att undersöka varför det är svårt att ge generella siffror på etableringsbevattning behandlades sedan vilka faktorer som påverkar etableringen av träd. Därefter studerades hur etableringsbevattning kan utformas för att vara biologiskt optimal för träd där metoder för att behovsanpassa etableringsbevattning diskuteras. Slutligen behandlades även hur metoderna kan tillämpas och samtidigt vara resurseffektiva att utföra, ur ett ekonomiskt perspektiv. Material till studien inhämtades från forskningsdatabaserna Scopus, Web of Science och Google Scholar. Sökord som "tree establishment", "irrigat*", "maintenance" och "urban tree" har använts. Därtill inhämtades material från biblioteket på SLU Alnarp samt tidigare kursmaterial. För att samla in information om svenska kommuners garantiskötselkrav som framställs i tabell 1 och 2 användes Google med sökorden "skötselplan", "garantiskötsel" samt "etableringsskötsel skötselbeskrivning".

För att sedan undersöka vilken erfarenhet som finns i praktiken idag och hur den relaterar till befintlig forskning genomfördes en fallstudie. Detta eftersom fallstudien som metod lämpar sig för praktiska områden där tillgången på professionell erfarenhet är viktig (Johansson 2003). Fokus i fallstudien ligger på Helsingborg Stad eftersom man där arbetar med metoder för att behovsanpassa etableringsbevattningen av stadsträd. Fallstudien utgörs av ett antal semi-strukturerade intervjuer eftersom intervjupersonen då kan avvika från frågorna med egna tankar vilket möjliggör för att de på så vis kan tillföra relevant information som inte specifikt efterfrågats (Gill et al. 2008). Tre semi-strukturerade intervjuer genomfördes med personer som arbetar med etableringsbevattning i Helsingborg men i olika roller: en beställare, en utförare och en utvecklingsingenjör. För att kunna undersöka likheter och skillnader mot fallet i Helsingborg genomfördes även en semi-strukturerad intervju med en kommunal utförare i Malmö som också har erfarenhet av att arbeta med behovsanpassade metoder.

Det slutliga arbetet presenteras som en skriftlig rapport.

3. Etableringsbevattning idag

Detta kapitel ger en bild av hur bevattningsregimer för etableringsbevattning av stadsträd generellt sett ser ut i svenska kommuner idag och vilken problematik som finns kopplad till detta.

3.1 Organisering

I flera svenska kommuner (t.ex. Luleå kommun 2019; Järfälla kommun 2020; Upplands-Bro kommun 2021) ingår etableringsbevattning som en del av den etableringsskötsel som utförs under garantitiden inom bygg- och anläggningsprojekt. Garantitiden inleds så fort projektet är färdigställt och löper i normala fall under två år (Nordstrand 2008). Anläggningsprojekt av utemiljöer utförs till övervägande del av entreprenörer med sin huvudverksamhet utanför utemiljöbranschen och projekten karaktäriseras ofta av begränsningar i tid och budget (Ekelund et al. 2017). Eftersom garantitiden inleds efter att byggprojektet är färdigställt påpekar Sjöman & Slagstedt (2015b) att det ofta tar emot för entreprenören att lägga tid och pengar på vattning. Därtill försvåras ofta arbetet på grund av att det saknas vattenposter på platsen vilket gör att entreprenören tvingas åka dit med tankbil (ibid.). Lunderot (2013) betonar i sitt examensarbete att ett vanligt fel vid garantibesiktningar är att växtmaterialet inte etablerats ordentligt och att detta kan bero på att underentreprenörer anlitar billiga underentreprenörer med bristande kompetens. Sammanfattningsvis framhåller författarna i den studerade litteraturen att organiseringen gällande etableringsbevattning av stadsträd i svenska kommuner kan begränsas av resurser, tillgång på vattenposter samt bristande kompetens hos utföraren.

3.2 Skötselbeskrivningar och kontroll

I upphandlingsunderlaget för bygg- och anläggningsprojekt framför den upphandlande organisationen krav på hur entreprenaden ska utföras (Nordstrand 2008). I tabell 1 och 2 har ett antal exempel på svenska kommuners krav på etableringsbevattning i garantiskötseln sammanställts. I tabell 1 framgår det att många kommuner ställer frekvensbaserade krav på hur etableringsbevattningen ska

utföras. Enligt Jansson & Randrup (2020) är frekvensbaserade skötselkrav mindre flexibla, är det exempelvis en torr sommar kan trädet komma att behöva vatten oftare än den beskrivna frekvensen. Därtill är många av kraven generella och anpassas bara i liten mån efter faktorer som kan påverka etableringen av träd, vilket diskuteras mer i kapitel 4. De generella och frekvensbaserade skötselbeskrivningarna medför därför en risk att bevattningen inte utförs utifrån trädets faktiska behov. Trots att flera kommuner har exakta värden på mängder, frekvenser och tidsperioder för utförandet framgår det sällan hur dessa siffror framtagits, trots att de i viss mån skiljer sig från varandra. I tabell 2 framgår att flera kommuner saknar krav på kontroll av de skötselkrav som ställs. Trots detta påvisar Persson och Kristofferson (2019) att kontroll i praktiken ofta behövs eftersom relationen mellan parterna annars behöver vara nästintill perfekt. Genomförs ingen kontroll finns det därför risk att skötselmomenten inte uträttas som önskat. Sammanfattningsvis indikerar resultatet från tabell 1 och 2 att många svenska kommuner använder frekvensbaserade och generella skötselbeskrivningar och saknar kontrollkrav vilket kan försämra kvalitén på etableringsbevattningen av stadsträd.

Tabell 1. Skötselbeskrivningar i specifikationer för garantiskötsel bland svenska kommuner på etableringsbevattning (Boden kommun 2019; Göteborg stad 2022; Järfälla kommun 2020; Lidingö stad 2014; Luleå kommun 2019; Norrköping kommun 2012; Nybro kommun 2020; Trosa kommun 2015; Upplands-Bro kommun 2021; Uppsala kommun 2010).

Kommun	Tidsperiod	Frekvens	Mängd
Boden	År 1	Kontinuerligt under växtsäsong.	Ospecificerat.
	År 2	- -	- -
Göteborg	År 1	1 gång/vecka (1/5–31/8).	200 liter/gång.
	År 2	1 gång / varannan vecka (1/5–31/8).	250 liter/gång.
	År 3	1 gång/tredje vecka (1/5–31/8).	300 liter/gång.
Järfälla	År 1	2 gång/vecka (15/4–15/8) därefter 1 gång/vecka (16/8–15/9).	140 liter/gång. Alltid fuktig.
	År 2	1 gång/vecka (15/4–15/8) därefter 1 gång/varannan vecka (16/8–15/9).	- -
Lidingö	År 1	1 gång/vecka (15/4–15/8) därefter 1 gång/varannan vecka (16/8–15/9).	140 liter/gång. Beroende på väderlek.
	År 2	1 gång/varannan vecka (15/4–15/9).	- -
Luleå	År 1	1 gång/vecka (1/5–31/8).	Minst 70 liter/gång.
	År 2	- -	- -
Norrköping	År 1	1 gång/vecka.	Minst 70–360 liter/gång. Beroende på kvalitet.

	År 2	1 gång/varannan vecka.	- -
	År 3	1 gång/tredje vecka.	- -
Nybro	År 1	1 gång/vecka (1/4–31/8).	Beroende på kvalitet 75–150 liter/gång.
	År 2	- -	- -
	År 3	- -	- -
Trosa	År 1	Utförs under torrperioder.	Ospecificerat.
	År 2	- -	- -
Upplands-Bro	År 1	1 gång/vecka.	75–250 liter/gång. Beroende på kvalitet och väder, alltid fuktig.
	År 2	1 gång/varannan vecka.	- -
Uppsala	År 1	Minst 1 gång/vecka (15/4–31/8).	Minst 140 liter/gång. Alltid finnas växttillgängligt vatten.
	År 2	- -	- -

Tabell 2. Kontrollkrav i specifikationer för garantiskötsel bland svenska kommuner på etableringsbevattnings (Boden kommun 2019; Göteborg stad 2022; Järfälla kommun 2020; Lidingö stad 2014; Luleå kommun 2019; Norrköping kommun 2012; Nybro kommun 2020; Trosa kommun 2015; Upplands-Bro kommun 2021; Uppsala kommun 2010).

Kommun	Förekomst	Eventuell beskrivning av kontrollkrav
Boden	Saknas.	—
Göteborg	Förekommer.	Entreprenören undersöker så att inget stående vatten förekommer. Vattensäckars funktion kontrolleras.
Järfälla	Förekommer.	Entreprenör utför regelbunden fuktmätning samt upprättar kontrollplan. Åtgärder dokumenteras och överlämnas.
Lidingö	Förekommer.	Entreprenör utför regelbunden fuktmätning.
Luleå	Förekommer.	Entreprenör undersöker regelbundet om stående vatten förekommer.
Norrköping	Förekommer.	Entreprenör undersöker regelbundet om stående vatten förekommer.
Nybro	Saknas.	—
Trosa	Saknas	—
Upplands-Bro	Saknas	—
Uppsala	Förekommer.	Entreprenör utför regelbunden fuktmätning. Åtgärder dokumenteras och överlämnas.

3.3 Appliceringstekniker

Om bevattningen av stadsträd bara utförs med slang, utan en genomtänkt teknik för hur vatten ska appliceras, är det lätt att vattnet ytavrinner och inte når ned till trädets rotsystem (Sjöman & Slagstedt 2015b). Därför finns idag flera förekommande appliceringstekniker för etableringsbevattning av stadsträd. Nedan redogörs för ett antal tekniker som kan vara tillämpliga.

Eftersom det som tidigare nämnt ofta saknas vattenpost på platsen, kan utförandet behöva ske med tankbil (Sjöman & Slagstedt 2015b). Därför kan det ofta vara önskvärt med tekniker som möjliggör applicering utan tillgång på vattenpost. En vanligt förekommande teknik som möjliggör för detta är att använda bevattningsvallar (Harris et al. 1999), se figur 1. Bevattningsvallar skapas genom att forma en vall runt trädets stam med hjälp av jord eller marktäckningsmaterial så att en grund fördjupning bildas (Sjöman & Slagstedt 2015b). Vid bevattningen fylls fördjupningen med vatten som sedan sakta kan perkolera ned i markprofilen, vilket säkerställer att vattnet inte avrinner på ytan och hamnar utanför trädets rotsystem (ibid.). Den långsamma perkolationen medför också att trädet kan ta tillvara på mer vatten utan att det dräneras bort för fort (Watson & Himmelick 1997). En viktig aspekt vid användande av denna teknik är att vallen uppförs längs kanten av rotsystemet och inte kanten av planteringshålet så att vattnet kommer rotsystemet tillgodo (ibid.). Allteftersom trädets rotsystem växer kan sedan vallen flyttas längre ut (Harris et al. 1999). Sjöman & Slagstedt (2015b) poängterar dock att vallen har en viss begränsning i hur mycket vatten den kan hålla samt att den kan ta tid att fylla. Vidare kan vallen bli genomväxt av rötter som står kvar efter etablering, vilket kan bli ett problem vid gräsklippning (ibid.). Harris et al. (1999) påpekar också att det är viktigt att vallen tas sönder efter säsongen så att inte vatten blir stående över vintern och ger för blöta förhållanden för träden. Sammanfattningsvis indikeras att bevattningsvallen har vissa begränsningar men kan vara en användbar metod.



