

Egenskaper hos odlingssubstrat av biokol, komposterad bark och torv

Properties of growing substrates consisting of biochar, composted bark and peat

Love Bergquist



Egenskaper hos odlingssubstrat av biokol, komposterad bark och torv

Properties of growing substrates consisting of biochar, composted bark and peat

Love Bergquist

Handledare: Håkan Asp, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Siri Caspersen, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0495

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör:odling – kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2018

Omslagsbild: Love Bergquist

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: *biokol, torvsubstitut, odlingssubstrat, fysikaliska egenskaper, kemiska egenskaper*

Förord

Under sommaren 2017 utförde jag ett projekt på Augustenborgs Botaniska Takträdgård i Malmö som gick ut på att odla plocksallat i lådor fyllda med olika typer av biokolssubstrat. Inspirationen till projektet kom från Björn Embrén vid Trafikkontoret i Stockholm som påstod att han med stor framgång lyckats odla bladgrönsaker i ett hemmablandat substrat bestående av biokol, makadam och kompost. Biokol som substratkomponent lät väldigt intressant särskilt med tanke på att lättviktiga och hållbara substrat är A och O när det kommer till takodling. Då ingen på takträdgården hade särskilt mycket erfarenhet av biokol testade vi några olika blandningar, med både makadam och torv, för att se ifall vi kunde återskapa samma lyckade resultat. Bland de olika substratmixarna hade vi en uppsättning lådor biokol blandad med torv i proportionerna 25/75%. I dessa lådor gick det väldigt bra och det fick mig att bli intresserad av vad som egentligen händer vid blandning av biokol och organiskt material.

Ett tack går till min handledare Håkan samt till Jonatan på takträdgården. I båda fallen rör det sig om tacksamhet relaterad till bollplank, rådgivning, stöd och inspiration.

Jag skulle vilja tacka farsan och morsan för den goda uppfostran.
Jag skulle också vilja tacka Oskar och Oskar, ni vet vilka ni är.

Love Bergquist
Alnarp 18 maj 2018

Sammanfattning

Torv används idag i stor utsträckning som odlingssubstrat inom många typer av hortikulturell produktion. På grund av den påverkan som torvutvinningen har på miljön så finns det incitament att försöka hitta ett lämpligt substitut som helt eller delvis kan ersätta torv. Försök att ersätta torv inom växtproduktion har utförts förut men på grund av torvens goda fysikaliska och kemiska egenskaper så är det svårt att hitta ett alternativ som uppnår samma lämplighet och funktionalitet. Biokol består av organiskt material som blivit torrdestillerat i en väldigt syrefattig miljö (pyrolyserat) och har tidigare blivit tillskrivet vissa goda egenskaper som jordförbättrare eller substratkomponent. Då egenskaperna hos biokol kan skilja sig väldigt mycket beroende på utgångsmaterial och pyrolysförhållanden så bör egenskaperna inte generaliseras utan istället undersökas hos olika specifika biokol. Vidare uppstår olika effekter utifrån vilken typ av jord eller substrat som biokolet blandas med.

I detta försök undersöktes de fysikaliska och kemiska egenskaperna hos biokol blandat med komposterad bark och låghumifierad torv i olika proportioner. Blandningarnas egenskaper undersöktes före, under och efter en period av regelbunden bevattning för att utläsa eventuella förändringar. Utifrån resultaten av testerna drogs slutsatsen att blandningarna har potential att fungera som lämpligt substitut till torv som odlingssubstrat.

Abstract

Sphagnum peat is currently used widely in many areas of horticultural production. Due to the impact of peat extraction on the environment there are incentives to try and find a suitable substitute which entirely or partly can replace peat. Previous efforts to find a substitute that possesses the same adequacy and functionality of peat has been made difficult due to the excellent physical and chemical properties of peat. Biochar consists of organic material which has undergone thermal decomposition in an almost oxygen free environment (pyrolysis) and has been attributed with having suitable properties as a soil enhancer or growing media component. Because the properties of biochar varies depending on feedstock and conditions during pyrolysis, no generalization should be made about the properties of biochar. Instead, properties of specific biochars needs to be examined. Further, the effect of biochar mixed with other soil or media depends on the characteristics of the specific soil or medium.

In this paper, the physical and chemical properties of biochar mixed with composted bark and peat at different proportions were examined. Tests were made before, during and after a period of regular irrigation to observe any variation of properties. The conclusion were drawn from the results of the tests that the mixes have potential as suitable substitutes for peat as growing substrates.

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	5
1.1 Torvens klimatpåverkan.....	5
1.2 Biokolets egenskaper.....	6
1.3 Syfte.....	8
1.4 Hypotes.....	8
2. Material och metod.....	9
2.1 Utformning av försök.....	9
2.2 Substratkomponenter.....	9
2.3 Biokol.....	9
2.4 Barkmull.....	10
2.5 Torv.....	10
2.6 Proportioner av substratkomponenter.....	11
2.7 Tester av egenskaper.....	12
2.7.1 Fysikaliska egenskaper.....	12
2.7.2 Kemiska egenskaper.....	13
2.8 Försöksparametrar.....	14
3. Resultat.....	15
3.1 Fysikaliska egenskaper.....	15
3.1.1 Torr skrymdensitet.....	15
3.1.2 Kompaktdensitet.....	15
3.1.3 Total porositet och andel mikroporer.....	15
3.2 Kemiska egenskaper.....	17
3.2.1 pH och EC.....	17
3.2.2 Näringsdynamik.....	17
3.3 Jämförelse mellan resultat och rekommenderade värden.....	19
4. Diskussion.....	20
4.1 Fysikaliska egenskaper.....	20
4.2 Kemiska egenskaper.....	21
4.2.1 pH och EC.....	21
4.2.2 Ökning av tillgängliga näringsämnen.....	22
4.2.3 Minskning av tillgängliga näringsämnen.....	23
4.2.4 Felkällor och framtida försök.....	24
5. Slutsatser.....	26
6. Referenser.....	27
7. Bilaga 1.....	32

1. Introduktion

1.1 Torvens klimatpåverkan

Torv är inom trädgårdsproduktion ett väldigt lämpligt odlingssubstrat. Det är ett material som har en jordförbättrande effekt vid inblandning i andra substrat men fungerar även väldigt bra som enskild komponent. Förutom dess goda vattenhållande förmåga och höga andel luftfyllda porer har torv en låg halt av inneboende näringsämnen och ett lågt pH-värde vilket gör materialet lätthanterligt och formbart efter den funktion som är avsedd. Med tillsats av exempelvis kalk, kompost eller gödsel är de funktionella aspekterna hos torv med lätthet justerbara efter vilken gröda som ska odlas. Dessa egenskaper i samband med att torvutvinning pågår i många länder och att torv finns tillgängligt i större delen av världen har gjort det till ett välanvänt material. Runt 90% av alla odlingssubstrat som används inom professionell och privat trädgårdsproduktion i Europa är idag bestående av eller baserade på torv (Kern, et al. 2017). Under de senaste 35 åren har den årliga skörden av odlingsstorv i Sverige ökat från runt 500 000 m³ till över 1,6 miljoner m³ (SCB 2017). Av denna mängd exporteras 13% till utlandet medan uppskattningsvis 1,4 miljoner m³ används i odlingsändamål inom Sverige (ibid). Den totala mängden torv som skördades i Sverige under 2016 översteg 3 miljoner m³ (ibid).

De senaste åren har den stora användningen av torv allt mer ifrågasatts till stor del på grund av den påverkan utvinningen av torv har på klimatet. FN:s klimatpanel IPCC klassade först energitorv som ett fossilt bränsle i sina riktlinjer för klassificering av bränslen från 1996, en klassning som senare blev reviderad på grund av att torv inte strikt uppfyllde begreppets definition (IPCC 2003; IPCC 2006). Sedan 2016 har Naturvårdsverket beskrivit torv, i egenskap av energikälla, som jämförbart med fossila bränslen då nybildningen av exploaterade torvmossor potentiellt uppgår till tusentals år och att den totala utvinningen, behandlingen och transporten av torv ger upphov till relativt stora mängder nettoutsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket 2016). Vidare bedöms de naturvårdande åtgärder i form av olika efterbehandlingar som införs efter slutförande av torvtäcker inte kunna kompensera för de utsläpp av CO₂, CH₄ och N₂O som orsakas av dränering och dikning av torvmossor (ibid), detta gäller för både energitorv och torv avsedd för odlingsändamål. Torv är, trots rekommendation från Naturvårdsverket (2016), fortfarande inte beskattat för koldioxidutsläpp men anses tillhöra gruppen fossila bränslen i internationella sammanhang och inkluderas i beräkningen av Sveriges växthusgasutsläpp (Statens energimyndighet 2017). För fem år sedan rapporterades den totala arealen av aktiv energitorvutvinning i Sverige täcka nära 9 000 hektar och då var utvinningen av torv för odlingssyfte inte inkluderad. Utsläpp av koldioxid, metan och lustgas från dessa områden har beräknas uppgå till 92 100, 1 300 respektive 1 260

ton per år. Utöver utsläppen av växthusgaser har utvinningen av torv även visat sig påverka sin närmiljö, bland annat genom att ha en försämrande effekt på kvaliteten av markvattnet och närliggande vattendrag samt verka förödande på den biologiska mångfalden som en följd av stora förändringarna av naturliga habitat (Naturvårdsverket 2016).

På grund av ovan nämnda anledningar kan det anses motiverat att utreda möjligheterna kring att framställa ett alternativ till torv vid odling i kruka som i fråga om odlingsrelaterade egenskaper är likvärdigt med (eller överträffar) torvens fysikaliska och kemiska egenskaper. I fråga om klimatpåverkan bör detta substitut ha en minimal effekt eller vara klimatkompenserat. Ett substrat som uppnår önskvärda kemiska och fysikaliska egenskaper men enbart delvis ersätter torv bör också anses vara acceptabelt beroende på graden av kompensation för den klimatbelastning det utgör. Enligt Naturvårdsverket (2016) bör ett torvsubstitut utgöras av ett förnybart material med minimal klimatpåverkan, både med eventuell utvinning, produktion och transport i åtanke; "t.ex. lokalt producerade förnybara organiska material baserade på jordbruksavfall, kompost, bark, odlad vitmossa mm." (ibid).

