

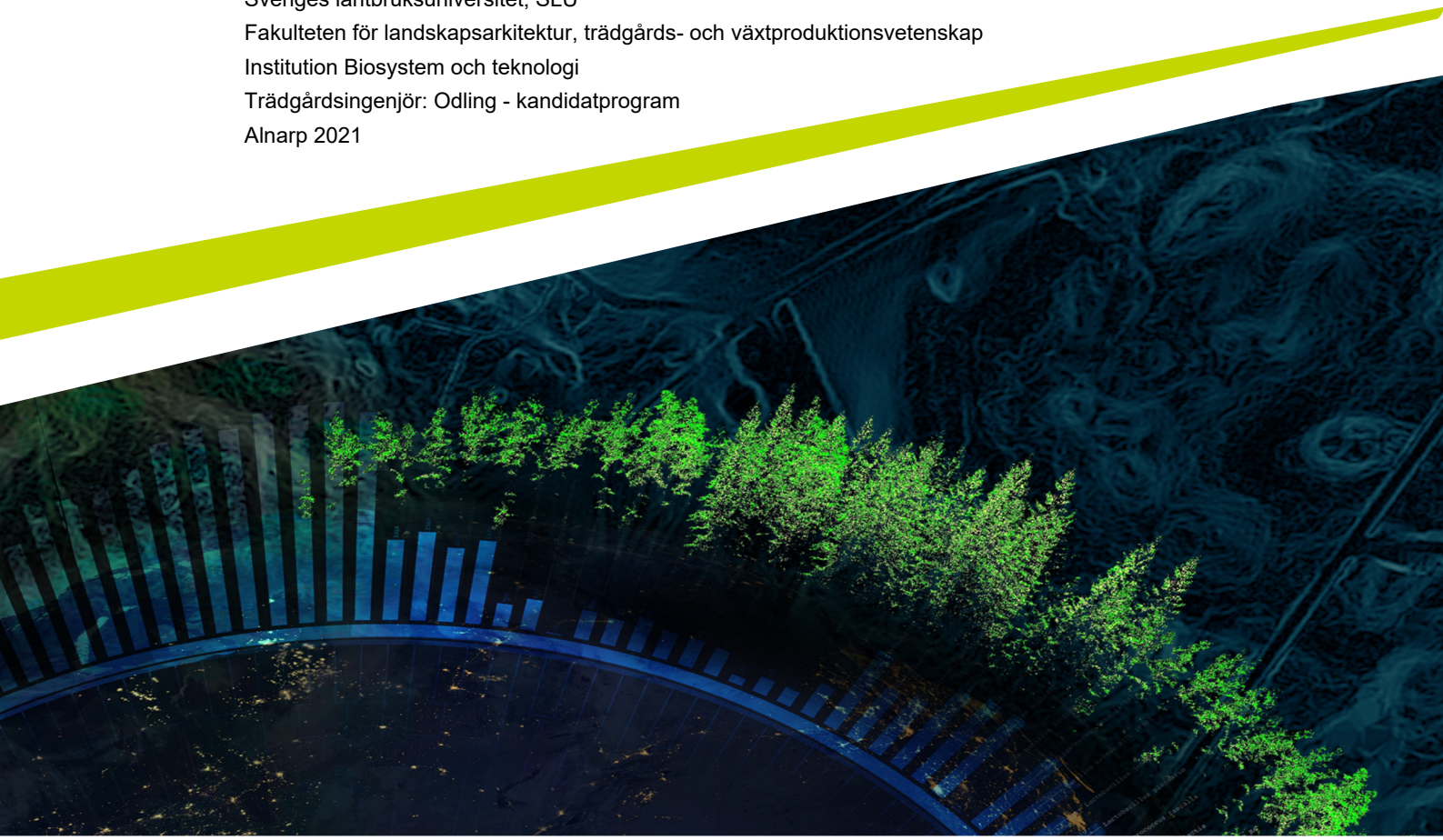


Markkolets betydelse för åkermarkens bördighet

– vilka effekter kan väntas av tillförd biokol och
andra kolinlagrande åtgärder

Karolina Johansson

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institution Biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjör: Odling - kandidatprogram
Alnarp 2021



