



Olika trädsubstrats vattenhållande kapacitet och dräneringsförmåga

– En jämförande studie

Water holding- and drainage capacity in different growing mediums for urban trees – A comparative study

Michael Barone

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



Olika trädsustrats vattenhållande kapacitet och dräneringsförmåga – En jämförande studie

Water holding- and drainage capacity in different growing mediums for urban trees – A comparative study

Michael Barone

Handledare: Tobias Emilsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Bitr. handledare: Anna Levinsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning.
Examinator: Arne Nordius, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod: EX0841
Program/utbildning: Landskapsingenjörprogrammet
Kursansvarig inst.: Helena Persson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2021
Omslagsbild: Bild tagen av författaren, sommaren 2021
Figurer och tabeller: Samtliga figurer och tabeller utan referens tillhör författaren.

Nyckelord: Ekosystemtjänster, träd, växtbäddar, dagvatten, skelettbäddar, substrat, biokol, pimpsten, dränering, fältkapacitet

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

I takt med klimatförändringarnas framfart, med bland annat högre temperaturer och mer extrema skyfall, riktas det alltmer fokus på de reglerande ekosystemtjänster som träden kan erbjuda oss i det urbana landskapet. För att träden ska kunna leverera de ekosystemtjänster som efterfrågas krävs att de når en hög ålder och därmed också större volymer i krona och stam. För att träden ska få chans till en långsiktig utveckling krävs rätt förhållanden, både ovan som under mark. Städernas förtätning skapar platsbrist och för att stadsträdens växtbäddar ska kunna erbjuda rätt markfysikaliska egenskaper och volym behöver de ta plats även under stadens trafik och behöver därför bestå av bärande material som tål stadens påfrestningar. Parallellt med dessa egenskaper ökar efterfrågan på växtbäddar som kan ta emot dagvatten för att avlasta våra VA-ledningar. För att dessa växtbäddar ska vara effektiva behöver de ha en god infiltrationsförmåga, nå fältkapacitet inom rimlig tid för att undvika att skapa syrefattiga miljöer för trädrötterna och samtidigt kunna erbjuda markfukt under en längre period.

Växtbäddarnas utformning och innehåll har varierat genom åren och praktikerna provar sig fram utan några egentliga undersökningar på dess effektivitet. Mot bakgrund av detta har denna studie valt att studera vattnets rörelse i de mest förekommande substratblandningarna som används i Sverige idag.

För att kunna studera vattnets rörelse har jordfuktmätare samt vattennivåmätare sänkts ner i tre olika IBC tankar, som är 1 m³ vardera, fyllda med tre olika substratblandningar: AMA B-jord, skärv med pimpsten samt skärv med biokol och kompost. Tankarna representerar stora jordprov som ska efterlikna växtbäddar för träd i stadsmiljö.

Denna studie har kunnat bekräfta att substratblandningar av material med stora porer, mer specifikt blandningen av skärv och pimpsten hade högst dräneringskapacitet och därmed nådde fältkapacitet först, medan material med mindre porer tog längre tid på sig att nå fältkapacitet, men erhöll ett större vattenmagasin över längre tid under torka. Dessvärre kunde resultaten inte kompletteras med information om substratens fuktighetshållande egenskaper då fuktmätaren inte gav pålitliga data i detta försök.

Nyckelord: Ekosystemtjänster, träd, växtbäddar, dagvatten, skelettbäddar, substrat, biokol, pimpsten, dränering, fältkapacitet

Abstract

Along with the increasing development of climate change, with its elevating temperatures and more extreme rainfall, there is a growing focus on the regulatory ecosystem services that trees can offer in urban areas. For trees to be able to deliver the ecosystem services that are in demand, they must reach an advanced age and larger volumes in crown and trunk. For trees to have a chance for long-term development, right conditions are required both above and below ground. The densification of cities creates a lack of space and for tree pits to be able to offer the right properties and volume, they need to take up space also underneath paved areas and therefore need to be structural soil. In addition, demand for tree pits that can receive stormwater to relieve our water- and sewer system is increasing. For these tree pits to be effective, they need to have a good infiltration ability, reach field capacity within a reasonable time and at the same time be able to offer soil moisture for a longer period.

The design and use of growing mediums in tree pits have varied over the years and the industry is trying out different alternatives without any actual research on its effectiveness. This project has therefore chosen to study the movement of water, in the most common mixtures of growing mediums for tree pits, used in Sweden today.

Instrument to measure soil moisture and water levels have been immersed in three different bulk containers. Each bulk container accommodates 1 m³ and are filled with three different mixtures of growing mediums: AMA B-soil, shards of rock with pumice and shards of rock with biochar and compost. Each container represents a large soil sample and mimic city tree pits.

The study has been able to confirm that growing mediums with large pores, especially the container with shards of rock and pumice, had a fastest drainage capacity and thus reach field capacity first, while mediums with smaller pores took longer time to reach field capacity, but obtained a larger water reservoir over a longer period with drought. Unfortunately, the study was not able to obtain any insight regarding the moisture-retaining properties of the growing mediums as the instrument to measure soil moisture did not provide reliable data in this experiment.

Keywords: Ecosystem services, trees, tree pits, runoff, structural soil, growing medium, biochar, pumice, drainage, field capacity

Förord

Mitt intresse för växter har funnits med mig så länge jag kan minnas, och det är framför allt min pappa och farfar som jag har att tacka som uppmuntrade mig att utveckla intresset. Det krävdes dock många år i mitt yrkesverksamma liv innan jag till slut bestämde mig för att sadla om och faktiskt satsa på yrket genom att läsa Landskapsingenjörsprogrammet på Alnarp.

Det har varit tre lärorika år där jag tack vare Eva-Lou Gustavsson kom att bli lite extra nördig när det kommer till jord och substratfrågor samt Anna Levinsson, som genom sin kurs i trädvård fick mig att lyfta blicken från perennplanteringarna upp i trädkronorna.

Ett stort tack till min handledare, Tobias Emilsson, som trots motgångar i projektet, alltid kommit med ett stort leende, kreativa lösningar och salta Pretzels.

Och på tal om stora leenden, stort tack till min nya bekantskap Anna Lund som inte var rädd för att ta i och skita ner sig när vi fyllde, tömde och åter igen fyllde växtbäddarna med skärv, pimpsten och biokol.

Sist, alla härliga medlemmar ur gruppen Sommarkollo Alnarp, tack för alla peptalks och luncher vi haft tillsammans. Denna sommar hade inte varit densamma utan er.

Michael Barone

2021-08-17

” A society grows great when old men plant trees whose shade they know they shall never sit in”

/okänd

Innehållsförteckning

1. Inledning	11
1.1. Syfte	12
1.1.1. Frågeställning	12
1.2. Avgränsning	12
1.3. Terminologi	12
2. Bakgrund	15
2.1. Träd och ekosystemtjänster	15
2.2. Staden som ståndort	16
2.3. Grundläggande markfysiologi	17
2.3.1. Textur	17
2.3.2. Struktur	17
2.3.3. Porsystem	18
2.3.4. Vatten och luft i marken	18
2.4. Tillverkade jordar	19
2.4.1. Skelettjordar	19
2.5. Substratblandningar	20
2.5.1. Skärv, biokol, kompost (Stockholmsmodellen)	20
2.5.2. Makadam och pimpsten, grönkompost (Malmömodellen)	21
2.5.3. Kolmakadam	21
2.5.4. Smutsat skärv	21
2.5.5. AMA B-jord	21
3. Metod och material	22
3.1. Genomförande	22
4. Resultat	25
4.1.1. Total vattenkapacitet	25
4.1.2. Permeabilitet	26
4.1.3. Fukthalt	28
5. Diskussion	29
5.1. Metoddiskussion	31
5.2. Vidare studier	32

Referenser.....	33
-----------------	----

1. Inledning

Förutsättningarna för stadsträdens långsiktiga utveckling försämras när förtätning skapar platsbrist, både ovan som under mark. Samtidigt skapar klimatförändringarna en alltmer utmanande ståndort i städerna och behovet av de reglerande ekosystemtjänsterna blir allt större. Det finns alltså ett starkt växande behov av vitala stadsträd och fokus har bland annat riktats mot utveckling av tekniska lösningar i form av växtbäddar för träd, som ska kunna ta emot, fördröja och rena dagvatten samtidigt som träden förses med vatten utan att det skapas en syrefattig miljö för rotsystemen.