Figur 1. Bevattningsvall på träd i Alnarp. (Fotografi: författaren)

En annan teknik som möjliggör för applicering med tankbil och numera är mycket populär vid bevattning av träd är bevattningssäckar (Sjöman & Slagstedt 2015b). Utifrån de skötselbeskrivningar som tas upp i tabell 1 och 2 indikeras att detta också är den överlägset mest använda metoden bland svenska kommuner. Bevattningssäckarna har sömmar som monteras kring stambas och trädstöd och sedan fylls med vatten. Ur säckarnas sömmar sipprar därefter vatten ut under omkring 4–8 timmar och perkolerar sedan ned till trädet i en långsam takt (ibid.). Denna teknik kan vara effektiv då den släpper ut vatten i en takt så att vattnet hinner tas upp av trädet och möjliggör samtidigt för att ge en exakt mängd vatten (Watson & Himmelick 1997). Normalt innehåller bevattningssäckar 75 liter per säck men flera säckar kan också byggas ihop till en större vilket gör att mer vatten kan komma trädet tillgodo (Sjöman & Slagstedt, 2015b). Säckarna kan med fördel användas i miljöer som klipps med gräsklippare till skillnad mot bevattningsvallar vars vallkant kan bli ett skötselproblem. Dock bör säckarna kontrolleras så att de inte sätter igen, vattnet bör ha sipprat ut inom 10–12 timmar (ibid.). Förutsatt att de kontrolleras tillräckligt kan bevattningssäckar alltså vara en användbar metod.



*Figur 2. Bevattningssäckar på stadsträd i Malmö.
(Fotografi: författaren)*

Om det finns en vattenpost på platsen kan droppbevattning vara en användbar teknik när flera träd i en större planteringsyta ska bevattnas (Watson & Himmelick 1997). Detta system består av en slang med utsläppshål som placeras vid varje rotklump och sedan fylls på från en ansluten vattenpost (ibid.). Hitchmough & Fieldhouse (2004) anser att denna teknik möjliggör för att applicera vatten under natten, då evapotranspirationen är som lägst, vilket minskar risken för att vattnet avdunstar utan att komma trädet tillgodo. Dock anser Harris et al. (1999) att tekniken är mindre lämplig för etablering av stadsträd och mer lämplig för etablering av små, lågväxande växter. Alltså råder det delade meningar gällande lämpligheten i att använda droppbevattning.

En annan teknik som kan användas då vattenpost finns att tillgå och när fler träd i en större planteringsyta ska vattnas är sprinklerbevattning (Watson & Himmelick

1997). Tekniken möjliggör för en långsam applicering vilket gör att det mesta vattnet hinner tas upp av rotklumpen (ibid.). Därtill kan det medföra att rotsystemet växer ut över en större yta och inte enbart lockas dit bevattningen appliceras ifrån eftersom sprinklern sprider vattnet över en större yta (Harris et al. 1999). Dock riskerar sprinklerbevattning att kompaktera jordytan och dessutom skada växter som står för nära utkastaren (ibid.). Detta indikerar att sprinklerbevattning inte med säkerhet är en användbar metod.

3.4 Kvalité och ekonomi

För att träd ska bli etablerade är förstås en förutsättning att de överlever etableringsperioden. Som tidigare nämnt ser verkligheten tyvärr ibland annorlunda ut. Nowak et al. (1990) visar att 34% av träden längs en Boulevard i Oakland dog under etablering, Gilbertson & Bradshaw (1990) visar att 23 % av träd i centrala Liverpool dog under etablering och Roman et al. (2014) visar att 29 % av träden dog under etablering i ett projekt för bostadsområden i Sacramento. Visserligen är dessa studier utförda i andra länder än Sverige, men indikerar likväl att åtgärder för att förbättra överlevnaden av stadsträd under etablering kan ha stora effekter. För att vara resurseffektivt bör samtidigt de insatser som görs för att få fler träd att överleva kosta mindre än kostnaden för att plantera nya träd. Med hjälp av två kalkyler strävar detta kapitel därför till att undersöka hur stor andel av kostnaden att återplantera träd som etableringsbevattning utgör samt till att jämföra två skötselbeskrivningar med olika frekvenskrav mot varandra.

I Alnarpsmodellen (Östberg et al. 2015) för ekonomisk värdering av återanskaffningskostnaden för träd illustreras kostnaden av att plantera ett nytt träd. Enligt denna modell kostar inköp av träd från 1 500 kr för träd med stamomfång 12–14 upp till omkring 16 000 för träd med stamomfång 25–30. Vidare tillkommer kostnader från 13 500 – 24 000 kr för planterings- och etableringskostnader där etableringsbevattning förstås ingår. Den totala kostnaden för att återplantera träd kan således vara 15 000 – 40 000 kr.

För att ge ett ungefärligt exempel på kostnaden och tidsåtgången för etableringsbevattning för de två första åren har två skötselbeskrivningar från tabell 1 jämförts. I tabellen framgår det att Järfälla är den kommun som vattnar flest gånger, 38 gånger första året och 19 gånger andra året. Detta kan jämföras med Göteborg som är en av de kommuner som vattnar minst, 16 gånger första året och 8 gånger andra året. Tidsåtgången att vattna varje träd är förstås svår att bestämma och påverkas av hur lång transportsträckan för att hämta vatten är. Dessutom kan det skilja i hur mycket vatten som appliceras, exempelvis gör flera kommuner stor skillnad på vattenmängd beroende på kvalitet. Med reservation för stora variationer

uppskattas dock för exemplet att tidsåtgången är 5 minuter för transport och 5 minuter för applicering, alltså totalt 10 minuter per träd och gång. Slutligen kan också en timkostnad för bevattningen adderas, kostnaden utgörs framför allt av arbetstimmar och bara en liten del utgörs av kostnaden för förbrukat vatten. I Ängelholms trädplan (2010) görs exempelvis en beräkning på etableringsbevattning där kostnaden för maskin och personal inkluderas. Maskinkostnaden beräknas till 500 kr/timme och personalkostnaden till 320 kr/timme vilket ger en total arbetskostnad på 820 kr/timme. Med hjälp av dessa ingångsvärden kan ett å-pris konstateras på ca. 140 kr/träd och gång när tidsåtgången är 10 minuter per träd och gång. Med hjälp av å-priset kan kostnaden för skötselbeskrivningarna i Järfälla och Göteborg jämföras, se tabell 3. Här framgår att den uppskattade kostnaden för två års etableringsbevattning av ett stadsträd i Järfälla är 7 980 kr och i Göteborg 3 360 kr. I kostnaden för att ersätta träd ingår således etableringsbevattning som en mer eller mindre stor andel. Dock ingår även kostnader för inköp och plantering i ersättningskostnaden för träd som kan undvikas om etableringsbevattningen utförs korrekt. Detta indikerar att det finns ekonomiska incitament för ökade investeringar av etableringsbevattningen om det kan generera ökad överlevnad. Samtidigt visar jämförelsen mellan de två kommunernas skötselbeskrivningen att kostnaderna för etableringsbevattning kan mer än dubblas beroende på hur skötselbeskrivningen är utformad.

Tabell 3. Kostnadskalkyl av etableringsbevattning per stadsträd i Järfälla och Göteborg då tidsåtgången är 10 minuter per gång och arbetskostnaden 820 kr/timme. (Järfälla kommun 2020; Göteborg stad 2022).

	Frekvens	Kostnad/år	Totalkostnad
Järfälla			
År 1	38 ggr	5 320 kr	
År 2	19 ggr	2 660 kr	
Total	57 ggr		7 980 kr
Göteborg			
År 1	16 ggr	2 240 kr	
År 2	8 ggr	1 120 kr	
Total	24 ggr		3 360 kr

Eftersom tidsåtgången per träd och gång i den uppställda kalkylen påverkas mycket beroende på hur mycket vatten som appliceras samt hur lång transportsträckan för att hämta vatten är kan också en känslighetsanalys genomföras. Detta för att redogöra för hur kostnaden kan variera beroende på variationer i tidsåtgång. I tabell 4 redovisas därför den totala kostnaden för två års etableringsbevattning av ett stadsträd i Järfälla och Göteborg med olika tidsåtgång. Här framgår att variationer

i tidsåtgång även genererar motsvarande variationer i kostnad. Kostnaden för etableringsbevattning kan därför påverkas mycket, exempelvis beroende på hur lång transportsträckan för att hämta vatten är.

Tabell 4. Kostnads kalkyl av etableringsbevattning per stadsträd i Järfälla och Göteborg vid olika tidsåtgång när arbetskostnaden 820 kr/timme. (Järfälla kommun 2020; Göteborg stad 2022).

	5 min	10 min	20 min
Järfälla			
Total kostnad	3 990 kr	7 980 kr	15 960 kr
Göteborg			
Total kostnad	1 680 kr	3 360 kr	6 720 kr

Sammanfattningsvis uppvisar kapitlet att kostnaden för etableringsbevattning kan vara en relativt stor andel av kostnaden för att ersätta träd men att det trots detta kan finnas ekonomiska incitament för investeringar i etableringsbevattning om det kan generera ökad överlevnad av stadsträd. Samtidigt visas att kostnaden för etableringsbevattning kan skilja mycket beroende på frekvens och tidsåtgång.

4. Faktorer som påverkar trädets etableringsförmåga

För att etableringsbevattningen av träd ska vara biologiskt optimal så att trädets överlevnad och långsiktiga utveckling säkerställs bör man sträva efter att låta etableringsperioden gå så fort som möjligt (Harris & Day 2017). Ju längre tid det tar för trädet att ta sig igenom denna riskfyllda fas desto mer riskeras trädets överlevnad och framtida utveckling. Drar etableringen ut på tiden riskerar också den förlängda etableringsbevattningen att ge ökade kostnader (ibid.). Således är det avgörande att etableringsbevattningen i första hand utformas med hänsyn till trädets biologiskt optimala utveckling. Detta gör att en förståelse för de faktorer som påverkar trädets etableringsförmåga är avgörande. Idag visar forskning att många faktorer spelar in i trädets etableringsförmåga och i detta kapitel görs ett försök att sammanställa kunskapsläget på området.

4.1 Artspecifika faktorer

Forskning visar att trädets etableringsförmåga kan påverkas av artspecifika faktorer. För det första kan rotsystemets karaktär skilja sig mellan arter och således påverka förmågan att etableras. Yin et al. (2014) indikerar nämligen att vissa arter har en större andel finrötter inom rotklumpen vid plantering. En större mängd finrötter ökar trädets möjlighet att ta upp vatten och därmed möjlighet att etableras. De visar också att arter med mer finrötter inom rotklumpen inte påverkades lika mycket av vilken tid på året de planterades. I en amerikansk studie på fyra lövträd visar även Harris et al. (1995) på liknande resultat. De drar slutsatsen att arter som generellt är lättetablerade har en större mängd finrötter inom rotklumpen vid plantering än arter som är svåretablerade. En annan orsak till att trädets etableringsförmåga kan påverkas av artspecifika faktorer är variationer i kapacitet att återbilda rötter. Harris & Gilman (1991) visar att tre arter odlade under samma förhållanden hade avsevärt olika mycket rotmassa utanför rotklumpen 10 veckor efter plantering. Även Buckstrup & Bassuk (2000) indikerar att olika arter kan ha olika god förmåga att återbilda rotsystemet. Detta eftersom forskarna, beroende på artspecifika skillnader i optimal planteringstidpunkt, kunde tyda en skillnad i återväxt av rotsystemet (ibid.). Resultaten från dessa två studier styrks även av Lyr & Hoffman (1967). De

påvisar att kapaciteten att återbilda rötter är artspecifik som en följd av variationer mellan arters optimala temperatur för rottillväxt (ibid.). En slutlig orsak till artspecifika skillnader i etableringsförmåga kan vara olika arters förmåga att hantera stress. Hiron & Percival (2011) framhåller nämligen att olika arters förmåga att hantera perioder av underskott såväl som överskott av vatten är en påverkande orsak i arters etableringsförmåga. Dock påtalar Sjöman & Slagstedt (2015a) upprepade gånger vikten av att ge torktåliga träd en noggrann etableringsbevakning eftersom de inte utvecklar en torktålighet förrän efter etableringen. Därför bör denna orsak betraktas med försiktighet.