Markkolets betydelse för åkermarkens bördighet– vilka effekter kan väntas av tillförd biokol och andra kolinlagrande åtgärder

Karolina Johansson

Handledare: Helena Karlén, SLU, Lotta Nordmark, SLU, Biosystem och teknologi

Bitr. handledare: Cecilia Hermansson, Hushållningssällskapet Sjuhärad

Examinator: Håkan Asp, SLU, Biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständig arbete i Trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0844

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: Odling - kandidatarbete

Kursansvarig inst.: Institutionen för Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2021

Nyckelord: kolcykel, mineraljord, organogen jord, certifiering, mullhalt

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för Biosystem och teknologi

Förord

Jag valde att skriva om biokol för att detta är ett ämne som har följt mig genom skolan och jag ville ta reda på mer fakta. Det hela började med ett grupparbete om Hasselfors Citykross och Björn Embréns användning av biokol i Stockholms stads stadsplanteringar som hade gett lovande resultat. Efter detta skrev jag ett litet arbete om biokol i morotsodling där min tanke var att biokol skulle hjälpa till att bevara fukten och på så sätt minska bevattningsbehovet. Biokol beskrivs oftast i positiva ordalag och jag ville hålla en neutral position i arbetet.

Så när Cecilia Hermansson från Hushållningssällskapet Sjuhärad (HS Sjuhärad) sökte studenter som ville skriva examensarbete om biokol tänkte jag att detta skulle passa mig. Hs Sjuhärad har ett nytt, uppstartat projekt som undersöker möjligheten att sänka växthusgaser och då främst koldioxid från atmosfären med hjälp av biokol.

Så jag vill gärna tacka Cecilia Hermansson från HS Sjuhärad, Helena Karlén och Lotta Nordmark från SLU som ställde upp på att vara mina handledare. Tack för ert tålamod, vägvisning och goda råd.

Och tack till min familj som har funnits vid min sida och till min katt Blizzie som har hållit mig sällskap vid datorn.

Karolina Johansson

Tring Odling 2020

Sammanfattning

Biokol är en möjlig kandidat till att motverka den höga koldioxidhalten i atmosfären. Genom pyrolysning av biomassa bildas biokol, som är en hårdare inbunden form av kol. Detta gör att biokol bryts ner långsammare. Svensk åkermark innehåller en hög halt av markkol då Sveriges jord är ung och det kallare klimatet sänker nedbrytningshastigheten. Men den ökande globala temperaturen kommer leda till en ökad omsättning av markkolet vilket leder till en minskad kolhalt i åkermarken. Därför kan det vara en fördel att redan nu tillsätta biokol tillsammans med andra kolinlagrande åtgärder, som att blanda flyt- och fastgödsel med biokol, att tillsätta biokol till skog- och energiskogsplanteringar och att tillsätta biokol tillsammans med vall för att öka biomassan och därmed kolinbindningen via fotosyntesen.

Abstract

Biochar is a possible candidate to counteract the high carbon dioxide content in the atmosphere. By pyrolysis of biomass, biochar is formed which is a harder bound form of carbon. This means that biochar breaks down more slowly. Swedish arable land contains high a content of soil carbon because Swedish soil is young and the colder climate lowers the rate of decomposition. But the rising global temperature will lead to an increase in the turnover of soil carbon. Therefore, it would be advantageous to add biochar with other carbon storage measures, such as mixing biochar with liquid and solid fertilizers, add biochar to forest and energyforest plantations and add biochar together with grassland to increase biomass and thus carbon sequestration via photosynthesis.