För att stadsträden ska kunna erbjuda de ekosystemtjänster som efterfrågas krävs att de når en högre ålder och därmed också större volymer både i krona och grenverk (Sjöman et al 2016). För att träden ska kunna nå en betydande ålder och storlek krävs bättre förutsättningar för träden än vad som finns i klassiska växtbäddar som historiskt har varit små och med åren utsatts för kompaktion. Vi behöver därför förbättra förutsättningarna under marknivå med ett tillräckligt stort rotutrymme och med substrat som erbjuder tillgång till markfukt, gasutbyte och näring, samtidigt som det har kapacitet att ta emot och fördröja dagvattnet vid regn och skyfall.

Något som blev väldigt tydligt under min utbildning var att växtbäddarnas utformning och material har varierat mycket genom åren och att det är främst praktikerna inom branschen som driver utvecklingen, medan forskarna kommer in i ett senare skede för att undersöka vad det egentligen är som händer under mark. En riktig vattendelare är vilken substratblandning som ska användas i växtbäddarna för att gynna trädens utveckling, samtidigt som det kan uthärda stadens hårdgjorda miljö och påfrestningar. Det är framför allt innehållet i de så kallade skelettbäddarna som är en återkommande diskussion. Utvecklingen av skelettbäddarnas materialfördelning är en pågående process och i nuläget går utvecklingen alltmer mot en blandning av mindre organiskt material och mer skärv. Den traditionella synen säger att det krävs en större mängd organiskt material för att erhålla en vattenhållande struktur i jorden samtidigt som det skapar en god miljö för mikrolivet, som är en viktig byggsten för nedbrytning av organiskt material och näringsupptag. Skelettbäddarna ska förse träden med näring, marksyre och vatten, men för att de ska ha en bärande funktion behöver en stor del av deras innehåll bestå av skärv.

Det branschen efterfrågar är substrat som ska vara enkel att anlägga, samt innehålla stora porer, som genererar en hög infiltreringsförmåga och som därför kan ta emot stora mängder vatten från oväntade skyfall, och ett substrat som samtidigt ska ha en vattenhållande förmåga. Branschen provar sig fram genom att använda olika typer av substrat i växtbäddarna, utan fördjupade mätningar och undersökningar på dess effektivitet. Den här studien har därför valt att studera vattnets rörelse på några av de mest förekommande substratblandningar som används i Sverige idag.

1.1. Syfte

Syftet med denna studie är att jämföra tre olika substratblandningars permeabilitet, fältkapacitet samt dräneringsförmåga för att få en bättre förståelse för vattnets rörelse i olika substraten som används i dagens växtbäddar för stadsträd.

1.1.1. Frågeställning

- Vilken av de tre substratblandningar, som används i studien, erbjuder störst vattenkapacitet och dräneringsförmåga?

1.2. Avgränsning

Denna studie kommer enbart att undersöka vattnets rörelse i tre olika substratblandningar: Skärv med biokol och kompost, Skärv med pimpsten (I denna blandning används enbart pimpsten för att undersöka materialet utan inblandning av andra substrat), samt B-jord som referens. Studien kommer inte undersöka näringsupptag eller trädens utveckling i de olika substraten, inte heller vattnets kvalitet eller näringsinnehåll efter att ha passerat de olika jordarna.

Kapitlet *Staden som ståndort* fungerar som en enklare presentation av de faktorer som på ett eller annat sätt påverkar vattentillgången i den hårdgjorda staden och därför är relevanta för studien och kommer inte hantera förhållanden såsom luft, ljus- och markföroreningar.

1.3. Terminologi

adhesion

Attraktionskraft, så kallad molekylär vidhäftning mellan två fasta kroppar, som tillsammans med kohesion skapar kapillärkraften.

AMA	AMA är förkortning för Allmän material- och arbetsbeskrivning och är ett referensverk för att upprätta och läsa tekniska beskrivningar.
biokol	Biokol består av organiskt material som hettas upp i en miljö utan syre, en process som kallas Pyrolys. Biokol har olika egenskaper beroende på vilken råvara den består av.
evaporation	Ett annat ord för avdunstning. Det vill säga när ett ämne går från fast eller flytande form till gasform.
evapotranspiration	Summan av evaporation från mark och ytvatten, interception och transpiration från växterna.
fältkapacitet	Den mängd vatten som finns kvar i marken efter att överskottsvattnet dränerats bort. När makroporerna fylls med luft i stället för vatten.
interception	Beskrivning av nederbörd som fångas upp av vegetation och förångas istället för att nå marken.
kapillärkraft	Den gemensamma kraft som bildas när adhesion och kohesion samverkar.
kohesion	Attraktionskraft/ bindning mellan vattenmolekyler.
mikroklimat	Klimat inom ett litet begränsat område, från en millimeter och vanligen upp till 1000 meter.
permeabilitet	Med vattenpermeabilitet menas ett materials förmåga att släppa igenom vatten.
pimpsten	Pimpsten är magma som bildats genom hastig avsvälning. Materialet är full av porer är därför av låg vikt.
ståndort	En specifik växtplats med egenskaper som klimat, mark och biotiska faktorer.

transpiration	Vattenavsöndring från bladens klyvöppningar ut i atmosfären.
vattenpelare	En tryckenhet som mäts i meter vattenpelare (mvp).
värmeoeffekten	Ett mått på temperaturskillnaden mellan staden och det omgivande landskapet.

2. Bakgrund

2.1. Träd och ekosystemtjänster

Ekosystemtjänster är de tjänster och produkter som vi människor erhåller från naturens olika ekosystem och är uppdelade i kategorier: stödjande, reglerande, försörjande och kulturella (Boverket 2019a).

Stadsträden erbjuder en mängd ekosystemtjänster och historiskt sett introducerades träden i staden av olika skäl, bland annat för att förse människor med frukt, bär och virke, men de hade även kulturella värden där heliga träd tillbads (Blennow & Svedberg 2002). Genom historiens gång och fram till idag har trädens betydelse blivit allt större och haft flera funktioner i förtätade samhällen, bland annat genom försköning och estetik i trädgårdskonst till rekreation och hälsa (ibid.)

På senare tid har de stödjande ekosystemtjänsterna fått en allt viktigare roll där träden bland annat utgör en betydelsefull roll för att skapa grön infrastruktur och habitat åt djur, insekter och andra organismer, vilket gör träden till viktiga byggstenar för en ökad urban biodiversitet (Persson & Smith 2014).

