

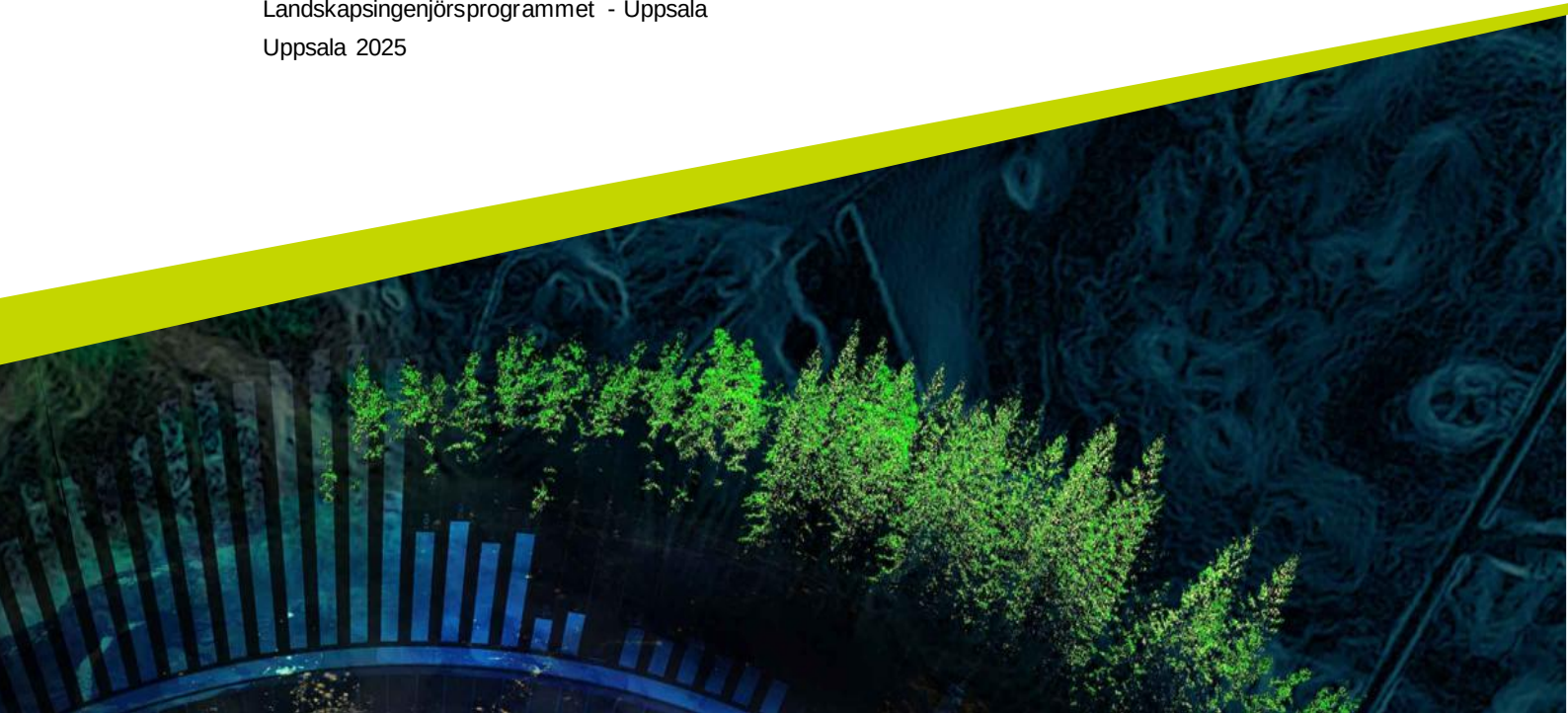


Biokol i urbana miljöer

Utmaningar och möjligheter med biokol i skelettjordar för att stödja stadsträd

Tova Franzén

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Uppsala 2025



Biokol i urbana miljöer: Utmaningar och möjligheter med biokol i skelettjordar för att stödja stadsträd

Biochar in urban environments: Challenges and opportunities of biochar in structural soils to support trees.

Tova Franzén

Handledare:	Daniel Valentini, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land
Examinator:	Hanna Erixon Aalto, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land
Biträdande examinator:	Vera Vicenzotti, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land

Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod:	EX1004
Program/utbildning:	Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Kursansvarig inst.:	Institutionen för stad och land
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2025

Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd. Alla tabeller som används i arbetet är författarens egna om inget annat anges.

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

Nyckelord: Biokol, skelettjord, träd, urban utveckling, Stockholmsmodellen

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institution för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

Förord

Denna uppsats är ett kandidatarbete på landskapsingenjörsprogrammet vid institutionen för stad och land, Sveriges lantbruksuniversitet Ultuna. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och är skrivet under perioden 20 januari till den 24 mars 2025. Examinator har varit Hanna Erixon Aalto och handledare Daniel Valentini.

Jag vill tacka min handledare Daniel Valentini och min handledningsgrupp för värdefull återkoppling under arbetes gång. Jag vill även passa på att tacka de lärare, informanter och forskare som tagit sig tid att svara på frågor kring litteraturen.

Sammanfattning

Förtätning av städer och förändrat klimat förväntas försvåra livssituationen för stadsträden och risken finns att stadsträd aldrig får växa sig stora. Detta riskerar i sin tur att påverka människors hälsa och välmående i städer till de sämre. Då kopplingen till naturen kan drabbas och trädens ekosystemtjänster, som till exempel sänkning av temperatur eller deras bidragande till biologisk mångfald, går förlorade. I det här sammanhanget har skelettjordar en stor potential att bromsa problemen och bidra till en grönare infrastruktur i städer. Ett vanligt komplement som används i dagens skelettjordar är biokol. Biokol är ett material som är framställt av biomassa som genomgått en pyrolysisprocess. Materialet har många fördelar och nackdelar vid användning för jordförbättring, men det finns flera osäkerheter och utmaningar som behöver utvärderas och undersökas.

Resultaten visar att biokol förbättrar skelettjordars vattenhållande och näringshållande förmåga. Skelettjorden får även en förbättrad porstruktur vilket gynnar träd och växters tillväxt. Materialet binder tungmetaller, minskar näringsläckage och bidrar generellt till en bättre miljö för växter. Biokolet fungerar även som en kolsänka. Trots de olika möjligheterna som biokol ger till växter i skelettjord finns det även vissa utmaningar. Till exempel kan biokol bidra till ett ökat pH värde i skelettjorden vilket kan påverka växtligheten negativt. Om porerna i biokolet är för små kan de låsa vattnet från att tas upp av växternas rötter. Även produktionen av biokol är under utveckling och kan vara dyr, beroende på vilka råmaterial som används och vilken process som tillämpas. Om efterfrågan på biokol ökar snabbare än produktionen kan detta påverka både priset och tillgången på materialet. Det finns också etiska aspekter att beakta vid biokolets produktion, särskilt när det gäller arbetsförhållanden i länder där biokol produceras under mindre reglerade förhållanden.

För att biokolets användning i skelettjordar ska bli mer hållbar och effektiv krävs ytterligare forskning och långsiktiga fältstudier. Det behövs en djupare förståelse för hur biokol interagerar med andra komponenter i skelettjordar och hur det påverkar delar som mikrobiologiskt liv, markstruktur och växttillväxt på lång sikt. Dessutom måste riktlinjer och standarder utvecklas för att säkerställa biokolets positiva effekter samtidigt som eventuella risker minimeras.

Nyckelord: Biokol, skelettjord, träd, urban utveckling, pyrolysis

Abstract

Urban densification and climate change are expected to make life harder for urban trees, and there is a risk that these trees will never grow large. This could negatively affect people's health and well-being in cities, as the connection to nature may be lost, along with the ecosystem services provided by trees. Such as temperature regulation and their contribution to biodiversity. In this context, structural soils have exciting potential to mitigate these issues and contribute to greener infrastructure in cities. A common addition to today's structural soils is biochar. Biochar is a material made from biomass that has undergone a pyrolysis process. The material has many benefits and limitations when used for soil improvement, but there are several uncertainties and challenges that need to be evaluated and studied.

The results show that biochar improves the water retention and nutrient-holding capacities of structural soils. It also improves the pore structure of the soil, which benefits the growth of trees and plants. The material binds heavy metals, reduces nutrient drainage, and creates a better environment for plants. Biochar also functions as a carbon sink. Despite the various benefits biochar provides to plants in structural soils, there are also some challenges. For example, biochar can increase the pH value of structural soils, which may negatively affect plant growth. If the pores in the biochar are too small, they may lock water from being absorbed by plant roots. Biochar production is also still under development and can be expensive, depending on the raw materials used and the process applied. If demand for biochar increases faster than production, this could impact both the price and availability of the material. Ethical aspects should also be considered in the production of biochar, especially regarding working conditions in countries where biochar is produced under less regulated conditions.

For biochar's use in structural soils to become more sustainable and effective, further research and long-term field studies are required. A deeper understanding is needed of how biochar interacts with other components in structural soils and how it affects factors such as microbial life, soil structure, and plant growth over the long term. Furthermore, guidelines and standards need to be developed to ensure biochar's positive effects while minimizing any potential risks.

Keywords: Biochar, skeleton soil, trees, urban development, pyrolysis,

Innehållsförteckning

Tabellförteckning.....	7
1. Introduktion.....	8
1.1 Syfte och frågeställningar.....	9
1.2 Avgränsning.....	9
1.3 Metod.....	10
1.3.1 Litteraturstudie.....	10
1.3.2 Databaser, sökord och sökfraser.....	10
1.3.3 Källkritik	11
1.3.4 Kritik av metod.....	12
2. Bakgrunden till stadsträdens värde	13
3. Förutsättningar som krävs för träd i stadsmiljö – en bakgrund.....	14
3.1 Jorden.....	14
3.2 Trädens behov och funktion	15
4. Skelettjordar.....	17
4.1 Stockholmsmodellen – skelettjord.....	17
4.2 Stockholmsmodellen – kolmakadam.....	18
4.3 Skelettjord enligt AMA	19
4.3.1 Vad är AMA?	19
4.3.2 AMA anläggning – DCL.211	20
4.3.3 AMA anläggning – DCL.212	20
5. Biokol	22
5.1 Historia.....	22
5.2 Tillverkning	23
5.2.1 Kostnader.....	24
5.3 Biokolets kemiska egenskaper	24
5.3.1 Näringsinnehåll och näringshållande förmåga.....	25
5.3.2 Askhalt.....	26
5.3.3 pH och kalkeffekt	26
5.4 Biokolets fysikaliska egenskaper	27
5.5 Biokols biologiska egenskaper	28
5.5.1 Mikrobiell aktivitet.....	28
5.5.2 Biologisk nedbrytning	29
5.6 Åldringsprocessen för biokol i jordar och dess implikationer	31
6. Diskussion	32
7. Referenslista	38
Figurförteckning	41

Tabellförteckning

Tabell 1: Flest använda sökord i de olika databaserna.....	10
Tabell 2: Olika sökfraser som har använts för att hitta relevant information	11
Tabell 3: Tolkning av tabell 1:1 i boken Urban tree management for the sustainable development of green cities – psykologiska, fysiska och sociala fördelar med att vara i urbana parker.	13

1. Introduktion

Träd i staden har inte alltid varit en självklarhet. Det var först under den senare delen av 1600-talet som Sverige började introducera stadsträd i arkitektoniska och rekreativa syften. På 1700-talet fick stadsträden en mer förskönande roll i stadsbilden och stadsbyggandet. Mycket av den bilden finns även kvar idag (Sjöman & Slagstedt 2015).