Innehåll

Förkortningar	5
1. Introduktion	6
1.1 Syfte och mål	8
1.2 Avgränsning	9
1.3 Frågeställning/hypotes	9
1.4 Metod	9
2. Litteraturstudie	9
2.1 Kolcykel	9
2.2 Markkol	11
2.2.1 Mullhalt respektive kolhalt i åkermark	12
2.2.2 Mineral- och organogena jordar	14
2.3 Biokol	15
2.3.1 Framställning	16
2.3.2 Användningsområden och försök med biokol	18
2.3.3 Certifiering	19
2.3.4 Beständighet	20
2.3.5 Biokolets påverkan på markorganismer och mykorrhiza	22
2.5 Kolinlagrande åtgärder (vall, träd m.m)	23
3. Diskussion	25
4. Slutsats	31
5. Referenslista	33

Förkortningar

BP = before present = före år 1950

CEC = cation exchange capacity = katjonbyteskapacitet = ett substrats förmåga att binda katjoner genom jonbyte

C/N = kol och kväveknoten

DOC = dissolved organic matter

EBC = European Biochar Foundation

FSC = Forest stewardship council, en oberoende internationell medlemsorganisation som värnar om miljö, skog och ekonomiskt livskraftigt bruk genom sin certifiering FSC

Gt = 1 gigaton = 1 miljard ton

GWh = Giga watt timmar

HIR = Hushållningssällskapet

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change = Förenta nationernas klimatpanel

IBI = International Biochar Initiative

Kol/ha = kol per hektar

kWh= kilo watt timmar

SOC = soil organic carbon

Terra preta = svart jord från Sydamerika

1. Introduktion

Ett problem världen står inför är att människan tar av det långtidslagrade kolet i marken, så som olja och naturgas, och förbränner det snabbare än vad kol hinner att lagras in igen (ICOS 2020). Lägg då till att skog, som är en av världens största naturliga kolsänkor, skövlas i stora arealer för att bland annat brukas som åkermark (ICOS 2020), där sedan de större metan- och lustgasutsläppen sker (IPCC 2020). När koldioxidhalten ökar i atmosfären ökar också den globala temperaturförändringen.

Enligt Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) kan biokol vara en del av klimatlösningen då det binder atmosfäriskt kol. Genom att tillföra biokol i marken kan människan hjälpa till att öka det långtidslagrade kolet då biokol har en halveringstid på uppemot 3 500 år.

Sverige har historiskt sett haft en egen produktion av kol i så kallade kolmilor. Tekniken går ut på att torrdestillera trä med upphettning av eld i en nästan syrefri miljö (så kallad pyrolys) och slutprodukten blir träkol (Skogen.se 2020). Men när trä förbränns i kolmilor kan inte gasen tas tillvara på och det blir ett koldioxidutsläpp. I dagens moderna biokolstillverkning är anläggningen helt sluten och gasen kan användas för att skapa energi som i sin tur kan återgå till biokolsproduktionen (Bioenergitidningen.se 2020). Det blir ett slutet system.

Det är ingen stor skillnad mellan träkol och biokol och det är i slutändan deras användningsområden och fraktioner som bestämmer vad det är. Biokol kommer oftast i pelleterad storlek (ca 0–50 mm) och tillförs i marken medan träkol förekommer i större fraktioner (ca 40–80 mm) och används vid grillning.

I Sverige produceras biokol för nuvarande i liten skala. För att minska på koldioxidutsläppet och öka upptaget av det atmosfäriska kolet har staten beslutat om ett investeringsstöd som kallas Klimatklivet (Naturvårdsverket 2020). Naturvårdsverket tillsammans med Länsstyrelsen beviljade år 2015–2018 4,2 miljarder kronor till 3200 olika satsningar. Av dessa satsningar var det 12 biokolsanläggningar som fick beviljat stöd. Detta visar på ett ökat intresse av tillverkning av biokol.

Här kommer några begrepp som behöver redas ut. Begreppet klimatkompensation innebär att företag kan kompensera utsläpp av koldioxid genom att till exempel plantera skog som

binder koldioxid (SIS 2020). Klimatpåverkan blir noll om utsläppen är lika stora som den koldioxid som binds av träden och klimatpositiv om upptagningen av koldioxid är större än utsläppen. Begreppet kolsänka däremot handlar om att långtidslagra kol för att förhindra att kolet avges till atmosfären (Kätterer 2012). Biokol som tillförs åkermark fungerar alltså som en kolsänka.