Det har genom åren byggts upp en stor kunskapsbank via studier som påvisar vilka reglerande ekosystemtjänster träden bidrar med idag. Träden påverkar mikroklimatet i städerna genom sina kylande effekter, dels genom transpiration, dels genom beskuggning och påverkar på detta sätt medeldygnstemperaturen i städerna (Sjöman et al. 2016). Med en högre krontäckningsgrad erhålls en större interception, där vattnet fångas upp, tillfälligt hålls kvar, absorberas och/eller förångas ut i atmosfären, vilket i sin tur ökar luftfuktigheten, samtidigt som vårt dagvattensystem avlastas (Xiao & McPherson 2002). Träd har även kapacitet att ta upp stora volymer dagvatten via transpiration. En del av vattenupptaget går åt till fotosyntes, men den största delen går åt till transpiration, där den stomatära transpirationen (transpiration via klyvöppningarna) står för de större volymerna upptag vatten (Litvak et al. 2012). Trädens transpiration och interception, tillsammans med evaporation utgör evapotranspiration (ibid.). Grey et al. (2018) kunde i deras rapport bekräfta att evapotranspiration från träd i stadsmiljö, inom ett specifikt område, enbart bidrog till en reduktion av avrinningen på 4 %, vilket berodde på trädens låga storlek, och menade att desto äldre och större trädet blir,

desto mer vatten kommer det att förbrukas, bland annat genom evapotranspiration. Litvak et al. (2012) har vidare i deras studie kunnat konstatera att trädens kapacitet att ta upp vatten via transpiration försämras när de utsätts för torkstress, vilket visar hur viktigt det är för våra stadsträd att inte utsättas för långvarig torka. Och i allt större takt efterfrågas tekniska lösningar som ska hantera stora flöden av dagvatten. Ett exempel på detta är den skyfallsplan som Malmö stad tog fram efter att ha blivit drabbat av ett hundraårsregn år 2014 (Malmö stad 2017). Under 6 timmar tog gatorna i Malmö emot lika mycket vatten som det vanligtvis beräknas komma under hela juli och augusti månad (Boverket 2019b). Befintligt VA-system har inte kapacitet för att ta emot så pass stora mängder vatten under en sådan kort tid och enligt utförda beräkningar skulle en sådan omkonstruktion av ledningarna kosta staden cirka 6 miljarder kronor (ibid.) Genom att i stället leda ner en del av regnvattnet till växtbäddar avlastas VA-systemet, samtidigt som träden erbjuds en bättre tillgång till markfukt. Med en kontinuerlig tillgång till markfukt har träden möjlighet att utvecklas till stora välmående individer och kan då förse staden med de reglerande ekosystemtjänster som efterfrågas.

2.2. Staden som ståndort

Staden består av ett komplext system av byggnader, infrastruktur, grönområden, vattensamlingar, hårdgjorda material med mera, vilket resulterar i att staden som växtplats skiljer sig på nästan alla sätt från trädens naturliga vegetationssystem. Inom en och samma stad, eller till och med stadsdel finns olika mikroklimat, som resultat av höga byggnader, hårdgjorda ytor och deras olika material som alstrar värme under dagen för att sedan ger ifrån sig värme under natten. Detta bidrar i sin tur med en högre dygnsmedeltemperatur i staden i relation till landsbygden, också kallad värmeöeffekten (Eliasson 2000). Precis som med temperaturen varierar också vindens karaktär kraftigt från plats till plats i staden. Generellt går det att säga att vindens hastighet är lägre i staden än på landsbygden på grund av bebyggelsestrukturen, där vinden reagerar på utformningen av gator och placering av byggnader, men byggnader kan också skapa tryckskillnader som i sin tur leder till acceleration av vindens hastighet (Sjöman & Slagstedt 2015).

Städernas hårdgjorda ytor kräver överbyggnader, som tillsammans med system av ledningar från el, fiber, vatten och avlopp tar mycket plats och lämnar lite utrymme kvar under mark till rotvolym för växtbäddarna (Embrén & Alvem 2017). Det utrymme som ges åt vegetationen är inte heller problemfri. Det råder ofta brist på tillförsel av organiskt material till växtbäddarna då de antingen har en intensiv skötsel eller saknar öppen jordyta som kan ta emot nedfallna växtdelar (Sjöman & Slagstedt 2015). Ett vanligt problem är packningsskador orsakade av tunga maskiner eller kontinuerlig tramp i växtbäddar utan tillräckligt bärlager, vilket

resulterar i skadad jord med färre porer, som i sin tur leder till vatten- och syrebrist för rötterna (ibid.).

Städerna dräneras för att sänka grundvattennivån, och medan landsbygden infiltrerar regn- och smältvatten ner till grundvattnet, har staden en betydligt större ytavrinning då den har planerats för att leda ner regn- och smältvatten i avloppssystem (Svenskt vatten 2016). Den ökande mängden hårdgjord yta i städerna förhindrar nederbörd att infiltrera ner i och passivt bevattna jorden, vilket ökar risken för torkstress i stadens planteringar (Kjelgren & Clark 2012).

2.3. Grundläggande markfysiologi

Trädens växtbetingelser i staden skiljer sig på många olika sätt från deras naturliga växtplatser, det gäller även de substrat vi använder i växtbäddarna, men det är en förutsättning att förstå grundläggande markfysiologi för att kunna planera för en fungerande växtbädd.

2.3.1. Textur

Våra svenska jordar bildades under och efter senaste istiden och består av oorganiskt och organiskt material, samt vatten och luft. Det oorganiska materialet består av mineraler, det vill säga krossad berggrund som malts sönder under istiden, till detta har organiskt material i form av växt- och djurdelar blandats in under årtusenden (Eriksson 2011). Till det organiska materialet hör även levande markorganismer, som tillsammans med humusen i marken spelar en avgörande roll för markens förmåga att hålla vatten och näring (ibid.). Det oorganiska materialets sammansättning varierar beroende på vilken berggrund mineralen kommer från och detta avgör bland annat pH i jorden (Gustafsson 2016). Mineralerna delas in i olika kornstorlekar, och det är fördelningen av de olika fraktionerna som avgör en jords textur (ibid.) Vidare är det kornstorlek och form som avgör den totala ytan per volymenhet som de olika jordarna har, även kallat specifik yta. Ju högre specifik yta desto mer yta är tillgänglig för att binda vatten och näring i jorden (Craul 1992). Ju mindre partikel, desto mer specifik yta per volymenhet. Den specifika ytan på lera är tusentals gånger högre än sand och kan därför binda mer vatten och näring (ibid.).

2.3.2. Struktur

Jordens struktur berättar om hur markens element och partiklar ligger ordnade. Sandjorden, som består av en grövre struktur kallas ofta enkelkornstruktur, där mineralpartiklarna är lika stora vilket ger en jord med enhetligt porsystem. I jordar med fin struktur, som lerjordar går det i stället att hitta aggregatstruktur (Gustafsson

2016). De minsta mineralpartiklarna i jorden kallas kolloider. Kolloider binds samman med hjälp av kemiska bindningar av karbonater, järn- och aluminiumoxider (Ashman 2002). Även kolloider från humus hjälper till att binda ihop aggregaten och ju högre halt ler och humus det finns i en jord, desto starkare hålls aggregaten ihop (ibid.). Faktorer som tjäle, torka, regn med mera är också nödvändiga för aggregatbildningen. När lerjorden torkar och krymper bildas vertikala sprickor och vid tjälning bildas horisontella sprickor, och på så sätt aggregeras jorden (Eriksson 2011). Även rottillväxt och makroorganismer såsom maskar och andra markdjur spelar en viktig roll vars framfart bildar gångar och hålor i marken (ibid.). Aggregaten bildas under en lång tid, men kan snabbt förstöras, antingen via mekanisk påverkan, som till exempel tunga maskiner, eller via kemisk kompaktering, så kallad dispersion, som sker genom tillförsel av natrium (tösalt) och är ett vanligt problem i städernas växtbäddar (Sjöman & Slagstedt 2015).

