



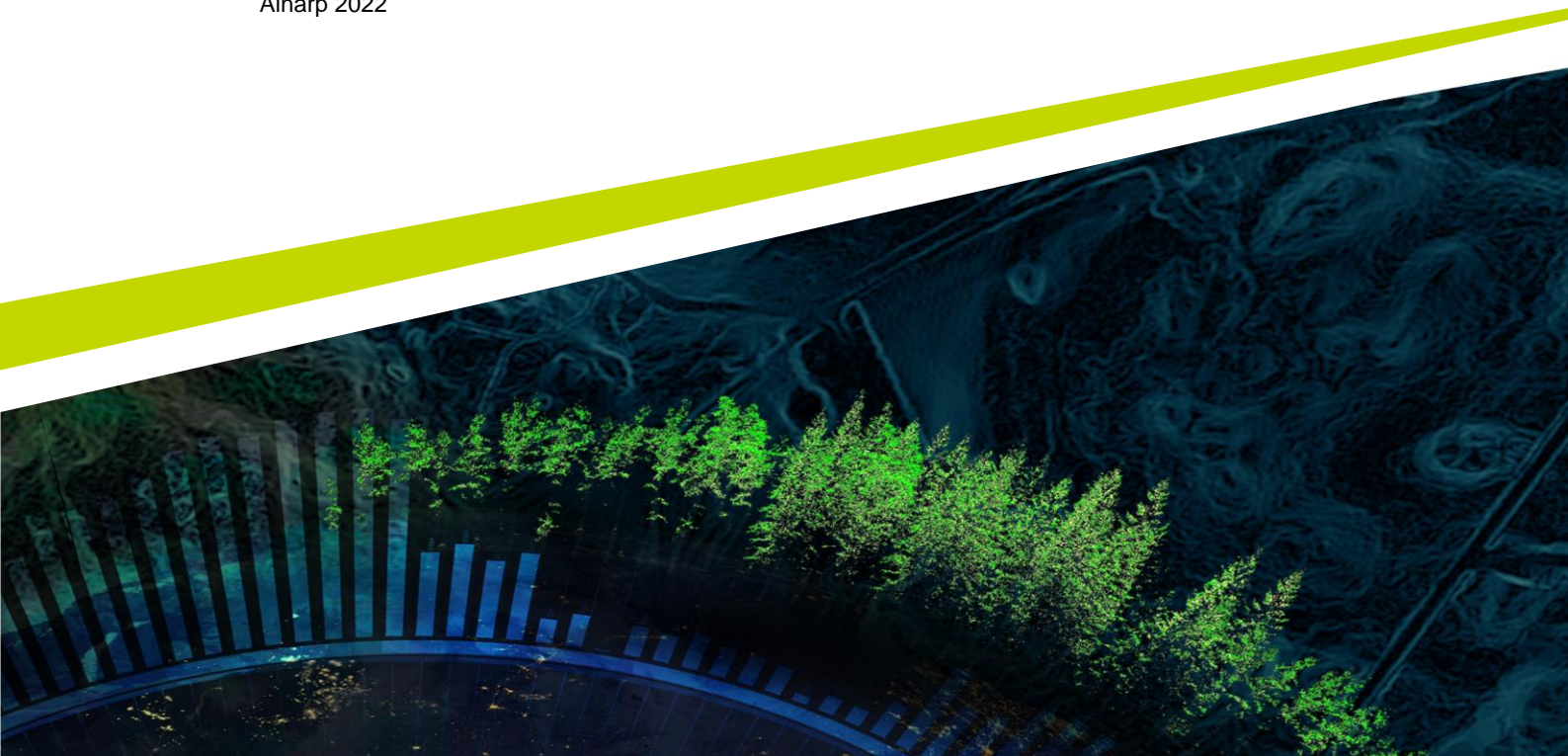
Biokol i substratblandningar

– möjlighet för plantskolenäringen att minska användning av torv

Biochar in substrate mixtures – opportunity for the nursery industry to reduce the use of peat

Annika Svensson

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institution för Biosystem och teknologi
Alnarp 2022



Biokol i substratblandningar – möjlighet för plantskolenäringen att minska användning av torv

Biochar in substrate mixtures – opportunity for the nursery industry to reduce the use of peat

Annika Svensson

Handledare: Tobias Emilsson, SLU Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Bitr. handledare: Johan Dahlenborg, Essunga Plantskola AB
Examinator: Håkan Asp, SLU Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi

Kurskod: EX0855

Kursansvarig inst.: Institution för Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2022

Nyckelord: biokol, substrat, vattenhållande förmåga, torr skrymdensitet, kompaktdensitet, porositet, containerodling, Air-Pot, *Ulmus laevis*, *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi

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

Genom att använda andra typer av material för substratblandningar till odling av träd och buskar i plantskolenäringen kan man minska användningen av torv. I detta självständiga arbete har olika material använts till försök för att se möjligheter till att hitta alternativ till delar i ett, ur växtens synpunkt, bra substrat.

Arbetet har utförts i samarbete med Essunga Plantskola AB och syftet med studien har varit att undersöka möjligheten att minska mängden torv genom att använda den egenproducerade biokolen i substratblandningar med även andra komponenter. Plantskolan vill använda dessa blandningar till sin containerodling av buskar. Tanken med det självständiga arbetet har också varit att undersöka om man kan hitta ett substrat som passar till trädodling i Air-Pot, som liknar kolmakadam.

Det självständiga arbetet har varit en försöksodling där *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E och *Ulmus laevis* har odlats under fyra månader för att sedan jämföra skott- och rottillväxt i de olika substraten. En del av försöken har också varit att se hur de kemiska och fysiska egenskaperna på substraten har ändrats under försökets gång.

Sett till de olika substratblandningarna som undersöktes finns det stora förhoppningar om att hitta material som passar ihop med biokolen. Dessa kan sedan användas både till containerodling av buskar och till trädodling i Air-Pot. En fortsättning av detta arbete hade varit att titta på arbetsmiljön för de som arbetar med biokol och de andra material som fanns med i försöken.

Nyckelord: biokol, substrat, vattenhållande förmåga, torr skrymdensitet, kompaktdensitet, porositet, containerodling, Air-Pot, *Ulmus laevis*, *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E

Abstract

By using other types of materials for substrate mixtures for growing trees and shrubs in the nursery industry, one can reduce the use of peat. In this independent work, various materials have been used for experiments to see opportunities to find alternatives to parts in a, from the plant's point of view, good substrate.

The work has been carried out in collaboration with Essunga Plantskola AB and the purpose of the study has been to investigate the possibility of reducing the amount of peat by using the self-produced biochar in substrate mixtures with other components as well. The nursery wants to use these mixtures for its container production of shrubs. The idea of the independent work has also been to investigate whether a substrate suitable for tree cultivation can be found in Air-Pot, similar to coal macadam.

The independent work has been an experimental farm where *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E and *Ulmus laevis* have been cultivated for four months and then compare shoot and root growth in the different substrates. Part of the experiments has also been to see how the chemical and physical properties of the substrate have changed during the experiment.

In terms of the different substrate mixtures examined, there are high hopes of finding materials that fit with the biochar. These can then be used both for container production of shrubs and for tree production in Air-Pot. A continuation of this work would have been to look at the working environment for those who work with biochar and the other materials that were included in the trials.

Keywords: biochar, substrate, water-holding capacity, dry bulk density, compact density, porosity, container production, Air-Pot, *Ulmus laevis*, *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E

Förord

Några personer och företag har varit hjälpsamma under arbetet med det självständiga arbetet. Först vill jag tacka min arbetsplats Essunga Plantskola AB för att jag fått material och utrymme för mina försök. Tack även för hjälpen med de kostnader som har uppkommit vid försöken. Särskilt tack till Johan Dahlenborg för bollplanket och till mina kollegor som hjälpt mig att vattna när jag inte har haft möjlighet till det. Tack till Svenska Trädföreningen för den ekonomiska hjälpen till Spurway-analyser. Tack till Hushållningssällskapet för lånet av era värmeskåp. Tack till LMI AB för hjälpen med att analysera och förstå resultaten på Spurway-analyser. Tack till Vendel Trädgårdsrådgivning AB för tankar om mitt arbete. Tack till Håkan Asp för instruktioner till de fysikaliska mätningarna. Tack till min handledare Tobias Emilsson för all hjälp med starten av försöken och tankar om det skrivna arbetet. Sist men inte minst: Tack till min familj, som periodvis under ett år, har fått stå ut med en frånvarande sambo och mamma. Tack!!

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	11
1.1. Minska torvanvändning.....	11
1.2. Material i Air-Pot krukor.....	12
1.3. Tillsats av biokol i substrat.....	13
1.4. pH.....	14
1.5. Laddning av biokol.....	15
1.6. Syfte.....	17
2. Material och metod.....	18
2.1. Försökets utformning.....	18
2.1.1. Biokol.....	19
2.1.2. Torv.....	19
2.1.3. Halm.....	19
2.1.4. Kogödsel.....	20
2.1.5. Skumglas.....	20
2.2. Kemiska mätningar.....	20
2.3. Fysikaliska mätningar.....	21
2.4. Statistik analys.....	22
3. Resultat.....	23
3.1. Substratens egenskaper.....	23
3.1.1. Torr skrymdensitet.....	23
3.1.2. Kompaktdensitet.....	24
3.1.3. Porositet.....	25
3.1.4. Vattenhållande mikroporer.....	26
3.1.5. Lufthållande makroporer.....	27
3.2. Kemiska mätningar.....	28
3.2.1. pH och Ledningstal.....	29
3.2.2. Kväve.....	31
.....	31
3.2.3. Fosfor, Kalium, Magnesium, Svavel och Kalcium.....	32
3.2.4. Mangan, Bor, Järn, Klor, Natrium och Aluminium.....	34

3.3.	Skottillväxt och rottillväxt	35
4.	Diskussion.....	38
5.	Slutsats.....	45
6.	Referenser	46
7.	Bilaga.....	50

1. Introduktion

1.1. Minska torvanvändning

I dagens odlingar av plantskoleväxter används mycket torv. På senare tid har det kommit upp diskussioner om dagens torvproduktion på grund av dess klimatpåverkan.

De dränerade torvmossor som används till dagens torvproduktion släpper ifrån sig växthusgasen koldioxid (Lehmann & Joseph 2015). Växthusgaser påverkar klimatet genom att temperaturen på jorden ökar. (Naturvårdsverket u.å. b). Enligt Naturvårdsverket (u.å. a) är torv en av de naturresurser som man måste hushålla med. Till den gruppen hör även jord, grus och berg. Skörden av odlingstorv har ökat den senaste tiden. Mellan 2019–2020 ökade den i Sverige med 19,7% (SCB 2021). Samtidigt har också exporten av torv från Sverige ökat med 13% (ibid).

Kravet kommer antagligen komma på att dagens torvanvändning måste minska. Därför är det viktigt att titta på alternativ till torv (Lehmann & Joseph 2015).

För att minska torvanvändningen kan man göra inblandningar av annat material som tex kompost, kokos, bark, sågspån, träfiber, naturgödsel och biokol (Svensk Torv 2021). Handreck och Black (2010) skriver att tallbark kan vara bra supplement till torv. Dess positiva egenskaper är att man kan få den i olika fraktioner och att den inte förmultnar fort. Barken har även bra porer som kan hålla vatten. De skriver också att sågspån kan användas till blandningar med torv. Sågspån har sämre egenskaper än bark då det förmultnar fortare och kräver mer kväve vid den processen i jämförelse med bark. Sedan 1990 har halten med kokosfibrer i substratblandningar ökat mycket. Kokosfibrer har mycket bra vattenhållande förmåga, bättre än många torvqualiteter, utan att det påverkar de lufthållande porerna. Det är ett bra alternativ till torv, fast det har lite andra kemiska innehåll som behöver justeras för att användas till substrat, som tex lågt kalciumvärde. Då pH-värdet på kokos normalt ligger runt 6 kan man inte använda material innehållande kalk utan i stället kan man tillsätta kalciumsulfat (ibid) eller kalciumklorid för att inte påverka pH-värdet (Eskilsson 1992). Handreck och

Black (2010) har fler alternativ med på sin lista över alternativa material i substrat som tex kompost, pimpsten, risskal, scoria och sand.

1.2. Material i Air-Pot krukor

Inom dagens plantskoleproduktion används ett odlingssystem som kallas Air-Pot (AP). Det kallas även ibland Spring-ring (SR). Vid detta system odlar man träd och solitärer ovan mark i återvinningsbara plastkrukor som har en perforerad yta av plast. När man använder denna metod förhindrar man rotsnurr och man får ett kompakt rotsystem med mycket finrötter. Hela klumpen är komplett vid plantering. Vid leverans ska klumpen vara väl genomrotad och den skyddas vid transporten genom att täckas med väv och/eller nät (LRF 2019).

De plantskolor i Sverige som jag har varit i kontakt med som använder systemet med Air-Pot för odling, använder olika substrat. En del använder bara fullgödslad torv, en plantskola använder även en torv som har pimpstensinblandning till de kunder som efterfrågar det. En trädplantskola har helt gått ifrån att bara använda torv till sina träd i Air-Pot och använder i stället ett lokalt producerat substrat som är en blandning av ogödslad torv, sand och grönkompost (Dahlenborg 2022) (Johansson 2022) (Warpman 2022).

Ett bra substrat bör ha en bra balans mellan syre och vatten. De näringsämnen som finns ska vara i en bra balans mellan varandra och vara tillgängliga för växterna (Svensk Torv 2021). Det finns också andra kriterier som man bör tänka på vid val av substrat, det ska finnas tillgängligt under hela året och vara fritt från främmande ämnen, såsom kemikalier, så att det är säkert att använda (Svensk Torv 2021) (Rudin & Nordström 1993). Det finns vissa grundparametrar som behövs för att tillgodose växtens behov oavsett vilket substrat man använder. Förutom att det ger, för växterna, rätt balans mellan syre, vatten och näring bör det vara strukturstabilt och hålla ihop under den växtperiod som produktionen kräver (Rudin & Nordström 1993).