För att kunna jämföra växthusgaser används en faktor som kallas GWP_{100} , som står för Global Warming Potential (uppvärmningspotential), baserad på ett 100 års perspektiv (IPCC 2007). Denna faktor står för växthusgasernas nedbrytningshastighet samt hur de absorberar utgående infraröd värmestrålning. GWP_{100} faktorn är 1 för koldioxid (CO_2), 25 för metan (CH_4) och 298 för lustgas (N_2O). Efter att utsläppet multiplicerats med GWP -faktorn anges det i koldioxidekvivalenter, förkortat CO_2 -ekv (IPCC 2007), det vill säga att 1 ton metangasutsläpp motsvarar 25 ton CO_2 -ekv och 1 ton lustgasutsläpp motsvarar 298 ton CO_2 -ekv (Naturvårdsverket 2020).

Här är även en sammanfattning om markkol och mull. Vid mineralisering av organiskt material blir 80% till koldioxid och 20% blir till stabila mullämnen (Bertilsson 2008). Dessa mullämnen består till 60% av kol. Mullhalten visar hur mycket mullämne en åkermark innehåller. För att räkna ut mullhalten behöver man först veta åkermarkens kolhalt (Bertilsson 2008). Kolhalten visar hur mycket markkol en åkermark innehåller. När man vet hur mycket markkol en åkermark har, vet man också vad åkermarken har för egenskaper. Ju högre kolhalt desto bättre blir strukturabiliteten, den vattenhållande förmågan, växttillgängligt vatten, porositeten, katjonbyteskapaciteten (CEC), vattengenomsläppligheten samt en minskad skrymdensitet (Eriksson et al. 2011).

1.1 Syfte och mål

Syftet med denna litteraturstudie är att undersöka effekten och hållbarheten av tillförd biokol på markkolet i åkermark och göra en jämförelse med andra kolinlagrande åtgärder.

Målet med denna litteraturstudie är att klargöra när tillförsel av biokol är realistisk och praktiskt genomförbart.

1.2 Avgränsning

I denna litteraturstudie har jag valt att inte skriva om kostnader för biokol och de andra kolinlagrande åtgärderna.

Det kommer ytligt tas upp vad som ytterligare kan produceras vid tillverkning av biokol.

Markkol är det övergripande ordet för allt kol som finns i marken, både i organisk och oorganisk form, men i den här litteraturstudien skrivs det enbart om den organiska formen.

1.3 Frågeställning/hypotes

Vilken betydelse har markkolet för åkermarken?

Vid vilka markförhållanden är det gynnsamt att tillföra biokol i åkermark?

Hur mycket kol kan biokol och andra kolinlagrande åtgärder tillföra i åkermark?

Hur hållbart är biokol?

1.4 Metod

Denna litteraturundersökning sammanställdes med hjälp av vetenskapliga artiklar, hemsidor, broschyrer och böcker. Informationen hittades med sökmotorerna Google, Google scholar och Web of Science.