Under de gångna århundradena har trädgroparna varit väl tilltagna och det fanns näst intill inget som konkurrerade med rötterna under mark. Vatten dränerades inte bort på samma sätt som idag, ytan var inte täckt med asfalt och gasutbytet mellan mark och luft fungerade utan större problem. Det fanns även en kontinuerlig tillgång på näringsämnen från bland annat gödsel från de många dragdjuren (ibid). Träd som i stället planteras under 1900-talet och framåt utsätts för allt ifrån markkompaktering, konkurrens med diverse ledningar under mark, vägsaltning, dålig tillgång på vatten och syre på grund av hårdgjorda ytor samt näringsbrist (Rolf 1991).

På grund av de utmaningar som stadsträden utsätts för sågs en trend i att stadsträd ofta dog eller stannade av i tillväxt. Ett exempel på detta beskriver Rolf och Moback i sin artikel i tidningen Grön Fakta C1 (1991), där vartannat träd i New York dog innan det hade blivit 10 år gammalt. Som reaktion på detta konstruerades olika förslag på nya växtbäddar varav skelettjorden var en utav dem (ibid).

Skelettjorden består i grunden utav en grov fraktion av makadam som fungerar som ett bärande lager för den trafikerade ytan ovanför. Porerna som bildas mellan makadamen fylls med exempelvis jord och kompost. Porerna ska ge rötterna möjlighet att växa, sprida ut sig över större yta, ge bättre tillgång på näring, luft och vatten för att träden ska ha en chans att utvecklas under lång tid. Det vill säga träden ska kunna växa och utvecklas relativt normalt (Pettersson 2006).

Sedan början av 2000-talet, då skelettjordsmetoden började diskuteras och användas i Sverige, har flera anläggningar med skelettjord etablerats. Främst i Sveriges storstäder. Metoden har använts för att vitalisera befintliga gatuträd och för att öka andelen jordvolym för nyplanterade träd. Stockholms stad har satt ihop sina egna modeller för skelettjordar som bland annat innehåller materialet biokol. Biokol är ett organiskt material som upphettats i en process som heter pyrolys. Biokol har flera olika fördelar, till exempel har materialet en vattenhållande förmåga, det binder tungmetaller och minskar näringsläckage (Alvem et al. 2017).

Trots de olika fördelarna med biokol, finns det enligt Ralebitso-Senior et al. (2016), Blanco-Canqui (2017) och Lehmann et al. (2024) fortfarande flera osäkerheter kring de långsiktiga effekterna som biokol har på jordens egenskaper. Till exempel när det gäller klassificering utav biokolets struktur, materialets interaktion med mikrobiellt liv och dess användning som kolsänka. Detta gör ämnet särskilt relevant att studera. Då det inte bara kan öka förståelsen för biokolets roll i stadsgrönska utan också bidra till att utveckla mer hållbara metoder för anläggning av skelettjordar. Genom att undersöka biokolets roll i skelettjordar kan vi skapa bättre förutsättningar för framtidens stadsträd och grönområden i städer.

1.1 Syfte och frågeställningar

Denna uppsats syftar till att, genom en litteraturstudie, undersöka biokolets potentiella fördelar och nackdelar när det används i en skelettjord. Detta görs genom att analysera effekterna som biokol har på markens kemiska, biologiska och fysikaliska egenskaper och applicera dessa effekter på skelettjordar. Arbetet kommer även kort gå igen hur man bygger upp skelettjordar. Arbetet syftar till att ge en bild av biokolens roll i framtidens växtbäddsbyggande.

Frågeställningarna som uppsatsen kommer att behandla är:

- Vilka är utmaningarna vid användning av biokol i skelettjordar?
- Vilka är möjligheterna vid användning av biokol i skelettjordar?

1.2 Avgränsning

Eftersom det finns flera olika modeller på hur man bygger upp skelettjordar kommer detta arbete begränsas till Stockholmsmodellen som är framtagen av Stockholms stad (Alvem et al. 2017). Arbetet kommer även beskriva skelettjorden som finns i AMA- anläggning 2023 som är framtagna av svensk byggtjänst (2023).

I uppsatsen diskuteras biokol utifrån ett brett perspektiv och beskrivs ur ett övergripande perspektiv. Fokus kommer inte ligga på specifika biokolssorter utan ska ge ett generellt perspektiv på hur biokol fungerar i allmänhet.

Arbetet utförs över en 10 veckors period.

1.3 Metod

I denna uppsats har en litteraturstudie gjorts. Metoden har legat som bakgrund för hela arbetet.

1.3.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes under de första veckorna på arbetet för att sammanställa tidigare forskning om biokol och dess effekter på markens egenskaper. Litteraturstudien inkluderade även en faktainsamling om skelettjordar för att få en bakgrund till hur en generell skelettjord är uppbyggd. Studien omfattar vetenskapliga artiklar, rapporter, faktablad och avhandlingar som behandlar biokolens effekter på kemiska, fysikaliska och biologiska egenskaper i olika jordtyper. Samt även avhandlingar om skelettjordarnas konstruktion och deras användning i svenska städer.

Gallring av texterna har utförts enligt följande ordning, läsning av titel, abstract och översikt av rubriker samt figurer. Dessa delar har gjorts för att skapa en snabb uppfattning om källans innehåll och information.

Vid behov har vetenskapliga texter och enskilda ord översatts med hjälp av Google översätt och ChatGPT.

1.3.2 Databaser, sökord och sökfraser

Relevanta databaser som använts är SLU Primo, Web of Science, Uppsala universitetsbibliotek och Google. Databaserna valdes ut då de genererat flest resultat med de valda sökorden. De mest använda sökorden finns listade i tabell 1. Sökorden har tagits fram baserat på uppsatsens ämnesval och frågeställningar. Sökord har även tagits från tidigare relevanta arbeten. Sökningar har gjorts på svenska och engelska, beroende på databas och vad som eftersöktes.

Tabell 1: Flest använda sökord i de olika databaserna

Nyckelbegrepp	Relaterade termer
Biokol	Biochar
Skelettjord	Structural soil, C-U soil, skeletal soil
Träd	Tree
Biologi	Biology
Pyrolys	Pyrolysis
Marklära	
Stockholmsmodellen	
Biokolhandboken	
AMA anläggning	
Stadsmiljö	Urban landscape

Olika sökfraser byggdes upp utifrån begreppen listade i tabell 1. Söktermerna anpassades beroende på vilken databas som användes. Söktermerna som har använts finns listade i tabell 2.

Tabell 2: Olika sökfraser som har använts för att hitta relevant information

Google	Web of Science	SLU primo	Uppsala universitetsbibliotek
Stockholmsmodellen Stockholms stad	Biochar AND structural soils	AMA – anläggning	AMA – anläggning 2023
Biokolhandboken – för användare	Biochar AND biology	Biochar	
Biokolhandboken – för producenter	Pyrolysis AND biomass	Skelettjord	
		Biologi AND träd	
		Trees in urban landscape	
		Träd	
		Marklära	

Arbetet är även uppbyggt på kedjesökning av referenser från olika vetenskapliga artiklar och faktablad. Kedjesökning innebär att källor letas upp i referenslistor hos andra relevanta publikationer (Luleå tekniska universitet 2025).

Ovan nämnda söktermer och sökfraser gav stundtals breda resultat och avgränsningar behövdes göras. Detta gjordes genom filtrering på de olika sökresultaten till de mest citerade vetenskapliga artiklarna eller till böcker.

Texter har även samlats in genom att tillfråga experter och forskare inom området biokol och skelettjordar.

1.3.3 Källkritik

Källorna som använts i denna uppsats har bedömts vara trovärdiga. Trovärdigheten baseras på förekomsten av vetenskaplig granskning, årtal, äkthet samt andelen citeringar. Författaren har även följt rekommendationerna kring källkritik som finns på krisinformation.se (2025), en hemsida som drivs av myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Även icke vetenskapliga artiklar har bedömts utifrån dessa rekommendationer och har även verifierats genom användning av flertalet olika källor. Källor med överensstämmande information har bedömts vara trovärdiga enligt de källkritiska kriterierna (ibid.).

1.3.4 Kritik av metod

Metoden som används i denna uppsats är helt beroende av redan publicerad kunskap, vilket innebär att det inte finns något utrymme för att verifiera resultatet eller för att generera nya fakta. Detta begränsar resultatets innovation och framtida relevans. En ytterligare begränsning som metoden presenterar är att den inte fångar upp opublicerad kunskap eller eventuell information som är under utveckling. Detta kan medföra att viktigt och aktuell information förbises.

Under arbetets gång har det visat sig varit svårt att hitta texter som behandlar huvudfrågorna i sin helhet. Därför har uppsatsen i stället baserat på information om stadsträdens värde, skelettjord enligt AMA23 och Stockholmsmodellen samt biokol i sin helhet. Slutsatser har sedan diskuterats i kapitel 6 med hjälp av den sammanställda bakgrunden och resultatet.

2. Bakgrunden till stadsträdens värde

I boken *Urban tree management for the sustainable development of green cities* (Auch 2016) sammanfattar flera forskare bland annat de olika värden som träd tillför i städer runt om i världen. Till exempel skriver Tyrväinen et al. (2005 se Auch 2016) att för många människor manifesteras naturens skönhet i träden. Trädens variation i fenologi, med andra ord, trädens förändrade utseende beroende på årstid. Lövsprickning, blomning, lövfärger och fallande löv är alla viktiga faktorer på hur vi människor upplever årstiderna. Trädens fenologi bidrar även med ljud, ljusinsläpp och kontakt med naturen. I boken listar Auch (2016) trädens psykologiska, sociala och fysiska fördelar med att vara i urbana parker. Dessa finns översatta från engelska till svenska i tabell 3.

Tabell 3: Tolkning av tabell 1:1 i boken *Urban tree management for the sustainable development of green cities* – psykologiska, fysiska och sociala fördelar med att vara i urbana parker.

