



# Hur påverkar företableringssubstrat rot- och skottillväxt?

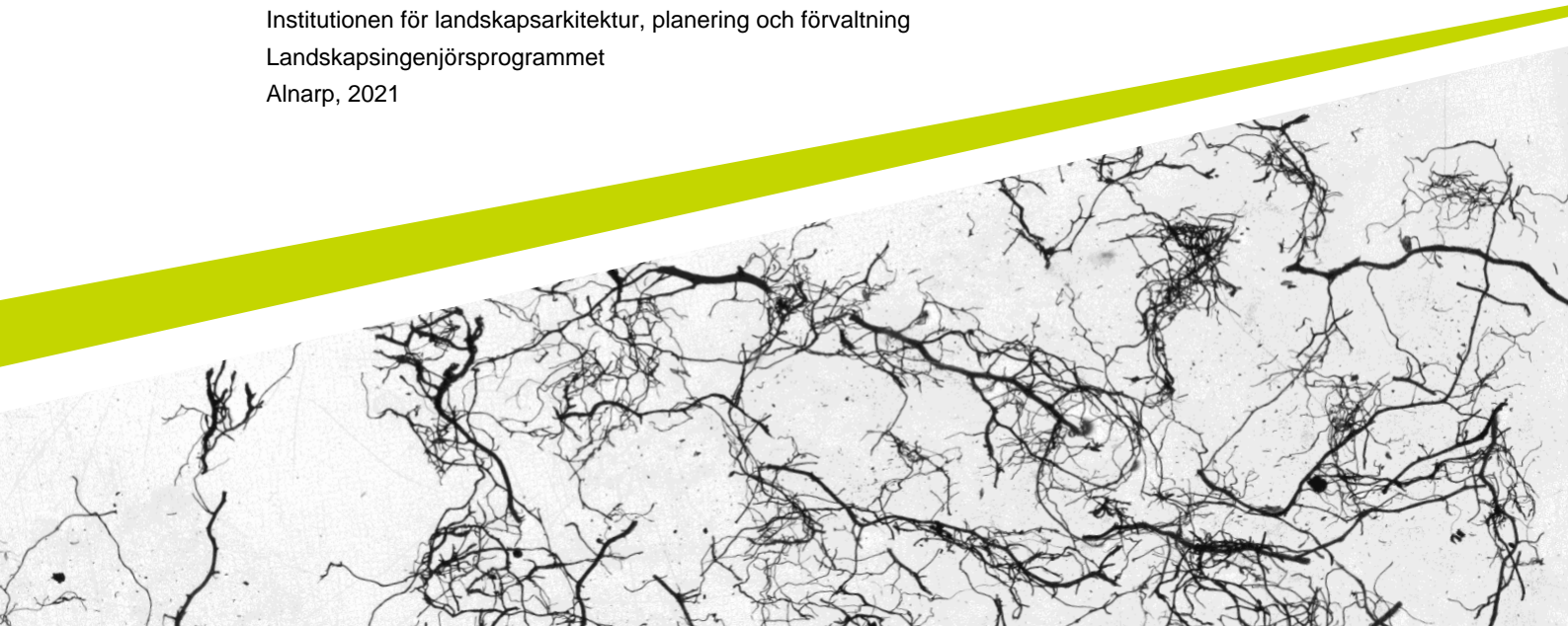
– En jämförande studie av företablering av träd i  
torv, pimpsten och pimpsten med biokol

---

*How does substrates in pre-establishment systems affect root and shoot  
growth?*

Hedda Svendsen

Examensarbete/Självständigt arbete • (15 hp)  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning  
Landskapsingenjörsprogrammet  
Alnarp, 2021





# Hur påverkar företableringssubstrat rot- och skotttillväxt? – En jämförande studie av företablering av träd i torv, pimpsten och pimpsten med biokol

*How does substrates in pre-establishment systems affect root and shoot growth? – A comparative study of the preparation of trees in peat, pumice and pumice with biochar*

Hedda Svendsen

**Handledare:** Anna Levinsson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Bitr. handledare:** Tobias Emilsson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Bitr. handledare:**

**Examinator:** Frida Andreasson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete

**Kurskod:** EX0841

**Program/utbildning:** Landskapsingenjörsprogrammet

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2021

**Omslagsbild:** Hedda Svendsen

**Figurer & tabeller:** Samtliga figurer och tabeller utan referens tillhör författaren

**Nyckelord:** Träd, företablering, bjälklag, finrötter, substrat, biokol, pimpsten, torv, skott, tillväxt, rotlängd, rotvolym, Prunus cerasifera

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

## Publicering och arkivering

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

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

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

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

## Sammanfattning

Den här studien undersöker hur företableringssubstrat påverkar rot- och skotttillväxt hos träd av arten *Prunus cerasifera*. Studiens syfte är att undersöka om företablering i substrat av torv, pimpsten och pimpsten med biokol under ett år påverkar tillväxten hos finrötter och årsskott olika för behandlingarna. Bland substraten som undersöks är torv det som traditionellt används i de flesta plantskolor, pimpsten och biokol tillsatsmaterial som är vanliga i växtbäddar på bjälklag. Växtbäddar som anläggs på bärande konstruktioner, som bjälklag, har ofta ett begränsat djup till följd av att de inte får vara för tunga. Även utsattheten för väder och vind i samband med begränsad växtbäddsvolym leder till att ståndorten ofta är mycket torr, och att träd kan ha svårt att överleva och få en fullgod utveckling. Företableringssystem som plantskolor använder sig av har till syfte att öka trädens mängd finrötter, som är de rötter där vatten- och näringsupptaget sker. Vilket anses ha betydelse för att nyplanterade träd ska överleva och få en fullgod utveckling.

Metoden som använts i studien är praktiska undersökningar av träden. Skotttillväxten har undersökts genom att mäta antal årsskott, samt deras längd och biomassa. Finrotstillväxten har studerats efter att rotklumparnas substrat sköljts bort och sedan har rötterna skannats och analyserat med verktyget WhinRhizo. Resultaten visar att det finns skillnader i antal skott, deras längd och biomassa mellan behandlingarna. Även rotlängd och rotvolym skiljde sig åt mellan behandlingarna. Gällande rotlängd och rotvolym skiljde behandlingen pimpsten med biokol ut sig som den med längst rotlängd och minst rotvolym. Resultaten kan peka på tendenser mellan behandlingarna då ingen data är statistisk säkerställd, vilket också är på grund av att det enbart var tre exemplar som undersöktes. Däremot visar resultaten på att fler och mer omfattande studier bör utföras då de skulle kunna ha betydelse för hur träd som ska planteras på bjälklag med hjälp av företablering kan få fler finrötter som upptar liten plats.

*Nyckelord:* Träd, företablering, bjälklag, finrötter, substrat, biokol, pimpsten, torv, skott, tillväxt, rotlängd, rotvolym, *Prunus cerasifera*

## Abstract

This study investigates the effect of pre-establishment substrates on root and shoot growth of *Prunus cerasifera* trees. The aim of the study is to investigate whether pre-establishment in substrates of peat, pumice and pumice with biochar for one year affects the growth of fine roots and annual shoots differently for the treatments. Among the substrates investigated, peat is the one traditionally used in most nurseries, pumice and biochar are additives commonly used in plant beds on joists. Plant beds built on supporting structures, such as beams, often have a limited depth due to the need to avoid excessive weight. Exposure to weather and wind in conjunction with limited planting bed volume and depth also means that the site is often very dry, and trees may find it difficult to survive and develop fully. Establishment systems used by nurseries aim to increase the amount of fine roots of trees, which are the roots where water and nutrient uptake occur. This is considered important for the survival and development of newly planted trees.

The methodology used in the study is practical surveys of the trees. Shoot growth was examined by measuring the number of annual shoots, as well as their length and biomass. The fine root growth was studied after the removal of soil and debris was washed away and then the roots were scanned and analysed using the WhinRhizo tool. The results show that there are differences in the number of shoots, their length and biomass between treatments. Regarding root length and volume the treatment pumice with biochar stood out as the one with the longest root length and the least root volume. The results may indicate trends between treatments as none of the data is statistically significant, which is also due to the fact that only three specimens were examined. However, the results suggest that more extensive studies should be carried out as they could have an impact on how trees that are to be planted on joists using pre-establishment can have more fine roots that occupy little space.

