

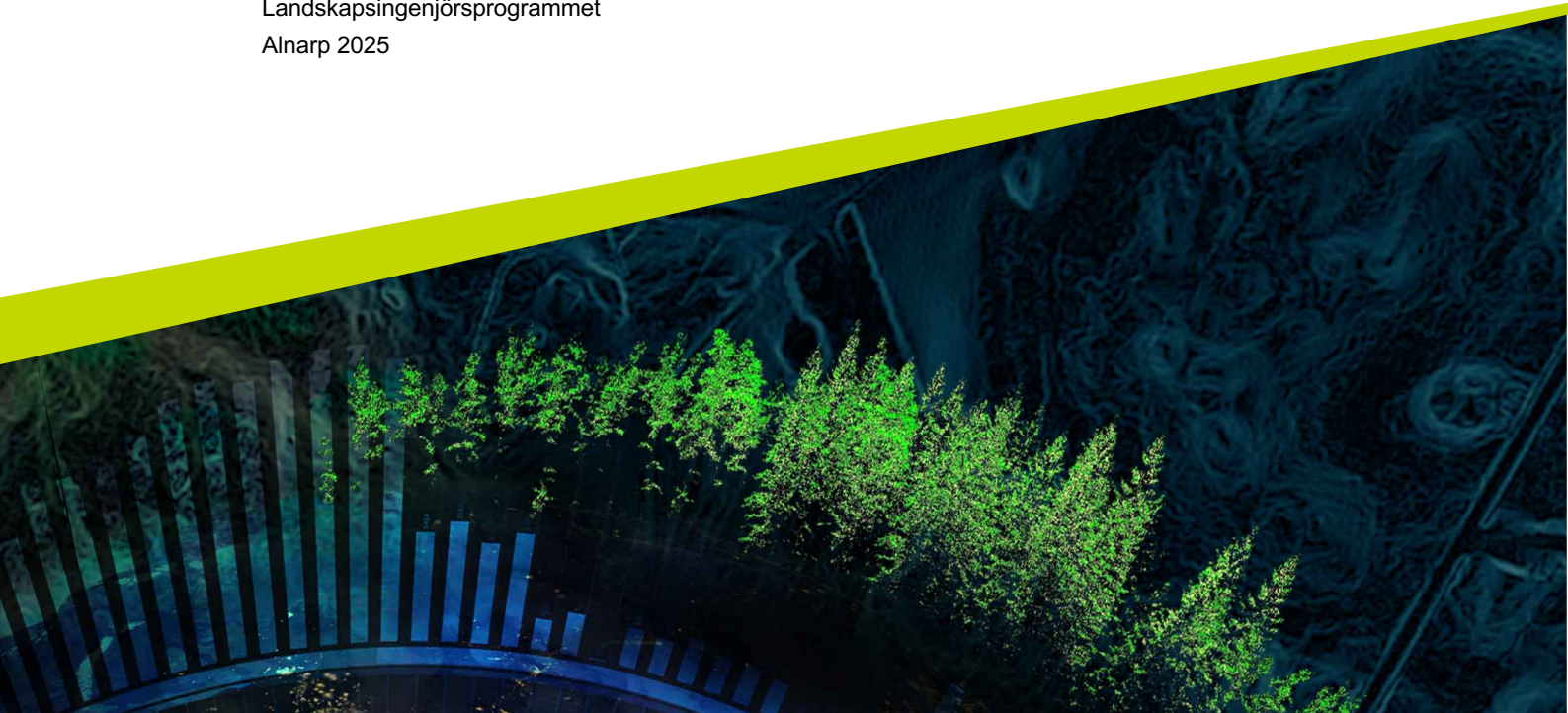


Under ytan

Hur olika substrat formar nyetablerade stadsträds
framtid

Stina Jengard & Tuva Wikgren-Erheim

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Landskapsingenjörsprogrammet
Alnarp 2025



Under ytan – Hur olika substrat formar nyetablerade stadsträds framtid

Beneath the surface – How different substrates shape the future of newly planted urban trees

Stina Jengard & Tuva Wikgren-Erheim

Handledare:	Anna Levinsson, 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:	2025
Upphovsrätt:	Alla bilder och tabeller är producerade av författaren om inget annat anges.
Nyckelord:	Skelettjord, trädttillväxt, urbana träd, vitalitet, stambasskott, <i>Tilia x europaea</i> 'Kristina', biokol, pimpsten, trädvård

Sveriges lantbruksuniversitet

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

Sammanfattning

Träd i städer möter många utmaningar som begränsar deras tillväxt och överlevnad. För att de ska kunna bidra med viktiga ekosystemtjänster och främja biologisk mångfald är det avgörande att de får möjlighet att växa sig stora. Stadsmiljön innebär dock flera påfrestningar som påverkar deras utveckling och livslängd.

Denna studie undersöker hur olika substrat påverkar trädens vitalitet, tillväxt och benägenhet att skjuta stambasskott, tre år efter plantering. Fokus ligger på fyra substrat som är vanliga och etablerade inom urbana trädplanteringar: Varav två är skelettjordssubstrat (Citykross och Rockskärvmix), resterande två är AMA A-jord och regnbäddssubstrat (Pimpsten). Utöver substraten gjordes även en analys av effekten av inokulering av mykorrhiza på de undersökta träden. Studien genomfördes genom fältobservationer och mätningar av parametrar såsom stamomkrets, vitalitetsklassificering och producerad biomassa från stambasskott. Resultatet visade att substratet hade en signifikant påverkan på trädens tillväxt och vitalitet. Träden i AMA A-substratet producerade mest biomassa i form av stambasskott och uppvisade en högre tillväxt jämfört med de andra substraten. Inokulering av mykorrhiza hade ingen signifikant effekt på någon av de undersökta variabelerna. Däremot uppvisade träd i rockskärvmixen en avsevärt lägre vitalitet och tillväxt, sannolikt på grund av substratets stora porstorlek som begränsar vatten- och näringshållande kapacitet. Resultaten har betydelse för trädvård och förståelse för urbana träd, där valet av substrat kan vara avgörande för att säkerställa trädens långsiktiga överlevnad och ekosystemtjänster i stadsmiljöer. Att förstå hur substrat påverkar trädens tillväxt och vitalitet är avgörande för att utveckla hållbara strategier för urban grönstruktur. Eftersom stadsmiljöer ofta präglas av kompakterad jord och begränsat rotutrymme, är valet av substrat en central faktor för att säkerställa trädens långsiktiga överlevnad. Det är samtidigt avgörande att anpassa substratvalet efter platsens specifika förutsättningar, eftersom olika behov kan innebära en avvägning mellan optimal tillväxt och andra aspekter såsom bärighet, dränering eller anpassning till rådande markförhållanden. Studien betonar därför vikten av att välja substrat utifrån de förhållanden som råder i urbana miljöer, för att både stödja trädens utveckling och uppfylla tekniska och funktionella krav.

Nyckelord: Skelettjord, träd tillväxt, urbana träd, vitalitet, stambasskott, *Tilia x europaea* 'Kristina', biokol, pimpsten, trädvård.

Abstract

Trees in cities face many challenges that limit their growth and survival. In order for them to contribute with important ecosystem services and promote biodiversity, it is crucial that they have the opportunity to grow large. However, the urban environment presents several stress factors that affect their development and lifespan.

This study examines how different substrates influence tree vitality, growth, and the tendency to produce basal shoots. The focus is on four substrates that are common and well-established in urban tree plantings: Two of them are different structural soil substrate, while the remaining two are AMA-A and raingarden substrate. In addition to the substrates, an analysis was also conducted on the effect of inoculation of mycorrhiza. The study was carried out through field observations and measurements of parameters such as stem diameter, vitality classification, and biomass production from basal shoots. The results show that the substrate has a significant impact on tree growth and vitality. Trees in the AMA A-substrate produced the most biomass in the form of basal shoots and exhibited higher stem growth rates compared to the other substrates, whereas trees in the rock aggregate mix showed significantly lower vitality and growth than all the other substrates. This was likely due to the substrate's large pore size, which limits water and nutrient retention capacity. The inoculation of mycorrhiza had no significant effect on any of the examined variables. The results are relevant for arboriculture and the understanding of urban trees, where the choice of substrate can be crucial for ensuring the long-term survival and provision ecosystem services of trees in urban environments. Understanding how substrates affect tree growth and vitality is essential for developing sustainable strategies for urban green infrastructure. Since urban environments are often characterized by compacted soil and limited root space, the choice of substrate is a key factor in ensuring the long-term survival of trees. At the same time, it is essential to select substrates based on site-specific conditions, as different requirements may necessitate trade-offs between optimal growth and other factors such as load-bearing capacity, drainage, or adaptation to existing soil conditions. This study highlights the importance of choosing substrates that align with the prevailing conditions in urban environments to support tree development while also meeting technical and functional requirements.

Keywords: Structural soil, tree growth, urban trees, vitality, epicormic shoots, *Tilia x europaea* 'Kristina', biochar, pumice, tree care

Innehållsförteckning

Problembeskrivning	7
1.1 Träden i staden.....	7
1.2 Urbana växtplatser	8
1.2.1 Tekniska lösningar	10
1.3 Växtfysiologiska faktorer.....	12
1.4 Trädvård i Urban miljö	12
Syfte och frågeställningar.....	14
1.5 Syfte	14
1.6 Frågeställningar.....	14
Material och metod	15
2.1 Träden och platsen.....	15
2.2 Behandlingsgrupper	17
2.3 Behandlingar inokulerade med mykorrhiza	18
2.4 Datainsamling.....	18
2.4.1 Vitalitet.....	18
2.4.2 Tillväxt	20
2.4.3 Stamskottsbildning	20
2.5 Hypotes	20
2.6 Analys av data	20
Resultat.....	21
3.1 Vitalitet.....	21
3.2 Stamdiameter	22
3.2.1 Resultatöversikt.....	22
3.2.2 Substratens inverkan på stamdiameter.....	22
3.3 Producerade stambasskott (Torrsvikt)	23
3.3.1 Resultatöversikt.....	24
3.3.2 Substratens inverkan på torrsvikt.....	25
Diskussion.....	27
4.1 Hur påverkas vitalitet och tillväxt i olika typer av urbana substrat?	27
4.1.1 Biokol.....	27
4.2 Hur påverkas trädens benägenhet att skjuta stambasskott i de olika typer av urbana substrat som de växer i?	29
4.2.1 Mykorrhiza.....	31
4.2.2 Avslutningsvis.....	32
4.3 Metoddiskussion.....	32
4.4 Trädens roll i den urbana miljön – lärdomar från studien	33
Slutsats	35
Referenser.....	36
Figurer	41

Problembeskrivning

För att förstå trädens tillväxt och vitalitet i urbana miljöer undersökte studien hur olika substrat påverkar dessa faktorer. Med fokus på de ogynnsamma jordförhållanden som ofta präglar urbana växtplatser och jordens sammansättning, för att identifiera hinder för trädens vitalitet och tillväxt, samt vilka implikationer dessa hinder får för skötsel av träd. För att träd ska kunna trivas i urbana miljöer är det viktigt att förstå deras funktion i staden och de ekosystemtjänster de bidrar med.

1.1 Träden i staden

Kombinationen av urbanisering och klimatförändringar skapar allt större utmaningar för våra städer. Enligt Karlsson Andrews (2023) bor mer än hälften av världens befolkning idag i städer, och andelen fortsätter att öka. Träd i urbana miljöer utgör en viktig del i att leverera en rad olika ekosystemtjänster och bidrar till den generella stadsbilden. Konijnendijk (2022) framhåller vikten av att skapa hälsosamma och hållbara stadsmiljöer och betonar även att träd kan utgöra en lösning på de många behov som staden ska uppfylla för dess invånare. På global nivå utsätts ekosystemen för ökande påfrestningar, särskilt i urbana områden där urbanisering och förtätning är en central påverkande faktor. För att bibehålla lämpliga förhållanden för invånare i städer krävs kunskap om grönytor och de ekosystemtjänster de tillhandahåller (Larondelle et al. 2014). Vegetation i staden, såsom parker och grönytor, bidrar med reglerande ekosystemtjänster genom reducering av luftföroreningar och reglering av extremväder (ibid). Den täta och hårdgjorda strukturen gör det svårare för städerna att hantera de kommande ökande problemen med kraftigt skyfall och regn (Stockholm stad 2017).