2.3.3. Porsystem

Det är inte bara kornstorlek och den specifika ytan som avgör hur mycket vatten och näring som kan hållas i marken. Kornstorleksfördelningen skapar hålrum mellan partiklarna, det vill säga porsystemet och det är i dessa utrymmen som luft och vatten samlas (Gustafsson 2016). I en sandjord med stora korn finns det stora porer mellan kornen, medan det i en aggregerad lerjord finns små porer mellan de minsta partiklarna och sedan större porer mellan aggregaten (ibid.). Porositeten förklarar hur stor andel porer en jord har. Lerjordar brukar ha omkring 50% porositet, medan den är 40% i en sandjord (Sjöman & Slagstedt 2015). Porerne kan med kapillärkraften och adhesion hålla kvar vatten i marken. Ju mindre porer, desto mer vatten kan de hålla (Gustafsson 2016). Men det är också porernas storlek som avgör hur snabbt de dräneras efter att de blivit vattenfyllda, där stora porer dräneras snabbare. Samtidigt blir den kapillära stigningen högre ju mindre en por är (Eriksson 2011).

Porer brukar delas in i tre kategorier baserat på deras storlek. Makroporerne är de porer som är 0,03 mm eller större, de är de första porerna som dräneras och är därför de som vanligtvis innehåller luft. Mesoporerne är mellan 0,03–0,0002 mm och håller vattnet hårdare än makroporerne eftersom de är mindre och det tar därför längre tid för dem att dräneras efter att de fyllts med vatten. Mikroporerne är de minsta porerna och är 0,0002 mm eller mindre, på grund av sin ringa storlek hålls vattnet så pass hårt att det inte räknas som växttillgängligt vatten (Craul 1992)

2.3.4. Vatten och luft i marken

Koldioxidhalten i markluften är högre än i atmosfären vilket beror på att rötternas andning och mikroorganismernas nedbrytning av organiskt material förbrukar syre

och producerar koldioxid. Därför är en god markstruktur, porositet och genomsläpplighet en förutsättning för kontinuerligt utbyte av marksyre så att växterna inte förgiftas och dör (Eriksson 2011).

När samtliga porer i marken är fyllda med vatten har marken nått sin totala vattenkapacitet. När det dränerbara vattnet, som är tillgängligt en kort period, har runnit undan, ner mot grundvattnet och makroporerna nu i stället fylls med luft, har marken nått sin fältkapacitet (Craul 1992). Det dränerbara vattnet motsvarar volymen av luft vid fältkapacitet. Kvar finns det vatten som är kapillärt bundet, och i jämvikt med grundvattenytan (ibid.). När mesoporerna sedan töms på vatten nås en så kallad vissningsgräns då det enda vatten som finns kvar befinner sig i mikroporerna och är så hårt bundet att det inte är tillgängligt för växterna som då börjar vissna (ibid.).

2.4. Tillverkade jordar

Som tidigare beskrivits är naturliga jordar en produkt från tusentals år av utveckling och har en stabil struktur och hög kvalitet av organiskt material. Men det är inget bärande material, utan blir snabbt kompakterat av stadens trafik och då används i stället tillverkade jordar (Sjöman & Slagstedt 2015).

Inom AMA anläggning föreskrivs olika tillverkade jordar. De vanligaste är A-jord och B-jord. (Det ska nämnas att en naturligt tillverkad jord som uppfyller specifikationerna för A-, och B-jord också går att användas. Vanligast scenario är dock att jorden är tillverkad). Där emellan finns en mängd olika justeringar beroende på vilken typ av specialväxtbädd som ska anläggas. A-jorden används för normala förhållanden och innehåller 5–15% ler och ska därför ha en aggregatstruktur, medan B-jorden, framtagen för torra förhållanden har en enkelkornstruktur (Folkesson 2018).

Vid användning av tillverkade jordar är det viktigt att känna till platsens materialtyp i terrassen. Om den tillverkade jordens kornstorlek skulle skilja sig för mycket från platsens material i terrassen, bildas det i stället olika lager av materialtyper vilket försvårar markens naturliga luft- och vattentransporter då det blir ett kapillärbrott (Gustafsson 2016). Det är lika viktigt att veta vilken mullhalt jorden innehåller då den med åren kommer brytas ner och jordens volym minskar. Detta kan resultera i sättningar i marken och att växternas rötter hamnar ovanför markytan och torkar ut (ibid.).

2.4.1. Skelettjordar

För att träd i urbana miljöer ska få den porösa rot- och porvolym som träd behöver för en god utveckling, samtidigt som den erhåller en bärighet mot trafikens

kompaktion har det tagits fram en så kallad skelettjord som ett svar på denna ekvation.

Skelettjorden har sitt ursprung från Holland, men finns idag i många länder och kan ha lite olika sammansättning. Gemensamt för skelettjorden är att den är uppbyggd av stenkross som kompletteras med någon form av växtsubstrat (Pålstam 2003). Stenkrosset, som har den bärande funktionen ska utgöra ungefär två tredjedelar av den totala volymen och växtsubstratet en tredjedel (Sjöman & Slagstedt 2015). Valet av fraktion på stenmaterialet har varierat med åren, men det är viktigt att storlekarna på fraktionerna inte varierar för kraftigt för att undvika att materialet packas (ibid.). Det är i hålrummen av stenkrosset som växtsubstratet ligger och eftersom det utgör endast en tredjedel av materialet är det viktigt att det är av god kvalitet med fukt- och näringslagrande egenskaper (Pålstam 2003). Det finns två metoder för uppbyggnaden av skelettjord. Antingen kommer den till platsen som färdigblandad där den tippas och packas i skikt, eller att stenkrosset packas i skikt och tunna lager av växtsubstratet spolas ner med vatten i omgångar (Embrén & Alvem 2017). Problemet med den förstnämnda metoden är att det finns risk att materialen i den färdiga blandningen separeras under transport eller tippning. Nackdelen med den sistnämnda metoden är att det inte går att spola ner växtjordar med högre halt av ler, vilket minskar alternativen för val av växtsubstrat (Sjöman & Slagstedt 2015). Mellan skelettjorden och markbeläggningen byggs ett lager av makadam upp som bland annat gör det möjligt att leda ner dagvatten till bäddarna. Ovanpå detta bärlager läggs ett avjämningslager ut, som täcks med en geotextil och till sist ett slitlager (Embrén & Alvem 2017).

2.5. Substratblandningar

Vilka substratblandningar som packas tillsammans med stenskräven har även detta varierat genom åren. Nedan beskrivs de idag mest förekommande i Sverige.

2.5.1. Skärv, biokol, kompost (Stockholmsmodellen)

Stockholmsmodellen har varit under utveckling där man enligt det senast uppdaterade dokumentet i *Växtbäddar i Stockholm stad – En handbok* blandade 90/150 mm skärv med växtjord typ B eller näringsberikad biokol för själva skelettet (Embrén & Alvem 2017). Skärven används fortfarande idag, men växtjorden typ B har bytts ut mot biokol och kompost (ibid.). Gemensamt för de båda alternativen är att växtsubstratet spolas bland skärven i omgångar, till skillnad mot kolmakadam som tippas ner färdigblandad (Embrén & Alvem 2017).

2.5.2. Makadam och pimpsten, grönkompost (Malmömodellen)

Precis som Stockholmsmodellen har Malmömodellen varierat över tid och i skrivande stund arbetas det på ännu en uppdatering, men inför denna studie presenteras den kombination av substrat som har använts de senaste åren. Skelettet till Malmömodellen utgörs av 100/120 mm makadam kombinerat med en blandning av 2/8 mm pimpsten (40%), 0/20 mm grönkompost (20%) och 0/20 mm laddad biokol utvunnen ur träflis (40%). För varje kvadratmeter sopas 50 liter av denna blandning ner i varje skelettlager¹.

2.5.3. Kolmakadam

Växtbäddar med kolmakadam är ett alternativ till Skelettjord och används främst för växtbäddar till träd med funktion att rena dagvatten och är en metod som enligt handboken *Växtbäddar i Stockholm stad – En handbok* (2017) både ska vara enklare och snabbare att anlägga då den tippas ner färdigblandad i växtbädden. Kolmakadam består av 32/90 mm makadam, blandat med 15 volymprocent av en del näringsberikad biokol och en del kompost (ibid.).