*Keywords:* Tree, pre-establishment, fine roots, substrate, biochar, pumice, peat, shoot, growth, root length, root volume, *Prunus cerasifera*

# Förord

Mitt examensarbete är utfört under våren och sommaren 2021 inom landskapsingenjörsprogrammet, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. Arbetet är utfört som en rapport och omfattar 15 högskolepoäng.

Det har varit spännande och intressant, men stundtals både utmattande och frustrerande att genomföra en praktiskt studie som mitt examensarbete har varit.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare, Anna Levinsson och Tobias Emilsson som har ledsagat och stöttat mig genom arbetsprocessen. Jag vill också tacka Anna Lund, som har varit briljant och hjälpsam när jag strävat på med att skölja mina rötter.

Tack till alla andra som har varit på Sommarkollot Alnarp i sommar. Utan luncherna med er hade denna sommar inte varit lika rolig.





# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning .....</b>	<b>11</b>
1.1. Syfte och mål.....	11
1.2. Frågeställning.....	12
1.3. Avgränsningar .....	12
<b>2. Bakgrund.....</b>	<b>13</b>
2.1. Rötter och skott.....	13
2.1.1. Rot- och skottillväxt .....	14
2.2. Etablering, odlingssätt och substrat .....	15
<b>3. Metod och material .....</b>	<b>17</b>
3.1. Mätning av årsskott .....	18
3.2. Mätning av rötter.....	19
<b>4. Resultat.....</b>	<b>22</b>
4.1. Resultat från årsskott.....	22
4.2. Resultat från rötter.....	24
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>28</b>
<b>6. Slutsats.....</b>	<b>31</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>32</b>



# 1. Inledning

I takt med att städer och urbana landskap växer och förtätas förändras förutsättningarna för vegetationsplatser i dem. Då konkurrensen om utrymmet på och under mark i växande städer hårdnar utvecklas alternativa lösningar för utemiljöer. Relevansen av vegetation och träd i tätare städer har påtalats och i Sverige finns de planeringsredskap för att säkerställa en viss mängd vegetation vid byggnationer, så kallad grönytefaktor (Turner-Skoff & Cavender 2019; Boverket 2020). En lösning för platser begränsat utrymme är att placera växtbäddar ovanpå konstruktioner och tak. Gröna tak och grönytor anlagda på bjälklag har gått från att nästan enbart omfatta gräs och örtartade perenner till att husera hela parker. Sådana växtplatser ställer höga krav både på växtmaterial, växtbäddar och växtsubstrat eftersom de ofta har en begränsad växtbäddsvolym utan någon kontakt med grundvatten. Det är därför extra viktigt att välja träd som har strategier för att hantera en ståndort som kan bli väldigt torr. Emellertid är även torktåliga arter känsliga för uttorkning de första åren efter plantering. För att hjälpa träden till en säker etablering har odlingsmetoder som ska resultera i ett rikligt förgrenat rotsystem med stor mängd finrötter blivit allt vanligare.

## 1.1. Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att öka förståelsen om växtsubstrat påverkar finrotstillväxten hos träd uppdrivna i plantskola. Finrötter är de tunna rötter som förser trädet med vatten och näring, och anses ha en betydande roll för trädets etablering på den nya växtplatsen. Många plantskolor har riktat in sig på att främja finrotstillväxten i sin produktion med olika odlingsmetoder. Så kallad företablering, att låta trädet stå i odlingsystem ovan jord en eller två växtsäsonger, antas förkorta den tid som det tar för ett träd att anpassa sig till den nya miljön.

Målet är att undersöka om förkultivering i tre olika substrat påverkar trädets förmåga att utveckla finrötter.

## 1.2. Frågeställning

- Hur skiljer sig förekomsten av finrötter och skotttillväxt hos *Prunus cerasifera* som har företablerats i tre olika substrat (torv, pimpsten och pimpsten blandad med biokol) under en växtsäsong?

## 1.3. Avgränsningar

På grund av arbetets omfattning har en del inskränkningar gjorts. Det antal träd som studerats är ett från varje kategori av substrat. Den tidsbegränsning som föreligger har också minskat hur stor del av rotsystemet som behandlats, då de förberedande aktiviteterna är tidskrävande. Detta har lett till att behandlingen och mätningen av rötterna avgränsats till de delar av rotsystemet som har utvecklats i förkultiveringssystemet, vilket främst är de yttre delarna. Skanningarna av dessa har begränsats till ett bestämt antal, nämligen 171 skanningar från varje substrat. Vad gäller de ovanjordiska delarna är det enbart årsskottens längd och torrsvikt som har uppmätts.

## 2. Bakgrund

Behovet av grönytor i urbana miljöer är viktigt då vegetation, och särskilt stora vitala träd, har många viktiga ekosystemtjänster kopplade till sig (Roy et al. 2012; Vogt et al. 2015). Förutom vindreglerande och luftrenande ekosystemtjänster kan träd sänka lufttemperaturen i städer med flera grader (Helletsgruber et al. 2020). I takt med att städer förtätas uppkommer nya lösningar för utemiljöer. Betongbjälklag saknar kontakt med grundvatten och är därför en extremt utmanande ståndort för många träd då växtplatsen kan bli väldigt uttorkad (Pettersson Skog et al. 2021). Vid nederbörd kan de istället bli väldigt blöta då dräneringen är komplex (ibid.). Eftersom planteringen placeras ovanpå en konstruktion begränsas de ofta av att de inte får vara för tunga, vilket minskar växtbäddarnas storlek (ibid.). Mindre jordvolym innebär mindre mängd tillgängliga resurser, vilket leder till att trädets utveckling, både under och över jord, riskerar att hämmas (Craul 1992). Ett sätt att kringgå detta är att minska växtbäddens vikt genom att använda ett lättare substrat. En populär tillsatts till växtbäddssubstrat för bjälklag är pimpsten, som är poröst och kan hålla mycket vatten som är tillgängligt för växterna (Pettersson Skog et al. 2021). Det är dessutom viktigt att välja ett lämpligt växtmaterial till utmanande ståndorter för att ett träd ska kunna utvecklas över lång tid (Vogt et al. 2015).

Under följande rubriker kommer jag ta upp några av de faktorer som kan inverka på ett trädets utveckling och etablering och vad substrat har för funktion i detta sammanhang. Samverkan mellan trädets överjordiska och underjordiska delar är en väldigt intrikat relation, jag kommer fokusera på grundläggande faktorer för att skapa en förståelse för min studie.

### 2.1. Rötter och skott

I boken *Plant roots* konstaterar Fitter (1991) att trädets rötter har två huvudsakliga funktioner, att förse resten av trädet med resurser de tar upp från jorden och att förankra trädet i jorden. Även om rötter kan ha andra viktiga funktioner, till exempel lagring av energi, fortplantning och som tillväxtreglerare, ses dessa som sekundära (Fitter 1991). För att uppskatta storlek på rötter brukar rot diameter användas (ibid.). Gällande lignoser brukar rötter mindre än 2 mm i diameter klassas

som finrötter (Makita et al. 2011). Emellertid varierar rötternas tjocklek mellan släkten och det finns de som bara har grövre rötter i de yttersta delarna (Fitter 1991). Nyare rön har ifrågasatt den traditionella uppdelningen av finrötter från grövre rötter enbart baserat på rot diameter och menar att den är godtycklig (Makita et al. 2011). Hishi (2007) poängterar att finrötter inte kan anses vara en homogen grupp, utan att de har olika egenskaper baserat på bland annat ålder och kemisk sammansättning inom rotarkitekturen. Dock så lyfter Fitter (1991) svårigheter i klassificeringen av finrötters förgrening och vidare menar McCormack et al. (2015) att det kan leda till att studier av finrötter inte kan jämföras, då definitionen skiljer sig för mycket forskningen emellan.

Ovan jord är det blad, och i vissa fall även vedartade delar av trädet, som genom fotosyntes skapar energi som sedan fördelas till andra vitala funktioner i trädet (Evert, Eichhorn & Raven 2013). Precis som finrötterna återfinns i de perifera delarna av rotsystemet är löven främst lokaliserade på de skott som finns i de yttre delarna av kronan (ibid.).