Psykologiska fördelar	• Att vara nära naturen för oss närmare vår egen natur • Ökad avslappning och välbefinnande • Minskade stressnivåer • Antidepressiva effekter av ljus och grönska
Fysiska fördelar	• Från fysiska aktiviteter (promenader, träning, med mera) • Ökad energi från sval och frisk luft • Stimulering av alla sinnen • Ökad kognitiv prestation
Sociala fördelar	• Stimulering av interaktion, särskilt mellan barn och vuxna, eller mellan olika kulturer • Ökad känsla av tillhörighet, minskad social isolering • Ökad känsla av ansvar på grund av hänsyn till naturliga sammanhang

Stadsträd bidrar även till andra ekosystemtjänster. Till exempel fungerar de som stöd för den biologiska mångfalden i staden då de skapar olika biotoper. Stadsträden och stadsgrönskan skapar även viktiga noder och korridorer i den övergripande gröna infrastrukturen som sammankopplar landsbygd och stadslandskap. Stadsträden bidrar även med reglerande tjänster i form av lufttillströmning, dagvattenhantering, vindutjämning och en minskning i värmeö – effekten. Stadsträden skapar ett stort hållbarhetskaptital med starka värden för ekonomiska, ekologiska och sociala målsättningar (Sjöman & Slagstedt 2015).

3. Företsättningar som krävs för träd i stadsmiljö – en bakgrund

I denna del av arbetet presenteras en bakgrund till vilka företsättningar träd behöver för att etableras, växa och utvecklas i städer, samt en kort bakgrund till företsättningar i markförhållanden.

Denna information utgör en grundläggande förståelse för att kunna tolka och analysera de resultat som presenteras senare i arbetet. Vidare även för att kunna resonera kring de frågeställningar som behandlas i arbetet.

3.1 Jorden

Eriksson et al. (2011) beskriver i sin bok Marklära att om en jord ska fungera som en bra växtplats måste den uppnå vissa krav. Jorden måste hålla lämpliga proportioner av organiskt material, vittringsbara mineraler, markvatten och markluft. Genom mineralvittring får jorden ett nettoflöde av olika näringsämnen som är viktiga för träden. Exempel på dessa mineraler är kalium, magnesium, kalcium och fosfor. Det organiska materialet binder upp de olika näringsämnena i jorden och gör de lättillgängliga för rötter att ta upp. På detta sätt skapas en växtnäringsbuffert som också hindrar näringsförluster i form av urlakning (ibid).

Förutom att det organiska materialet binder upp näringsämnen bidrar det också med ”bränsle” för alla markorganismer. Markorganismerna har stor påverkan på markens olika processer. De bidrar genom att tillföra organiskt material, ta upp växtnäring och producera enzymer. Mikroorganismerna bidrar också till aggregatbildning som i sin tur påverkar dränering och genomluftning av jorden. Dessa markorganismer lever oftast under energibegränsning (svält). Denna energibegränsning avbryts bara vid udda tillfällen med ett överflöd. Främst i samband med inflöde av organisk bunden energi och kol, som ursprungligen kommer från växternas primärproduktion. Till exempel från fallna löv eller vissna grenar som faller till marken (ibid).

Markfaunan har en konstant markandning då organismer och rötter både förbrukar syre och avger koldioxid. Naturliga jordar består ungefär av 50% mineralpartiklar och humusämnen, samt till 50% utav porer. Beroende på porernas storlekar kan de antingen innehålla luft eller vatten (ibid).

I stadsmiljö är tillgången på vatten antingen i de flesta fall begränsad eller för stor för växtligheten. Vatten kan antingen rinna bort på de hårdgjorda ytorna, ledas bort genom brunnar eller bli stående i planteringshålen. Detta beror på flera olika

faktorer, men de största bidragande faktorerna är jordens genomsläpplighet och markytans utformning. Genomsläppligheten beror i sin tur på jordarten. Det vill säga vilka kornstorlekar som jorden består av. Det är blandningen av dessa som avgör vilken textur som jorden kommer att bilda som i sin tur bestämmer hur jordens struktur kommer att se ut (Pettersson 2006).

3.2 Trädens behov och funktion

Gemensamt för alla växter är fotosyntesen. Fotosyntesen innebär i korthet att växter bygger kolhydrater av koldioxid, vatten och solljus med hjälp av klorofyllet i växternas löv eller gröna delar. Från vattnet tar träden även upp närsalter (Karlsson et al. 2012). Fotosyntesprocessen kan delas in i två större reaktioner, ljusreaktioner och energiomvandlingsreaktioner, där ljusenergi omvandlas till kemisk energi. Under gynnsamma förhållanden, det vill säga när det finns tillräckligt med solljus, vatten, syre, koldioxid och näring, kan fotosyntes ske och växten leva och växa (Auch 2016).

För att fotosyntesen ska kunna ske effektivt är det också avgörande att rotsystemen är anpassade för optimalt ta upp de resurser som finns tillgängliga i jorden. Rotsystemens utformning hos träd varierar mycket mellan olika trädslag. Vissa träd har pålrötter och andra trädslag har grunda utbredda rotsystem. Däremot anpassas rötternas utbredning, utformning och djup till markens beskaffenhet. Rotsystemets funktion är främst att förankra träden i marken och absorbera vatten samt därifrån lösta växtnäringselement. Båda dessa funktioner – förankring och näringsupptagning – är beroende av markens beskaffenhet. Rötterna kan växa (andas) när jorden har en porvolym som har syrerik markluft på över 12% och vatten. Rotandningen, som rottillväxtprocessen också kallas, är en process där syre tas upp och koldioxid avges. Det är en förbränning där energin som skapas i trädens löv frigörs och förbrukas i olika växtprocesser, till exempel vid tillverkning av nya rothår (Vollbrecht 2000).

Kompaktering av jorden förstör jordens struktur, det vill säga att jordens porositet blir mindre och andelen stora och mellanstora porer minskar (Kozlowski, 1985; Day et al., 2010a se Auch 2016). Porerna i jorden är nödvändiga för gasutbytet mellan jorden och luften. Det är dem som ser till att rötter och annan markfauna får tillgång till syre och transporterar bort koldioxid. Som en konsekvens av ett minskat porsystem kommer trädens rötter inte utvecklas i samma utsträckning och trädets tillväxt kommer avstanna eller begränsas. Implikationerna av jordkompaktering kan summeras på följande sätt enligt Perry (1978 se Auch 2016).

” No oxygen – no roots; no water – no roots; rigid, impenetrable soils – no roots.”

Förutom att trädens rötter har stort ansvar vad gällande upptagning av syre och näringsämnen, lever även många träd i symbios med diverse andra markorganismer. Till exempel lever alla leguminosor (exempel *Cladrastis kentukea*, *Laburnum* och *Robinia pseudoacacia*) i symbios med bakterier som hjälper dem binda luftkväve som sedan kan användas i trädens växtprocess. Ett annat exempel är eken som när helt beroende av mycorrhiza svampar för att deras näringsupptagning ska fungera (Vollbrecht 2000).

Ytterligare något som påverkar trädens tillväxt i städer temperaturer. Alla träd har olika temperaturer som de är anpassade till att växa i, men i städer skapas det ofta mikroklimat eller också kallat ”värmeöar”. Det vill säga platser där temperaturen är högre än vad den är på andra platser i staden på grund av värme som avges från asfalt och husväggar. Detta innebär en extra utsatthet för växtlighet som snabbare gör sig av med vatten i sina olika tillväxtprocesser (Trowbridge et al. 2004).

För att sammanfatta behöver träd sex viktiga förutsättningar för att överleva. Tillgång till syre, koldioxid, ljus, vatten, näringsämnen och lämplig temperatur (Trowbridge et al. 2004). Sedan behövs det även en bra markstruktur med gott om rotutrymme och markluft för att alla dessa processer ska kunna fungera (Vollbrecht 2000).

4. Skelettjordar

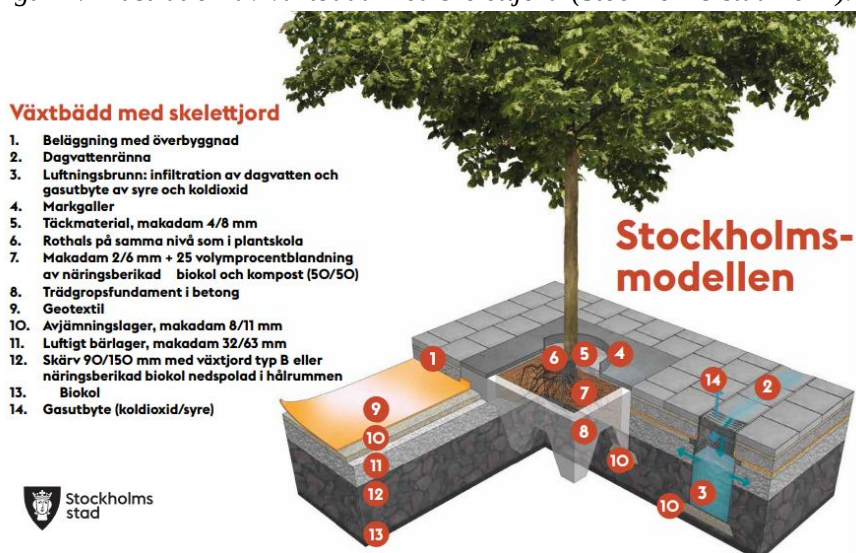
I denna del av uppsatsen redovisas två av de nuvarande metoderna för konstruktion av skelettjordar. Mer specifikt Stockholmsmodellen skapad av Stockholms stad samt skelettjorden som presenteras i AMA anläggning 23. Vad AMA anläggning är presenteras i kapitel 4.3.1. Inom branschen finns det flera olika skelettjordar som är anpassade utefter plats, men alla har en grund i de skelettjordar som beskrivs i AMA23 och Stockholmsmodellen. Denna information utgör en grundläggande förståelse för att kunna tolka och analysera de resultat som presenteras senare i arbetet.

Begreppet Stockholmsmodellen avser, om inget annat specificeras, både skelettjord och skelettjord med kolmakadam som utvecklats av Stockholm stad. Begreppet syftar alltså på de skelettjordar som beskrivs i handboken *Växtbäddar i Stockholms stad* från 2017. Olika tolkningar och förklaringar kan förekomma i branschen, men dessa begreppsförklaringar är det som används i denna uppsats. I branschen pågår det även konstant utveckling av skelettjordar, men denna utveckling skrivs oftast inte ner och därmed utgår detta arbete från de senaste skriftliga källorna och inte från muntliga källor.

4.1 Stockholmsmodellen – skelettjord

Skelettjorden som denna uppsats i huvudsak kretsar kring är framtagna av Stockholms stad och kallas för Stockholmsmodellen. Pettersson (2006) beskriver i sitt arbete *Växtbäddar för träd i gatumiljö* att Stockholmsmodellen togs fram under mitten av 1990-talet på initiativ av Stockholms stad. Se figur 1 för en illustration över Stockholmsmodellens skelettjord.

Figur 1: Illustration av växtbädd med skelettjord (Stockholms stad 2017).