Ytterligare ett problem som staden står inför är den värmestress som uppstår när det finns ett överflöd av ytor som absorberar värme och skapar en urban värmeöeffekt (Stache et al. 2022). Stache et al. (2022) menar att det råder enighet om att den urbana värmeöeffekten påverkar invånarnas hälsa och sociala liv. De menar därför att åtgärder för att minska denna effekt bör vara en central del av strategier för klimatanpassning (ibid). Tyrväinen et al. (2005) påpekar att vegetation är det mest effektiva verktyget för att sänka temperaturen i städer och urbana miljöer. De redovisar också en analys av stadsrum, där de områdena med mycket träd och tät krontäckning var de svalaste (Tyrväinen et al. 2005).

Träd bidrar också med kulturella ekosystemtjänster. Kulturella ekosystemtjänster innebär tjänster som främjar rekreation, ger möjlighet till naturupplevelse och bidrar till lokal identitet. Naturen i stort har visat sig ha positiv inverkan på människors välmående och möjligheten till återhämtning (Konijnendijk 2022). I Sverige rapporterar cirka 17 procent av befolkningen att de upplever ökad stress och enligt siffror från Försäkringskassan förväntas den psykiska ohälsan öka (Region Stockholm 2019). Genom att integrera gröna miljöer i staden uppmuntras

människor till att använda dessa för rekreation vilket har positiv påverkan på både fysisk och psykisk hälsa (Konijnendijk 2022).

Möjligheten träd har att leverera ekosystemtjänster är ofta starkt kopplat till dess ålder (Boverket 2019). Gamla träd erhåller boplatser till en stor mängd svampar, lavar, fåglar och pollinatörer vilket gör dem till viktiga komponenter i att gynna artdiversitet och biologisk mångfald (ibid). Det är tydligt att träd är en viktig beståndsdel för att andra arter ska frodas. Enligt Sundberg et al. (2019) har gran, tall och ek vardera 1000 arter så som lavar, mossor och insekter kopplade till sig. Gamla, grova och ihåliga träd är avgörande för den biologiska mångfalden, men dessa har blivit en bristvara i många miljöer, framför allt på urbana växtplatser. Tidigare var dessa träd vanliga i jordbrukslandskapet men idag har dessa minskat på grund av bland annat exploatering och intensivt skogsbruk (Riksantikvarieämbetet 2022).

Trädens storlek är även avgörande för att de ska kunna leverera reglerande ekosystemtjänster såsom skuggning, hantering av dagvatten och reglering av luftföroreningar. Hand et al. (2019) belyser detta genom att påvisa att yngre träd lagrar mindre koldioxid än äldre träd. De konstaterar vidare att koldioxidinlagringen ökar successivt i takt med trädens ålder. Studien undersökte även sambandet mellan diameter i brösthöjd och trädens kapacitet att hantera dagvatten. Resultatet visade genomgående att bladens möjlighet till transpiration och interception ökade med trädens storlek och ålder (Hand et al. 2019).

1.2 Urbana växtplatser

Urbana växtplatser kan innebära flera utmaningar som begränsar trädets tillväxt (Stockholm stad 2017). Stadsträd växer ofta i ogynnsamma jordförhållanden vilket kan påverka etablering, tillväxt, vitalitet och stabilitet negativt på lång sikt (Jim 2019). Begränsningarna för träden kan vara markkompaktering, jordens sammansättning, storleken på planteringsytan och ett otillräckligt jorddjup (ibid). Jorden i staden är heterogen med oregelbundna horisonter och utsätts för fysiska och kemiska förändringar. Trädets tillväxt påverkas i stor utsträckning av jordens egenskaper och dess samspel med rötterna. För att skapa goda växtförhållanden krävs kunskap om markens funktion och de processer som påverkar trädet (Trowbridge & Bassuk 2004).

Den förändring av mark som sker i städer skapar stress för de växter som etableras i dessa miljöer. Kritiska abiotiska faktorer som påverkar vegetationens tillväxt och välmående kan vara hög marktemperatur, höga salthalter, förändrade pH-värden och fluktuerande vattennivåer som i vissa perioder innebär uttorkning medan andra perioder innebär översvämning (Czaja et al. 2020).

I staden finns flertalet material som absorberar inkommande solstrålar där asfalt, betong och tegel har en betydligt högre absorberingsnivå om man jämför med vegetation (Deak Sjöman et al. 2015 s. 242). Jordtemperaturen under en asfaltsbelagd yta kan uppgå till 16°C varmare än en yta belagd med gräs. Detta innebär att vegetation som växer under en hårdgjord yta är mer benägen att

utsättas för extrema temperaturer. Den höga jordtemperaturen i staden påverkar rottillväxt, störning av näringsupptag och mängden mikroorganismer (Czaja et al. 2020). Hårdgjorda ytor har även låg genomsläpplighet för vatten och luft. Som växtplats innebär detta ofta varmare och torrare förhållanden vilket skapar en mer krävande miljö för träd jämfört med grönytor (Malmö stad 2024). Flera faktorer påverkar mängden avrinning, och enligt Jacobson (2011) kan toppflödet i urbana miljöer vara 30–100 % högre än i icke-urbaniserade områden.

Stadsträd som är planterade i trånga växtbäddar omgivna av asfalt eller betong får mycket lite vatten under sommaren och ofta ett överskott under den vilande säsongen (Sieghardt et al. 2005). Byggnadstätheten påverkar även temperaturbalansen och evapotranspirationen, vilket förvärrar vattenbristen. Samtidigt är infiltrering från hårdgjorda ytor lägre, vilket ökar dagvattenavrinningen och orsakar stora variationer i grundvattennivån. Detta leder i sin tur till en sänkt vitalitet hos stadsträd på dessa platser (Sieghardt et al. 2005).

Ett annat problem som uppstår i urbana miljöer är påverkan från saltning av gator. Vid höga koncentrationer av salt påverkas rötternas osmotiska effekt. När koncentrationen blir för hög utanför rötterna begränsas upptag av vatten och detta gör att tillväxten minskar avsevärt (Munns & Tester 2008). Höga halter av salt påverkar även jordens aggregatstruktur. När aggregaten bryts ned sköljs de små jordpartiklarna in i mellanrummen mellan de stora, vilket försämrar jordens förmåga att dränera och absorbera vatten. När jordens struktur bryts ned blir den även känsligare för kompaktering där lerjordar är särskilt känsliga (Fox 2022). Vid höga halter av salt kan pH-värdet i jorden förändras och uppgå till höga värden. Vilket kan göra vissa näringsämnen toxiska eller otillgängliga för växten (ibid). Dmuchowski et al. (2020) menar att strategi för att hantera saltstress ser olika ut beroende på vilken art som benämns. I studien undersöktes mer eller mindre känsliga arter där resultatet visade att de arterna med låg känslighet blockerade upptag av Cl och Na till bladen medan de högkänsliga arterna uppvisade mycket höga halter av Cl och Na i bladen (Dmuchowski et al. 2020). Stadsjordar har förändrat pH och näringstillgång jämfört med naturliga jordar. Deras förmåga att fungera som näringskälla eller buffert är ofta störd. Jordens pH-värde i urbana miljöer är ofta förhöjd vilket påverkar näringstillgången och kan skapa obalanser som hämmar trädens tillväxt (Sieghardt et al. 2005). De flesta trädarter trivs bäst vid ett pH mellan 4,5 och 7,0, men variationen är stor beroende på jordens ursprung och lokala förhållanden. I sura jordar med ett pH under 4,0 ökar tillgängligheten av tungmetaller, vilket kan orsaka toxicitet av exempelvis mangan och aluminium. I mer alkaliska jordar, med ett pH över 7,5, binds viktiga mikronäringsämnen som järn och mangan, vilket kan leda till bristsymptom hos träden. Jordens pH påverkar också markens mikrobiella sammansättning vilket i sin tur har betydelse för trädens näringsupptag (Sieghardt et al. 2005).

För att lösa dessa utmaningar har olika tekniska lösningar tagits fram med syfte att gynna trädens tillväxt i stadsmiljöer. Genom att anpassa substrat och utformning av växtbäddar kan markförhållandena förbättras för att minska kompaktering, vattenstress och obalans av näring. Samtidigt kan dessa lösningar bidra till att bevara och stärka ekosystemtjänster som träd erbjuder i urban miljö.

1.2.1 Tekniska lösningar

Hårt packad jord som krävs för överbyggnad till vägar begränsar rötternas tillväxt och tillgång till vatten och näring (Trowbridge & Bassuk 2004). Trädets tillväxt är starkt beroende av jordens resurser, där vatten, syre och näring spelar en avgörande roll. När rötterna har begränsat utrymme påverkas hela trädet, då de inte bara transporterar vatten och näring utan också producerar viktiga tillväxthormoner. Eftersom endast fina rötter kan ta upp vatten och näring effektivt leder hämmad rotväxt även till att grenverket växer sämre (ibid). De utsätts samtidigt för olika stressfaktorer där den mest avgörande är brist på användbar jord för rottillväxt (Trowbridge & Bassuk 2004). Även om träd kan odlas i små utrymmen genom att tillföra resurser, är detta en utmaning i stadsmiljöer (Trowbridge & Bassuk 2004). För att lösa detta har särskilda jordsubstrat utvecklats som har en hög bärighet för markbeläggning samtidigt som det skapar rotutrymme för träden (Grabosky et al. 2009).

Markförhållanden spelar en central roll i trädens etablering och långsiktiga tillväxt i urbana miljöer. Valet av substrat påverkar både rotsystemets utveckling och markens bärighet, särskilt i hårdgjorda stadsmiljöer där kompaktering är en utmaning. AMA A-jord är ett vanligt förekommande standardsubstrat utvecklat av Svensk Byggtjänst och är en del av AMA anläggning. Substratet produceras av bland annat Hasselfors där riktlinjer för siktkurva utgår ifrån AMA anläggning (u.å.). Hasselfors rekommenderar att substratet används vid plantering av träd och buskar där "normala" fuktförhållanden önskas uppnå (Hasselfors u.å.). Lerjordar som AMA A kännetecknas av sina små partiklar, vilket ger dem specifika egenskaper som också påverkar bärighet. Den höga finkornhalten i lerjordar kan leda till låg dräneringsförmåga vid kompaktering, vilket i sin tur kan påverka markens stabilitet och bärighet negativt (Geobear 2023). AMA A-jord för normala förhållanden är en lerig sandjord med viss aggregatstruktur (Slagstedt et al. 2015 s. 598). Den innehåller 5–15 % lera vilket förbättrar dess förmåga att hålla kvar och transportera vatten och näring (ibid).

En av de första lösningarna inom detta område var utvecklingen av "CU-structural soil" som testades 1994 av Bassuk och Grabosky (2015) och senare blev en föregångare till de skelettjordar som används i en svensk kontext. Enligt Grabosky och Bassuk (2002) är skelettjord ett system som är utvecklat för att förbättra växtförhållanden i hårdgjorda stadsmiljö. Systemet utgörs av en bärande struktur bestående av grova stenfraktioner som skapar stabilitet och samtidigt bildar porer för luft- och vattentransport, vilket främjar gasutbyte och rotutveckling. Porerna fylls sedan med växtsubstrat i stenstrukturens hålrum utan att den bärande funktionen störs. Vid packning bildas en stabil struktur som är bärande, utan att jorden mellan stenarna riskerar att bli kompakterad (Grabosky & Bassuk 2002).