### 2.1.1. Rot- och skotttillväxt

Den primära tillväxten ovan och under jord sker i skottens och rötternas apikala meristem, det är i de yttersta spetsarna som de förlänger och förgrenar sig (Evert, Eichhorn & Raven 2013). Den sekundära tillväxten sker på bredden, när befintliga växt delar ökar i omkrets (ibid.), men det kommer inte att behandlas mer ingående i denna studie då det främst är den primära tillväxten som är av intresse.

Rotsystemets primära tillväxt sker i de perifera delarna där de allra minsta rötterna är lokaliserade, finrötterna (ibid.). Av hela rotsystemets samlade biomassa utgör finrötterna endast en liten del jämfört med de grövre rötterna (Makita et al. 2011; McCormack et al. 2015). Sin ringa storlek till trots är det finrötterna, med sina rotspetsar och rothår, som står för trädets vatten- och näringsupptag från jorden (Fitter 1991; Evert, Eichhorn & Raven 2013). Dessutom är den årliga omsättningen av finrötter hög (Lukac 2011). Vilket återigen visar på dess relevans i förhållande till storlek och omfattning.

Den primära tillväxten ovan jord sker när trädet växer på längden och när nya skott bildas (Evert, Eichhorn & Raven 2013). Det råder ett starkt beroendeförhållande mellan trädets underjordiska och överjordiska delar som karaktäriseras av ett jämviktsförhållande, en funktionell balans (Klepper 1991). Något förenklat kan det beskrivas som att finrötterna förser träd kronan med vatten och näring och i sin tur får de energi i form av kolhydrater som bildas genom fotosyntesen i bladen, de förutsätter varandras förmåga till tillväxt (Klepper 1991; Evert, Eichhorn & Raven 2013).

Jordens beskaffenhet påverkar starkt hur rötter bildas och utvecklas, både gällande temperatur, näringstillgång, mängd tillgängligt vatten, jordart och struktur samt förekomsten av nedbrytande organismer (Volder & van Iersel 2019). Ju torrare en jord är, desto hårdare blir den och desto mer kraft krävs från rötterna för att trycka jordmassan åt sidan för att röra sig vidare (ibid.). Vattenbrist leder alltså till minskad genomrotning på längden i ett substrat (ibid.). Däremot så finns det träd som har strategier för att hantera vattenstress. Cochavi et al. (2019) menar att i måttlig vattenstress utvecklar rötterna förgreningar inom jordvolymen, istället för att sprida sig från den, för att på så sätt kunna öka sitt vattenupptag där. Vid svårare vattenbrist minskar dock även denna strategi och rötterna fokuserar enbart på överlevnad (ibid.). Förutom vattenbrist är syrebrist minst ett lika stort problem för rötternas utveckling och överlevnad, även om det finns trädarter som utvecklat strategier för att hantera sådana brister (Evert, Eichhorn & Raven 2013).

## 2.2. Etablering, odlingssätt och substrat

Hos träd som odlas i plantskolor råder en obalans mellan rot och krona, vilket kommer sig av det motsattsförhållanden som råder när stora trädkvaliteter ska produceras men med hanterbara rotklumpar (Sjöman et al. 2015). För att kompensera för den bristande jämvikten har plantskolor utvecklat odlingstekniker för att främja förekomsten av finrötter (LRF 2019). Detta för att förekomsten av ett rikligt förgrenat rotsystem med stor andel finrötter sägs ha stor betydelse för att träden ska etableras väl på den nya växtplatsen (Appleton 1995 se Levinsson 2015). Sådana tekniker kan vara rotbeskärningar eller olika typer av krukor där luftpincering stimulerar ny rottillväxt. Vid plantering av träd brukar de första följande åren kallas för etableringsperiod (Sjöman et al. 2015). Detta då det tar tid för ett träd att anpassa sig till den nya växtplatsen. Är betingelserna otillräckliga kan trädet rent av dö. Det har poängterats att etablering inte får likställas med överlevnad, det krävs också att trädet når en normal utveckling (Bengtsson 1989). En normal utveckling är ingen generell definition utan är beroende av specifika faktorer som växtplats, ståndort och art (Bengtsson 1989).

Ett vanligt odlingssubstrat i trädgårdsbranschen är torv (Carlile, Raviv & Raven 2019). Torv är en jordart som bildas naturligt då organiskt material långsamt bryts ned under fuktiga och syrefattiga förhållanden i kärr eller mossar (ibid.). Detta förekommer på flera platser i världen och beroende på platsspecifika förhållanden bildas olika typer av torv med olika egenskaper (ibid.). I Sverige bildas torv i hela landet. Den torv som kommer från områden med hög nederbörd är ofta relativt näringsfattiga och bildar ofta vitmossetorv medan den som bildas i kärr präglas av

den vegetation som där vuxit (SGU 2020). Torv är lätt, poröst och har en god vatten- och näringshållande förmåga, och det är den typen av torv som är mycket populär som odlingssubstrat (Carlile, Raviv & Prasad 2019).

Pimpsten är ett lättviktssubstrat som bland annat används som tillsats i växtbäddar på bjälklag för att minska dess vikt (Pettersson Skog et al. 2021). Pimpsten är ett vulkaniskt material som bildas vid eruptioner under stort tryck, vilket resulterar i att den är mycket porös (Bar-Tal et al. 2019). Således återfinns denna råvara enbart i områden med stor vulkanisk aktivitet, exempelvis på Island, Nya Zeeland, Azorerna, Japan m.fl. (ibid.). Pimpstenen har en hög permeabilitet och vattenhållande förmåga, där en stor del av vattnet är tillgängligt för växter (Pettersson Skog et al. 2021). Utöver detta är lagringskapaciteten av näringsämnen låg (Bar-Tal et al. 2019). Detta leder till att den i torra klimat riskerar att hämma både vatten- och näringsupptag för växter och det krävs konstant bevattning i små doser för att detta inte ska ske (ibid.).

Ett nygammalt material som blivit allt mer populärt att använda som jordförbättrande medel är biokol. Biokol framställs genom att organiskt material bränns under syrefattiga förhållanden, så kallad pyrolys (Carlile, Raviv & Prasad 2019). Det har dock visat sig att biokolens egenskaper skiljer sig beroende på vilken typ av organiskt material som används och hur hög temperatur det bränns i, vilket leder till att det kan vara svårt att tala generellt om biokol (ibid.). I växtbäddar på bjälklag menar Pettersson Skog et al. (2021) att biokol som används där ska leva upp till särskilt ställda kvalitetskrav. Biokol kan bidra till att en substratsblandning får mer växttillgängligt vatten (ibid.), vilket är en viktig egenskap i växtbäddar som annars kan bli väldigt torra.



### 3. Metod och material

Tidig vårvinter 2021 levererades ett tjugotal träd av arten *Prunus cerasifera* (körsbärsplommon) till trädgårdslaboratoriet i Alnarp (figur 1). Min studie är en del i ett större projekt av *Blue Green City Lab* och är ett samarbete mellan SLU, Stångby plantskola, Bara mineraler och SGRI (Blue green city lab, u.å.). Val av träd och substrat är gjorda av dem. De har innan odlats och förkultiverats på plantskolan Stångby i Skåne. *P. cerasifera* är ett mindre träd som växer vilt i områdena öster om Medelhavet, den är värmegynnad och efter etablering även väldigt torktålig (Sjöman & Slagstedt 2015). Detta har gjort att det är ett växtmaterial som används flitigt i anläggningar på tak och bjälklag (ibid.). Ett år före att de anlände till Alnarp planterades de om i tre olika substrat i Air Pot®, ett odlingssystem där rötterna luftpinceras för att öka rottillväxt. Förutom skillnaderna i substrat har träden behandlats lika i plantskolan och fått samma mängd droppbevattning. Substraten som träden förkultiverats i under ett år är följande; torv (TO), pimpstensbaserat substrat av fabrikat Hekla® och grönkompost (PS) och pimpstensbaserat substrat av fabrikat Hekla® med grönkompost och oladdat biokol (BK) (Blue green city lab, u.å.). Hädanefter kommer förkortningen i versaler för de olika behandlingarna att användas när exemplaren omnämns.



