

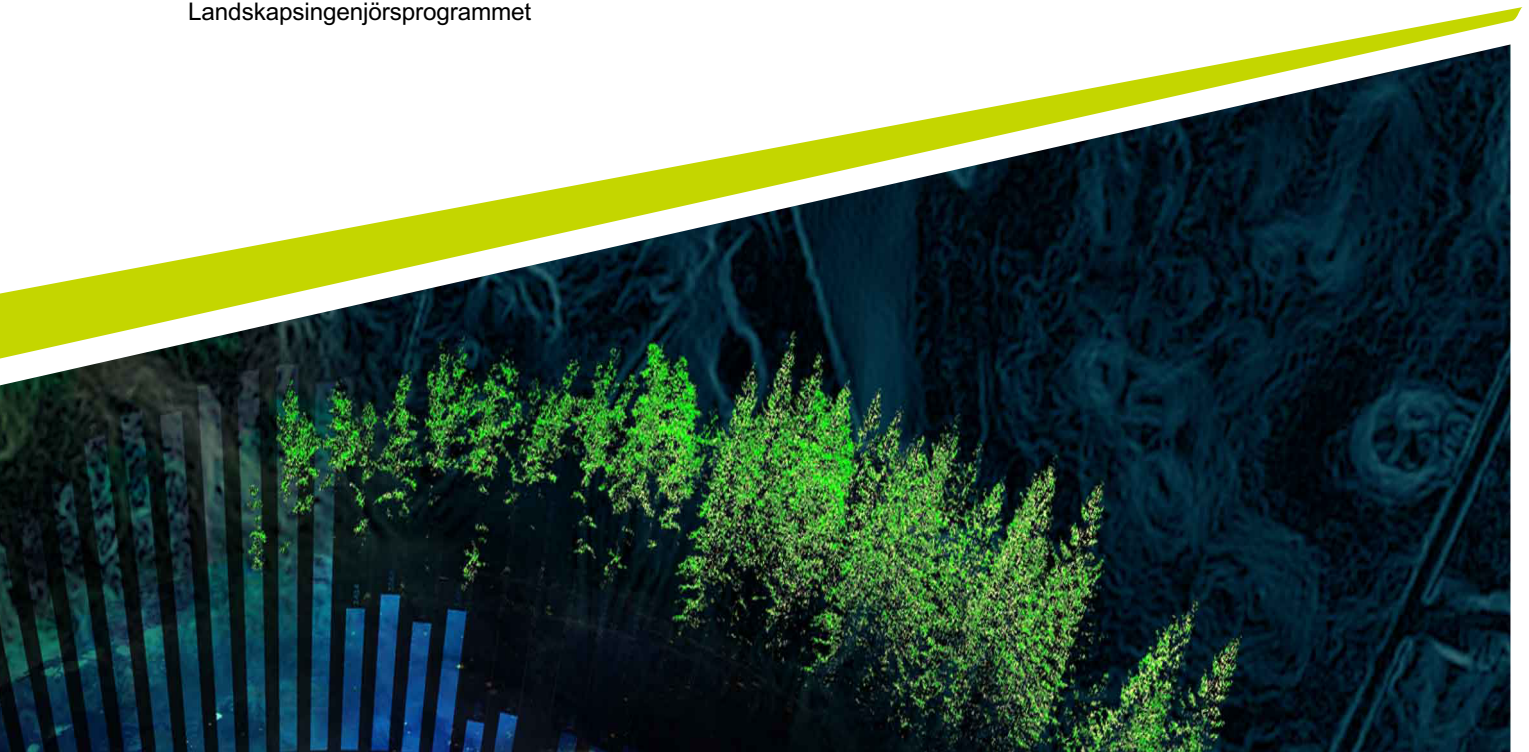


Trädplantering i den hårdgjorda staden

Utmaningar och lösningsalternativ

Ingela Carlgren

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Landskapsingenjörsprogrammet



Trädplantering i den hårdgjorda staden - Utmaningar och lösningsalternativ

Tree planting in the paved city - Challenges and solutions

Ingela Carlgren

Handledare: Åsa Bensch, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Examinator: Frida Andreasson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Landskapsarkitektur, G2E - Landskapsingenjörsprogrammet
Kurskod: EX0841
Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet
Kursansvarig inst.: Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder som inte tillhör författaren används med ägarens tillstånd eller har en Creative Commons-licens.

Nyckelord: gatuträd, urbana träd, trädplantering, gatumiljö, urban jord, kompaktering, skelettjord, makadamsubstrat, rotceller, suspended pavement

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Förord

Det är något djupt fascinerande med träd, hur det lilla fröet kan veckla ut sig och växa sig stort som ett flervåningshus bara genom att ta det marken och atmosfären erbjuder. Innan jag visste så mycket om träd tänkte jag mest på dem som ovanjordiska ting. Numera föreställer jag mig hur rötterna breder ut sig där under markytan, hur de håller emot den enorma kraften som rycker i kronan när det blåser och hur de skickar utlöpare till fuktiga områden eller söker sig mot ytan för att hämta luft. Jag vet inget annat som får en hårdgjord gatumiljö att kännas mer levande än ett stort och välmående träd. Å andra sidan är det inte mycket som ser så nedslående ut som en rad av halvdöda träd i en smal refug på en blåsig parkeringsplats någonstans. Det har varit en ynnest att få ägna kandidatarbetet åt det spännande ämne som olika aspekter av urban jord och trädplantering i hårdgjorda miljöer innebär, även om det står klart att det går att gräva betydligt djupare än vad denna korta tid tillåtit. Jag tänker mig att läsaren av detta arbete kan vara en landskapsingenjörstudent, som jag själv, eller någon annan med motsvarande kunskapsbakgrund.

Jag vill passa på att rikta ett stort tack till de personer som hjälpt mig på vägen: Britt-Marie Alvem, Oskar Hägg och Patrick Bellan som gett mig förståelse för hur man går till väga och resonerar kring trädplantering i hårdgjorda ytor idag. Frida Andreasson som tagit sig tid att svara på massvis av frågor under en kylslagen promenad i trädgårdsrabbet. Och sist men inte minst min eminenta handledare Åsa Bensch – tack för tydliga ramar, konkret feedback och inte minst en stor dos pepp!

Ingela Carlgren

Staa, januari 2024

Sammanfattning

Träd är viktiga delar av våra städer. De bidrar med många ekosystemtjänster, som klimatreglering, dagvattenhantering och positiva hälsoeffekter. De är också viktiga identitetsskapande element. Då städerna blir alltmer förtätade är det viktigt att kunna utnyttja även hårdgjorda ytor för trädplantering, till exempel gator, torg och parkeringsplatser. I detta arbete används den sammanfattande benämningen gatumiljöer för alla dessa platser. Problemet är att gatumiljön ofta är en ogynnsam växtplats för träden, vilket visar sig i bristande trädutveckling och -överlevnad.

Syftet med arbetet är att undersöka hur man ska gå till väga för att skapa förutsättningar för ett välfungerande och vitalt trädbestånd i stadens gatumiljö, med fokus på marken. Arbetet närmar sig detta genom att först beskriva de faktorer i den urbana marken som kommer i konflikt med trädens behov och sedan redovisa de vanligast förekommande lösningsalternativen. Arbetet har framför allt utförts som en litteraturstudie, men viss information har även inhämtats från trädspecialister i Stockholm, Göteborg och Malmö.

Det finns flera anledningar till att den urbana marken har bristande förutsättningar att tillgodose trädens grundläggande behov av markluft, vatten och näring. Typiskt är att den är heterogen och kan innehålla skräp, föroreningar, byggnadsrester och kompakterade lager. Vid kompaktering minskar dessutom vatten- och luftållande porer i jorden, som blir svårållgänglig för trädrotter. Kompaktering är ett stort problem i gatumiljöns mark. Brist på utrymme är ett annat vanligt problem. Andra fenomen som är typiska för urban jord är svårållgängliga ytskikt, salttillförsel, kemiska föroreningar och hög markytetemperatur. Sambandet mellan den urbana jordens förutsättningar och trädens behov är komplext. Kunskap på området belyser vikten av att arbeta med lösningsstrategier för att skapa välfungerande växtbäddar.

Vanligt använda lösningsalternativ inriktas mot att skydda mot kompaktering och ge större rotutrymme. I internationell litteratur beskrivs två huvudstrategier: skelettjordar och suspended pavement, det vill säga markbeläggning som är uppbyggd på ett vikt bärande system med växtjord under. I Sverige har varianter av skelettjordar blivit mest använda. På senare år har de vidareutvecklats genom att jorden bytts ut mot andra växtsubstrat, där vanliga komponenter är biokol, pimpsten och kompost, som ska vara mer stabila och ha en god fukthållande förmåga.

Trädplanteringar kan även vara del i så kallade blågröngråa system. Genom att leda dagvatten till växtbäddarna får träden bevattning samtidigt som systemet bidrar till dagvattenhanteringen. Att använda öppna överbyggnadslager under trafikerade ytor ökar också det rottillgängliga utrymmet för träden.

Utvecklingen har gått snabbt och det saknas studier av hur de nya makadamssubstraten fungerar på sikt. Generellt har det varit svårt att finna vetenskapligt publicerat material avseende gatuträdplanering i Sverige. En långsiktig uppföljning av de träd som planteras i de nya substratblandningarna hade varit intressant, för att underlätta arbetet för framtida projektörer, för att sprida kunskapen globalt och inte minst för att öka chanserna till ett välfungerande och hållbart gatuträdbestånd i våra framtida städer.

Nyckelord: gatuträd, urbana träd, trädplantering, gatumiljö, urban jord, kompaktering, skelettjord, makadamssubstrat, rotceller, suspended pavement

Abstract

Trees are important to our cities. They contribute ecosystem services, such as climate regulation, stormwater management, and positive health effects. As cities become increasingly dense it is necessary to be able to plant trees in paved locations, for example streets, squares, and parking lots. The problem is the conflict between the trees' basic needs and the soil conditions that prevail in the paved environment.

The purpose of this essay is to investigate how to create soil preconditions for a well-functioning and viable tree population in the street environment. This essay approaches this by first describing typical urban soil factors that clash with the trees' requirements and then reporting the most commonly occurring solutions. The work has primarily been carried out as a literature study, but some information has been obtained via personal contacts with tree specialists in Stockholm, Gothenburg, and Malmö.

There are several reasons why urban soils fail to meet the trees' basic needs for soil aeration, water, and nutrients. Urban soil is typically disturbed and heterogeneous, containing pollutions, construction debris and space-limiting compacted layers. Compaction is a major problem that reduces soil air and water content as well as root penetration. Lack of space is another common problem. Other factors that are typical of urban soil are impermeable surfaces, pollution by salt or chemicals, and high soil surface temperature. The relationship between urban soil conditions and basic tree needs is a complex one. This highlights the need for working with knowledge-based strategies to obtain sustainable plant beds.

Commonly used solutions focus on protection against compaction and providing greater root space. Two main solution strategies are described in international literature: structural soils and suspended pavement, i.e. a ground cover that is piled on a weight-bearing system with soil underneath. In Sweden, structural soil is the more common alternative. In recent years the structural soil variants have been further developed by replacing the soil component with other substrates, such as biochar, pumice, and compost, to create a more stable mix with a good water-holding capacity.

By directing stormwater to plant beds in blue-green-grey systems, the trees are irrigated while the system contributes to stormwater management.

Development has been rapid and there are no published studies yet on the long-term functioning of the new structural soil mixes. In general, it has been difficult to find scientific material regarding current Swedish tree-planting methods. A long-term follow-up of the trees planted in the new substrate mixtures would be interesting, to facilitate the work of future designers, to spread the knowledge globally and, not least to increase the chances of a well-functioning and sustainable street tree population in our future cities.

Keywords: street trees, urban trees, tree planting, urban soil, compaction, structural soil, skeletal soil, root cells, suspended pavement

Innehållsförteckning

1. Inledning	8
1.1 Bakgrund	8
1.2 Syfte och frågeställningar.....	11
1.3 Avgränsningar	12
2. Metod	13
3. Gatuträden och den urbana jorden	15
3.1 Trädens behov.....	15
3.1.1 Luft	15
3.1.2 Vatten	16
3.1.3 Näring och pH	16
3.2 Markförhållanden i den hårdgjorda staden	17
3.2.1 Urban jord.....	17
3.2.2 Kompaktering	17
3.2.3 Utrymme.....	18
3.2.4 Skorpbildning och ogenomträngliga ytskikt.....	19
3.2.5 Salt	20
3.2.6 Kemiska föroreningar och tungmetaller.....	21
3.2.7 Temperatur.....	21
4. Plantering av träd i hårdgjorda ytor	22
4.1 Skelettjordar och andra makadambaserade substrat.....	22
4.1.1 Vetenskapliga studier av skelettjord.....	23
4.1.2 Skelettjordar i Sverige	24
4.1.3 Nya substrat med biokol, pimpsten och grönkompost.....	25
4.1.4 Gatuträd och dagvatten – en synergieffekt	29
4.2 Strukturella växtbäddar, rotceller och rotbryggor.....	31
4.2.1 Vetenskapliga studier avseende suspended pavement.....	32
4.3 Ytterligare bidrag till lösningar för fungerande gatuträdplanteringar	33
5. Diskussion	35
5.1 Gatumiljöns opreparerade mark och konflikter med trädens behov. Fel! Bokmärket är inte definierat.	
5.2 Lösningalternativ som tillgodoser trädens behov och fungerar i gatumiljö	Fel! Bokmärket är inte definierat.
5.3 Hur har den valda metoden påverkat resultat och felkällor?	37
5.4 Avslutande tankar.....	38
Referenser	39

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Träd är viktiga inslag i våra städer. Skira ljusgröna blad spricker ut i takt med att dagarna blir längre, skuggan från en tät krona erbjuder svalka på varma sommardagar och den gråa höstens intåg hejdas ett ögonblick av ett sprakande färgspel i rött och gult. Träd förankrar oss i tiden, ger vårkänslor, semesterlugn och sprider glädje under mörknande dagar. År 2020 bodde hela 88% av Sveriges befolkning i en tätort (SCB 2022) och många av oss kommer tillbringa större delen av våra liv i stadsmiljö. Genom stadens träd har vi kvar en koppling till naturen. Vad vore en park, ett torg – eller en stad – utan träd?