2.5.4. Smutsat skärv

Smutsat skärv består av ej tvättat skärv med fraktionen 63/90 mm, som har tumlats med biokol².

2.5.5. AMA B-jord

AMA B-jord är som tidigare nämnts en tillverkad jord för torra förhållanden, med ett lågt lerinnehåll och med en enkelkornstruktur (Sjöman & Slagstedt 2015).

¹ Larsola Bromell, Landskapsarkitekt Malmö stad, telefonsamtal den 21 juni 2021

² Britt-Marie Alvem, Trädspecialist på Trafikkontoret, Stockholm stad, mailkorrespondens den 10 augusti 2021

3. Metod och material

Denna studie består av en komparativ metod som går ut på att beskriva och analysera skillnader i vattnets rörelse i olika träds substrat. Försöket går ut på att generera data på hur jordarna fungerar i en tänkt installation i gatumiljö, genom att studera vattenrörelser i uppbyggda växtbäddar ovan mark. Studien kommer att titta på substratens permeabilitet, fältkapacitet samt dräneringsförmåga.

3.1. Genomförande

För att kunna mäta vattnets rörelse i de olika substraten, har försöket genomförts ovan mark. Varje växtbädd består av en kubikmeter stor IBC tank som är utrustad med dräneringsrör med utlopp i botten. I varje tank placeras två rör vertikalt längs med lådan som förbereds med två olika mätinstrument: *Odyssey extreem vattennivåmätare* (figur 1) samt *Odyssey extreem jordfukt- och temperaturmätare* (figur 2). Vattennivåmätaren är utrustad med en 1 meter lång sensor kabel som sänks ner i ett av rören. Sensorn mäter av vattennivån och skickar data tillsammans med temperatur och tidsstämpel med hjälp av Bluetooth. Jordfuktmätaren placeras i det andra röret, där mätaren skickar ut elektriska impulser som mäter jordens fukttinnehåll (Odyssey data recording 2021). Även denna sensor lagrar och skickar vidare informationen via Bluetooth till telefonen.



Figur 1 *Odyssey extreem vattennivåmätare*



Figur 2 *Odyssey extreem jordfukt- och temperaturmätare*

Till denna studie har det förberetts tre IBC tankar (figur 3) som fylls med olika substratblandningar och representerar stora jordprov. Varje IBC tank rymmer 1 m³:

1. Skärv, biokol och kompost (Stockholmsmodellen citykross). Skärv 100/150 mm har varvats med totalt 80 liter biokol och 80 liter kompost.
2. Skärv 100/150 mm och pimpsten 2/8 mm. Skärv har varvats med totalt 180 liter pimpsten.
3. AMA B-jord. Denna jord kommer att fungera som referens i försöket då den är den mest använda jorden idag inom anläggning av växtbäddar (Folkesson 2018).



Figur 3 Tre IBC tankar som ska användas till studien. Trädgårdslabbet Alnarp

Tankarna fylls helt med vatten (figur 4) för att titta på total porositet, det vill säga den totala vattenkapaciteten i de olika substraten. Genom att mäta höjden på vattenpelaren går det att räkna ut hur mycket vatten som ryms mellan materialets porer i 1 m³ substrat. Metoden gick ut på att efterlikna kraftigt regn där tankarna fylldes med vatten på en hastighet av 40 liter per minut.

Tankarna fick sedan stå vattenfyllda 72 timmar innan de helt tömdes på vatten. På så vis garanteras att samtliga porer i substraten blir helt vattenfyllda och uppnår total vattenkapacitet.



Figur 4 En tank fylls med vatten. Trädgårdslabbet i Alnarp.

När tankarna sedan töms på vatten (figur 5) mäts mängden utströmmande vatten, samt hur lång tid det tar innan de olika jordarna når fältkapacitet. Sensorerna kommer nu kunna mäta vattenpelare, det vill säga hur mycket vatten som blir kvar stående i tanken, samt fukthalt i substraten. Tankarna står 7 dygn och torkar med utloppet öppet. Under denna tid går det att mäta hur vatteninnehållet förändras över tid i tankarna genom att läsa av mätarna dag för dag under tiden som tankarna får torka utan tillförsel av nytt vatten. Processen upprepas två gånger.

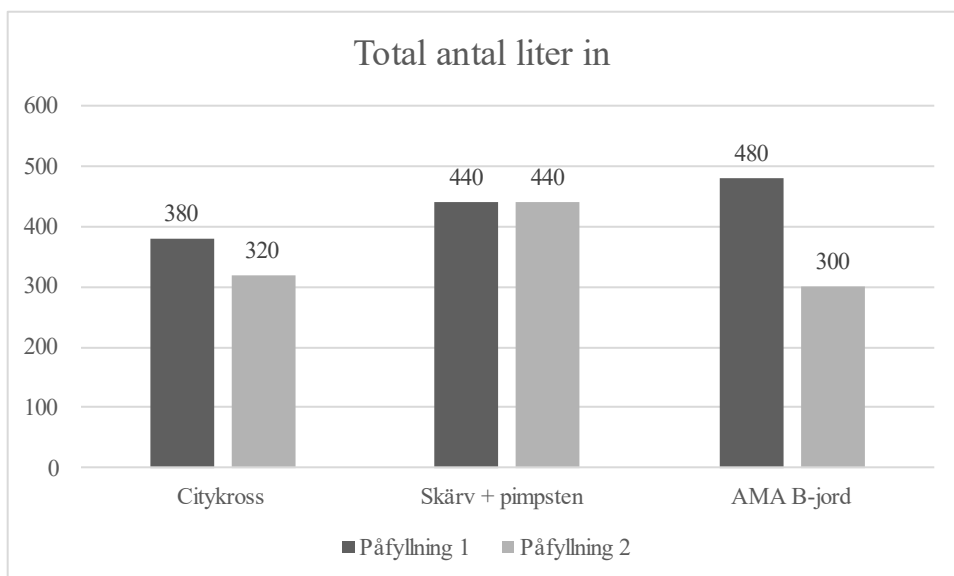


Figur 5 En tank töms på vatten. Trädgårdslabbet i Alnarp

4. Resultat

4.1.1. Total vattenkapacitet

Sammanställningen i figur 6 redovisar hur många liter vatten som fylldes i de olika IBC tankarna vid första respektive andra påfyllningen.



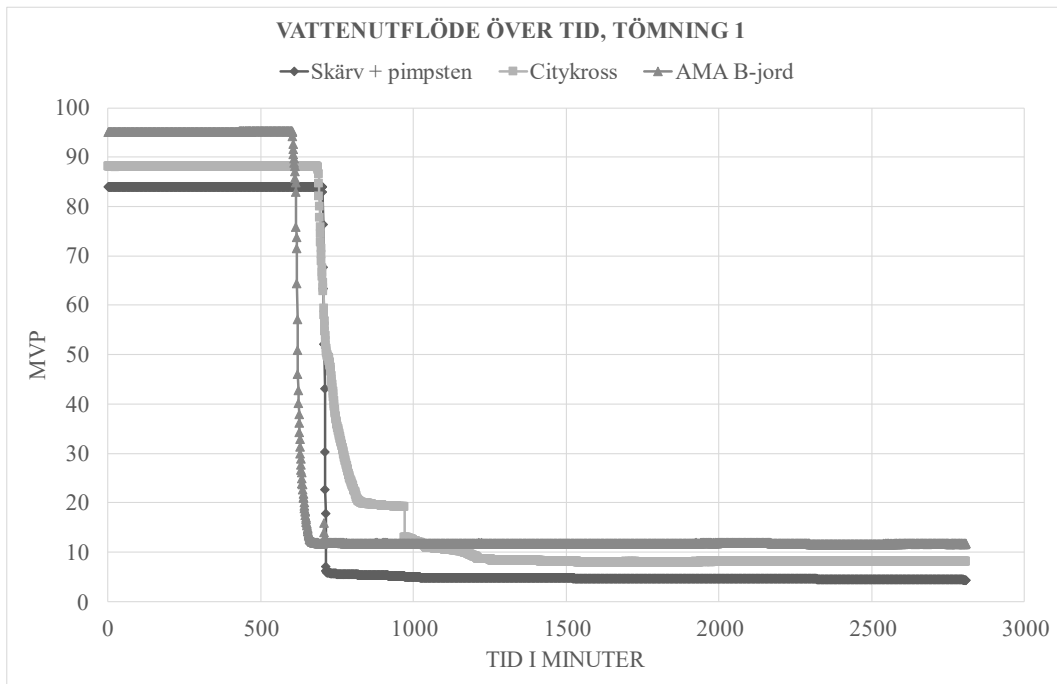
Figur 6 Redovisning av antal liter som rymdes i tankarna vid respektive försök