*Figur 1. Några av de träd som levererades till Alnarp våren 2021*

Träden var av flerstammig karaktär och hade en totalhöjd mellan 300–350 cm. Av dessa valdes tre exemplar, en från varje behandling. De som valdes skulle vara så lika varandra i höjd, grenfördelning, stamomfång och rotklumpens storlek som möjligt och gjordes utifrån en okulär bedömning på plats. Direkt efter urvalet skördades materialet genom att stammen sågades av precis vid rothalsen. Materialet förvarades i ett svalt växthus fram till att mätprocesserna påbörjades. Det som mättes var årsskottens längd och biomassa, samt rötternas finrotsfördelning.

Följande underrubriker delas upp efter tillvägagångssättet för ovanjordiska och underjordiska delar av trädet.

### 3.1. Mätning av årsskott

Årsskotten klipptes av från resten av trädet. För att bestämma huruvida det är ett årsskott studerades om skotten förutom bladknoppar också hade blomknoppar. Mätningen av årsskotten delas upp i två kategorier beroende på om de har en eller två brytningar. Den första brytningen betecknades 2020A och den andra 2020B, de separerades i protokollet för att senare studeras enskilt. Efter mätning klipptes skotten isär och placerades i påsar, också här skiljdes de utifrån beteckningen 2020A eller 2020B och substrat. När samtliga årsskott var uppmätta och placerade i påsar torkades de i en torkugn inställd på 70°C under 48 timmar. De hade då torkats så pass mycket att skottens torrsvikt, eller biomassa, kunde vägas. I detta fall användes en våg med två decimaler. Förutom tabeller och diagram som presenteras i resultatet har en envägs anova utförts i programmet SPSS. Det P-värde som då genererades visar att data från årsskotten ej är statistiskt signifikanta. Därför kommer resultaten att behandlas som tendenser.

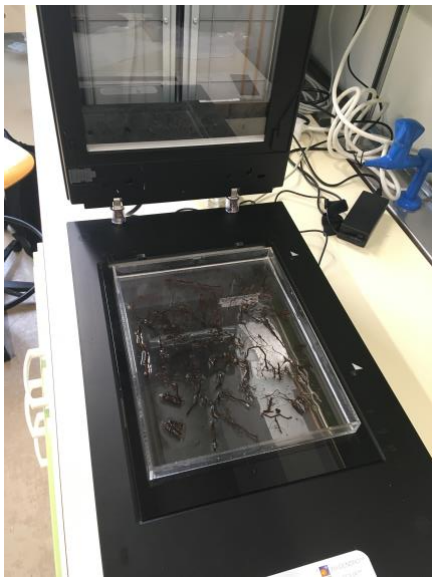


*Figur 2. Två av de tre rotklumparna som är ungefär halvvägs genomsköljda*

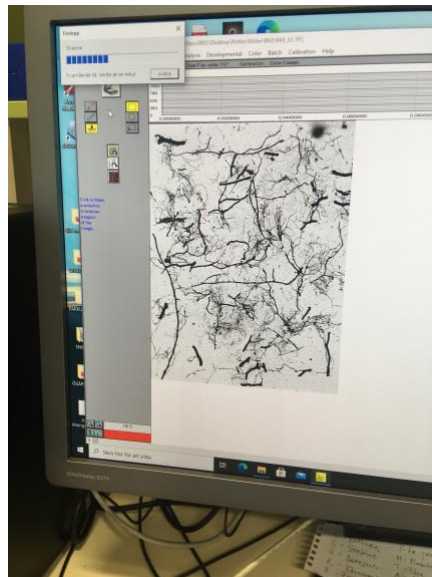
## 3.2. Mätning av rötter

Innan mätningen av rötterna kunde genomföras spolades rotklumparna rena från substrat och andra rester. På grund av tidsbrist sköljdes inte hela rotklumpen utan enbart de yttre delarna med företableringssubstrat (figur 2). Rötterna placerades sedan i plastpåsar som förvarades i kylskåp för att förhindra nedbrytning, påsarna märktes med substrat och datum.

För att analysera rötterna användes verktyget WhinRhizo Regent instruments Inc., ett datorprogram med tillhörande skanner (figur 3 och 4). Mjukvaran kalibreras och analyserar de skannade rötterna efter diameter och längd. Som nämnts i avsnitt 2.1 finns det inte enbart ett sätt att mäta finrötter och det är en komplex fråga. I denna studie definieras finrötterna efter rot diameter, men för att komma åt de olika typer av finrötter som finns valdes flera fraktioner och med tätare intervall hos de mindre än 2 mm i diameter. Intervallen som valdes är följande: 0.0–0.2 mm, 0.2–0.4 mm, 0.4–0.6 mm, 0.6–0.8 mm, 0.8–1.0 mm, 1.0–1.5 mm, 1.5–2.0 mm, 2.5–3.0 mm, 3.0–3.5 mm, > 3.5 mm.



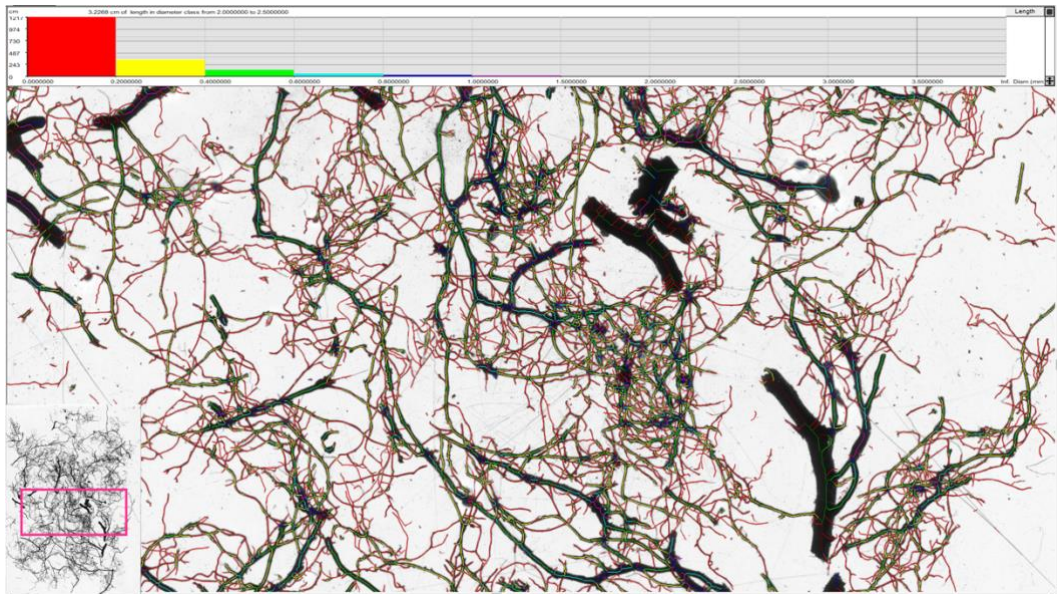
Figur 4. Tråg med rötter i vattenbad som placerats på rotskannern



Figur 3. Mjukvaran WhinRhizo analyserar ett inskannat rotprov

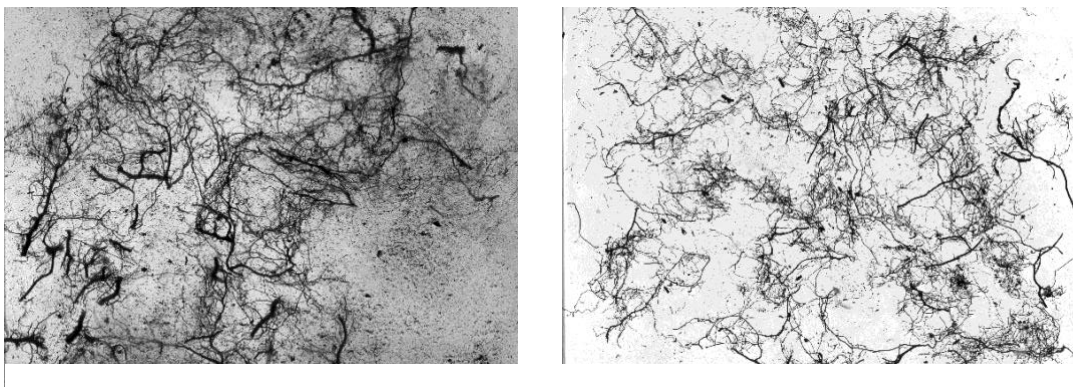
Rötterna sköljdes en gång till för att rensa bort substrat och smuts. Därefter placerades de i vatten i ett av trågen som hör till rotskannern (figur 3). För att skanningen ska gå rätt till får rötterna inte ligga för nära kanten av tråget, där de inte går att analysera. Var rötterna fläckta klipptes dessa delar bort eftersom programmet klassificerar dem med en lägre rot diameter än de egentligen har, vilket ger en oriktig fördelning av rötterna. När rötterna är skannade utförs den automatiska analysen (figur 5), den sparades sedan till en textfil och den inskannade

bilden sparades som en bildfil. När alla skanningar var utförda överförs värdena från textfilen till Excel för vidare analys. För att sammanställa informationen användes ett macro tillägg från WhinRhizo (XLRhizo) till excelfilen. Om ett rotsystem behöver delas upp i fler skanningar kan tillägget slå samman de separata skanningarna till en.