På grund av ovanstående faktorer kan etableringsperiodens varaktighet skilja med ett till två år mellan olika trädarter (Harris & Day 2017). Idag finns därför utförliga sammanställningar över olika trädarters etableringsförmåga. I tabell 5 har etableringsförmågan för de 10 vanligaste trädarterna i nordiska städer (Sjöman et al. 2012) sammanställts utifrån studerad facklitteratur. Från tabellen framgår att det finns stora skillnader i etableringsförmåga bland dessa frekvent förekommande träd. Detta trots att Harris & Day (2017) påtalar att vanliga arter av stadsträd är just vanliga eftersom de är lätta att etablera. Därför skulle det troligen förekomma ännu större skillnader i etableringsförmåga om även mindre vanliga träd inkluderades. Sammanfattningsvis påtalar en mängd forskning att det finns artspecifika skillnader i etableringsförmåga och det kan således vara skäligt att anpassa etableringsbevakningen av stadsträd efter artspecifika faktorer.

Tabell 5. Tabell över etableringsförmåga enligt A: Watson & Himmelick (1997) och B: Sjöman & Slagstedt (2015a) av de 10 vanligaste trädarterna i nordiska städer (Sjöman et al. 2012).

Latinskt artepitet	Svenskt artepitet	Etableringsförmåga A (1: lättast – 4: svårast)	Etableringsförmåga B
<i>Acer platanoides</i>	Skogslönn	2	Lättetablerad.
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Hästkastanj	2	Lätt- och snabbetablerad.
<i>Betula pendula</i>	Vårtbjörk	2–3	Svåretablerad.
<i>Fraxinus excelsior</i>	Ask	1	Lättetablerad.
<i>Pinus sylvestris</i>	Tall	1–2	Mycket långsam att etablera.
<i>Sorbus x intermedia</i>	Oxel	1–2	Relativt lättetablerad men mycket känslig för torka under etablering.
<i>Sorbus aucuparia</i>	Rönn	1–2	Relativt lättetablerad men mycket känslig för torka under etablering.
<i>Quercus robur</i>	Skogsek	2	Svåretablerad.
<i>Tilia x europaea</i>	Parklind	1	Lättetablerad.
<i>Ulmus glabra</i>	Skogsalm	1	Lättetablerad.

4.2 Platsspecifika faktorer

Träds etableringsförmåga kan av flera orsaker också påverkas av platsspecifika faktorer. En orsak kan vara det klimat som råder på den plats där trädet planteras. Watson & Himmelick (1997) framhåller att klimat med en längre vegetationsperiod leder till en ökad rottillväxt och därmed en potentiellt snabbare etablering. En amerikansk studie (Harris et al. 1995) visar att rottillväxten för ett antal trädarter inleds på våren när temperaturen i jorden är 12 – 15° C och avslutas på hösten när temperaturen når 6 – 8 ° C. I Sverige kan vegetationsperiodens längd skilja över 100 dagar beroende på hur långt norr ut man befinner sig (SMHI 2021).

Markförhållandena på den plats där trädet planteras kan också avgöra dess etableringsförmåga, inte minst i urbana miljöer där förhållandena kan variera kraftig (Bühler 2009; Hiron & Percival 2011). Dels anses detta bero på karaktären på den jord som finns på växtplatsen. Hiron & Percival (2011) menar nämligen att jordens vattenhållande förmåga påverkar etableringsförmågan eftersom den kan ge stora skillnader i hur mycket vatten som finns tillgängligt för trädet. Detta beror på att vatten är olika hårt bundet till olika jordarter och kan därför ha olika mängd växttillgängligt vatten trots samma vattenhalt (Eriksson 2011). Exempelvis kan en sandjord med 20 volym-% vatten ha omkring 10 volym-% växttillgängligt vatten medan en lerjord med 20 volym-% vatten kan ha omkring 0 volym-% växttillgängligt vatten (ibid.). Vidare visar forskning att skillnader mellan jordsubstratet i rotklumpen och jordsubstratet i den omkringliggande marken påverka etableringsförmågan. Spomer (1980) framhåller att om jorden i rotklumpen är mer väl-dränerad än den omkringliggande jorden riskerar vattnet i rotklumpen att dräneras bort och utsätta trädet för torkstress. Detta beror på att det under de första åren främst är jorden i rotklumpen som tillför vatten till trädet eftersom rottillväxten än så länge är minimal (Sivyer et al. 1996). Således kan trädet utsättas för torkstress även om den omkringliggande jorden innehåller vatten vilket kan försvåra etableringen. Slutligen påtalar Harris (2007) att det även finns en risk att den omkringliggande jorden är kompakterad vilket begränsar rötternas möjlighet att utvecklas och försvårar därför etableringen.

Förhållanden ovan mark kan också påverka träds etableringsförmåga. Koeser et al. (2009) påtalar att milda och fuktiga väderförhållanden under etableringen kan minska träds vattenstress. Detta eftersom luftfuktigheten påverkar hur snabbt vatten evapotranspirerar och styr därigenom vattentillgången för trädet (Grossnickle 2005). Sjöman & Slagstedt (2015b) påvisar även att vind-, temperatur- och ljusförhållanden påverkar evapotranspiration. Slutligen anses skillnader i

ljusförhållanden under odling på plantskola jämfört med de på växtplatsen kunna påverka trädets förmåga att etableras (Fini et al. 2014).

Sammanfattningsvis indikeras att flera platsspecifika faktorer påverkar etableringen av stadsträd. Klimatologiska skillnader medför en risk med att använda erfarenheter om hur snabbt arter etableras från andra delar av världen eller till och med från andra delar av Sverige. De många skillnaderna i ståndortsförhållanden, ovan såväl som under mark, medför även en risk med att använda erfarenheter från platser som inte har identiska ståndortsförhållanden. Därför tycks det vara viktigt att anpassa bevattningsregimerna efter de just de platsspecifika förhållanden som råder på varje växtplats.

4.3 Kvalitet

En annan faktor som kan påverka träds förmåga att etableras är trädets kvalitet. För det första är det möjligt att storleken på trädet vid plantering påverkar hur snabbt träd etableras. Detta eftersom flera studier (Lauderdale et al. 1995; Gilman et al. 1998) visar att mindre kvaliteter av samma art hade en kraftigare tillväxt under etableringen än större kvaliteter. Samtidigt påtalar Sherman et al. (2016) att mindre träd inte nödvändigtvis behöver etableras snabbare i urbana sammanhang där förhållandena är betydligt tuffare än vad träd får i normala forskningsommanhang. För det andra kan produktionsmetoden som träd odlas i på plantskolan avgöra förmågan att etableras. Watson & Himmelick (1997) påtalar exempelvis att fältodlade träd generellt sett etableras snabbare än krukodlade träd. Samtidigt visar Gilman (2001) att produktionsmetoden vid etablering av *Quercus virginiana* hade liten effekt förutsatt att de gavs en regelbunden etableringsbevattning under första säsongen. Även Koeser et al. (2014) visar i en studie som återbesökte gamla planteringsprojekt i Florida, att överlevnad efter etablering inte varierade beroende av produktionsmetoden. Således råder det delade meningar om huruvida kvalitet påverkar träds förmåga att etableras.

4.4 Sammanfattning

Sammanfattningsvis finns det flera tecken som pekar på att etablering av träd är en komplicerad process som bygger på flera faktorer. Det tycks finnas konsensus om att flera art- och platsspecifika faktorer spelar in vid etablering av stadsträd medan det råder mer delade meningar rörande kvalitet. Med hänsyn till alla dessa faktorer pekar flera forskare på att det är svårt att ge generella beskrivningar för hur all bevattning ska utföras och att bevattningen istället bör anpassas efter de specifika behov som råder i respektive fall (Sivyer et al. 1996; Harris 2007; Hiron & Percival

2011; Volo et al. 2015). Nästa kapitel kommer därför identifiera och behandla metoder för hur en mer behovsanpassad bevattningsregim kan utformas.

5. Metoder för en biologiskt optimal bevattningsregim

Som framgår av kapitel 4 är det många faktorer att ta hänsyn till vid etableringsbevattning av stadsträd och bevattningen bör därför anpassas efter de specifika trädens behov. En biologiskt optimal bevattningsregim kan därför behöva inkludera mer avancerade metoder för att anpassa bevattningen efter trädets behov. Utifrån den behandlade litteraturen har två frekvent diskuterade metoder för att behovsanpassa etableringsbevattning av stadsträd valts ut. Den ena metoden utgörs av modeller baserade på evapotranspiration och den andra metoden utgörs av fuktsensorer. Detta kapitel diskuterar dessa metoder.

5.1 Modeller baserade på evapotranspiration

Med hjälp av beräkningsmodeller baserade på hur snabbt evapotranspirationen sker kan träds förväntade vattenförbrukning bedömas för att ge en indikation på hur mycket vatten som behöver appliceras och när (Fini & Brunetti 2017). Detta möjliggör därför för att använda modeller baserade på evapotranspiration vid planerandet av en behovsanpassad etableringsbevattning. Tidigare har modellerna som används bara kunnat ge ungefärliga uppskattningar på evapotranspirationen (Harris et al. 1999) och därför kritiserats för att främst lämpa sig till mer homogena odlingsförhållanden än en typisk stadsmiljö (Hirons & Percival 2011). Sen dess har dock mer avancerade metoder lanserats som påstås kunna ta hänsyn till mer specifika faktorer och därmed ge ökad precision (Fini & Brunetti 2017). Ett sådant exempel är LIMP, framtagen av Snyder et al. (2015). LIMP beräknar en landskapsbaserad evapotranspiration, ET_L , utifrån ett referensvärde baserat på evapotranspirationen från en välvattnad gräsyta i samma klimat. Referensvärdet anpassas sedan utifrån faktorer som ståndort, artsammansättning och hur tät vegetationen på platsen är. För att utföra dessa beräkningar krävs väderdata, referensvärden för evapotranspiration i olika mikroklimat samt temperatur-, ljus- och fuktighetsmätningar (ibid.). Dessvärre har även mer moderna modeller såsom denna kritiserats för sin lämplighet för urbana miljöer. Saher et al. (2021) påvisar nämligen att mer avancerade modeller såsom LIMP än idag brister i sin förmåga att ge precisa bedömningar i urbana landskap där artsammansättningar och ståndorter

ofta varierar. Sammanfattningsvis finns det därför en risk att modeller baserade på evapotranspiration ännu brister i sin förmåga att bidra med en mer behovsanpassad etableringsbevattning av stadsträd.

5.2 Fuktsensorer

Fuktsensorer är en teknik som enligt Sjöman & Slagstedt (2015b) har blivit allt vanligare i större trädplanteringsprojekt. Genom att mäta jordens fukttinnehåll kan fuktsensorer nämligen vara effektiva hjälpmedel för att höja kvalitén på bevattningsregimen. För det första visar Gimpel et al. (2021) att mätningarna kan användas för att styra utförandet av bevattningen. Detta möjliggör dels för att bevattna efter trädens faktiska behov och dels för att slippa utföra inplanerade bevattningsmoment när bevattning inte behövs (ibid.). För det andra framhåller Symes & Connellan (2013) att den kunskap som så småningom byggs upp om trädets förbrukning kan användas för att planera frekvens, mängd och tidsperiod för framtida bevattningar på andra träd där förutsättningarna är liknande. För det tredje kan fuktsensorer användas av både beställare och utförare av etableringsbevattning i syfte att kontrollera att bevattningen utförs korrekt, eftersom data från fuktsensorerna även redovisar när fukthalten ökar efter utförd bevattning (ibid.). På så vis kan ett mer sanningsenligt förhållande skapas mellan beställare och utförare så att det inte råder några oklarheter i huruvida bevattningen har utförts. För det fjärde anses även fuktsensorer kunna bidra till en minskad vattenförbrukning. McCready & Dukes (2011) visar i en studie att fuktsensorer kan sänka vattenanvändningen vid bevattning med 73 % jämfört med en frekvensbaserad bevattningsregim.