Med ett tryck i vattenslangen på 40 liter i minuten tog det 9,5 minuter (liter/min x antalet minuter = $40 \times 9,5 = 380$ liter) att fylla IBC tanken med citykross för att nå total vattenkapacitet. Längst tid tog det för tanken med AMA B-jord på 12 minuter ($40 \times 12 = 480$) medan tanken med Pimpsten tog 11 minuter ($40 \times 11 = 440$) att fylla. Volymen vatten som rymmer i tankarna är korrelerat med volymprocent substrat som tankarna är redan är fyllda med (Totalvolym – antal liter vatten). I tabell 1 redovisas antalet volymprocent substrat som fanns i varje tank.

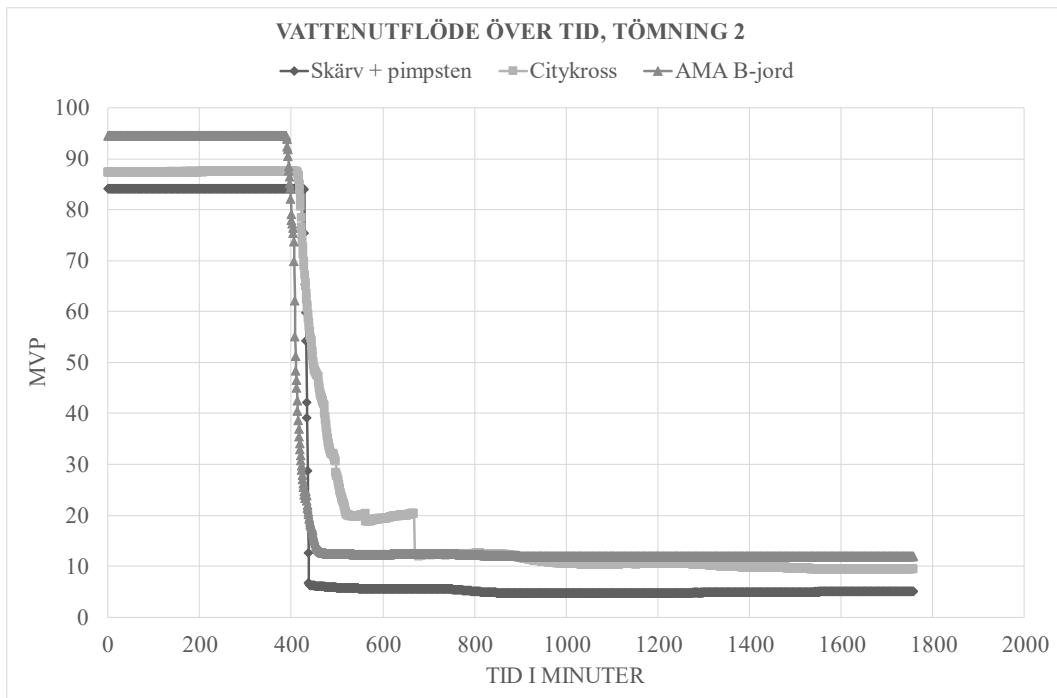
Tabell 1 Redovisning av volymprocent substrat

Volymprocent substrat i respektive tank	
Skärv + pimpsten	56%
AMA B-jord	52%
Citykross	62%

4.1.2. Permeabilitet



Figur 7 Sammanställning av vattenutflödet i respektive tank, första tömningen



Figur 8 Sammanställning av vattenutflödet, andra tömningen

Hastigheten på utflödet (figur 7 och 8) varierade kraftigt mellan de tre olika tankarna. Tanken med pimpsten hade ett kraftigt utflöde och tog kortast tid att tömma. Tanken med citykross tog längst tid och hade ett betydligt jämnare tempo på utflödet. Tanken med AMA B-jord hade även den ett jämnare utflöde men gick snabbare att tömma än tanken med Citykross.

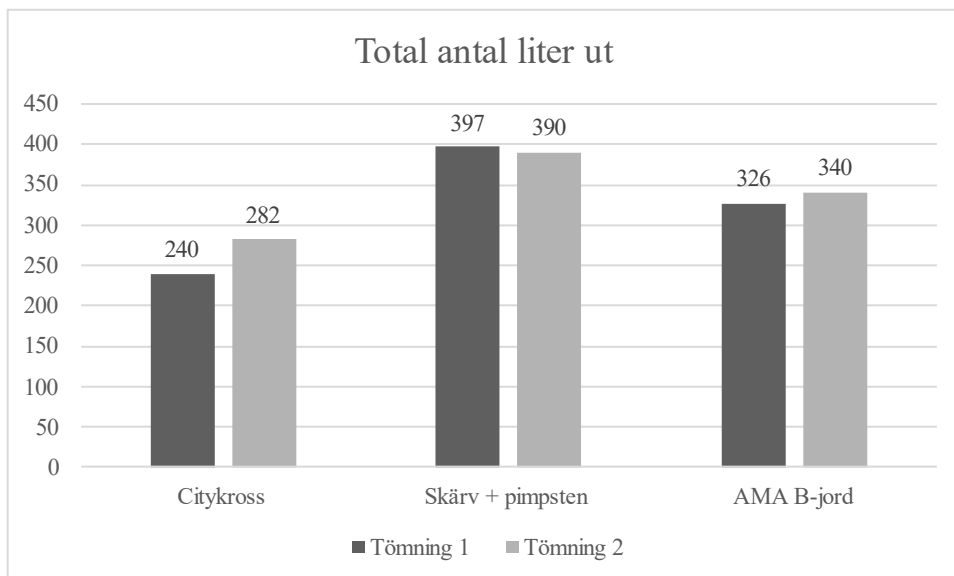
I tabell 2 och 3 redovisas tiden som behövdes för att tömma tankarna till 25 %, 50 % respektive 75 % av deras innehåll. Som det går att tyda från tabellerna nedan finns det ingen större signifikant skillnad mellan tömningarna vid de två respektive tillfällena. Vilket tyder på att det inte skedde några snabba förändringar i genomflödet efter installation

Tabell 2 Tid på utflödet ur tankarna vid första försöket

Antal minuter som gick åt för att tömma tankarna på 25 %, 50 % samt 75 % av deras totala vatteninnehåll			
	25 %	50 %	75 %
Skärv + pimpsten	4 min	7 min	8 min
AMA B-jord	18 min	23 min	40 min
Citykross	21 min	55 min	130 min

Tabell 3 Tid på utflödet ur tankarna vid andra försöket

Antal minuter som gick åt för att tömma tankarna på 25%, 50% samt 75% av deras totala vatteninnehåll			
	25 %	50 %	75 %
Skärv + pimpsten	4 min	7 min	9 min
AMA B-jord	18 min	25 min	49 min
Citykross	22 min	59 min	109 min



Figur 2 Redovisning av antal liter som tömdes ur tankarna vid respektive försök.