Ser man till substratens förmåga att ge en bra syrehalt till växtens rötter är det viktigt att syreinnehållet ligger högt vid produktionens start då den är svår att påverka under odlingstiden. Vid starten bör den ligga på 15–20%; den minskar sedan under tiden allt eftersom de organiska delarna i substratet bryts ner (Hansen & Walla 2000).

Enligt Lehmann och Joseph (2015) har torv många av de egenskaper som gör den bra att odla i. Den har en bra vattenhållande förmåga, bra syretillgång, är homogent, avsaknad av ogräsfrön och patogener, låg bulkdensitet, lågt pH och ringa mikrobiellt liv samt litet näringsinnehåll. Genom att torv har lågt pH och liten/eller inget naturligt innehåll av näring blir det lättare att kunna styra näringstillförseln till substratet. En stor nackdel med torv är den tappar förmågan

att ta emot vatten om den torkat ut ordentligt, dvs det är svårt att vattna upp en torr kruka (ibid).

1.3. Tillsats av biokol i substrat

Genom att använda biokol i substratblandningar får man en bra vattenhållande förmåga och syretillgången blir högre i jämförelse med ett substrat helt baserat på torv (Lehmann & Joseph 2015).

Biokol tillverkas i speciella ugnar där förbränningen sker under en syrefri upphettning, s.k. pyrolysis. Själva pyrolysisprocessen och vilket ursprungsmaterial man använder sig av påverkar slutprodukten (Huang & Gu 2019). Några av de parametrar som påverkas av pyrolysisens temperatur och tid är pH, näringsinnehåll, fraktioner, struktur, storlek på porer och den vattenhållande förmågan (Fridell et al. 2019). En rapport från Jordbruksverket nämner att om man använder trä för att tillverka biokol skiljer det en del på vad man får ut beroende på pyrolystemperatur. Vid 200°C får man ut 48,8% kol och pH ligger på 4,6. Medan vid 600°C blir halten kol 45,5% och pH 9,5 (Jordbruksverket 2020). Enligt Bates (2010) får man den bästa biokolen med hög kolhalt och bra absorptionsförmåga vid en temperatur på 500–700°C.

För att få en bra och effektiv pyrolysis är det viktigt att materialet är torrt, då behövs inte mycket av värmen till att torka materialet innan man kan få en effektiv pyrolysis (Lehmann & Joseph 2015)

Slutprodukten biokol har en porös yta och har en bra förmåga att binda vatten och näring (Fridell et al. 2019). Werdin et al. (2021) har undersökt biokolens vattenhållande förmåga i substratblandningar innehållande scoria och kokos. De skriver i sin rapport att fraktionen på biokolen och volymprocenten har större betydelse än vilket ursprungsmaterial som biokolen är gjord av. Tillsätter man fina fraktioner av biokol till en substratblandning ökar man den vattenhållande förmågan, men dränering och luftfyllda porer minskar. Tillsätter man i stället större fraktioner får man inte en ökning av den vattenhållande förmågan, utan det blir mer växttillgängligt vatten och de luftfyllda porerna blir fler. Även vid små tillsatser av fina fraktioner minskar substratets dräneringsförmåga.

Man kan även använda biokol för att förbättra den ursprungliga jordbruksmarken. Enligt Hylander och Günther (2012) kan tillförseln av biokol vara tredelad. En viktig sak är att den arbetar som en kolsänka då den har en lång nedbrytningstid. Sedan förbättrar den jordens förmåga att öka växttillgängligt vatten och näring, halten av mikrober ökar och biokolen förbättrar jordens struktur. Till sist minskar den eventuella näringsläckage som annars försvinner ut i grund- och ytvatten.

Ser man till inblandning av biokol i substrat för odling av träd och buskar så ökar den växtens tillgång på vatten och näring och man får genom det en bättre tillväxt (Fransson et al. 2020). Både de kemiska och fysiska egenskaperna hos substraten ökar vid tillförsel av biokol (Huang & Gu 2019)

Genom tillsatts att biokol får man en kalkande effekt till substraten. Använder man kalkad torv till produktionen av buskar och träd kan man minska mängden kalkad torv, eller utesluta helt, vid användning av biokol. (Malmberg et al. u.å.). Vid inblandning av biokol får man ett substrat som blir mer hållbart under längre tid då biokolen inte bryts ner (Fransson et al. 2020).

Vid inblandning av biokol i substrat för produktion av plantskoleväxter behöver man vara noga med vad man har för ursprungsmaterial till biokolen. Risken finns att man får med tungmetaller som kan påverka tillväxten negativt (Huang & Gu 2019). Huang och Gu (2019) skriver i sin rapport att halten med tungmetaller kan variera mycket beroende på vilket material man har eldat och även vid vilken temperatur som pyrolysen har skett. De har haft svårt att göra en sammanställning på hur skadligt det kan vara mot växterna eftersom det inte finns så mycket forskning på det. Olika växtslag kan reagera olika beroende på vilken typ av biokol som man tillför till substratet (ibid).

Beroende på vilken biokol man använder kan man tillsätta olika halter av biokol till sina substrat. Biokol med mindre fraktioner kan påverka substrat genom att det blir för kompakt. Det som också påverkar är de växtslag som man ska använda till substraten. Har man växtslag som inte trivs i högt pH bör man minska halten biokol (Fransson et al. 2020).

Genom att använda biokol till trädodling kan man öka trädens tillväxt och genom det binda mer koldioxid från luften (Gustafsson et al. 2020).

1.4. pH

Vilket pH-värde som finns i odlingssubstraten påverkar växtens förmåga att ta upp näringsämnen som behövs för tillväxt och överlevnad.

Vid odling bör man ligga på ett pH-värde mellan 6–6,5 för de växter som inte har speciella krav. Vid ett högt pH i odlingssubstraten påverkas vissa näringsämnens förmåga att vara tillgängliga för växter och de kan följaktligen inte ta upp dessa. Den biologiska aktiviteten ökar med stigande pH vilket medför att ett organiskt material i odlingssubstratet bryts ner snabbare och mer näring blir tillgängligt (Eskilsson 1992).

I organogena jordar, såsom torvbaserade substrat, är halten av fosfor bäst tillgänglig vid pH 5–6. Vid högre pH bildas det föreningar mellan kalcium och fosfor som gör att fosfor inte blir tillgänglig. Vid en hög halt av organiska material i substraten blir även tillgängligheten av magnesium lägre vid högt pH

(Ögren 2019). Ett högt pH påverkar också tillgång av mikronäringsämnen negativt, såsom mangan, järn, koppar, zink och bor (ibid).

pH-värdet hos biokol kan variera mycket beroende på vilket ursprungsmaterial som används och vid vilken temperatur som pyrolysen sker (Huang & Gu 2019). Ju lägre temperatur vid pyrolysen desto lägre pH på biokolen (ibid). Värdet brukar ligga mellan neutral och ett högt (7–11) (Fransson et al. 2020).

Har man biokol som är framställt av trä får man en lägre halt av aska eftersom trä innehåller mer lignin. Detta gör att sådan biokol ger en lägre ökning av pH eftersom en hög askhalt ger ett högre pH. (Gustafsson et al. 2020). I denna rapport skriver man också att biokol som tillverkas vid högre temperaturer ger en högre askhalt. I och med det ökar pH-värdet på biokolen.

Fransson et al. (2020) skriver att vid användning av ursprungsmaterial som har mycket stödjande struktur som ved och halm blir kalkeffekten mindre på den biokol som produceras. Medan om man använder tex bark, frön eller gröna växtdelar till sin biokolsproduktion får man en högre kalkningseffekt på den biokolen. Detta eftersom de sistnämnda materialen har mer näringsinnehåll och mindre kolinnehåll.

I Stockholm där de använder mycket kolmakadam kompenserar de inte för det höga pH-värdet när de använder det till odlingsbäddar för buskar och träd, under förutsättning att man använder biokol med bra kvalitet och med lågt askinnehåll (Embrén 2021).

Har man problem med ett för högt pH kan det vara svårt att minska det. Vid sådana problem kan man prova att tillsätta okalkad torv (Johansson 2022). Man kan även prova att tillsätta mineraliskt svavel (Ögren 2020), järnsulfat eller ammoniumsulfat (Alsanius 2002). Man bör också kontrollera sitt bevattningsvatten för att veta dess alkalitet. Överstiger det 150 mg HCO_3^- /l (Rudin 1995) kan det påverka pH-värdet i substraten och man bör reglera det genom att tillsätta syra (Eskilsson 1992). Fosforsyra, salpetersyra eller Magnofoss, som innehåller kväve, fosfor, magnesium och kadmium, kan fungera för att sänka pH (Ahlström 2021).

Sedan är det inte alltid negativt att det blir ett högre pH. Enligt Handreck och Black (2010) kan ett höjt pH-värde påverka växterna positivt genom att det kan hämma förekomsten av marklevande patogener.

1.5. Laddning av biokol

Vid tillförsel av biokol i marken binder den vatten och näring. Om biokolet inte är laddat när det tillförs kan det göra att växterna får en för liten näringsgiva vid starten då biokolet tar näring från marken innan det är mättat (Modin 2021). Liknande fenomen kan uppstå vid containerodlingar med biokol. Om man tillför biokolen utan någon extra näring kan det ta ett år eller mer innan den är

färdigladdad. Den har då tagit näringen från omgivningen och det leder till att växterna får en sämre tillväxt, innan biokolen börjar släppa sin näring (Bates 2010).

Försök som är gjorda på Chalmers tekniska högskola (Modin 2021) visar på att för att kunna göra en bra laddning med hjälp av näringslösningar bör biokolen ligga i lösningen i minst 15 timmar och helst 48 timmar innan den används.

Biokolets förmåga att binda näringsämnen beror på hur biokolet har tillverkats, vilket råmaterial det har varit och vid vilken temperatur som pyrolysen har skett (Modin 2021). Enligt Fransson et al. (2020) så minskar de negativt laddade jonerna på biokolets yta vid en högre pyrolystemperatur och det skulle kunna göra att det har svårare att bli laddat. Men det är svårt att säga något generellt då ursprungsmaterialet också har en stor del till hur väl biokolet kan laddas. Man har också kunnat se att när biokolet åldras så ökar förmågan att ta upp och hålla näring, detta genom att när biokolen påverkas av syre så blir det fler negativt laddade joner på dess yta.

Man kan också använda biokolen för att öka halten av mikrober i odlingssubstraten. Genom att låta biokolen vara i kontakt med kompostte blir biokolen laddad med mikrober (Bates 2010) och detta kan sedan användas vid behov.

Vid inblandning av biokol och kompost till det ursprungliga valet av substrat kan man öka växtens motståndskraft mot patogener. Även växters förmåga att ta upp näring påverkas positivt (Lehmann & Joseph 2015)

Den biokol som Stockholms stad använder till sin kolmadam näringsberikas med antingen 50 kg organisk gödsel NPK 5-1-4 (per m³ biokol) eller 5 kg NPK 5-1-4 + mikro (per m³ biokol). När man sedan använder den blandas den med lika delar kompost (Stockholm stad 2017).

I Malmö har olika samarbetspartner gjort provodlingar med bland annat biokol på Augustenborgs Takträdgårdar. De ville undersöka möjligheten att ladda biokol med organisk gödsel och använda den som långtidsverkande gödselmedel. Biokolen blandades med flytande biogödsel, vars ursprung var restprodukt från biogasproduktion. 120 liter biokol blandades med 40 liter biogödsel och fick ligga under 5 dagar. Detta användes senare till att gödsla provytor med *Sedum ssp.* Resultatet visar att tillförsel av biokol motsvarande en tillsats av 12 gram N/m² ger en bra tillväxt. I försöket ingick även mer konventionell näringstillförsel med långtidsverkande gödselmedel som Multicote. Ser man till dessa två sätt att tillföra näring har, enligt Bergqvist et al. (2019), biokol blandad med biogödsel likvärdig eller bättre effekt som långtidsverkande gödselmedel i jämförelse med Multicote.

1.6. Syfte

Detta arbete har utförts i samarbete med Essunga Plantskola AB. På företaget har det installerats en biokolsanläggning och dess tanke är att använda den producerade biokolen i produktionen av containerodlade buskar och träd.

Syftet med arbetet är att genom försöksodling hitta en optimal substratblandning för träd som odlas i Air-Pot. Genom att använda biokol till olika substratblandningar ska försöket se om det går att minska torvmängden som används i dagens odling av träd och buskar. Tanken med de olika komponenterna som valdes till försöken var tillgång på material som kan ses som restprodukter och finnas på nära avstånd från plantskolan.

Arbetet är till viss del en fortsättning på Bergqvists (2018) självständiga arbete ”Egenskaper hos odlingssubstrat av biokol, komposterad bark och torv”.

2. Material och metod

2.1. Försökets utformning

De olika substraten blandades med hjälp av en krukmaskin. Efter det fylldes 3,5 liters krukor med substraten. Dessa kördes till ett växthus där de var placerade under försökets fyra månader. Försöket skedde under sommarhalvåret (13 maj-4 september). Krukorna vattnades en gång per vecka med 500 ml vatten.

Tabell 1. Procentfördelning av materialet för försöken med substratblandningar.