I ett vetenskapligt sammanhang har det gjorts förhållandevis få studier som undersöker hur träd påverkas av dessa substrat på lång sikt. Grabosky och Bassuk (1995) fann att träd som planterades i skelettjord hade betydligt bättre rotutveckling jämfört med träd i konventionella planteringar, vilket resulterade i bättre tillväxt och vitalitet. Vidare gjordes ytterligare en studie av Grabosky och

Bassuk (2008) där de jämförde trädens tillväxt beroende på om de var planterade i skelettjord eller i gräsmatta. Studien gjordes sex och tio år efter plantering och visade liknande och i vissa fall bättre tillväxt för de träd som planterades i skelettjord (Gabrowsky & Bassuk 2008).

I Sverige har man under senare tid börjat utveckla och använda sig av andra substratblandningar i växtbäddar. Stockholm stad har under flera år utvärderat användning av biokol och har använt det som en del i växtbäddssubstratet sedan 2009 (Embrén 2016). Embrén (2016) menar att den största anledningen till att de övergått till makadam blandat med biokol är på grund av dess motståndskraft mot kompaktering, som är ett av de största hoten för urbana träd. En makadamjord som innehåller biokol får bättre struktur samtidigt som den blir mindre benägen att kompakteras (Fransson et al. 2020). Biokol har en porös struktur och de många porerna bidrar till en hög vattenhållande kapacitet (Fransson et al. 2020). Biokol består av organiskt material och kan produceras av park- och trädgårdsavfall, slam, tång och alger (Bohlin 2023). Syftet enligt Stockholm stad (2017) är att skapa hållbara växtbäddar med lokalt producerat material. Eftersom biokol bryts ner mycket långsamt fungerar det inte bara som en jordförbättrare utan även som en långvarig kolsänka (Bohlin 2023). Enligt Alvem och Grönjörd (2017) är anläggningsprocessen för växtbäddar med kolmakadam både snabbare och enklare i jämförelse med skelettjord. I Stockholm har flertalet träd som lidit av kompaktering omplanteras sedan 2012 i en blandning av makadam, biokol och kompost och den strukturella jorden används i dag i flertalet svenska städer (Azzi et al. 2022).

I Malmö stad har man enats om att det mest gynnsamma substratet är en pimpstensblandning (Bara Mineraler 2025a). Enligt Bara Mineraler (2025b) kan en växtbädd som innehåller pimpsten i skelettets undre lager ta emot stora mängder vatten samtidigt som det inte finns en risk för begränsad syretillgång. På grund av den kapillära kraft som bildas i pimpstens små porer kan vattenupptag även säkras under torrare perioder (Bara Mineraler 2025b). Detta gör materialet passande för så kallade regnbäddar. Dessa möjliggör hantering av dagvatten i stadsmiljön. Regnbäddar är uppbyggda på substrat som möjliggör hög infiltration, och därför anses pimpsten som ett passande material (Fridell et al. 2022). Enligt Bara Mineraler (2025b) är pimpsten ett vulkaniskt material som har en porositet på 85 %. Materialet består av både stora och små porer. Detta gör att den kan absorbera och lagra stora mängder vatten samtidigt som den bibehåller syre. De mindre porerna binder en stor del av vattnet, samtidigt som materialet möjliggör kapillär spridning av vatten i växtbädden och de stora porerna bidrar till syretillförsel i substratet (Bara Mineraler 2025b). Pimpsten i sig är inert och reagerar inte med andra ämnen under normala förhållanden vilket innebär att den inte påverkar pH eller näringssammansättningen i någon större utsträckning. Däremot kan ny pimpsten utsöndra natrium vilket kan påverka vattenkvaliteten (Raviv & Lieth 2008). Raviv och Lieth (2008) påvisar till skillnad från Bara Mineraler (2025b) att pimpsten har förhållandevis låg vattenhållande förmåga när man jämför med andra material som stenull och organiskt material. Pimpsten i detta sammanhang representerar substrat som används både i trädplanteringar och så kallade 'rain gardens'.

1.3 Växtfysiologiska faktorer

Det är finrötterna som står för upptag av näring och vatten vilket innebär att om produktion av dessa begränsas påverkas även trädets tillväxt i stort då tillväxt är kopplat till tillgång på näringsämnen (Pallardy & Kozlowski, 2007, s. 44–46). En växt med nedsatt rottillväxt har därför svårare att ta upp näringsämnen. Utöver detta är även upptaget av näring beroende av specialiserade celler i roten som transporterar näring genom de semipermeabla membranerna (Townbridge & Bassuk 2004). Denna process kräver energi och därmed syre. Vid förhållanden såsom markkompaktering eller andra situationer med begränsad syretillgång kan dessa processer hämmas, vilket i sin tur påverkar växtens förmåga att ta upp näring (ibid). Enligt Pallardy och Kozlowski (2007) består ett växande skott vanligtvis av en stam som utvecklar blad och är uppbyggd av både noder och internoder, där internoder är de segment av stammen som finns mellan två noder. Skottets tillväxt sker genom att knoppar spricker och expanderar vid tillväxtpunkterna, även kallade apikala meristem, vilka är placerade längs stammen, grenarna och kvistarna. Under tillväxtfasen varierar både internodernas och bladens expansion beroende på faktorer som turgortryck, cellväggens elasticitet, samt tillgång till energi och näringsämnen. Dessutom spelar hormonella signaler en viktig roll i att reglera denna process. Skottets tillväxt innefattar först celledelning i de apikala meristemen och följs sedan av att cellerna mognar och sträcks ut. Den huvudsakliga anledningen till skottets längdtillväxt är internodernas expansion (Pallardy & Kozlowski, 2007, s. 44–46).

Epikormiska skott är skott som växer från vilande knoppar. Ett trädets förmåga att bilda epikormiska skott beror på hur många knoppar som utvecklas på ett växande skott och hur dessa knoppar och deras meristem förändras över tid. Det kan finnas faktorer som gynnar tillväxt av dessa skott eller motsatt, att de dör (Meier et al. 2012). Ur ett trädvårdsperspektiv kan dessa skott anses särskilt problematiska då de ökar risken för oväntade skötselinsatser. Meier et al. (2012) framhåller att epikormiska skott kan delas in i två typer: adventiva och preventiva. Den främsta skillnaden mellan dessa är att preventivskott utvecklas från apikalt meristem medan adventivskott utvecklas från icke-meristematisk vävnad. Dessa skott utvecklas till grenar som en respons på stress. De flesta stressfaktorer minskar bladarean och försämrar trädets förmåga att genomföra fotosyntes och för att kompensera för den förlorade bladmassan stimuleras skottbildning (ibid).

1.4 Trädvård i Urban miljö

Träd ska vara en långsiktig investering och för att möjliggöra att träd blir gamla är det viktigt att de får de rätta förutsättningarna under plantering, etablering och förvaltning (Lunds kommun 2024). För att urbana träd ska kunna leverera ekosystemtjänster utan att skapa konflikt med stadens infrastruktur krävs ett noggrant omhändertagande. Rätt träd på rätt plats, korrekt uppbyggda växtbäddar och professionell trädvård är viktiga komponenter för att träd ska kunna etablera sig och för att säkerställa förutsättningarna för att träden ska kunna bli gamla och

stora (Johnston & Hiron 2014, s. 693–712). De marktekniska förutsättningarna är avgörande för en god etablering (Lunds kommun 2024) och vid nyplantering av träd bör trädvårdsåtgärder göras regelbundet som vattning, mulchning och korrekta trädskydd och trädstöd tills de etablerat sig (Johnston & Hiron 2014, s. 693–712). För att ge träden rätt förutsättningar skriver Lunds kommun (2024) att en etableringsskötsel på 3 år ger stadsträd de förutsättningarna som behövs för att utveckla ett välförgrenat rotsystem som kan förse trädet med de resurser den behöver från växtbädden.

Etablerade äldre träd kräver underhåll i urbana miljöer så att dess hälsa främjas och ekosystemtjänster bibehålls, samtidigt som riskerna träd kan utgöra minimeras (Johnston & Hiron 2014, s. 693–712). Genom att skötsel utförs fackmannamässigt och att träden får det underhåll och den vård som behövs kan träden få bli gamla (Riksantikvarieämbetet 2022). En viktig del av trädvård är beskärning och det är viktigt att kunna bedöma hur mycket som behöver beskäras då detta orsakar energiförlust och stress hos träd (Mladoniczky et al. 2024). Enligt Svensk Standard 990001 får högst 25% av bladmassan tas bort under en växtsäsong och snitt får inte överstiga 15 cm i diameter (Mladoniczky et al. 2024). Med korrekt beskärning kan trädens nytta och funktion bibehållas, risker för träden och dess omgivning kan reduceras och förebyggas, trädens livslängd ökas och underhålls- och ersättningskostnader minskas, vilket skapar god ekonomi (Mladoniczky et al. 2024). Skötsel av urbana träd innebär en stor kostnad och det är därför viktigt att den utförs korrekt av kompetent personal från början för att bli så kostnadseffektiv som möjligt (Riksantikvarieämbetet 2022). Exempelvis producerade stambasskott är därför något negativt eftersom dessa medför en ökad skötselkostnad.

För att säkerställa trädens hälsa och långsiktiga livskraft är det avgörande att utforska olika metoder som stödjer deras etablering och motståndskraft. Nya behandlingsmetoder har blivit alltmer populära som komplement till traditionella trädvårdsåtgärder och kan potentiellt bidra till att stärka trädens förmåga att motstå stressfaktorer i urbana miljöer.

Inokulering av mykorrhiza för urbana träd har ökat i popularitet, trots att det saknas tillräcklig forskning som bekräftar dess effektivitet. Utifrån de artiklar som undersöker mykorrhiza och dess påverkan är det tydligt att intresset för denna metod växer trots att den begränsade forskningen inte kan påvisa dess effektivitet. Mykorrhizasvampar påverkar den abiotiska miljön genom att förbättra jorden genom att binda jordpartiklar och frigöra näringsämnen från mineraler (Szabó et al. 2014). Mykorrhiza skyddar träd mot flera stressfaktorer som torka, kyla, tungmetaller och sjukdomar (ibid). Trädens upptag av vatten och mineraler ökar och svampen kan transportera vidare näringen från det organiska materialet till trädets rötter (ibid). Mykorrhiza hjälper träd att stå emot störningarna som finns i urbana jordar, dock är svamparnas bestånd begränsade i dessa miljöer (ibid.). Under 1980-talet började man använda artificiell mykorrhiza för att underlätta träds etablering, det var fortfarande en ovanlig behandling i början av 2000-talet (ibid). Urbana områden utsätts regelbundet för mekanisk störning och är oftast förorenade vilket skadar trädens rötter och mykorrhizan (Szabó et al. 2014).

Syfte och frågeställningar

1.5 Syfte

Träd i urbana miljöer möter ett flertal utmaningar som skiljer sig från de förutsättningar som finns i deras naturliga miljö. Träden i staden är ofta omgivna av hårdgjorda ytor som försämrar infiltrationen, begränsar rotutrymmet och kompakterar jorden. Detta resulterar i ett växtmaterial som genererar begränsad tillväxt och försämrad generell vitalitet. Utgångspunkten för studien är att få en insikt i hur stadsträd kan frodas.

Syftet med den här studien är att få en ökad förståelse för hur träd påverkas av olika substrat i urban miljö. Studien har som utgångspunkt att undersöka framför allt vitalitet, tillväxt och producerad biomassa.

1.6 Frågeställningar

- Hur påverkas tillväxt och vitalitet i olika typer av urbana substrat?
- Hur påverkas trädens benägenhet att skjuta stambasskott i de olika typer av urbana substrat som de växer i?

Material och metod

Denna studie är en del av ett långsiktigt experiment och i den här specifika delen av studien så undersöks hur olika substrat påverkar vitaliteten, stamtillväxten och mängden producerad biomassa i unga träd, 3 år efter plantering. Studien baseras på observation i fält, och mätning av parametrar som påvisar trädens vitalitet och tillväxt.

2.1 Träden och platsen

De träd som studerats är en del av ett forskningsprojekt som drivs av Anna Levinsson vid Sveriges lantbruksuniversitet Alnarp. Träden planterades våren 2022 i stålförstärkta plastcontainrar av volym 1000 liter (Figur 1).