1.2 Biokolets egenskaper

Biokol är benämningen på organiskt material som blivit pyrolyserat, det vill säga torrdestillerat i en syrefattig miljö. Generellt sett är biokol ett väldigt kolrikt, poröst material med många funktionella grupper, lågt näringsinnehåll och relativt högt pH (Gai et al. 2014). Under pyrolys omvandlas organiskt material till stabilt kolmaterial. Det organiska kolet kondenseras och bildar hårt bundna aromatiska ringar som ur ett relativt långsiktigt perspektiv inte påverkas av mikrobiell nedbrytning (Keiluweit et al. 2010). Strukturen som bildas är grafit-lik och väldigt stabil (ibid). Det är oftast denna stabila del av biokol som avses när man pratar om dess förmåga att kvarstå i exempelvis en jordbruksmark under potentiellt tusentals år (Spokas, et al. 2014). Ifall max-temperaturen hade varit högre under pyrolysen hade det organiska materialet omvandlats till grafit, med aromatiska föreningar ordnade i homogena skikt (Zimmerman 2009). Men på grund av den relativt låga temperaturen, samt att pyrolysmiljön aldrig är helt syrefri, bildas istället ett mer heterogent kolmaterial med aromatiska ringar i partikelns inre och ett mer labilt kolmaterial som innehåller OH-grupper (fenoler) längre ut mot partikelns yta (Jindo, et al. 2014). Det är denna heterogena sammansättning som ger biokol dess porösa karaktär (ibid).

Ut mot ytan av biokolpartikeln sker en successivt ökad oxidation, framför allt genom bildandet av karboxylgrupper, vilket ger biokolpartikelns yta en negativ laddning (Liang, et al. 2008). Hur stor andel stabila eller labila kolföreningar som biokolet består av påverkas till stor del av vilket organiskt material som har pyrolyserats samt vilken max-temperatur som uppnåddes under pyrolysen (Keiluweit et al.

2010). En ökad max-temperatur under pyrolysen har visat på en ökad bildning av den stabila kolfraktionen hos biokol och en ökad motsträvighet mot nedbrytning (Jindo, et al. 2014).

En mängd forskning har utförts i syfte att undersöka olika biokols påverkan som jordförbättrare vid inblandning i näringsfattiga och torra jordbruksmarker och materialet har visat sig ha positiva effekter på skrymdensiteten, porositeten och den luft-, närings- och vattenhållande förmågan hos olika jordar (Lehmann, et al. 2009; Major, et al. 2010; Oguntunde, et al. 2008). I försök med olika organiska och oorganiska odlingssubstrat har varierad grad av inblandad mängd biokol uppvisat en förbättrad resistens mot sjukdomar såväl som förbättrade fysikaliska egenskaper och retention av bland annat kväve och fosfor (Kaudal, et al. 2015). Det är mängden positiva fysiokemiska egenskaper hos biokol som påverkar dess adsorptionsförmåga och gör det till ett effektivt jordförbättrande medel. Till dessa hör bland annat en stor specifik yta och hög andel mikroporer (Yang, et al. 2017).

Ett biokol som uppfyller de mest ideella fysiokemiska egenskaper som kan önskas för ett specifikt syfte är även attraktivt ur ett klimatomfattigt perspektiv. Produktionen av biokol innebär ett tillhandahållande av restprodukter från jordbruks-, skogs- och trädgårdssektorn, då material som skörderester, gödsel, avloppsslam, komposterat restavfall och dylikt organiskt material kan processas effektivt. Genom pyrolysen sker en ofullständig nedbrytning av biomassan en stor del av koldioxiden som växterna har tagit upp från atmosfären binds ned i en stabil solid produkt (Woolf, et al. 2009). På grund av dess relativt höga stabilitet kan användandet av biokol som odlingssubstrat eller vid applicering i jordbruksmarker ses som en kolsänka. Vid pyrolysering produceras förutom biokol även syntesgas, bioolja och värme vilka i sin tur kan användas till energiutvinning, såsom generering av elektricitet och uppvärmning.

De ovan nämnda egenskaperna är dock generella egenskaper och som tidigare nämnts varierar graden av dessa egenskaper väldigt mycket mellan olika producerade biokol (främst gällande typ av biomassa och temperatur under pyrolysis) (Keiluweit et al. 2010). På grund av detta finns det fog för att undersöka olika specifika biokol och vilken effekt de har på andra material vid inblandning i odlingssubstrat.

1.3 Syfte

I mitt arbete ämnar jag undersöka de potentiella synergistiska effekter som kan uppstå vid blandning av biokol, låghumifierad torv och komposterad bark (hädanefter kallad "barkmull"). De parametrar som jag valt att undersöka utgörs av grundläggande fysikaliska och kemiska egenskaper som är avgörande för kruksubstrat i växthusproduktion. Syftet med arbetet är att undersöka potentialen hos de framtagna substratblandningarna att fungera som lämpliga substitut till substrat bestående av enbart torv.

1.4 Hypotes

En substratblandning bestående av biokol, barkmull och torv förväntas bilda ett relativt stabilt substrat på grund av biokolets inneboende egenskaper och visade positiva påverkan vid inblandning i andra organiska substrat. Då torv innehar väldigt goda egenskaper förväntas vissa egenskaper hos substratblandningarna som bäst uppnå värden likvärdiga med torvens och troligtvis kommer vissa egenskaper försämrats med ökande mängd inblandad biokol. Till de egenskaper som förväntas försämrats hör exempelvis katjonbyteskapacitet och eventuellt den lufthållande kapaciteten hos substratet. Vidare förväntas pH-värde och ledningstal öka och kompaktdensiteten sjunka med ökad mängd inblandad biokol i substraten. På grund av biokolets stabilitet kommer det troligen finnas ett samband mellan ökad stabilitet och ökad mängd biokol hos de olika substratblandningarna (i detta fall avses minskad förändring av de fysikaliska egenskaperna under en viss tid och efter ett antal bevattningstillfällen som stabilitet).

En eller flera av de olika substratblandningarna bestående av biokol, barkmull och torv lär kunna uppnå de egenskaper som krävs av ett lämpligt krukodlingssubstrat och därmed fungera som ett fullgott substitut till substrat bestående av enbart torv.

2. Material och metod

2.1 Utformning av försök

Tester av fysikaliska och kemiska egenskaper togs på tre substratblandningar (BK25, BK35 och BK45) med olika proportionella inblandningar av biokol samt en Kontroll som utgjordes av enbart torv (se Tabell 2). Testerna utfördes vid tre tillfällen under ett försök som bestod av att substraten hölls i krukor med 2 liter substrat per kruka. Först gavs en näringsgiva och sedan bevattnades var kruka med 600 ml vatten vid totalt 10 tillfällen under en period på cirka tre veckor. Den del av näringsgivan som gick igenom substraten samlades upp i fat och hölls tillbaka i krukorna, därefter tilläts bevattningvattnet dränera genom krukbottnarna. Testerna av de fysikaliska och kemiska egenskaperna gjordes en gång innan behandlingen påbörjats, en gång efter 5 bevattningstillfällen och en sista gång efter försöket hade avslutats.

2.2 Substratkomponenter

Vid valet av komponenter till substratblandningarna användes studien av Kaudal, et al. (2015) som utgångsläge där biokol blandades med komposterad tallbark utan tillsats av torv. Studien visade på att substrat bestående av olika proportioner biokol och komposterad tallbark uppnådde fysikaliska och kemiska egenskaper som låg innanför de rekommenderade värdena för odlingssubstrat med upp till 60 volym-% inblandning av biokol. I den studien användes ett biokol producerat mestadels av kommunalt trädgårdsavfall vars egenskaper skiljer sig från det biokol som användes i detta arbete bland annat genom att ha ett lägre pH-värde. För att uppnå ett pH-värde som ligger inom det önskvärda intervallet som är lämpligt vid växtodling (5,5 - 6,5, enligt Carlile, et al. 2014) så krävdes i detta försök en inblandning av låghumifierad torv i substratblandningarna. Målet var dock att minimera andelen torv och därför undersöktes först hur stor inblandning av torv som behövdes för att sänka pH-värdet till en acceptabel nivå.

2.3 Biokol

Biokolet som användes är producerat av rester från jordbrukssektorn, bland annat avfall från spannmålsproduktion. Pyrolystemperaturen uppnådde ett ungefärligt maxvärde av mellan 600-700°C med en linjär temperaturökning upp till cirka 300 °C för att sedan öka i hastighet upp till maxtemperaturen (Personlig kommunikation, Rensmann 2018). Den genomsnittliga hastigheten för temperaturökning var 20°C/min och den totala processen uppgick till cirka 30 minuter (Personlig kommunikation, Palij 2018). Information angående syrehalt under processen kunde inte erhållas men kan

antas vara <1% (ibid). Biokolet är godkänt enligt European Biochar Certificate (EBC 2012) och kan anses vara högkvalitativt.

Biokolet var inköpt från en återförsäljare som inte hade exakta uppgifter gällande det specifika biokolets egenskaper men efter kontakt med produktionsföretaget i Tyskland kunde generella egenskaper erhållas. Värdena är delvis från produktionsföretaget (EC, C, N-tot, P, K) och ska motsvara den typ av biokol som användes i försöket. Resterande värden togs fram genom egna tester. Värdena är presenterade i Tabell 1.

2.4 Barkmull

Det komposterade barkmaterial som användes i substratblandningarna säljs under namnet "Barkmull" och är en ogödslad produkt som marknadsförs som jordförbättrare. Barkmull är ett väldigt näringsfattigt material med nära neutralt pH-värde som enligt företaget ska ge en jordförbättrande effekt i 2-3 år efter inblandning i en matjord (Weibulls 2018). Barkmull består av bark från gran och tall som blivit komposterat under minst ett år.

Initialt skulle denna komponent utgöras av grönkompost från källsorterat park- och trädgårdsavfall. Slutligen valdes barkmull på grund av att materialet hade liknande egenskaper men ett betydligt lägre pH-värde och näringsinnehåll och därför bedömdes vara mer lämpligt i detta försök. För detaljerade värden, se Tabell 1.

2.5 Torv

I försöket användes låghumifierad (H2-4) och ogödslad Sphagnum-torv. Denna typ av torv har ett lågt pH-värde (runt 4,5) och används vanligen gödslad och kalkad men även, som i detta försök, utan gödsel eller kalk i syfte att sänka pH-värdet av substratet. Värdena är presenterade i Tabell 1.