	1: B33, T33, H33	2: B33, H33, K33	3: B33, T42, H25	4: B33, T33, K33	5: B33, H16, K33, S16	6 Kontroll: T100
Biokol	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	
Torv	33 %		42 %	33 %		100 %
Halm	33 %	33 %	25 %		16 %	
Kogödsel		33 %		33 %	33 %	
Skumglas					16 %	

Försöket (tabell 1) utformades så att hälften av krukorna inte hade växter planterade, (försök 1), medan den andra hälften hade växter planterade (försök 2) där tillväxten observerades under försökets tid. Försök 1 användes till att göra Spurway-analyser på substraten vid start och slut, dessa fick också 500 ml vatten/vecka.

Till försök 1 användes 60 krukor. 30 av dessa krukor avbröts efter halva tiden för att tanken var att även ta Spurway-analyser på de. Detta utfördes inte då vi ansåg att försökstiden inte var tillräckligt lång för att det skulle motivera en tredje analys.

Även till försök 2 användes 60 krukor. I dessa planteras småplantor av *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E och *Ulmus laevis*, 30 av varje växtslag. *U. laevis* var barrotade vid start, medan *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E var pluggplantor.

I varje led i försök 1 och 2 var det 5 replikat. Det blandades även lite extra material som användes till fysikaliska och kemiska mätningar på de olika substraten. Det materialet som sparades förvarades i en frysbox för att inte påverkas av tiden som fortskred innan alla mätningar gjordes vid försökets slut.

2.1.1. Biokol

Biokolen har producerats av Hjelmsäters egendom på Kinnekulle. Den är producerad utav FSC certifierad träflis, huvudsakligen granar angripna av granbarkborre. Hjelmsäters biokol är certifierad hos EBC (European Biochar Certificate) (Hjelmsäter 2022). Biokolens fraktioner var 0–1 cm och har tillverkats vid 800°C (ibid). Biokolen laddades innan försöket startades med 5 kg NPK 11-5-18 per m³. NPK blandades med biokolen. Sedan fylldes kärlet med vatten så granulaten med NPK löstes upp. Efter 12 timmar hälldes vattnet av och biokolen blandades med de andra materialen.

2.1.2. Torv

Torven levererades av Fagerhults Torv AB och är den torv som Essunga Plantskola AB använder till en del av sin odling.

Tabell 2 Innehåll i torv/m³.

Harvtorv	30 %
Blocktorv 25–45 mm	70 %
PG-mix 14 7 15 + mikro	0,2 kg
Finkalk (CaCO ₃)	0,6 kg
Lithokalk (MgCO ₃)	0,2 kg
Granulerad lera	6,3 kg
Multicote 8 mån (NO ₃ 7%, NH ₄ 8%, P 7%, K 15%, Mg 2 % + mikro)	0,5 kg

2.1.3. Halm

Till försöket användes halm av korn. Halmen var hackad till längder mellan 3–10 cm.

2.1.4. Kogödsel

Kogödseln till försöket är en restprodukt från en gård med mjölkproduktion. Gödslet pressas så att en torrsubstans tillverkas som sedan kan användas till strö i stallarna. Lakvattnet som blir sprids på åkrarna. Analyserna är inte gjorda på det som jag har använt, utan från liknande verksamhet.

Tabell 3 Näringsinnehåll för kogödsel liknande det som användes i försöket.

Totalkväve	4,7 kg/ton
Ammoniumkväve	1,1 kg/ton
Fosfor	0,83 kg/ton
Kalium	2,7 kg/ton
Magnesium	0,91 kg/ton
Natrium	0,65 kg/ton
Svavel	0,87 kg/ton
pH	8.7

2.1.5. Skumglas

Skumglaset är en restprodukt från returglasproduktionen, där en viss del inte kan användas till nytt glas (Nicklasson 2021). Skumglaset är helt oorganiskt och inert så det påverkar inte växterna något utan är bara en utfyllnad (ibid). Vid tillverkningen krossas glaset och värms upp, genom den processen expanderar glaset upp till 5 gånger sin ursprungsvolym (Eriksson & Hägglund 2007). Skumglaset som användes i försöket krossades till 0–2 cm.

2.2. Kemiska mätningar

För att analysera substratblandningar lämnades prover in till LMI AB. De utförde Spurway-analyser på de olika substraten. En Spurway-analys utförs genom att proven torkas, blandas och skiktas sedan. Efter det läggs proverna i destillerat vatten och ledningstalet noteras efter femton minuter och pH-värdet efter trettio minuter. Näringsämnen som finns i proverna extraheras med hjälp av en svag ättiksyralösning i trettio minuter. Efter filtrering mäts halterna av näringsämnen med en spektrometri. Genom att göra en Spurway-analys kan man se vilken tillgång på näring det är under de närmaste veckor och månader (LMI AB u.å.). Vid Spurway-analysen som utfördes för försökets räkning mättes halterna av: nitratkväve, ammoniumkväve, fosfor, kalium, magnesium, svavel, kalcium, mangan, bor, järn, natrium, klor och aluminium. Samt värden för pH och ledningstal. Det gjordes analyser på substraten både vid start och slut för att se hur

tiden har påverkat de olika blandningarna. Det utfördes en statistisk analys på de provsvar som kom från Spurway-analyser.

De näringsämnen som växterna behöver delas upp i makro- och mikronäringsämnen. De som hör till makro är kväve, fosfor, kalium, magnesium, svavel, kalcium och dessa behöver växterna mer av (Ögren 2019). De mikronäringsämnen som Spurway-analysen visar är följaktligen mangan, bor, järn och klor. Dessa har växterna ett mindre behov av. Analysen visar också på halten av natrium och aluminium (ibid).

2.3. Fysikaliska mätningar

På försök 1 utfördes fysikaliska mätningar, såsom den vattenhållande förmågan, torr skrymdensitet och kompaktdensitet. Utifrån de testerna kunde även porositeten jämföras mellan de olika substratblandningarna.

Genom att vattenmätta substraten undersöktes den vattenhållande förmågan. Substraten fylldes i cylindrar med en förlängningsdel, substraten var 2 cm från kanten till förlängningen. Dessa sattes sedan i ett vattenbad under två dygn, efter vattenbad dränerades de i ett dygn. Efter dräneringen vägdes substraten och placerades i ett torkskåp (105°C) under två dygn. Efter torkning vägdes substraten igen. Man får då fram substratens förmåga att hålla vatten.

Den torra skrymdensiteten är substratets vikt i förhållande till den totala volymen inklusive luftfyllda porer (Eriksson et al. 2017). Det torra substratet fylldes i en cylinder av bestämd volym, cylindern hade en förlängningsring. När det var fyllt kompakterades substratet genom att släppa cylindern tre gånger från tio cm höjd. När förlängningsringen togs bort skrapade överflödigt substrat bort och man fick fram den bestämda volymen, Efter detta vägdes substratet och den torra skrymdensiteten räknades fram.

Kompaktdensitet är densitet utan substratets porer (Eriksson et al. 2017). En 50 ml bägare fylldes till hälften med substrat varefter 25 ml etanol tillfördes. Vid de blandningar som innehöll halm klipptes halmen sönder till mindre bitar för att passa i bägaren. Bägaren skakades sedan i 30 minuter, efter det tillsattes så mycket alkohol så det fyllde bägaren till 50 ml. Genom att veta både den torra skrymdensiteten och kompaktdensiteten räknades porositeten ut.

Mätningar på tillväxten vid försök 2 utfördes vid försökets start genom att mäta rötters längd och grenlängd på *Ulmus laevis*. På *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E mättes grenlängd och längd på pluggen. Vid försökets slut gjordes nya mätningar på skotttillväxten och på rötters tillväxt. För både *U. laevis* och *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E räknades antal grenar och skotttillväxten mättes. Sedan räknades ett medelvärde ut för tillväxten i de olika substratblandningar. Tillväxten på rötter värderades genom att tillväxten för båda växtslagen klipptes av och volymen på rötterna räknades fram genom att använda en sänkbägare. Dessa

mätningar gjordes för att se substratens förmåga att påverka tillväxten hos två växtslag.

2.4. Statistik analys

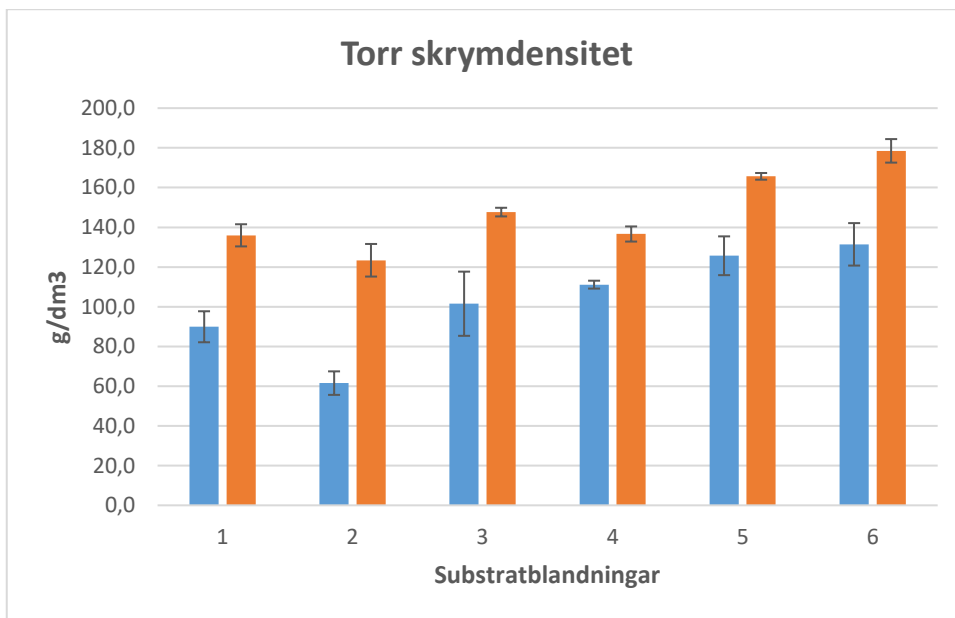
Data sammanställdes i Excel och analyserades i SPSS. I samtliga fall analyserades den insamlade datan med ANOVA.

3. Resultat

3.1. Substratens egenskaper

Alla analyser gjordes på fem replikat förutom substrat 5 där jag bara använde tre replikat på grund av för lite material. Vid figurer används förkortningar för substratblandningar och standardavvikelser. B=biokol, T=torv, H=halm, K=kogödsel, S=skumglas, siffror står för innehåll i procent. SA=standardavvikelser.

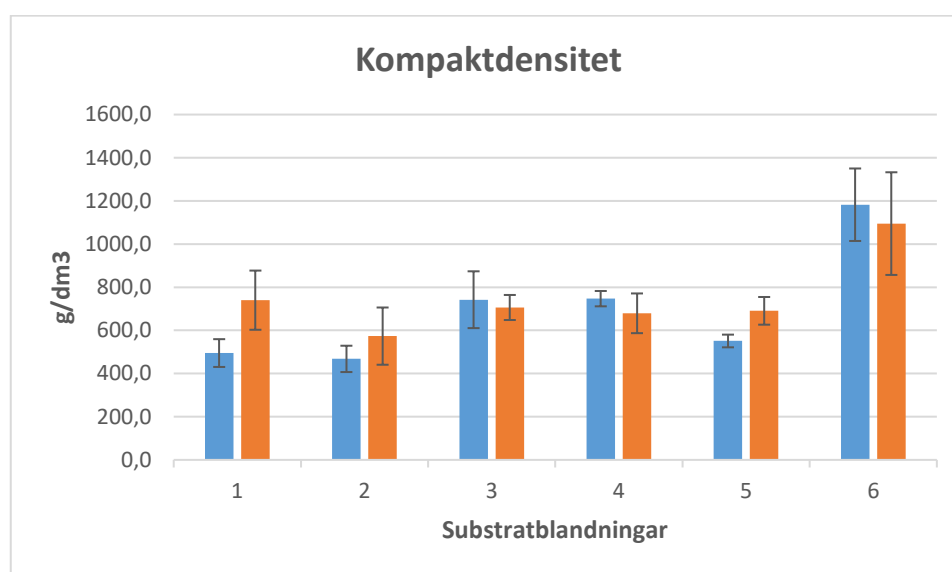
3.1.1. Torr skrymdensitet



Figur 1. Torr skrymdensitet vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$).

Genom att väga en viss volym av de olika substratblandningarna efter kompaktering kunde den torra skrymdensiteten räknas fram. Vid dessa försök ökade den torra skrymdensiteten i alla leden (figur 1). Den största ökningen var i substrat 2 där det ingick lika delar av biokol, halm och kogödsel. Medan den minsta ökningen skedde i substrat 4 där det i stället för halm tillsattes torv. Bilderback et al. (2005) skriver att ett substrat bör ha en torr skrymdensitet på 190–700 g/dm³.

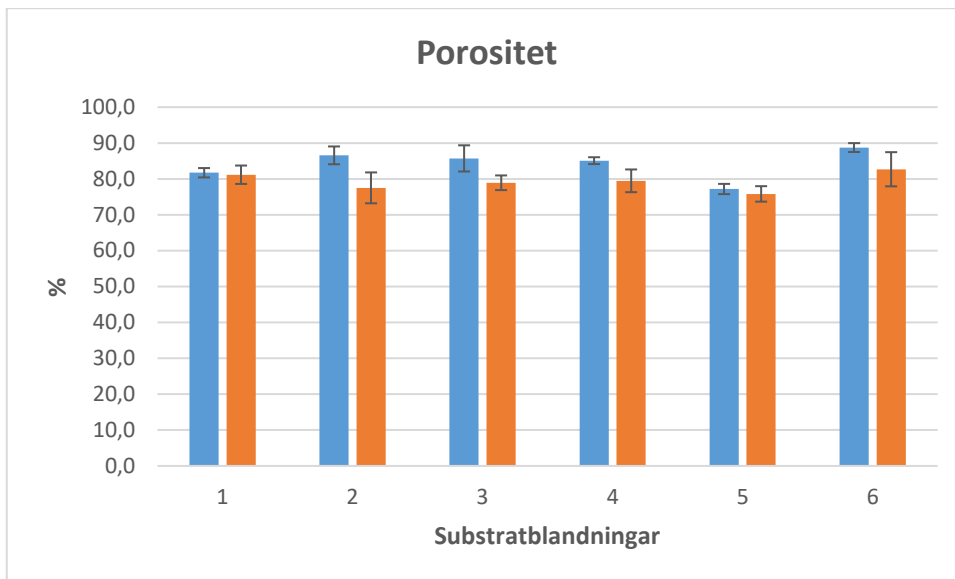
3.1.2. Kompaktdensitet



Figur 2. Kompaktdensitet vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde (n=5 +/- SA).