32 träd av sorten *Tilia x europaea* 'Kristina' ingick i studien. Arten valdes då den kan prestera i en urban kontext och släktet *Tilia* är ett väl använt stadsträd i många europeiska städer. Sorten 'Kristina' valdes då den var mikroförökad, vilket innebar att sorten är rotäkta och att ingen genetisk variation förekom.

Tilia x europaea 'Kristina' är en hybrid mellan *Tilia cordata* och *Tilia platyphyllos*. Arten har länge odlats i Europa och sorten 'Kristina' har koppling till svensk historia då ursprungsträdet planterades vid Svartsjö slott på 1630-talet. Troligen planterades trädet av Gustav II Adolf för att hedra sin mor eller dotter som båda bar namnet Kristina (E-planta u.å.). Trädet har ett flerstamligt växtsätt med pyramidal kronform och kan bli mellan 20–30 m hög. Parklinden 'Kristina' trivs bäst i fuktig, näringsrik och mullhaltig jord men klarar även en urban torrare växtplats (E-planta u.å.). Riklig stamskottbildning förekommer naturligt för släktet *Tilia sp.* vilket ofta beror ofta på ljusexponering på stam eller större grenar (Mladoniczky et al. 2024).

Vid plantering var träden 2 år gamla och av samma storlek. De var uppodlade på en lokal plantskola, och för att minimera påverkan från plantskolans substrat levererades träden barrotade. Träden planterades i fyra olika sorters substrat och valet av substrat baserades på växtbäddsuppbyggnader som är väl använda vid plantering av träd i urban miljö i större svenska städer. Träden planterades i åtta upprepningar per substrat fördelade på fyra block, med två träd i samma substrat i varje block (tabell 1). Hälften av träden från varje substrat inokulerades med ektomykorrhiza och behandlingen randomiserades inom varje block. Direkt efter plantering bands träden upprätt mot trädstöd där också 75 liter bevattningspåsar installerades, en i varje container. Under de tre åren sedan plantering fylldes bevattningspåsarna två gånger i veckan från planteringsstart fram till september. Därefter fylldes de en gång i veckan fram till lövfällning på hösten.

Tabell 1. Blockdesign över studiens 32 träd, planterade i fyra substrat med 8 upprepningar, varav hälften är inokulerade med mykorrhiza.

Träd id.	Block 1	Träd id.	Block 2	Träd id.	Block 3	Träd id.	Block 4
25	Pimpsten + myko	17	Pimpsten	9	Pimpsten + myko	1	Citykross +myko
26	Citykross +myko	18	Pimpsten + myko	10	Pimpsten	2	Pimpsten
27	Rockmixskärv + myko	19	Citykross +myko	11	AMA A + myko	3	AMA A
28	Rockmixskärv	20	Rockmixskärv	12	AMA A	4	Pimpsten + myko
29	AMA A	21	Citykross	13	Citykross +myko	5	AMA A + myko
30	AMA A + myko	22	AMA A + myko	14	Citykross	6	Rockmixskärv
31	Citykross	23	AMA A	15	Rockmixskärv + myko	7	Citykross
32	Pimpsten	24	Rockmixskärv + myko	16	Rockmixskärv	8	Rockmixskärv + myko



Figur 1. Fotografi över objekt. 32 träd planterade i fyra substrat med 8 upprepningar, varav hälften är inokulerade med mykorrhiza. Bild tagen innan borttagning av stambasskott.

2.2 Behandlingsgrupper

Se tabell 2 för substratens sammansättning. De substrat som behandlas i studien benämns följande:

1. Pimpsten. Sammansättning 70% pimpsten (2–8 mm) och 30% grönkompost. Substratblandningen var producerad av Bara Mineraler och levererades färdigblandad till försöksplatsen.
2. Citykross. Sammansättning stenkfraktioner av storlek 32–90 mm, 7,5volym% biokol och 7,5 volym% kompost. Stenmaterialet inhandlades färdigblandat och var producerat av Hasselfors. Skärven kan liknas vid den lastbärande skelettdelen och inte det material som anläggs närmast rötterna. För att säkerställa lufttillförsel, tillgång på fukt och utrymme för rötterna är den rekommenderade volymen en tredjedel jord och två tredjedelar stenkross.
3. Rockmixskärv. Sammansättning fraktioner i storlek 100–150 mm som sedan fyllts med 7,5% biokol och 7,5% grönkompost. Stenmaterialet inhandlades från Ågab Syd. Biokol och kompost inhandlades från Bara Mineraler. Uppbyggnaden av substrat gjordes på plats i containrarna. Stenfraktioner, biokol och kompost lades ut i fem lager. Lagren bestod av 200 l skärv, 15 l biokol och 15 l kompost som fördelades mellan håligheter i stenarna. Slutlig volym i containrarna var 1000 l skärv, 75 l biokol och 75 l kompost. Stenkrossen i substratet skapar syrefyllda mellanrum som gynnar rötterna (Bohlin 2023).
4. AMA A-jord är konstruerad enligt AMA 2023. Substratet var producerat av Hasselfors. Lerhalt 5–15%, kornstorlek <20 mm, torv 5–8%.

Tabell 2. Sammansättning av substraten AMA A, Pimpsten, Citykross och Rockskärvmix. (Levinsson et al. 2022 in review).

	AMA A	Pumice	Citykross	Skärv
Structure (% by volume)	Sand	Pumice 70	Crushed rock100	Crushed rock100
Size of structure (mm)	<20	2-8	32-90	100-150
Compost (% by volume)	-	30	7.5	7.5
Biochar (% by volume)	-	-	7.5	7.5
Clay content (% by weight)	5-15	-	<5	-
Peat content (% by dry weight)	5-8	-	-	-
Bulk density (kg/m ³)	Ca 1250	Ca 400	Ca 1700	-
pH	5.5-7.5	7-7.5	6.0-8.0	-
Conductivity	1.5-4.0		>2.0	-
Fertilizer	Long-acting natural	-	Long-acting natural	-

2.3 Behandlingar inokulerade med mykorrhiza

Mykorrhiza pulver av sorten MycorDip Pt, Plant Health Cure B.V., rördes ner i en hink vatten av proportioner 10,6g/l. Blandningen rördes tills den var helt upplöst och hade en jämn, geléartad konsistens. Sedan sänktes rötterna ned i lösningen för att därefter planteras direkt.

2.4 Datainsamling

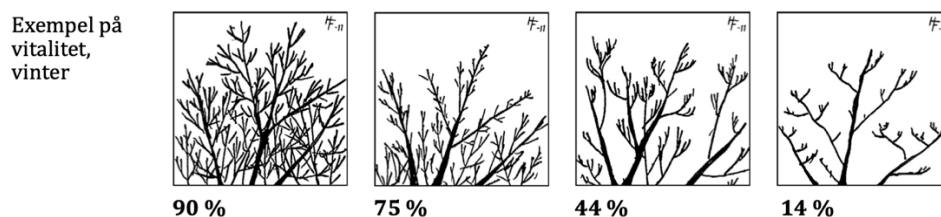
Insamling av data gjordes 2025-01-28 där följande parametrar mättes in:

2.4.1 Vitalitet

Trädens vitalitet bedömdes okulärt utifrån “Standard för trädinventering i urban miljö 3.0” (Östberg & Rowicki 2022). Klassificeringen gjordes från en skala 1–4 (figur 2 och 3) där 1 representerar god vitalitet och 4 klassificeras som mycket dålig vitalitet. Vitalitetsbedömningen gjordes både före och efter avlägsnande av stambasskott för att undersöka eventuell påverkan. Hänsyn togs till att träden planterades för 3 år sedan och endast är 5 år gamla.

Anges som	Benämningar	Förklaring
1	God vitalitet.	Trädet kan ha skador, men tillväxten och övervallningen är ändå god. Tätt krona med god skotttillväxt. Kronans ljusgenomsläpplighet: 0-10%
2	Måttlig vitalitet	Något begränsad tillväxt. Vitalitet 1-träd kan tidvis vara i denna vitalitetsnivå på grund av bland annat torka. Kronans ljusgenomsläpplighet: 11-25%
3	Dålig vitalitet	Trädet har en dålig vitalitet med mycket begränsad chans till återhämtning utan genomgripande insatser. Kronans ljusgenomsläpplighet: 26-60%
4	Mycket dålig vitalitet	Trädet är i mycket dåligt skick. Kronans ljusgenomsläpplighet: 61-99%

Figur 2. Visuell bedömning av vitalitet i skala 1–4 med benämning och förklarande text. (Östberg & Rowicki 2022).



Figur 3. Exempel på vitalitet, vinter. Illustration av trädkronans vitalitet 1 till 4. (Fors 2022).

De träd som uppvisade vitalitetsklass 2 enligt figur 4 hade förhållandevis god tillväxt i toppskottet men den laterala tillväxten var begränsad, därav valdes en lägre vitalitetsklass (figur 4). För de träd som klassades som vitalitet 1 hade en god kronstruktur och tydlig skotttillväxt i både apikala och vertikala skott (figur 5).



Figur 4. Visar vitalitetsbedömning 2. Ett tydligt toppskott har producerats men tillväxten för de vertikala skotten är begränsad.



Figur 5. Visar vitalitetsbedömning 1. God skotttillväxt i hela kronan.

2.4.2 Tillväxt

Stamomkrets mättes 1 m ovanför substratnivå. Denna höjd valdes då den är mest använda för att uppmäta kvalité i svenska plantskolor.

2.4.3 Stamskottsbildning

För de träd som producerat stambasskott gjordes en avlägsning av dessa med sekator. Avlägsning gjordes på de skott som producerats upp till 20 cm upp på stammen. De stambasskott som inte gick att avlägsna med sekator sågades av med en grensåg. Snitten gjordes snett utanför grenkragen. Det insamlade skotten räknades och placerades i märkta papperspåsar och torkades i ett torkskåp på 80 grader i 48 timmar. Därefter registrerades torrvikten för varje träd i gram.

2.5 Hypotes

I denna studie undersöks hur träd påverkas av olika substrat som är vanliga i en urban miljö med fokus på vitalitet, tillväxt och producerade stambasskott. För att undersöka detta formulerades följande hypoteser:

- Hypotes 0: Det finns ingen skillnad i mängd producerade stambasskott, tillväxt eller vitalitet mellan de olika substraten.
- Hypotes 1: Minst en av variablerna – producerade stambasskott, tillväxt eller vitalitet – skiljer sig mellan de olika substraten.

Dessa hypoteser testades genom en statistisk analys för att avgöra om substratet har en inverkan på någon av de undersökta variablerna.

2.6 Analys av data

För att analysera data tillämpades en systematisk och stegvis process. Inledningsvis bearbetades och kodades rådata för att säkerställa en tydlig struktur och underlätta kategorisering, vilket bidrog till att minimera risken för fel och förbättra datakvalitén.