För att fungera effektivt måste vissa typer av fuktsensorer kalibreras till ett tröskelvärde. Tröskelvärdet är ett värde på den fukthalt i jorden som är acceptabel innan bevattning måste utföras för att upprätthålla en tillräcklig fuktnivå för trädet (Fini & Brunetti 2017). Enligt Hiron & Percival (2011) kan detta värde skilja mycket beroende på jordens vattenhållande förmåga. Som tidigare nämnt kan olika jordarter ha olika mycket växttillgängligt vatten trots samma vattenhalt (Eriksson 2011). Fältkapaciteten är ett värde på den maximala mängd växttillgängligt vatten som en jord kan hålla efter att fritt vatten runnit av. Den permanenta vissningsgränsen är det gränsvärde då det växttillgängliga vattnet tar slut och det vatten som finns kvar i jorden är för hårt bundet för att kunna tas upp av växten. Vattnet som finns i jorden vid den permanenta vissningsgränsen är bundet med ett undertryck på minst 1 500 kilopascal (kPa) dock kan växterna vanligen inte ta upp vatten hela vägen till vissningsgränsen (ibid.). Därför påvisar Harris et al. (1999) att växter bör vattnas före bindningskraften överstiger 70 kPa. Återigen är dock värdet för vissningsgränsen varierande för olika jordar (Eriksson 2011). Fini &

Brunetti (2017) framhåller att fältkapaciteten och den permanenta vissningsgränsen är viktiga att identifiera för den specifika jorden vid användning av fuktsensorer. Dessa värden kan identifieras med hjälp av jordprov från den jord som ska användas genom att fuktsensorerna grävs ned i jordprovet och sedan kalibreras till de olika fuktnivåerna (ibid.). Watson & Himmelick (1997) påtalar att det under de första åren av etablering framför allt är viktigt att kontrollera fukthalten i rotklumpen eftersom det är där den största delen av rotsystemet finns.

Idag finns både enklare utrustning och mer sofistikerad utrustning av fuktsensorer (Symes & Conellan 2013). Den mer sofistikerade utrustningen är också dyrare och därför måste kravet på precision vägas mot kostnaden (ibid.). Utöver precision kan mer sofistikerad utrustning enligt Hilaire et al. (2008) även själv bedöma när bevattningen ska påbörjas samt i vilken mängd och frekvens. Dessutom visar forskarna att skillnader i fuktnivåer, jordtyper och salthalter kan påverka känsligheten hos olika sensorer. Därför kan tekniken även behöva undersökas på den tilltänkta växtplatsen för att avgöra dess effektivitet. Antalet och placeringen av sensorerna avgör också vilken kunskapsnivå som kan uppnås. En enda sensor placerad vid rotzonen kan ge tillräcklig information för att förstå bevattningsbehovet men flera sensorer med olika placering kan ge en förbättrad förståelse (Symes & Conellan 2013). Placeras de på olika djup i markprofilen kan vatten i olika zoner samt vattnets rörelse bedömas. Övervakas sensorerna dessutom digitalt i realtid kan förståelsen öka än mer (ibid.).

Idag finns två typer av vanligt använda fuktsensorer, dels fuktsensorer som mäter jordens markvattenpotential och dels volymetriska sensorer som mäter volymandelar vatten i jorden (Fini & Brunetti 2017).

En vanlig teknik som mäter markvattenpotential är idag tensiometrar (Thalheimer 2013). Tensiometrar är ett slags rör fyllt med vatten med en ände av porös keramik i botten (Harris et al. 1999). Allt eftersom jorden torkar kommer jordens undertryck suga vatten ur keramikänden vilket skapar ett vakuum inne i tensiometern. När jorden blir blöt igen går vatten istället tillbaka in i röret. För att tensiometern ska fungera effektivt är det viktigt att keramikänden placeras just där man vill avläsa (ibid.). Tekniken mäter jordens markvattenpotential som sedan direkt kan översättas till jordens innehåll på växttillgängligt vatten (Thalheimer 2013). Således krävs ingen platsspecifik kalibrering vilket gör att de lämpar sig väl för en bred variation av jordar och bevattningsregimer. Därför är tensiometrar mycket effektiva fuktsensorer (ibid.). Samtidigt påtalar Gimpel et al. (2021) att de ofta är omkring 4–5 gånger dyrare, svårare att installera samt mindre robusta jämfört mot volymetriska sensorer.

Volymetriska sensorer är en vanligt förekommande teknik idag som ofta representeras av FDR-sensorer (*Frequency Domain Reflectometry*) och TDR-sensorer (*Time Domain Reflectometry*) (Fini & Brunetti 2017; Scheberl et al. 2019). Sensorerna mäter jordens vattenvolym med hjälp av skillnader i permittivitet (Scheberl et al. 2019). Precisionen kan visserligen variera beroende på jordens textur och saltinnehåll men de kan kalibreras för att göra precisa mätningar i den specifika jorden. FDR- och TDR-sensorer kan därför effektivt anpassas till urbana jordar och kan samtidigt ge snabba avläsningar (ibid.). Visserligen finns det billigare mätare, men Fini & Brunetti (2017) framhåller att FDR- och TDR-sensorer fortfarande är relativt billiga sett till den precision som ges. Som tidigare nämnt påpekar också Gimpel et al. (2021) att volymetriska sensorer är billigare, lättare att installera och mer robusta än tensiometrar.

Sammanfattningsvis påvisar litteraturen att fuktsensorer kan bidra till en förbättrad etableringsbevattning av stadsträd på flera sätt. Genom att använda fuktsensorer kan en mer behovsstyrd bevattningsregim implementeras och samtidigt ge möjlighet för planering, kontroll och minskad vattenförbrukning. På så vis kan fuktsensorer i sig vara en metod för att upprätta en biologiskt optimal bevattningsregim som samtidigt är resurseffektiv att utföra. Idag finns dock olika typer av fuktsensorer med skillnader i precision, kalibreringsbehov, krav vid installation, robusthet samt pris.

5.3 Resurseffektivt utförande av behovsanpassad etableringsbevattning

Forskning idag visar att bristande resurser i form av tid och pengar är aktuella begränsningar gällande etableringsbevattning av stadsträd. Roman et al. (2015) påtalar att det därför är viktigt att tilldela mer resurser till skötsel under etableringsperioden. I dagsläget pekar dock Randrup et al. (2021) på att skötselresurser i nordiska städer snarare kommer minska till följd av att budgetar inte ökar i proportion till att städerna växer. Därför kan utförare och beställare av etableringsbevattning behöva söka kostnadseffektiva alternativ för att förbättra etableringsbevattningen av stadsträd. Scheberl et al. (2019) framhåller att en viktig del är att hitta kostnadseffektiva metoder för att övervaka jordens fuktighet vid bevattning. Som tidigare nämnt kan en bevattningsregim baserad på fuktsensorer minska bevattningsfrekvensen och vattenförbrukningen vid etableringsbevattning (McCready & Dukes 2011; Gimpel et al. 2021). Således kan användandet av fuktsensorer i sig vara en ekonomisk metod. Samtidigt måste detta inte alltid vara fallet, Sivyer (1996) visar att frekvensbaserad bevattning kan vara mer kostnadseffektivt än bevattning med fuktsensorer. För att skapa en behovsanpassad

bevattningsregim som samtidigt är resurseffektiv kan därför regimen behöva anpassas till begränsade resurser. En resursanpassning kan vara att endast använda fuktsensorer på utvalda referensträd. Gimpel et al. (2021) föreslår nämligen att fuktsensorer endast bör placeras på enstaka träd för att sedan användas som underlag till att fatta behovsanpassade bevattningsbeslut för övriga träd med liknande ståndortsmässiga förutsättningar. En annan resursanpassning anser forskarna kan vara att använda sensorer som inte är lika avancerade, de menar att volymetriska fuktsensorer är omkring 4–5 gånger billigare än tensiometrar. Jämfört med tensiometrar ger volymetriska sensorer visserligen inget exakt mått på det växttillgängliga vattnet samt måste kalibreras till växtplatsen. Däremot framhåller de att volymetriska sensorer ger en tillräckligt precis uppskattning av det växttillgängliga vattnet för att användas vid bevattningsplanering. Slutligen påpekar forskarna också att det alltid finns en risk med vandalism och stöld, att tekniken skadas vid installation samt att lågeffektiva sensorer minskar behovet av att byta batterier (ibid.). Således kan användandet av lågeffektiva, volymetriska fuktsensorer vara en resurseffektiv investering som är tillräckligt precis för ändamålet. Sammanfattningsvis kan en behovsanpassad bevattningsregim resurseffektiviseras genom att använda fuktsensorer på utvalda referensträd och att använda mindre avancerade och lågeffektiva fuktsensorer.

6. Fallstudie

6.1 Etableringsbevattning Helsingborg

För att undersöka den praktiska erfarenhet som finns idag gällande etableringsbevattning har en fallstudie med fokus på Helsingborg genomförts. Fallstudien fokuserar på Helsingborg eftersom man i kommunen har erfarenhet av att arbeta med behovsanpassade metoder i form av fuktsensorer. I fallstudien genomfördes tre semistrukturerade intervjuer, två med beställarsidan och en med utförarsidan. Som representant för beställarsidan står framför allt Åse Brunnström, områdesförvaltare i område centrum på stadsbyggnadsförvaltningen, hon benämns som *beställare*. För att fördjupa fallstudiens fokus på behovsanpassade metoder i genomfördes också en kompletterande intervju med Andréas Hall, utvecklingsingenjör på stadsbyggnadsförvaltningen som arbetar med uppkoppling av fuktsensorer på träd. I fallstudien benämns han som *utvecklingsingenjören*. Som representant för utförarsidan står en anonym delägare i ett entreprenadföretag som varit utförare i flera entreprenader av etableringsbevattning i Helsingborg, denne benämns som *utföraren*. All information och påståenden i detta kapitel bygger på dessa intervjuer.

6.1.1 Etableringsbevattning idag

Denna del av fallstudien beskriver hur etableringsbevattning i Helsingborg generellt sett utförs idag.

Organisering

Enligt *beställaren* ingår etableringsbevattningen i Helsingborg generellt som en del av garantiskötseln i totalentreprenader eller utförandentreprenader. Tidigare ingick garantiskötseln i den två år långa garantitiden, men nyligen har detta förändrats så att garantiskötseln löper under tre år. I Helsingborg är det vanligt att den huvudansvariga entreprenören handlar upp etableringsskötseln av en underentreprenör som i sin tur utför etableringsbevattningen. Detta har varit fallet när *utföraren* utfört etableringsbevattning i Helsingborg. Idag testar dock staden

alternativa lösningar på organiseringen av etableringsbevattnings. I ett pågående byggprojekt har Helsingborg nämligen enligt *beställaren* valt att hålla hela etableringsskötseln utanför byggentreprenaden och istället upphandlat den separat av en driftsentreprenör.

Kvalité

Idag anser *beställaren* att kvalitén på utförandet av etableringsbevattnings varierar. *Beställaren* menar att det ofta beror på entreprenörernas närvaro på platsen. Detta eftersom vissa entreprenörer sällan besöker projekten och därmed saknar en daglig uppsikt, vilket kan behövas när bevattningen inte fungerar som det ska eller behöver justeras. Vidare framhåller *beställaren* också att kompetensnivån hos entreprenörer varierar, trots att byggentreprenörer ska handla upp underentreprenörer med erforderlig kompetens. Denne anser att kunskap är avgörande för att entreprenörer ska vattna rätt så att vattnet kommer trädet tillgodo. Vidare behöver entreprenörer kunna utföra den regelbundna tillsyn som ofta krävs, t.ex. måste bevattningssäckar kontrolleras regelbundet så att de inte slammar igen. *Beställaren* anser att det är svårt att specificera sådana mer detaljerade delar av förfarandet vid upphandling och att kompetensen därför blir viktig.

I ett nyligen uppfört diagram redovisar *beställaren* mängden utgångna träd i olika delar av staden. Här framgår att man i område centrum hade 159 utgångna träd de senaste åren medan man i delområde norr hade 637 utgångna träd. *Beställaren* tror att den stora skillnaden beror på att det i delområde norr ingår stora exploateringsområden där man inte prioriterat träden tillräckligt vid anläggandet. Träden planterades nämligen i kompakterade jordar utan dränering samtidigt som etableringsbevattningen var bristfällig.