Stockholms stads skelettjord består av ett lager med makadam i fraktionen 90/150 mm med antingen växtjord typ B eller näringsberikad biokol nedspolad i mellanrummen, se figur 1 för schematisk beskrivning. Terrassytan i växtbädden täcks med ett tunt lager ogödslad biokol. Detta lager är tänkt att fungera som ett rengöringsfilter för att rena dagvattnet från diverse tungmetaller och andra föroreningar. För att skelettjorden ska få önskade egenskaper är det viktigt att den anläggs och packas i lager. Det vill säga att skärven läggs ut i lager, packas och sen lägger på tunna lager av jord och spolar ner i omgångar med hård vattenstråle. För att detta ska kunna göras krävs det att jorden har en låg lerhalt och en låg halt av organiskt material. Därmed används växtjord typ B i stor utsträckning (Alvem et al. 2017). Växtjord av typ B är en genomsläpplig och rotogräsfri jord som innehåller olika fraktioner av sand som skapar struktur samt torv som organiskt material som hjälper till i etableringen (Hasselfors garden 2024; Svensk byggtjänst 2023).

Om skelettjorden anläggs i en hårdgjord yta placeras luftningsbrunnar ut tillsammans med ett luftigt bärlager bestående av makadam i dimensionen 32/63 mm. Detta lager ska fungera som ett transportlager för syre och vatten till rötterna. Ovanpå luftningslagret läggs ett avjämningslager av makadam i dimensionerna 8/11 mm som ska skydda geotextilen som läggs över. Geotextilen läggs på för att hindra samkross, även kallat stenmjöl, från markbeläggningens överbyggnad att tränga ner i skelettjordens mellanrum och förstöra dess egenskaper (ibid).

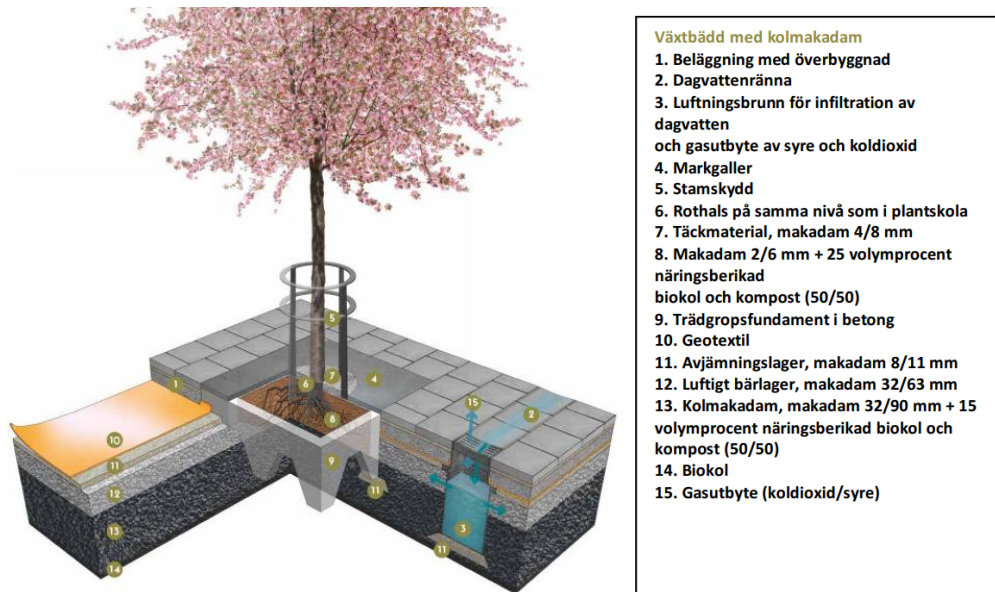
I skelettjordens planteringshål installeras ett trädgropsfundament som ofta antingen är prefabricerade betongfundament eller byggs upp på plats med hjälp av granitkantstöd eller betongsyllar. I trädgropsfundamentet placeras rotklumpen på trädet och fylls med finkornig makadam i dimensionen 2/6 mm. Trädgropsfundamentet fylls också med 25 volymprocent med lika delar av näringsberikat biokol och kompost. För att skydda trädets stam och de rötter som är närmast markytan lägger man ut ett lager makadam i dimensionen 4/8 mm och ofta även ett markgaller (ibid).

4.2 Stockholmsmodellen – kolmakadam

Växtbäddar som bara anläggs med kolmakadam är under utveckling i Stockholm och är en relativt ny teknik som inte testats över lång tid, men har fått stort genomslag. Även denna metod tillhör Stockholmsmodellen som tagits fram av Stockholms stad. Uppbyggnaden är väldigt lik den utav en skelettjord, men går både enklare och snabbare att anlägga. Skillnaden är att skelettjorden byts ut mot kolmakadam i fraktionen 32/90 mm. Växtjorden typ B och den näringsberikade biokolen ersätts av att kolmakadamen redan kommer färdigblandad med 15

volymprocent näringsberikad biokol och kompost. Se figur 2 för schematisk bild på hur en kolmakadam baserad växtbädd ser ut (Alvem et al. 2017).

Figur 2: Illustration av skelettjord med kolmakadam (Stockholms stad 2017).



I en intervju den 28 februari 2024 berättar Alvem att kolmakadam kan anläggas året om, då det inte påverkas ifall det är minusgrader eller tjäle i marken. Däremot kan inte vanlig skelettjord anläggas under samma förhållanden (Citerad i Löv 2024, s. 20).

4.3 Skelettjord enligt AMA

4.3.1 Vad är AMA?

AMA eller ”allmän material och arbetsbeskrivning” är ett referensverk för upprättande av tekniska beskrivningar inom bygg och anläggningsbranschen. AMA fungerar som en ordbok inom branschen och säkerhetsställer att alla använder sig utav samma språk och begrepp. Detta ger en säkrare och tydligare kvalitet i byggprocessen och man vet vad man kan förvänta sig (Trafikverket 2023).

Kraven som finns i AMA beskrivs på ett systematiskt sätt, strukturerat enligt klassifikationssystemet BSAB 96. En teknisk beskrivning som är ansluten till AMA beskriver tillsammans med andra handlingar, till exempel ritningar, en entreprenadkontrakts omfattning. Dessa två tillsammans beskriver beställarens krav för entreprenören (Svensk byggtjänst u.å.).

I AMA23 kan man hitta skelettjordar under koden DCL.21. Där finns material -, utförande - och varukrav listade för växtbädd med skelettjord, ned spolning av

jordmaterial (DCL.211) och växtbädd med skelettjord, utläggning av färdigblandad jord (DCL.212) (Svensk byggtjänst 2023).

4.3.2 AMA anläggning – DCL.211

Under koden DCL.211 i AMA23 med rubriken ”Växtbädd med skelettjord, nedspolning av jordmaterial” finns allmänna material – och varukrav för skelettjordar. Dessa är följande,

Skelettjord ska till sin volym bestå av 2/3 krossad sprängsten och till 1/3 av porer med växtjord och luft. Skelettjord ska utföras med krossad sprängsten 90/150 mm. Växtjord för nedspolning ska uppfylla krav enligt tabell AMA DCL.211/1 Jord D med mullhalt 3 – 5 viktprocent. Luftigt bärlager ska utföras med makadam 31,5/63 mm (Svensk byggtjänst 2023)

Även utförandekrav för skelettjordar står under samma AMA kod och kan sammanfattas på följande sätt. Krossad sprängsten i fraktionen 90/150 ska läggas ut i lager om 250 – 300 mm och varje lager packas genom minst fyra överfarter med vibratorplatta på minst 400 kg. När sprängstenen har packats ska växtjord läggas ut i lager om 20 – 30 mm och vattnas ner i krossmaterialet med högt tryck och sparsamt med vatten. Växtjorden som används i dessa konstruktioner är av växtjord typ D (Svensk byggtjänst 2023). Växtjord typ D är en rotogräsfri jord med hög andel mineral samt innehåller sand, torv och lera (Hasselfors garden 2024; Svensk byggtjänst 2023).

Nedspolningsprocessen upprepas tills växtjorden ligger 3 – 5 cm under stenlagrets överkant. När nedspolningsprocessen är klar ska långtidsverkande näring läggas på ytan, 100 g/m². Dessa steg upprepas tills angiven höjd har uppnåtts (ibid).

När angiven höjd är uppnådd läggs ett luftigt bärlager av makadam i fraktionen 31,5/63 mm på skelettjorden. Bärlagret ska ha dimensionen 200 mm och täcks med geotextil (ibid).

4.3.3 AMA anläggning – DCL.212

Under koden DCL.212 i AMA finns beskrivning för växtbädd med skelettjord, utläggning av färdigblandad jord. Skelettjorden ska till sin volym, precis som i DCL.211, bestå av 2/3 krossad sprängsten, 1/3 porer med växtjord och luft samt krossmaterialet ska vara i fraktionen 90/150 mm. Här ska dock undre lagret i skelettjorden vara blandat med växtjord av typen E, där mullhalten får vara högst 2 viktprocent. Det övre lagret i skelettjorden ska vara enligt tabell AMA DCL.212/1 Jord E och mullhalten i den delen ska vara 3 – 5 viktprocent. I planteringsgropen lägger man jordtyp A enligt AMA där mullhalten också ska vara mellan 3 – 5 viktprocent (Svensk byggtjänst 2023).

Även för denna skelettjord finns det vissa utförandekrav. Dessa är följande,

Färdigblandad skelettjord ska lyftas ned i växtbädden med gipsskopa, jorden får inte tippas. Undre lagret av färdigblandad skelettjord läggs ut i lager om 200 – 250 mm och varje lager packas genom fem överfarter med vibratorplatta minste 400 kg. Ett lyftbart motstöd ska ställas på det undre lagret skelettjordslagret. Övre skelettjordslagret ska läggas ut i lager om 200 – 250 mm runt stödet och varje lager packas genom fem överfarter med vibratorplatta minst 400 kg. Växtjord A ska läggas ut i stödet utan packning varav stödet ska tas upp (Svensk byggtjänst. 2023).

5. Biokol

Detta resultatkapitel ger en översikt över biokol, med fokus på dess historia, tillverkningsprocess samt de olika kemiska, fysikaliska och biologiska egenskaperna. Detta för att ge en övergripande förståelse för biokolets tillverkning. Kapitlet kommer även titta på vilka eventuella kostnader som uppstår vid tillverkning av biokol och varför det kan vara ett dyrt material att använda sig av.

5.1 Historia

Intresset för de olika tillämpningarna av biomassa-baserat svart kol, eller biokol som materialet idag kallas, väcktes vid studier av olika jordar i Amazonas. I Amazonas hade man nämligen hittat jordar som hade bibehållit höga mängder av organiskt kol och hög fertilitet, flera tusen år efter de hade övergetts av urbefolkningen. Jordarna kallas för Terra Preta de Indio och de är antropogena – det vill säga skapade av människan (Lehmann et al. 2003).