Tabell 1: Fysikaliska och kemiska egenskaper hos de enskilda substratkomponenterna

Substratkomponent	pH	Torr skrymdensitet (g/dm ³)	Kompaktdensitet (g/dm ³)	Total porositet (%)	EC (mS/cm)	C (org mat.) (%)	N-tot (%)	P-tot (%)	K-tot (%)
Biokol	9,3	523,4	1183,5	55,7	1,87	71	2,2	1,3	2,8
Barkmull	6,2	346,3	1347,0	74,3	0,17	54	0,7	0	0
Torv	4,5	172,8	1143,0	84,9	0,1	80	1,4	-	-

2.6 Proportioner av substratkomponenter

För att minimera inblandningen av torv men ändå erhålla ett acceptabelt pH-värde testades först pH-värdet på nio blandningar med proportionerna 3:1 av biokol:barkmull och olika mängd torvinblandning. Resultatet visade på en tydlig ökning av pH med minskad mängd torv och ökad mängd biokol (se Bilaga 1). Ett pH-värde på 7,1 med en procentuell inblandning av 30 volym-% torv bedömdes vara lämpligt i sammanhanget då det var oklart hur pH-värdet skulle förändras av näringsgivan och under behandlingens gång.

Tidigare försök har visat på positiva effekter från substrat bestående av organiskt material med en biokolinblandning på 50-60 volym-% med enbart två komponenter i blandningen (Kern et al. 2017; Kaudal et al. 2015). I detta försök användes tre komponenter i blandningarna. Proportionen biokol bestämdes till 25 volym-% (BK25), 35 volym-% (BK35) respektive 45% (BK45) och motsatt för barkmullen. Därmed blev proportionerna biokol:barkmull **1:1,8** , **1:1** respektive **1,8:1** (se Tabell 2).

Tabell 2: Proportionell fördelningen av komponenter i substratblandningarna

Substratblandningar (behandlingar)	Biokol (volym-%)	Barkmull (volym-%)	Torv (volym-%)
BK25	25	45	30
BK35	35	35	30
BK45	45	25	30

2.7 Tester av egenskaper

Vid undersökningen av substratblandningarnas egenskaper användes standardiserade metoder. Vid varje test utfördes fyra replikat per substratblandning och utifrån dessa togs ett medelvärde.

2.7.1 Fysikaliska egenskaper

De fysikaliska parametrar som undersöktes var torr skrymdensitet, kompaktdensitet, total porositet och vattenhållande förmåga. Under omständigheterna och enligt de avgränsningar som behövdes göras i försöket som en följd av tids- och resursbrist var dessa de fysikaliska egenskaper som bedömdes vara mest relevanta och kunna ge resultat tydliga nog för att formulera slutsatser.

Den torra skrymdensitet utgörs av den totala densiteten av partiklarna samt porerna i substratet och är främst viktig ur ett praktiskt perspektiv när det kommer till transport och hantering. Den har också visat sig vara en viktig parameter när det kommer till plantans rottillväxt och dess förmåga att förankra sig i substratet (Kaudal et al. 2016). Den torra skrymdensiteten bestämdes genom att fylla en järncylinder av en bestämd volym, kompaktera blandningen på ett standardiserat sätt, väga substratet och sedan dividera vikten med cylinderns volym (se Tabell 3).

Ett substrats kompaktdensitet utgörs enbart av partiklarnas densitet, det vill säga det kompakta materialets densitet utan porer. Kompaktdensiteten bestämdes på följande sätt: 50 ml-mätkolvar fylldes med substrat till en tredjedel varpå vikten av substratet som tillfördes blev vägt och noterat. Till mätkolvarna tillsattes sedan 25 ml etanol. Mätkolvarna förslöts med plastfilm och skakades under 30 minuter för att fylla porerna med etanol och tränga bort luften ur substratet. Efter skakningen tillsattes ytterligare etanol tills blandningen nådde 50 ml-markeringen på kolvhalsen. Utifrån totala mängden etanol som tillsatts kunde kompaktdensiteten av substratet räknas ut (se Tabell 3). Relationen mellan kompaktdensiteten och den torra skrymdensiteten användes för att räkna ut substratets totala porositet.

Substratets luft- och vattenhållande förmåga bestäms till stor del av dess totala porositet. Den totala porositeten avser den procentuella volymen av det utrymme som existerar inom och mellan de solida partiklarna (Landis & Morgan 2009). Porerna delas in i vattenhållande porer (mikro) och lufthållande porer (makro) (ibid). Dessa typer av porer bidrar till rotsystemets utveckling och välbefinnande på olika sätt: makroporerna möjliggör för gasutbyte, vattentransport och rottillväxt, mikroporerna bidrar till transporten av näringsämnen till växten då dessa tas upp lösta i vatten (ibid).

Den vattenhållande förmågan (andel mikroporer) vid krukkapacitet räknades ut genom att fylla dränerbara cylindrar med substrat, först låta dem bli vattenmättade i två dygn och sedan låta dem dränera under ett dygn varpå substratet vägdes två gånger: en gång direkt efter dränering och sedan en

gång till efter två dygn i ett torkskåp. Andelen makroporer kunde erhållas genom att subtrahera den procentuella andelen mikroporer (vattenhållande porer) från den totala procentuella mängden porer (se Tabell 3).

Tabell 3: Formler för uträkning av substratens fysikaliska egenskaper

Egenskap	Formel	Enhet
Torr skrymdensitet	$\frac{\text{Vikt av substrat i cylinder}}{\text{Volym av cylinder}} =$	g/dm ³
Kompaktdensitet	$\frac{\text{Vikt av substrat i mätkolv}}{(\text{Volym total mängd substrat} + \text{etanol} - \text{Volym total mängd tillsatt etanol})} =$	g/dm ³
Porositet	$\left(1 - \frac{\text{Torr skrymdensitet}}{\text{Kompaktdensitet}}\right) \times 100 =$	%
Vattenhållande kapacitet (mikroporer)	$\left(\frac{\text{Vikt av vattenmättat substrat} - \text{Vikt av torkat substrat}}{\text{Volym av dränerande cylinder}}\right) \times 100 =$	%
Lufthållande Kapacitet (makroporer)	$\text{Total procentuell porvolym} - \text{procentuell mängd mikroporer} =$	%

2.7.2 Tester av kemiska egenskaper

Substratens pH-värde, ledningstal (EC) och näringsretention undersöktes i försöket. EC och pH-värde mättes genom att 30 ml substrat och 150 ml vatten skakades under loppet av en timme varpå värdena togs med hjälp av en pH-meter och ledningstalsmätare.

pH-värdet spelar en viktig roll då det kommer till rotsystemets förmåga att ta upp vissa näringsämnen. I detta försök var det viktigt att undersöka förändringen i pH då faktorer som blandandet av substratkomponenter med olika pH-värden och tillsats av näringslösning följt av upprepad bevattning förväntades påverka de olika blandningarna under försökets gång. EC av ett substrat visar på halten av näringsalter i substratet.

Näringsretentionen undersöktes genom att utföra analyser (Spurway) av tillgängliga näringsämnen i substraten under olika tillfällen av försöket. Med visshet om hur näringsförhållandena såg ut från början av försöket så kunde slutsatser dras utifrån hur dessa förändrades efter 5 respektive 10 bevattningstillfällen. Substratprover skickades vid dessa tillfällen in till ett externt laboratorium för analys.

2.8 Försöksparametrar

Två liter av varje substrat hälldes i 3-literskrukor och ställdes i ett växthus. Temperaturen var inställd till 18°C och luftningen till 20°C. Krukorna fick ingen extra belysning och RH var 50-70%.

Behandlingarna utgjordes av de tre blandningarna (se Tabell 2). Totalt ingick 32 krukor i försöket: 3 behandlingar + 1 kontroll, 8 krukor per behandling + 8 krukor med torv. Hälften av krukorna togs ur försöket och testades för fysikaliska och kemiska egenskaper efter cirka två veckor (5 bevattningstillfällen) och andra hälften testades då försöket var avslutat (10 bevattningstillfällen). Med andra ord ingick 4 replikat per behandling/kontroll som blev bevattnade 5 gånger och 4 replikat per behandling/kontroll som blev bevattnade 10 gånger.

Vid första bevattningen nåddes vattenmättnaden hos de flesta substrat vid strax över 600 ml och därför bestämdes bevattningsgivan till 600 ml/tillfälle. Kranvatten användes till bevattningen.

Näringsgivan till samtliga substrat gavs vid första bevattningstillfället. Calcinit, som innehåller N och Ca, tillsattes med 1,8 g per kruka. Kristalon Indigo, som innehåller N, P, K, S, Mg, B och övriga mikronäringsämnen, tillsattes med 1,8 g per kruka. De två näringslösningarna tillsattes till första bevattningsgivan och den näringslösning som rann ut i det dränerade vattnet samlades upp i fat och hölls senare tillbaka.

Från en Spurway-analys av de enskilda substratkomponenterna erhöles mängden inneboende näringsämnen. Den information som erhöles i förväg gällande den inneboende näringshalten (från produktinformationen på påsarna för torven och barkmullen och från det tyska pyrolysföretaget för biokolet) visade sig bara stämma för torven. Biokolet och barkmullen innehöll mer näring än vad som var angivet. Spurway-analysen gjordes efter att näringslösningarna hade tillsatts till krukorna och därför justerades inte näringsgivan efter den höga mängden inneboende näringsämnen som fanns i biokolet och i barkmullen (med undantag för tot-N som i båda fallen låg på en låg koncentrationsnivå).

En uppfattning om hur mycket näring som var tillgänglig i krukorna från början av försöket skapades genom att mängden inneboende näring (från Spurway) lades samman med mängden näring som tillsattes i näringslösningen (från egen beräkning). Dessa värden är presenterade under "0 bvt" i Tabell 4.

3. Resultat

Värdena från testerna bearbetades i Minitab och analyserades genom att använda Envägs-ANOVA med en konfidensnivå på 95%.

3.1 Fysikaliska egenskaper

3.1.1 Torr skrymdensitet

Vid de första testerna fanns ingen signifikant skillnad i torr skrymdensitet mellan biokolssubstraten men värdena hos BK25 (25% biokol) var lägre än hos BK35 (35% biokol) och BK45 (45% biokol) (se Figur 1). Hos torven var den torra skrymdensiteten signifikant lägre än hos substraten med biokol och denna trend fortsatte under hela behandlingstiden. Efter 5 bevattningar hade den torra skrymdensiteten sjunkit hos alla substrat, torvens var fortfarande signifikant lägre än de andra och skillnaderna mellan BK25, BK35 och BK45 var mindre, dock inte signifikant mindre. Efter 10 bevattningar hade torven nästan samma torra skrymdensitet som efter 5 bevattningar. Skrymdensiteten hade fortsatt sjunka hos substraten med biokol efter 5 bevattningar och skillnaderna hade ytterligare jämnats ut efter att försöket var avslutat. Resultaten visade på en svagt lägre torr skrymdensitet hos BK45 än hos de andra biokolssubstraten men det fanns ingen signifikant skillnad mellan dem.