I det här arbetet fokuserar jag på träd som planteras i hårdgjorda miljöer, till exempel på gator, torg och parkeringsplatser. För enkelhetens skull benämns de alla gatuträd och de hårdgjorda miljöer som de planterats i kallas gatumuljö.

Ekosystemtjänster

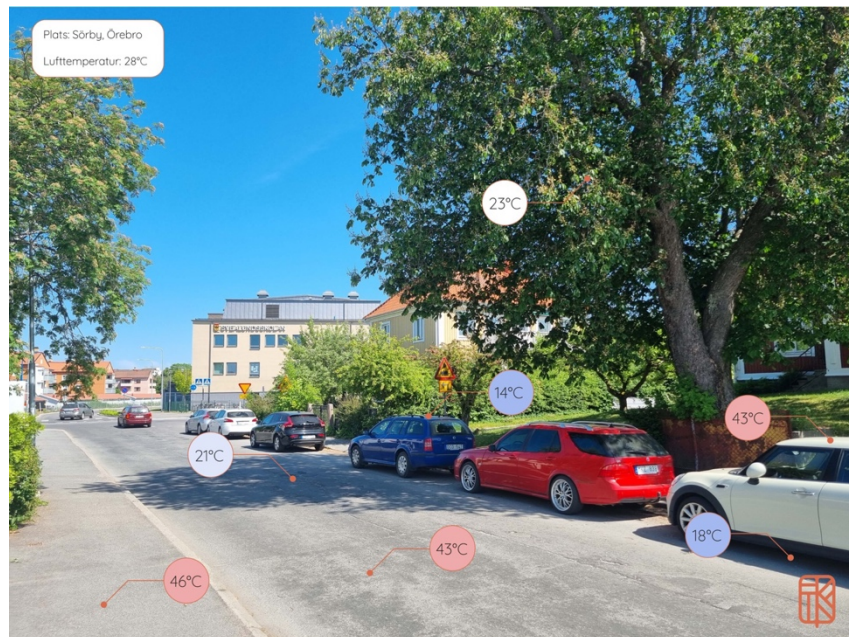
Ett sätt att tydliggöra det värde träden har är att beskriva deras ekosystemtjänster, det vill säga hur de kan bidra till stadsmiljön och vår livskvalitet (C/O City 2022). När det gäller gatuträd är kategorierna stödjande, reglerande och kulturella ekosystemtjänster särskilt betydelsefulla. De **stödjande** ekosystemtjänsterna ligger till grund för övriga kategorier (ibid.). Träd i staden kan bidra genom att fungera som livsmiljö för insekter, producera pollen och nektar samt gynna organismer som lever i marken. Trädens roll i kretslopp av näringsämnen och vatten är andra exempel på stödjande ekosystemtjänster (ibid.).

Gatuträd fyller många funktioner som faller inom ramen för **reglerande** ekosystemtjänster. Omhändertagande av dagvatten är en utmaning i staden, där de hårdgjorda ytorna leder till hög ytavrinning (Liu et al. 2016). Träden bidrar till att minska belastningen på avlopps nätet, inte bara genom sin direkta konsumtion av vatten utan även genom interception, där vatten fördröjs på bladverket, samt evapotranspiration, det vill säga avdunstning (Grip & Rodhe 2016).

Städer är varmare än kringliggande landsbygd, vilket kan orsaka hälsoproblem hos känsliga delar av befolkningen i samband med värmeböljor (Boverket 2019).

Problemet med den varma stadsmiljön, även kallad den urbana värmeö-effekten, förväntas bli än allvarligare framöver på grund av de klimatförändringar som sker (ibid.). Man har visat att träd bidrar till att sänka temperaturen lokalt i både park- och i gatumiljö (Bowler et al. 2010). Ett illustrativt exempel på detta ses i Figur 1.

Bullerreducering och upptag av vissa luftföroreningar är andra exempel på trädens reglerande ekosystemtjänster (C/O City 2022).



Figur 1. Mätningar med värmekamera en varm och solig dag visar stora skillnader i temperatur mellan den solbelysta asfalten och trädskuggan. Bild och grafik från Trädkontoret. (Kalle Ågren, Trädkontoret u.å.)

Kulturella ekosystemtjänster handlar bland annat om lokal identitet, socialt samspel och såväl fysisk som psykisk hälsa (C/O City 2022). Träd är en betydande del av vårt kulturarv och fyller en viktig symbolisk roll på många håll i världen (Nationalencyklopedin 2023). Att sitta under ett träd förknippas ofta med något rofyllt och meditativt. Träd fungerar som riktmärken och mötesplatser och är identitetsskapande för staden (Deak Sjöman et al. 2015), se Figur 2. Det är även väldokumenterat att tillgång till gröna miljöer har positiva hälsoeffekter på befolkningsnivå (Romanelli et al. 2015).



Figur 2. På Gustav Adolfs torg i Malmö ses exempel på identitetsskapande träd. Deras roll som riktmärken förstärks ytterligare när juldekorationer hängs upp (Carlgren 2023a).

Var behövs träd?

Som beskrivet finns det gott om skäl till att plantera träd. Staden är dock en heterogen miljö som innehåller många olika ståndorter med varierande förutsättningar. Här finns allt från frodig naturliknande parkmark till karga hårdgjorda gaturum, som har svårt att tillgodose trädens behov utan stora åtgärder (Deak Sjöman et al. 2015). Det är okontroversiellt att plantera träd i parker, men varför ska man lägga resurser på trädplanteringar i gatumiljö?

Utvecklingen har gått mot alltmer förtätade och hårdgjorda städer (Nowak & Greenfield 2012) och grönytor blir ofta bortprioriterade till förmån för byggnader och trafikerade ytor. Konijnendijk (2022) introducerade 3-30-300-regeln som en enkel riktlinje för politiker och stadsplanerare att förhålla sig till när det gäller hur mycket grönska en stad behöver, baserat på det vetenskapliga kunskapsläget. Riktlinjen säger att från varje bostad och arbetsplats ska man kunna se minst tre träd, att det ska vara minst 30% krontäckningsgrad i närområdet och att det ska finnas ett större grönområde inom 300 m från varje hem (ibid.). Konceptet har på kort tid fått stort genomslag i många svenska kommuner (Erlandsson 2023; Ottestam 2023). En rapport utgiven av Region Skåne (2023) analyserar nio skånska städer avseende 3-30-300-regeln och belyser bristen på träd i tätbebyggda städer. Man konstaterar att det endast är ungefär hälften av bostäderna som uppfyller målet med tre träd inom synhåll och att 30% krontäckningsgrad skulle kräva omfattande nyplantering. Störst brist på träd var det i centrala delar av städerna, ofta nära tågstationen, men även i radhusområden och nybyggda villaområden. Region Skåne (2023) drar slutsatsen att det bitvis kommer att bli svårt att uppfylla målen enligt 3-30-300-regeln, men om man ska lyckas behöver man utnyttja hårdgjorda

miljöer och skapa nya grönytor på platser som till exempel överdimensionerade trafikytor. Dessutom rekommenderas att man planterar träd på alla gator och gårdar. Rapporten ger därmed stöd till tesen att det inte räcker att plantera fler träd i grönytor, utan att även stadens hårdgjorda miljöer behöver utnyttjas.

Gatuträdens tillstånd

Utöver att finna platser för nyplantering behöver man säkerställa att stadens träd ges förutsättningar att utvecklas och överleva under lång tid. Hilbert et al. (2019) gjorde en sammanställning av 56 internationella studier som rapporterat om mortalitet hos träd längs gator, på gårdar och i parker, och fann att den vanligaste tidpunkten för urbana träd att dö var under etableringstiden, definierad som de första fem åren efter planteringen. Utifrån den genomgångna litteraturen gjorde Hilbert et al. statistiska prognoser över hur lång tid det tar innan hälften av de träd som planteras har hunnit dö. När prognosen gjordes utifrån medianöverlevnad beräknades att 50% av stadsträden som planteras kommer dö inom 13–18 år. Dock ska nämnas att överlevnaden skilde sig mycket åt mellan de olika studier som ingår i sammanställningen. I samma sammanställning skapade Hilbert et al. även prognoser utgående från de studier som rapporterade sämre respektive bättre överlevnad. När prognosen gjordes utifrån studierna med sämre överlevnad beräknades att 50% av träden kommer ha dött inom 7–11 år efter plantering, medan samma scenario beräknades ta 33–38 år när prognosen utgick från studierna med bättre överlevnad. Det finns alltså stora skillnader i hur väl man lyckas med trädplantering i urban miljö. Majoriteten av de studier som ingick var från USA och ingen av dem var från Sverige. Hilberts sammanställning visar på stora problem internationellt, men det går alltså inte att dra slutsatser om svensk trädöverlevnad utifrån den. Vid en inventering i Stockholm 2001 fann man att två tredjedelar av innerstadens gatuträd var döda eller i dåligt skick (Stockholms stad 2017). Sedan dess har Stockholms stad dock arbetat med olika lösningar för att förbättra livsbetingelserna för både befintliga och nyplanterade gatuträd.

1.2 Syfte och frågeställningar

Det kan alltså konstateras att träd fyller viktiga funktioner i våra städer och att det finns behov av att kunna plantera träd i hårdgjorda miljöer, men att det kan vara en utmaning att få träden att fungera på dessa platser. Syftet med detta arbete är att undersöka hur man ska gå till väga för att skapa förutsättningar för ett välfungerande och vitalt trädbestånd i stadens gatumiljö, med fokus på marken. Målet är att göra en sammanställning utifrån följande frågeställningar:

1. Vilka förutsättningar finns i gatumiljöns opreparerade mark och hur kommer de i konflikt med trädens behov?

2. Vilka lösningsalternativ är vanligt använda för att skapa växtbäddar som tillgodoser trädens behov samtidigt som de fungerar i gatumiljö?

1.3 Avgränsningar

För att en gatuträdplantering ska bli lyckad är valet av träd mycket viktigt. Olika trädarter har vitt skilda ståndortspreferenser och strategier för att hantera den stress som förekommer (Sjöman et al. 2015). På grund av den begränsade tid som är avsatt för detta arbete har vissa avgränsningar varit nödvändiga. Bland annat behandlas inte växtval eller artspecifika stress-strategier, utan träd beskrivs i generella termer. Även om arbetet ytligt berör trädens behov är det heller inte primärt inriktat mot växtfysiologi.

Arbetet fokuserar på växtbäddar för nyplantering av träd i gatumiljö och ägnas inte åt renovering av befintliga växtbäddar eller uppbyggnad av växtbäddar på bjälklag. I arbetet beskrivs lösningsalternativ endast på ett övergripande plan, även om man i verkligheten behöver anpassa projekteringen till de förutsättningar och behov som finns på den specifika platsen (Fridell et al. 2022).

Det är inte bara markens förutsättningar som påverkar gatuträdens vitalitet och överlevnad utan även faktorer i luften, som föroreningar, vind och ljusförhållanden (Deak Sjöman et al. 2015). Dessa faktorer ligger dock utanför ramen för detta arbete.

2. Metod

Vetenskapliga källor

Den ursprungliga avsikten var att besvara frågeställningarna utifrån en ren litteraturstudie. Vetenskaplig litteratur på ämnesområdet togs fram genom sökningar i SLU-bibliotekets söktjänst Primo, i Web of Science och i Scopus. Då frågeställningarna är breda och terminologin initialt var något oklar för författaren, har många olika sökord och begrepp testats i olika kombinationer. Några av dem har varit *tree**, *urban*, *street*, *cities*, *planting*, *”structural soil”*, *”skeletal soil”*, *pumice*, *charcoal*, *”suspended pavement”* och *mortality*. Vissa sökningar har gett många träffar och andra mycket få, till exempel *”pumice”* (engelska för pimpsten) kombinerat med *”skeletal soil”* eller *”structural soil”* (båda engelska termer för skelettjord). Detta avspeglar att det har varit svårt att finna vetenskapligt granskad litteratur gällande vissa delar av arbetet – framför allt avsnitt rörande nyare metoder för växtbäddsuppbyggnad.

Ytterligare litteratur har hittats genom att följa källhänvisningar. I vissa fall finns artiklarna inte tillgängliga i fullängd via ovanstående sökmotorer, men har kunnat hittas via sökningar på Google.

Böcker, handböcker, rapporter och hemsidor

Vissa böcker återkommer ofta i referenslistor och har kunnat lånas från SLU-biblioteket, varav två exempel är *Urban soil in landscape design* (Craul 1992) och *Up By Roots: Healthy Soils and Trees in the Built Environment* (Urban 2008). Kurslitteratur från tidigare kurser inom landskapsingenjörsprogrammet, SLU Alnarp, har också använts.