Skötselbeskrivningar

Enligt *beställaren* är skötselbeskrivningar för etableringsbevattnings i Helsingborg generellt sett frekvensbaserade, se tabell 6. De tar inte hänsyn till faktorer som kan påverka etableringen såsom art, växtplats eller kvalitet. *Beställaren* tror att skälet till att skötselbeskrivningarna är frekvensbaserade dels ligger i erfarenhet, man kör helt enkelt vidare på den mall som redan finns. Ett annat skäl tros vara att frekvensbaserade skötselbeskrivningar är kalkylerbara vilket underlättar för entreprenörer vid anbudsprocessen. Utifrån skötselbeskrivningen konstruerar sedan *utföraren* en skötselplan som lämnas in till *utföraren* och i detalj beskriver det planerade bevattningsförfarandet för projektet.

Tabell 6. Skötselbeskrivning för etableringsbevattning Helsingborg Stad (Brunnström, 2022)

År & Tidsperiod	Frekvens	Mängd
År 1 (15/4–30/9)	2 gånger/vecka	225 liter/gång
År 2 (15/4–30/9)	1 gång/vecka	300 liter/gång
År 3 (15/4–30/9)	1 gång/varannan vecka	300 liter/gång

En tendens som kan urskönjas är att frekvenserna som används i skötselbeskrivningarna för etableringsbevattning ibland är lågt satta. *Utföraren* anser nämligen att frekvenserna ibland inte räcker till och att kommunen då får köpa in extra bevattning av företaget som tilläggsarbete. Detta indikeras även av *beställaren* som påstår att det är ekonomiskt försvarbart för kommunen att sätta en lägre frekvens på bevattningen eftersom det minskar risken att man i förväg bekostar bevattning som senare visar sig överflödigt.

Kontroll

Beställaren använder två typer av kontrollmetoder vid etableringsbevattning. För det första ställer *beställaren* krav på att entreprenörer ska upprätta en skötselrapport där utförandet dokumenteras och sedan lämnas in. Dock framhåller *beställaren* att de skötselrapporter som vissa entreprenörer lämnar in ibland kan vara väldigt enkla. Därför förs en diskussion om att införa en standardiserad rapport för att säkerställa att informationen som lämnas in är tillräcklig. *Utföraren* använder ett skötselrapportsystem där bevattningspersonalen själv för dagbok över arbetet som sedan sammanställs med övriga skötselarbeten inom projektet och skickas till *beställaren*. Utöver skötselrapporten genomför *beställaren* även etableringskontroller två gånger per år. Dessa utförs genom en visuell bedömning där byggledande entreprenör, utförande entreprenör samt driftansvarig från kommunen deltar.

Planering och utförande

Utföraren börjar normalt planera sina projekt i mars. Då summeras de kommande projekten och man avgör vilket personal- och maskinbehov som projekten kräver. Bevattningen utförs normalt av en förare med flakbil och vattentank som tillsammans kallas vattenekipage. På större projekt används ibland lastbil för att slippa fylla på vatten så ofta. Vid planeringen tilldelar en skötselansvarig respektive vattenekipage ett visst antal projekt så att varje ekipage får sin runda. Normalt strävar man efter att ekipagen ska kunna vara på sina projekt minst en gång i veckan och att rundan ska gå mellan projekt som ligger i närheten av varandra. I början av april drar bevattningssäsongen normalt igång och då kan de planerade rundorna sedan justeras efter behov.

Vid bevattningsutförandet av nästan alla *utförarens* projekt används bevattningssäckar. Trots att skötselbeskrivningen som tillhandahålls från *beställaren* normalt ger generella riktlinjer planerar *utföraren* antalet säckar som används utifrån säsong, väderlek och trädets kvalitet. Därtill kan även förarna själva justera bevattningen på plats. Med sig har man nämligen enkla, mobila fuktsensorer som man provar vattenstatusen i klump och omgivande jord med innan bevattningsförfarandet inleds. Med hjälp av dessa justerar personalen hur mycket vatten som ges och avgör om man ens behöver applicera något vatten. Enligt *utföraren* används de mobila fuktsensorerna trots att det inte alltid ställs krav på det. Detta för att träden ska ges en optimal mängd vatten samtidigt som man kan spara tid genom att ibland kunna hoppa över bevattningsmoment. På hösten anser *utföraren* att de mobila fuktsensorerna fungerar särskilt bra. Detta eftersom fukthalten i jorden ofta är tillräcklig för att hoppa över bevattningen på hösten, vilket de mobila fuktsensorerna kan identifiera.

6.1.2 Behovsanpassad etableringsbevattning

Under de senaste åren har *beställaren* i Helsingborg även arbetat med att upprätta en mer behovsanpassad bevattning genom att montera fuktsensorer i flera olika sammanhang. Denna del av fallstudien beskriver hur Helsingborg har arbetat med fuktsensorer samt hur det påverkar deras förmåga att rationalisera etableringsbevattningen.

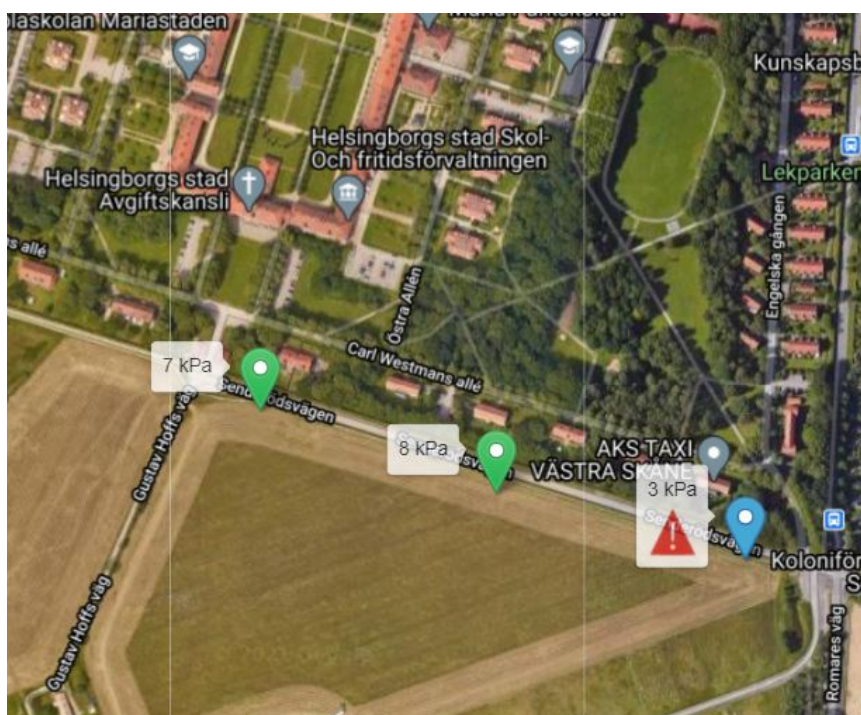
Tekniken

De fuktsensorer som används i Helsingborg mäter enligt *utvecklingsingenjören* jordfuktigheten med hjälp av marktryck i kilopascal (kPa), se figur 3. Fuktsensorn består av två fuktgivare kabelanslutna till en dosa innehållande batteri och kretskort. Fuktgivarna placeras i rotzonen på omkring 50–60 cm djup och den andra nära markytan på cirka 10 cm djup. Eftersom sensorerna är batteridrivna kan de placeras ut utan strömkälla. Batterierna behöver bytas mycket sällan eftersom batteritiden uppgår till omkring 12 år. På kretskortet



Figur 3. Fuktsensor som används i Helsingborg. Två fuktgivare är kabelanslutna till en dosa innehållande batteri och kretskort. (Foto: Andréas Hall, publicerat med tillstånd av fotografen 2022-02-25).

sitter en antenn som skickar signaler via ett så kallat LoraWan-nätverk. Till skillnad från nätverk såsom Bluetooth och WiFi som bara kan skicka signaler på omkring 150–200 meter kan LoraWan-nätverk skicka signaler på omkring 15 kilometer vilket ökar flexibiliteten. Fuktsensorn gör avmätningar och skickar signaler tre gånger per dygn. Signalen skickas då till en nätsluss, vidare till en server och hamnar slutligen i ett program som avkodar signalen. Programmet redovisas för användaren hur fuktigt det är vid respektive sensor, se figur 4. I Helsingborg används ett tröskelvärde för jordfuktighet på 5–25 kPa. Uppmätta värden under 5 kPa är växtbädden blöt och uppmätta värden över 25 kPa är växtbädden torr och bör vattnas. Dock påpekar *utvecklingsingenjören* att man upplevt en viss felmarginal med fuktsensorerna i leriga växtbäddar. Detta eftersom vissa delar av en lerig växtbädd kan vara väldigt torr medan andra delar kan vara betydligt fuktigare. Därför finns ibland en svårighet att mäta vattenhalten med fuktsensorer.



Figur 4. Karterade fuktsensordata längs en lindallé, Senderödsvägen i Helsingborg. Till vänster i bild befinner sig två sensorer inom det tröskelvärdet 5–25 kPa, till höger i bild befinner sig en sensor under tröskelvärdet och är därmed i nuläget för blöt. (Foto: Åse Brunnström, publicerat med tillstånd av fotografen 2022-02-25).

Användningsområden

I Helsingborg ser man flera användningsområden med den sensor-teknik som används. Dels framhåller *utvecklingsingenjören* att tekniken möjliggör för kommunen att ha kontroll över träden där fuktsensorerna är utplacerade så att bevattningen utförs korrekt. Tekniken kan också användas som ett hjälpmedel för

entreprenörer för att förbättra utförandet av etableringsbevattningen. Detta eftersom entreprenörer som använder systemet kan avgöra precis när det är dags att vattna men sensor-tekniken kan också användas vid planerandet av bevattningen. Programmet som redovisar sensordata innehåller nämligen också en väderprognos för de kommande dagarna. Om fuktsensoren t.ex. uppvisar värden på att växtbädden är torr men väderprognosen påtalar regn de kommande dagarna kan entreprenören tänkas avvakta med bevattningen. *Utvecklingsingenjören* betonar därför att tekniken genererar möjliga fördelar för båda parter, en ökad kontroll för kommunen och en förbättrad planering för entreprenörer.

Resurseffektivt utförande av en behovsanpassad etableringsbevattning

För att utföra en behovsanpassad etableringsbevattning resurseffektivt framhåller *beställaren* att ökade investeringar i en förbättrad etableringsbevattning är väl investerade pengar jämfört mot kostnaden att ersätta träd. *Beställaren* redovisar att kostnaden för att plantera normalstora träd (stamomfång 25–30 i dennes delområde) i genomsnitt var 21 000 kr per träd. I detta ingick kostnad för inköp, plantering samt etableringsbevattning. Kostnaden för etableringsbevattning beräknas till omkring 6000 kr per träd, dock med reservation för att den faktiska kostnaden kan vara svår att se eftersom entreprenörer enligt *beställaren* ofta undervärderar garantiskötsel. Därtill är kostnaden för de fuktsensorer som Helsingborg använder ungefär 3000 kr/styck men det kan tillkomma kostnader för programvara och funktioner. Även om kostnaden för fuktsensorer är hög poängterar *beställaren* att varje fuktsensorer kan återanvändas på nya träd. Dessutom betonar som tidigare nämnt *utvecklingsingenjören* att batteritiden kan uppgå till 12 år.

Fuktsensorer behöver dock inte enbart vara positivt för en resurseffektiv etableringsbevattning. *Utvecklingsingenjören* påpekar nämligen att fuktsensorerna inte självklart innebär att man sänker sina kostnader. Är det exempelvis en torr sommar kommer användningen av fuktsensorer antagligen leda till att man behöver vattna oftare än en frekvensbaserad bevattningsregim. Således anser denne att en bevattningsregim med fuktsensorer både kan leda till ökade kostnader för utförandet samt för vattenförbrukning.