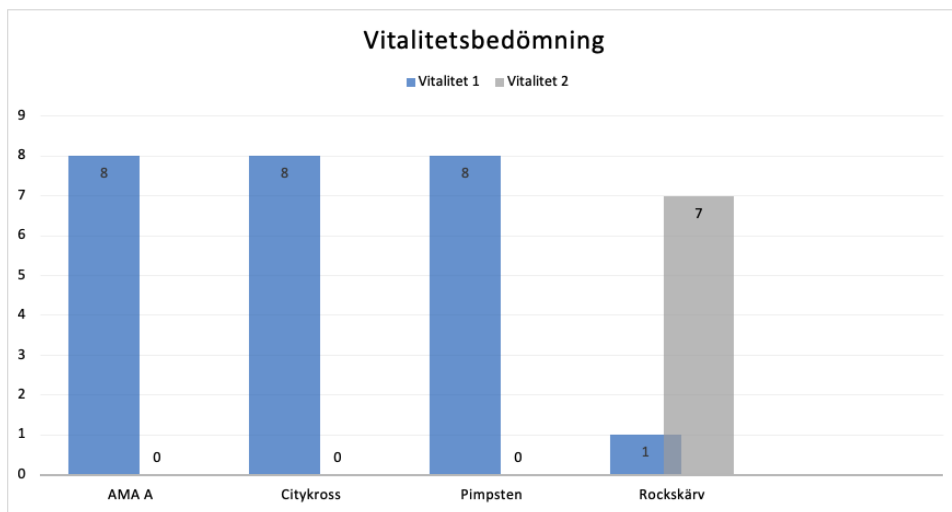
En kvantitativ analys genomfördes i Minitab med en variansanalys (ANOVA), där tre faktorer inkluderades: blockindelning, substrat och mykorrhizatillförsel. Dessa faktorer testades mot responsvariablerna torrsvikt och tillväxt. För att avgöra om faktorerna hade en signifikant effekt på dessa variabler utvärderades P-värdet som var satt till 0,05. Vid signifikanta resultat genomfördes ett "Tukey-test" för att identifiera skillnaderna mellan behandlingarna. För att visuellt kunna jämföra resultat som median, medel- och maxvärden, skapades även en statistisk översikt. För att undersöka spridning, avvikande punkter och symmetrisk fördelning, gjordes en boxplot. Analysen gjordes både för stamdiameter och torrsvikt. Vidare gjordes en "interaction plot" över mykorrhizan, för att analysera om substratet inokulerat med mykorrhiza påverkat tillväxt och torrsvikt.

Resultaten av vitalitetsbedömningarna används som beskrivande och analyserades inte i en modell. I stället presenteras de presenteras i ett stapeldiagram.

Resultat

3.1 Vitalitet

Resultaten visar en tydlig trend där rockskärvmixen särskiljer sig genom att majoriteten av träden tillhör vitalitetsklass 2 och endast ett träd utmärker sig med vitalitetsklass 1 (figur 6). Träden i de övriga behandlingarna uppvisade endast vitalitetsklass 1. Ingen förändring bedömningen av trädens vitalitet observerades mellan de båda bedömningstillfällena.



Figur 6. Vitalitetsbedömning (Skala 1–4). Vitaliteten för träden planterade i 4 olika substrat, där träd i Rockskärvmixen hade den lägsta vitaliteten.

3.2 Stamdiameter

3.2.1 Resultatöversikt

Resultaten indikerar att det föreligger variationer i stamdiameter mellan de undersökta substraten. Särskilt framträdande är att träd etablerade i rockskärvmixen uppvisar genomgående lägre värden på stamdiameter jämfört med övriga substrat. AMA A-jord uppvisade både högst medelvärde och det högsta lägsta värdet av de olika behandlingarna. Medelvärdet för pimpsten och citykross visade ingen markant skillnad från varandra. Men pimpsten visade ett generellt högre värde för stamdiameter än rockskärvmix (tabell 3).

Tabell 3. Stamdiameter för 32 träd planterade i 4 substrat med 8 upprepningar, hälften är inokulerade med mykorrhiza.

Variabel - Stamdiameter (cm)

Växtbäddstyp	Antal	Medelvärde	Minimum	Median	Maximum
AMA - A	8	6,28	5,70	6,30	6,80
Citykross	8	5,15	4,70	5,25	5,60
Pimpsten	8	5,96	5,10	6,10	6,40
Rockskärvmix	8	3,63	3,20	3,60	4,20

3.2.2 Substratens inverkan på stamdiameter

Substratet visade ett p-värde på <0,001 vilket indikerar en signifikant effekt på stamdiameteren och tyder på att substraten hade en stor påverkan på denna parameter. Övriga faktorer visade ingen signifikant påverkan (tabell 4).

Träden planterade i AMA A uppvisar störst stamdiameter med en median på ca 6,3 cm. Pimpsten uppvisar liknande med något lägre på 6,1 cm. Citykross uppvisar en median på 5,2 cm och rockskärvmixen uppvisar lägst median med ett värde på cirka 3,6 cm (tabell 5). AMA A och pimpsten visar på liknande spridning men AMA A visade på större variabilitet. Citykross uppvisar en jämn fördelning vilket tyder på att det är lite variation mellan den uppmätta stamdiameteren. Rockskärvmixen uppvisar både lägst stamdiameter och även den lägsta spridningen vilket tyder på att alla träd i dessa substrat presterat likartat (figur 7).

Tabell 4. Variansanalys av torrsvikt för de faktorer som mäts mot variablerna.

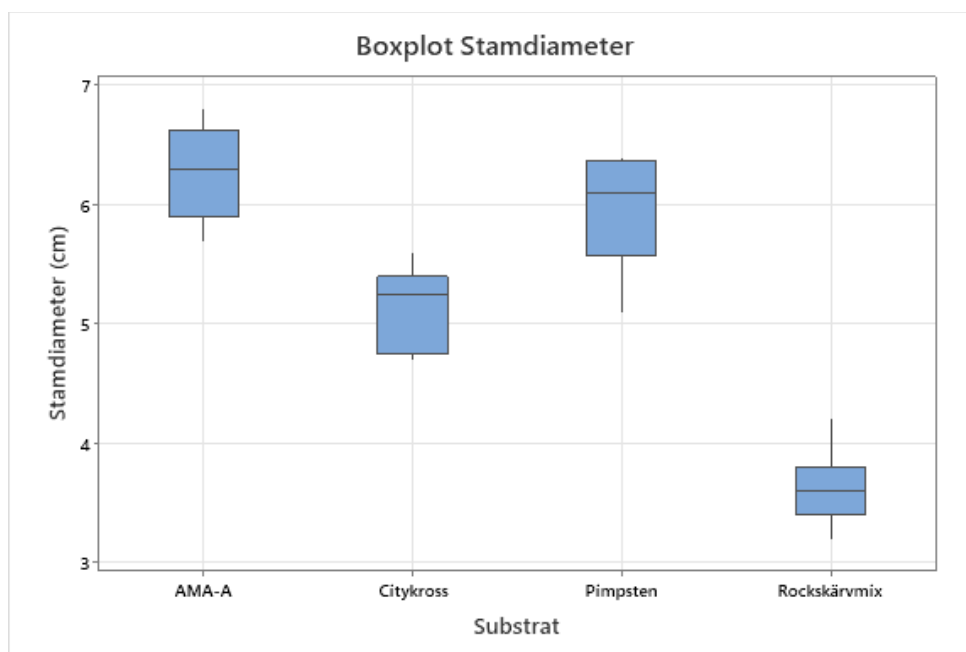
Variansanalys - Stamdiameter

Faktorer	F-värde	P-värde
Block	1,09	0,377
Substrat	69,49	0,000
Mykorrhiza Ja/Nej	0,33	0,573
Substrat * Mykorrhiza Ja/Nej	0,37	0,777

Tabell 5. Tukey-analys av stamdiameter för 32 träd planterade i 4 substrat med 8 upprepningar, hälften är inokulerade med mykorrhiza. Behandlingar som inte delar bokstav är signifikant skilda åt, när p-värdet är satt till 0.05.

Tukey - Stamdiameter

Substrat	Antal	Median	Gruppering
AMA A	8	6,3	A
Citycross	8	5,2	A
Pimpsten	8	6,1	B
Rockskärvmix	8	3,6	C



Figur 7. Boxplot som visar spridningen och variationen av avvikande värden för stamdiamter hos 32 träd planterade i 4 substrat med 8 upprepningar, hälften är inokulerade med mykorrhiza.

Resultatet från ANOVA analysen visar att substrat hade en signifikant påverkan på stamdiamter och producerade stambasskott vilket innebär att Hypotes 0 förkastas.

3.3 Producerade stambasskott (Torrsvikt)

I AMA-A substratet uppvisade alla undersökta träd producerade stambasskott. För de träd som planterats i citycross och pimpsten-substraten uppvisade 7 av 8 träd produktion av stambasskott. För de träd som planterats i rockskärvmix-substratet uppvisade 3 av 8 produktion av stambasskott.

3.3.1 Resultatöversikt

Resultatet indikerar att det finns en tydlig skillnad i producerad biomassa där träden i rockskärvmix har producerat en betydande mindre mängd i förhållande till träden i de övriga substraten (tabell 6). Träden i AMA A uppvisar den markant största mängden producerade stambasskott med ett medelvärde på 584 g och var det enda substrat som inte hade ett minsta värde på 0, dvs alla träd i den behandlingen uppvisade stambasskott. Pimpsten har ett maxvärde som ligger förhållandevis nära det maxvärde AMA A visar. Däremot visar pimpsten ett betydligt lägre median- och medelvärde.

Tabell 6. Producerade stambasskott per substrat mätt i gram. 32 träd planterade i 4 substrat med 8 upprepningar, hälften är inokulerade med mykorrhiza.

Variabel - Torrsvikt (gram)

Växtbäddstyp	Antal	Medelvärde	Minimum	Median	Maximum
AMA - A	8	584,0	149,0	634,0	999,0
Citykross	8	66,9	0,0	61,6	139,1
Pimpsten	8	144,9	0,0	71,9	717,1
Rockskärvmix	8	1,7	0,0	0,0	12,3

Figurer 8 och 9 visar exempel på den avsevärda skillnad i producerade stambasskott som dokumenterades vid insamling av data. Figur 8 visar ett träd i AMA A-substrat och figur 9 visar rockskärvmix substratet.



Figur 8. Högt producerade stambasskott



Figur 9. Obefintlig produktion av stambasskott

3.3.2 Substratens inverkan på torrsvikt

Resultatet visar att substratet hade en signifikant effekt på torrsvikten, med ett p-värde på <0,001 (tabell 7). Blockfaktorn visade ett p-värde på 0,565, vilket ej var signifikant och tyder på att det inte var någon skillnad mellan blocken.

Inokuleringen med mykorrhiza visade ett p-värde på 0,742, vilket tyder på att mykorrhizan ej hade en signifikant effekt. Slutligen visade interaktionen mellan substrat och mykorrhiza ett p-värde på 0,756, vilket inte indikerar någon signifikant effekt av mykorrhizan inom någon av behandlingarna.

Tabell 7. Variansanalys över torrsvikt för de faktorer som mäts mot variablerna.

Variansanalys - Torrsvikt

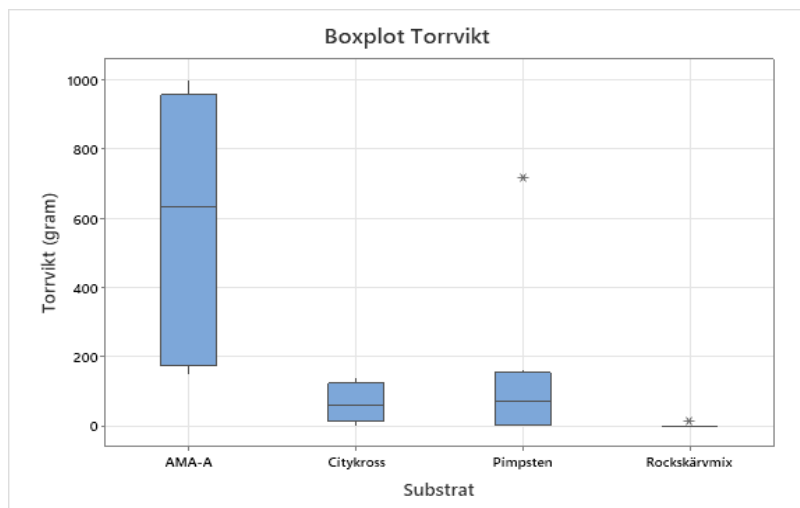
Faktorer	F-värde	P-värde
Block	0,700	0,565
Substrat	9,970	0,000
Mykorrhiza Ja/Nej	0,110	0,742
Substrat * Mykorrhiza Ja/Nej	0,400	0,756

AMA A-jord har en signifikant högre torrsvikt med en median på 584,15 gram än de andra tre substraten och det kan då påvisas att detta substrat har en stor effekt på ökad produktion av stambasskott (tabell 8). Övriga tre substrat delar samma grupp och det finns ingen signifikant skillnad. Resultaten visar att torrsvikten stambasskott i AMA A hade en median på cirka 600 gram och en stor spridning upp till cirka 1000 gram (figur 10). Citykross och pimpsten visar betydligt lägre torrsvikt där båda har en median på cirka 100 gram. Båda substraten har även låg spridning vilket antyder att dessa träd presterar jämnt men med låg tillväxt. Det finns ett avvikande värde "outlier" för pimpsten (figur 11). Detta tyder på att det fanns enstaka träd med en avvikande hög torrsvikt (figur 12) trots generellt låg medelnivå. Rockskärvmix (RM) uppvisade den lägsta medianen nära 0 gram och nästan ingen spridning alls av värdena. Det avvikande värdet för rockskärvmix är i förhållande till pimpstenen väldigt lågt men ändå värt att påvisa.