Det är vanligt att kunskap om växtbäddar i svensk gatumiljö inte dokumenterats i vetenskapligt granskade publikationer. Sökningar på Google med sökord som träd, stadsträd, växtbädd, skelettjord och *”öppet förstärkningslager”* har lett till rapporter från Vinnova och RISE samt hemsidor från bland annat Boverket. I vissa fall har information i produktkataloger utnyttjats. Mer riktade sökningar har gjorts gällande specifika avsnitt i arbetet. En handbok som ingående beskriver en aktuell syn på hur träd kan integreras i gatumiljö är *Levande stadsrum – en handbok i Blågröngrå system*, utgiven av konsultfirman Edge (Fridell et al. 2022).

Stockholm, Göteborg och Malmö har alla tekniska handböcker som är lättåtkomliga via respektive hemsida. Handboken för Stockholm Stad ger mycket information, men har inte uppdaterats sedan 2017. I den tekniska handboken för Göteborgs Stad finns däremot typritningar av växtbäddar från 2022. I Malmö pågår uppdatering av den tekniska handboken i skrivande stund, vilket gör att aktuella ritningar inte har gått att erhålla.

Personliga kontakter

Under arbetets gång upptäcktes att det var svårt att få en tydlig bild av de lösningsalternativ som används i Sverige idag enbart utifrån skriftliga källor. Trädspecialister i Sveriges tre största städer, Stockholm, Göteborg och Malmö, kontaktades därför. Britt-Marie Alvem, trädspecialist i Stockholm, har besvarat frågor via e-post. Oskar Hägg, trädspecialist i Göteborg, och Patrick Bellan, trädspecialist i Malmö, har svarat muntligt i digitala möten samt skriftligt på kontrollfrågor som ställts i efterföljande e-post, i syfte att minimera risken för feltolkning. Det har inte utförts några strukturerade intervjuer utan samtalen har varit av en mer spontan och orienterande natur. Kontakten med de tre trädspecialisterna har varit särskilt värdefull avseende diskussion kring terminologi och klargörande kring metoder.

Förförståelse

Tidigare kurser i landskapsingenjörsprogrammet har delvis berört arbetets frågeställningar, till exempel gällande urban jord, växtfysiologi och skelettjordar. Detta har påverkat vilka sökord som använts, framför allt initialt. Förförståelsen har även påverkat tolkning och värdering av materialet, såtillvida att information som motsäger det som förmedlats under utbildningen bemötts mer kritiskt.

3. Gatuträden och den urbana jorden

Resultatet av studien redovisas i två huvudkapitel, varav detta är det första. Här fokuseras på frågeställningen om vilka förutsättningar som finns i gatumiljöns opreparerade mark och hur de kommer i konflikt med gatuträdens behov. Med det sammanfattande begreppet urban jord avses jord i gatumiljö men även i andra delar av staden.

Kapitlet inleds med en översikt över trädens mest grundläggande behov, varefter markfaktorererna kommer att beskrivas.

3.1 Trädens behov

3.1.1 Luft

En förutsättning för att trädrötternas cellandning ska fungera är att marken innehåller syre (Glinski & Lipiec 1990). Jorden innehåller porer – hålrum – som är fyllda av vatten och/eller luft. Porerna fyller olika funktion beroende på storlek. Glinski and Lipiec (1990) anger att mikroporer mäter $<30 \mu\text{m}$, mesoporer mäter $30\text{--}100 \mu\text{m}$ och makroporer mäter $>100 \mu\text{m}$. Vidare berättas att porer som mäter mellan $0,2\text{--}60 \mu\text{m}$ är särskilt viktiga för jordens vattenhållande förmåga, medan större porer dräneras av gravitationen och sedan är luftfyllda tills nytt vatten tillförs. Craul (1992) beskriver att jordens syrehalt är beroende både av dess porositet och vattenmättnad. Generellt behöver minst 10% av jordens volym utgöras av luftfyllda porer för att den ska fungera för växter och för att rötter ska kunna växa, även om det finns vissa arter som klarar lägre lufthalt. Vidare berättas att markluften normalt innehåller mindre syre och mer koldioxid än atmosfärisk luft. Nära jordytan är syrehalten ofta närmare 20%, men sedan sjunker den med djupet. Craul beskriver att cellandningen leder till att halterna av koldioxid ökar samtidigt som syrehalterna minskar om gasutbytet mellan jord och luft försämras. Höga nivåer av koldioxid är toxiskt för rötterna, medan syrebrist både har direkta effekter på rötternas metaboliska processer och indirekta effekter på markförhållanden som pH, mikro- och makroliv, enligt Craul. Detta leder till att syrebrist även påverkar de näringsämnescykler som är beroende av mikroorganismer (Sieghardt et al. 2005).

3.1.2 Vatten

Markvatten är viktigt på flera sätt. Vattnet transporterar näring och andra ämnen genom jorden (Craul 1992). Träden behöver vatten för den interna transporten av socker och näringsämnen och det krävs också vatten för att fotosyntesen ska fungera (Sjöman et al. 2015). Dessutom behövs det för att ge stadga till bladen och för att kyla dem när det är varmt (ibid.). Det vatten som finns i jordens minsta porer är hårt bundet och omöjligt för rötterna att ta upp, medan vattnet i större meso- och makroporer är växttillgängligt (Craul 1992).

Träd som drabbas av torka använder olika strategier för att spara på vatten, till exempel stänger de bladens klyvöppningar för att minska avdunstningen, skotttillväxten minskar och de nya blad som bildas har mindre storlek (Sjöman et al. 2015). Rottillväxten fortsätter dock under längre tid trots torka, vilket leder till att förhållandet mellan rötter och skott kan ändras så att rotsystemet blir större i relation till ovanjordiska växtdelar (ibid.). Vid svårare torka kan träden fälla sina blad. Det är stor skillnad på olika arters förmåga att hantera vattenstress (ibid.).

I områden med högt grundvatten och täta ytskikt kan både infiltration och avdunstning förhindras och vattennivåerna i jorden kan variera mycket, vilket kan skapa perioder med syrebrist (Sieghardt et al. 2005). Dock är grundvattennivåerna oftast låga i urban miljö, vilket bland annat beror på att dagvatten leds undan via avloppsledningar (Sieghardt et al. 2005).

3.1.3 Näring och pH

De naturliga näringsämnescyklerna är ofta brutna eller störda i urban jord, eftersom fallna löv och annat organiskt material städas bort i hög grad eller förhindras att nå jordytan på grund av markbeläggningar. Detta leder till att jorden på sikt får ett lågt näringsinnehåll och stort mikroliv (Sieghardt et al. 2005). I en urban jord är det ofta brist på humus och näringsämnen kväve, fosfor, kalium och magnesium (Sieghardt et al. 2005). Växter behöver förhållandevis stora mängder av makronäringsämnen kväve, fosfor, kalium, calcium, magnesium och svavel, medan mikronäringsämnen som järn, mangan, koppar och zink, behövs i mindre mängd (Craul 1992). I en naturligt bildad jord påverkas tillgången på näringsämnen till stor del av modernmaterial, genom att mineral utsätts för vittring (Craul 1992).

Växttillgängliga näringsämnen finns antingen lösta i markvattnet eller är bundna till jordpartiklar, men blir åtkomliga via katjonsutbyte (ibid.). Lerpartiklar och organiskt material är exempel på jordkomponenter som gör jorden näringsrik genom att de har en hög katjonsutbyteskapacitet (CEC). Den urbana jorden är ofta fattig på dessa substanser, vilket ger en negativ effekt på den näringshållande förmågan (Jim 2019).

Nivåerna av växttillgängliga näringsämnen är även kopplade till pH (Craul 1992). Det är vanligt att pH är förhöjt i urbana jordar jämfört med naturligt bildade

jordar (Craul 1992; Czerniawska-Kusza et al. 2004; Cekstere et al. 2008; Bühler et al. 2017). Craul (1992) anger flera skäl till detta, bland annat halkbekämpning med salt och vittring av kalkinnehållande byggnadsmaterial som betong och gips. Högt pH leder till att flera mikronäringsämnen blir svårösliga, vilket förhindrar växterna från att ta upp dem (Sieghardt et al. 2005). Två exempel är järn och mangan, som det kan bli brist på när pH överstiger 7,5 (ibid.). Vidare påverkar högt pH även mängden och sammansättningen av mycorrhizan, vilket också kan bidra till näringsbrist för trädet.

3.2 Markförhållanden i den hårdgjorda staden

3.2.1 Urban jord

Urban jord kan se väldigt olika ut. Generellt skiljer den sig från naturligt bildade jordar både avseende sammansättning och struktur, eftersom den definitionsmässigt utsatts för olika störningar som förflyttning, omblandning, kompaktering eller föroreningar (Craul 1992; Urban 2008). Jordhorisonterna är oregelbundna och heterogena, många gånger med inblandning av fyllnadsmassor, skräp eller restprodukter av olika slag (Yang & Zhang 2015). I jordprofilen kan det finnas skikt av äldre hårdgjord markbeläggning eller kompakterade lager som gör att vatten hålls kvar under lång tid och skapar anaeroba förhållanden (Urban 2008). Ju högre upp i jorden ett sådant tätt skikt befinner sig, desto större påverkan blir det på jordprofilen (Sieghardt et al. 2005). Den urbana jorden karaktäriseras av en låg halt av organiskt material, brist på naturliga aggregatstrukturer och en stor variation i kornstorlek (Jim 2019). Den oregelbundna sammansättningen gör att vattnets rörelse genom markprofilen rubbas och förmågan till infiltration samt perkolation kan vara negativt påverkade (Craul 1992). När vattnet inte kan infiltrera bidrar det till ökad ytavrinning (Yang & Zhang 2015). Som tidigare nämnts är den urbana jorden ofta torr, men svårgenomträngliga objekt eller strukturer i marken kan leda till att vatten ansamlas på vissa platser (Craul 1992).

3.2.2 Kompaktering

Kompaktering är ett mycket stort problem i stadsmiljö, både för att det är vanligt förekommande och för att det ger bieffekter som kommer i konflikt med flera av trädens grundläggande behov (Urban 2008). En naturligt bildad jord innehåller generellt ca 50 volymprocent mineralpartiklar och upp till ca 5 volymprocent organiskt material. Resten av volymen består av porer (Urban 2008). När jorden pressas samman – kompakteras – är det framför allt makro- och mesoporer som kollapsar (Jim & Ng 2018). Detta sänker jordens lufthalt och gör att gasutbytet med atmosfären minskar (Sieghardt et al. 2005). Som en följd av detta får rötterna

minskad tillgång till både syre och vatten (Craul 1992). I en kompakterad urban jord söker sig rötterna till områden med bättre förutsättningar, vilket kan leda till att markbeläggningar lyfts och att rötter kan växa in i avloppsledningar (Fridell et al. 2022). Det har visats att jord som kompakterats till den grad som behövs för stabila grundläggningar och marköverbyggnader blir svår genomtränglig för rötter, vilket gör att trädet får svårt att breda ut sitt rotsystem utanför planteringsgropen (Kristoffersen 1999).

I hårdgjorda miljöer sker kompaktering både avsiktligt, eftersom anläggning av hårdgjorda ytor kräver att överbyggnadslager kompakteras för att bli stabila (Kristoffersen 1999), och oavsiktligt, genom överfarter med tunga maskiner, annan fordons- och gångtrafik eller vibrationer (Urban 2008). Ju större tyngd som jorden utsätts för, desto större djup når kompakteringen (Craul 1992). Omblandning av jorden bidrar också till kompaktering då aggregatstrukturer förstörs, särskilt gäller det större och skörare aggregat (ibid.). Jord har olika benägenhet att kompakteras beroende på kornstorlek och ett högt lerinnehåll ökar risken (Sieghardt et al. 2005).

Processen när jord torkar och blöts upp eller fryser och tinar främjar aggregering och motverkar kompakteringseffekter, men detta sker mer sällan i ett varmt urbant klimat (Sieghardt et al. 2005).

3.2.3 Utrymme

Träd har behov av utrymme såväl ovan som under jordytan. Växtbäddens storlek är betydelsefull för hur mycket vatten som är tillgängligt för trädet, tillsammans med jordens textur och struktur samt dräneringsförhållanden (Lindsey & Bassuk 1991a). Jordvolymen behöver också kunna tillgodose trädets behov av näringsämnen och vara tillräckligt stor för att rötterna ska kunna förankra trädet i marken (Sieghardt et al. 2005).

Träd som växer i en mark utan begränsningar för rotutbredningen har ofta ett brett, horisontellt och grunt rotsystem, medan träd i gatumiljö sällan har dessa möjligheter att breda ut sig (Lindsey & Bassuk 1991b). Vilket utrymme det finns för rotutbredningen är avgörande både för hur stort trädet blir och dess livslängd (Sieghardt et al. 2005). Rötterna har en benägenhet att växa dit det är lågt motstånd (ibid.). Enligt Jim (2019) kan begränsningar av rotutrymmet delas in i yttre och inre faktorer. Inre faktorer kan vara en jordstruktur som är svår genomtränglig för rötterna, med stora mängder hårda material som rivningsmassor, eller kompakterad jord som förlorat många av de makroporer där rötter kunnat ta sig fram. Yttre faktorer utgörs av begränsningar i växtbäddens djup och vidd. Djupet kan begränsas av jordlagrets faktiska tjocklek, till exempel på bjälklag, men även av svår genomträngliga lager i markprofilen som gör att rötterna håller sig ytligt, se Figur 3. Som exempel på begränsningar av rotutrymmet nämner Jim (2019) både porösa strukturer som uttalad packning av marköverbyggnader under hårdgjorda

ytor och icke-porösa strukturer som byggnader, olika markinstallationer och avsiktliga rotbarriärer.