Kompaktdensiteten är ett mått på substratets densitet utan porer. Vid denna del av försöket var det större variationer mellan de olika substraten (figur 2). Vid substrat 1, 2 och 5 har kompaktdensiteten ökat under försökets gång. Medan hos 3, 4 och 6 har det minskat. Substrat 6 skiljer sig från de andra både vid start och slut. Störst ökning har substrat 1 haft och den blandningen har haft lika stora andelar med torv, halm och biokol.

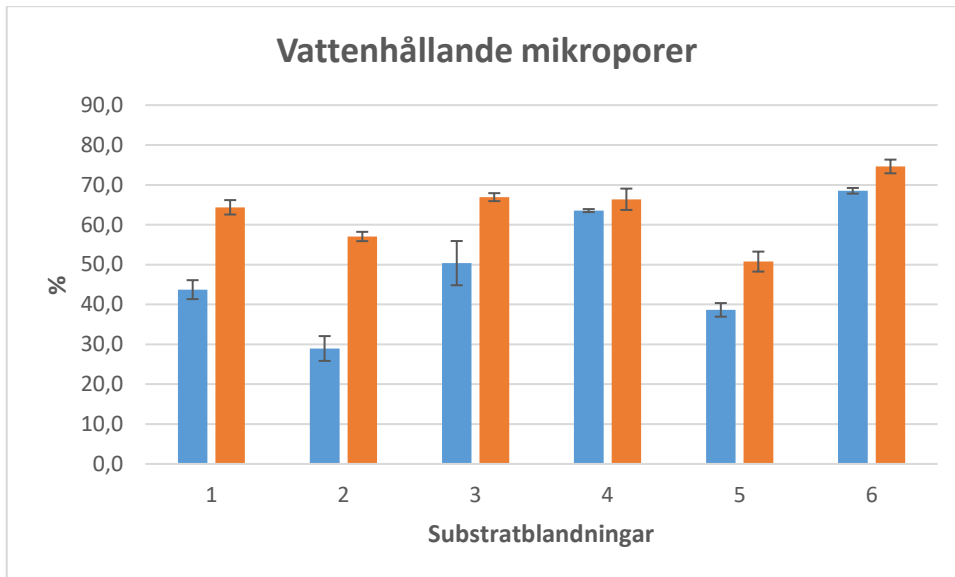
3.1.3. Porositet



Figur 3. Porositet vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$).

Måttet för porositet räknas fram genom att använda värdet för torr skrymdensitet och kompaktdensitet. En bra porositet för ett substrat bör ligga på 50–85% (Bilderback et al. 2005). Tendensen vid kontrollen av substratens porositet är att de är snarlika i jämförelse med varandra (figur 3). Substrat 1 och 5 har inte ändrats nämnvärt mellan start och slut. Substrat 2, 3, 4 och 6 har en liten procentuell minskning av sitt värde vid mätningen i försökets slut i jämförelse med starten. Substrat 2 har haft den största minskningen på 9%. Denna blandning innehöll lika delar av biokol, halm och kogödsel.

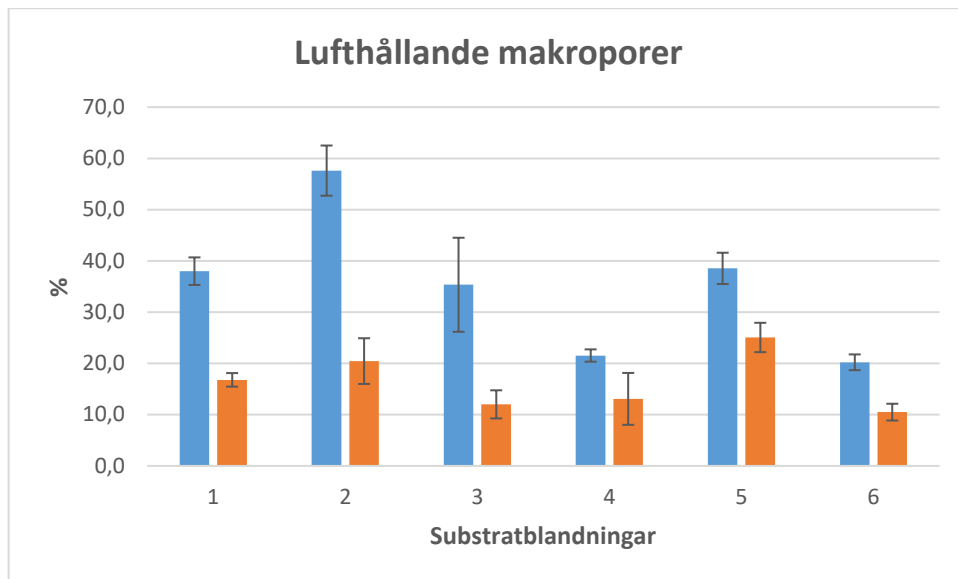
3.1.4. Vattenhållande mikroporer



Figur 4. Vattenhållande mikroporer, del av den totala porositeten, vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$).

Genom att vattenmätta substraten får man fram värden som speglar hur mycket vattenhållande mikroporer det finns i de olika blandningar som användes vid försöken. Vid alla led har den procentuella delen av mikroporer ökat under försökets gång (figur 4). Den största ökningen har varit för substrat 1, 2 och 3. Substrat 4 med lika delar av biokol, torv och kogödsel har haft en knapp uppgång på ca 3%. Robbins och Evans (u.å.) skriver i sin rapport att de vattenhållande porerna bör vara 45–65% av substratet.

3.1.5. Lufthållande makroporer



Figur 5. Lufthållande makroporer, del av den totala porositeten, vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$).

Vid referensen (substrat 6) användes bara 4 replikat vid försökets slut på grund av felvärden vid mätningar. Genom att använda värden från porositet och vattenhållande mikroporer kan man räkna fram hur mycket lufthållande makroporer det finns i substraten. Vid sammanställningen märktes att dessa värden skiljer sig mycket åt mellan de olika substraten men standardavvikelseerna är samtidigt stora vilket gör det svårare att dra tydliga slutsatser (figur 5). Gemensamt för alla led är att det är en minskning av de lufthållande mikroporerna vid försökets slut. Enligt Hansen och Walla (2000) bör substratens lufthållande förmåga ligga på 15–20 % vid odlingens start. Den största nedgången procentuellt sett har substrat 1, 2 och 3 haft. Störst minskning har substrat 2 haft på 37%. Substrat 4, 5 och 6 har haft en liknande minskning på ca 10%.

3.2. Kemiska mätningar

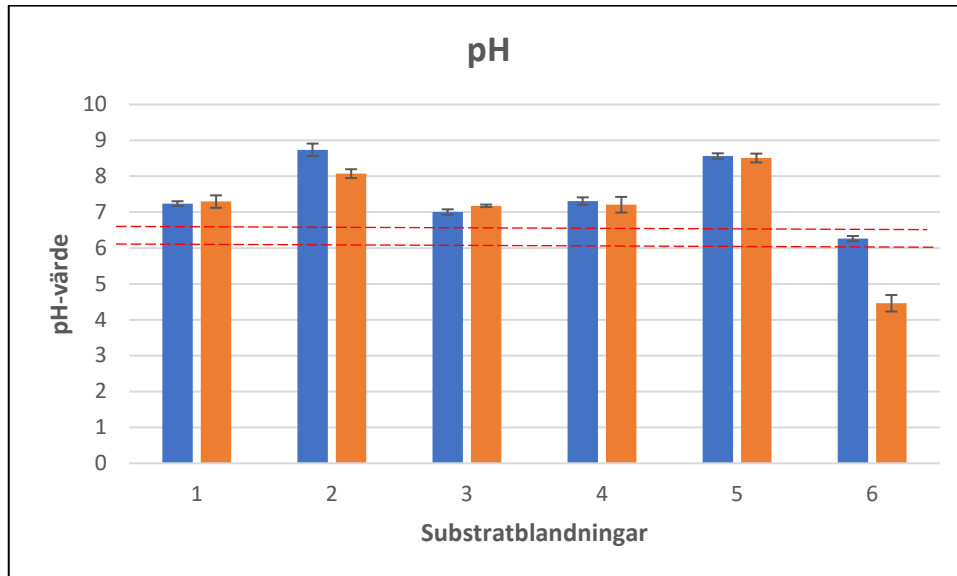
Resultaten grundar sig på de Spurway-analyser som gjorts på substraten vid försökets start och slut.

Rudin (1999) har listat upp de riktvärden som en plantskoleväxt behöver (tabell 4). Dessa värden refereras det till i texten nedan.

Tabell 4. Riktvärden för analys av substrat, enligt Spurway-analys. (Rudin 1999) (Ahlström 2022)

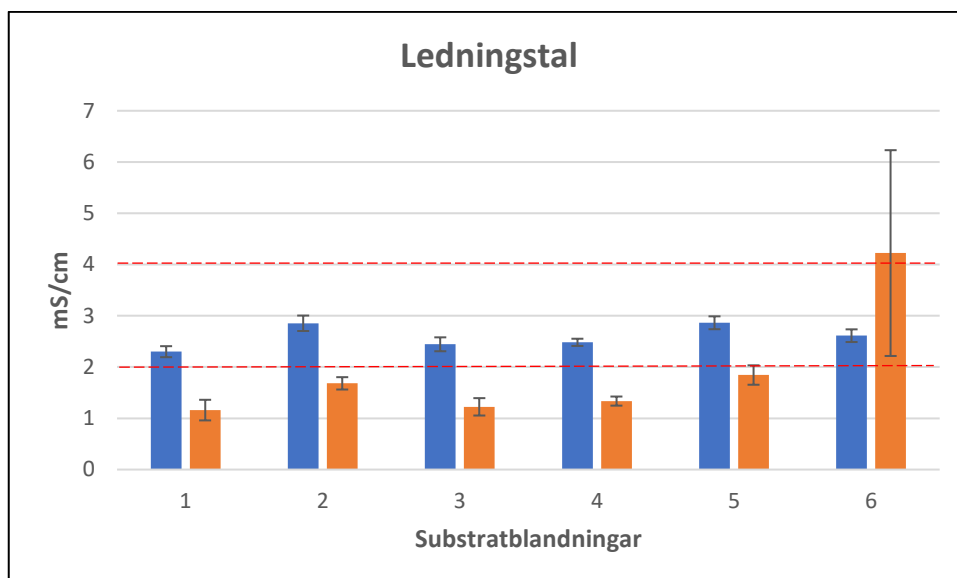
pH	6–6,5
Ledningstal	2–4 mS/cm
Kväve (N)	100–150 mg/l
Fosfor (P)	50–75 mg/l
Kalium (K)	150–200 mg/l
Magnesium (Mg)	80–100 mg/l
Kalcium (Ca)	600–800 mg/l
Svavel (S)	50–80 mg/l
Mangan (Mn)	3–5 mg/l
Järn (Fe)	4 mg/l
Bor (B)	0,5–0,8 mg/l
Klor (Cl)	<30 mg/l
Natrium (Na)	<50 mg/l
Aluminium (Al)	2 mg/l

3.2.1. pH och Ledningstal



Figur 6. pH-värde vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$). Riktvärde markerad med horisontell linje.

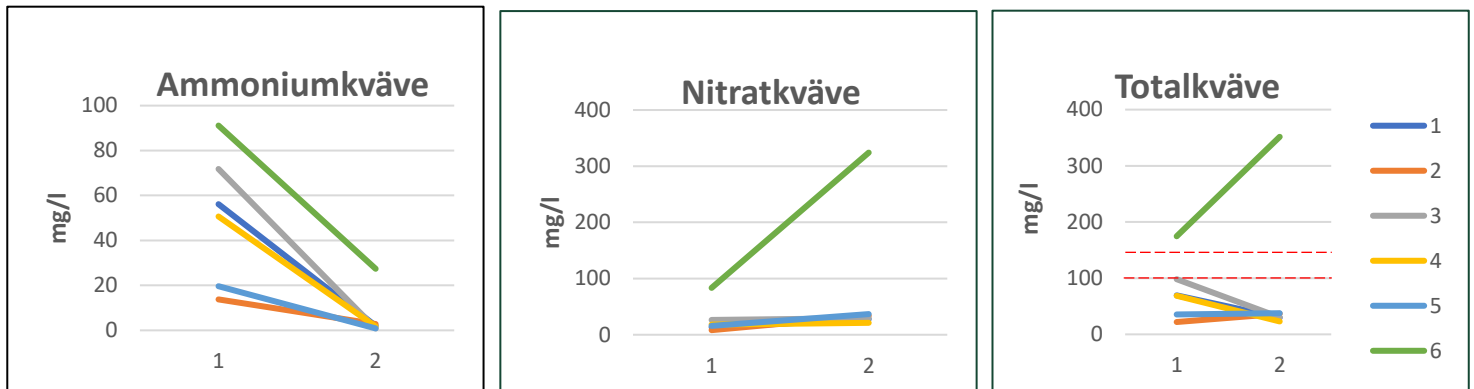
pH-värdet vid de olika leden har skiljt sig mycket åt både vad gäller startvärdet och om det har haft en nedgång eller uppgång under försökets gång (figur 6). Substrat 6 hade det lägsta värdet vid starten (6,3) och hade också den kraftigaste nedgången på 28% ner till 4,5. Substrat 1, 3 och 4 följs åt och har snarlika värden med ett startvärde på 7 och strax över. Vid mätningen vid slutet har det inte förändrats mer än några procent upp eller ner. Substrat 2 och 5 har liknande värde och ligger över 8 vid hela försöksperioden och de har haft en svag nedgång vid slutets mätning. Alla substrat förutom substrat 6 ligger över riktvärdet på 6–6,5 under hela försöksperioden.