Tabell 8. Variansanalys över torrsvikt för de faktorer som mäts mot variablerna.

Tukey - Torrsvikt

Substrat	Antal	Median	Gruppering
AMA A	8	584,15	A
Citykross	8	144,903	B
Pimpsten	8	66,874	B
Rockskärvmix	8	1,731	B



Figur 10. Boxplot som visar spridningen och variationen av avvikande värden för producerad torrvikt hos 32 träd planterade i 4 substrat med 8 upprepningar, hälften är inokulerade med mykorrhiza.



Figur 11. Stambasskott i pimpsten.



Figur 12: Avvikande värde för pimpsten.

Diskussion

I denna studie har syftet varit att öka förståelsen för hur nyetablerade träd påverkas av olika substrat i urbana miljöer. Fokus har legat på att undersöka trädens vitalitet, tillväxt och producerad biomassa, för att få insikt i hur dessa faktorer relaterar till olika substratförhållanden. Genom att analysera dessa variabler har studien syftat till att bidra med kunskap om hur substrat kan optimeras för att få träd att frodas i urbana landskap.

4.1 Hur påverkas vitalitet och tillväxt i olika typer av urbana substrat?

En begränsad jordvolym kan försämra substratets förmåga att hålla vatten och näringsämnen, vilket i sin tur påverkar trädens tillväxt både ovan och under mark. Detta kan vara en av orsakerna till att träden i dessa substrat visar sämre utveckling jämfört med de övriga.

Resultatet visade att substraten hade en signifikant påverkan på både stamdiameter och vitalitet mellan träden planterade i de olika substraten. Däremot kunde ingen signifikant effekt av mykorrhizainokulering observeras för någon av variablerna. Träden i rockskärvmixen skiljer sig avsevärt från övriga träd, då flera av dem uppvisar vitalitetsklass 2. Övriga träd uppvisar enbart vitalitetsklass 1. Vid den okulära vitalitetsbedömningen observerades en skillnad i tillväxt där toppskottet producerade mer årstillväxt än de vertikala skotten.

Townbridge och Bassuk (2004) framhåller att endast finrötter effektivt kan absorbera vatten och näring. Eftersom rötterna även producerar tillväxthormoner, finns en stark koppling mellan tillväxten i kronan och rotsystemets utveckling. Om dessa rötter är begränsade eller obefintliga finns en betydande risk för hämmad tillväxt, vilket även påverkar grenverket negativt och resulterar i försämrad vitalitet. Det går därför att spekulera i om tillväxt av fina rötter är begränsad för de träd som är planterade i rockskärvmixen då de klart uppvisat sämst vitalitet. Det bör samtidigt påpekas att ett vitalitetsbetyg 2 enligt Östberg och Rowicki (2022) inte nödvändigtvis indikerar en allvarlig tillståndsförändring, utan snarare att träden uppvisar en viss tillväxthämning. Denna tillväxthämning kan vara kopplat till att trädet befinner sig i en viss period av sin tillväxtfas. Sammantaget tyder resultaten på att substratsammansättningen har en avgörande inverkan på trädens vitalitet där rockskärvmix presterat betydande sämst.

4.1.1 Biokol

I de undersökta substraten uppgår andelen biokol och grönkompost till 7,5 volymprocent vardera. Trots att biokol är ett etablerat och välrenommerat material inom branschen saknas långsiktiga studier som entydigt bekräftar dess påverkan

på tillväxt. Levinsson¹ menar att det i dagsläget finns få vetenskapliga studier som undersöker biokol och de befintliga studierna visar ett varierat resultat. Detta stöds även av Schaffert et al. (2022), som påpekar att det saknas vetenskapliga studier som tydligt visar vilken långsiktig påverkan biokol har. Schaffert et al. (2022) framhåller dock att biokol har en potentiell nytta, men att dess effekt kan variera beroende på dess fysiska och kemiska egenskaper. Därför bör materialet användas vid exempelvis nyplantering och vid trädets etableringsfas, för att maximera dess positiva effekter från start. I en studie där effekterna på torka på *Pinus massoniana* gjord av Wang et al. (2023) ledde tillförseln av biokol till en minskad överlevnad hos träden samt förstärkte torkans negativa inverkan på dess tillväxt. Biokol kan ha höjt jordens pH över 7,5 vilket då skapat en ogynnsam miljö för arten som föredrar svagt sur till neutral jord. Resultatet tyder på att biokolens effekt varierar mellan arter och att det i vissa fall kan öka torkkänsligheten hos växter som inte är anpassade till höga pH-värden (ibid).

En framträdande profil inom området är trädexperten Björn Embrén, som har spelat en central roll i utvecklingen av Stockholmsmodellen – en metod som inte bara revolutionerat konstruktionen av urbana växtbäddar, utan även introducerat användandet av biokol i dessa system. I en intervju i Dagens ETC (Bohlin 2023) framhåller Embrén biokolets många positiva egenskaper i en växtbädd. Han betonar dess porösa och stabila struktur samt dess goda förmåga att hålla kvar både vatten och näringsämnen, vilket underlättar växters näringsupptag. Vidare påpekar han att biokol skapar gynnsamma förhållanden för mikroorganismer, särskilt mykorrhiza. Denna effekt kunde dock inte avläsas i det här projektet.

Nässländer² framhåller att stamdiameter är en av de mest betydelsefulla parametrarna vid trädinventering, då den ger en indikation på trädets allmänna hälsotillstånd. En studie från Stockholm år 2009 undersökte hur biokol påverkar trädens tillväxt i urbana växtbäddar, med målet att förbättra markförhållandena och därmed trädens förutsättningar i stadsmiljö (Fransson et al. 2020). I studien jämfördes träden som planterades i skelettjord med 50 % biokol, vanlig AMA-jord samt AMA-jord med 50 % biokol. Resultatet efter tre år visade att träden i skelettjord med biokol uppvisade en 35 % större stamdiameter jämfört med övriga träd (ibid). Dock visade vissa av träden sprickor i stammen som förmodligen kan härledas till snabb tillväxt (Fransson & Andreasson 2014).

I denna studie kan det däremot ifrågasättas om biokol haft en motsvarande effekt på stamdiametern hos de planterade träden. Till skillnad från studien från 2009, där träd i skelettjord med 50 % biokol uppvisade en markant ökning av stamdiameter, innehöll substraten i denna studie betydligt lägre halter av biokol. Träden i citykross och rockskärvmix hade endast 7,5 % biokol, vilket kan ha varit en för låg andel för att ge en tydlig tillväxteffekt. Resultaten visade även att träden i AMA A och citykross inte skilde sig signifikant från varandra i stamdiameter,

¹ Anna Levinsson, Kursansvarig Trädvård LK0357, Föreläsning Grundläggande trädbiologi, I kursen trädvård SLU Alnarp, 2024-11-11

² Gustav Nässländer, Trädgårdsingenjör Trädkontoret, Föreläsning Trädinventeringar, I kursen trädvård SLU Alnarp, 2024-11-20

men båda var signifikant skilda från pimpsten och rockskärvmix. Detta tyder på att andra strategiens egenskaper än biokolhalten kan ha haft en större påverkan på trädens tillväxt i denna studie.

Fridell et al. (2022) påpekar att konventionell växtjord med leraggregat riskerar att kompakteras vid bearbetning eller exponering för anläggningsmaskiner medan substrat med makadam är mer motståndskraftigt mot sådan påverkan. Substrat med låg lerhalt, baserade på pimpsten, makadam eller sand uppvisar en högre tålighet mot de förhållanden som stadsträd utsätts för, såsom överskottsvatten, markkompaktion och exponering för vägsalt (ibid). Resultatet visar att AMA A-jord gav hög vitalitet och god tillväxt, men dess bristande bärighet samt utsatthet för saltning gör den olämplig för användning i urbana miljöer där bärighet krävs för infrastruktur. Det är därför avgörande vid val av substrat att det anpassas efter platsens egenskaper.

4.2 Hur påverkas trädens benägenhet att skjuta stambasskott i de olika typer av urbana substrat som de växer i?

Träden som planterades i AMA A-substratet visade en betydligt högre produktion av stambasskott jämfört med övriga träd. Inom ramen för denna studie kan förekomsten av stambasskott betraktas som en negativ faktor, särskilt i stadsmiljöer där det innebär ett ökat behov av skötsel. Eftersom syftet var att undersöka förutsättningarna för stadsträdens tillväxt och frodande, kan det ifrågasättas om den energi som gick åt till produktionen av stambasskott i stället hade kunnat bidra till en bättre utveckling av stammen. I vissa fall har skotten nått en storlek jämförbar med stammen (figur 13), vilket väcker frågan om hur trädens tillväxtpotential hade kunnat optimeras om denna energi enbart hade riktats mot huvudstammen. Mladoniczky et al. (2024) menar att snittytan inte bör vara större än $\frac{1}{3}$ av stammens diameter, då förlust av energi kan orsaka stress för trädet och öka risken för röta och svampangrepp.



Figur 13. Snittyta på 6,4 centimeter, träd nr. 30 i AMA - A. Diameter grundstam 6,4 cm

E-planta (2024) beskriver *Tilia x europaea* 'Kristina' som ett träd med ett flerstamigt växtsätt som trivs i en fuktig, näringsrik och mullhaltig jord som även klarar urbana växtplatser. Trots att träden klarar en viss ståndort behöver det inte vara en självklarhet att dessa utvecklas optimalt på dessa platser. Det kan således antas att AMA A-substraten utgjort en optimal växtplats för dessa träd, vilket kan ha främjat deras naturliga benägenhet att utveckla flerstamig struktur. Träden som inte har utvecklat stambasskott, och som inte står i AMA A-jord, kan indikera alternativa tillväxtstrategier. Det kan antas att dessa träd har anpassat sig till sin specifika miljö genom att utveckla starkare rotsystem, vilket möjliggör effektivare näringsupptag. Denna avsaknad av stambasskott kan också tyda på att dessa träd är mer motståndskraftiga mot stressfaktorer i den urbana miljön.

Det är av intresse att undersöka hur dessa träd reagerar på faktorer som markkompaktering och ljusförhållanden och hur dessa kan påverka deras tillväxt. Mladoniczky et al. (2024) redovisar att riklig stamskottsbildning är något naturligt förekommande för släktet *Tilia sp.* vid ljusexponering av stam och grenar. Plötslig stamskottsbildning kan därför bero på förändrade ljusförhållanden och stress. Detta motsätter att AMA A-substraten utgör en optimal växtplats för träden och att resultatet av producerade stambasskott kanske snarare beror på stress eller förändrade ljusförhållanden. Förändrade ljusförhållanden är i denna studie inte en påverkande faktor, träden är planterade i en randomiserad blockdesign och har lika förhållanden. Träden i AMA A-substratet visar den högsta klassen av vitalitet och de största stamdiametrarna, vilket är tecken på att träden trivs. Detta häver antagandet om att stress är den främsta orsaken till stamskottsbildningen.