Eftersom många funktioner ska rymmas i marken och utrymmet är begränsat är det relevant att veta hur stor jordvolym ett träd behöver. Det finns många uppfattningar om vilken volym det rör sig om. Lindsey och Bassuk (1991b) beräknade att ett gatuträd behöver ca $0,6 \text{ m}^3$ jord/ m^2 kronarea för att få tillgång till tillräckligt mycket vatten, utifrån data om regnmängder och evaporation i sex städer spridda över USA. Urban (2008) föreslår en växtbäddsvolym relaterat till den kronarea och stamdiameter trädet ska ha när det uppnått önskad storlek. Stockholms stad (2017) rekommenderar en växtbäddsvolym på minst 15 m^3 för ett gatuträd, medan Malmö Stad (2023c) anger att volymen ska vara minst 30 m^3 för ett träd i en separat växtbädd och minst 20 m^3 per träd i en gemensam planteringsyta. För att utnyttja ytan på ett optimalt sätt är det fördelaktigt att samla flera träd i samma växtbädd, jämfört att göra flera separata små växtbäddar för samma antal träd (Sieghardt et al. 2005).



Figur 3. Bilden visar hur ett kompakterat lager gjort att trädrötterna inte trängt ner i djupare markskikt. Rötterna har i stället hållit sig till det övre jordlagret (Näslander, u.å.-a)

3.2.4 Skorpbildning och ogenomträngliga ytskikt

Ett annat fenomen som kan ske i en urban jord är bildandet av en hydrofob skorpa, om det saknas marktäckning av vegetation eller om jorden är bar av annan anledning (Craul 1992). Fenomenet innebär att det bildas ett tunt lager som är svårigenomträngligt för vatten i den allra översta delen av jorden. Orsakerna är ytlig

kompaktering, regndroppar och kemiska reaktioner som bidrar jordaggregat faller isär. Resultatet blir ett 2 mm tjockt lager av horisontellt orienterade jordpartiklar och tätt packat finmaterial. En film av oljebaserade föroreningar kan också bidra till den hydrofoba effekten (Craul 1992).

I områden med hårdgjorda ytskikt är ytavrinningen, det vill säga det dagvatten som inte infiltrerar ner i marken utan rinner vidare, mycket hög. Sieghardt et al. (2005) anger att täta ytskikt täcker upp till 90% av ytan i tätbebyggda områden och industrimark och upp till 100% i den centrala staden.

3.2.5 Salt

Användning av saltet natriumklorid (NaCl) för halkbekämpning är mycket vanlig i stadsmiljö. Som exempel kan nämnas att vägsaltförbrukningen i Malmö stad var 2435 ton under vintersäsongen 2022–2023 (Malmö Stad 2023b). Studier har visat att salt för halkbekämpning kan ge såpass förhöjda värden av natriumjoner (Na^+) och kloridjoner (Cl^-) i växtbäddar att toxiska nivåer uppnås (Czerniawska-Kusza et al. 2004; Cekstere et al. 2008).

Salt kan ge allvarliga negativa effekter på stadsträd, även om det finns stora skillnader mellan olika trädarters förmåga att tolerera salt (Sieghardt et al. 2005). Dobson (1991) skriver i en bulletin hur salt påverkar lövfällande träd. Cl^- kan lagras in i knopparna, vilket gör att de inte öppnas alls eller att bladen dör snart efter bladutspringet. I mildare fall kan det första bladutspringet bli försenat och bladen mindre än normalt. Bladen kan också ha ett normalt utseende initialt, men mitt i sommaren drabbas av kantnekroser och formförändringar varefter träden avlövas tidigare än förväntat. Vidare beskriver Dobson (1991) att allvarliga saltskador kan leda till att skott, grenar eller hela ungträd dör, vilket antingen kan gå fort – inom ett par månader – eller vara en mer långsam process. Saltskador på träd kan också leda till att tillväxten minskar samt att träden blir mindre motståndskraftiga för andra stressfaktorer (Sieghardt et al. 2005). Vintergröna arter och barrträd är ännu känsligare för vägsalt än de lövfällande, då de förutom marksalt även utsätts för direkta saltstänk på blad och barr under vintersäsongen (Bryson & Barker 2002).

Rötterna tar upp vatten med hjälp av osmos, det vill säga att vatten passerar över cellernas semipermeabla membran mot den sida som har lägst osmotisk potential (Dobson 1991). När det finns en stor mängd Na^+ och Cl^- i jorden minskar koncentrationsgradienten mellan jorden och växtcellerna, vilket påverkar vattenupptagningsförmågan negativt och kan resultera i så kallad fysiologisk torka. Dobson (1991) beskriver att denna process visserligen kan bidra till saltskador, men menar att den direkta toxiciteten hos Na^+ och Cl^- har större betydelse för de skador som uppkommer.

NaCl påverkar också jordens kemiska och strukturella egenskaper. Salt bidrar till kompaktering av jorden genom att det löser upp aggregatstrukturen i lerjordar

(Homes 1961 se Bryson & Barker 2002). Man har även funnit att salt kan bidra till att höja pH i marken (Bryson & Barker 2002).

När det finns en stor mängd Na^+ kommer det bindas till jordpartiklarna och tränga undan andra katjoner som är värdefulla näringsämnen, till exempel K^+ , Ca^{2+} och Mg^{2+} . Dessa lakas då ur jorden, vilket leder till att det uppstår brist på växttillgänglig näring (Dobson 1991).

3.2.6 Kemiska föroreningar och tungmetaller

Utöver salt, som alltså är en allvarlig förorening ur trädperspektiv, är det vanligt att urban jord även innehåller andra föroreningar. Rester från tidigare verksamheter kan finnas begravda, till exempel olja, aska, avloppsslam, bekämpningsmedel eller annat avfall (Sieghardt et al. 2005). Kemiska föroreningar kan även komma från atmosfären eller med dagvattnet (ibid.). Trafik ger inte bara upphov till avgaser utan även spill av oljebaserade ämnen som kan droppa från fordon och följa med vattnet till växtbäddar (Deak Sjöman et al. 2015). Sieghardt et al. (2005) beskriver att de växttillgängliga nivåerna av tungmetaller som bly, koppar, zink och kadmium är relaterade till pH och jordens katjonsutbyteskapacitet (CEC). I en basisk jord är tungmetallerna mindre växttillgängliga, eftersom de binds till jordpartiklarna i högre grad än om jorden är sur. I detta hänseende är det alltså en fördel att den urbana jorden har ett högre pH, som beskrivits ovan. Om nivåerna av tungmetaller överskrider gränsen för vad träden kan tolerera leder det till minskad transpiration och en negativ påverkan på fotosyntesen. Dessutom minskar tillväxten av rötterna och i förlängningen även tillväxten av hela trädet. Enligt Sieghardt et al. (2005) finns det stora variationer mellan olika träddarter, sorter och till och med individer när det gäller toleransen för tungmetaller.

3.2.7 Temperatur

Jordens temperatur varierar över dygnet och över året, med solinstrålningen (Craul 1992). Som nämndes i arbetets inledning innebär den urbana värmeö-effekten att temperaturerna i staden ofta är högre än i kringliggande landskap. Vid hög jordytetemperatur avdunstar vatten från det översta jordskiktet, vilket bidrar till att vatten transporteras uppåt från djupare skikt (ibid.). En hög marktemperatur gör även att jorden torkar (Deak Sjöman et al. 2015). Fukthalten påverkar hur snabbt jorden ändrar temperatur, på så sätt att en torr jord både värms upp och kyls av snabbare än en blöt (Craul 1992). I gatumiljön saknas ofta ett isolerande skikt av organiskt material eller låg växtlighet ovanpå jorden. Material som asfalt värms dessutom upp till mycket höga temperaturer, som även sprider sig ner i jorden under asfaltsbeläggningen (ibid.). Höga temperaturer gör att processer som frisättning av näringsämnen, nedbrytning av organiskt material och vittring går snabbare (ibid.).

4. Plantering av träd i hårdgjorda ytor

Som beskrivet finns ett flertal konflikter mellan trädens behov och de företeelser som utmärker den urbana jorden. Olika lösningsalternativ har utvecklats för att förbättra förutsättningarna för trädplantering i hårdgjord miljö och samtidigt utnyttja ytan mer effektivt, genom att utrymmet under markbeläggningen görs rottillgängligt. I internationell litteratur indelas alternativen enligt två olika huvudstrategier för att skapa rotutrymme och undvika kompaktering: antingen genom användning av olika typer av skelettjordar eller genom så kallad *suspended pavement*, vilket är ett engelskt begrepp som omfattar olika varianter av markbeläggning ovanpå ett vikt bärande system (Smiley et al. 2019). I Sverige har det blivit vanligt att använda sig av skelettjordar. Med utgångspunkt i dessa har det skett en vidareutveckling mot de makadambaserade substratblandningar och öppna bärlager som man arbetar med idag (Stockholms stad 2017; Fridell et al. 2022; Göteborgs Stad 2023b). Detta kapitel riktas mot arbetets andra frågeställning med en sammanställning av olika lösningsalternativ för att skapa fungerande växtbäddar för gatuträd.

4.1 Skelettjordar och andra makadambaserade substrat

Begreppet skelettjord innebär en jordblandning där växtjord kombineras med en vikt bärande struktur, kallat skelett, som fördelar trycket från markbeläggningen ner till undergrunden (Grabosky & Bassuk 1995). Skelettet består av en stor fraktion av makadam, vilket innebär stenkross där finfraktionerna silats bort. Exempel på vanliga makadamfraktioner i svenska skelettjordar är 100–120 mm, även kallad skärv, 32–90 mm och 32–63 mm (Embrén 2016; Stockholms stad 2017). Genom att finfraktionerna avlägsnats uppstår hålrum mellan makadamfragmenten. I dessa finns det plats för växtjord som skyddas från kompaktering, se Figur 4. En förutsättning för att den vikt bärande funktionen hos skelettet ska fungera är att andelen växtjord inte är för stor, eftersom makadamfragmenten måste vara i kontakt med varandra (Grabosky & Bassuk 1995).

I Sverige startades det SLU-drivna projektet ”Trädgropar i Gatumiljö” i Göteborg 1987. Syftet var att hitta nya lösningar för att förbättra förutsättningarna

för att lyckas med plantering av gatuträd (Rolf & Moback 1991). Inom ramen för projektet gjordes försök med en tidig variant av skelettjord, bestående av krossade lecablock och jord. Idén kom från Holland, där man tidigare på 1980-talet startat försök med skelettjordar där lavasten använts som vikt bärande element (Rolf 1994).

Den första amerikanska skelettjorden skapades i mitten av 1990-talet av Grabosky och Bassuk (1995) och ledde fram till produkten CU (Cornell University) structural soil (Bassuk et al. 2015). Denna typ av skelettjord är vanligt förekommande i internationella studier och ofta den som andra metoder för växtbäddsuppbyggnad ställs emot. Jämfört med de skelettjordar som använts i Sverige är CU structural soil uppbyggd av en mindre storlek på makadam: 19–38 mm. Skelettet blandas med jord som har minst 20% lerhalt och 2–5% organiskt material. Dessutom tillsätts en polymergel som ska förhindra komponenterna från att separeras (Bassuk et al. 2015).



Figur 4. Spelet Råttfällan illustrerar hur en skelettjord kan ha hålrum som är skyddade från kompaktering. Belastningen på marken fördelas genom stenkrossfragmenten ner mot undergrunden, på samma sätt som fjäderns tryck mot den tvärgående tråklossen fördelas genom spelpjäserna mot ramen. Hålrummen mellan pjäserna utsätts inte för tryck och det är i motsvarande hålrum som det kan finnas icke-kompakterad växtjord i skelettjorden. Observera att hålrummen är större där det enbart finns stora pjäser, på samma sätt som ökande storlek på krossfragment, utan finfraktioner, ger upphov till större utrymme för rötterna (Carlgren 2023b).

4.1.1 Vetenskapliga studier av skelettjord

Det finns många studier som bekräftar att träd kan växa i skelettjord och att trädrötter breder ut sig mer i skelettjord än i kompakterad jord (Kristoffersen 1999; Grabosky et al. 2001; Grabosky et al. 2009; Bühler et al. 2017). Vid jämförelse med träd som planteras i en icke-kompakterad matjord har det däremot visats att den ovanjordiska tillväxten blivit sämre hos de träd som planterats i skelettjord (Bühler et al. 2007; Smiley et al. 2019). Ett exempel på detta beskrivs i en undersökning av parklindar, *Tilia x europaea* 'Pallida', som tagits upp efter att ha stått tio år på Kongens Nytorv i Köpenhamn. Även om tillväxten över lag var godtagbar och

något bättre för de parklindor som stått i en korrekt anlagd skelettjord jämfört med andra som stått där jorden haft ett kompakterat lager, var årsringarnas bredd i båda fallen betydligt mindre än hos lindor som växt i en ostörd matjord utanför Köpenhamn (Bühler *et al.* 2017).