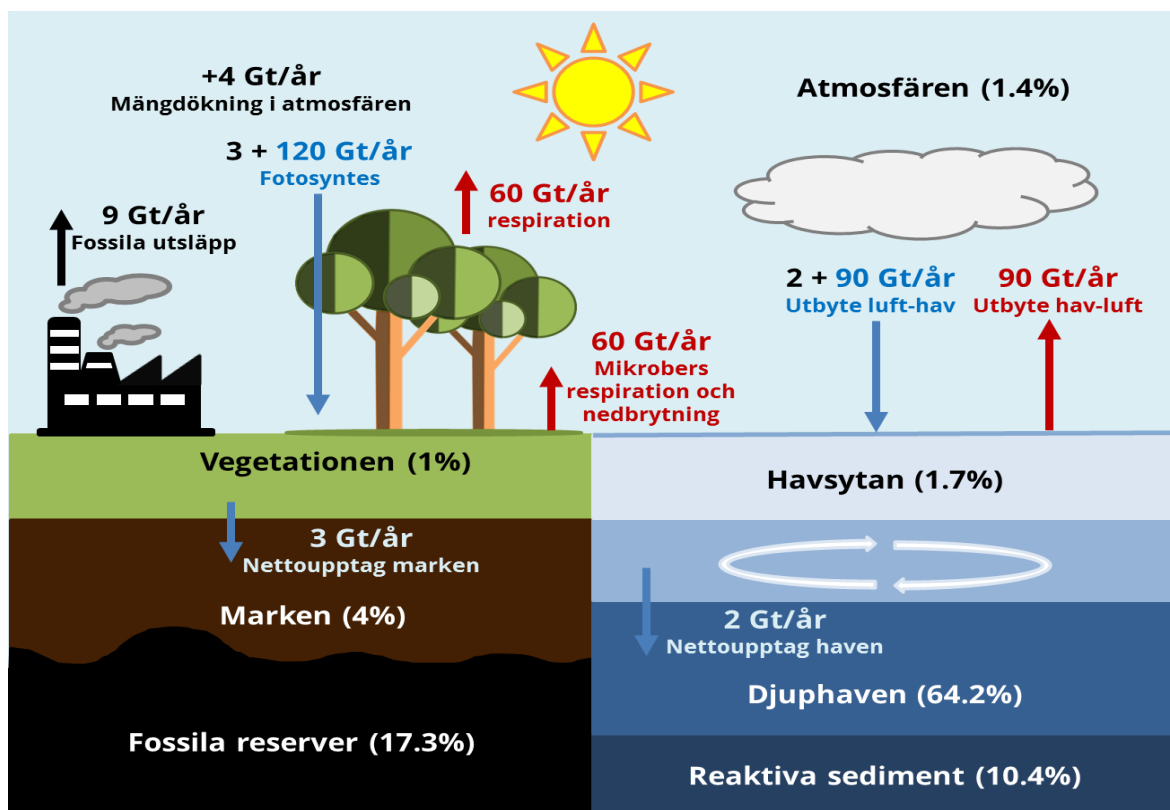
Sökorden är biokol (biochar), kolsänka (carbon sink), kolbindning (sequestration), minskning/förmildring (mitigate), markkol (soil carbon).

2. Litteraturstudie

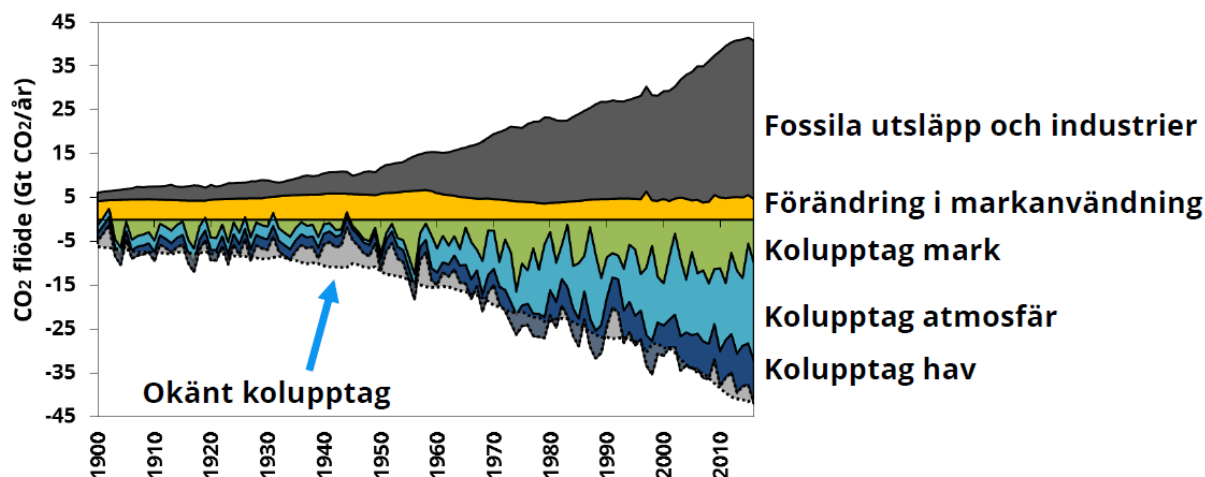
2.1 Kolcykel

Kolets kretslopp handlar om en balans av kol bundet i skog och mark, i alla levande organismer, i hav och sjöar samt det kol som finns i gasform i atmosfären.