3.1.2 Kompaktdensitet

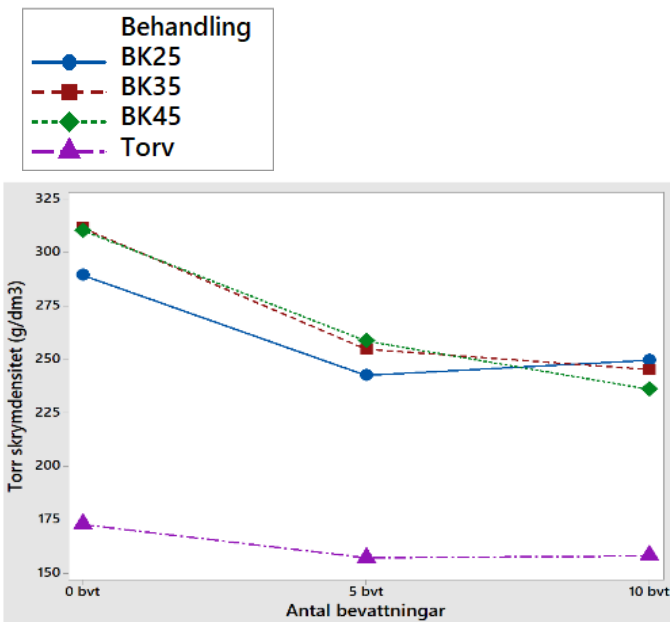
Till en början låg kompaktdensiteten hos samtliga substrat (inklusive torven) runt 1200 g/dm^3 och ingen större skillnad kunde påvisas mellan substraten (se Figur 2). Under försöksperioden sjönk kompaktdensiteten mer drastiskt i BK35 och BK45 än hos BK25 och torven som båda var relativt opåverkade från början till slut. I BK35 och BK45 sjönk kompaktdensiteten med 12,5% respektive 15,8% under försökets gång. Hos torven och BK25 sjönk den med 2,3% respektive 5,3% under samma period. När försöket var avslutat visade resultaten på en högre kompaktdensitet hos BK25 än hos torven och BK45 hade lägst kompaktdensitet vid både andra och sista testtillfället.

3.1.3 Total porositet och andel mikroporer

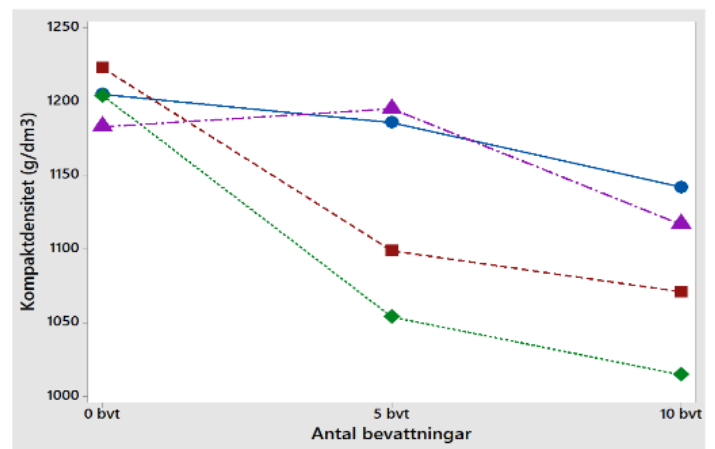
Den totala procentuella andelen porer förändrades inte nämnvärt under försöksperioden hos något substrat (se Figur 3). Hos substraten med biokol låg porositeten mellan 74 - 79% med fluktuation på ett par procentenheter under den totala försöksperioden. Resultaten från BK25, BK35 och BK45 antydde

en marginellt högre porositet med ökad mängd barkmull och minskad mängd biokol. Porositeten hos torven var runt 86-87% under hela försöket.

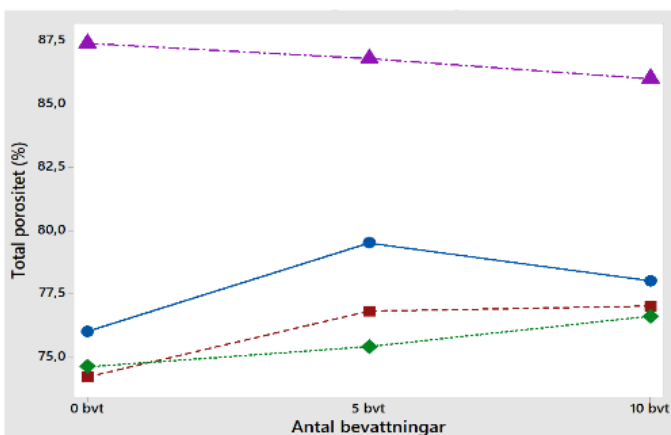
Gällande den procentuella andelen vattenhållande porer fanns det hos BK25, BK35 och BK45 initialt ingen signifikant skillnad men resultaten antydde en ökad andel mikroporer med ökad inblandning biokol (se Figur 4). Hos torven var andelen mikroporer signifikant lägre än hos substraten med biokol under hela försöksperioden. Hos BK25 och BK45 sjönk först andelen mikroporer efter 5 bevattningar för att sedan öka igen under sista perioden. Samma förändring skedde hos torven. Hos BK35 sjönk andelen mikroporer efter 5 bevattningar och förändrades sedan inte nämnvärt under resten av försöksperioden.



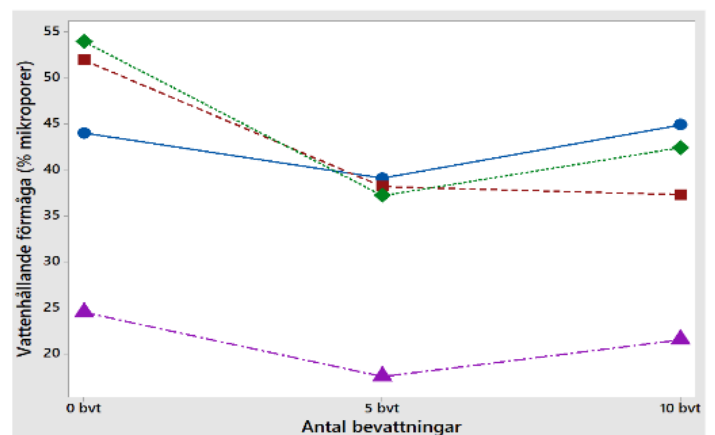
Figur 1: Torr skrymdensitet efter 0, 5 och 10 bevattningar



Figur 2: Kompaktdensitet efter 0, 5 och 10 bevattningar



Figur 3: Total porositet efter 0, 5 och 10 bevattningar



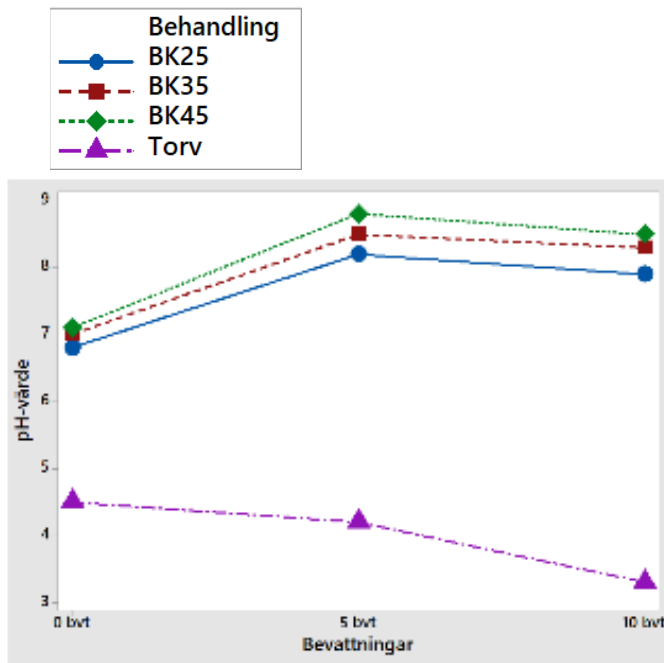
Figur 4: Vattenhållande förmåga efter 0, 5 och 10 bevattningar

3.2 Kemiska egenskaper

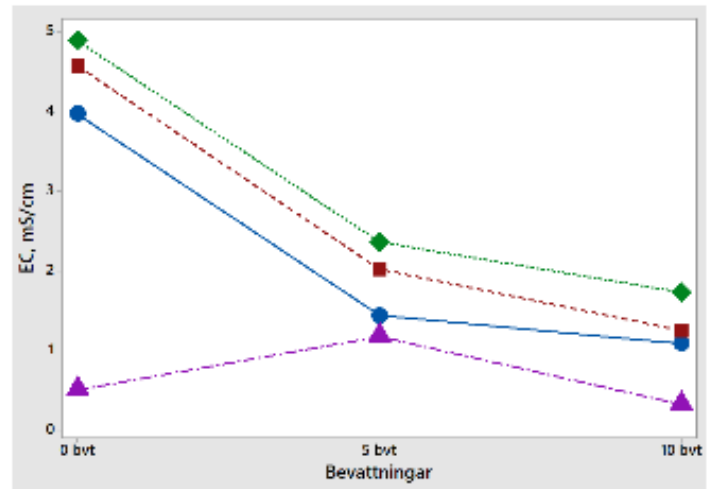
3.2.1 pH och EC

Hos BK25, BK35 och BK45 ökade pH under försökets gång från 6,8, 7,0 och 7,1 till 7,9, 8,3 och 8,5. Hos torven sjönk pH-värdet från 4,5 till 3,3 under försökets gång.

EC hos substraten med biokol skilde sig signifikant från varandra och ökade med ökad inblandning biokol. Till en början var EC ganska högt hos samtliga biokolsubstrat men efter avslutad behandlingstid hade det sjunkit till att vara 1,08 respektive 1,25 mS/cm för BK25 och BK35 och 1,73 mS/cm för BK45. Hos torven var EC efter 5 bevattningar signifikant lägre än hos BK35 och BK45 men inte signifikant lägre än i BK25. Efter avslutad behandling hade EC hos biokolsubstraten och torven sjunkit ytterligare och det fanns en signifikant skillnad mellan samtliga substrat.