Generellt spelar de grova strukturella porerna, som erhåller en diameter på 10–50 μm , en central roll för tillgången på luft, vatteninfiltration och hydraulisk konduktivitet. Medelstora porer som uppgår till en storlek på 0,2–10 μm i diameter är viktiga för lagring av växttillgänglig vatten (Sieghardt et al. 2005). För AMA-A-substratet uppgår kornstorleksfördelningen till mindre än 20 mm, vilket innebär att materialet främst består av medelstora porer. Dessa porer spelar en avgörande roll för vattenhållande förmåga och tillgång på näring, vilket skapar gynnsamma förutsättningar för rotutveckling. När porstrukturen möjliggör tillräcklig vattentillgång och näringsförsörjning kan detta bidra till förbättrad tillväxt både i rot och krona. Dessa förhållanden kan betraktas som optimala, förutsatt att substratet inte utsätts för kompaktering eller andra störningar som kan minska porositeten och därmed begränsa rotens tillgång till syre, försämra infiltrationen och begränsa upptag av näring och vatten. Eftersom trädets tillväxt är starkt beroende av tillgång på energi och näringsämnen, går det att anta att dessa faktorer påverkat den betydande mängd biomassa som träden i AMA A-substratet producerat i form av stambasskott.

Detta ger även vidare förklaring till varför träden i rockskärvmixen producerat en betydande mindre mängd stambasskott där fraktionerna i substratet uppgått till en storlek på 100–150 mm. Denna fraktion leder till en större andel av stora porer, vilket visserligen underlättar gasutbytet, men samtidigt begränsar tillgången på växttillgängligt vatten och näring, vilket också resultaten från stamtillväxten visar.

4.2.1 Mykorrhiza

Szabó et al. (2014) framhåller att förekomsten av mykorrhiza i växtbädden kan förbättra rötternas närings- och vattenupptag, vilket i sin tur kan ha en positiv inverkan på trädets tillväxt och den totala produktionen av biomassa. För denna studie kunde dock ingen signifikant effekt av mykorrhiza på tillväxt och produktionen av stambasskott påvisas, vilket står i kontrast till de påståenden som framställs i litteraturen.

Timonen & Kauppinens (2008) forskning visar att symbiosen mellan *Tilia sp.* och mykorrhizasvampar hjälper träden att stärka dess rötter under torka och att inokulering av ektomykorrhiza bör göras innan träden planteras för att främja ett friskt rotsystem med mycket finrötter. Ektomykorrhiza främjar vatten- och näringsupptaget hos *Tilia* i urbana miljöer vilket gynnar trädets tillväxt (Timonen & Kauppinen 2008). Eftersom påverkan på rotsystemet inte har kunnat undersökas går det dock inte att utesluta eventuella kommande effekter. Trots de positiva resultaten i Timonen och Kauppinen (2008) studie, finns det inga bevis på att inokuleringen haft någon effekt på tillväxten hos träden för denna studie. Ytterligare forskning behövs för att bättre förstå hur mykorrhiza påverkar urbana träd och deras långsiktiga tillväxt och hälsa.

I en studie av Garbaye och Churin (1996) planterades 8 år gamla *Tilia tomentosa* i jord som representerade normala förhållanden enligt A-jord. Tillväxten mättes genom stamdiameter 1,3 meter ovan marken samt trädets totala höjd. Fyra olika mykorrhizatyper användes, och resultaten visade att höjdtillväxten ökade

signifikant med 25% tre år efter inokulering. Stamdiametern påverkades positivt av en av svamparna redan efter ett år, medan två andra svampar gav effekt först efter tre år. Eftersom träden i denna studie planterades 2022 är det ännu oklart hur de kommer utvecklas på längre sikt, och det kan inte sägas säkert vilken effekt som inokuleringen kommer ha om några år.

4.2.2 Avslutningsvis

Resultaten är komplexa då AMA A-substratet gav både positiva och negativa effekter. Träden i detta substrat uppvisade den största stamdiametern och alla träd hade vitalitetsbedömning 1, vilket indikerar goda förutsättningar för tillväxt. Samtidigt resulterade substratet i en omfattande produktion av stambasskott, vilket kan innebära ökade skötselkostnader och en möjlig indikation på stress. Pimpsten och citykross visade en mer balanserad utveckling med måttlig tillväxt och begränsad produktion av stambasskott, vilket kan vara en fördel i stadsmiljö där långsiktig skötsel är en avgörande faktor. Eftersom substratval i urbana miljöer ofta styrs av krav på bärighet och hållbarhet, är AMA A trots sina höga tillväxtresultat mindre lämpligt för sådana förhållanden.

Sammanfattningsvis visar resultaten att AMA A-substratet gynnade trädens tillväxt. Dock innebär ökad produktion av stambasskott en ökad skötselkostnad och användning av substratet är begränsat på de platser där bärighet för hårdgjorda ytor krävs. Vid val av substrat bör därför flertalet faktorer tas i beaktning för att trädets tillväxt och vitalitet maximeras. Det bör även tas i beaktning att val av substrat kan innebära en kompromiss mellan funktion och optimala växtförhållanden.

4.3 Metoddiskussion

Trots noggrant övervägande för att säkerställa studiens validitet finns det vissa faktorer som kan ha påverkat resultaten. En potentiell begränsning är den okulära bedömningen av vitaliteten, som genomfördes utan att kompletteras med mer objektiva och detaljerade undersökningar av trädens fysiologiska status. En sådan kompletterande metod, som exempelvis mätning av bladfysiologi eller fotosyntetisk aktivitet, skulle ha kunnat ge en mer exakt bedömning av trädens hälsa och vitalitet.

En undersökning av rotsystemen hade kunnat bidra till en djupare förståelse för de processer som påverkat resultaten, särskilt eftersom rötternas tillgång till vatten och näring är avgörande för trädets tillväxt och vitalitet. Om möjlighet funnits att inkludera en sådan analys i studien hade det kunnat ge ytterligare insikter om hur substraten påverkat trädets utveckling.

Det är också viktigt att reflektera över om resultaten skulle kunna ha sett annorlunda ut om träden hade exponerats för de påfrestningar som en verklig urban miljö innebär. De undersökta träden planterades i kontrollerade containrar som inte utsattes för typiska urbana stressfaktorer som hårdgjorda ytor, trafik, luftföroreningar, förändrade temperaturer och mekaniska störningar i marken.

Dessa faktorer kan ha en betydande inverkan på trädens tillväxt och vitalitet i en urban kontext. Storleken på undersökta containrar kan också ifrågasättas huruvida de representerar en verklig miljö. Bromell³ rekommenderar en storlek på 13 m³ vilket är betydligt större än de som undersökts i denna studie. Detta kan göra att resultaten från denna studie inte helt speglar trädernas prestanda i en mer representativ urban miljö. Däremot är det också viktigt att påpeka att växtplatserna i en urban miljö kan variera och se helt olika ut inom samma område och påfrestningarna se olika ut. Det riktvärde som Bromell lyfter fram har nyligen tagits fram av Malmö stad och speglar inte nödvändigtvis verkligheten överallt. Växtbäddens storlek har större betydelse på längre sikt och kan i detta skede anses mindre relevant, då de undersökta träden ännu inte nått sin optimala storlek och fortfarande befinner sig i ett utvecklingsstadium. För denna studie är det avgörande att träden är planterade i lika stora containrar för att säkerställa vetenskaplig validitet.

En ytterligare aspekt att beakta är den relativt korta tidsperioden (tre år) som träden varit planterade i substraten. Det är möjligt att resultatet hade varit annorlunda om studien hade genomförts över en längre tidsperiod, då effekterna på rotsystem och tillväxt kan bli mer uttalade över tid. Negativa påverkningar på rotsystemet, såsom kompaktering eller otillräcklig näringstillgång, kan till exempel bli mer märkbara när träden blir äldre och rötterna får svårare att växa och etablera sig i substratet.

4.4 Trädens roll i den urbana miljön – lärdomar från studien

I takt med att allt fler människor bosätter sig i städer, ökar behovet av att skapa hållbara och hälsosamma livsmiljöer. Träd spelar en central roll i denna utveckling genom att bidra till förbättrad luftkvalitet, temperaturregulering, biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Samtidigt utmanas stadsträdens tillväxt av den urbana miljöns begränsade jordvolym, hårdgjorda ytor och varierande markförhållanden. En viktig aspekt av detta är att säkerställa att stadslandskapet inte bara tillhandahåller funktionella utrymmen, utan även miljöer som stödjer hälsa, välbefinnande och sociala interaktioner. Här spelar grönska en central roll. Etableringsproblematiken som träd utsätts för i urban miljö är ett faktum och det är avgörande för trädens överlevnad att de får rätt förutsättningar. Detta är av stor betydelse eftersom äldre trädbestånd dör ut, vilket gör det viktigt att bevara och främja yngre trädbestånd. Resultaten från denna studie belyser hur olika substrat påverkar trädens tillväxt och vitalitet, vilket är avgörande för att förstå hur stadens gröna infrastruktur kan optimeras. En av de tydligaste observationerna i studien var att träd i AMA A-substratet producerade en större mängd stambasskott, jämfört med de andra substraten. Detta kan indikera goda markförhållanden med hög vattenhållande kapacitet, men också att träden eventuellt reagerar på stress genom ökad skottbildning. Träden i rockskärvmixen uppvisade en försämrad vitalitet, vilket sannolikt beror på substratets stora

³ Larsola Bromell, Trädspécialist, Föreläsning Teknik och strategier för Malmös trädpopulation, I kursen trädvård SLU Alnarp, 2024-12-03

porstorlek, som begränsar dess förmåga att hålla kvar både vatten och näringsämnen. Dessa skillnader är viktiga att förstå i ett större sammanhang, då valet av substrat direkt påverkar trädens långsiktiga överlevnad och funktion i stadsmiljöer.

Slutligen visar studien på vikten av att skapa gynnsamma förutsättningar för trädens rotsystem, då detta direkt påverkar deras tillväxt och vitalitet. Resultaten bekräftar tidigare forskning som framhåller kopplingen mellan rotutveckling och kronans tillväxt, vilket betonar behovet av substrat som stödjer en god balans mellan luft, vatten och näring. Samtidigt måste substraten ha tillräcklig bärighet för att klara belastning från infrastruktur i urban miljö. Genom att vidareutveckla och anpassa substrat kan det skapas bättre förutsättningar för träd att hantera de påfrestningar som den urbana miljön och klimatförändringar innebär.

Slutsats

Den täta och hårdgjorda stadsmiljön kombinerad med klimatförändringar skapar allt större utmaningar för trädens hälsa och tillväxt. För att träd ska kunna fortsätta leverera sina ekosystemtjänster är det avgörande att de ges möjlighet att växa och åldras. Detta kräver tillräckligt med utrymme, rätt substrat samt en god skötsel. Forskning visar att äldre träd är avgörande för biologisk mångfald och att de måste skyddas för att säkra dessa värdefulla ekosystemtjänster. Samtidigt krävs innovativa lösningar som anpassade substrat och växtbäddar för att möjliggöra trädens tillväxt i stadens hårdgjorda miljöer.

Studien visar att substratet har en avgörande påverkan på trädens tillväxt, vitalitet och skottproduktion. Det substrat som uppvisade den högsta tillväxten mätt i stamdiameter saknar dock den bärighet som krävs för att vara en långsiktig lösning i urbana miljöer. Detta understryker vikten av att balansera tillväxtfrämjande egenskaper med de tekniska krav som ställs. Mykorrhiza-inokuleringen visade inga tydliga positiva effekter på tillväxt eller vitalitet inom den tidsram som studien omfattar. Detta kan tyda på att de förväntade fördelarna med inokuleringen tar längre tid att påverka, eller att dess effekt varierar beroende på substratets egenskaper. Skottproduktionen varierade mellan substraten vilket kan bero på variation i substratens vatten- och näringshållande egenskaper eller att släktet *Tilia sp.* har benägenhet att skjuta stamskott. Skottbildning kan också indikera stress eller hög tillväxtpotential, dess koppling till långsiktig trädetablering i urbana miljöer är därför av intresse. Sammanfattningsvis visar resultaten att valet av substrat har en direkt inverkan på trädens utveckling och att faktorer som bärighet och långsiktig funktionalitet måste vägas in vid planering av urbana trädplanteringar.