Anledningarna till att dessa jordar bibehållit en hög fertilitet är flera, men den stora mängden organiskt material och den höga näringsretentionen har ändå tillskrivits de höga proportionerna av svart kol (Glaser et al., 2001). Dessa stora mängder av svart kol kan endast komma från ofullständigt förbränd biomassa, till exempel från vedträn eller vid förbränning av fält eller skog (Schmidt et al. 2002). Även i Sverige har förhistoriska bönder använt sig av förbränning av skog för att få åkermark. Även under historisk tid har eld använts inför odling. Denna typ av förbränning kallas för svedjebruk och gjordes både storskaligt och på mindre skala. Gemensamt för allt svedjande är att röjning och eld ökar tillgängligheten till den yta som ska bli åker eller bete samt att näring frigörs som kommer växtligheten till godo (Cserhalmi, 2021).

Termen biokol, eller ”Biochar” på engelska, introducerades först 1999 i vetenskaplig litteratur där den användes för att beskriva aktivt kol som hade framställts av durra-korn (*Sorghum vulgare*) (Bapat H. et al. 1999). I en intervju 2010 beskriver huvudförfattaren Bapat, som introducerade termen biokol, att de tog fram termen biokol för att skilja på kol som var framställt av växtmaterial och kolbaserat aktiverat kol (Woolf, D et al. 2010).

I flera år därefter användes begreppet biokol främst inom litteratur för bioenergi och i frågor kring koldioxidsänkor. I mars 2005 höll Lehmann en föreläsning/presentation med titeln ”Bio-char sequestration in soil: a new frontier” eller på svenska ”Kolbindning av biokol i jord: en ny potential”. Föreläsningen resulterade i två publikationer året därpå där begreppet biokol används i texterna

med sin nuvarande betydelse. I ena texten beskrivs tillämpningen av biokol som en kolsänka på följande sätt,

“The application of bio-char (charcoal or biomass-derived black carbon (C)) to soil is proposed as a novel approach to establish a significant, long-term, sink for atmospheric carbon dioxide in terrestrial ecosystems. Apart from positive effects in both reducing emissions and increasing the sequestration of greenhouse gases, the production of bio-char and its application to soil will deliver immediate benefits through improved soil fertility and increased crop production.” (Lehmann et al. 2006)

Det är även i denna text som Lehmann beskriver att biokol kan användas som ett jordförbättringsmedel för förbättrad växttillväxt. Bland annat genom att tillföra och behålla näringsämnen samt genom att ge andra fördelar som att förbättra jordens fysiska och biologiska egenskaper (Lehmann et al. 2006).

I Sverige började man använda sig av biokol i växtbäddar i stadsmiljöer runt 2009 och är idag en självklar del i de skelettjordar som används vid trädplantering, men även i övriga växtbäddar i Stockholm (Fransson et al. 2020).

5.2 Tillverkning

Brownsorts et al. (2010) definition av biokol är att det är ett poröst material som produceras genom termokemisk omvandling av organiskt material eller biomassa i en syrefattig atmosfär. Exempel på organiskt material kan vara grenar och löv (Lehmann et al. 2024). Denna process där organisk biomassa blir upphettat i en syrefattig miljö kallas för pyrolys. I pyrolysp processen bryts det organiska materialets långa kolkedjor ner till korta kolkedjor och skapar ett svart, poröst och kolrikt kol (Bates 2010). Om detta kol uppfyller vissa internationella standarder när det kommer till material och slutanvändning får det kallas för biokol (Lehmann et al. 2024). I Europa heter dessa standarder European Biochar Certification (EBC) och är framtagna utav Carbon standards international (u.å.). Förutom biokol skapar även processen pyrolysgas som innehåller en blandning av gaser som metan, koldioxid, vätgas och kolmonoxid (Lehmann et al. 2024).

Som framgår ovan ska en pyrolysanläggning omvandla organiskt material till biokol genom termokemisk omvandling. Det vill säga att anläggningen måste klara att värma materialet under en längre tid utan tillgång på syre. För att uppnå denna process och kunna producera biokol har man utvecklat flera sorters pyrolysanläggningar (ibid).

En utav de billigare anläggningarna som finns för att producera biokol är satsvisa pyrolysanläggningar som gör biokol genom långsam pyrolys. I satsvisa pyrolysanläggningar placeras en viss mängd organiskt material i en reaktor som stängs och töms på syre. Denna reaktor behöver en extern energikälla för att

startas upp och påbörja förbränningsprocessen. Efter uppstart driver processen av sig själv med hjälp av de gaser som bildas vid förbränningen av biomassan. Biokolet ligger kvar i anläggningen tills det svalnat och plockas sen ut. Detta är en relativt enkel och kostnadseffektiv metod, men den kan vara arbetsintensiv då den kräver fysisk arbetskraft för att både lasta in och lasta ur reaktorn (Fransson et al. 2023; Lehmann et al. 2024).

I kontinuerliga pyrolysanläggningar matas anläggningen kontinuerligt med biomassa, finns det biomassa att mata anläggningen med fortsätter produktionen. I en kontinuerlig pyrolysanläggning pyrolyseras det organiska materialet under sin transport genom reaktorn. Gaserna som bildas skickas till en förbränningsreaktor som bland annat använd för att hålla processen i gång. Biokolet matas ut och vattnas ibland för att förhindrad förbränning vid kontakt med luften. I denna typ av anläggning kan materialbitarna inte vara för stora vilket innebär att det i praktiken måste vara pelleterat, briketterat eller fint flisat (ibid).

5.2.1 Kostnader

Eftersom tillverkningsprocesser för biokol och biokolet i sig självt befinner sig i olika utvecklingsstadier är det svårt att definiera de ”verkliga” kostnaderna (Lehmann et al. 2024). Enligt Biokolshandboken för restproduktsägare och producenter (Fransson et al. 2023) kan priser för biokol ligga mellan 5000 – 10 000 SEK per ton beroende på biokolets densitet och kvalitet. EBC – certifierat biokol kostar mer. Intresset för biokol ökar snabbt i dagens samhälle och ökad användning av biokol inom byggbranschen samt marksanering öppnar för en ökad framtida efterfrågan. Om produktionen av biokol inte ökar i samma takt kan detta driva upp priserna. Utländska producenter kan pressa priserna, men standarder och ökad efterfrågan på certifierat biokol kan ha motsatt effekt.

5.3 Biokolets kemiska egenskaper

Utifrån ett kemiskt perspektiv är biokolets definierande egenskap att den organiska delen av biokolet består av stora mängder kol, främst bestående av aromatiska föreningar. Det vill säga att kolet är organiserat i ringar av 6 kolatomer utan syre eller väte. I vissa fall kan dessa strukturer blida oregelbundna aromatiska strukturer tillsammans med syre, väte och andra mineraler. Detta beror till stor del på vilket ursprungsmaterial som biokolet är gjort på. Eftersom biokol är ett komplext material som skiftar beroende på pyrolysens temperatur och ursprungsmaterial har det varit svårt att genomföra en fullständig karaktärisering (Lehmann et al. 2024).

På sent 1940-tal, tidigt 1950-tal gjordes några tidiga försök till att karaktärisera biokolets ojämna struktur av Rosalind Franklin. Franklins resultat var korrekt i ett

brett perspektiv när det kommer till kolets struktur, men var även på många sätt ofullständiga (Harris. 2019). Det finns pågående projekt även idag som utforskar kolets struktur för att kunna karaktärisera dess olika egenskaper (Lehmann et al. 2024).

5.3.1 Näringsinnehåll och näringshållande förmåga

Den största faktorn för biokolets förmåga att binda olika näringsämnen och föreningar är dess katjonsutbyteskapacitet (CEC – cation exchange capacity). CEC är ett materials förmåga att binda positiva joner i en utbytbar form. Denna förmåga bestäms av materialets ytareal samt laddningen som materialytan har. Med andra ord beror CEC på hur många funktionella grupper som materialytan har och hur laddade dessa är. Exempel på funktionella grupper som bidrar till hög täthet av negativa laddningar på biokolets yta är karboxylgrupper och kväveoxidgrupper (Fransson et al. 2020; Eriksson et al. 2011).

Det är till dessa negativa laddningar som positivt laddade joner som finns i marklösningen kan bindas till. Exempel på positiva joner är näringsämnen som ammonium, magnesium, kalium, kalcium och natrium. Även vissa tungmetaller har en positiv laddning och kan därmed bindas till biokolet (Lehmann et al. 2024; Fransson et al. 2020).

CEC är en reversibel process, det vill säga att jonerna kan frigöras från de negativt laddade grupperna. Näringsämnena kan då tas upp av olika växter och biokolet fungerar som en näringsreservoar. Detta leder till att färre näringsämnen lakas ut vid gödslingsinsatser (ibid).

Biokolets CEC varierar beroende på temperaturen i pyrolysisprocessen. En högre temperatur vid tillverkning innebär färre negativt laddade funktionella grupper. Det är dock svårt att hitta tydliga samband, vilket kan bero på att råmaterialets beskaffenhet överskuggar temperatureffekter (ibid).

Biokol är ett material som reagerar med syre och vid denna reaktion bildas det generellt fler negativt laddade funktionella grupper med tiden när biokolet åldras. Därmed ökar den näringshållande förmågan över tiden (ibid).

I den aska som bildas vid pyrolysisprocessen av biomassan finns det icke-organiska molekyler kvar. Det vill säga mineralnäringsämnen som till exempel fosfor och kalium samt andra föreningar, till exempel karbonater. Dessa olika näringsämnen kan ge en gödslande effekt, men hur tillgänglig denna näring är för växterna varierar dock. Variationen beror ofta på pH, näringskoncentration och vilka andra övriga ämnen som finns i askan. Kväve, som är ett viktigt näringsämne för växter, avgår ofta i gasform i pyrolysisprocessen när man använder sig av slam. Det finns

dock undersökningar som visar på att förvånansvärt mycket kväve stannar kvar i biokolet om man använder sig av bioagropelletts som är gjorda av park – och trädgårdsavfall. Hur tillgängligt detta kväve är för växter har inte undersökts i någon större utsträckning och det krävs mer forskning för att förstå varför kvävet stannade kvar (ibid).

Vid tillsättning av biokol i jord inaktiveras ofta kvävet i jorden vilket leder till kvävebrist för växterna. För att undvika att detta sker bör det även tillsättas kväve tillsammans med biokol i ett odlingsystem. Man kan antingen ladda biokolet med näring innan plantering eller gödsla jorden i efterhand (ibid).

5.3.2 Askhalt

Den delen av det organiska materialet som inte förkolnas under pyrolysisprocessen omvandlas till aska. Askan består dels av jord, sand och annat oorganiskt material eller oönskat material som följer med vid insamling av råmaterialet. Askan innehåller även av mineraler från det organiska materialet. (Lehmann et al. 2024; Fransson et al. 2020).

En hög askhalt kan därmed innebära att det finns en hög halt av mineraler eller att det finns en hög halt av förorenat oönskat material. En hög askhalt med högt mineralinnehåll är positivt för växterna. Om askan i stället innehåller föroreningar är det i regel inte några större problem för växterna, om inte föroreningshalterna är extremt höga (ibid).