Figur 7. Värde för L_t vid försökets start (blå stapel) och slut (röd stapel). 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$). Riktvärde markerad med horisontell linje.

Vid mätning av ledningstalet skiljer sig referensen (substrat 6) ut från de andra (figur 7). Efter ett startvärde på 2,6 mS/cm sker en ökning till 4,2 mS/cm, en ökning på 62%. Enligt den statistiska analysen har substrat 6 också en stor standardavvikelse. De andra substraten har startvärde över 2 mS/cm, men har sedan en minskning av värdet på ledningstalet. Störst minskning har substrat 1, 3 och 4 haft på cirka 50%. Substrat 1 har startvärde på 2,3 mS/cm som sedan sjönk till 1,2 mS/cm. Högst ledningstal vid starten har substrat 5 som bestod av biokol, halm, kogödsel och skumglas. Vid försökets start är alla led inom riktvärdet på 2–4 mS/cm. Efter fyra månader har ledningstalet minskat och substrat 6 är de enda som ligger inom det värde som Rudin (1999) förespråkar.

3.2.2. Kväve

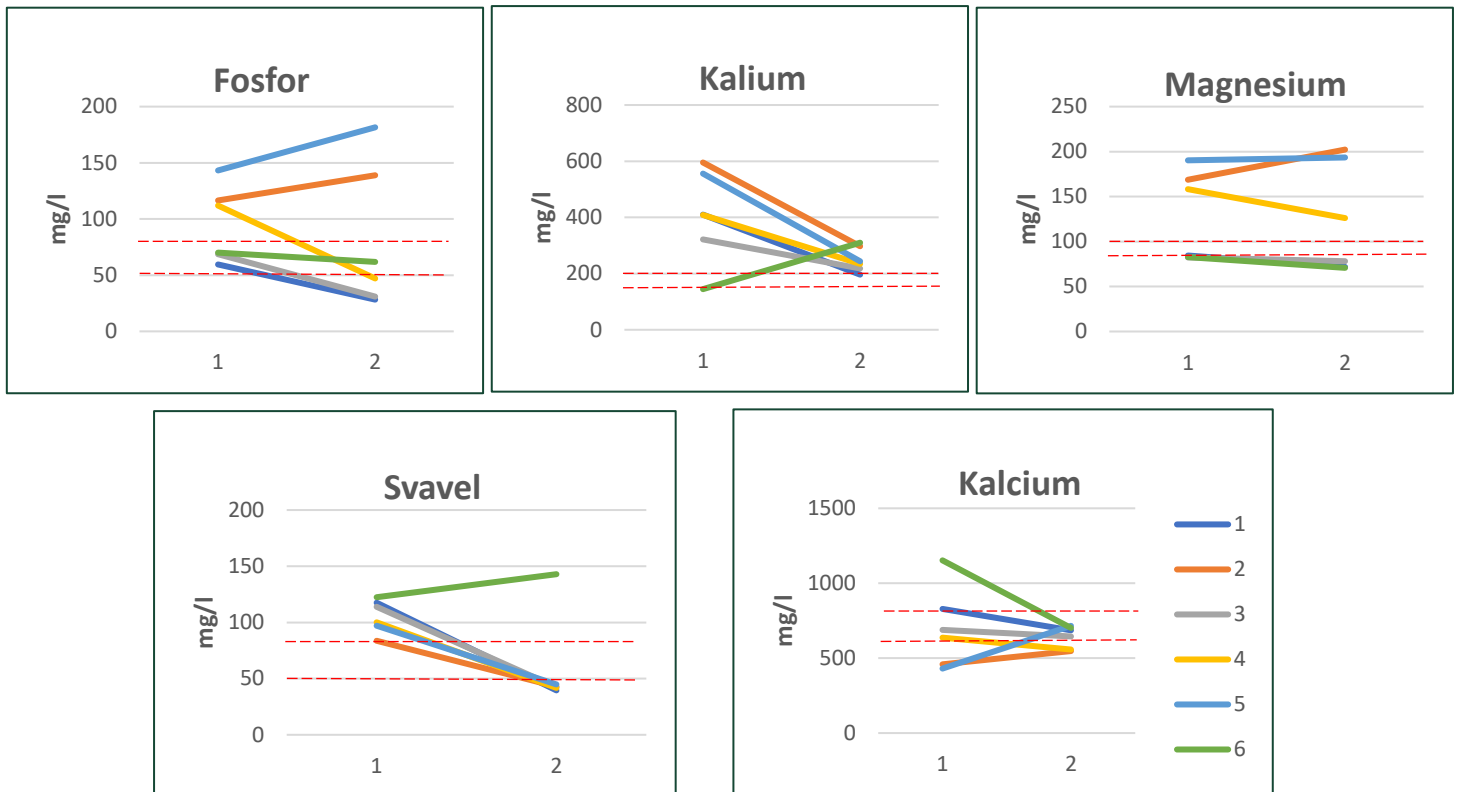


Figur 8. Värde från Spurway-analys vid försökets start och slut för NH_4 , NO_3 och total halt N. 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Riktvärde för totala halten kväve markerad med horisontell linje.

Riktvärdet för den totala halten kväve ligger på 100–150 mg/l (figur 8). I försöket har ammoniumkväve (figur 8) varierande värden från ett startvärde på 91 mg/l för substrat 6 ner till 14 mg/l för substrat 2 med biokol, halm och kogödsel. Vid sista mätningen har närmast allt ammoniumkväve försvunnit från substrat 1, 3, 4 och 5. Minskningen har varit över 95% för de blandningarna. Substrat 2 har ett lågt startvärde och dess minskning med 80% blir ner till 3 mg/l. Slutvärdet för substrat 6 blir 27 mg/l och minskningen är således 70%.

Även för nitratkvävet (figur 8) urskiljer sig referensen med 100% torv. Efter ett startvärde på 83 mg/l ökar det upp till 324 mg/l vid den sista mätningen. Inom de fem replikaten för referensen är det stor standardavvikelse. De andra fem substraten följs åt då de har lägre start värden. Substrat 2 med biokol, halm och kogödsel har allra lägst på 8 mg/l, där sker det sedan en ökning med 312% upp till 34 mg/l. Substrat 3 har den minsta ökningen från 26 mg/l till 30 mg/l. Ser man till den totala mängden kväve, ligger startvärden för referensen på 174 mg/l och substrat 3 på 98 mg/l nära de riktvärdena på 100–150 mg/l som Rudin (1999) föreslår. Medan de andra ligger under och substrat 2 har lägst på 22 mg/l. Vid sista mätningen ligger substrat 1, 2, 3, 4 och 5 klart under riktvärdet på runt 30 mg/l. Substrat 6 ligger mycket över med 350 mg/l.

3.2.3. Fosfor, Kalium, Magnesium, Svavel och Kalcium



Figur 9. Värde från Spurway-analys vid försökets start och slut för P, K, Mg, S och Ca. 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Riktvärde markerad med horisontell linje.

För fosfor (figur 9) har substrat 1 och 3 följts åt med liknande startvärden på ca 60 mg/l och sedan en nedgång på strax över 50%, där värdet hamnar under riktvärdet på 50–75 mg/l. Även substrat 4 och referensen har haft en nedgång där substrat 4 har haft den kraftigaste på 58% från 112 mg/l till 47 mg/l. De substraten utan inblandning av torv, substrat 2 och 5 har i stället haft en ökning på 20% respektive 27% av fosfor, från redan höga värden. Startvärde för substrat 2 var 116 mg/l och för substrat 5, 143 mg/l.

Referensen (substrat 6) är det led som har startat inom riktvärdet för kalium (150–200 mg/l) (figur 9). Det ledet har sedan en ökning på över 100%, från 145 mg/l till 310 mg/l. De andra leden har haft minskning av sitt värde vid den sista mätningen. Substrat 2 och 5 har högst startvärde med upp mot 600 mg/l, dessa substrat innehöll ingen torv. Deras minskning ligger sedan på runt 50%. Ser man till substrat 1 och 4 är deras startvärde lite lägre med runt 400 mg/l och slutvärdet för deras del hamnar i det övre spannet på riktvärdet. Substrat 3 har den lägsta

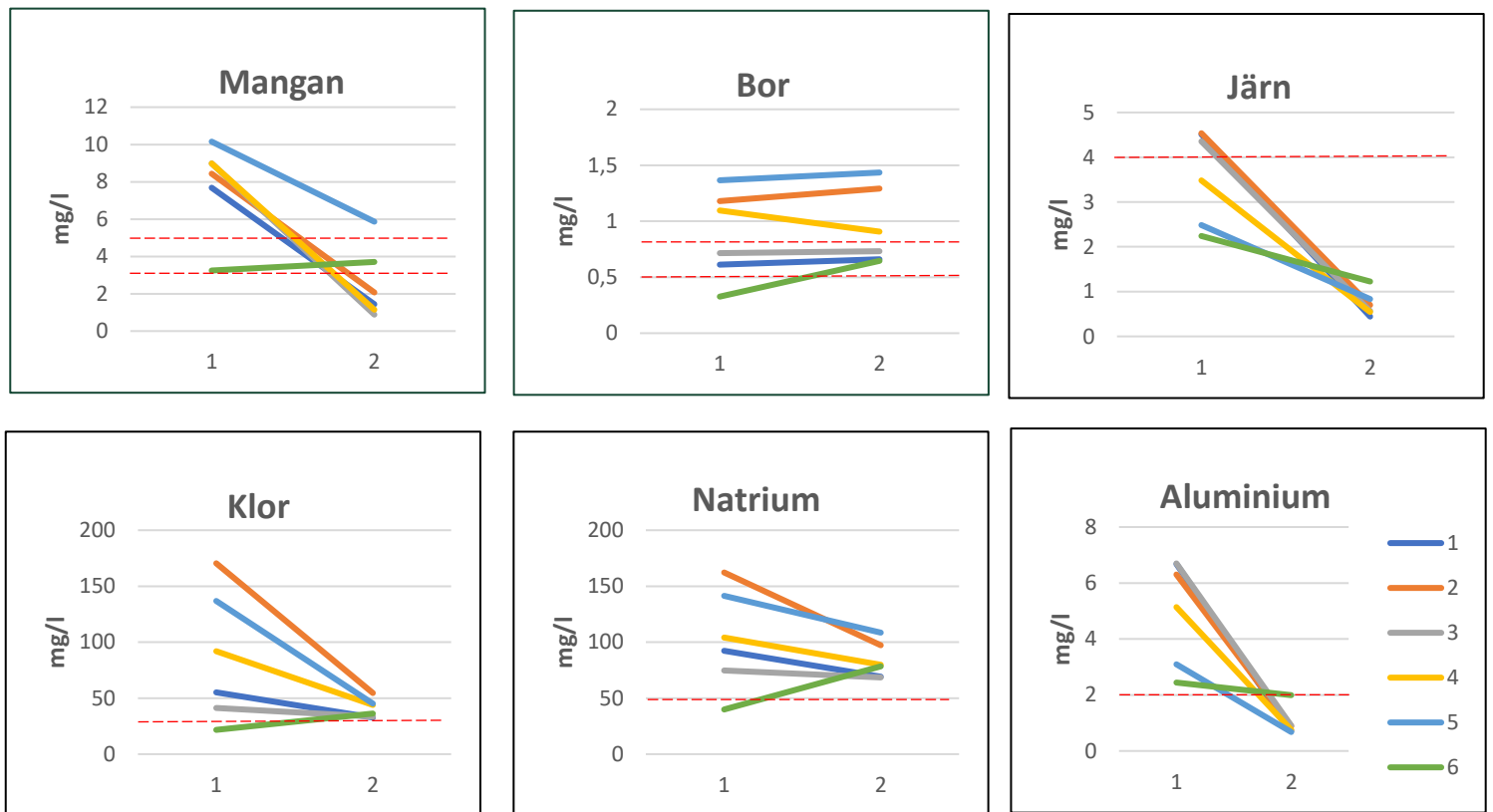
minskningen på 30% och slutvärdet är 219 mg/l. Ser man till vart och ett av leden har referensen den största standardavvikelsen inom ledet.

Magnesiumhaltens riktvärde för plantskoleväxter ligger mellan 80–100 mg/l (figur 9). Substrat 1, 3 och 6 följs åt under försökets gång och har startvärden på runt 80 mg/l och har sedan en liten nedgång på ca 10%. Substrat 4, med biokol, torv och kogödsel, har en större nedgång på 20% från höga värdet 158 mg/l. Substrat 2 och 5 har liknande utveckling och har en ökning på 20% respektive 2%. De har också högst startvärde på 169 mg/l respektive 190 mg/l.

Ser man till svavel (figur 9) har substrat 1, 2, 3, 4 och 5 en snarlik utveckling. De börjar över riktvärdet som är på 50–80 mg/l och får ett slutvärde på under riktvärdet. Utav de fyra substraten har substrat 1 det högsta startvärdet på 118 mg/l. Slutvärdet för substrat 1, 2, 3, 4 och 5 hamnar på ca 40 mg/l. Däremot har referensen en ökning av svavel på 40%, från 123 mg/l till 143 mg/l.