Figur 5. Del av ett analyserat rotprov där de angivna fraktionerna av rot diameter markeras med färger. Röd för 0.0-0.2 mm och så vidare i stigande ordning

Då kalibreringen inledningsvis ställdes in fel fick analysen göras om för vissa skanningar. De sparade bilderna lästes då in på nytt, men då en del bilder inte sparats korrekt försvann några skanningar. För BK blev enbart 167 skanningar gjorda, för TO 170 och för PS 171. För att få samma mängd skanningar för varje behandling slumpades därför fyra för PS och tre för BK bort med en slumpgenerator. De skanningar som utgick var följande för PS: 39, 101, 125 och 134, och för TO uteslöts nummer 27, 36, 67.



Figur 6. Till vänster är skanningen av rötter från PS som innehöll flest finrötter mindre än  $\varnothing$  0.2 mm, men också en del jordrester. Till höger är den skanning från BK som innehöll flest finrötter inom samma intervall

Värden som däremot inkluderades var från den första skanningen av PS, som syns i jämförelse med en skanning från BK i figur 1. Skanningen av PS var den som både inom den gruppen och mellan alla grupper innehöll mest finrötter inom den minsta diametern. Vad som syns tydligt i figur 6 är att denna skanning också innehåller en del smuts. Den har trots det inkluderats då det även finns en stor mängd rötter i denna skanning som annars hade försvunnit.

## 4. Resultat

### 4.1. Resultat från årsskott

Den första årsbrytningens skottlängd och biomassa i form av torrsvikt representeras i tabell 1. BK har mindre antal skott än både PS och TO, även skottens sammanlagda längd följer denna struktur. PS har flest skott och den största torrsvikten. Emellertid har BK både högre medellängd och medelsvikt (tabell 1) än de andra två. Samtidigt är skillnaden mellan dem alla tre inte särskilt stor och de ligger alla väldigt nära den totala medelsvikten och medellängden.

Tabell 1. Sammanställning av första årsskottsskjutningen (2020A) hos behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

<i>Behandling</i>	<i>Antal</i>	<i>Längd (cm)</i>	<i>Medellängd</i>	<i>Torrsvikt (g)</i>	<i>Medelsvikt</i>
<i>BK</i>	569	16 952,1	29,79	854,10	1,5
<i>PS</i>	761	21 582,3	28,36	903,64	1,2
<i>TO</i>	719	20 800,6	28,93	815,25	1,1

Den andra skottbrytningen (tabell 2) följer gällande antal och längd, samma mönster som den första tabellen. Också här har PS flest antal skott och störst torrsvikt, men lägre medellängd och medelsvikt än TO.

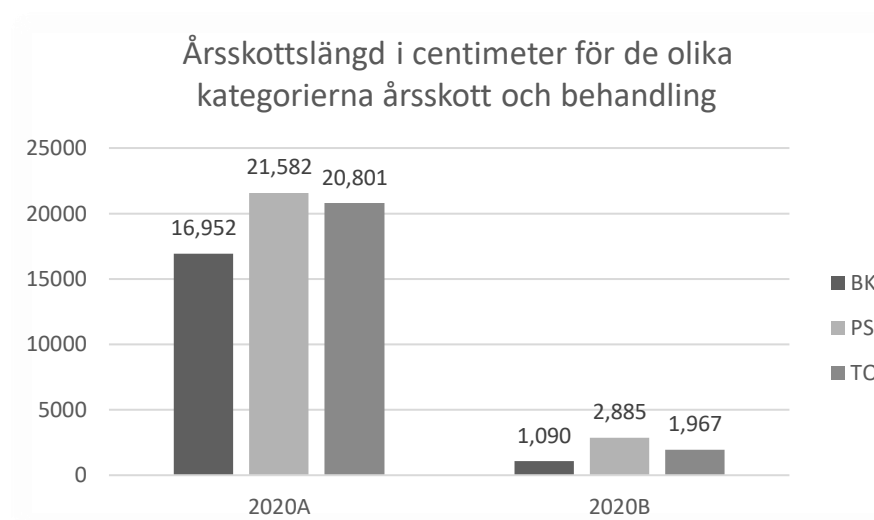
Tabell 2. Sammanställning av andra årsskottsskjutningen (2020B) hos behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

<i>Behandling</i>	<i>Antal</i>	<i>Längd (cm)</i>	<i>Medellängd</i>	<i>Torrsvikt (g)</i>	<i>Medelsvikt</i>
<i>BK</i>	97	1 089,5	11,23	18,56	0,19
<i>PS</i>	326	2 885,3	8,85	59,96	0,18
<i>TO</i>	121	1 967,4	16,26	40,01	0,33

Tabell 2. Sammanställning av första och andra årsskottsskjutningen (2020A och 2020B) hos behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

Behandling	Antal	Längd (cm)	Medellängd	Torrsvikt (g)	Medelvikt
BK	666	18 041,6	27,09	872,66	1,31
PS	1 087	24 467,6	22,51	963,60	0,89
TO	840	22 768,0	27,11	855,26	1,02

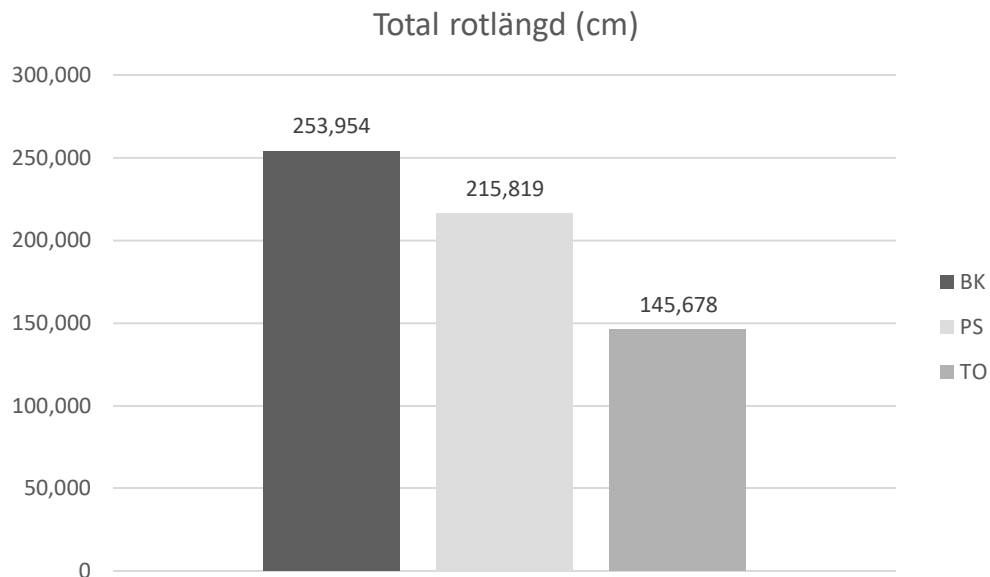
Sammanfattningsvis går det att konstatera att PS genomgående har flest antal skott som också är längst och tyngst. Vidare ligger resultaten för BK under de andra två gällande de två första parametrarna, men inte vad gäller torrsvikt. Detta får till följd att medelvikt för BK blir den högsta. För den totala årsskottsdatan (tabell 3 och figur 7) gäller samma norm som 2020A och 2020B separat, även om det finns skillnader är dessa inte utmärkande för någon av substraten.