5.3.3 pH och kalkeffekt

Biokol har generellt ett neutralt till högt pH vilket innebär att biokol ofta ger samma effekt som kalk ger i jordar. Detta är något som är bra att tänka på när man väljer vilka växter som ska växa i jorden (Fransson et al. 2020). I en meta – analys där biokolets påverkan på jordens fysiska och kemiska egenskaper, mikrobiell mångfald och grödans produktivitet undersöktes, beskriver författarna att biokolet ökade pH värdet i jorden oavsett situation. Ökningen av jordens pH var mer uttalad vid användning av biokol som var framställt från trä. Inte långt efter kommer biokol som framställts av lignoser, det vill säga från cellulosavfall. Minst påverkan hade biokol som var framställt av örter. I samma meta – analys ser man även att det är en skillnad på kalkningseffekten beroende på om jorden är grovkornig eller finkornig. I grovkorniga jordar ökade pH som mest (Singh, H. et al. 2022; Sohi et al. 2010).

5.4 Biokolets fysikaliska egenskaper

Biokolets fysikaliska egenskaper har både direkta och indirekta effekter på de jordsystem som de introduceras i. Varje jord har sina egna fysikaliska egenskaper beroende på vilka mineraler den är gjord av, andel organiskt innehåll och hur dessa är fördelade mellan varandra. Därmed kan biokol påverka en jord på flera olika sätt. Materialet kan påverka djup, struktur, textur, porstorleksfördelning, partikelstorleksfördelning, densitet och packning. På grund av detta kan biokolets effekter på marken medföra en förbättrad tillväxt för växter, då det ofta är markens fysiologiska egenskaper som påverkar tillgången till markluft och vatten i rotzonen. Biokol kommer, genom att påverka dessa fysikaliska egenskaper, direkt påverka jordens reaktion på vatten, jordens aggregatstruktur, hur lätt det är att arbeta med jorden och dess möjlighet att behålla katjoner (Lehmann et al. 2024).

I dagsläget finns det bara ett begränsat antal granskade vetenskapliga/forskningsartiklar som presenterar forskning och data kring biokolets fysiska egenskaper. Därmed måste en viss kreativitet tillämpas i litteraturgenomgångar kring detta specifika ämne (ibid).

De fysiska egenskaperna hos biokol beror inte bara på vilket utgångsmaterial/biomassa som man använder sig av. Utan de beror även på i vilket pyrolyssystem som biokolet är gjort i, inklusive eventuellt för- och efterarbete av biomassan och biokolet. Biokol kan ha ursprung från många olika typer av biomassa. Den ursprungliga strukturen hos biomassa har stor betydelse för biokolets slutgiltiga fysiska och strukturella egenskaper. När biomassan genomgår pyrolys förloras en del massa som flyktiga organiska ämnen, vilket leder till att biokolet minskar i volym och krymper. Vid låga temperaturer i pyrolyprocessen får materialet en ökad proportion av aromatiska kolbindningar, medan om man använder sig av högre temperaturer bildas det en tydligare grafitstruktur. Detta influerar i sin tur biokolets porositet och kan därmed göra biokolet bättre eller sämre att använda i vissa jordar (ibid).

Biokolet ärver mycket av biomassans egenskaper, till exempel om biomassan är poröst med många stora porer, som till exempel ved, kommer även slutprodukten efter pyrolys ha bildat många stora porer. Biokolets många olika storlekar på porer skapar en bra vattenhållande kapacitet. Hur växttillgängligt detta vatten är beror på hur små eller stora dessa porer är. Det vatten som befinner sig i mikroporerna är i regel otillgängligt för växter. Växter kan däremot plocka upp vatten från större meso- och makroporer. Vattnet kan enkelt lagras i mesoporerna medan det snabbt dräneras bort i makroporerna (Eriksson et al. 2011). Ur ett växtperspektiv är det då mesoporerna som är viktigast för att bibehålla en bra

vattennivå. Därmed är det viktigt att veta från början hur biokolets porfördelning ser ut om man ska använda det för att öka den vattenhållande förmågan i ett odlingssubstrat (Fransson et al. 2020).

För att få till biokol med en bra fördelning mellan meso – och makroporer bör pyrolystemperaturen vara runt 400 °C till 600 °C. Vid högre pyrolystemperaturer minskar mängden makro- och mesoporer i biokolet, medan andelen mikroporer ökar. Dessutom blir biokolets yta mindre polär och blir mer hydrofob, då de syreinhållande grupperna minskar i de höga temperaturerna. Detta kan resultera i en lägre vattenhållande kapacitet hos biokolet. Däremot ökar risken för bildning av PAH (polycykliska aromatiska kolväten) vid lägre temperaturer, då ämnen som tjära och oljor inte förbränns lika effektivt vid lägre temperaturer som dem gör vid högre temperaturer (Lehmann et al. 2024; Fransson et al. 2020).

Även om biokolet skulle ha en dålig vattenhållande förmåga kan materialet ändå påverka jordens vattenhållande förmåga genom att bidra till aggregeringen i jorden. Detta gäller dock speciellt för jordar med finare textur. För att biokolet ska kunna bidra med aggregeringen i jorden spelar det även här roll vilken pyrolystemperatur som har använts. Biokol som tillverkats vid en låg temperatur, runt 350 °C, stabiliserade aggregaten i jorden, medan biokol som tillverkats i en temperatur runt 650 °C inte gjorde det (ibid).

5.5 Biokols biologiska egenskaper

Det finns många olika undersökningar som har gjorts på biokolets biologiska effekter i jordar som producerar olika grödor. Där de flesta resultaten har varit goda i att öka avkastningen på produktionen. Däremot har färre undersökningar gjort på biokolets biologiska effekter i skelettjordar.

5.5.1 Mikrobiell aktivitet

När man tillsätter biokol i jorden leder det i de flesta fallen till en ökad bakteriediversitet. I en undersökning gjord av Singh et al. (2022) visade det sig att biokol gjort på biomassa från örter ökade diversiteten i jorden., Medan biokol gjord av biomassa från trä, gödsel eller lignos-cellulosavfall hade liten till ingen påverkan. Bakteriediversiteten ökade mest i grovkorniga till medeltäta jordar vid tillsättning av biokol, men påverkan var desto lägre i finkorniga jordar. Biokol som producerats vid en lägre pyrolystemperatur (<500 °C) hade en större effekt på jordens mikrobiella aktivitet. Främst med mer diversifierande bakteriepopulationer i medel – och grovt texturerade jordar, medan svampdiversiteten ökade i fina jordar (Singhet al. 2022).

Även jordens svampaktivitet och diversitet ökade vid tillsättning av biokol, men i dessa studier var resultatet mer uttalat i växthusstudier. Detta kan bero på att växthus har ett mer jämt klimat och utsätts inte för samma väderpåverkan och nedbrytning som fältstudier gör. Biokol från lignos-cellulosavfall och örtväxtbaserad biomassa ökade svampdiversiteten, medan trä-biokol inte hade någon effekt alls. Svampdiversiteten ökade mest i fina jordar och vid lägre appliceringsnivåer av biokolet. Biokol producerat vid lägre pyrolystemperaturer hade en starkare effekt på svampdiversiteten än biokol från högre temperaturer (ibid).

Generellt ledde tillförsel av biokol i jordar till en ökad bakterie – och svampdiversitet. Detta beror främst på att biokolet tillför näringsämnen som gynnar mikrobiella samhällen i jorden, men skapar även en ökad porositet. Den ökade porositeten skyddar diverse mikroorganismer från predatorer och främjar mikrobiell biomassa och diversitet. Biokolets effekt var större i medel till grovkorniga jordar jämfört med fina jordar. Svampdiversiteten påverkades inte i lika stor utsträckning. Detta kan bero på att svampsamhällen är mer stabila och är mindre rörliga än bakteriesamhällen. En gemensam nämnare är dock att både bakterie – och svampdiversiteten minskade vid användning av biokol som producerats vid högre pyrolystemperaturer. Detta beror troligtvis på att biokol från högre temperaturer har fler mikroporer, vilket endast tillåter en liten del av mikroorganismerna att kolonisera det, vilket minskar den mikrobiella diversiteten (ibid).

Även vid användning av för stora mängder biokol minskar den mikrobiella diversiteten. För stora mängder biokol kan skapa obalans i mikroklimatet i jorden. Mikroorganismer är beroende av specifika förhållanden, som fuktighet, temperatur och näringstillgång, för att trivas. Om då biokol appliceras i för höga mängder kan dessa förhållanden störas. Vilket i sin tur leder till att vissa mikroorganismer inte längre kan frodas. När mikroklimatet förändras kan det också leda till att vissa mikroorganismer konkurrerar ut andra, vilket minskar den totala diversiteten (ibid).

5.5.2 Biologisk nedbrytning

Enligt Biokolshandboken för användare (Fransson et al. 2020) kan biokol behålla sin kolhalt under hundratals till tusentals år i marken, vilket gör det till ett effektivt sätt att lagra kol och minska koldioxidutsläpp. Nedbrytningen av biokol sker genom tre huvudsakliga processer som listas nedan:

1. Nedbrytning av lösliga organiska föreningar, som frigör koldioxid snabbt och är mest påtaglig direkt efter att biokolet tillsätts till marken
2. Nedbrytning av kolkedjor på biokolets yta, vilket gör att biokolet åldras, får fler negativt laddade funktionella grupper och ökar dess katjonutbytesförmåga samt syrehalt.
3. Nedbrytning av det inre stabila kolet, som sker mycket långsamt och bevarar biokolets ursprungliga egenskaper under lång tid.

Processerna går snabbare om biokolet är finfördelat, vilket innebär att mer kol frigörs i finfördelat biokol jämfört med hos biokol i större fraktioner. Biokolets stabilitet påverkas också av fördelningen av kol och väte i materialet. En lägre vätehalt gör biokolet mer stabilt och motståndskraftigt mot nedbrytning, vilket är viktigt för dess långsiktiga effekt som kolsänka. Eftersom biokol fungerar som en kolsänka spelar det ingen roll var i marken det tillsätts, eller om det sprids till andra områden, vilket gör det till en användbar metod för att binda kol både i odlingsjord och i naturliga ekosystem (ibid).

Även om biokol ökar kolet i marken kan det i jordar med högt organiskt innehåll påskynda nedbrytningen av det kol som redan finns i marken. Främst på grund av en kalkande effekt, men också på grund av att aktiviteten hos mikroorganismerna i jorden stimuleras. Biokol behöver därmed användas med försiktighet i organiska jordar (ibid).