En farhåga har rört eventuell instabilitet i skelettjord. En studie av Bartens *et al.* (2010) fann inga belägg för detta. Tvärtom fann man att japanskt prydnadskörbär, *Prunus serrulata*, motstod dragkrafter bättre i skelettjord än i växtbäddar med kompakterad jord respektive suspended pavement, (Bartens *et al.* 2010). I samma försök undersökte man även kinesisk alm, *Ulmus parvifolia*, men fann i detta fall inga skillnader mellan de olika växtbäddarna, vilket författarna härleder till trädartens förmåga att etablera sig i svåra förhållanden. Författarna menar att även om försöket gjordes med träd som bara var 3,5 år gamla tyder resultatet på att den rotutbredning som sker i skelettjorden leder till trädstabilitet, åtminstone när trädet är ungt. Några studier av liknande försök med äldre träd i skelettjord har inte hittats.

En annan farhåga är att rötter ska bli tilltryckta och strypta när de med tiden ökar i tjocklek i det hårda porsystem som skelettjorden erbjuder. Urban (2008) menar att denna risk torde bli mindre med större fraktion på makadam, då utrymmet mellan fragmenten blir större. I studien av parklindor på Kongens Nytorv såg man dock att rötter blivit deformerade och visade tecken på hämmad tillväxt på grund av de trånga utrymmena i skelettet, trots att makadamdiametern var hela 64–150 mm (Bühler *et al.* 2017). Detta visar att det finns belägg för att rötterna påverkas av strukturen i skelettjorden, men det står inte klart vilken betydelse det har för trädet.

Ett sätt att undersöka trädens tillstånd är att mäta rot/skott-kvoten – det vill säga hur stort rotsystemet är i förhållande till kronans storlek (Russel 1977 se Kristoffersen 1999). Olika stressfaktorer kan ge upphov till en ökning i rot/skott-kvoten, då växterna svarar på stressen genom att investera i långa smala rötter för att kunna nå större jordvolym (Nye 1973 se Loh *et al.* 2003, Russel 1977 se Kristoffersen 1999). Kristoffersen (1999) fann att plantering i skelettjord gav en ökning av rot/skott-kvoten, jämfört med plantering i ren matjord, vilket han menar tyder på stress och risk för minskad tillväxt på sikt, även om träden i skelettjord hade lika stor ovanjordisk tillväxt som kontrollträden i matjord vid tillfället då studien avslutades efter två tillväxtsåonger. Tecken på rotpåverkan sågs även i en studie av Loh *et al.* (2003), då träd som växt i behållare med skelettjord av typen CU structural soil hade en större rotlängd per viktenhet än de som växt i matjord.

4.1.2 Skelettjordar i Sverige

I Sverige användes ursprungligen två olika grundmetoder för anläggning av växtbäddar med skelettjord. Den ena var Stockholmsmodellen, som utvecklades på tidigt 2000-tal (Stockholms stad 2017). Metoden går ut på att grov makadam i fraktionen 90/150, kallad skärv, läggs ut i skikt som packas och toppas med växtjord. Detta spolans sedan ner i hålrummen mellan skärven innan man fortsätter

med nästa skikt (Stockholms stad 2017). Ovanpå skelettjordslagret anläggs ett luftigt bärlager av makadam med mindre fraktion, som tillsammans med luftbrunnar har funktionen att föra ner luft och dagvatten i systemet.

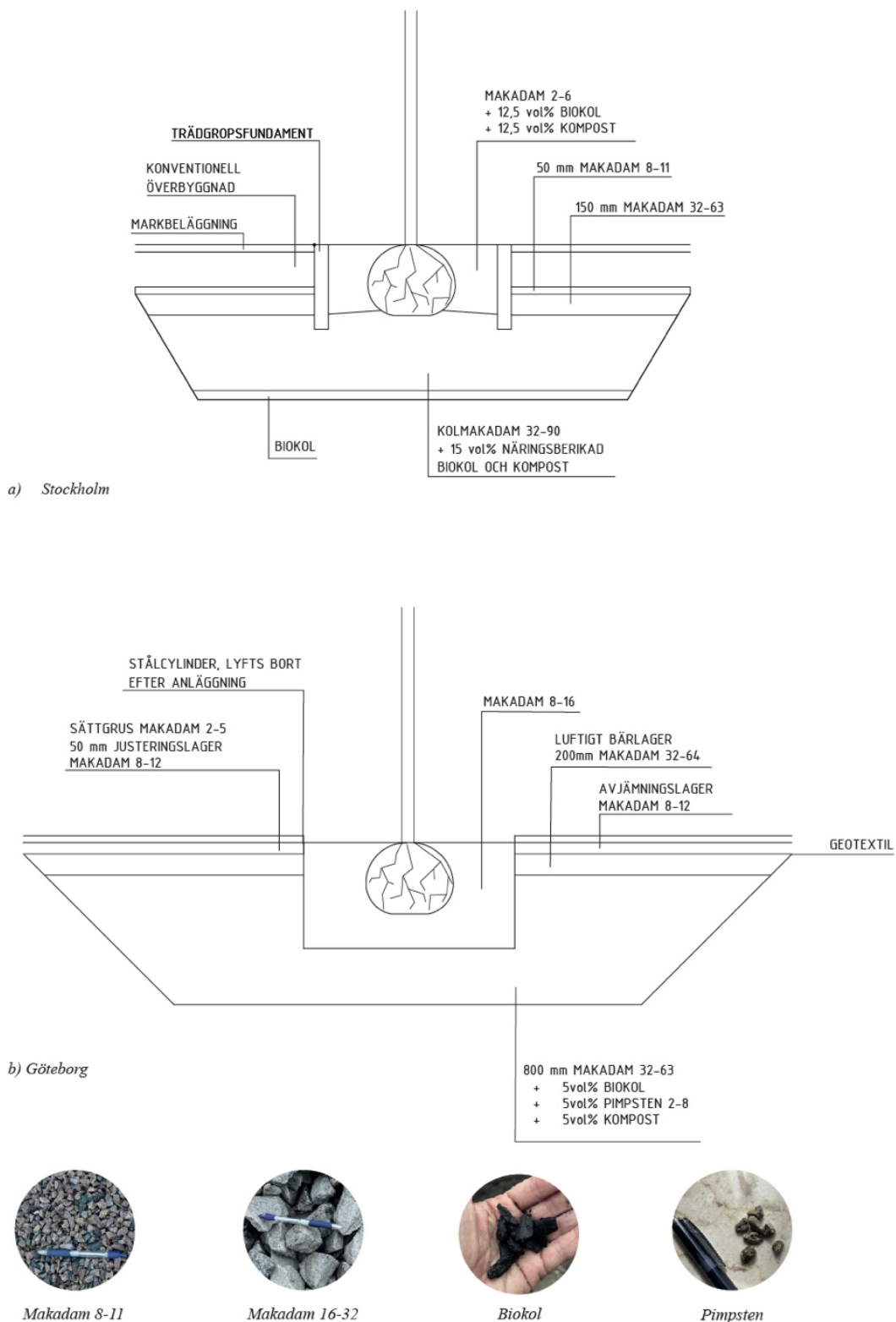
Den andra grundmetoden, kallad Göteborgsmodellen, går ut på att växtjord och skärv blandas redan innan den färdiga skelettjorden levereras till platsen (Göteborgs Stad 2023a). Problem med färdigblandad skelettjord är att den måste behandlas försiktigt och ha rätt fukthalt för att inte separeras under transport eller anläggning (Urban 2008). Av denna anledning får den färdigblandade skelettjorden inte tippas utan ska lyftas ner i planteringsgropen med gripskopa (Svensk Byggtjänst 2023). Jord som ska spolas ner i växtsubstratet, som vid Stockholmsmodellen, får ha maximalt 8% lerhalt, medan växtjorden som används till färdigblandad skelettjord kan ha en betydligt högre lerhalt, mellan 10–20% (Svensk Byggtjänst 2023).

4.1.3 Nya substrat med biokol, pimpsten och grönkompost

En viktig utveckling har skett i och med att man de senaste åren börjat röra sig från att använda jord i skelettjordsblandningarna och i stället arbetar med växtsubstrat, det vill säga konstruerade sammansättningar som fungerar som växtmedium, för att ge träden bättre förutsättningar på sikt. 2009 introducerade man biokol som ersättning för växtjord i skelettjordblandningen i Stockholms stad, vilket gjort substratet okänsligt för kompaktering (Embrén 2016). Dessutom minskades makadamfraktionen eftersom en fraktion från 32–63 mm upplevts som lika välfungerande eller bättre än den större fraktion som användes i den ursprungliga Stockholmsmodellen (ibid.), se Figur 5a. På Trafikkontoret i Stockholm har man slutat använda den ursprungliga Stockholmsmodellen med nedspolad jord i skärv och helt gått över till att använda färdiga blandningar av makadam, kompost och biokol, enligt Britt-Marie Alvem¹, trädspécialist i Stockholms stad. Hon beskriver att det är fördelaktigt att substratet levereras färdigblandat till platsen, då det underlättar hanteringen och gör att anläggning även kan ske vintertid. Stockholms stad har sedan 2017 en egen tillverkning av biokol från park- och trädgårdsavfall, vilket gör att biokolet kan lokalproduceras (Stockholms stad 2022).

I och med att man frångått kombinationen av jord och skärv har språkbruket ändrats. De nya blandningarna fyller samma vikt bärande funktion som skelettjordar, men har andra benämningar. I Stockholm använder man begreppet kolmakadam för blandningen av biokol och makadam (Stockholms stad 2017).

¹ Britt-Marie Alvem, trädspécialist på Trafikkontoret i Stockholms stad, mejl-kontakt den 7 och 11 december 2023.



Figur 5. Fotografier av exempel på material samt schematisk skiss över växtbäddar för träd i hårdjord miljö. Luftbrunnar, trädgaller och dräneringsrör är inte utritade. a) Växtbädd med kolmakadam, skiss efter Stockholms stad (2017). b) Växtbädd för träd med kolmakadam och hantering av dagvatten, skiss efter Göteborgs tekniska handbok (Göteborgs Stad 2022b) (Carlgren 2023c).

Oskar Hägg¹, trädspécialist i Göteborg, och Patrick Bellan², trädspécialist i Malmö, berättar att även dessa städer övergått till att använda olika typer av makadamsubstrat-blandningar. Malmö modell utmärker sig framför allt genom att man använder en större andel pimpsten i substratet (Svensson et al. 2023). Malmö stads tekniska handbok är för närvarande under revidering och aktuella ritningar har inte kunnat erhållas härifrån, som tidigare nämnts i Metod-kapitlet. Göteborg var den sista av de tre storstäderna att ersätta skelettjordens jordkomponent med växtsubstrat, enligt Oskar Hägg¹, men 2018 började man använda en substratblandning av lika delar biokol, pimpsten och grönkompost, se Figur 5b. I Göteborg används den äldre varianten av skelettjordsbädd endast i undantagsfall numera. Vidare berättar Hägg att han är av uppfattningen att de träd som planteras i makadamsubstrat överlever i mycket hög grad och att de resultat man har i Göteborg är betydligt bättre än vad man ser i internationella studier, där många träd dör under etableringstiden.



Figur 6. Trädgropsfundament i betong (något beskuren). (Nässlander, u.å.-b)

Oavsett modell använder man ett annat substrat närmast rotklumpen. I Stockholm används finare makadam med en större mängd av biokol och kompost än i resten av växtbädden (Stockholms stad 2017). I Göteborg används enligt typritningen endast finare makadam (Göteborgs Stad 2022b), alternativt växtjord, enligt föreläsningsmaterial från konferensen Träddagarna 2023 (Svensson et al. 2023). I Malmö används en blandning av 70% pimpsten 2–8, 20% grönkompost och 10% biokol närmast rotklumpen (Svensson et al. 2023). I Stockholm och Malmö placeras träden i trädgropsfundament av betong, se Figur 6, fyllda med det lämpliga substratet (Malmö Stad 2009; Stockholms stad 2017). I Göteborg använder man sig i stället av en liknande metod som vid de första försöken på 1980-

¹Oskar Hägg, trädspécialist i Göteborgs Stad, digitalt möte 18 december 2023 samt e-post 21 december 2023.

² Patrick Bellan, trädspécialist i Malmö Stad, digitalt möten den 19 december 2023 samt e-post 21 december 2023

talet (Rolf & Moback 1991), det vill säga att en stålcyllinder isolerar växtsubstratet som ska vara runt rotklumpen från den grövre blandningen runtomkring. Stålcylindern avlägsnas innan trädet planteras (Göteborgs Stad 2022b).

Pimpsten i växtsubstrat

Pimpsten är ett material som används för att bevara fukt och tillföra struktur till växtsubstratet (Stockholms stad 2017). I Malmö är pimpstensanvändning vanlig i trädplanteringar, till exempel i växtbäddar för torktåliga träd i hårdgjord yta (Malmö Stad 2009). Här rekommenderas användning av pimpsten både i växtsubstratet närmast rotklumpen och i makadamssubstratet (ibid.). Patrick Bellan¹, trädsspecialist i Malmö Stad, anger att hans upplevelse är att de träd som de planterar i pimpstenssubstrat överlever i mycket hög grad.

Pimpsten är en vulkanisk bergart som har låg densitet och en hög porositet på 70–85% (Raviv et al. 1999, Boertje 1995). Flores-Ramírez et al. (2018) har undersökt mängden växttillgängligt vatten i olika geologiska substrat. De beskriver att i ett poröst material som pimpsten finns två olika typer av porer: de interpartikulära porerna mellan partiklarna och de intrapartikulära porerna inuti partiklarna. Även om de stora interpartikulära porerna dräneras snabbt på vatten i ett pimpstenssubstrat hålls vatten kvar i de intrapartikulära porerna. Vattnet i de intrapartikulära porerna kan bli tillgängligt för växter genom att rötterna växer in i pimpsteningen. Dock konstateras att delar av den interna porvolymen är otillgänglig för vatten, eftersom en stor del av porerna är slutna hålrum inuti stenen - särskilt i större fraktioner av pimpsten. Trots detta fann Bollman et al. (2019) att pimpsten har en relativt hög vattenhållande kapacitet. Pimpsten har även förmåga att binda till sig katjoner och kan på så sätt bidra till att hålla näring i jorden (Gunnlaugsson & Adalsteinsson 1995).