I intervjuerna tas ett antal fall upp då man anser att den behovsanpassade bevattningsregimen är särskilt resurseffektiv att använda. Ett sådant fall är vid etableringsbevattning i trafikmiljöer. Dels tar *utvecklingsingenjören* upp ett projekt där man planterade träd i mittrefugen längs en motorväg. Detta är en mycket farlig arbetsmiljö som varje gång bevattning skulle utföras krävde fyra stycken så kallade TMA-bilar, ett slags påkörningsskydd som används vid vägarbeten. En TMA-bil kostade 1500 kr/timme vilket också innebar mycket höga kostnader vid varje bevattningsförfarande. Således var det viktigt att man såg till att bara vattna när det

verkligen fanns behov för det, vilket fuktsensorerna kunde bidra med att identifiera. *Beställaren* tar upp ett liknande projekt där fuktsensorer användes i kombination med en vattentank placerad vid sidan av vägen som sedan dropp-bevattnade ut vatten till träden. På så vis undvek man helt att en entreprenör behövde vistas i trafikmiljö varken för att vattna eller för att bedöma vattenbehovet. Därför anser både *beställaren* och *utvecklingsingenjören* att fuktsensorerna kan vara ett viktigt verktyg för att öka arbetsmiljösäkerheten och samtidigt spara pengar i trafikmiljö. Ett annat fall då *utvecklingsingenjören* förespråkar resurseffektiviteten i att använda fuktsensorer är i stora exploateringsområden där träd bevattnats av entreprenörer under garantitiden men överlämnas till kommunen när de fortfarande behöver bevattning. Om fuktsensorer används redan från början av projekten kan kommunen använda statistik från fuktsensorerna för att på förhand se trädens vattenbehov och därmed underlätta planeringen av den fortsatta bevattningen. Samtidigt är fuktsensorerna då förstås också användbara för entreprenören under garantitiden. Ett avslutande fall som tas upp är att använda fuktsensorer på utvalda referensträd i trädplanteringsprojekt. *Beställaren* tar upp ett exempel där 23 träd ska planteras längs en gata. Här planerar man att montera två fuktsensorer, en på det träd som anses stå blötest och en på det träd som anses stå torrast vilket ger en beskrivande bild över samtliga trädens fukthalt. På så vis behöver inte alla träd monteras med fuktsensor men kommunen och entreprenören får ändå en användbar referens för förbättrad kontroll och bevattningsrutin.

Den sensorteknik som används tycks dock inte på egen hand kunna bidra till en mer behovsanpassad och samtidigt resurseffektiv etableringsbevattning. Detta eftersom det kan finnas en risk med att helt förlita sig på fuktsensorerna. *Utvecklingsingenjören* framhåller nämligen att fuktsensorerna ibland uppvisat en svårighet att mäta vattenhalten i vissa jordar. Vidare tror *utföraren* att fuktsensorer inte kan utesluta en närvaro på plats vilket ses som avgörande för att kunna dra slutsatser om trädens vattenbehov. T.ex. anses det viktigt att kunna se symptom på vattenbehovet genom att bedöma utseendet på trädkronan. Som tidigare nämnt anser även *beställaren* att anledningen till den varierande kvalité som upplevs av etableringsbevattningen kan bero på entreprenörers närvaro. En annan viktig faktor för att utföra en mer resurseffektiv etableringsbevattning handlar om behovet av vattenposter. *Utföraren* anser nämligen att ett av de största problem man har idag är att det ibland är väldigt långt från vattenkiosken till platsen där man vattnar. Detta medför att man ibland har väldigt långa transporttider på uppemot en halvtimme, betydligt längre än tiden det tar att tömma en tank. Även *beställaren* lyfter behovet av vattenposter, särskilt i trång bebyggelse där det kan vara svårt att komma in med tankbil. Slutligen kan även omfattningen av etableringsbevattning påverkas negativt av den trend som finns idag av att använda mer väl-dränerade jordar vid anläggningen av växtbäddar. Detta eftersom *utföraren* påpekar att många träd som

planteras i alltför väl-dränerade jordar kräver betydligt mer vatten och ofta får en förlängd etableringsperiod. Detta anses ha medfört att kommunen ibland får överta träden efter garantiskötseln och fortsätta bevattningen i ett antal år. För att rationalisera etableringen av träd tror därför *utföraren* att man skulle kunna arbeta mer med vattenhållande jordar så att etableringen krävde mindre vattning och pågick under kortare tid.

6.2 Perspektiv från en annan stad

För att jämföra fallstudien i Helsingborg mot en annan stad har även en semi-strukturerad intervju från Malmö genomförts. Intervjun utfördes med Liliana Ravanshad, fram tills 2022 anställd på den kommunala förvaltningen kommunteknik som utför etableringsbevattning i Malmö. Erfarenheterna bygger på hennes tid på kommunteknik och hon kommer i arbetet benämnas *den kommunala utföraren*.

6.2.1 Etableringsbevattning idag

Denna del av fallstudien beskriver hur etableringsbevattning i Malmö generellt sett utförs idag.

Organisation

Till skillnad från i Helsingborg utförs etableringsbevattning i Malmö av kommunen. Enligt *den kommunala utföraren* beställs nämligen etableringsskötsel där etableringsbevattning ingår till förvaltningen kommunteknik av förvaltningen gatukontoret. Tidigare var Malmö uppdelat där kommunteknik skötte vissa delar och privata entreprenörer skötte andra, men från och med 2021 fick kommunteknik ta över hela Malmö.

Kvalité

Den kommunala utföraren saknar statistik på hur många träd som dör under etableringen. Däremot anser man att få träd dör under etableringen eftersom man arbetar hårt för att vara ständigt närvarande och kontrollera de träd som vattnas. Dessutom utförs tillsyn innan och efter säsongen där man förmedlar när träd har dålig vitalitet eller är döda för att sedan tillsammans med beställaren kunna rädda eller ersätta trädet.

Skötselbeskrivningar

Den kommunala utföraren påvisar att skötselbeskrivningen i Malmö ingår som en å-prislista som beställaren tillhandahåller för första året av etableringsbevattning. Efter det första året övergår trädet till den löpande driften hos utföraren vilket man

själv tillhandahåller rutiner för. Likt Helsingborg framhåller *den kommunala utföraren* att rutinerna i skötselbeskrivningarna normalt är frekvensbaserade och generella. Däremot anpassas etableringsbevattningen i Malmö efter art, ståndort, kvalitet samt uppskattningar av hur mycket vatten trädet förväntades förbruka. Genom en ständig kommunikation med beställaren genomförs också eventuella justeringar av rutinerna.

Kontroll

Den kommunala utföraren känner inte till att det ställs några krav på kontroll från beställaren utan inledningsvis förväntades bara att träden skulle överleva. Däremot utförs egen-kontroll med hjälp av fuktsensorer vilket beskrivs mer nedan.

Planering och utförande

Likt Helsingborg används fordon med vattentankar och bevattningssäckar även i Malmö men med vissa skillnader. Enligt *den kommunala utföraren* utförs bevattningen med tankvagnar som dras med traktorer. Rutinen går till genom att träden först bevattnas med så kallad toppbevattning vilket innebär att man vattnar direkt på rotklumpen för att fukta rotklumpen och jorden. Därefter fylls bevattningssäckar som monteras på trädstöden. Toppbevattningen utförs för att säkerställa att vattnet som sipprar ut från vattensäckarna faktiskt infiltrerar, en torr markyta kan vara svårinfiltrerad och medför en risk att vattnet från vattensäckarna istället ytavrinner. På större träd används både säckar på trädets stam och på trädstöd för att både hålla klumpen blöt men också främja att rötterna växer ut i omkringliggande mark. Beroende på art och kvalitet används tre till fyra bevattningssäckar per träd första året, andra året två säckar per träd och år tre endast en säck så att trädet efterhand blir mer självförsörjande. År 4 och 5 bedöms huruvida träden behöver vattnas alls, om de bara behöver toppbevattning eller om de fortfarande behöver bevattningssäckar.

6.2.2 Behovsanpassad etableringsbevattning

Precis som i Helsingborg har *den kommunala utföraren* i Malmö under de senaste åren börjat använda fuktsensorer i etableringsbevattningen av träd. Denna del av fallstudien beskriver hur man har arbetat med fuktsensorer samt hur det påverkar förmågan att rationalisera etableringsbevattningen.

Teknik och användning

Sensorerna som används är enligt *den kommunala utföraren* liknande som de som används i Helsingborg. Eftersom trädens rotsystem är djupt utför fuktsensorerna avläsningar på 30 och 60 centimeters djup. Således kan trädets vattenstatus identifieras och behovet av vatten bedömas.

På samma sätt som i Helsingborg används enligt *den kommunala utföraren* fuktsensorerna dels för att kontrollera att personalen utför bevattningen korrekt, även om det i detta fall handlar om den egna personalen. Därtill kan *den kommunala utföraren* använda fuktsensorer för att avgöra om bevattningsrutinen som tillämpas är rimlig eller om den behöver justeras. Exempelvis upptäckte man att det inte alltid blev tillräckligt blött i rotklumpen med den metod som tidigare användes vid utförandet och rutinen justerades då till den som beskrivs ovan.

Resurseffektivt utförande av behovsanpassade metoder

Den kommunala utföraren har inga exakta siffror på kostnaden för att ersätta ett träd och kostnaden för etableringsbevattning. Däremot anses kostnaden för att ersätta träd uppgå emot 30 000 kr, medan etableringsbevattningen för första året bedöms vara omkring 2000 kr. Kostnaden för fuktsensorer påstås vara mellan 5 000 och 7 000 kr. Även om dessa siffror är uppskattningar anser *den kommunala utföraren* i likhet med *beställaren* i Helsingborg att siffrorna indikerar lönsamheten i att sköta bevattningen ordentligt och att vara noggrann med kontrollen.

Det tycks dock svårt att använda fuktsensorer vid varje trädetablering. Även om *den kommunala utföraren* har svårt att se negativa sidor med fuktsensorer anses fuktsensorerna dyra att köpa in och budgeten vara begränsad. Av den anledningen bedöms det vara viktigt att måna om de resurser man har och förbruka dem till fullo. Således kan det, precis som i Helsingborg, finnas vissa tillfällen då fuktsensorer anses särskilt resurseffektivt att använda. *Den kommunala utföraren* menar att användningen av fuktsensorer därför prioriteras till större träd. Detta eftersom stora träd anses ha så pass stora rotklumpar att det vatten som sipprar ut från bevattningssäckarna inte alltid når hela klumpen och att man därför behöver toppbevattna klumpen. För att kontrollera att toppbevattningen av klumpen utförs korrekt anses fuktsensorer i dessa fall vara effektiva hjälpmedel.

För att den bevattningsregimen ska kunna utföras resurseffektivt förespråkar *den kommunala utföraren* precis som intervjupersonerna i Helsingborg andra metoder än fuktsensor-teknik. Denne anser nämligen att en kommunikation om delar som fungerar bra och delar som fungerar dåligt även är en viktig del för ett resurseffektivt utförande. Detta eftersom det kan möjliggöra för att utveckla fungerande lösningar och samtidigt påverka vilka resurser man får att arbeta med.