Figur 7. Jämförelse av total årskottslängd hos första och andra årsskottsskjutningen (2020A och 2020B) för behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

## 4.2. Resultat från rötter

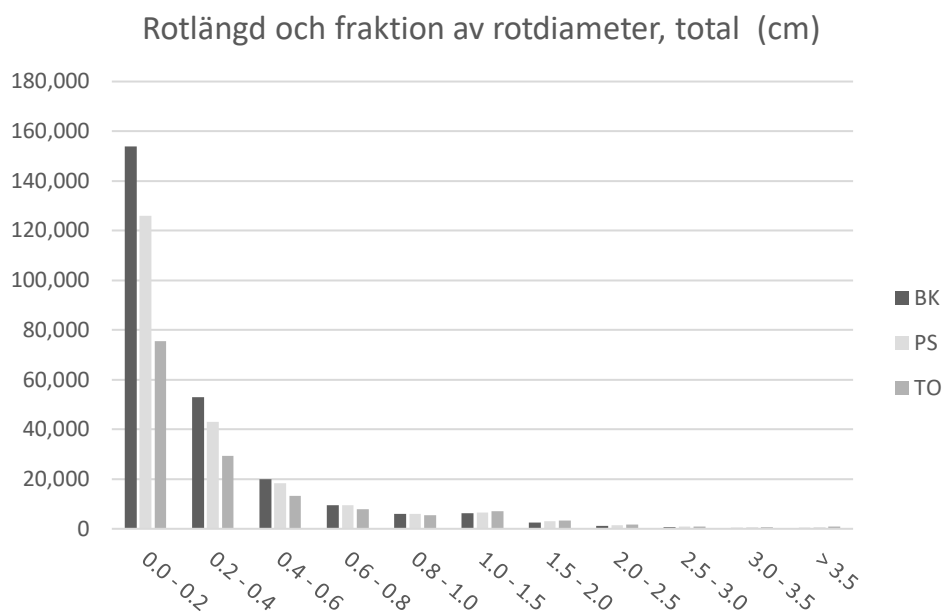
Vid avlägsnandet av substrat från rotklumparna konstaterades att samtliga träd hade rötter med liten diameter i hela rotklumpens yttre delar. Däremot var de visuellt mycket svårare att se hos TO än hos både PS och BK där rötterna letade sig utanför substratet och tydligt syntes utan att detta först behövde avlägsnas. Även om rotklumparna sköljdes lika mycket blev den totala mängden insamlade rötter mycket mer för både BK och PS än för TO.



Figur 7. Sammanställning av total rotlängd för behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

Sett till den totala rotlängden (figur 7) når rötterna för BK över 2 500 m, PS har rötter strax över 2 150 m och TO strax över 1 450 m. I tabell 4 och figur 8 presenteras rotlängden inom de analyserade fraktionerna av rottdiameter för varje behandling. Alla behandlingar har störst värden i den minsta fraktionen, de har också och minst värde i de två största fraktionerna. Samtliga har störst värden inom de tre minsta fraktionerna. Det är också inom dessa fraktioner som skillnaderna mellan dem är som störst. Längden för rötter mindre än 0.2 mm i diameter är högre hos BK än hos PS och TO. Skillnaden är särskilt stor mellan BK och TO i denna fraktion. Mellan fraktionerna 0.0–0.2 och 0.8–1.0 har BK längst rötter och TO kortast. Vid fraktionen 1.0–1.5 skiftar förhållandet och för de grövsta rötterna är det TO som har den längsta sammanlagda längden, med PS och BK efter.

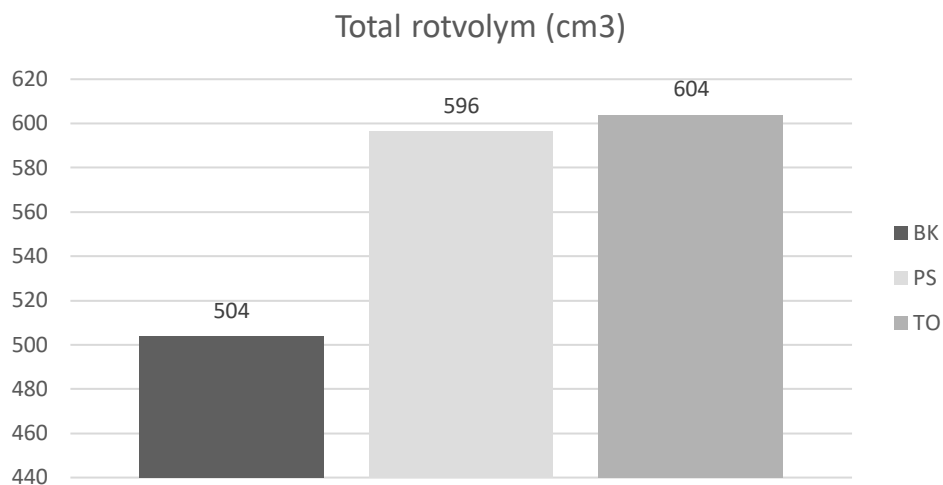




Figur 8. Diagram över rotlängd för varje analyserad fraktion rot diameter för behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

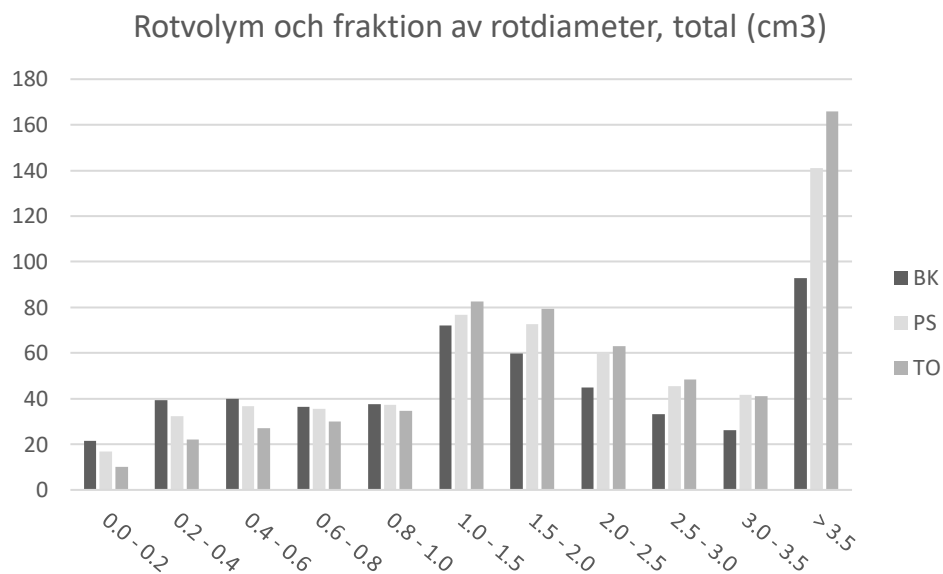
Tabell 3. Rotlängd (cm) för varje analyserad fraktion rot diameter (mm) hos behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

Intervall/Behandling	BK	PS	TO
0.0 – 0.2	153 921,07	125 938,93	75 466,28
0.2 – 0.4	53 082,34	43 023,26	29 286,34
0.4 – 0.6	20 047,47	18 237,01	13 358,61
0.6 – 0.8	9 587,78	9 365,43	7 840,56
0.8 – 1.0	5 998,65	5 953,01	5 476,57
1.0 – 1.5	6 286,84	6 634,18	7 017,88
1.5 – 2.0	2 580,89	3 123,38	3 410,74
2.0 – 2.5	1 137,63	1 529,26	1 597,64
2.5 – 3.0	567,36	770,73	822,09
3.0 – 3.5	320,11	508,08	503,86
>3.5	424,21	735,47	843,11



Figur 9. Diagram för den totala rotvolymen i cm<sup>3</sup> för behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

Den totala rotvolymen är större för TO och PS än för BK (figur 9). I figur 10 och tabell 5 presenteras den summerade rotvolymen uppdelat på fraktionerna för rottdiameter. Där syns att alla behandlingar har störst volym i intervallen från Ø 1.0 mm och uppåt. Det är också TO som har störst volym inom dessa fraktioner, följt av PS och BK. I de tre minsta intervallen är det BK som har störst volym, följt av PS och TO. Men här är skillnaderna mellan behandlingarna mindre än för de grövre fraktionerna.