Figur 5: pH mellan 0, 5 och 10 bevattningar



Figur 6: EC (ledningstal) mellan 0, 5 och 10 bevattningar

3.2.2 Näringsdynamik

Samtliga substrat med biokol följde samma mönster när det kom till ökning eller minskning av mängden växttillgängliga näringsämnen (se Tabell 4). Med ökad mängd biokol visade resultaten på en ökad bindning av katjoner och en minskad mängd tillgängliga anjoner. Undantagen för denna tendens utgjordes av mängden Ca som visade på motsatt mönster (ökade mest i BK25 och minst i BK45) samt nitrat som i slutet av försöket fanns i störst mängd hos BK45 men under 5 g/ml hos BK25 och BK35.

I vissa fall hade netto-mängden näringsämnen överstigit den ursprungliga totala mängden som fanns i substratet från början (inneboende samt tillsatt). Detta gällde P, K, Ca, Mg (hos BK25, BK35 och BK45), Zn (enbart hos BK25) och Na (enbart hos BK45) (se Tabell 4). I de flesta fall där netto-mängden var högre än den ursprungliga mängden näringsämnen kunde man uttyda en initial ökning av näringsämnen efter 5 bevattningar som senare ledde till en minskning fram till försökets slut. Detta gällde inte för Ca som hade motsatt mönster hos BK35 och BK45, det vill säga en initial minskning efter 5 bevattningar och sedan en ökning fram till försökets slut. Hos BK25 ökade mängden tillgänglig Ca successivt under hela försöksperioden. Mängden Mg ökade successivt under hela försöksperioden hos alla biokolssubstrat.

För de näringsämnen som successivt minskade hos biokolssubstraten visade Spurway-analyserna på kontinuerligt läckage under hela försöksperioden för de flesta av näringsämnena (se Tabell 5). Hos några förekom en initial minskning efter 5 bevattningar följt av en nästintill oförändrad förekomst under resterande försöksperiod (detta gällde för B, Mn, Zn och ammonium).

Hos torven kunde liknande mönster uttydas gällande P, K och Ca, det vill säga en ökning efter 5 bevattningar följt av en minskning under resterande period. De ursprungliga och slutgiltiga mängderna P, K och Ca i torven var dock signifikant lägre än hos BK25, BK35 och BK45.

Den ursprungliga mängden ammonium och nitrat var högre i torven än hos samtliga biokolssubstrat. Nitrat-mängden i torven ökade från början av försöksperioden, men vid den sista Spurway-analysen hade både nitrat- och ammonium-mängderna i torven sjunkit till under 5 mg/L. För mikronäringsämnen som B, Na, Mn, Fe, Zn och Al var mängderna i torven relativt oförändrade från början till slut. Dessa mikronäringsämnen fanns också ursprungligen i lägre mängder i torven än hos biokolssubstraten (se Tabell 4).

Tabell 4: Lättillgängliga näringsämnen (mg/L) i substraten efter 0, 5 och 10 bevattningar. (+/- %) = procentuell förändring mellan första och sista teststillfället. De värden som går under detektionsgränsen har i det här fallet räknats utifrån sitt övre gränsvärde: <5 mg/L = 5 mg/L, <0,4 mg/L = 0,4 mg/L, etcetera.

Näringsämnen	BK25			BK35			BK45			Torv						
	0bvt	5bvt	10bvt	0bvt	5bvt	10bvt	0bvt	5bvt	10bvt	0bvt	5bvt	10bvt				
tot-N	28,2	-	-	28,2	-	-	28,2	-	-	45,5	-	-				
Nitrat-N	19,71	5,2	<5	(-74,7%)	19,71	<5	<5	(-74,7%)	19,71	9,2	5,2	(-73,6%)	19,71	34,7	<5	(-74,7%)
Amm-N	8,49	<5	<5	(-41,4%)	8,49	<5	<5	(-41,1%)	8,49	<5	<5	(-41,4%)	23,89	18,5	<5	(-88%)
P	39,36	62	47,5	(+20,7%)	50,26	77,7	58,0	(+15,4%)	61,1	89,0	65,7	(+7,4%)	4,41	21,75	7,7	(+74,6%)
K	320,2	887,5	557,5	(+74,1%)	336,23	1250	815	(+142%)	352,23	1350	855	(+143%)	47,23	101,5	50,7	(+7,3%)
S	18,18	18,7	13,25	(-27,1%)	15,28	14,7	<10	(-34,6%)	18,18	20,0	11,0	(-39,5%)	15,13	<10	<10	(-33,9%)
B	0,38	0,38	0,33	(-13%)	0,33	0,34	0,31	(-6%)	0,3	0,32	0,27	(-4,8%)	<0,2	<0,2	<0,2	(0%)
Ca	582,1	635	792,5	(+36,1%)	660,1	550	737,5	(+11%)	738,1	552,5	747,5	(+1,3%)	42,1	54,5	52,7	(+25,1%)
Mg	127,08	172,5	192,5	(+51,4%)	129,08	162,5	202,5	(+56,8%)	131,1	167,5	215	(+64%)	24,78	23,5	20,2	(-18,5%)
Mn	1,5	1,2	1,4	(-7%)	1,7	1,4	1,2	(-29,5%)	1,9	1,7	1,5	(-23,1%)	<0,5	<0,5	<0,5	(0%)
Na	62,8	56,2	46,2	(-26,5%)	53,35	62,2	51,5	(-3,5%)	43,85	60,2	49,7	(+13,3%)	32	23,2	30,7	(-4%)
Fe	1,52	0,68	<0,5	(-33%)	1,82	0,63	<0,5	(-72,6%)	2,12	<0,5	<0,5	(-75,4%)	<0,5	<0,5	<0,5	(0%)
Zn	1,2	1,0	1,4	(+13,3%)	1,1	0,64	0,67	(-38,3%)	0,9	0,5	0,4	(-51,9%)	<0,2	0,5	<0,4	
Al	1,8	1,2	0,7	(-61,2%)	1,45	1,2	0,58	(-60%)	1,1	0,79	0,52	(-52,8%)	0,75	0,6	0,6	(-20%)

3.3 Jämförelse mellan resultat och rekommenderade värden

Viss information går att hitta angående rekommenderade värden för odlingssubstrat, dessa skiljer sig dock från källa till källa och beror bland annat på vilken kultur som odlas, vilket odlingsystem som brukas samt de rådande odlingsförhållandena och abiotiska faktorerna. I Tabell 5 (se nedan) inkluderas olika värden för att illustrera denna variation och för att ta hänsyn till de skiftande behoven mellan olika omständigheter. Värdena bör anses vara generella och fungera som referenspunkter till de värden som erhöles i försöket.

Tabell 5: Uppställning av rekommenderade värden samt värden av substraten från de två testomgångerna: 0 bevattningar (innan försöket inleddes) och 10 bevattningar (efter försöket avslutats).

Egenskap	Rekommenderat värde	BK25	BK35	BK45	Torv (kontroll)
pH	5,0 - 6,5*	Obvt: 6,8 10 bvt: 7,9	Obvt: 7,0 10 bvt: 8,3	Obvt: 7,11 10 bvt: 8,5	Obvt: 4,5 10 bvt: 3,3
EC (mS/cm)	2,5-5,5** (grönsaker) 1,0-3,3** (snittblommor)	Obvt: 3,97 10 bvt: 1,09	Obvt: 4,57 10 bvt: 1,25	Obvt: 4,89 10 bvt: 1,73	Obvt: 0,51 10 bvt: 0,33
Torr skrymdensitet (g/dm ³)	130-280* (växthus, kruka) 190-380* (utomhus, container)	Obvt: 289,5 10 bvt: 249,7	0 bvt: 311,6 10 bvt: 245,2	0 bvt: 310,4 10 bvt: 236,0	0 bvt: 172,8 10 bvt: 158,0
Total porositet (%)	50-70*	0 bvt: 76,0 10 bvt: 78,0	0 bvt: 74,5 10 bvt: 77,0	0 bvt: 74,2 10 bvt: 76,6	0 bvt: 87,4 10 bvt: 86,0
Mikroporer (%)	45-65*	0 bvt: 44,1 10 bvt: 44,9	0 bvt: 52,0 10 bvt: 37,3	0 bvt: 54,0 10 bvt: 42,4	0 bvt: 24,5 10 bvt: 21,5
Makroporer (%)	10-20* (större container) 15-25* (substrat för uppdragning)	0 bvt: 31,9 10 bvt: 33,1	0 bvt: 22,5 10 bvt: 39,7	0 bvt: 20,2 10 bvt: 34,2	0 bvt: 62,9 10 bvt: 64,5

* = Robbins & Evans, University of Arkansas (hemsida)

** = Sonneveld & Voogt 2009

4. Diskussion

4.1 Fysikaliska egenskaper

Den torra skrymdensiteten av biokolssubstraten ökade med ökad mängd inblandad biokol (se Figur 1 och Tabell 5). Detta stämde överens med de enskilda komponenternas torra skrymdensitet då det torra biokolet vägde nästan dubbelt så mycket som den torra barkmullen samt att barkmullens totala porositet var högre (se Tabell 1). Den torra skrymdensiteten minskade efter upprepade bevattningar och även skillnaden mellan biokolssubstraten minskade. Detta, i samband med att substratens totala porositet ökade, kan vara en följd av att de mindre partiklarna hos substraten spolades in bland de större partiklarna, spolades ned till botten av krukan eller sköljdes ut med avrinningsvattnet. Efter upprepad bevattning kan en förändring av distributionen av partikelstorlekar och porstrukturen ha skett som en följd av att större porer fylldes med mindre partiklar och mindre porer skapades i utrymmena mellan de större och de mindre partiklarna (Bilderback 1982; Fernandes et al. 2004).

Efter avslutat försök var den torra skrymdensiteten lägre hos BK45 än hos de andra biokolssubstraten. Då både biokol och barkmull generellt innehåller stabila strukturer så hade detta mönster eventuellt kunnat förklaras med att andelen stora och grova partiklar är större hos barkmullen och därför kunde man utläsa en ökad negativ viktförändring av den torra skrymdensiteten där proportionen biokol var större än proportionen barkmull. Med andra ord, barkmullens struktur höll sig förhållandevis statisk under behandlingen jämfört med biokolets mer porösa partiklar som var mer mottagliga för mekanisk påverkan och abiotisk nedbrytning. Den abiotiska nedbrytningen av biokolet ledde också till en ökad porositet, kanske som en följd av att mikrostrukturer hos partiklarna exponerades vid sköljning av bevattningsvattnet (Spokas et al. 2014). Ingen signifikant skillnad kunde dock avläsas mellan de olika substraten.