Kalcium har ett riktvärde på 600–800 mg/l (figur 9). Substrat 6 har ett högt startvärde på 1153 mg/l men minskar sedan med 40% till 701 mg/l. Substrat 2 och 5 har haft en uppgång vid försökets slut. Kraftigast uppgång har substrat 5, med biokol, halm, kogödsel och skumglas, med 67%, från 430 mg/l till 715 mg/l. Substrat 1 har en minskning av startvärdet på 17% till 686 mg/l. Även substrat 3 och 4 minskar sina värden vid sista mätningen, men håller sig relativt inom riktvärdet.

3.2.4. Mangan, Bor, Järn, Klor, Natrium och Aluminium



Figur 10. Spurway-analys vid försökets start och slut för Mn, B, Fe, Cl, Na och Al. 1: B33, T33, H33. 2: B33, H33, K33. 3: B33, T42, H25. 4: B33, T33, K33. 5: B33, H16, K33, S16. 6: T100. Riktvärde markerad med horisontell linje.

Vid mangan (figur 10) har substrat 1, 2, 3 och 4 haft kraftiga minskningar vid försökets slut och de har följts åt under försökets gång. Även vid detta näringsämne har minskningen varit upp mot 90%. Substrat 1, 2, 3 och 4 har alla ett startvärde över riktvärdet på 3–5 mg/l för att sedan ha ett slutvärde under riktvärdet. Blandning 5 har inte samma kraftiga nedgång och har minskat med 42%, från 10,2 mg/l till 5,9 mg/l. Medan referensens värde har stigit vid den sista mätningen med 14% till 3,7 mg/l.

Vad gäller bor (figur 10) har alla substratblandningar haft en uppgång vid den sista mätningen förutom blandning 4, där det var lika delar av biokol, torv och kogödsel. Där var det en svag nedgång av halten bor. Hos referensen ökade halten med bor till det dubbla och det är den kraftigaste uppgången bland substraten. Vid den sista mätningen låg halten bor hos referensen på värden inom bör-värdet som är 0,5–0,8 mg/l för plantskoleväxter. Ser man till ökningen hos substrat 2 (upp till

1,2 mg/L) och 5 (upp till 1,4 mg/l) är det en höjning på några % från redan höga värden. Dessa substrat innehöll ingen torv.

Järnhalten har vid alla blandningar sjunkit vid den andra mätningen (figur 10). Minskningen har varit lika mellan de olika substraten. Substrat 6, med 100% torv, och substrat 5 som består av biokol, halm, kogödsel och skumglas, har den minsta nedstigningen. Enligt Rudin (1999) ligger riktvärdet för järn på 4 mg/l.

Riktvärde för klor bör vara under 30 mg/l (figur 10). Alla substratblandningar förutom referensen har haft en nedgång utav klor under försöksperioden och närmar sig riktvärdet. Störst minskning har substrat 2 och 5 haft på ca 70%. Substrat 2 har ett startvärde på 170 mg/l medan substrat 5 startade på 137 mg/l. Uppgången som skedde för referensen hamnar på 67% från att vara under riktvärdet på 22 mg/l till att hamna på över 36 mg/l.

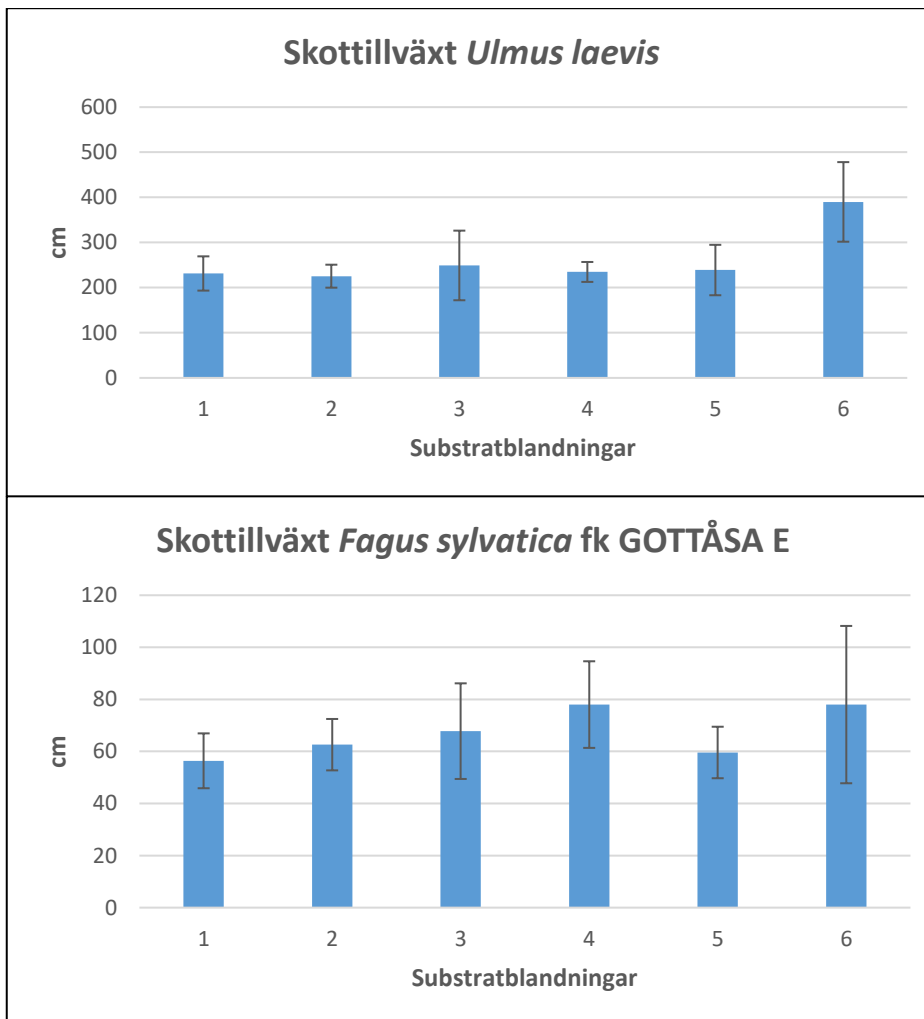
Riktvärde för natrium ligger på <50 (figur 10). Under försökets gång är det bara startvärdet för substrat 6 som har varit vid det riktvärdet, de andra har varit över. Förutom referensen har blandningarna fått ett minskat värde vid försökets slut. Substrat 2 och 5 skiljer sig från de andra på grund av det höga värdet vid försökets start, 162 mg/l respektive 141 mg/l, de har ingen torv inblandad. Den kraftigaste nedgången på 40% har substrat 2 haft. Referensen ökar från 40 mg/l till 78 mg/l, en ökning på 97%.

Halten av aluminium har minskat under försökstiden för alla substrat (figur 10). Den lägsta minskningen har varit för substrat 6. Där sjönk halten med aluminium med 45%, från 2,4 mg/l till 2 mg/l. Blandningar 1, 2, 3 och 4 följer varandra, med en minskning på ca 90%. Högst startvärde hade substrat 1 och 3 med 6,7 mg/l. Dessa innehöll biokol, torv och halm i lite olika procentsatser. Medan substrat 5 och 6 skiljer sig från de andra med en något lägre minskning. Riktvärdet för aluminium ligger på 2 mg/l.

3.3. Skottillväxt och rottillväxt

Svårt att se några tydliga tendenser vid mätningar av skott- och rottillväxt. En månad efter försökets start blev en del av bladen brända av solens stålar på *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E, det var vid substrat 1, 2, 3, 4 och 5. Efter ytterligare en månad räckte inte vattnet till i den delen av försöket som hade växter. Även här får en del plantor, av både *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E och *Ulmus laevis*, brända blad på grund av vattenbrist. De krukor med plantor började då ges vatten två gånger per vecka under en månads tid.

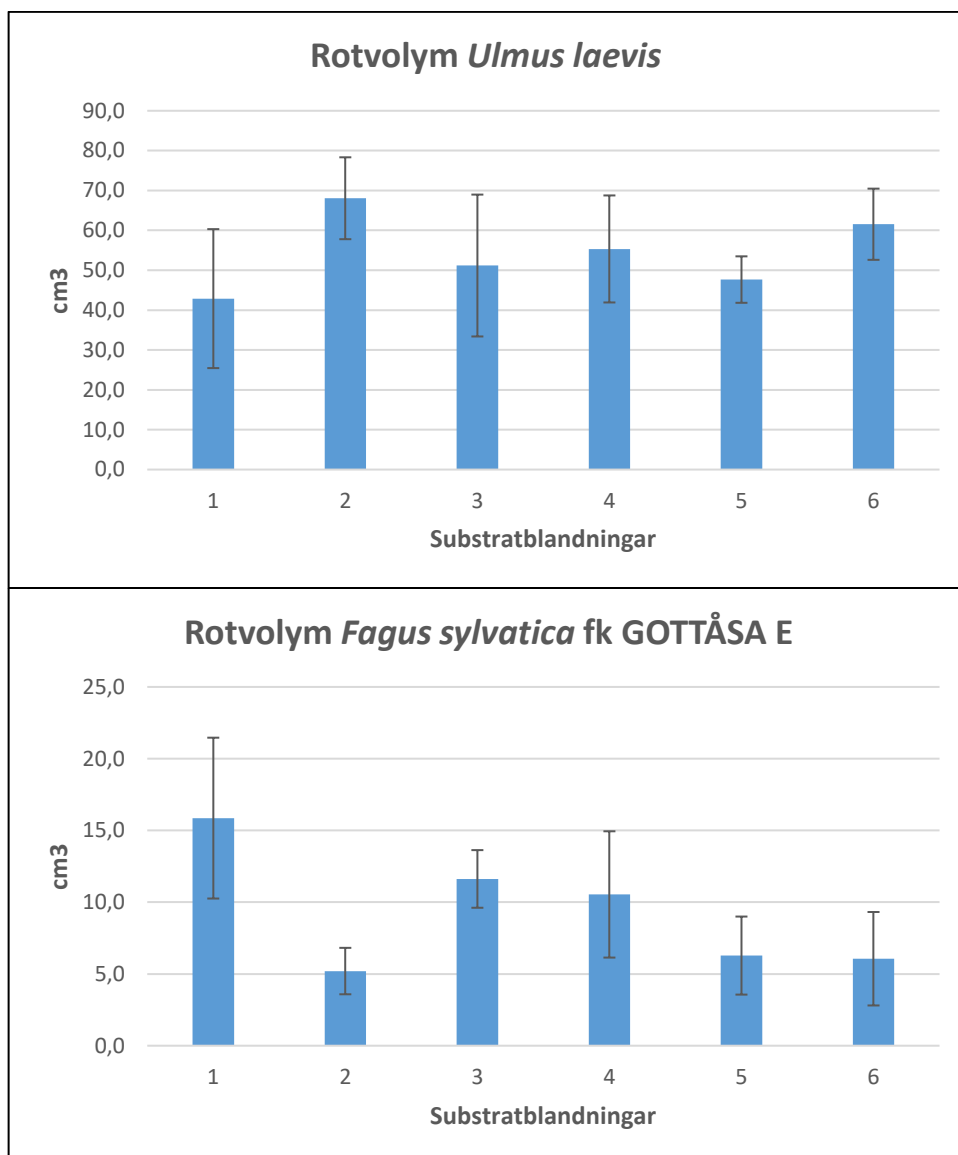
Eftersom det hade varit yttre påverkan på plantorna kan det ha påverkat deras förmåga till tillväxt både på skott och rötter.



Figur 11. Genomsnittlig nytillväxt på skotten för *Ulmus laevis* och *Fagus Sylvatica* fk GOTTÅSA E efter 4 månaders tillväxt. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$).

Medeltillväxten hos *U. laevis* var i stort sett lika mellan alla substrat, strax över 200 cm, förutom hos referensen (figur 11). Vid substrat 3 och referensen var det större standardavvikelser än vid de andra leden. Det ledet som har haft störst tillväxt är referensen med 100 % torv.

Skotttillväxten hos *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E varierar en del mellan de olika leden (figur 11). Den minsta tillväxten har skett hos substrat 5 och 1, medan den största tillväxten på skotten har varit hos substrat 4 och referensen.



Figur 12. Genomsnittlig rotvolym för *Ulmus laevis* och *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E efter fyra månaders tillväxt. Staplarna visar medelvärde ($n=5 \pm SA$).

Ser man till rotvolymen varierar det mycket mellan de olika substraten och växtslagen. Det har också varierat mycket inom de olika leden. Den sämsta tillväxten har skett hos *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E (figur 12). Vid det försöket har substrat 1 haft den bästa tillväxten på rötterna. Sämst tillväxt har det varit hos substrat 2, 5 och referensen.

Hos *U. laevis* har skillnaderna inte varit lika stora mellan de olika leden (figur 12). Fast det även här varit stora skillnader inom leden. Bäst tillväxt har det varit hos substrat 2. Substrat 1, 3 och 5 har haft en något sämre tillväxt vad gäller rötter.

4. Diskussion

Genom att använda andra typer av substrat till odling av träd och buskar i plantskolenäringen kan man minska användningen av torv. För att se möjligheterna till att hitta alternativ till delar i ett, ur växtens synpunkt, bra substrat, har ett flertal olika material undersökts i detta självständiga arbete.

På de olika substraten har olika fysiska och kemiska mätningar gjorts för att försöka urskilja för- och nackdelar med de olika varianter som försöken innehöll.

Vid kontrollen av substratens struktur och densitet är det varierande resultat. Störst skillnad mellan substraten är på lufthållande makroporer, där substraten med stor andel halm förändras mycket under försökets gång. Rent visuellt kan man se stora skillnader mellan substraten innehållande halm vid första och sista mätningen.



Figur 13. Substratblandning 2: B33, H33, K33, vid start (ovan) och slut (nedre). Foto: Annika Svensson.