4.1.3. Fukthalt

Fuktmätaren gav ingen pålitliga data och tyvärr går det inte att titta på vattnets rörelse under tiden tankarna utsattes för torra.

5. Diskussion

De ekosystemtjänster som stadsträden erbjuder oss spelar en signifikant roll när det kommer till mänsklig komfort i det urbana landskapet. Förutom att sänka dygnsmedeltemperaturen kan träd genom sina trädkronor fånga upp vatten, som därför aldrig når marken och förångas ut tillbaka i atmosfären (Sjöman et al. 2016). Trädens rotsystem har kapacitet att genom transpiration ta upp stora mängder vatten som av den anledningen aldrig skulle nå vårt dagvattensystem (ibid.). Maximal utdelning av ekosystemtjänster från stadsträden kommer först när träden når en betydande storlek (Xiao & McPherson 2002). Och för att träd ska etableras väl och erhålla årlig tillväxt på längre sikt i stadens ibland utmanande ståndort, krävs förutom rätt förutsättningar ovan mark, även rätt markfysikaliska egenskaper under mark, i form av ett luckert substrat med porer som erbjuder både syre och markfukt samt näring (Sjöman et al. 2016).

Det riktas stort fokus just mot substrat som används i städernas växtbäddar. Valet av substrat ska kunna erbjuda de markfysikaliska egenskaper som träden behöver, samtidigt som det ska kunna ta emot dagvatten utan att skapa en syrefattig miljö. Substratet ska kunna erbjuda snabb infiltrering av dagvatten, fungera som en tillfällig vattenreserv åt träden och sedan effektivt dränera vattnet ut i kringliggande terrass eller till närliggande VA-system.

Denna studie visar att det gick åt mer vatten från första påfyllningen än andra (figur 6). Detta kan troligtvis förklaras av vattenåtgången som krävs för att blöta upp materialen. Figur 9 visar att efter den andra påfyllningen noterades ett större utflöde vatten från AMA B-jord än vad som noterades från första, vilket skulle kunna förklaras av att porstrukturen (Och därmed fältkapaciteten) förändrats från första tömningen.

Figurerna 7 och 8 visar utströmningen av vatten över tid och hur mycket stående vatten som stannar kvar i tankarna med de olika substraten. AMA B-jord har den största stående mängden vatten i botten, medan substraten med större stenar naturligt har ett lägre magasin. Det här skulle kunna förklaras av materialets kapillärkraft och adhesion som sker i de små porer där AMA B-jord i detta fall har mindre porer än substraten med skärv. Detta betyder två saker: substratet kan erbjuda markfukt under en längre period åt träden, men även att det inte kommer kunna ta emot lika mycket dagvatten under en kortare period. Tanken med Citykross har aningen mindre vatten kvar i tanken medan pimpsten har det lägsta

vattenmagasinet över tid. Att tanken med citykross har ett aningen högre vattenmagasin än pimpsten skulle kunna förklaras med dess innehåll av biokol och kompost. Biokol beskrivs ha en god vattenhållande förmåga i studien av Raviv & Lieth (2008). Och Zhang et al. (2014) bekräftar även att den vattenhållande kapaciteten ökade när det tillsattes humussyror till biokol, vilket är fallet med citykrossblandningen där biokol blandas med kompost. Här hade det ännu en gång varit intressant att se data från fuktmätarna för att skaffa sig en bättre idé om hur fukthalten ser ut i de olika substraten över tid.

Forskare tittar på hur länge en växtbädd kan vara vattenmättad innan det påverkar trädens kondition. Bartens et al. (2009) studerade två olika trädarter under en period av två växtsäsonger som stod planterade i växtbäddar som tog emot dagvatten. De studerade utvecklingen av trädens rot- och biomassa och kom fram till att hastigheten på dräneringsförmågan var en viktig faktor för trädens välmående. Ju sämre dräneringsförmåga substraten hade desto ytligare blev rötterna samt gav en sämre utveckling för rot- och biomassa. Deras slutsats av studien lyder bland annat att en växtbädd som tar emot dagvatten bör innehålla arter som naturligt växer i områden som utsätts för fluktuerande vattennivåer, samt att växtbädden bör nå fältkapacitet efter senast 48 timmar. I detta försök uppnådde samtliga tankar fältkapacitet mycket tidigare och skulle därför nå de önskade egenskaper som Bartens et al. (2009) studie efterfrågade. Frågan kvarstår då om bäddarna blir torra för fort för att träden i bäddarna ska kunna erbjudas den markfukt som de behöver för en god utveckling. Den frågeställningen hade kunnat besvaras genom att titta på resultaten från fuktmätarna, men eftersom de inte fungerade i detta försök får den frågan lämnas obesvarad.

Tanken med pimpsten kunde fyllas med lika många liter vatten vid båda tillfällena, vilket betyder att den hade effektivast dräneringskapacitet. Medan skärven skapar stora porer, som också är de första som dräneras, finns pimpstenen kvar mellan stenarna och är med sin höga porositet tänkt att skapa tillgång till både markfukt och syre för rötterna. Pimpsten har en porositet på 70–85 vol.% och är ett inert material utan buffringskapacitet av näring (Raviv & Lieth 2008). Pimpsten har blivit populär i anläggningssammanhang med sin låga vikt, höga stabilitet och höga porositet, där den bland annat används i växtbäddar för stadsträd i Malmö och det hade varit intressant att se just hur mycket fukt den håller under en period av torka, i en blandning av skärv.

En observation som gjordes under studiens gång var att vattenupptaget i referenstanken med AMA B-jord var trög och tog därför längst tid på sig att nå total vattenkapacitet. Tiden för upptaget av vattnet i substratet tog längre tid än själva påförseln av vattnet från slangen, vilket gjorde att vattnet steg ovanför substratet och fick stängas av emellanåt för att ge substratet tid att infiltrera vattnet. Detta indikerar att just denna typ av substrat inte är effektiv för att ta emot större mängder dagvatten under en kortare period då upptaget tar för lång tid.

En annan observation som gjordes var att utflödet av vattnet från de olika utloppen varierade kraftigt, detta reflekterar substratens dräneringsförmåga och tiden för att nå fältkapacitet. Vattnet från tanken med skärv och pimpsten tömdes med en hög hastighet och på endast några minuter, medan de andra två tankarna hade ett mycket långsammare utflöde, framför allt i tanken med skärv, kompost och biokol. Detta skulle kunna förklaras med att sediment från humusmaterialet kan ha täppt till hålen i dräneringsröret och därför sänker hastigheten på vattnet. Ett liknande problem noterades av Szota et al. (2019) som bland annat tittade på olika infiltrationssystem i växtbäddar för dagvattenhantering i gatumiljö, där de kunde konstatera att sediment från gatorna snabbt kunde påverka infiltration och därmed kapaciteten att ta emot större mängder dagvatten. Liknande problem bör kunna uppstå i utloppet och kan kräva återkommande kostsamma skötselinsatser för att hållas rena. Szota et al. (2019) konstaterade även att materialet i omkringliggande terrass var en viktig faktor till hur snabbt växtbäddarna dränerades och därmed också hur snabbt de kunde vara redo att ta emot nytt vatten från nästa skyfall.

Slutligen bör det nämnas att observationer även gjordes på vattnets färg när tankarna tömdes. Skillnaderna var påtagliga där vattnet som tömdes från tanken med pimpsten var näst intill kristallklart. Tanken med AMA B-jord upplevdes aningen mer smutsigt medan vattnet från tanken med citykross var svart till färgen, med största sannolikhet färgat av biokol och kompost. Skulle liknande studier upprepas hade det varit av intresse att även studera vattnets kvalitet efter infiltration, en studie som dock hade krävt en betydligt längre försöksperiod.