Torvens torra skrymdensitet var signifikant lägst under hela försöket vilket också stämmer överens med torvens höga andel lufthållande porer. Den torra skrymdensiteten hos torven slutade sjunka efter de två första veckorna. Troligen ledde den regelbundna bevattningen till att torvmaterialet krympte och kompakterades för att sedan förbli opåverkat under den resterande försöksperioden (Heiskanen 1994). Då torvens kompaktdensitet minskade men dess porositet förblev opåverkad så hade detta också kunnat förklara den svaga ökningen hos torvens vattenhållande förmåga som skedde mellan andra testet och sista testet (+22,8%) som alltså uttryckte den vattenhållande förmågan hos ett material med mindre volym än det som ursprungligen undersöktes (ibid).

Resultaten från testerna av kompaktdensiteten visade på en mer drastisk minskning hos de substrat som hade mest biokolinblandning (BK35 och BK45) under försökets gång. Detta kan bero på en strukturell förändring som sker hos biokolet när det utsätts för mekanisk hantering och bevattning: i ett tidigare försök observerades effekter av så kallad mikroskopisk erosion hos biokol som blivit skakat i vatten under ett dygn (Spokas, et al. 2014). Mindre fraktioner började lösgöras från större partiklar och exponerade sprickor och öppningar i partiklarna (ibid). Författarna av rapporten drog slutsatsen att partikelstorleken hos biokol generellt inte kan betraktas som statisk utan snarare påverkbar av abiotisk påverkan (ibid). Förutom effekterna av den mikroskopiska erosionen sköljdes i samma försök även ett lager av salt och organiska oljor bort från biokolpartiklarnas yta vilket öppnade upp porer hos partiklarna som förut varit igentäppta (ibid). Detta hade kunnat vara en möjlig förklaring till vissa av de fysikaliska förändringarna som skedde i detta försök då porositeten (och andel mikroporer) successivt ökade hos biokolsubstraten under försöksperioden, om än svagt. Denna förklaring förutsätter dock att mindre biokolpartiklar till viss del försvunnit i det dränerade bevattningsvattnet. Uppkomna sprickor och öppningar orsakade av mikroskopisk erosion hade annars lett till en ökad kompaktdensitet ifall mer etanol hade trängt in i partiklarna utan att vikten av materialet i krukorna hade förändrats.

4.2 Kemiska egenskaper

4.2.1 pH och EC

Vid för högt pH-värde reduceras upptaget av järn och bor och vid för lågt pH-värde blir molybden otillgängligt medan halterna av aluminium och mangan kan öka till en nivå där växten tar skada (Carlile, et al. 2014; Båth 2003). Den sistnämnda reaktionen uppstår främst på friland i mineralgödslade jordar men pH-värde är utan tvekan en essentiell faktor även i krukodling.

Trots att pH-värdet var högt hos biokolsubstraten så kunde inget tydligt mönster urskiljas vad gäller tillgängligheten av de ovan nämnda näringsämnena från Spurwayanalyserna (se Tabell 4). Förlusten av mängden Fe var större med ökad mängd biokol men utan signifikant skillnad jämfört med andra biokolsubstraten. Ökningen av biokolsubstratens pH kan ha att göra med näringslösningen som tillsattes till krukorna men troligen spelar andra faktorer in också då ökningen var ganska drastisk (se Figur 5). pH hos biokol är ofta förknippat med hög askhalt och lösgörandet av flyktiga fraktioner (Rehrah 2014) och det är möjligt att det även i detta försök finns ett samband däremellan. Torvens pH sjönk under försökets gång och detta, i samband med en minskad koncentration ammonium-N och ökad mängd nitrat-N under den första delen av försöket (se Tabell 4), tyder på en nitrifikationseffekt i krukorna med torven.

Ifall ledningstalet är för högt i ett substrat så kan detta påverka växtens vatten- och näringsupptagningsförmåga på ett negativt sätt, det vill säga växten utsätts för saltstress (Båth 2003). I ett försök med biokol som blivit pyrolyserat i relativt låg temperatur (350 °C) har EC sjunkit vid sköljning av avjoniserat vatten (Cheng et al. 2006). Detta tros vara på grund av att man spolat bort tjära och aska, som bildas i allt högre grad vid lägre pyrolystemperatur, från partiklarnas yta (ibid). Detta kan ha varit anledningen till att EC sjönk hos biokolsubstraten. Hos torven kan det ha berott på utlakning av näringsämnen som en följd av upprepad bevattning.

4.2.2 Ökning av tillgängliga näringsämnen

En trolig förklaring till att mängden tillgängliga näringsämnen hos biokolsubstraten ökade efter att försöket hade initierats är att biokolets mindre stabila fraktioner, som delvis förekommer i form av vattenlösliga karbonater på partiklarnas yta, började släppa efter upprepade bevattningar (Spokas et al. 2014). En del av det organiska material som kondenseras under pyrolyns omvandlas till labila organiska föreningar i form av tjära, olja och aska som lägger sig i ett lager runt ytan av de mer stabila partiklarna (Jindo, et al. 2014). Detta lager består till viss del av näringsämnen som fälls ut under vissa förhållanden (Spokas et al. 2014). Som förut nämnt så lösgjorde sig detta lager vid skakning i vatten under 24 timmar och därmed kan det vara en av anledningarna till den drastiska ökningen i koncentrationer av bland annat P, K, Mg och Ca hos biokolsubstraten (ibid). Spokas et al. (2014) menar även att en del näringsämnen fälls ut inuti porer och håligheter som fortfarande täcks av bland annat aska vilket därmed fördröjer deras tillgänglighet. Detta hade påverkat näringsämnenas detekterbarhet i en Spurway-analys och det kan vara därför Ca först minskade och sedan ökade i mängd hos samtliga biokolsubstrat.

Det är svårt att hitta resultat hur pH-värdet hos jordar och substrat med biokolinblandning påverkar näringsdynamiken i ett kortsiktigt perspektiv. En studie av Biederman (2013) visar på en ökad tillgänglighet av P vid inblandning av biokol med högt pH-värde: I jordar med lågt pH-värde och större tillgänglighet av Fe kan P adsorberas av järnoxider och bli otillgängligt för växten (ibid). När pH stiger minskar koncentrationen av Fe i marken vilket gör att P blir tillgängligt (ibid). Resultaten från Tabell 4 visar på en minskad koncentration av både Fe och P med ökad mängd biokol. En möjlig förklaring till detta diskuteras under nästa rubrik (se 4.2.2 Minskning av tillgängliga näringsämnen).

Andra möjliga förklaringar till netto-överskott av lösta näringsämnen i biokolsubstrat innefattar mikrobiell nedbrytning och synergistiska effekter som "priming" och/eller co-metabolism (Ventura et al. 2014; Hamer et al. 2004). Vissa försök har visat på en ökad mikrobiell aktivitet i jordar med biokolsapplikation (bland annat på grund av att biokolens sprickor och porer utgör ett utökat

mikrohabitat åt organismerna) och en ökad humifiering som en följd av detta (Ventura et al. 2014). De nitrifikations-effekter som kunde uttydas i torvens förändrade pH samt minskning av ammonium och ökning av nitrat, antyder att den mikrobiella aktiviteten i krukorna inte var obetydlig och troligen närvarande även i biokolsubstraten. Det är i sammanhanget svårt att veta vilken effekt den eventuella mikrobiella nedbrytningen av de olika komponenterna hade på de lättillgängliga näringsämnena i krukorna på grund av bristande kunskap gällande nivån av mikrobiell aktivitet, det bör dock inte uteslutas som en potentiell påverkande faktor. Cheng et al. (2006) har visat på att abiotiska faktorer spelar en större roll när det kommer till oxidationen av biokolpartiklarnas yta och att de har haft större påverkan än biotiska faktorer gällande förändringar i pH, CEC och lösta näringsalter.

4.2.3 Minskning av tillgängliga näringsämnen

Novak et al. (2009) kunde avläsa en ökning av bland annat P, K, Ca, Mg, Na och Mn vid tillsats av biokol till en sandjord med låg halt organiskt material. Vid analys av lakvattnet från blandningen kunde de utläsa en tendens av ökad mängd envärda katjoner (K och Na) och minskad mängd tvåvärda katjoner (Ca, Mg, Mn), en tendens som kontinuerligt gällde under en behandlingstid av 67 dagar (ibid). Resultatet från studien av Novak et al. (2009) föreslår att tvåvärda katjoner binder till biokolets yta i en högre grad än envärda katjoner vilket också går i linje med den högre konkurrenskraften hos joner med högre laddning när det kommer till adsorption till negativt laddade ytor (Eriksson et al. 2011). Till viss del speglas samma tendens i detta försök då de envärda katjonerna till en början ökade i förekomst för att sedan minska och medan de tvåvärda enbart ökade (se Tabell 4).

P har i flera försök visat sig binda relativt hårt till biokol för att sedan släppas långsamt under en längre tidsperiod (Wang et al. 2015; Dai et al. 2016; Yuan et al. 2014). Detta beror på att den P som förekommer i det organiska utgångsmaterialet (biomassan) under pyrolysen binds med Ca och Mg till mindre lösliga fosfatmineraler (Wang et al. 2015). Därmed kan de låga P-mängderna från Spurway-analysen bero på att P är hårt bundet i biokolet och inte lösts i bevattningsvattnet under den relativt korta perioden som försöket pågick.

Det är fortfarande oklart hur biokol påverkar tillgängligheten av nitrat och ammonium vid inblandning i mark eller med andra substratkomponenter (Hagemann et al. 2017). I vissa fall tros retentionen av nitrat och ammonium förbättras på grund av biokolets förmåga att bilda stabila aggregat vid inblandning i jord (Yoo et al. 2014), i andra fall har biokol visat sig öka nitrifikationen i marken men enbart vid tillsats av N-gödsel i form av ammoniumsulfat (Bi et al. 2017). Hagemann et al. (2017) föreslår att biokolet tar upp nitrat-anjoner genom så kallad okonventionell vätebindning och binder dem till

partikelns porösa innerlösning. Han menar vidare att denna typ av bindning till biokolpartiklar dock inte blivit utsatt för tillräcklig systematisk undersökning för att kunna fastslås (ibid). Den låga N-halten i biokolsubstraten kan i detta försök bero på att biokolet har blivit pyrolyserat i en hög temperatur (600-700°C) och att N har försvunnit från materialet under pyrolysen (Ding et al. 2016).