Ser man till de fysikaliska mätningarna som gjorts håller referensen med 100% torv och substrat 4: B33, T33, K33 den bästa formen och är relativt stabila under försökets fyra månader. Halmen har i stort sett brutits ner under tiden försöket har pågått. Ett substrat bör ha organiska material som håller strukturen under den perioden som kulturen pågår (Rudin & Nordström 1993). Halmen har en snabb nedbrytning (Eriksson et al. 2017) och bryts ner snabbare än tex torv. Så den positiva strukturförbättringen som halm har blir kortvarig.

Detta noterades vid kontrollen av den torra skrymdensiteten (figur 1), där ökar densiteten för de substrat med stor mängd halm vid den sista mätningen. Har man för låg densitet riskerar det att krukorna blir för lätta och välter därmed lättare ute i produktionen (Hendreck & Black 2010). Störst skillnad är det för substrat 2: B33, H33, K 33.

Man ser inte samma tydliga tendens vid kompaktdensiteten (figur 2). Där fanns det varierande resultat och man såg inte samma tydliga mönster som med den torra skrymdensiteten. Ett flertal av materialen hade ganska stora fraktioner, detta kan ha påverkat resultatet vid mätningar av kompaktdensiteten. Vid kontrollen av kompaktdensitet användes bägare med storlek 50 ml och det blev avgörande om provet innehöll en stor bit tex skumglas eller inte. Även halmen hade stora fraktioner och blev därmed avgörande vid hur mycket halm som fanns med. Detta kan eventuellt förklaras med att det borde utförts fler upprepningar för att få fler värden att räkna ut ett medelvärde på, alternativt använt bägare med större volym. Troligtvis hade större bägare gett bättre resultat.

Vid uträkningar av porositeten (figur 3) ser man att samtliga substrat har haft en liten minskning av porer under försökets period. Substrat 1: B33, T33, H33 och substrat 5: B33, H16, K33, S16 har haft en minskning på bara några procent. Naturliga torvjordar har en stor andel porer och dess porositet kan ligga på över 90% (Sjöman & Slagstedt 2015). Porositeten för försökets delar har ett startvärde på över 80% för alla utom substrat 5: B33, H16, K33, S16, som ligger strax under. För att porositeten i ett substrat ska vara tillfredsställande bör den ligga på 60–80% (Hendreck & Black 2010).

Delar man upp porerna i vattenhållande och lufthållande ser man ökning av de vattenhållande hos alla substrat vid försökets slut. Vid figur 4 kan man se störst skillnad vid substrat 1: B33, T33, H33 och substrat 2: B33, H33, K33. Dessa båda innehåller halm och eftersom halmen har brutits ner ökar den vattenhållande förmågan.

Har man substrat innehållande stora mängder organiskt material bryts dessa ner under växtens tid i krukan. Detta medför att den vattenhållande förmågan ökar (Bunt 1988). Enligt Robbins och Evans (u.å.) bör den vattenhållande förmågan vara 45–65%. När den vattenhållande förmågan ökar minskar följaktligen de lufthållande makroporerna (figur 5) vid alla substrat vid den sista mätningen. Där

ser man den kraftigaste minskningen av porerna vid substrat 1: B33, T33, H33, substrat 2: B33, H33, K33 och substrat 3: B33, T42, H25. Minskningen beror troligtvis på dess innehåll av halm. Enligt Hansen och Walla (2000) bör minst 15–20% i substratet vara lufthållande porer.

Vid kontrollen av skott- och rottillväxt som skedde vid försökets slut fanns det vissa parametrar som antagligen har påverkat mätresultaten. Vid mätningen av rottillväxten (figur 12) var det svårt att få en rättvis bild av rottillväxten. Det fanns svårigheter att få bort allt substrat, framför allt på de som har haft stor del av torv inblandat. Resultatet av rottillväxten hos substrat 6: T100 kan också bero på att de har fått för mycket vatten. Till de andra substratblandningarna räckte inte vattnet till under sommaren. När de började torka och fick mer vatten ökades även mängden hos substrat 6: T100 för att alla led skulle behandlas lika. Vid en plantskoleproduktion hade substrat 6: T100 inte givits så mycket vatten, då de aldrig torkade upp under perioden mellan vattningarna. Vid för hög tillgång på vatten minskar rötternas tillgång på syre och det medför att växten inte kan ta upp vatten och näring (Handreck & Black 2010).

Vid mätning av skotttillväxten (figur 11) kan resultaten också påverkats av vissa parametrar. *Fagus sylvatica* fk GOTTÅSA E, fick under försökets gång brännskador av solen vid ett tillfälle. En del plantor av ovannämnda fick också ett förmodat lusangrepp och det har troligtvis påverkat resultatet. Innan vattenmängden justerades fick *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E och *Ulmus laevis* till viss del torkskador. Detta har troligtvis påverkat skotttillväxten.

Om man jämför rotvolymen (figur 12) hos *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E och *U. laevis* kan man inte se samma tendenser hos de båda växtslagen. Det är en utmaning att mäta rotvolym och det är svårt att se några tydliga skillnader mellan behandlingarna i detta försök. Till exempel har substrat 2: B33, H33, K33 bäst tillväxt på rötterna hos *U. laevis* medan den minsta rotvolymen hos *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E är i ovannämnda substrat. Det samma gäller för substrat 6: T100. Rottillväxten hos de båda växtslagen kan ha påverkats av hur de vill ha det naturligt. Enligt Sjöman och Slagstedt (2015) tål *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E inte torka utan vill ha kalkhaltiga mullrika jordar med en bra vattenhållande förmåga. *U. laevis* har däremot mer acceptans mot olika ståndorter och de har en kraftigare rottillväxt (ibid).

Resultaten från skotttillväxten (figur 11) är mer jämn över växtslagen, men spridningen är större inom. *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E med stora standardavvikelser vilket försvårar analys och möjligheten att dra slutsatser. Vid kontroll av tillväxt på skott hos *F. sylvatica* fk GOTTÅSA E har bäst tillväxt skett hos substrat 4: B33, T33, K33 och substrat 6: T100. Eftersom substraten har innehållit samma mängd biokol kan man inte se om pH-värdet på biokolen har påverkat tillväxten hos det växtslag som helst vill ha kalkhaltigt. Hade man haft

olika procentsatser på biokolen kunde man eventuellt sett skillnader. Hos *U. laevis* har bäst skotttillväxt skett hos substrat 6: T100. De andra är jämbördiga och har en genomsnittlig tillväxt på strax över 200 cm.

Vad gäller de kemiska mätningarna på substraten har det varit svårt att få någon samstämd bild över alla näringsämnen. Eftersom substraten har innehållit många olika material har det varit svårt att se vad som har påverkat resultaten. Hur mycket har biokolen påverkat näringshalten i substraten? Håller biokolen näringen hårt eller har den försvunnit ut i dräneringsvattnet med askan från biokolen? I diskussionen har valet gjorts att inte ta med alla ämnen utan de som på något sätt har stuckit ut i Spurway-analysen.

Ser man till de Spurway-analyser som gjordes vid försökets start och slut togs inte de långtidsverkande kornen bort från torven. Dessa har troligtvis påverkat halten av näringsämnen, framför allt vid den sista mätningen. Då krukorna stod i växthus under försökets tid har utsöndringen av den långtidsverkande näringen gått fortare, 21°C är den temperatur som frisättningstiden av näringen baseras på (Alsanius 2002).

Valet gjordes att använda den torv som plantskolan använder till sin odling av träd och buskar. För att få mindre påverkan på substraten och för att se biokolens effekt bättre, borde det används okalkad torv utan långtidsverkande näring.

pH-värdet (figur 6) blev som tänkt lägst i referensen med 100% torv. Substrat 1: B33, T33, H33, substrat 3: B33, T42, H25 och substrat 4: B33, T33, K33 har också liknande värden, då dessa innehåller torv tillsammans med andra material. Högst pH får substrat 2: B33, H33, K33 och substrat 5: B33, H16, K33, S16 då de blandningarna inte innehåller någon torv. Det högre pH-värdet i de sistnämnda substraten kan också ha förklaring i tillsatsen av organiskt gödselmedel. Stallgödsel har ett naturligt högt pH (Ögren 2019). Ser man till mätningar vid start och slut är de stabila och ändrar sig inte speciellt mycket förutom vid referensen med 100% torv, där går värdet ner ännu lite mer. Vill man använda biokol till odlingar utan att ta bort all torv kan man använda okalkad torv för att försöka få ner pH eller använda inblandning av torv och ensilage (ibid).

Vid starten av försöket har det varit snarlika värden på ledningstalet (figur 7) och det ligger vid de rekommenderade riktvärden, 2–4 mS/cm, som finns för plantskoleväxter (Rudin 1999). Spurway-analysen vid slutet visar tydligt att de långtidsverkande kornen borde tagits bort. Ledningstalet vid referensen har stigit kraftigt och det är stora standardavvikelser inom det ledet.

Om man ska se till var och ett av de näringsämnen som kontrolleras vid en Spurway-analys har det som tidigare nämnts varit svårt att veta vad de olika resultaten har berott på. Vid den statistiska analysen som gjordes på Spurway-resultaten kunde man se vissa tydliga tendenser. Substrat 6: T100 låg ofta ensam vid jämförelser mellan de olika substraten. Substrat 1: B33, T33, H33 och substrat 3: B33, T42, H25 följdes ofta åt genom deras snarlika innehåll. Likväl följdes substrat 2: B33, H33, K33 och substrat 5: B33, H16, K33, S16 åt. Det senare kan förklaras med att dessa substrat inte innehöll någon torv. Vid analys av diagrammen som utförts på de olika näringsämnena kan man se att det ofta är höga halter av fosfor, kalium, magnesium, mangan, bor, klor, natrium och aluminium vid de substrat som innehåller kogödsel (substrat 2, 4, 5).

Den totala kvävehalten vid starten av försöket ligger under riktvärdet på 100–150 mg/l (Rudin 1999) för alla substrat (figur 8) förutom substrat 3: B33, T42, H25 och substrat 6: T100. Där värdena ligger runt riktvärdet. Ser man i stället till den sista mätningen ligger substrat 6: T100 kraftigt över riktvärdet medan de andra ligger mycket under. Det höga kvävevärdet på referensen kan eventuellt förklaras med de långtidsverkande kornen som har löst ut under försökets tid. Eftersom halmen i sig har låg kvävehalt fastläggs det kväve vid nedbrytningen av halmen. I och med halmens snabba omsättningshastighet blir påverkan på växternas näringstillgång kortvarig (Ögren 2019). Vid tillförsel av halm i substrat, som har mycket biologisk aktivitet, kan halmen brytas ner till 50–60% under första året (Eriksson et al. 2017). Detta kan förklara resultaten för kvävehalten hos de substrat som innehöll halm. Substrat 2: B33, H33, K33 och substrat 5: B33, H16, K33, S16 har mycket låga halter av kväve vid båda mätningar. Det kan tyda på att biokolen inte har laddat så mycket som önskats. Eller att kvävet sitter kvar på biokolen. Även om det har varit låga halter av kväve för de två sistnämnda substraten har det ändå varit god tillväxt, men det kan bero på att försöket inte har pågått under någon längre tid.

För fosfor (figur 9) ligger startvärdet högt för tre av substraten (2, 4, 5). Substrat 2: B33, H33, K33 och substrat 5: B33, H16, K33, S16 ökar sedan också under försökets tid. Substrat 4: B33, T33, K33 har högt värde i början, men minskar sedan. Dessa tre blandningar har inblandning av kogödsel. De två förstnämnda har ingen torv inblandad. När man använder organiskt material i substrat ökar halten av fosfor (Ögren 2019). Även om halten av fosfor är mycket över riktvärdet på 50–75 mg/l (Rudin 1999) påverkas inte växterna nämnbart av det (Båth u.å.). Det som kan påverka växtens tillgänglighet på fosfor är substratens höga pH. Om man jämför substratblandningarna med organogena jordar bör de ha ett pH på 5–6 för att växterna ska kunna tillgodose sig fosfor. Har man ett högre pH bildar fosfor föreningar med kalcium (Ögren 2019).

Halm innehåller stora mängder kalium (Ögren 2019) och de substraten (figur 9) med innehåll av halm har haft höga startvärden av just det grundämnet. Kalium är inte bundet till någon organisk förening utan det frigörs med en gång från det organiska materialet som tillsatts (ibid). Startvärdet har legat upp mot tre gånger så högt som riktvärdet på 150–200 mg/l (Rudin 1999). Är halten kalium högt kan det påverka växtens förmåga att ta upp magnesium (Eskilsson 1992).

Vid mätningar av halten aluminium (figur 10) kan man se höga halter vid flertalet av substratblandningarna. Höga aluminiumhalter kan visa på att lerpartiklar från torvblandningen har gått igenom filtreringen vid Spurway-analysen. Men så länge substratens pH värde ligger över 5,5 är aluminiumet inte tillgängligt för växterna (Ahlström 2021). Är aluminium tillgängligt har det en tillväxthämmande effekt på växter (Fogelfors 2001).

Magnesiumhalten (figur 9) ligger högt för substrat 2: B33, H33, K33, substrat 4: B33, T33, K33 och substrat 5: B33, H16, K33, S33. Det som dessa substrat har gemensamt är dess innehåll av kogödsel. Enligt Alsanius (2002) beror den höga magnesiumhalten på den tillsatta stallgödseln. Det kan uppträda magnesiumbrist vid höga halter av ammoniumkväve och kalium. Samma kan ske vid högt pH i organogena jordar (Ögren 2019). Detta kan således ske vid några av de substratblandningar som finns i detta försök. Kaliumhalten är hög vid starten för alla led förutom referensen. Den sista mätningen visar på att halten har minskat, men är fortsatt över riktvärdet.