7. Diskussion

7.1 Resultatdiskussion

Resultatet från fallstudien stärker delvis den studerade litteraturen som betonar att kvalitén på etableringsbevattning av stadsträd ibland kan vara bristfällig (Gilbertson & Bradshaw 1990; Nowak et al. 2004; Koeser et al. 2014). En orsak till detta kan vara att fallstudien i likhet med tabell 1 indikerar att skötselbeskrivningar i svenska kommuner idag ofta är generella och frekvensbaserade. Detta trots att studerad litteratur visar att framför allt art- och platsspecifika faktorer påverkar etablering av stadsträd och att man därför bör anpassa bevattningen efter de specifika trädens behov (Sivyer et al. 1996; Harris 2007; Hiron & Percival 2011; Volo et al. 2015). Trots att Persson & Kristoffersson (2019) påtalar vikten av kontrollkrav i skötselbeskrivningar, påvisar dessutom fallstudien i likhet med tabell 2 att det ibland saknas tydliga krav på kontroll. Vidare anses begränsad kompetens och närvaron på projektplatsen från utföraren vara viktiga orsaker vilket ligger i linje med tidigare litteratur (Lunderot 2013). Samtidigt indikerar resultatet från fallstudien att det också finns undantag från ovan nämnda problematik, med utförare som uppvisar fullgod kvalitet genom att avvika från de generella beskrivningarna och istället anpassa bevattningen efter trädens behov vilket tyder på hög kompetens och närvaro. Utförarna justerar nämligen bevattningen efter flera, enligt litteraturen påverkande, faktorer med hjälp av fuktsensorer och genom visuella bedömningar på plats. För att uppnå en mer biologiskt optimal etableringsbevattning kan det därför räcka med att beställare ställer tillräckliga krav för att säkerställa att kompetenta och närvarande entreprenörer som kan behovsanpassa etableringsbevattningen anlitas. Eftersom utförarna i fallstudien redan justerar de generella och frekvensbaserade skötselbeskrivningarna genom att ta hänsyn till en del av de faktorer som påverkar etablering av stadsträd bör det också vara fullt möjligt för beställare att upprätta skötselbeskrivningar som i större grad anpassar bevattningen utifrån påverkande faktorer. För att optimera etableringsbevattning av stadsträd uppvisar resultatet från fallstudien också positiva erfarenheter att som beställare använda fuktsensorer som ligger i linje med studerad litteratur (Symes & Conellan 2013; Gimpel et al. 2021). Fuktsensorer kan användas

för att se till att utförandet behovsanpassas, öka möjligheten att kontrollera utförandet och samtidigt möjliggöra för utföraren att planera bevattningsregimen.

Studien framhåller även ett antal tillvägagångssätt för ett mer resurseffektivt utförande av en biologiskt optimal bevattningsregim. Flera av intervjupersonerna påtalar lönsamheten i ökade investeringar för en förbättrad etableringsbevattning som möjliggör för att fler träd ska överleva etableringsperioden, vilket styrks av kalkylerna i tabell 3 och 4. Samtidigt visar kalkylerna att kostnaden för etableringsbevattning kan skilja kraftigt beroende på frekvens och tidsåtgången av utförandet. Att utforma skötselbeskrivningar som tar större hänsyn till de faktorer som påverkar etableringen av stadsträd kan därför vara resurseffektivt då det ökar möjligheten att bara utföra bevattningen när det behövs. För att säkerställa att bevattningen bara utförs vid behov och samtidigt förbättra kvalitén på bevattningen anser även flera av intervjupersonerna att fuktsensor-teknik trots sin höga kostnad kan vara resurseffektiva investeringar. Dock visar resultatet från fallstudien att de avancerade fuktsensorerna inte nödvändigtvis leder till minskad vattenförbrukning och frekvens av utförandet vilket studerad litteratur påtalade (McCready & Dukes 2011). Eftersom fuktsensorerna följer trädens verkliga behov kommer vattenbehovet att variera beroende på meteorologiska variationer mellan olika år, så kallad årsmån. Bevattningen kan under svalare och fuktigare år leda till minskade kostnader och under varmare, torrare år bevattningen till ökade kostnader i jämförelse mot frekvensbaserade bevattningsregimer. Dessutom anses de kommunala resurserna, i likhet med studerad litteratur (Sjöman & Slagstedt 2015b), vara begränsade. För en resurseffektiv användning kan därför beställaren behöva prioritera fuktsensorer till specifika tillfällen. Från fallstudien uppkommer ett antal särskilt lämpliga tillfällen att som beställare använda fuktsensorer. Inledningsvis indikeras nämligen att fuktsensorer kan användas på utvalda referensträd inom trädetableringsprojekt för att inte behöva bekosta fuktsensorer på alla träd inom projektet, ett användningsområde som stärks av Gimpel et al. (2021). Vidare tar fallstudien även upp tre tillfällen då fuktsensorer anses särskilt lämpliga att använda som inte behandlats i den studerade litteraturen. För det första anses fuktsensorer lämpliga att använda i trafikmiljöer där risker med arbetsmiljö är höga och även kostnader kopplade till dessa. För det andra uppkommer att fuktsensorer anses lämpligt i stora exploateringsområden där en privat entreprenör överlämnar träd som kräver fortsatt etableringsbevattning till beställaren, eftersom data från fuktsensorerna då på förhand kan ge en bild av vilket vattenbehov den övertagna träden har. För det tredje anses även att fuktsensorer kan prioriteras till stora träd eftersom de ställer högre krav på en noggrant utförd etableringsbevattning. Följaktligen indikerar resultatet att avancerade fuktsensorer som används vid specifika tillfällen leder till en mer behovsanpassad etableringsbevattning på ett resurseffektivt sätt. Slutligen kan den tid som går åt vid transport av vatten enligt

kalkylerna i tabell 3 och 4 påverka kostnaden av etableringsbevattning. Därför kan upprättandet av närliggande vattenposter vara en resurseffektiv anpassning. Flera av intervjupersonerna tar nämligen upp behovet av närliggande vattenposter så att utförandet förbrukar mindre resurser, vilket även styrks av litteraturen (Sjöman & Slagstedt 2015).

Utifrån ovan förda diskussion landar arbetet således i ett antal slutsatser som presenteras i kapitel 8.

7.2 Metoddiskussion

Valet av att genomföra en litteraturstudie följt av en kvalitativ fallstudie angående ämnet biologiskt optimal etableringsbevattning av stadsträd föll sig naturligt. Detta eftersom en litteraturstudie möjliggjorde för att kartlägga hur etableringsbevattning av stadsträd utförs idag. Litteraturstudien möjliggjorde också för att kartlägga kunskapsläget om varför etableringsbevattning kan behöva anpassas mer efter behov och vilka metoder som finns för att genomföra en sådan anpassning. Valet att som resultat jämföra litteraturstudien mot en kvalitativ fallstudie föll sig också naturligt eftersom arbetet strävat efter att åskådliggöra den erfarenhet som finns kring etableringsbevattning och att arbeta mer behovsanpassat i svenska kommuner idag. Som tidigare nämnt lämpar sig ju fallstudier för praktiska områden där tillgången på professionell erfarenhet är viktig (Johansson 2003). En kvantitativ fallstudie hade visserligen ökat möjligheten att dra mer övergripande slutsatser om svenska kommuners erfarenhet från frågan idag. Men för att fånga erfarenheter som finns av att arbeta med behovsanpassad bevattning, både från beställare och utförare i en svensk kommun, bedömdes en kvalitativ fallstudie vara mer fördjupande, inte minst utifrån arbetets begränsade omfattning. Fyra viktiga aspekter bör dock tas upp med formen för intervjuerna. För det första var formen för intervjuerna semi-strukturerad vilket medför en viss risk att intervjupersonerna styrde samtalet i oönskad riktning, men det gav samtidigt en möjlighet att samtala mer fritt kring deras erfarenhet vilket också var fallstudiens syfte. Detta eftersom semi-strukturerade intervjuer, som tidigare nämnt, möjliggör för intervjupersonen att tillföra information som inte specifikt efterfrågats (Gill et al. 2008). För det andra medförde det faktum att författaren själv deltog intervjuerna att de inte kan betraktas som helt objektiva. För det tredje kan det faktum att intervjupersonerna från Helsingborg dels var beställare och dels utförare medföra att intervjuerna innehöll en viss försiktighet i att rikta kritik mot motparten. För det fjärde kan det faktum att beställaren representerades av två intervjupersoner i Helsingborg medan utföraren bara representerades av en medföra att erfarenheterna från Helsingborg gav en ojämn fördelning av erfarenheter.

8. Slutsatser

Utifrån diskussion som förts i kapitel 7.1 landar arbetet i slutsatsen att beställare kan upprätta en biologiskt optimal bevattningsregim vid etablering av stadsträd som samtidigt är resurseffektiv att utföra genom följande komponenter.

- Ställa större krav på kompetenta och närvarande utförare som kan behovsanpassa bevattningen.
- Anpassa generella och frekvensbaserade skötselbeskrivningar för etableringsbevattning till art- och platsspecifika faktorer.
- Använda fuktsensorer vid specifika tillfällen där de kan vara särskilt resurseffektiva.
- Upprätta vattenposter i nära anslutning till projekt.

Resultatet från studien visar att det idag finns möjlighet att frångå den trend av frekvensbaserad, generell etableringsbevattning som är vanligt förekommande i svenska kommuner till en mer biologiskt optimal, behovsanpassad etableringsbevattning som samtidigt är resurseffektiv att genomföra. Eftersom kvalitén på etableringsbevattning av stadsträd tycks variera kan en mer behovsanpassad och resurseffektiv bevattningsregim möjliggöra för att fler stadsträd ges möjlighet att leverera en maximal mängd ekosystemtjänster utan överdrivet stora insatser. Framtida arbeten bör syfta till att undersöka effekten av att använda fuktsensorer på etablering av stadsträd i svenska kommuner genom att jämföra överlevnadsstatistik mellan projekt där fuktsensorer använts med projekt där de inte använts. På så vis kan en förbättrad förståelse för fuktsensorers användningspotential vid etablering av stadsträd beskrivas.

Referenser

- Berland, A.; Shifett, S.A.; Shuster, W.D.; Garmestani, A.S.; Goddard, H.C.; Herrman D.L. & Hopton, M.E. (2017). *The role of trees in urban stormwater management*. Landscape and Urban Planning. 162, s. 167-177.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>
- Boden kommun. (2019). *Teknisk handbok Park – Skog*. Boden: Boden kommun.
- Buckstrup, M. & Bassuk, N.L. (2000). Transplanting success of balled-and-burlapped versus bare-root trees in the Urban Landscape. *Journal of Arboriculture*. 26(6), s. 298-308.
- Bühler, O. (2009). Establishment of urban trees. *CABI Reviews. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 4(059).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094059>
- Day, S. & Harris, J.R. (2007). Fertilization of Red Maple (*Acer rubrum*) and Littleleaf Linden (*Tilia cordata*) Trees at Recommended Rates Does Not Aid Tree Establishment. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33(2), s. 113-121.
<https://doi.org/10.48044/jauf.2007.012>
- Ekelund, L.; Hansson, T.; Johnson, L.; Kristoffersson, A.; Lundqvist, S.; Malmström, F.; Nilsson, U.; Persson, B.; Persson, M. (red.); Sandin, H. & Spendrup, S. (2017). *Branschbeskrivning Trädgård*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet, LTV-fakulteten, Enheten för samverkan och utveckling. ISBN 978-91-576-9536-9.
- Eriksson, J. (2011). *Marklära*. Lund: Studentlitteratur.
- Fini, A.; Ferrini, F.; Ferdinando, M.D.; Brunetti, C.; Giordano, C.; Gerini, F. & Tattini, M. (2014). Acclimation to partial shading or full sunlight determines the performance of container-grown *Fraxinus ornus* to subsequent drought stress. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13(1), s. 63-70.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.008>
- Fini, A. & Brunetti, C. (2017). Irrigation of urban trees. I: Bosch, Cecil C. Konijnendijk van den, B.C.C.; Ferrini, F. & Fini, A. *Routledge Handbook of Urban Forestry*. London, New York: Routledge.
- Gilbertson, P. & Bradshaw, A.D. (1990). The Survival of Newly Planted Trees in Inner Cities. *Arboricultural Journal*. 14(4), s. 287-309.
<https://doi.org/10.1080/03071375.1990.9746850>
- Gill, P.; Stewart, K.; Treasure, E. & Chadwick, B. (2008). Methods of data collection in qualitative research: interviews and focus groups. *British Dental Journal*. 204(6), s. 291-295. <https://doi.org/10.1038/bdj.2008.192>
- Gilman, E.F. (1988). Tree root spread in relation to branch dripline and harvestable root ball. *HortScience*. 23(2), s. 351-353.