4.2.4 Felkällor och framtida försök

Mätmetoderna som användes i detta försök är standardiserade metoder som producerar jämförbara resultat men trots att resultaten är säkra kan de inte anses vara exakta. Vid testerna användes 4 replikat per behandling och detta antal bestämdes på grund av brist på resurser. Ifall möjligheterna hade varit annorlunda hade fler antal replikat per behandling kunnat ge ett säkrare resultat.

Det är svårt att förutsäga hur substratens struktur hade påverkats över en längre tidsperiod ifall försöket hade fått fortsätta. Tillsats av biokol har vid inblandning i odlingssubstrat tidigare visat sig ha en stabiliserande effekt på den torra skrymdensiteten genom att den inte sjunker lika mycket i jämförelse med substrat utan biokol under ett försök på 190 dagar (Kaudal et al. 2016). Blandning av biokol med andra substratkomponenter har också visat sig sakta ned biokolets abiotiska nedbrytning och stabilisera dess struktur över tid (Spokas et al. 2014). Den biotiska och abiotiska nedbrytningen av barkmull och torv bör dock också tas med i beaktning om man ska undersöka substratblandningarna under längre perioder. Särskilt låghumifierad torv har en relativt låg strukturell stabilitet och nedbrytningen kan till en början ha viss påverkan på substratets fysikaliska egenskaper (Raviv et al. 2008).

Resultaten från Spurway-analyserna var svåra att tolka ur perspektiv av den näringshållande förmågan hos de olika substraten på grund av den höga halten inneboende näringsämnen som förmodligen härstammade från de lager av löslösta kolföreningar som täckte ytan av biokolpartiklarna. Värdena från de första testerna (0 bvt) var dessutom inte helt jämförbara med värdena från de andra testerna (5 bvt och 10 bvt) då 0 bvt-testerna baserades på egna beräkningar av koncentrationen näringsämnen i den näringslösning som applicerades till krukorna och Sputway-analys av de enskilda komponenterna medan 5- och 10 bvt-testerna enbart baserades på resultat från Spurway-analys (se Tabell 4). Detta har troligen haft en betydlig påverkan på resultaten i Tabell 4, åtminstone mellan värdena i 0 bvt-kolumnen och värdena i 5- och 10 bvt-kolumnerna. För att uppnå en annan säkerhet och tolkningsbarhet i framtida resultat hade spolning med vatten av biokolet innan applicering kunnat rensa det från en del av de labila fraktionerna och därmed begränsat mängden utfälda inneboende näringsämnen. En mer säker metod för att fastställa ursprunglig näringskoncentration hade behövts tillämpas i framtida försök.

Ett mer långtgående försök behöver göras med det specifika biokol som användes i detta försök för att reda ut frågor kring de inneboende mängderna N och P. Som tidigare nämnt så har vissa biokol visat sig vara långsamt avgivande källor till P och det är möjligt att det hade varit fallet även med detta biokol ifall försöket hade fortsatt under en längre period. Det är också svårt att säga huruvida de låga N-nivåerna i detta försök berodde på att näringsämnen läckte ut med det dränerade vattnet eller togs upp genom okonventionell vätebindning som föreslogs av Hagemann et al. (2017). Klarhet angående detta hade möjligtvis kunnat uppnås med andra typer av mätmetoder än vad som användes i detta försök.

Andra typer av mätmetoder hade producerat resultat som möjligen hade varit mer tillämpningsbara ur ett praktiskt perspektiv. Vid odling av en kort- eller långtidskultur i substraten hade plantornas tillgodogörande av näringsämnen kunnat mätas i tillväxt och utveckling av vegetativa och generativa delar.

I ett alternativt upplägg av försöket hade ytterligare två behandlingar kunnat tilläggas med enbart torv/biokol samt enbart barkmull/biokol för att tydligare kunna urskilja hur dominant de enskilda komponenterna är för sig och vilken påverkan de har på fysikaliska och kemiska egenskaper vid inblandning. Det hade även kunnat vara värdefullt att undersöka enbart biokolet och dess näringsretention utan tillsats av organiska substratkomponenter.

Torven som utgjorde Kontroll i detta försök används oftast som jordförbättrare och sällan utan tillsats av kalk vid odling på grund av dess låga pH-värde. Vidare är nedbrytningshastigheten högre hos torv med låg humifieringsgrad (Raviv et al. 2008). I detta försök användes denna typ av torv som Kontroll för att substraten skulle vara jämförbara men en del av de värden som erhöles från torven är troligen inte en direkt spegling av den typ av torv som används inom kommersiell odling.

5. Slutsatser

Trots tidsbristen producerade försöket resultat som går att bygga vidare på. De flesta av värdena som uppmättes i de sista testerna, efter avslutad behandling, låg inom eller nära de rekommenderade värdena för odlingssubstrat. Värdena från biokolsubstraten var till stor del positiva även i jämförelse med de som erhöles från kontroll-krukorna med undantag för den torra skrymdensiteten och totala porositeten som troligen beror på torvens goda lufthållande kapacitet. Det höga pH-värdet kvarstår som ett problem som behöver lösas ifall blandningarna ska kunna användas som odlingssubstrat.

Få resultat visade på signifikanta skillnader mellan biokolsubstraten men vissa synergistiska effekter kunde påvisas. Till dessa tillhör:

- En lägre kompaktdensitet vid ökad mängd biokol
- Ett högre ledningstal med ökad mängd biokol

Utifrån de parametrar som undersöktes och de rådande omständigheterna i detta försök kan följande slutsatser dras:

- Substrat bestående av biokol, barkmull och torv har potential att kunna användas som ett välfungerande odlingssubstrat inom hortikulturell produktion. Proportionerna av de olika komponenterna kan modifieras för att uppnå önskvärda egenskaper.
- Substrat med volymfördelningen 45% biokol, 25% barkmull och 30% torv har, åtminstone ur ett kortsiktigt perspektiv, en potential att fungera som lämpligt odlingssubstrat för vissa utomhus- och växthuskulturer som trivs i eller tolererar högre pH-värden.
- Ett tidsmässigt mer långtgående försök behöver utföras med blandningar av de specifika komponenter som användes i detta försök för att fastställa dess fortsatta lämplighet.
- Det specifika biokol som användes i detta försök (bestående av avfall från spannmålsproduktion och producerat i en temperatur på mellan 600-700°C) bildar en så pass stor del labila lättlösta kolföreningar att det har en betydelsefull effekt på substratets halter av lättillgängliga näringsämnen vid upprepad bevattning. Denna effekt bör beaktas vid användning av materialet som substratkomponent, antingen genom bortsköljning av de labila fraktionerna innan användning eller att den inneboende näringen används till den odlade kulturens förmån.

6. Referenser

Bi Q-F., Chen Q-H., Yang X-R., Li H., Zheng B-X., Zhou W-W., Liu X-X., Dai P-B., Li K-J., Lin X-Y (2017) *Effects of Combined Application of Nitrogen Fertilizer and Biochar on the Nitrification and Ammonia Oxidizers in an Intensive Vegetable Soil*. AMB Express, vol. 7, s. 198. Tillgänglig:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5676586/>

Biederman L.A., Harpole W.S. (2013) *Biochar and its effects on Plant Productivity and Nutrient Cycling: A Meta-analysis*. Global Change Biology Bioenergy, vol. 5, s. 202-214.

Bilderback T.E. (1982) *Container Soils and Soilless Media*. Raleigh, USA, North Carolina Agricultural Extension Service. Tillgänglig: <http://www.nurserycropscience.info/substrates/pine-bark/other-references/container-soils-and-soiless-media-bilderback-1982.pdf/view>

Båth B. (2003) *Makronäringsämnen, mikronäringsämnen och pH i ekologisk grönsaksodling*.

Jordbruksverket, ur kurspärmen "Ekologisk produktion av grönsaker". Tillgänglig:

http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/p7_18.pdf

Carlile W.R., Cattivello C., Zaccheo P., (2015) *Organic Growing Media: Constituents and Properties*. Soil Science Society of America 5585 Guilford Rd., Madison, WI 53711 USA. Tillgänglig:

<https://projects.ncsu.edu/project/woodsubstrates/documents/additional/constituents-and-properties.pdf>

Dai L., Li H., Tan F., Zhu N., He M., Hu G. (2016) *Biochar: A Potential Route for Recycling of Phosphorus in Agricultural Residues*. Global Change Biology Bioenergy, vol. 8, s. 852–858. Tillgänglig:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12365>

Ding Y., Liu Y., Liu S., Huang S., Li Z., Tan X., Zeng G., Zhou L. (2017) *Potential Benefits of Biochar in Agricultural Soils: A Review*. Pedosphere, vol. 27, nr. 4, s. 645-661. Tillgänglig:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002016017603758>

Ding Y., Liu Y., Liu S., Li S., Tan X., Huang X., Zeng G., Zhou L., Zheng B (2016) *Biochar to Improve Soil Fertility: A Review*. Agronomy for Sustainable Development, vol. 36, nr. 36. Tillgänglig:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs13593-016-0372-z.pdf>

EBC (2012) *European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*. Version 6.3E of 14th August 2017. European Biochar Foundation (EBC) [online] Tillgänglig:

<http://www.europeanbiochar.org/en/download>. [2018-04-15]

Eriksson J., Dahlin S., Nilsson I., Simonsson M. (2011) *Marklära*. Malmö, Studentlitteratur.