Pimpsten måste importeras till Sverige. Det är vanligt att den pimpsten som används här kommer från Island (Bara Mineraler 2023; Hasselfors Garden 2023), även om pimpsten också bildas i andra vulkaniska områden runt om i världen (Raviv et al. 2019). Trots upprepade försök att ta reda på bakgrunden till att man började använda pimpsten i så stor mängd i Malmö har det inte gått att finna några säkra källor. Några vetenskapliga publikationer har inte hittats avseende trädplantering i pimpstenssubstrat liknande det Malmö stad använder.

Biokol i växtsubstrat

Biokol tillverkas av organiskt material som genomgår pyrolys, vilket är en syrefri process som sker mellan 350–1000°C (Fransson et al. 2020). I trädplanteringssammanhang är några fördelar med biokol att det har en porstruktur

¹ Patrick Bellan, trädsspecialist i Malmö Stad, digitalt möten den 19 december 2023 samt e-post 21 december 2023

som ger en god vattenhållande förmåga samtidigt som det är stabilt och inte kompakteras lika lätt som växtjord (Fransson et al. 2020). Dessutom har biokol en hög CEC, vilket gör att näringsämnen hålls kvar i jorden och blir tillgängliga för växterna (Fransson et al. 2020). Biokol används i biofilter bland annat för dess förmåga att binda föroreningar. Den temperatur som används vid pyrolysisprocessen avgör vilka typer av föroreningar som biokolet binder till sig: om pyrolysen skett vid en temperatur under 500°C binds mer metalljoner och näringsämnen medan en temperatur över 500°C leder till att förmågan att binda oljor och andra organiska ämnen ökar (ibid.).

Att använda sig av biokol i gatuträdplanteringar är en ganska ny företeelse. Schaffert et al. (2022) har gjort en litteratursammanställning kring användningen av biokol i trädplanteringar och har då även inkluderat träd i fruktodling. Det finns begränsat med studier av biokolanvändning i urbana trädplanteringar, men författarna drar ändå slutsatsen att tillsats av biokol kan bidra till ökad överlevnad hos stadsträd. Vidare beskriver de att typen av organiskt material och vilken temperatur som används för framställningen är avgörande för vilka egenskaper biokolet får, till exempel graden av vattenhållande förmåga och porositet. Även storleken på biokolfragmenten har betydelse.

Det finns studier som undersökt biokol som tillsats till växtjord och Fransson et al. (2020) beskriver att det är i jordar med låg vatten- och näringshållande förmåga som tillsats av biokol ger mest effekt. Detta skiljer sig dock från användningssättet i Stockholm, där hela växtsubstratet utgörs av biokol och makadam, ibland även med tillsats av kompost (Stockholms stad 2017). Enligt Britt-Marie Alvem¹ är det ännu svårt att uttala sig om hur trädutväxten fungerar på sikt i kolmakadam, men tidiga försök har enligt Fransson et al. (2020) visat god tillväxt.

4.1.4 Gatuträd och dagvatten – en synergieffekt

Som beskrivet är vattenbrist ett stort problem för träd i urban jord. Det har varit svårt att finna uppgifter om hur vattenhållande de nya makadamsubstratblandningarna är, men Urban (2008) beskriver att skelettjordar är mycket väl-dränerade och torra. Samtidigt är dagvattenhantering en högst aktuell fråga i urbana nybyggnadsprojekt, då det ofta ställs krav på att en viss mängd dagvatten ska kunna omhändertas eller fördröjas lokalt (Svenskt Vatten 2011). Det finns många olika sätt att lösa detta, bland annat kan avledning till olika sorters växtbäddar bidra. Att leda dagvatten till gatuträdplanteringen, i stället för till avloppsnätet, fungerar samtidigt som bevattning och ger förbättrade förutsättningar för trädet (Fridell et al. 2022). Genom att integrera dagvattensystem, vegetationsytor och hårdgjorda ytor i gemensamma lösningar, i stället för att se på dem som separata entiteter, kan synergieffekter uppnås och gatumarken kan

¹ Britt-Marie Alvem, trädspécialist på Trafikkontoret i Stockholms stad, mejl-kontakt den 7 och 11 december 2023.

användas på ett mer effektivt sätt, se Figur 7. Detta synsätt ligger till grund för det som kallas blågröngråa system eller BGG-system (Fridell et al. 2022).

En viktig del av BGG-system är att ersätta konventionella förstärkningslager med öppna förstärkningslager av makadam utan finfraktion. Detta gör att det skapas ett stort porsystem som fungerar som fördröjningsmagasin för dagvatten under gång- eller körbanor, samtidigt som det förbättrar tillgången till utrymme och markluft för trädrötterna (Fridell et al. 2022). Nära botten av det öppna förstärkningslagret finns ofta en dränledning för att undvika långvarigt stående vatten och i förlängningen syrebrist för trädrötterna, något som är särskilt viktigt när terrassytan är tät eller grundvattnet högt (Sieghardt et al. 2005; Fridell et al. 2022).

En farhåga avseende öppna förstärkningslager rör bärighet. Även om det är känt att material utan finfraktioner är svårpackade har man i fallstudier från Stockholm sett att skelettjord fungerat bra i överbyggnaden på trafikerade centrala gator, enligt en Vinnovarapport av Hellman (2017). Malmö Stad (2023a) har under 2023 utvärderat öppna bär- och förstärkningslager under körbara ytor och konstaterar att de kan användas upp till trafikklass 1, under förutsättningen att de dimensioneras enligt anvisningar.



Figur 7. Exempel på kombination av gatuträdplantering och dagvattenhantering. Notera inloppet invid trottoaren. (Östberg u.å.)

4.2 Strukturella växtbäddar, rotceller och rotbryggor

Strukturella växtbäddar och rotbryggor är lösningar som omfattas av det engelska begreppet *suspended pavement*, vilket är något svåröversatt till svenska men som betyder ungefär uppallad markbeläggning. Det innebär att bäddar med sammanhängande växtjord täcks av något slags täckplattor, som ibland beläggs med slitlager. Täckplattorna vilar på bärande element, t.ex. plintar och balkar, vilka fördelar trycket från ytan ner i undergrunden samtidigt som växtjorden skyddas från kompaktering (Urban 2008). Enligt Smiley et al. (2019) ska *suspended pavement* ha börjat användas på tidigt 1980-tal i USA. I Sverige beskrivs växtbäddar uppbyggda med vikt bärande betongelement som en möjlig framtida lösning i avrapporteringen från det SLU-drivna projektet ”Trädgropar i gatumiljö”, som startades 1987 (Rolf & Moberg 1991). Samma princip ligger till grund för de rotbryggor av metallgaller som kan användas för att skydda rötter i samband med byggnation (Östberg & Stål 2015).

I början byggdes *suspended pavement* upp av avsatser som vilade på betongpålar, som en slags bryggor, men idag används ofta system av plastkassetter, så kallade rotceller eller växtceller, se Figur 8. Dessa byggs ihop till önskad storlek och fungerar enligt samma vikt bärande princip (Urban 2008). Om man ska nyanlägga en växtbädd med rotceller fylls systemet först på med växtjord, som i vissa fall kompakteras lätt, och ovanpå systemet kan sedan eventuell överbyggnad



Figur 8. Produktbild StrataCell™, som är ett exempel på ett rotcellsystem. Hållrummen i plastmodulerna fylls med jord och låter trädrötterna växa in i systemet. Systemet är vikt bärande och täcks med markbeläggning (Milford 2024).

och markbeläggning anläggas (Urban 2008). Enligt produktbeskrivning från Milford (u.å.-b), som saluför rotcellsystem i Sverige, kan ett lager av särskilda kassetter mellan de jordfyllda delarna och överbyggnaden integreras i systemet, för transport av luft och vatten in i växtbädden.

Ett argument för suspended pavement är att växtbädden kan vara mycket mindre än en växtbädd med skelettjord och ändå innehålla samma volym av växtjord, eftersom ca 60% av skelettjordsvolymen tas upp av makadam. Loh et al. (2003) har visat att en viss volym av skelettjord ger sämre tillväxtresultat än samma volym av ren växtjord, vilket tolkas bero på att det finns en mindre mängd växtjord per volymenhet och därmed mindre näring i skelettjorden.

4.2.1 Vetenskapliga studier avseende suspended pavement

Det finns ett flertal studier av hur träd utvecklas i bäddar med växtjord under suspended pavement, jämfört med skelettjord. Smiley et al. (2019) gjorde ett försök där han följde kinesisk alm, *Ulmus parvifolia* 'Snowgoose', i tio år mellan 2004–2014. Almarna planterades på ett försöksfält i olika typer av växtbäddar, vissa i skelettjord, vissa i matjord under suspended pavement och vissa i kompakterad matjord. Resultatet visade att under försöksperiodens sista fem år var tillväxten av både höjd och stamdiameter signifikant större hos de träd som stod i bäddar med matjord under suspended pavement, jämfört med övriga växtbäddar. Smiley et al. (2019) utförde ytterligare en studie där kinesiskt tulpanträd, *Liriodendron chinense*, fick växa tre år i olika växtbäddar uppbyggda av skelettjord, matjord anlagd i rotceller av plast samt i icke-kompakterad respektive kompakterad matjord. Resultatet av denna andra studie är i linje med den förra, med bättre tillväxt av stamomfång, höjd och vikt av både under- och ovanjordiska växtdelar hos de träd som stått antingen i matjord i rotceller eller i icke-kompakterad öppen matjord. Man såg även att fler grövre rötter trängt ner på djupet i växtbäddarna med matjord i rotceller, jämfört med de växtbäddar som varit uppbyggda med kompakterad jord eller skelettjord.

I ett försök med plantering av turkisk trädhassel, *Corylus colurna*, i en hårdgjord miljö mitt i en parkeringsyta i Lancashire i Storbritannien, jämfördes träd som planterats i 0,4–0,5 m³ stora trädgropar fyllda med lokal matjord med träd som planterats i rotceller fyllda med samma jord. Man fann att träden växte bättre och hade ett mer hälsosamt utseende när de sattes i rotceller, men bara på de platser där marken var kompakterad (Brockbank & Slater 2016). Detta belyser att rotcellerna skyddar mot kompaktering och att graden av markkompaktering är avgörande för om plantering i rotceller har någon effekt.

Enligt Milford är deras rotcellsystem uppbyggda av 100% återvunnet plastmaterial (Milford u.å.-a). Bortsett från miljöpåverkan i produktionsskedet finns andra skäl att minska användningen av plast generellt, bland annat utsläpp av

mikro- och nanoplaster och andra hälso- och miljöskadliga produkter av slitage och nedbrytning (Pathak et al. 2023). Någon information om hur plasten i rotcellsystemen förändras över tid och hur länge systemen håller har inte hittats, varken hos företag eller i vetenskapligt material.

4.3 Ytterligare bidrag till lösningar för fungerande gatuträdplanteringar

Även om olika varianter på skelettjordar och strukturella växtbäddar blivit de vanligast använda grundmetoderna (Smiley et al. 2019) finns det fler beskrivna lösningsalternativ för att skapa rotutrymme eller på annat sätt förbättra förutsättningarna för gatuträden.

Ökat rotutrymme: Rotkulvertar och jorddiken

Om gatuträdet är planterat nära en större sammanhängande vegetationsyta kan man anlägga underjordiska rotkulvertar, för att underlätta för trädets rötter att nå den större växtbädden (Uppsala kommun 2010). Rotkulverten kan utgöras av ett rör med icke kompakterad växtjord under en viktbarande konstruktion som bär upp markbeläggningen (Jim 2019). Urban (2008) föreslår andra liknande alternativ som innebär att gångar eller täckta diken förbinder trädgropen med andra växtbäddar. Han menar att fördelen är att dessa lösningar är kostnadseffektiva, men att rotsystemet blir väldigt långsträckt om växtbäddarna ligger på en rad och att man inte fullt studerat trädstabiliteten i dessa anläggningar.

Tillförsel av vatten: genomsläppliga ytskikt

Tillförsel av vatten till gatuträd måste inte ske genom uppsamling av ytavrinning, utan kan även uppnås genom genomsläppliga ytskikt, vilka till exempel kan utgöras av grus, hålsten av betong eller dränerande asfalt (Fridell et al. 2022). Dessa typer av beläggningar gör att vattnet kan infiltrera vertikalt ner i marken. Flödesförhållandena i marken blir därmed annorlunda jämfört med när vatten leds till öppna överbyggnadslager via en brunn. Fridell et al. (2022) menar att detta innebär att finare material kan användas i förstärkningslagret och att högre trafikklass därför kan fungera.

Skydd mot salt

En strategi för att skydda växtbädden mot salt är att så långt det är möjligt undvika att det alls hamnar där. Att undvika att leda dagvatten från saltade gator till växtbäddar samt att använda kantstenar och liknande avskärmande konstruktioner är sätt att skydda träd nära saltade ytor (Göteborgs Stad 2022a). Det finns regnbäddsinlopp som låter dagvatten rinna in i växtbädden när de är öppna, men

som manuellt kan stängas under vintermånaderna så att vattnet i stället slussas direkt till avloppssystemet (Milford 2023).