Det pyrogeniska kolet som skapas i biokol vid pyrolysisprocessen är kemiskt annorlunda. Nedbrytande mikroorganismer saknar ofta de enzymer som behövs för att bryta ner det pyrogeniska kolet i biokolen i samma grad som andra organiska ämnen. Organismer som jordmaskar och vissa mikroorganismer kan dock tycka om att kolonisera biokol, vilket kan öka materialets mineralisering. Fysiska processer som rötter som utsöndrar syror eller jordmaskar som sprider biokol kan påverka dess nedbrytning, men det är oklart om dessa effekter är positiva eller negativa. Mer forskning behövs för att förstå dessa processer och deras inverkan på biokolets långsiktiga nedbrytning i jorden (Lehmann et al. 2024).

5.6 Åldringsprocessen för biokol i jordar och dess implikationer

Det har gjorts försök att undersöka biokleta åldringsprocess och vilka implikationer det har för jorden. De flesta av dessa försök har varit artificiella, det vill säga att de har utförts i laboratorier. Genom experimenten har man försökt återskapa oxidation, temperaturskillnader, fysisk fragmentering och biologisk nedbrytning. Detta för att efterlikna de processer som sker naturligt ute i naturen. De flesta utav de nuvarande existerande laboratoriemetoderna utförs individuellt och kombineras sällan. Därmed är det svårt att utvärdera om resultaten stämmer överens med hur nedbrytningsprocessen för biokol ser ut i verkligheten (Lehmann et al. 2024).

Det har gjorts några långliggande fältförsök med biokol, det vill säga försök som pågått under flera år med biokol i en jordhorisont. I dessa försök har det dock blivit ett problem att samla in data då de små biokolspartiklarna är svåra att plocka ur jorden. Trots detta ger fältåldrande, som sker över längre perioder, mer realistiska resultat och bidrar till mer omfattande förändringar i biokolets nedbrytning (ibid).

Generella resultat som man har kommit fram till i de olika undersökningarna är att åldring av biokol sker genom kemisk oxidation, biotisk eller abiotisk påverkan och fotokemisk åldring vid jordytan. Biokolets åldrande kan påverka materialets ytpolaritet, ytladdning och sorptionsförmåga. Dessa generella resultat är bara starten och det behövs mer forskning för att förstå biokolets elektroniska egenskaper och reaktivitet (ibid).

.

6. Diskussion

Som Lehmann (2024) skriver i boken *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, är biokolets effekter på jordar ett område under fortsatt forskning och utveckling. Trots de framsteg som görs är kunskapen fortfarande relativt begränsad, speciellt när det gäller biokolets påverkan på skelettjordar. Skelettjordar, som till exempel Stockholmsmodellen, kännetecknas av stora makadamfraktioner och deras grova struktur kan dra nytta av biokol på flera sätt. Dock finns det flera utmaningar som måste utforskas för att biokol ska implementeras på ett framgångsrikt sätt. Frågeställningarna som denna uppsats avsåg att behandla handlar om vad biokol kan bidra med i en skelettjord, vilka utmaningar och möjligheter som finns vid användning.

Som nämns i kapitel 5.5 har de flesta undersökningar kring biokol genomförts i jordar med finare strukturer eller i laboratorium. Därmed är det svårt att exakt förutspå biokolets effekter på skelettjordar. Däremot går det att formulera hypoteser kring hur biokol påverkar skelettjordar baserat på tidigare forskning. Dock som med all forskning, krävs det fler mer specifika studier kring ämnet för att kunna dra entydiga slutsatser om biokolets funktion i skelettjordar.

För att förstå biokolets möjliga effekter i skelettjordar är det viktigt att först klargöra vilka förutsättningar träd behöver för att växa och utvecklas. Precis som Trowbridge et al. (2004) och Vollbrecht (2000) påpekar i sina texter, behöver träd tillgång till syre, koldioxid, ljus, vatten, näringsämnen, lämpliga temperaturer, rotutrymme och markluft. I kapitel 4 i denna uppsats framgår det att en gemensam nämnare för skelettjordar är att de, tack vare sina stora makadamfraktioner, ger träd större rotutrymme i stadsmiljöer. Däremot kan dessa större fraktioner inte hålla vatten i den omfattning som krävs för att trädens tillväxt ska gynnas. Eftersom det enligt Eriksson et al. (2011) och Fransson et al. (2020) är mesoporerna som är viktigast utifrån ett växtperspektiv.

Vattenhållande förmåga

Biokol kan bidra till att förbättra denna vattenhållande förmåga. Om biokolet har en välbalanserad fördelning av makro-, meso- och mikroporer kan materialet ge skelettjorden en högre vattenhållande förmåga och därmed en större andel växttillgängligt vatten. Enligt Lehman et al. (2024) kan biokolet, även om det skulle ha en dålig vattenhållande förmåga, bidra till skelettjordens vattenhållande förmåga. Främst genom att bidra till jordens aggregatstruktur, men då främst om biokolet är tillverkat vid en lägre temperatur. En förbättrad aggregatstruktur innebär en bättre fördelning av porer och vidare en bättre vattenhållande förmåga.

Näringshållande förmåga

Biokolets porstruktur kan också bidra till en ökad katjonsutbyteskapacitet, det vill säga en bättre näringshållande kapacitet. Denna kapacitet beror på materialets ytareal och eftersom biokol har en mer varierad porstruktur än makadam, är det sannolikt att biokolet kommer att förbättra näringshållningen i skelettjordar.

Dessutom är biokol ett material som reagerar med syre och därigenom skapar flera negativt laddade funktionella grupper över tid. Det innebär att biokolets förmåga att binda och hålla näringsämnen förbättras med tiden, förutsatt att materialet får tillgång till syre (Lehmann et al. 2024).

Vidare kan även den biomassa som inte förkolnas i pyrolysisprocessen, det vill säga askan, även bidra med näring. Däremot, om askhalten är hög, kan den innehålla oönskade ämnen som i sin tur kan förgifta växterna och hämma deras tillväxt (Fransson et al. 2020; Lehmann et al. 2024). På grund av osäkerheten kring olika nivåer på askhalt är biokol med låg askhalt att föredra för att undvika negativa effekter. Ett alternativ är att analysera biokolet för föroreningar innan det används i en skelettjord.

Effekter på skelettjordens pH värde

Singh et al. (2022) och Sohi et al. (2010) har gjort olika undersökningar på biokol, bland annat på hur materialet påverkar pH värdet i jorden. Deras studier visar att biokol har en viss kalkande effekt, vilket innebär att pH-värdet ökar när biokol tillförs i jorden. Effekten var mer påtaglig i grovkorniga jordar än i finkorniga jordar. Med tanke på dessa resultat kan man anta att biokol kommer att höja pH-värdet i skelettjordar. Ett högre pH-värde kan i sin tur försämra växternas tillgång till näringsämnen. Den sämre tillgången på näringsämnen i jordar med högt pH beror på förändringar i näringsämnens kemiska form och löslighet. Vilket i sin tur påverkar deras tillgänglighet för växter. Ett högre pH kan även påverka det mikrobiella livet i en skelettjord, då deras metabolism är specifikt anpassad till vissa pH värden. Dessutom kan jordens nedbrytningsförmåga försämrast vid höga pH-värden, vilket minskar tillförseln av växttillgängliga näringsämnen.

Mikrobiell aktivitet

Ytterligare studier av Singh et al. (2022) visar att tillsättning av biokol oftast leder till en ökad mikrobiell aktivitet i jorden. Där biokol som är producerat vid lägre pyrolystemperaturer hade en tydligare positiv effekt för bakterier, medan svampdiversiteten ökade mest i finare jordar med en lägre appliceringsnivå av biokol. Generellt sett verkar biokol gynna mikrobiell mångfald genom att tillföra näringsämnen och skapa en mer porös struktur som skyddar mikroorganismer.

Dessutom verkar effekten vara mer påtaglig i grovkorniga jordar och därmed även positivt för skelettjordar. Just på grund av deras grovkorniga struktur. Däremot påpekar författaren att en för stor andel biokol kan orsaka obalans i mikroklimatet i jorden och därmed hämma det mikrobiella livet. Biokolet kan dessutom med sin kemiska struktur göra det svårt för vissa markorganismer att bryta ner materialet på ett effektivt sätt. Detta innebär att mikroorganismerna kan få det svårt med att utvinna energi ifrån biokolen. Därmed, om man bara förlitar sig på biokol i en skelettjord, kan det göra att marklivet påverkas åt det negativa hållet.

En rekommendation som Lehmann et al. (2024) och Fransson et al. (2020) nämner är att man vid användning av biokol bör tillsätta kväve. Detta för att undvika eventuell kvävebrist som biokolet i sig kan skapa vid tillförsel i jorden. Detta blir extra viktigt i skelettjordar då de med sitt låga organiska innehåll redan har en låg tillgång på kväve.

Kolsänka

En effekt som kan ha en indirekt påverkan på trädens välmående i städer nämner Fransson et al. (2020) i *Biokolshandboken för användare*. Det är biokolets förmåga att behålla sin kolhalt under hundratal till tusentals år. Detta gör biokol till ett effektivt verktyg för långsiktig koldioxidlagring och minskade koldioxidutsläpp, vilket i sin tur kan bidra till att motverka växthuseffekten. En minskad växthuseffekt leder till ett mer stabilt klimat, vilket sannolikt gynnar trädens tillväxt och hälsa.

Kostnader

En annan osäkerhet kring biokol gäller dess kostnad, en nackdel som både Lehmann et al. (2024) och Fransson et al. (2023) lyfter fram. Eftersom produktionen av biokol fortfarande är under utveckling är det svårt att förutsäga biokolets framtida kostnad och tillgänglighet. Om efterfrågan på biokol ökar snabbare än produktionen kan priserna drivas upp. Vidare kan produktionen av biokol kräva specifika förberedelser av biomassan, till exempel flisning eller pelletering som kan addera en extra kostnad. Utöver kostnad för materialet kan vissa pyrolysisprocesser även kräva arbetskostnader för personal vilket läggs på slutpriset.

Tillverkning och arbetsförhållanden

Ytterligare en potentiell utmaning finns i tillverkningsskedet av biokol. Tillverkningen kan vara en arbetsintensiv process särskilt om man använder sig av satsmaskiner där in – och urlastning sker manuellt. Dessa maskiner kan potentiellt

skapa ohållbara arbetsförhållanden. Utöver den fysiska arbetsbelastningen finns det även risk för att aska från pyrolysisprocessen skapar damm. Vilket kan vara skadligt för lungorna om rätt skyddsutrustning, till exempel munskydd, inte används. I Sverige är risken för ohållbara arbetsförhållanden troligtvis låg, men vid import av biokol från länder med mindre strikta arbetsmiljölagar kan det finnas en risk att arbetare utsätts för ohållbara arbetsförhållanden.

Vilka är utmaningarna och möjligheterna vid användning av biokol i skelettjordar?

Som svar på frågeställningarna som denna uppsats avser att svara på finns det många olika möjligheter och utmaningar vid användning av biokol i skelettjordar. Många utav dessa nämns i hypoteserna ovan, men eftersom biokolets struktur kan vara svårt att definiera och standardisera kan de exakta effekterna av biokol variera. Främst på grund av att materialet är starkt kopplat till vilken biomassa som använts och i vilken pyrolystemperatur som biomassan förbränts i.