- Gilman, E.F. (1989). Predicting root spread from trunk diameter and branch spread. *Arboricultural Journal*. 13(1), s. 25-32.
<https://doi.org/10.1080/03071375.1989.9756398>
- Gilman, E.F.; Black, R. & Dehgan, B. (1998). Irrigation volume and frequency and tree size affect establishment rate. *Journal of Arboriculture*. 24(1), s. 1-9.
- Gilman, E.F. (2001). Effect of nursery production method, irrigation, and inoculation with mycorrhizae-forming fungi on establishment of *Quercus virginiana*. *Journal of Arboriculture*. 27(1), s. 30-39.
- Gimpel, H.; Graf-Drasch, V.; Hawlitschek, F. & Neumeier, K. (2021). Designing smart and sustainable irrigation: A case study. *Journal of Cleaner Production*. 315.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128048>
- Grossnickle, S. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*. 2, s. 273-294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Göteborg stad (2022). *Tekniska krav och anvisningar Mark- och utemiljö. Etableringsskötsel av gröna ytor under garantitiden (bilaga 1a)*. Göteborg: Göteborg stad.
- Harris, J.R. & Gilman, E.F. (1991). Production method affects growth and root regeneration of leyland cypress, laurel oak and slash pine. *Journal of Arboriculture*. 17, s. 64-69.
- Harris, J.R.; Bassuk, N.L.; Zobel, R. & Whitlow, T. (1995). Root and Shoot Growth Periodicity of Green Ash, Scarlet Oak, Turkish Hazelnut, and Tree Lilac. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 120, s. 211-216.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.120.2.211>
- Harris, R.W.; Clark, J.R. & Matheny, N.P. (1999). *Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs and vines*. 3:e uppl. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Harris, J.R. (2007). Transplanting large trees. *Cab Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 2(024).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20072024>
- Harris, J.R. & Day, S.D. (2017). Navigating the establishment period: A critical period for new trees. I: Bosch, Cecil C. Konijnendijk van den, B.C.C.; Ferrini, F. & Fini, A. *Routledge Handbook of Urban Forestry*. London, New York: Routledge.
- Hilaire, R.S.; Arnold, M.A.; Wilkerson, D.C.; Devitt D.A.; Hurd, B.H.; Lesikar, B.J.; Lohr, V.I.; Martin, C.A.; McDonald, G.V.; Morris, R.L.; Pittenger, D.R.; Shaw, D.A. & Zoldoske D.F. (2008). Efficient Water Use in Residential Urban Landscapes. *HortScience*. 43(7), s. 2081-2092.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2081>
- Hirons, A. & Percival, G. (2011). Fundamentals of tree establishment: a review. *Forestry Commission*. 17, s. 51-62.
- Hitchmough, J. & Fieldhouse, K. (2004). *Plant user handbook : a guide to effective specifying*. Oxford: Blackwell Pub.
- Hughes, J. D. (1992). Sustainable Agriculture in Ancient Egypt. *Agricultural History*. 66(2), s. 12-22. <https://www.jstor.org/stable/3743841>

- Jansson, M. & Randrup, T. B. (2020). *Urban open space governance and management*. London & New York; Routledge, Taylor & Francis Group.
- Johansson, R. (2003). Case Study Methodology. *The International Conference on Methodologies in Housing Research*. September 22–24 2003, Stockholm.
- Järfälla kommun. (2020). *Teknisk Handbok 2020*. Järfälla: Järfälla kommun.
- Koeser, A.K.; Stewart, J.R.; Bollero, G.A.; Bullock, D.G. & Struve, D.K. (2009). Impacts of Handling and Transport on the Growth and Survival of Balled-and-burlapped Trees. *HortScience*. 44(1), s. 53-58. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.53>
- Koeser, A.K.; Gilman E.F.; Paz, M. & Harchick, C. (2014). Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13(4), s. 655-661. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.06.005>
- Kozlowski, T.T. & Davies, W.J. (1975). Control of water balance in transplanting trees. *Journal of Arboriculture*. 1(1), s. 1-10.
- Lauderdale, D.M.; Gilliam, C.H.; Eakes, D.J.; Keever, G.J. & Chappelka, A.H. (1995). Tree Transplant Size Influences Post-Transplant Growth, Gas Exchange, and Leaf Water Potential Of ‘October Glory’ Red Maple. *Journal of Environmental Horticulture*. 13(4), s. 178-181. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-13.4.178>
- Levinsson, A. (2015). *Urban tree establishment*. Diss. Sveriges lantbruksuniversitet. <https://pub.epsilon.slu.se/11973/>
- Levinsson, A.; Fransson, A.M. & Emilsson, T. (2017). Investigating the relationship between various measuring methods for determination of establishment success of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 28, s. 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.014>
- Lidingö stad (2014). *Teknisk Handbok*. Lidingö: Lidingö stad.
- Lottrup, L.; Grahn, P. & Stigsdotter, U.K. (2013). Workplace greenery and perceived level of stress: Benefits of access to a green outdoor environment at the workplace. *Landscape and Urban Planning*. 110, s. 5-11. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.09.002>
- Luleå kommun (2019). *Etableringsskötsel av växtmaterial under garantitid i Luleå kommun*. Luleå: Luleå kommun.
- Lunderot, M. (2013). *Vad går fel i byggprocessen? - En studie av de vanligaste felen vid anläggning av gröna utemiljöer*. (Självständigt arbete). Sveriges lantbruksuniversitet. LTJ-fakulteten / Landskapsingenjörsprogrammet.
- Lyr, H. & Hoffman, G. (1967). Growth Rates and Growth Periodicity of Tree Roots. *International Review of Forestry Research*. 2, s. 181-236.
- McCready, M.S. & Dukes M.D. (2011). Landscape irrigation scheduling efficiency and adequacy by various control technologies. *Agricultural Water Management*. 98(4), 697-704. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.11.007>
- McPherson E. G.; Simpson J.R.; Xiao: Q. & Wu, C. (2011). Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. *Landscape and Urban Planning*. 99(1), s. 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.08.011>
- Nordstrand, U. (2008). *Byggprocessen*. 4:e uppl. Stockholm: Liber.

- Norrköping kommun (2012). *DHB Garantiskötselmall*. Norrköping: Norrköping kommun.
- Nowak, D.J.; McBride, J.R. & Beatty, R.A. (1990). Newly planted street tree growth and mortality. *Journal of Arboriculture*. 16(5), s. 124-130.
- Nowak, D.J.; Kuroda, M. & Crane, D.E. (2004). Tree mortality rates and tree population projections in Baltimore, Maryland, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2(3), s. 139-147. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00030>
- Nybro kommun (2020). *Skötselplan för park- och grönytor*. Nybro: Nybro kommun.
- Pauleit, S.; Garcia-Martin, G.; Garcia-Valdecantos, J.L.; Riviére, 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(2), s. 83-96. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00009>
- Persson, B., Kristoffersson, A. (2019). SköBes - Kontroll, uppföljning, utvärdering och incitament för rätt skötselkvalitet. (LTV-fakultetens rapportserie, 2017:1). Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Randrup, T.B.; Svännel, J.; Sunding, A.; Jansson, M. & Sang, Å.O. (2021). Urban open space management in the Nordic countries. Identification of current challenges based on managers' perceptions. *Cities*. 115. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103225>
- Roman, L.A.; Battles, J.J. & McBride, J.R. (2014). Determinants of establishment survival for residential trees in Sacramento County, CA. *Landscape and Urban Planning*. 120, s. 22-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.05.004>
- Roman, L.A.; Walker, L.A.; Martineau, C.M.; Muffly, D.J.; MacQueen, S.A. & Harris, W. (2015). Stewardship matters: Case studies in establishment success of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14(4), s. 1174-1182. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.001>
- Roy, S.; Byrne, J. & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11(4), s. 351-363. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006>
- Saher R.; Stephen, H. & Ahmad, S. (2021). Urban evapotranspiration of green spaces in arid regions through two established approaches: a review of key drivers, advancements, limitations, and potential opportunities. *Urban Water Journal*. 18(2), s. 115-127. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1857796>
- Scheberl, L.; Scharenbroch, B.C.; Werner, L.P.; Prater, J.R. & Fite, K.L. (2019). Evaluation of soil pH and soil moisture with different field sensors: Case study urban soil. *Urban Forestry & Urban Greening*. 38, s. 267-279. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.001>
- Sherman, A.R., Kane, B.; Autio, W.A.; Harris, J.R. & Ryan, H.D.P. (2016). Establishment period of street trees growing in the Boston, MA metropolitan area. *Urban Forestry & Urban Greening*. 19, s. 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.07.006>

- Sivyer, D.; Harris, J.; Persaud, N. & Appleton, B. (1996). Evaluation of a pan evaporation model for estimating post-planting street tree irrigation requirements. *Horticultural Science*. 10, s. 250-256.
- Snyder, R.L.; Pedras, C.; Montazar, A., Henry, J.M. & Ackley, D. (2015). Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agricultural Water Management*. 147, s. 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.024>
- Symes, P. & Connellan, G. (2013). Water Management Strategies for Urban Trees in Dry Environments: Lessons for the Future. *Arboriculture & Urban Forestry*. 39(3), s. 116-124. <https://doi.org/10.48044/jauf.2013.016>
- Sjöman, H.; Östberg, J. & Bühler, O. (2012). Diversity and distribution of the urban tree population in ten major Nordic cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11(1), s. 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.09.004>
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015a). *Stadsträdslexikon*. Lund: Studentlitteratur.
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015b). *Träd i urbana landskap*. Lund: Studentlitteratur.
- SMHI (2021). *Vegetationsperiod*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/vegetationsperiod-1.6270> [2022-02-17]
- Spomer, L.A. (1980). Container Soil Water Relations: Production, Maintenance And Transplanting. *Journal of Arboriculture*. 6(12), s. 315-320.
- Thalheimer, M. (2013). A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. *Journal of Agricultural Engineering*. 44(3). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.e16>
- Trosa kommun (2015). *Teknisk handbok för mark och gata. Bilaga 1A*. Trosa: Trosa kommun.
- Upplands-Bro kommun (2021). *Teknisk handbok Kapitel 4 – Park och grönytor*. Upplands-Bro: Upplands Bro kommun.
- Uppsala kommun (2010). *Trädhandbok för Uppsala kommun*. Uppsala: Uppsala kommun.
- Vogt, J.M.; Watkins, S.L.; Mincey, S.K.; Patterson, M.S. & Fischer, B.C. (2015). Explaining planted-tree survival and growth in urban neighborhoods: A social–ecological approach to studying recently-planted trees in Indianapolis. *Landscape and Urban Planning*. 136 (4), s. 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.021>
- Volo, T.J.; Vivoni, E.R. & Ruddell, B.L. (2015). An ecohydrological approach to conserving urban water through optimized landscape irrigation schedules. *Landscape and Urban Planning*. 133, s. 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.012>
- Watson, G.E. & Himmelick, E.B. (1997). *Principles and practice of planting trees and shrubs*. Savoy, Illinois: International society of arboriculture.
- Yin, J.; Bassuk, N.L.; Olberg, M.W. & Bauerle, T.L. (2014). Fine Root Hydraulic Conductance Is Related to Post-transplant Recovery of Two Quercus Tree Species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 139(6), s. 649-656. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.6.649>

- Ängelholms kommun (2010). *Trädplan för Ängelholm*. Ängelholm: Ängelholms kommun.
- Östberg, J.; Sjögren, J. & Kristoffersson, A. (2015). *Alnarpsmodellen 2.2. – Ekonomisk värdering av återanskaffningskostnaden för träd*. LTV-rapport 2015(24). Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet, LTV-fakulteten, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning. ISBN: 978-91-576-8914-6.

Muntliga källor

Andréas Hall, utvecklingsingenjör, Helsingborg Stad, 2022-02-24

Anonym delägare, entreprenadföretag, 2022-02-22

Liliana Ravanshad, områdesansvarig, Malmö Stad, 2022-02-22

Åse Brunnström, områdesförvaltare, Helsingborg Stad, 2022-02-15

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Anders Kristoffersson som med sin optimism hjälpt mig genom arbetet. Dessutom vill jag rikta ett stort tack till Åse Brunnström, Andréas Hall och Liliana Ravanshad för våra samtal som skänkt inspiration dels till uppsatsen men kanske framför allt till vad som kan tänkas vänta i framtida yrkesliv.

Publicering och arkivering

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