En annan lösning är att använda andra halkbekämpningsmetoder än saltning med natriumklorid. På utvalda platser i Malmö stad använder man i stället kaliumformiat, som är ett salt av myrsyra, för att skydda känslig växtlighet (Malmö Stad 2023b). Andra alternativ som Malmö stad använder i parkmiljö är singel och krossat grus, som dock har nackdelen att det lätt förflyttas och därför är mindre lämpligt i mer tättrafikerade områden (ibid.).

Väl-dränerade växtbäddar uppbyggda med makadamssubstrat är i sig mindre känsliga för salt än en lerinnehållande jord, eftersom strukturen inte påverkas (Fridell et al. 2022). Oskar Hägg¹ i Göteborgs Stad berättar att det var först när man gick över till makadamssubstrat utan jord som man aktivt började leda dagvatten till växtbäddarna. Innan dess gjorde växtbäddens höga inblandning av lera att fördröjningskapaciteten var minimal och dessutom påverkades möjligheterna till att hantera dagvatten vintertid av att lerans struktur är känslig för saltpåverkan.

¹ Oskar Hägg, trädspécialist i Göteborgs Stad, digitalt möte 18 december 2023 samt e-post 21 december 2023.

5. Diskussion

Denna del av arbetet återknyter först till de två frågeställningarna, varefter ett par avslutande reflektioner följer.

5.1 Vilka förutsättningar finns i gatumiljöns opreparerade mark och hur kommer de i konflikt med trädens behov?

Som beskrivet i kapitel 3 finns flera karaktäristiska urbana markförutsättningar som kommer i konflikt med trädens grundläggande behov av vatten, markluft och näring. Området är jämförelsevis väl studerat och kunskap om urban jord har framför allt hämtats från böcker som är något äldre, av den anledning att nyare publikationer fortfarande hänvisar till dem. Den information som hittats har varit samstämmig.

Ett av de utmärkande dragen för den urbana jorden är att dess sammansättning är mycket heterogen (Craul 1992). Med andra ord kan det antas att vissa urbana jordar har bättre förutsättningar att tillgodose trädens behov än andra och frågeställningen behandlas därför endast på ett generellt plan.

Ett komplext system

Litteraturstudien visar att den urbana jorden utgör ett komplext system, där enskilda faktorer i marken relaterar till flera av trädens behov, samtidigt som trädets möjlighet att få enskilda behov tillgodosedda påverkas av flera olika faktorer i marken. Utöver att de verkar på skilda sätt samverkar negativa faktorer också med varandra. Ett par exempel på detta är de samband som beskrivits mellan salt och pH (Bryson & Barker 2002), mellan salt och kompaktering (Homes 1961 se Bryson & Barker 2002), mellan kompaktering och utrymmesbegränsningar (Jim 2019), mellan kompaktering och vattenbrist eller vattenöverskott (Craul 1992) samt mellan vattenhalt och brist på markluft (Craul 1992). Gatumiljöns mark är särskilt präglad av dessa problematiska faktorer, med hög grad av kompaktering, utrymmesbrist och hårdgjorda ytskikt.

Vilket värde har kunskapen om konflikten mellan gatumiljöns mark och trädens behov?

Kunskap på detta område är viktig för alla som ansvarar för urban trädplantering. Genom att sätta trädens behov i relation till gatumarkens förutsättningar tydliggörs vilka problem som behöver lösas, samtidigt som vikten av att investera i lösningsalternativ blir tydlig. De usla överlevnadssiffror som visas i många internationella studier (Hilbert et al. 2019) visar att det runt om i världen finns ett stort behov av att förbättra förutsättningarna för urban trädöverlevnad. Det skulle vara intressant att undersöka överlevnaden för svenska gatuträd, relaterat till växtbäddsuppbyggnad. Stora svenska kommuner som Stockholm, Göteborg och Malmö har anställda trädspecialister och satsar på växtbäddsuppbyggnad för gatuträd, men för mindre organisationer kan dessa resurser saknas.

5.2 Vilka lösningsalternativ är vanligt använda för att skapa växtbäddar som tillgodoser trädens behov samtidigt som de fungerar i gatumiljö?

De lösningsalternativ som används för att bygga upp växtbäddar för träd i hårdgjord miljö syftar till att kringgå konflikterna mellan trädens behov, markens förutsättningar och konkurrensen om utrymmet. Konventionella växtbäddar för trädplantering i gatumiljö är ofta svåra att åstadkomma, eftersom de behöver ta stor yta i anspråk om tillräcklig rottillgänglig volym ska uppnås (Bühler et al. 2007). Detta kommer i konflikt med andra utrymmeskrävande intressen i gaturummet – både ovan och under markytan. Således finns behov av metoder som låter flera funktioner rymmas på samma yta. Både lösningar med skelettjord/makadamssubstrat och olika varianter av suspended pavement fungerar i detta hänseende. Som beskrivits i kapitel 4 har metoderna olika för- och nackdelar.

Det finns ett flertal internationella studier av trädplantering i amerikanska skelettjordar och suspended pavement. Ur svenskt perspektiv finns vissa begränsningar i möjligheterna att dra slutsatser av dessa studier, eftersom de skelettjordar som undersökts skiljer sig från de skelettjordar som använts här.

Avseende de nyare makadamssubstratblandningar som används i Sverige idag har det inte gått att hitta vetenskapligt publicerat material. En gissning är att det dels kan bero på den snabba utveckling som skett på området, dels på att de metoder som används i Sverige skiljer sig från de som används i många andra länder.

Skelettjordar och makadamssubstrat – vad händer på sikt?

En svårighet med studier av träd är deras naturligt långsamma utveckling. Många av de studier som rör växtbäddsuppbyggnad undersöker trädens tillväxt under de första åren efter planteringen. Bühler et al. (2007) påpekar att man ofta använder

ett mer gynnsamt växtsubstrat i själva planteringsgropen närmast rotklumpen, vilket kan påverka resultatet av trädets tillväxt under de första åren. Hilbert et al. (2019) beskriver att träd utsätts för många stressorer under sin livstid men att effekten av dem ofta blir synlig långt senare, när tillräckligt många negativa påverkansfaktorer har ackumulerats. Visserligen är det viktigt att studera hur träd klarar sig under etableringstiden, med tanke på att denna tidpunkt är särskilt sårbar avseende tr addedöd (Hilbert et al. 2019), men målet är också att skapa ett gatuträdbestånd som klarar att överleva länge. Med andra ord behövs långsiktiga studier.

Eftersom makadamssubstraten är så pass nya är det inte visat vad som händer med dem i det långa loppet. Trots det har metoderna anammats på bred front. Farhågor skulle kunna röra näringstillgången på sikt eller eventuell igenslamning av porsystemet i pimpsten och biokol. Det kommer dröja många år innan man kan fastslå hur dessa substrat fungerar i längden.

Integrering av dagvattenhantering, grönytor och hårdgjorda ytor i så kallade BGG-system öppnar nya möjligheter för gatuträdplanteringar. Utöver de funktioner som tidigare beskrivits skulle det kunna innebära en fördel i ett större perspektiv om träden ses som en komponent i ett helhetssystem snarare än en separat företeelse som ska rymmas vid sidan om gatans övriga funktioner.

Suspended pavement

Trots att varianter av suspended pavement har visats ge goda effekter på trädutveckling (Smiley et al. 2019) är det i Sverige ett mindre vanligt lösningsalternativ än skelettjordar eller makadamssubstrat. Enligt Patrick Bellan¹ i Malmö Stad har man inte sett någon anledning att använda rotcellsystem eftersom man upplever att metoden att bygga upp växtbäddar med makadamssubstrat fungerar tillräckligt bra. Man kan spekulera i om den goda tillgången på granit i Sverige bidrar till att man föredrar lösningsalternativ baserade på makadam. Att rotcellsystem tillverkas av plast skulle kunna vara en anledning till att man undviker att använda dem.

5.3 Hur har den valda metoden påverkat resultat och felkällor?

För att få en så bra översyn som möjligt har breda informationssökningar gjorts. Litteraturstudien har berört många delområden, varav vissa är väl studerade och dokumenterade, till exempel växtfysiologi och markfysik. På andra delområden har det, som tidigare nämnts, varit svårt att hitta vetenskapligt publicerat material. I dessa fall har information bland annat hämtats från tekniska handböcker på kommuner, personliga kontakter och skrifter från företag. Särskilt i det sistnämnda

¹ Patrick Bellan, trädspécialist i Malmö Stad, digitalt möte 19 december 2023.

fallet finns det risk att uppgifterna är vinklade. Det finns många som kan antas ha ekonomiska intressen i specifika produkter som används i växtbäddar, men även i hela lösningskoncept, som BGG-system. Även om källor med olika perspektiv aktivt eftersökts, för att få en så objektiv bild som möjligt, har de i många fall varit svåra att finna.

En annan svaghet i metoden är det osystematiska sättet att söka efter källor och att de sökord som skulle användas inte definierats i förväg. I stor utsträckning har källor hittats genom att referenser i andra artiklar följts upp, vilket ofta leder till ytterligare publikationer som stödjer samma ståndpunkt som artikelförfattaren velat visa. Även detta gör att det finns en risk att arbetet inte blivit objektivt utan att resultatet blivit det som eftersökts.

5.4 Avslutande tankar

I detta arbete har trädspecialister i Sveriges tre största städer kontaktats. Det skulle vara intressant att undersöka hur man arbetar med dessa frågor i övriga kommuner och vilket underlag som ligger till grund för att man väljer en viss metod. Det är slående hur stor inverkan enskilda starka personer haft på utvecklingen av växtbäddsuppbyggnad i Sverige under de senaste decennierna och hur man har anammat nya lösningsalternativ på bred front. Det skulle vara av stort värde om träd som står i de nya makadamssubstraten följs och dokumenteras vetenskapligt under lång tid framöver, så att resultatet av de olika planteringsstrategierna kan utvärderas objektivt. Detta kan sedan ligga till grund för kunskapsspridning om hållbara metodval i framtiden. Dessutom är det värdefullt att sprida erfarenheterna av försöken på en global nivå. Att plantera gatuträd som klarar att växa sig stora, överlever länge och är vitala är en framtidsfråga inte bara i Sverige, utan i städer runt om i världen.

Referenser

- Bara Mineraler (2023). *Hekla Pimpsten (2-8) - God rotmiljö ger hållbara planteringar*.
https://www.baramineraler.se/anlaggning/ren-hekla-pimpsten/hekla-pimpsten-2-8/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAuqKqBhDxARIsAFZELmL-5IXIiXMHZAMcvM2kiXBww34flu6tb7naJtddmcJ451DZbhIRaIaAnJdEALw_wcB
- Bartens, J., Wiseman, P.E. & Smiley, E.T. (2010). Stability of landscape trees in engineered and conventional urban soil mixes. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(4), 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.005>
- Bassuk, N., Denig, B.R., Haffner, T., Grabosky, J. & Trowbridge, P. (2015). *CU-Structural Soil - A Comprehensive Guide [broschyr]*: Urban Horticulture Institute. <https://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/CU-Structural%20Soil%20-%20A%20Comprehensive%20Guide.pdf> [2023-11-30]
- Bollman, M.A., DeSantis, G.E., DuChanois, R.M., Etten-Bohm, M., Olszyk, D.M., Lambrinos, J.G. & Mayer, P.M. (2019). A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media. *Ecological Engineering*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105589>
- Boverket (2019). *Grönska och vatten reglerar temperaturen vid värmeboljor*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/naturen/betydelse/reglerar-temp/> [2023-11-09]
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. & Pullin, A.S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Brockbank, W. & Slater, D. (2016). Rootcells® improve the establishment of *Corylus colurna* L. in a compacted car park substrate. *Arboricultural Journal*, 38(1), 41-56. <https://doi.org/10.1080/03071375.2016.1156404>
- Bryson, G.M. & Barker, A.V. (2002). Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(1-2), 67-78. <https://doi.org/10.1081/CSS-120002378>
- Bühler, O., Ingerslev, M., Skov, S., Schou, E., Thomsen, I.M., Nielsen, C.N. & Kristoffersen, P. (2017). Tree development in structural soil - an empirical below-ground in-situ study of urban trees in Copenhagen, Denmark. *Plant and Soil*, 413(1-2), 29-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2814-4>