5.1. Metoddiskussion

Denna studie jämförde tre olika substratblandningar när det från början var tänkt att fem olika substratblandningar skulle jämföras. Problem med leverans av material, samt brister i konstruktionen av de första lådorna gjorde att tiden rann i väg och en prioritering av substrat fick göras då det endast fanns tre mätinstrument att tillgå. Problemen med de första lådorna som byggdes var att de läckte alldeles för mycket vatten när de fylldes. Vattenläckaget hade orsakat problem i mätningarna och ingen pålitliga data hade kunnat tas ut för analys. Det var framför allt skarvarna i lådorna som var orsaken till läckage. Därför fungerade IBC tankarna betydligt bättre då de är helt utan skarvar.

Förutom de material som har använts till denna studie var det även tänkt att en låda med kolmakadam samt en låda med smutsat skärv skulle undersökas, med anledning av att det är frekvent använda substrat i dagens trädgropar i stadsmiljö, men dessa substratblandningar fick prioriteras bort på grund av tidsbrist och tillgång på färre mätare än tänkt. Önskvärt skulle även vara att använda sig av ett antal replikat av varje substratblandning för att få ut ett medelvärde från de olika mätarna.

Anledningen till att fuktmätarna inte gav pålitliga data berodde på att det för stora porer i materialet. Fukttighetsmätarna har ett par generella kalibreringar som är gjorda för jordbruksjordar och torv och passade därför inte för dessa luftiga jordar. Dessa går att kalibrera om, och det hade behövt göras om en liknande studie ska göras igen.

5.2. Vidare studier

Denna studie hade som förhoppning att även kunna studera fukthalten i de olika substraten. Tyvärr gick det inte att få ut någon tillförlitliga data från mätarna. Det hade varit oerhört intressant om en liknande studie tas fram och vars resultat kan ställas mot denna studie, med kompletterade data från fuktmätarna.

Grundläggande kunskaper inom markfysiologi säger oss att ju större porer en jord har, desto snabbare dräneras den. Detta betyder att växtbäddar med större skärv dräneras snabbare och når vissningsgräns tidigare än växtbäddar med jord som innehåller mindre porer. Men det hade fortfarande varit intressant att få fram data från fuktmätare för att kunna se hur det egentligen ser ut i de olika substraten. Önskvärt skulle vara att liknande studie utförs med fler substratblandningar, framför allt smutsat skärv och kolmakadam, samt att samtliga bäddar upprepas för att få fram ett medelvärde.

I projektet *Ett grönare Möllan*, i Malmö, har liknande instrument sänkts ner i växtbäddar för träd. Det skulle vara intressant att göra en jämförande studie om resultaten från växtbäddarna under mark mot växtbäddar ovanför mark, likt dem som har använts till denna studie.

Slutligen skulle det vara av högt värde att även få ut data på vattenkvalitet från utflödet för att få en inblick i hur effektiva de olika bäddarna är på att rena vattnet som infiltreras.

Referenser

- Armson, D., Stringer, P., Ennos, A.R., (2012) The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*. vol. 12 pp. 282-286
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.04.001>
- Ashman, M.R. & Puri, G. (2002). *Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science*. Oxford: Blackwell Science
- Bartens, J., Day, S.D., Harris, J.R., Wynn, T.M., Dove, J.E. (2009) Transpiration and Root Development of Urban Trees in Structural Soil Stormwater Reservoirs. *Environmental Management* vol. 44 pp. 646–657
<https://doi.org/10.1007/s00267-009-9366-9>
- Blennow, A.-M. & Svedberg, O. (2002). *Europas trädgårdar: från antiken till nutiden*. [Ny utg.]. Lund: Signum
- Boverket (2019a) *Typer av ekosystemtjänster* https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/det_har/typer [2021-06-09]
- Boverket (2019b) *Parker och grönområden reglerar vatten vid skyfall och översvämning* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/naturen/betydelse/reglerar/> [2021-08-09]
- Craul, P.J. (1992). *Urban soil in landscape design*. New York: Wiley
- Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, vol. 48 (1) pp. 31–44 [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00034-7)
- Embrén, B. & Alvem, B.-M., (2017). *Växtbäddar i Stockholm Stad – En handbok*. <https://leverantor.stockholm/entreprenad-i-stockholms-offentliga-miljoer/vaxtbaddshandboken/> [2021-06-10]
- Eriksson, J. (2011). *Marklära*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Folkesson, A. (2018). *Jordkokboken: handbok i att beskriva växtbäddar för växter med speciella krav i anslutning till AMA*. Andra utgåvan. Stockholm: Svensk byggtjänst
- Gustafsson, E.L. (2016). *Fokus på svensk jord*. [Faktablad]. Gröna Fakta. 5:2016. Alnarp: MOVIUM SLU
- Grey, G., Livesley, S.J., Fletcher, T.D., Szota, C. (2018) Tree pits to help mitigate runoff in dense urban areas. *Journal of Hydrology* vol. 565 pp 400–410
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.038>

- Hess, A., Wadzuk, B., Welker, A., (2017) Evapotranspiration in rain gardens using weighing lysimeters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 143(6) [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001157](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001157)
- Kjelgren, R. K. & Clark, J. R. (2012) Urban Microclimates and growth of sweetgum street trees. *Arboricultural Journal*. vol. 18(4) pp 401-417 <https://doi.org/10.1080/03071375.1994.9747045>
- Litvak, E., McCarthy, H.R, Pataki, D. (2012). Transpiration sensitivity of urban trees in a semi-arid climate is constrained by xylem vulnerability to cavitation. *Tree Physiology*. vol. 32(4) pp 373–388 <https://doi.org/10.1093/treephys/tps015>
- Malmö stad (2017) *Skyfallsplan för Malmö* https://malmo.se/download/18.95a01bd15de660cf0d95e3/1503646540675/Skyfallsplanen_antagen_20170301.pdf#search=%27skyfallsplan%27 [2021-08-09]
- Odyssey data recording (2021). *Soil moisture* <http://odysseydatarecording.com/index.php?route=product/category&path=67> [2021-07-12]
- Persson, A. & Smith, H., (2014). *Biologisk mångfald i urbana miljöer: förutsättningar, fördelar och förvaltning*. (CEC Syntes 2014:02). Lund: Lund University. <https://lup.lub.lu.se/record/d9a69e3a-93f9-41aa-b5f5-51e255b1ba66>
- Pålstam, Y. (2003). *Träd i stadsmiljö: goda exempel för fler och friskare träd i våra tätorter*. Stockholm: Svenska kommunförbundet
- Raviv, M. & Lieth, J.H. (2008). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015) *Stadsträdslexikon* uppl. 1:2 Lund: Studentlitteratur
- Sjöman, J.D., Hiron, A. & Sjöman, H. (2016). Branch Area Index of Solitary Trees: Understanding Its Significance in Regulating Ecosystem Services. *Journal of environmental quality*, vol. 45 (1), pp. 175–187 MADISON: The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc
- Svenskt vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. (P110 – DEL 1) Motala: Svenskt Vattens distribution
- Szota, C., Coutts, A.M., Thom, J.K., Virahsawmy, H.K., Fletcher, T.D., Livesley, S.J. (2019). Street tree stormwater control measures can reduce runoff but may not benefit established trees. *Landscape and urban planning*, Vol. 182 pp. 144-155 <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.021>
- Xiao, Q. & McPherson, E.G. (2002). Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban ecosystems*, vol. 6 (4) pp. 291–302 Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Zhang, L., Sun, X-Y., Tian, Y., Gong, X-Q. (2014) Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia*

Horticulturae. Vol. 176 pp.70–78
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.021>