Referenser

Alvem, B-M. & Grönjörd, R. (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. [2025-01-23].

Azzi, E.S., Karlton, E. & Sundberg, C. (2022). *Life cycle assessment of urban uses of biochar and case study in Uppsala, Sweden*. Biochar, 4 (1).
doi:<https://doi.org/10.1007/s42773-022-00144-3>.

Bara Mineraler (2025a). *Hekla Malmömodellen - Bara Mineraler*.
<https://www.baramineraler.se/anlaeggning/traed-i-stadsmiljoe/hekla-malmoemodellen>. [2025-02-06].

Bara Mineraler (2025b). *Ren Hekla Pimpsten*.
<https://www.baramineraler.se/anlaeggning/ren-hekla-pimpsten/>. [2025-02-05].

Bassuk, N.L., Denig, B., Grabosky, J., Haffner, T. & Trowbridge, P. (2015). *CU-Structural Soil: A Comprehensive Guide*.
https://www.researchgate.net/publication/294721252_CU-Structural_Soil_A_Comprehensive_Guide. [2025-01-23].

Bohlin, R. (2023). *Han skapar kolsänkor*. ETC Nyhetsmagasin, 5, 3 Feb., s.6–15.

Boverket (2019). *Urbana träd och ekosystemtjänster*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/praktiken/mangfald/urbana_trad. [2025-01-23].

Cotrone, V. (2022). *Abiotic Urban Tree Stressors*. extension.psu.edu.
<https://extension.psu.edu/abiotic-urban-tree-stressors>. [2025-02-21].

Czaja, M., Kolton, A. & Muras, P. (2020). *The Complex Issue of Urban Trees—Stress Factor Accumulation and Ecological Service Possibilities*. Forests, 11(9), p.932.
doi:<https://doi.org/10.3390/f11090932>.

Deak Sjöman, J., Sjöman, H. & Johansson, E. (2015). *Träd i urbana landskap*. 1:6 ed. Studentlitteratur, s.231–323.

- Johnston, M. & Hirons, A. (2014). Urban trees. I: Dixon, G.R. & Aldous, D.E. (red.), *Horticulture: Plants for People and Places*, Volume 2. Dordrecht: Springer Netherlands, s. 693–712. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8581-5>.
- Dmuchowski, W., Brągoszewska, P., Gozdowski, D., Baczewska-Dąbrowska, A.H., Chojnacki, T., Jozwiak, A., Swieżewska, E., Suwara, I. & Gworek, B. (2020). *Strategies of urban trees for mitigating salt stress: a case study of eight plant species*. *Trees*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00468-020-02044-0>.
- E-planta (2024). *Tilia X Europaea 'Kristina® E ('Eleonora' PBR) – E-planta*. https://eplanta.com/vaxter_yrkesanvandar/tilia-x-europaea-kristina-e-eleonora-pbr. [2025-02-05].
- Embrén, B. (2016). *Planting Urban Trees with Biochar*. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/77>. [2025-02-06].
- Fox, L. (2022). *Trees and Shrubs that Tolerate Saline Soils, Salt Spray and De-icing Salts*. https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/430/430-031/SPES-342.pdf. [2025-02-25].
- Fransson, A.-M., Andreasson, F. (2014). *Grågröna systemlösningar för hållbara städer - Tillväxtökningar av biokol hos urbana träd på Herrhagsvägen*. Vinnova. <https://ws.doczz.net/doc/6942119/tillv%C3%A4xt%C3%B6kningar-av-biokol-hos-urbana-tr%C3%A4d-p%C3%A5-herrhagsv%C3%A4gen>. [2025-02-27].
- Fransson, A.-M., Gustafsson, M., Malmberg, J. & Paulsson, M. (2020). *BIOKOLHANDBOKEN -för användare*. <https://klimatkommunerna.se/wp-content/uploads/2021/01/handbok-biokol-2020-lacc8agupplocc88st.pdf>. [2025-02-06].
- Fridell, K., Hallgren, E., Vysoký, M., Linnesten, 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!* 3.1 ed. Edge.
- Garbaye, J. & Churin, J.L. (1996). *Effect of Ectomycorrhizal Inoculation at Planting on Growth and Foliage Quality of Tilia tomentosa*. *Arboriculture & Urban Forestry*. 22(1), pp.29–34. doi:<https://doi.org/10.48044/jauf.1996.004>
- Geobear (2023). *Mark med dålig bärighet – svag jord*. Geobear Sweden. <https://www.geobear.se/villaagare/dalig-barighet/>. [2025-02-20].

- Grabosky, J. & Bassuk, N. (1995). A New Urban Tree Soil to Safely Increase Rooting Volumes Under Sidewalks. *Arboriculture & Urban Forestry*, 21(4), pp.187–201. doi:<https://doi.org/10.48044/jauf.1995.030>
- Grabosky, J. & Bassuk, N. (2002). *Structural soils: a new medium to allow urban trees to grow in pavement. Landscape architecture technical information series (LATIS)*.
- Grabosky, J. & Bassuk, N. (2008). *Sixth- and Tenth-Year Growth Measurements for Three Tree Species in a Load-Bearing Stone-Soil Blend Under Pavement and a Tree Lawn in Brooklyn, New York, U.S.* *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(4), pp.265–266. doi:<https://doi.org/10.48044/jauf.2008.036>
- 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 & Urban Forestry*, 35(5), pp.271–278. doi:<https://doi.org/10.48044/jauf.2009.041>
- Hand, K.L., Doick, K.J. & Moss, J.L. (2019). *Ecosystem services delivery by large stature urban trees*. Forest Research. Edinburgh: Forest Research. <https://cdn.forestresearch.gov.uk/2019/06/frp031.pdf>. [2025-02-20].
- Hasselfors (u.å.). *Växtjord typ A naturgödsblad*. Växtjord-typ-A-21-02-Produktblad. Hasselfors garden AB. <https://www.hasselforsgarden.se/produkter/vaxtjord-typ-a/>
- Jacobson, C.R. (2011). *Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review*. *Journal of Environmental Management*, 92(6), pp.1438–1448. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.018>.
- Jim, C.Y. (2019). *Soil volume restrictions and urban soil design for trees in confined planting sites*. *Journal of Landscape Architecture*, 14(1), pp.84–91. doi:<https://doi.org/10.1080/18626033.2019.1623552>.
- Karlsson Andrews, A.L. (2023). *GLOBALA MÅLEN: MÅL 11 -HÅLLBARA STÄDER OCH SAMHÄLLEN*. <https://fn.se/wp-content/uploads/2023/09/3-23-Mal-11.pdf>. [2025-01-23].
- 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), pp.821–830. doi:<https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z>.

- Larondelle, N., Haase, D. & Kabisch, N. (2014). *Mapping the diversity of regulating ecosystem services in European cities*. *Global Environmental Change*, 26, pp.119–129. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.008>.
- Lindsäter, E., Ejeby, K. & Almqvist Simonsson, K. (2019). *Stressrelaterad psykisk ohälsa - Viss.nu*. <https://viss.nu/kunskapsstod/vardprogram/stressrelaterad-psykisk-ohalsa>. [2025-01-23].
- Lunds kommun (2024). *Trädstrategi för Tekniska förvaltningen*. <https://moten.lund.se/welcome-sv/namnder-styrelser/tekniska-namnden/tekniska-namnden-2024-04-09/agenda/tradstrategi-for-tekniska-forvaltningen-2024-03-14pdf?downloadMode=open>.
- Malmö stad (2024). *Träd*. [Malmo.se. https://malmo.se/Teknisk-handbok/Park--och-gronytor/Trad.html](https://malmo.se/Teknisk-handbok/Park--och-gronytor/Trad.html).
- Meier, A.R., Saunders, M.R. & Michler, C.H. (2012). *Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release*. *Tree Physiology*, 32(5), pp.565–584. doi:<https://doi.org/10.1093/treephys/tps040>.
- Mladoniczky, D., Östberg, J. & Rowicki, E. (2024). *Trädvårdshandbok Beskärning och trädvårdsåtgärder på etablerade träd i urban miljö i Sverige*. <https://www.tradforeningen.org/wp-content/uploads/2024/06/Tradvardshandbok-2024.pdf>. [2025-02-14].
- Mohanty, S.K., Valenca, R., Berger, A.W., Yu, I.K.M., Xiong, X., Saunders, T.M. & Tsang, D.C.W. (2018). *Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment*. *Science of The Total Environment*, 625, pp.1644–1658. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.037>.
- Munns, R. & Tester, M. (2008). *Mechanisms of Salinity Tolerance*. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), pp.651–681. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.
- Pallardy, S.G. & Kozlowski, T. (2007). *Physiology of woody plants*. 3rd ed. Elsevier Science & Technology, pp.44–46.

- Raviv, M. & Heinrich, I.J. (2013). *Soilless Culture - Theory and Practice*. Academic press, 2(2).
- Riksantikvarieämbetet (2022). *Fria Eller Fälla 2.0*. <https://raa.diva-portal.org/smash/get/diva2:1732163/FULLTEXT01.pdf>. [2025-02-06].
- Rose, S. & Peters, N.E. (2001). *Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach*. Hydrological Processes, 15(8), pp.1441–1457. doi:<https://doi.org/10.1002/hyp.218>.
- 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 & Urban Forestry, 48(3), pp.176–202. doi:<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*. Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. & Schipperijn, J. (red.), Urban forests and trees. Berlin: Springer, s. 281–323.
- Slagstedt, J. Gustafsson, E.-L. & Stål, Ö. (2015). *Träd i urbana landskap*. 1:6 ed. Lund: Studentlitteratur, pp.541–604.
- Stache, E., Schilperoort, B., Ottelé, M. & Jonkers, H.M. (2021). *Comparative analysis in thermal behaviour of common urban building materials and vegetation and consequences for urban heat island effect*. Building and Environment, 213, p.108489. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108489>.
- Sundberg, S., Carlberg, T., Sandström, J. & Thor, G. (red.) (2019). *Värdväxters betydelse för andra organismer – med fokus på vedartade värdväxter*. ArtDatabanken Rapporterar 22. ArtDatabanken SLU, Uppsala. [2025-02-06].
- Stångby (2023). *Växtbäddar - Stångby Plantskola*. <https://stangby.nu/vaxtbaddar>. [2025-02-05].
- Szabó, K., Boll, S. & Zsolt, E.H. (2014). *Applying artificial mycorrhizae in planting urban trees*. Applied Ecology and Environmental Research, 12(4), pp.835–853. doi:https://doi.org/10.15666/aeer/1204_835853

- Timonen, S. & Kauppinen, P. (2008). *Mycorrhizal colonisation patterns of Tilia trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland*. Urban Forestry & Urban Greening, 7(4), pp.265–276. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.08.001>.
- Trowbridge, P.J. & Bassuk, N. (2004). *Trees in the Urban Landscape: Site assessment, design, and Installation*. Hoboken, N.J.: J. Wiley & Sons.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K. & De Vries, S. (2005). *Benefits and Uses of Urban Forests and Trees*. Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. & Schipperijn, J. (red.), Urban forests and trees. Berlin: Springer, s. 81–114.
- Wang, X., Zheng, W.-L., Ma, X., Yu, F.-H. & Li, M.-H. (2023). *Biochar aggravates the negative effect of drought duration on the growth and physiological dynamics of Pinus massoniana*. Frontiers in Ecology and Evolution, 11(11). doi:<https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1166538>.
- Östberg, J. & Rowicki, E. (2022). *Standard för trädinventering i urban miljö Version 3.0*. Svenska Trädföreningen.

Figurer

- Figur 1 Jengard, S. (2025)
- Figur 2 Levinsson, A et al. (2022). In review.
- Figur 3 Östberg, J. & Rowicki, E. (2022). Visuellt bedömning av vitalitet.
- Figur 4 Fors, H. (2022). Exempel på vitalitet, vinter.
- Figur 5–14 Jengard, S. (2025)
- Tabell 1–7 Jengard, S. (2025)

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

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

☒ JA, jag, Stina Jengard har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Tuva Wikgren-Erheim har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

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