- Bühler, O., Kristoffersen, P. & Larsen, S.U. (2007). Growth of street trees in Copenhagen with emphasis on the effect of different establishment concepts. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(5), 330-337. <Go to ISI>://CABI:20083040961
- C/O City (2022). *Ekosystemtjänster i stadsplanering - en vägledning 2.0*: C/O City. https://www.cocity.se/wp-content/uploads/2023/03/ekosystemtjanster-i-stadsplanering_low.pdf [2023-11-09]
- Cekstere, G., Nikodemus, O. & Osvalde, A. (2008). Toxic impact of the de-icing material to street greenery in Riga, Latvia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(3), 207-217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.02.004>
- Craul, P.J. (1992). *Urban soil in landscape design*. Wiley.
- Czerniawska-Kusza, I., Kusza, G. & Duzynski, M. (2004). Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the opole region. *Environmental Toxicology*, 19(4), 296-301. <https://doi.org/10.1002/tox.20037>
- Deak Sjöman, J., Sjöman, H. & Johansson, E. (2015). Staden som växtplats. I: *Träd i urbana landskap*. Studentlitteratur. 231-330.
- Dobson, M.C. (1991). De-icing salt damage to trees and shrubs. *Forestry Commission Bulletin*, 101. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026283955&partnerID=40&md5=633fc83c4660d73b8d29caf8db5af00f>
- Embrén, B. (2016). Planting Urban Trees with Biochar. *the Biochar Journal 2016*. www.biochar-journal.org/en/ct/77 [2023-12-08]
- Erlandsson, M. (2023). *Ännu fler träd åt folket*. <https://malmo.se/Aktuellt/Artiklar-Malmo-stad/2023-05-26-Annuflertradatfolket.html> [2023-11-09]
- Flores-Ramírez, E., Abel, S. & Nehls, T. (2018). Water retention characteristics of coarse porous materials to construct purpose-designed plant growing media. *Soil science and plant nutrition (Tokyo)*, 64(2), 181-189. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1447293>
- Fransson, A., Gustafsson, M., Malmberg, J. & Paulsson, M. (2020). *Biokolhandboken - för användare*. <https://biokol.org/publikationer/pdf/biokolhandboken> [2023-12-08]
- Fridell, K., Hallgren, E., Vysoký, M., Linnersten, I., Linde, A., Brattström, M., Sixtensson, S., Bruhn, F., Thynell, A., Ottosson Lameri, T., Sandell, B. & Backlund, A. (2022). *Levande stadsrum - en handbok i Blågröngrå system Version 3.1*. edge.
- Glinski, J. & Lipiec, J. (1990). *Soil physical conditions and plant roots*. CRC Press.
- Grabosky, J. & Bassuk, N. (1995). A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. *Journal of Arboriculture*, 21, 187-187.
- Grabosky, J., Bassuk, N., Irwin, L. & Van Es, H. (2001). Shoot and root growth of three tree species in sidewalks. *Journal of Environmental Horticulture*, 19(4), 206-211.
- Grabosky, J., Haffner, E. & Bassuk, N. (2009). Plant available moisture in stone-soil media for use under pavement while allowing urban tree root growth. *Arboriculture and Urban Forestry*, 35(5), 271-278. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70349630166&partnerID=40&md5=fd0504e567a39855a1f24076ca336e45>

- Grip, H. & Rodhe, A. (2016). *Vattnets väg från regn till bäck*. 4 uppl., Uppsala universitet.
- Gunnlaugsson, B. & Adalsteinsson, S. (1995). Pumice as environment-friendly substrate - a comparison with rockwool. *Acta Horticulturae*(401), 131-136. <Go to ISI>://CABI:19961909192
- Göteborgs Stad (2022a). *12TA1.1 Omhändertagande av dagvatten*.
<https://tekniskhandbok.goteborg.se/12-projektering/12t-vegetationsytor-gronaytor/12ta-projektering-av-vegetationsytor/12ta1-allmanna-riktlinjer/12ta1-1-omhandertagande-av-dagvatten/> [2023-12-10]
- Göteborgs Stad (2022b). *Växtbädd av typ innerstaden biokol hantering av dagvatten*. [2023-12-26]
- Göteborgs Stad (2023a). *Teknisk Handbok 2023:2, 13QH Träd och buskträd*.
<https://tekniskhandbok.goteborg.se/13-byggnation/13q-anlaggning-av-vegetationsytor-2/13qh-trad-och-busktrad/> [2023-11-10]
- Göteborgs Stad (2023b). *J3:A Växtbädd träd typ innerstaden standard*.
https://tekniskhandbok.goteborg.se/wp-content/uploads/J3A-F_Vaxtbadd-for-trad-i-hardgjord-yta-Typ-innerstaden.pdf [2023-12-22]
- Hasselfors Garden (2023). *Växtjord typ C - användning*.
<https://www.hasselforsgarden.se/produkter/tradplanteringsjord-typ-c/>
- Hellman, F. (2017). *Accelererad provning av dränerande markstensytor med HVS-utrustning*. (Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor). Vinnova.
<https://klimatsakradstad.se/media/2017/11/HVS-rapport-Hellman-m-bilagor.pdf> [2023-12-06]
- Hilbert, D.R., Roman, L.A., Koeser, A.K., Vogt, J. & van Doorn, N.S. (2019). Urban Tree Mortality: A Literature Review. *Arboriculture & Urban Forestry*, 45(5), 167-200. <Go to ISI>://BCI:BCI202100099420
- Jim, C.Y. (2019). Soil volume restrictions and urban soil design for trees in confined planting sites. *Journal of Landscape Architecture*, 14(1), 84-91. <Go to ISI>://WOS:000481534100009
- Jim, C.Y. & Ng, Y.Y. (2018). Porosity of roadside soil as indicator of edaphic quality for tree planting. *Ecological Engineering*, 120, 364-374.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.016>
- Konijnendijk, C.C. (2022). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3-30-300 rule. *Journal of Forestry Research*, 34(3), 821-830. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z>
- Kristoffersen, P. (1999). Growing trees in road foundation materials. *Arboricultural Journal*, 23(1), 57-76. <https://doi.org/10.1080/03071375.1999.9747228>
- Lindsey, P. & Bassuk, N. (1991a). Redesigning the urban forest from the ground below: a new approach to specifying adequate soil volumes for street trees. *Arboricultural Journal*, 15(4), 25-39. <Go to ISI>://CABI:19930668608
- Lindsey, P. & Bassuk, N. (1991b). Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers. *Journal of Arboriculture*, 17(6), 141-149. <Go to ISI>://CABI:19910655321

- Liu, Y., Theller, L.O., Pijanowski, B.C. & Engel, B.A. (2016). Optimal selection and placement of green infrastructure to reduce impacts of land use change and climate change on hydrology and water quality: An application to the Trail Creek Watershed, Indiana. *Science of the Total Environment*, 553, 149-163.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.116>
- Loh, F.C.W., Grabosky, J.C. & Bassuk, N.L. (2003). Growth response of *Ficus benjamina* to limited soil volume and soil dilution in a skeletal soil container study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2(1), 53-62.
<https://doi.org/10.1078/1618-8667-00023>
- Malmö Stad (2009). *Typritning Trädgröp - princip för torktåliga träd i hårdgjord yta alt med markgaller*. <https://ws1.storegate.com/api/v4.2/download/4912c434-0b26-49de-86d2-2b2a18bcd613/> [2023-12-28]
- Malmö Stad (2023a). *Överbyggnader*. <https://malmo.se/Teknisk-handbok/Gatubyggnad/Overbyggnader.html> [2023-12-27]
- Malmö Stad (2023b). *Snö och halka under vintersäsong*. <https://malmo.se/Sa-arbetar-vi-med.../Stad-och-trafik/Sno-och-halka-under-vintersasong.html> [2023-11-22]
- Malmö Stad (2023c). *Träd*. <https://malmo.se/Teknisk-handbok/Park--och-gronytor/Trad.html> [2023-11-17]
- Milford (2023). KerbCell - Gör regnvatten till en resurs. Milford.
- Milford (2024). *Rotvänliga strukturella växtbäddar/ StrataCell™*.
<https://se.milford.dk/produkter/stratacell> [2024-01-04]
- Milford (u.å.-a). *Stratacell - Avancerat trädplanteringssystem [produktbroschyr]*: Milford. [2023-12-27]
- Milford (u.å.-b). *Handbok för VÄXTBÄDDAR - i hårdgjorda miljöer [broschyr]*: Milford.
https://milford-resources.com/SE/SE-Handbok_fo%CC%88r_Va%CC%88xtba%CC%88ddar.pdf [2023-12-04]
- Nationalencyklopedin (2023). träd. In: *Nationalencyklopedin*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/trad> [2023-11-08]
- Ordonez, C., Sabetzki, V., Millward, A.A., Steenberg, J.W.N., Grant, A. & Urban, J. (2018). The Influence of Abiotic Factors on Street Tree Condition and Mortality in a Commercial-Retail Streetscape. *Arboriculture & Urban Forestry*, 44(3), 133-145. <Go to ISI>://BCI:BCI201900821150
- Ottestam, H. (2023). Nu ska alla kommuninvånare se minst tre träd från sin bostad: ”Svårt att mäta”. *Kalmarposten*, 2023-02-13. Tillgänglig:
<https://www.kalmarposten.se/kalmar/nu-ska-alla-kommuninvanare-se-minst-tre-trad-fran-sin-bostad-svart-att-mata-2c30ec99/> [2023-11-09].
- Pathak, G.S., Hinge, M. & Otzen, D.E. (2023). Transdisciplinary pragmatic melioration for the plastic life cycle: Why the social, natural, and technical sciences should prioritize reducing harm. *Science of the Total Environment*, 895, 165154.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165154>
- Raviv, M., Lieth, J.H. & Bar-Tal, A. (2019). *Soilless culture: Theory and practice*.
<https://doi.org/10.1016/C2015-0-01470-8>

- Region Skåne (2023). 3-30-300 i Skåne: Analysmodell för grönnare och hälsosammare städer. Skåne, R. https://utveckling.skane.se/siteassets/publikationer/3-30-300-i-skane-slutrapport_slutlig1.pdf [2023-12-11]
- Rolf, K. (1994). Skelettjord - ny planteringsjord. *Trädbladet*, 2, 5-6.
- Rolf, K. & Moback, U. (1991). *Trädgröpar i gatumiljö*. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Romanelli, C., Cooper, H., Campbell-Lendrum, D., Maiero, M., Karesh, W., Hunter, D. & Golden, C. (2015). *Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health, a State of Knowledge Review*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3679.6565>
- SCB, S. (2022). *Tätorter i Sverige*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/tatorter-i-sverige/> [2023-11-10]
- Schaffert, E., Lukac, M., Percival, G. & Rose, G. (2022). The Influence of Biochar Soil Amendment on Tree Growth and Soil Quality: A Review for the Arboricultural Industry. *Arboriculture and Urban Forestry*, 48(3), 176-202. <https://doi.org/10.48044/jauf.2022.014>
- Sieghardt, M., Mursch-Radlgruber, E., Paoletti, E., Couenberg, E., Dimitrakopoulos, A., Rego, F., Hatzistathis, A. & Randrup, T.B. (2005). The Abiotic Urban Environment: Impact of Urban Growing Conditions on Urban Vegetation. I: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. & Schipperijn, J. red.) *Urban Forests and Trees*. Springer. 281-323.
- Sjöman, H., Slagstedt, J., Wiström, B. & Ericsson, T. (2015). Naturen som förebild. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. red.) *Träd i urbana landskap*. Studentlitteratur. 108-162.
- Smiley, E.T., Urban, J. & Fite, K. (2019). Comparison of tree responses to different soil treatments under concrete pavement. *Arboriculture and Urban Forestry*, 45(6), 303-314. <https://doi.org/10.48044/jauf.2019.027>
- Stockholms stad (2017). *Växtbäddar i Stockholms stad - en handbok (2017)*. https://leverantor.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/leverantor-och-utforare/entreprenad-i-stockholms-stads-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar_i_stockholm_2017.pdf
- Stockholms stad (2022). *Biokol*. <https://parker.stockholm/vaxter-djur/trad/biokol/> [2023-12-08]
- Svensk Byggtjänst (2023). AMA Anläggning 23. Svensk Byggtjänst.
- Svenskt Vatten (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering: Råd vid planering och utformning*. (Publikation P105). Svenskt Vatten.
- Svensson, M., Alvem, B.-M. & Hägg, O. (2023). Urbana växtbäddar [föreläsningmaterial]. Träddagarna 2023.
- Uppsala kommun (2010). *Trädhandbok för Uppsala Kommun version 1*: Uppsala Kommun,. <https://www.uppsala.se/contentassets/3a2387f524f84e128e34cf8811604365/tradhandbok.pdf> [2023-12-12]
- Urban, J. (2008). *Up By Roots: Healthy Soils and Trees in the Built Environment*. International Society of Arboriculture.

- Yang, J.-L. & Zhang, G.-L. (2015). Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils - A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 30-46. <Go to ISI>://WOS:000357403800005
- Östberg, J. & Stål, Ö. (2015). *Standard för skyddande av träd vid byggnation*. Fakulteten för landskapsarkitektur, t.-o.v., Sveriges lantbruksuniversitet.
https://pub.epsilon.slu.se/12185/7/ostberg_j_stal_o_150511.pdf [2023-12-11]

Figurer

- Carlgren, I. (2023a). *Juldekorationer på Gustav Adolfs torg i Malmö*. [fotografi].
- Carlgren, I. (2023b). *Råttfällan*. [fotografi].
- Carlgren, I. (2023c). *Skiss av växtbäddar för träd i hårdgjord miljö*. [ritning samt fotografi].
- Milford (2024). *StrataCell™*. [produktbild]. <https://se.milford.dk/produkter/stratacell> [2024-01-04] Används med företagets tillstånd.
- Nässlander, G. (u.å.-a). *Kompakterad växtbädd – rötter endast i luftigt bärlager*. [fotografi]. <https://tradkontoret.se/resurser/bilder/byggnation/> (CC BY)
- Nässlander, G. (u.å.-b). *Trädgropsfundament-betongkassett*. [fotografi]. <https://tradkontoret.se/resurser/bilder/byggnation/> (CC BY)
- Ågren, K., Trädkontoret (u.å.). *Värme-parkering-träd*. [fotografi med grafik]. <https://tradkontoret.se/resurser/bilder/varme/> (CC BY)
- Östberg, J., *Dagvatten, Malmö, trä, växtbädd*. [fotografi]. <https://tradkontoret.se/resurser/bilder/dagvatten/> (CC BY)

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

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

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