Alternativen till biokol inkluderar gödsel, kompost, konstgödsel eller en kombination av dessa. En fördel med biokol är att det har visat sig vara mer strukturellt stabilt över tid, vilket tydligt framgår när man studerar jordarna i Amazonas, Terra Preta de Indio. Där har biokolet varit stabilt och bidragit till jordens fertilitet i över 2000 år. Medan gödsel eller kompost måste näst intill varje år tillföras i en jord och användning av konstgödsel medför en risk för övergödning. Det är dock viktigt att notera att lösningen på komplexa problem är oftast inte enkelriktade. För att uppnå bästa resultat bör man överväga att kombinera olika metoder och inte enbart förlita sig på en enskild lösning. Därmed förespråkar jag att alla alternativ används, men på rätt sätt och på rätt plats.

Vad anser jag att man måste fortsätta titta på när det kommer till användningen av biokol i skelettjordar?

Trots de potentiella fördelarna som biokol uppvisar i vanliga jordar, är det tydligt att fler undersökningar och experiment måste göras för att man full ut ska få en förståelse för hur biokolet fungerar i en skelettjord. Det behövs långsiktiga studier som undersöker biokolets effekter på skelettjordens struktur och hur växttillväxten utvecklas över tid. Detta inkluderar att få en förståelse för hur biokolet påverkar det mikrobiella livet och hur det tydligt samverkar med de andra materialen som finns i skelettjorden. Det är även viktigt att undersöka de långsiktiga effekterna av biokolets kolinlagring i skelettjordarna.

Genom diskussioner med min handeldningsgrupp insåg jag att det finns mycket mer information om hur biokolet har fungerat i skelettjordar i Stockholm. Denna kunskap förmedlas dock främst muntligt inom branschen och behövs skrivas ner

för att kunna delas med en bredare publik och bidra till att fylla det nuvarande kunskapsglappet.

En ytterligare reflektion som väckts under arbetet med denna uppsats är den betydande variationen i biokolets egenskaper beroende på både pyrolystemperatur och ursprungsmaterial. Med tanke på denna variation, är det verkligen lämpligt att kategorisera allt som biokol. Skulle det i stället vara mer korrekt att använda specifika benämningar beroende på materialets ursprung och tillverkningsprocess. Detta skulle kunna underlätta en mer noggrann klassificering och förståelse för biokolets olika funktioner och egenskaper.

En annan viktig fråga är om det behövs tydligare standarder för de egenskaper som biokol bör uppfylla för att vara lämpligt att använda i specifika situationer. Till exempel vid användning i skelettjordar. Att utveckla sådana standarder skulle kunna säkerställa att biokol används på ett sätt som främjar både jordhälsa och växttillväxt, samt bidra till att optimera de potentiella fördelarna med materialet. Dessa frågor som rör både klassificering och standardisering kräver fortsatt forskning och övervägande. För att kunna utveckla riktlinjer och regler som kan stödja en hållbar och effektiv användning av biokol i olika sammanhang.

Ytterligare en intressant fråga som väcks i samband med användningen av biokol är dess potential att bidra till ett mer cykliskt tänkande i samhället. Eftersom biokolet är framställt utav biomassa, skulle det kunna tillverkas av organisk avfallsmaterial som till exempel matrester, sopor eller andra material som vanligtvis hamnar på återvinningsstationer. I stället för att dessa material förbränns eller dumpas i naturen, skulle de kunna omvandlas till biokol. Vilket i sin tur skulle kunna bidra till att minska avfallet och samtidigt skapa ett värdefullt material för jordförbättring.

Denna idé öppnar upp för nya forskningsområden kring huruvida pyrolysisprocessen kan spela en central roll i att minska mängden avfall i naturen och återföra kol till marken på ett säkert sätt. En relevant fråga är om biokolet, som produceras från sådant avfall, kommer kunna behålla sina fördelaktiga egenskaper som diskuterats i uppsatsen. Eller om det riskerar att innehålla skadliga ämnen som gör det olämpligt för användning. Kan pyrolysisprocessen vara en lösning på hur vi hanterar vårt avfall på ett mer hållbart sätt? Finns det potentiella risker som måste beaktas, särskilt när det gäller miljö och hälsa? Dessa frågor är viktiga att undersöka vidare och skulle kunna vara ett fruktbart forskningsområde för att optimera biokolets användning och säkerställa att det bidrar till en cirkulär ekonomi.

Slutsats

Sammanfattningsvis är biokolets användning i skelettjordar ett relativt outforskat område. Eftersom biokol är ett komplext och mångfacetterat material som kan påverka jordar på många olika sätt beroende på många variabler, är det svårt att förutsäga exakt hur det kommer att fungera i skelettjordar. Ytterligare forskning och långliggande försök krävs för att tydligt definiera biokolets effekter på skelettjordar och för att optimera materialets användning.

7. Referenslista

- Alvem, B-M, Trafikkontoret & Grönjörd R. (2017) Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok. [Handbok]. Upplaga 3. Växtbäddar i Stockholms stad [2025-02-20]
- Auch, E. (2016). *Urban tree management : for the sustainable development of green cities*. Roloff, A. 1st ed. Wiley-Blackwell.
- Bapat H., Manahan S.E. & Larsen D.W. (1999) An Activated Carbon Product Prepared from Milo (*Sorghum Vulgare*) Grain for Use in Hazardous Waste Gasification by ChemChar Cocurrent Flow Gasification. *Chemosphere* 39, 23-32.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00585-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00585-2)
- Bates, A. K. (2010). The Biochar Solution: Carbon Farming and Climate Change. Upplaga 1. *New Society Publishers, Limited*.
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81: 687-711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- Brownsort, P., Carter, S., Cook, J., Cunningham, C., Gaunt, J., Hammond, J., Ibarolla, R., Masek, O., Sims, K & Thornley, P (2010) An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Carbon standards international. (u.å.) Standards. <https://www.carbon-standards.com/en/standards?open=107> [2025-02-28]
- Cserhelmi, N. (2021). *Fårad mark: Handbok för tolkning av historiska kartor och landskap*. Upplaga fem, Trydells tryckeri, Laholm.
- Eriksson, J. (2011). *Marklära. 1. uppl.* Studentlitteratur.
- Fransson AM, Gustafsson M, Malmberg J, Paulsson M, 2020. *Biokolhandboken – för användare*. Biokolshandboken - för användare [2025-02-27]
- Fransson AM, Jönsson Belyazid U, Ek L, Gustafsson M, Paulsson M, 2023. *Biokolhandboken – för restproduktägare och producenter*. Biokolshandboken - för restproduktsägare och producenter [2025-02-28]
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G & Zech, W. (2001). The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37–41. <https://doi.org/10.1007/s001140000193>
- Harris, P.J.F.. (2019). Non-Graphitizing Carbon: Its Structure and Formation from Organic Precursors. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. 21. 227.
<http://dx.doi.org/10.18321/ectj863>
- Hasselfors garden (2024). Växtjord typ B.
<https://www.hasselforsgarden.se/produkter/vaxtjord-typ-b/> [2025-03-10]
- Hasselfors garden (2024). Växtjord typ D.
<https://www.hasselforsgarden.se/produkter/tradplanteringsjord-typ-d/> [2025-03-10]
- Karlsson, J., Molander, B-O & Wickman P-O. (2012) *Biologi 2*. Fjärde upplagan, Liber AB.

- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems - A Review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 11. 403-427. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>
- Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B. & Wodos, W. (2003). *Amazonian Dark Earths: Origin Properties Management*. Springer Dordrecht.
- Lehmann, J. & Joseph, S. (eds.) (2024). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Tredje upplagan. Routledge.
- Luleå tekniska universitet. (2025). *Söktips*.
<https://www.ltu.se/universitetsbiblioteket/soka/soktips#:~:text=tidskriftstitel%20med%20mera.-,Kedjes%C3%B6kningsom%20har%20refererat%20till%20k%C3%A4llan.>
 [2025-03-07]
- Löv, O. (2024) Skelettjordar – fallgropar vid anläggning: En undersökning över vilka faktorer som påverkar resultatet ur ett etableringsperspektiv. Sveriges lantbruksuniversitet. Landskapsingenjörsprogrammet.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-500715>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2025). Källkritik
<https://www.krisinformation.se/detta-gor-samhället/kallkritik> [2025-03-07]
- Pettersson, J. (2006). *Växtbäddar för träd i gatumiljö: skelettjordars konstruktion och funktion*. (Magisteruppsats). Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-7737>
- Ralebitso-Senior, T.K. & Orr, C.H. (eds.) (2016). *Biochar application : essential soil microbial ecology*. Elsevier.
- Rolf, K & Moback, U. 1991. *Trädgropar i gatumiljö*. Gröna Fakta C1. Movium. SLU Alnarp. ss 2-3, 7.
- Schmidt, M., Skjemstad, J. & Jäger, C. (2002). Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: Black chemozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, v.16, art. no.-1123. 16. <http://dx.doi.org/10.1029/2002GB001939>
- Singh, H., Northup, B.K., Rice, C.W. & Prasad, V.V. (2022) Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. *Biochar* 4, 8. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00138-1>
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015). *Träd i urbana landskap*. 1. uppl. Studentlitteratur.
- Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E & Bol, R. (2010). A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil, *Advances in Agronomy*. Academic Press, Volume 105, Pages 47-82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Svensk Byggtjänst. (2023). *AMA Anläggning 23. Allmän material-och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

- Svensk byggtjänst (u.å.) *Vad är AMA? En introduktion till AMA-systemet.*
<https://byggtjanst.se/kunskapsbank/guider/vad-ar-ama> [2025-02-20]
- Trafikverket (2023). *AMA Anläggning – allmän material – och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten.* <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/AMA---allman-material--och-arbetsbeskrivning/> [2025-02-20]
- Trowbridge, P.J. & Bassuk, N. (2004). *Trees in the urban landscape: site assessment, design, and installation.* John Wiley & Sons.
- Vollbrecht, K. & Arbor Scandia (2000). *Träd: deras biologi och vård.* 4., omarb. uppl. Arbor Scandia.
- Woolf, D., Amonette, J., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J. & Joseph, S. (2010) Sustainable biochar to mitigate global climate change . *Nature Communications* 1, 56. <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>

Figurförteckning

Figur 1: Stockholms stad. (2017). Växtbädd med skelettjord. [illustrationsbild]. Växtbäddar - Stockholms stad [2025-03-11] Används med upphovspersonens tillstånd ...	17
Figur 2: Stockholms stad. (2017). Växtbädd med kolmakadam. [illustrationsbild]. Växtbäddar - Stockholms stad [2025-03-11] Används med upphovspersonens tillstånd.	19

Publicering och arkivering

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

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

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

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

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

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