Figur 10. Diagram över rotvolym för varje analyserad fraktion rottdiameter hos behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

Tabell 4. Rotvolym ( $\text{cm}^3$ ) för varje analyserad fraktion rotdiameter (mm) hos behandlingarna pimpsten med biokol (BK), pimpsten (PS) och torv (TO)

<i>Intervall/Behandling</i>	<i>BK</i>	<i>PS</i>	<i>TO</i>
<i>0.0 – 0.2</i>	21,51	16,91	10,17
<i>0.2 – 0.4</i>	39,43	32,23	22,08
<i>0.4 – 0.6</i>	40,02	36,71	26,98
<i>0.6 – 0.8</i>	36,29	35,44	29,86
<i>0.8 – 1.0</i>	37,63	37,35	34,67
<i>1.0 – 1.5</i>	71,97	76,68	82,52
<i>1.5 – 2.0</i>	59,80	72,65	79,25
<i>2.0 – 2.5</i>	44,94	60,26	63,02
<i>2.5 – 3.0</i>	33,32	45,32	48,41
<i>3.0 – 3.5</i>	26,11	41,62	41,21
<i>&gt;3.5</i>	92,93	141,20	165,80

## 5. Diskussion

- *Hur skiljer sig förekomsten av finrötter och skotttillväxt hos Prunus cerasifera som har företablerats i tre olika substrat (torv, pimpsten och pimpsten blandad med biokol) under en växtsäsong?*

Företableringens syfte är att förbereda träd på den nya växtplatsen innan plantering och reducera försämringar i vitaliteten, som ofta uppkommer under en period efter plantering. Sådana försämringar kan vara minskad tillväxt, att skott dör tillbaka eller till och med att trädet dör. Morfologiska faktorer hos träden som sägs ska förbättra vitaliteten under etableringsperioden är bland annat ett tätt rotsystem med många finrötter, eftersom dessa främst förser trädets krona med vatten och näring. De är lokaliserade i de perifera delarna av rotsystemet och det är således dessa delar som undersökts.

Hos de undersökta träden som företablerats i torv (TO), pimpsten (PS) och pimpsten blandad med biokol (BK) finns skillnader gällande rotlängd och rotvolym inom behandlingarna. Samtliga behandlingar har den största rotlängden i den minsta fraktionen av finrötter, de mindre än  $\varnothing$  0.2 mm, och minst rotlängd i de två grövsta fraktionerna (tabell 4). Minskningen i rotlängd illustreras tydligt i figur 3, där staplarna för samtliga behandlingar minskar från vänster till höger. För rotvolym gäller det omvända förhållandet, vilket syns i figur 5 där istället en ökning av staplarnas höjd går från vänster till höger. Alltså upptar väldigt långa finrötter med liten rot diameter mycket mindre volym än finrötter med grövre rot diameter, som dessutom är mycket kortare. Detta samband stämmer med vad både Makita et al. (2011) och McCormack et al. (2015) redan nämnt gällande finrötters lilla andel av det totala rotsystemet. Så även om bara de yttre delarna av rotsystemet (där företableringssubstratet fanns) har behandlats i denna studie stämmer tendenserna för dessa behandlingar med redan konstaterade förhållanden.

Skillnaderna mellan behandlingarna är också tydlig, den totala rotlängden (figur 2) är störst hos BK och minst hos TO, samtidigt har TO den största totala rotvolymen (figur 4) och BK den minsta. Ett liknande mönster går också att se när rotlängden och rotvolymen analyseras inom fraktionerna för rot diameter. Här förhåller det sig generellt så att den behandling som har störst rotlängd inom en fraktion också har den största rotvolymen inom samma fraktion. För fraktionerna mindre än  $\varnothing$  1.0 mm

har BK längst värde och TO kortast och för de över har TO längst och BK kortast. För rotlängd gäller att BK har störst och TO minst volym under fraktionen  $\emptyset$  1.0 mm och det omvända över.

Behandlingen PS har inte diskuterats särskilt än då den ständigt hamnade mellan BK och TO i rotmätningarna. Dock är de inte så konstigt att PS och BK hamnade nära varandra, då båda behandlingarnas huvuds substrat är pimpsten, med skillnaden att BK också har tillsatt biokol. Kan det då vara denna tillsats av biokol som gjorde att behandlingen BK både har den största totala rotlängden och den minsta totala rotvolymen (figur 2 och 4). Om detta är ett resultat som står sig efter upprepade och mer omfattande studier kan det ha betydelse för framtida planteringar på bjälklag där växtbädden är begränsad. Då planteringar på bjälklag dessutom är utsatta ståndorter som både kan bli väldigt blöta men framförallt väldigt torra, leder detta ofta till en svår etableringsperiod. Pimpsten är ett vanligt lättviktssubstrat som är både poröst och permeabelt. Det har inte samma goda fuktighetshållande förmåga som torv har, en risk föreligger att det blir torrt i bäddar med pimpsten. Rätt sorts biokol kan öka mängden vatten som är tillgängligt för växten i en växtbädd med substrat av pimpsten (Atkinson & Aitkenhead 2018).

Finns det då träd som får både mycket mer finrötter men som samtidigt tar upp mindre plats skulle dessa kanske vara bättre rustade för att få både en lyckad etablering och utveckling, även i små växtbäddar på bjälklag. En företablering i pimpsten med inblandad biokol (BK) skulle kunna ha en positiv inverkan på rotlängden i förhållande till rot diameter och rotvolym. Studier med fler exemplar för varje behandling behövs för att undersöka detta eventuella förhållande, även sådana som ser till vad som händer efter plantering på växtplatsen.

En del i försöket var att mäta provexemplarens årsskottslängd. Enligt resultatet från tabell 1 är skillnaderna mellan exemplaren gällande de första skottskjutningarna marginella. Detsamma gäller för skillnader som fanns i tabell 2. det fanns fler andra skottskjutningar (2020B) hos PS för att det också fanns fler första brytningar, precis som det för BK fanns färre 2020B då det fanns färre 2020A. Anledningen till detta kan vara att PS var en större individ än BK. Om den samlade biomassan av årsskotten tas i hänseende hade PS störst biomassa, åtföljt av BK och TO. När konditionen och vitaliteten hos ett träd bedöms är det ofta de ovanjordiska delarna som granskas, ett träd med fler och längre skott bedöms vara mer vitalt än ett med mindre. Eftersom det finns en funktionell balans mellan rot och krona har träd med mer biomassa i kronan större resurser att förmedla till rotsystemet och gynna dess tillväxt. De skillnader som har diskuterats ska ses som tendenser då skillnaderna inte är statistiskt säkerställda.

Mängden rötter som tillvaratogs från de olika behandlingarnas rotklumpar varierade. Mellan PS och BK var det ingen större skillnad men båda hade tydligt fler än TO. Då rotklumparna var i liknande storlek kan två olika antaganden göras: 1) mindre mängd finrötter producerades i TO än i BK och PS, eller 2) fler rötter sköljdes bort från TO än från BK och PS. Antagandet att torv skulle generera mindre mängd finrötter stöds av Tian et al. (2017), där substratsblandningar med högst andel torv gav minst rotvolym och rotlängd i jämförelse med blandningar med högre andel lerjord än torv.