Fernandes C., Cora J.E. (2004) *Bulk Density and Relationship Air/Water of Horticultural Substrate*. Scientia Agricola, vol. 61, nr. 4. Tillgänglig: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162004000400015

Gai X., Wang H., Liu J., Zhai L., Liu S., Ren T., Liu H. (2014) *Effects of Feedstock and Pyrolysis Temperature on Biochar Adsorption of Ammonium and Nitrate*. PLoS One, vol. 9, nr. 12. Tillgänglig: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4254611/>

Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W., (2014) *The 'Terra Preta' Phenomenon: A Model for Sustainable Agriculture in the Humid Tropics*. Naturwissenschaften, vol. 88, nr. 37. Tillgänglig: <https://link.springer.com/article/10.1007/s001140000193#aboutcontent>

Hagemann N., Kammann C.I., Schmidt H-P., Kappler A, Behrens S (2017) *Nitrate Capture and Slow Release in Biochar Amended Compost and Soil*. PLoS One, vol. 12, nr. 2. Tillgänglig: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5310885>

Hamer U., Marschner B., Brodowski S., Amelunge W., (2004) *Interactive Priming of Black Carbon and Glucose Mineralisation*. Organic Geochemistry, vol. 35, nr. 7, s. 823-830. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014663800400052X>

Heiskanen J. (1995) *Physical Properties of Two-component Growth Media Based on Sphagnum peat and their Implications for Plant-available Water and Aeration*. Plant and Soil, vol. 172, s. 45-54. Tillgänglig: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF00020858.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (2003) *Revision of the "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [online] Tillgänglig: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdffiles/2006GLs_scoping_meeting_report_final.pdf [2018-01-30]

Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [online] Tillgänglig: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf [2018-01-30]

Jindo K., Mizumoto H., Sawada Y., Sanchez-Monedero M.A., Sonoki T. (2014) *Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues*. Biogeosciences, vol. 11, s. 6613–6621. Tillgänglig: <https://www.biogeosciences.net/11/6613/2014/bg-11-6613-2014.pdf>

Kaudal B.B., Chen D., Madhavan D.B., Downie A., Weatherley A. (2016) *An Examination of Physical and Chemical Properties of Urban Biochar for Use as Growing Media Substrate*. Biomass and Bioenergy, vol. 84, s. 40-58. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415301525>

Kern, J., P. Tammeorg, M. Shanskiy, R. Sakrabani, H. Knicker, C. Kammann, E-M. Tuhkanen, G. Smidt, M. Prasad, K. Tiilikkala, S. Sohi, G. Gascó, C. Steiner och B. Glaser (2017) *Synergistic use of Peat and Charred Material in Growing Media – An Option to reduce the Pressure on Peatlands?*, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, vol. 25, nr. 2, s. 160-174.

Tillgänglig: <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1284665>

Keiluweit M., Nico P.S., Johnson M.G., Kleber M. (2009) *Dynamic Molecular Structure of Plant Biomass-Derived Black Carbon (Biochar)*. Environmental Science Technology, vol. 44, s. 1247-1253. Tillgänglig:

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es9031419>

Landis T.D., Morgan N. (2009) *Growing Media Alternatives for Forest and Native Plant Nurseries*. In: Dumroese, R. K.; Riley, L. E., tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2008. Proc. RMRS-P-58. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. s. 26-31. Tillgänglig: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/32931>

Lehmann J. (2009) *Terra Preta Nova – Where to from Here?* Woods W.I., Teixeira W.G., Lehmann J., Steiner C., WinklerPrins A., Rebellato L. (eds) Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Springer, Dordrecht. Tillgänglig: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-9031-8_28#aboutcontent

Liang Y., Cao X., Zhao L., Harris W. (2014) *Phosphorus Release from Dairy Manure, the Manure-Derived Biochar, and Their Amended Soil: Effects of Phosphorus Nature and Soil Property*. Journal of Environmental Quality, 43(4):1504-9. doi: 10.2134. Tillgänglig:

https://www.researchgate.net/publication/271333610_Phosphorus_Release_from_Dairy_Manure_the_Manure-Derived_Biochar_and_Their_Amended_Soil_Effects_of_Phosphorus_Nature_and_Soil_Property

Liang B., Lehmann J., Solomon D., Sohi S., Thies J.E., Skjemstad J.O., Luizao F.J., Engelhard M.H., Neves E.G., Wirick S. (2008) *Stability of Biomass-derived Black Carbon in Soils*. Journal of Environmental Quality, vol. 43, nr. 4, s. 1504-1509. Tillgänglig:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703708005875#bib9>

Lindgren A., Lundblad M. (2014) *Rapportering av utsläpp från dränerade organiska jordar under UNFCCC - utvärdering av emissionsfaktorer och arealer för Sverige*. SLU och Naturvårdsverket, Uppsala. Tillgänglig:

https://pub.epsilon.slu.se/11172/11/lindgren_a_lundblad_m_140512.pdf

Major J., Rondon M., Molina D., Riha S.J., Lehmann J. (2010) *Maize Yield and Nutrition During 4 Years After Biochar Application to a Colombian Savanna Oxisol*. Plant and Soil, vol. 333, nr. 1-2, s. 117-128.

Tillgänglig: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0327-0>

Masek O., Brownsort P., Cross A., Sohi S. (2013) *Influence of Production Conditions on the Yield and Environmental Stability of Biochar*. Fuel, vol. 103, s. 151-155. Tillgänglig:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111005187>

Michel J-C. (2010) *The physical properties of peat: a key factor for modern growing media*. Mires and Peat, vol. 6, nr. 2. Tillgänglig: <https://hal-agrocampus-ouest.archives-ouvertes.fr/hal-00729716>

Naturvårdsverket (2016) *Torvutvinningens och torvanvändningens klimat- och miljöpåverkan* [online] Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2016/redovisade/ru-torv-skrivelse-slutversion-rattad-2016-06-29.pdf> [2018-01-30]

Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., Niandou M.A.S. (2009) *Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil*. Soil Science, vol. 174, nr. 2. Tillgänglig: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.585.3355&rep=rep1&type=pdf>

Oguntunde P.G., Abiodun B.J., Ajayi A.E., van de Giesen N. (2008) *Effects of Charcoal Production on Soil Physical Properties in Ghana*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, vol. 171, nr. 4, s. 591-596 . Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200625185>

Palij, Y., Pyreg Gmbh, [2018-03-02] - Mejlkonversation

Raviv M., Lieth J.H. (2007) *Soilless Culture: Theory and Practice, 1st Edition*. Nederländerna, Elsevier Science.

Rehrah D., Reddy M.R., Novak J.M., Bansode R.R., Schimmel K.A., Yu J., Watts D.W., Ahmedna M. (2014) *Production and Characterization of Biochars from Agricultural By-products for use in Soil Quality Enhancement*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, vol. 108, s. 301-309. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237014000679>

Rensmann, M., Pyreg Gmbh, [2018-02-19] - Mejlkonversation

Robbins J.A., Evans M.R., *Greenhouse and Nursery Series: Growing Media for Container Production in a Greenhouse or Nursery Part II – Physical and Chemical Properties* - University of Arkansas, Division of Agriculture [online] Tillgänglig: <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-6098.pdf> [2018-04-29]

Sonneveld C., Voogt W. (2009) *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Berlin. Springer Science & Business Media.

Spokas K.A., Novak J.M., Masiello C.A., Johnson M.G., Colosky E.C., Trigo C (2014) *Physical Disintegration of Biochar: An Overlooked Process*. Environmental Science Technology, vol. 1, s. 326-332. Tillgänglig: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ez500199t>

Statens Energimyndighet (2017) *Energiindikatorer 2017: Uppföljning av Sveriges Energpolitiska Mål* [online] Tillgänglig:

<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/indikatorer/energiindikatorer-2017.pdf> [2018-01-30]

Statistiska Centralbyrån (2017) *Skörd av Odlingstorv 1982–2016* [online] Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/markanvandning/torv-produktion-anvandning-och-miljoeffekter-torv/pong/statistiknyhet/torv-2016--produktion-anvandning-och-miljoeffekter/> [2018-01-30]

Ventura M., Alberti G., Viger M., Jenkins J.R., Girardin C., Baronti S., Zaldei A., Taylor G., Rumpel C., Miglietta F., Tonon G. (2015) *Biochar Mineralization and Priming Effect on SOM-decomposition in two European Short Rotation Coppices*. *Global Change Biology Bioenergy*, vol. 7, s. 1150-1160. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcbb.12219>

Wang Y., Lin Y., Chiu P.C., Imhoff P.T., Guo M. (2015) *Phosphorus Release Behaviors of Poultry Litter Biochar as a Soil Amendment*. *Science of the Total Environment*, vol. 512–513, s. 454-463. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715001151>

Weibulls (2018) *Barkmull, produktblad* [online] Tillgänglig: <http://weibulls.com/produkter/utomhus/barkmull-/685085.864348.1224453.0p> [2018-03-05]

Woolf D., Amonette J.E., Street-Perrot F.A., Lehmann J., Joseph S. (2010) *Sustainable Biochar to Mitigate Global Climate Change*. *Nature Communications*, vol. 1. Tillgänglig: <https://www.nature.com/articles/ncomms1053>

Xai G., Wang H., Liu J., Zhai L., Liu S., Ren T., Liu H., (2014) *Effects of Feedstock and Pyrolysis Temperature on Biochar Adsorption of Ammonium and Nitrate*. *PLoS ONE*, vol. 9, nr. 12. Tillgänglig: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4254611/>

Yang D., Yunguo L., Shaobo L., Xixian H., Zhongwu L., Xiaofei T., Guangming Z., Lu Z. (2017) *Potential Benefits of Biochar in Agricultural Soils: A Review*. *Pedosphere*, vol. 27, nr. 4, s. 645-661. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002016017603758>

Yoo G., Kim H., Chen J., Kim Y. (2014) *Effects of Biochar Addition on Nitrogen Leaching and Soil Structure following Fertilizer Application to Rice Paddy Soil*. *Soil Science Society of America*, vol. 78, s. 852-860. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/pdfs/78/3/852>

Zimmerman A.R. (2009) *Abiotic and Microbial Oxidation of Laboratory-Produced Black Carbon (Biochar)*. *Environmental Science Technology*, vol. 44, s. 1295-1301. Tillgänglig: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es903140c>

8. Bilaga

Fördelning av substratkomponenter vid test av pH-värde i substrat av olika proportioner

Proportioner (volym-%)	Torv (ml)	Biokol (ml)	Barkmull (ml)	pH-värde
Torv 90 - Biokol 7,5 - Barkmull 2,5	180	15	5	5,3
Torv 80 - Biokol 15 - Barkmull 5	160	30	10	5,3
Torv 70 - Biokol 22,5 - Barkmull 7,5	140	45	15	5,7
Torv 60 - Biokol 30 - Barkmull 10	120	60	20	6,2
Torv 50 - Biokol 37,5 - Barkmull 12,5	100	75	25	6,3
Torv 40 - Biokol 45 - Barkmull 15	80	90	30	6,6
Torv 30 - Biokol 52,5 - Barkmull 17,5	60	105	35	7,1
Torv 20 - Biokol 60 - Barkmull 20	40	120	40	7,8
Torv 10 - Biokol 67,5 - Barkmull 22,5	20	135	45	8,0