Efter att alla mätningar och analyser var utförda insåg jag att vissa förbättringar bör göras innan man gör ett liknande försök. Man kunde lagt upp försöket lite annorlunda och eventuellt gjort fler mätningar för att få ett rättvisare resultat. Ett annat val man kunde gjort var att inte ha så många olika material i substratblandningarna.

Det har varit svårt att hitta liknande undersökningar för att ha något att jämföra med. Svårigheter har också varit att alltid få rättvisa resultat och man kunde lagt upp försöken på annat sätt.

- Laddat biokolen längre
- Använt okalkad och ogödslad torv
- Tagit prover på dräneringsvatten
- Analyserat biokolen innan och efter laddning
- Gjort analyser på vart och ett av material innan start

Biokolen kunde laddats under längre tid. Det har varit svårt att veta hur mycket biokolen laddats innan försöken startade. Tillsatsen av näring i biokol skedde utomhus och det var kallt under den perioden som NPK blandades i biokolen för att sedan lösas upp och det tog förmodligen längre tid, än försökets 12 timmar på grund av temperaturen. Analyser borde gjorts på biokolen både före och efter laddningen för att se skillnaden. För att veta hur mycket näring som dränerades bort från substraten hade även prover på lakvattnet underlättat vid analysen av resultaten. Mycket av näringen som biokolen eventuellt tagit upp kan ha försvunnit ut med vattnet, via askan (Syrén 2022). Vid försökets start hade det varit bra om det gjorts Spurway-analys på alla material som var med i blandningarna för att se vad de kan ha påverkat resultaten.

Det var svårt att veta vad biokolen hade för effekt på tex tillväxten på de växter som var med i försöken. Valet gjordes att använda fullgödslad och kalkad torv. För att lättare kunna analysera biokolens nytta kunde man i stället använt ren torv utan tillsatt näring och kalk.

Ser man till helheten av försöken har substrat 4: B33, T33, K33 och substrat 5: B33, H16, K33, S16 stora möjligheter att bli bra substratblandningar för plantskolenäringen. Substrat 4: B33, T33, K33 har under försökets tid varit stabilt och inte haft några större svängningar när de fysikaliska egenskaperna testades. Vid de kemiska mätningar som skett är det substratet i mitten på alla mätningar. Substrat 5: B33, H16, K33, S16 har också potential med vissa justeringar. Om man vill efterlikna kolmakadam kan denna blandning passa för träd i Air-Pot. Genom en tillförseln av skumglas får man en lättare substratklump med god syretillgång. Det har varit lite sämre tillväxt i detta substrat genom att det inte har varit någon tillsatts av näringsberikad torv. Ändå har ledningstalet varit inom riktvärdet. pH-värdet har varit utav den högre graden, fast det går att justera vid en tillsatts av tex okalkad torv. De fysikaliska testerna har varit varierande för det sistnämnda substratet. Värden för de vattenhållande porerna har varit lite lågt, men den totala porositeten har varit inom riktvärdet. Den lite sämre vattenhållande förmågan går också att justera genom en tillsatts av torv. Den torra skrymdensiteten är liknande som referensen. Vid den kemiska analysen har en del av näringsämnen varit i det högsta laget vid försökets start och det beror troligtvis på tillsatsen av kogödsel. Trots att det är vissa negativa effekter med substrat 5: B33, H16, K33, S16 bör det fungera som substrat till träd i Air-Pot genom viss ändring av material och procentsatser.

5. Slutsats

Många frågor har blivit ännu fler efter att ha läst om biokol och dess verkan på sin omgivning. Hur resultatet blir med substratblandningar innehållande biokol beror på många olika faktorer tex; Vilket har ursprungsmaterialet varit? Vid vilken temperatur har pyrolysen skett? Tillsatsen av biokol till ett substrat påverkar blandningen både kemiskt och fysiskt. Olika biokol påverkar även på olika sätt (Huang & Gu 2019). Kan man identifiera vilka fraktioner, ursprungsmaterial och biokolens innehåll som passar just den produkten man har så har man vunnit mycket (Lehmann & Joseph 2015). Efter att man har hittat en blandning som passar ens kulturer är det viktigt att använda samma typ av biokol för att få liknande resultat. Hur effekten blir utav tillsatts av biokol beror också på växtslaget och förhållandet mellan biokolen och andra material i substratet. Det finns ingen standard för att använda biokol i substratblandningar. Att använda biokol ihop med andra material är fortfarande i utvecklingsstadiet (Huang & Gu 2019).

Plantskolan som jag har samarbetat med under detta självständiga arbete kommer fortsätta med egna försök vad gäller inblandningar av biokol. De vill undersöka möjligheten att använda en viss procentsats med biokol, kogödsel och torv för inkrukning av buskar. Tanken är att utgå från substrat 4: B33, T33, K33. Eventuellt justeras torvens innehåll av kalk och näring. De startar också en provodling av träd i Air-Pot där utgångsläget är substrat 5: B33, H16, K33, S16, där det troligtvis blir vissa justeringar vad gäller materialen och procentsatser. Man såg tydligt vid försöken att det inte fungerade med halm som material i en substratblandning till Air-Pot, så plantskolans provodling till Air-Pot blir utan tillsatts av halm. Genom den provodlingen vill man se på möjligheten att hitta ett substrat som liknar kolmakadam, fast utan vikten av makadam.

En fortsättning på detta arbete hade också varit att titta på arbetsmiljön när man arbetar med biokol, kogödsel och skumglas. Vid arbetet med biokol är det farligt att andas in det damm som bildas vid tillverkning och användning (Fransson et al. 2020). Även med kogödsel och skumglas blir det ett damm där det hade varit intressant att veta hur det påverkar den som arbetar med det.

6. Referenser

Alsanius, B. (2002). *Växtnäring i långa kulturer på friland. Plantskolekulturer del 3*. Kompendium inom trädgårdsingenjörsprogrammet vt 2003/ht 2003.

Bates, Albert K. (2010). *The Biochar Solution: Carbon Farming and Climate Change*, New Society Publishers.

Bergqvists, L. (2018). "Egenskaper hos odlingssubstrat av biokol, komposterad bark och torv" Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://stud.epsilon.slu.se/13372/7/bergquist_1_180613.pdf [2022-03-12]

Bergqvist, L. Hellman, J. Malmberg, J. (2019). *Biokol för hållbar gödsling av sedumtak – Vegetationsutveckling och näringsavrinning vid gödsling med biokol på 15 år gamla sedumtak*. Scandinavian Green Roof Institute.

Bilderback, T.E. Warren, S.L. Owen, J.S. Albano, J.P. (2005). *Healthy substrates need physicals Too!* HortTechnology, 15 (4). 747–751.

Bunt, A.C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants: A manual on the preparation and use of growing media for pots plants*. (2.ed). London: Unwin Hyman.

Båth, B. (u.å.). *Makronäringsämnen. Ekologisk grönsaksodling på friland*. P10:8.2. Jönköping: Jordbruksverket.

Eriksson, J. Dahlin, S. Nilsson, I. Simonsson, M. (2017). *Marklära*. Lund: Studentlitteratur.

Eriksson, L. Hägglund, J. (2007). Information 18:1 *Handbok. Skumglas i mark- och vägbyggnad*. Statens geotekniska institut. Tillgänglig: <https://www.hasopor.se/wp-content/uploads/2016/10/handbok-skumglas-i-mark-och-vagbyggnad.pdf> [2022-02-18]

Eskilsson, R. (1992). *Växtnäring – Gödsling*. Stockholm: LT:s förlag.

Fogelfors, H. (2001). red. *Växtproduktion i jordbruket*. Borås: Natur och kultur/Lt:s förlag.

Fransson, A.M. Gustafsson, M. Malmberg, J. Paulsson, M. (2020). *Biokolshandboken – för användare*.

Fridell, K. Thynell, A. Bruhn, F. Fors, J. Sixtensson, S. Vysoky, M. (2019). *Levande gaturum – en handbok i Blågröngrå system*. Version 2.0. Edge.

Gustafsson, N. Nilsson, E. Endell, A. (2020). *Rekommendationer inför fältstudie av biokol som åtgärds teknik – vilket biokol är bäst?* Statens geotekniska institut, SIG, Linköping.

Handreck, K.A. Black, N.D. (2010). *Growing media for ornamental plants and turf*. New South Wales University Press. Sydney.

Hansen, E. Walla, I. (2000). *Plantskuledrift*. Otta. Landbruksforlaget.

Hjelmsäters egendom (2022). Tillgänglig: <https://www.biokol.se/produktion-ebc-biokol/> [2022-03-11]

Huang, L. Gu, M. (2019). *Effects of Biochar on Container Substrate Properties and Growth of Plants: A Review*. Horticulturae vol. 5, nr. 14 Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2311-7524/5/1/14/html> [2022-02-18]

Hylander, L. Günther, F. (2012). *Sustainable Agriculture and Climate – Saving Soils with Biochar*. Uppsala universitet. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:602578/FULLTEXT02> [2022-02-14]

Jordbruksverket (2020). *Biokol i ekologisk odling*. Tillgänglig: <https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/forskning-om-ekologisk-produktion/arkiv/2020-03-19-biokol-i-ekologisk-odling> [2022-01-22]

Lehmann, J. Joseph, S. (red). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. 2 uppl. New York: Routledge.

LMI (u.å.) *Spurwayanalys*. Tillgänglig: <https://www.lmiab.com/sida/jordanalys-spurway> [2022-02-14]

LRF. (LRF Trädgård Plantskola). (2019). *Kvalitetsregler för Plantskoleväxter*. GROs Plantskolesektion, 6. Uppl.

Malmberg et al. (u.å.). *Biokol i gröna klimatskal*. Malmö: Scandinavian Green Roof Institute. Tillgänglig: <https://biokol.org/biokol-i-grona-klimatskal/> [2022-02-07]

Modin, O. (2021). *Kolsänksrätter med biokol. Laddning av biokol: adsorption av ammonium, kalium och fosfat*. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg. Tillgänglig: <https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2020/08/kolsanksratter-laddning-av-biokol-adsorption-av-ammonium-kalium-och-fosfat.pdf> [2022-02-14]

Naturvårdsverket. (u.å. a). *Vägledning om täkter*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/takter#E-1272436297> [2022-02-12]

Naturvårdsverket (u.å. b). *Växthuseffekten förstärks*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/darfor-blir-det-varmare/vaxthuseffekten-forstarks/> [2022-02-12]

Robbins, J.A & Evans M.R. (u.å.) *Greenhouse and Nursery Series: Growing Media for Containter Production in a Greenhouse or Nursery Part II – Physical and Chemical Properties* – University of Arkansas, Division of Agriculture. Tillgänglig: <https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/FSA-6098.pdf> [2022-03-06]

Rudin, L. (1999). *Behovsanpassad gödsling av containerodlade plantskoleväxter*. Lantbruksenheten, Växt och Trädgård. Länsstyrelsen i Skåne Län.

Rudin, L. (1995). *Containerodling av plantskoleväxter*. Lantbruk. Trädgårdsgruppen. Länsstyrelsen i Malmöhus län.

Rudin, L. Nordström, B. (1993). *Odling av plantskoleväxter*. Borås: LT:s förlag.

SCB. Statistikmyndigheten. (2021). *Skörden av odlingsstörv har ökat kraftigt*. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/markanvandning/torv-produktion-anvandning-och-miljoeffekter/torv/pong/statistiknyhet/torv-2020-produktion-anvandning-och-miljoeffekter/> [2022-02-14]

Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015). *Stadsradslexikon*. Lund: Studentlitteratur AB.

Stockholms Stad. (2017). *Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok*.
Tillgänglig:

<https://leverantor.stockholm/entreprenad-i-stockholms-offentliga-miljoer/vaxtbaddshandboken/> [2022-02-18]

Svensk torv. (2021). <https://svensktorv.se/torvens-alternativ/> [2022-02-12]

Werdin, J. Conn, R. Fletcher, T. D. Rayner, J. P. Williams, N. S. G. Farell, C. (2021). *Biochar particle size and amendment rate are more important for water retention and weight of green roof substrates than differences in feedstock type*. *Ecological Engineering* 171. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857421002469> [2022-02-18]

Ögren, E. (2019). *Växtnäringsstyrning*. P9:5:1. Jönköping: Jordbruksverket

Personlig kommunikation:

Ahlström, M. LMI AB. Helsingborg. Samtal 2021-10-05. Mejl 2022-01-25

Dahlenborg, J. Essunga Plantskola AB. Samtal 2022-02-03

Embrén, B. Mejl 2021-12-07

Johansson, A-K. Vendel Trädgårdsrådgivning AB. Samtal 2022-02-04

Johansson, D. Tönnersjö Plantskola AB. Samtal 2022-02-03

Nicklasson, J. Hasopor AB. Mejl 2021-09-06

Syrén, B. Bara Mineraler AB. Mejl 2022-02-15

Warpman, J. Stångby Plantskola AB. Samtal 2022-01-19

7. Bilaga

Uträkningar för fysikaliska mätningar

Fysikaliska egenskaper	Enhet	Formel
Torr skrymdensitet	g/dm^3	Vikt av substrat i cylinder/ Volym av cylinder
Kompaktdensitet	g/dm^3	Vikt av substrat i bägare / (Volym total mängd substrat + alkohol – Volym total mängd tillsatt alkohol)
Porositet	%	$1 - (\text{Torrskrymdensitet} / \text{Kompaktdensitet}) \times 100$
Vattenhållande kapacitet (mikroporer)	%	$((\text{Vikt av vattenmättat substrat} - \text{Vikt av torkat substrat}) / \text{Volym av dränerad cylinder}) \times 100$
Lufthållande förmåga (makroporer)	%	Total procentuell porvolym – Procentuell mängd mikroporer