Även om miljömässiga aspekter inte varit i fokus för denna studie finns det ett värde i att nämna den problematik som ändå finns i samband med uppdrivning och produktion av träd. Användningen och brytningen av torv har problematiserats på senare tid eftersom stora mängder växthusgaser frigörs vid uttag (Naturvårdsverket 2016). Då svenska plantskolor främst använder sig av torv som odlingsmedium finns det goda skäl att hitta nya substrat att odla i. Att pimpsten skulle vara en miljövänligare ersättare till torv är kanske inte helt givet, då den behöver fraktas från områden där den finns naturligt (Bar-Tal et al. 2019). Torv finns i stora delar i Sverige, och transportererna blir därigenom kortare. Å andra sidan är pimpsten, när den väl är på plats, ett substrat som går att återanvända många gånger om, jämfört med torv som bryts ned snabbare. Men då substraten förs från plantskolan när träden levereras är det föga troligt att någon återanvändning kommer ske i större skala. Det kan bli viktigare att vara specifik i sin användning av vissa råvaror. Förkultivering i pimpsten (med eller utan andra tillsatser) kanske främst ska användas för träd som också ska planteras i substratet. Samt att pimpsten som substrat ska väljas utifrån platsspecifika förhållanden där dess egenskaper är särskilt önskvärda, som att minska vikten på en växtbädd för att kunna göra den något större i en anläggning på bjälklag. Samtidigt finns det kanske anledning att undersöka effekterna av biokol i kombination med andra naturligt förekommande substrat än torv, liknande de som utförts av Tian et al. (2017). Där brytning av torvtäkter är en källa för utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket 2016) kan biokol istället agera som en kolsänka (Matovic 2011).

## 6. Slutsats

Det kan finnas en fördel för träd av arten *Prunus cerasifera* att företableras i pimpsten med inblandad biokol då den behandlingen genererade den största längden finrötter som samtidigt upptog den avsevärt minsta rotvolymen. För planteringar på bjälklag, där växtbädden ofta har en begränsad volym, kan en sådan företablering utveckla träd med många finrötter och ge de bättre förutsättningar för en lyckad etablering. Samtidigt var det denna behandling som hade minst antal årsskott och av kortast längd, däremot var dess biomassa inte den lägsta. Då studien har gjorts på tre exemplar är det svårt att dra några generella slutsatser, men resultaten visar på en intressant tendens som är värd att utforska vidare. De skulle då behöva kompletteras med fler träd. Det skulle också vara intressant att se om det finns någon skillnad mellan träd som företablerats under en växtsäsong och de som företablerats under två växtsäsonger. Samt om det finns någon skillnad mellan de olika företableringssubstraten och trädens förmåga att etablera sig på den nya växtplatsen. Dessutom skulle det vara intressant att se om biokol kan vara en viktig komponent för plantskolor att testa i sina företableringssystem i kombination med andra substrat än torv.

## Referenser

- Acuna, T.L.B. & Wade, L. (2012). Genotype x environment interactions for root depth of wheat. *Field crops research*, vol. 137, pp. 117 Elsevier B.V.
- Akpo, E., Stomph, T.J., Kossou, D.K., Omore, A.O. & Struik, P.C. (2014). Effects of nursery management practices on morphological quality attributes of tree seedlings at planting: The case of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Forest ecology and management*, vol. 324, pp. 28–36 Kidlington: Elsevier B.V.
- Atkinson, C.J. & Aitkenhead, M. (2018). How good is the evidence that soil-applied biochar improves water-holding capacity? *Soil use and management*, vol. 34 (2), pp. 177–186 Wiley Subscription Services, Inc.
- Bengtsson, R. (1989). Etablering – mer än överlevnad. *Gröna fakta*. Alnarp: Movium, SLU.
- Blue green city lab. (u.å.). *Case: Substratets påverkan på rottillväxt*. Tillgänglig: <https://bluegreencitylab.se/case/stangby/> [Hämtad 2021-08-19].
- Carlile, W.R., Raviv, M. & Prasad, M. (2019). Organic soilless media components. I: Raviv, M., Lieth, J.H. & Bar-Tal, A. (red). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Saint Louis: Elsevier.
- Craul, P.J. (1992). *Urban soil in landscape design*. New York: Wiley.
- Evert, R.F., Eichhorn, S.E. & Raven, P.H. (2013). *Raven biology of plants*. 8th ed., International ed. New York: W.H. Freeman.
- Fitter, A. H. (1991). Characteristics and functions of root systems. I: Waisel, Y., Eshel, A. & Kafkafi, U. (red.). *Plant roots: the hidden half*. New York: M. Dekker.
- Hishi, T. (2007). Heterogeneity of individual roots within the fine root architecture: causal links between physiological and ecosystem functions. *Journal of forest research*, vol. 12 (2), pp. 126–133 Tokyo: Taylor & Francis.
- Hellensgruber, C., Gillner, S., Gulyas, A., Junker, R.R., Tanacs, E. & Hof, A. (2020). Identifying Tree Traits for Cooling Urban Heat Islands-A Cross-City Empirical Analysis. *Forests*, vol. 11 (10), p. 1 Basel: MDPI.
- Klepper, B. (1991). Root-shoot relationships. I: Waisel, Y., Eshel, A. & Kafkafi, U. (red). *Plant roots: the hidden half*. New York: M. Dekker.
- Levinsson, A. (2015). *Urban tree establishment: the impact of nursery production systems and assessment methods*. Alnarp: Department of Landscape Architecture, Planning and Management, Swedish University of Agricultural Sciences.
- LRF (LRF Trädgård Plantskola). (2019). *Kvalitetsregler för Plantskoleväxter*. GROs Plantskolesektion, 6. Uppl.



- Lukac, M. (2011). Fine Root Turnover. I: Mancuso, S. (red.). *Measuring Roots: An Updated Approach*. 1 uppl. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Makita, N., Hirano, Y., Mizoguchi, T., Kominami, Y., Dannoura, M., Ishii, H., Finér, L. & Kanazawa, Y. (2011). Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest. *Ecological research*, vol. 26 (1), pp. 95–104 Japan: Springer Japan.
- Matovic, D. (2011). Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective. *Energy (Oxford)*, vol. 36 (4), pp. 2011–2016 Kidlington: Elsevier Ltd.
- McCormack, M.L., Dickie, I.A., Eissenstat, D.M., Fahey, T.J., Fernandez, C.W., Guo, D., Helmisaari, H., Hobbie, E.A., Iversen, C.M., Jackson, R.B., Leppälampi-Kujansuu, J., Norby, R.J., Phillips, R.P., Pregitzer, K.S., Pritchard, S.G., Rewald, B. & Zadworny, M. (2015). Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *The New phytologist*, vol. 207 (3), pp. 505–518 England: New Phytologist Trust.
- Naturvårdsverket. (2016). *Torvutvinningens och torvanvändningens klimat- och miljöpåverkan*. Redovisning av regeringsuppdrag M2015/03518/Nm. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Roy, S., Byrne, J. & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban forestry & urban greening*, vol. 11 (4), pp. 351–363 Jena: Elsevier GmbH.
- Pettersson Skog, A., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T., Capener, C. M. (2021). *Grönatakhåndboken*. 2. uppl. Vinnova. Tillgänglig: <https://gronatakhandboken.se/pdf/GTH-2021-lowres.pdf> [Hämtad 2021-08-12].
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015). *Stadsträdslexikon*. 1. Uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Sjöman, H., Slagstedt, J. & Lagerström, T. (2015). Växthantering. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red.). *Träd i urbana landskap*. 1. Uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Tian, N., Fang, S., Yang, W., Shang, X. & Fu, X. (2017). Influence of Container Type and Growth Medium on Seedling Growth and Root Morphology of *Cyclocarya paliurus* during Nursery Culture. *Forests*, vol. 8 (10), p. 387–MDPI AG.
- Turner-Skoff, J.B. & Cavender, N. (2019). The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, people, planet*, vol. 1 (4), pp. 323–335 Wiley.
- Urban, J. (2008). *Up by roots: healthy soils and trees in the built environment*. Champaign, Ill: International Society of Arboriculture.
- Vogt, J.M., Hauer, R.J. & Fischer, B.C. (2015). The costs of maintaining and not maintaining the urban forest: a review of the urban forestry and

arboricultural literature. *Arboricultural & Urban Forestry*, vol. 41 (6), pp. 293-323.

- Volder, A. & van Iersel, M. (2019). Root growth, physiology and potential impact of soilless culture on their functioning. I: Raviv, M., Lieth, J.H. & Bartal, A. (red). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Saint Louis: Elsevier.
- Wang, D., Li, C., Parikh, S.J. & Scow, K.M. (2019). Impact of biochar on water retention of two agricultural soils – A multi-scale analysis. *Geoderma*, vol. 340, pp. 185–191 Elsevier B.V.