Det finns två olika kolkretslopp. Det snabba, som tar ungefär lika lång tid som en människas livstid, och det långsamma som tar flera miljoner år. Växter ingår i det snabba kolkretsloppet genom att med sin fotosyntes fånga upp koldioxid i luften (figur 1)(ICOS 2020). Ungefär hälften av koldioxiden går tillbaka upp i atmosfären vid cellrespiration och den andra hälften lagras i växten i olika former av energirika kolföreningar. På marknivå är det förnan som avger koldioxid när den bryts ner av svampar och mikroorganismer. En del av det lösta organiska materialet (DOC) transporteras ner i markdjupet eller ut i sjöar och vattendrag med avrinningsvattnet (figur 1). Det är i marken och i havet det långsammare kolkretsloppet äger rum och som innebär att kolet fastläggs och bildar ett kolförråd (LUSTRA 2007).



Figur 1: En förenklad bild av kolets kretslopp, omritad från U.S DOE, Biological and Environmental Research Information System (ICOS 2020)(Används med upphovspersonens tillstånd).



Figur 2: Kolflödet från olika källor omräknat till gigaton koldioxid per år. Figuren är gjord av data från Global Carbon Project (ICOS 2020)(Används med upphovspersonens tillstånd).

Människan påverkar kretsloppet genom förbränning av fossila bränslen, avskogning och genom att omvandla natur till odlingsmarker som sedan brukas och släpper ut metan och lustgas (figur 2). Detta sker i en allt för snabb takt med tanke på att det tagit flera miljoner år för planeten att fastlägga kol i mark och havsbotten. Dessutom återplanteras inte skog i den utsträckning som det behövs för att minska koldioxidhalten i atmosfären. Det betyder att det årligen släpps ut 9 Gt koldioxid per år varav 4 Gt koldioxid stannar kvar i atmosfären (figur 1 & 2) (ICOS 2020). Det i sin tur leder till en ökad global temperaturförändring.

2.2 Markkol

Batjes (1996) uppskattar att det globala kolförrådet i marken (SOC) är ca 700 Gt kol 30 cm ner i marken, 1500 Gt kol 100 cm ner i marken och 2400 Gt kol 200 cm ner i marken, förnan ej inräknad. I den djupare markprofilen är kolet hårdare fastlagt. Kolinlagring i marken uppstår när koltillförseln är högre än förlusterna (Kätterer 2012). Marken räknas då som en kolsänka.

När marken binder in lika mycket kol som den avger till atmosfären kallas det att marken är i jämviktsläge (Kätterer 2012).

Kol avgår från marken i form av koldioxid (CO₂), metan (CH₄) och lustgas (N₂O) (Haddaway 2015; IPCC 2007). Om mer kol avgår från marken än det binds in anses den vara en utsläppskälla/kolkälla. Detta sker bland annat vid bortodling av jordbruksmark, det vill säga

att när jorden bearbetas förs syre ner i marken och ökar den mikrobiella och kemiska nedbrytningen av organiskt material (växt- och rotmassa, döda markdjur och svampar) (Wahlander 2008). Mikroorganismernas mineralisering bryter ner kolet i det organiska materialet som då omvandlas till koldioxid och avgår till atmosfären (Växten & Marken 2002). Utdikning av torvjordar bidrar också till ökade utsläpp (Berglund & Berglund 2009). Torvmarker har ett visst utsläpp av gaser men inbindningen av kol är större än utsläppen. Men när torvmarker omvandlas till odlingsmarker blir utsläppen större på grund av att tillgången till syre ökar och därmed nedbrytningshastigheten. Även bortforsling av grödor minskar kolförrådet då det inbyggda kolet i växten inte förs tillbaka ner i marken igen (Cederberg 2012; HIR 2011). Kol kan även försvinna med ytliga jordpartiklar vid vatten- och vinderosion (Bolinder 2017).

Svensk åkermark innehåller 75 ton kol/ha i mineraljordar och över 200 ton kol/ha i organogena jordar. Anledningen till att svensk åkermark innehåller så mycket kol beror på jordens unga ålder och det kalla klimatet som minskar nedbrytningen av det organiska materialet (SLU Miljötrender 2002).

Markkol förekommer i både organisk form (humus och mull) och oorganisk form (karbonater och bikarbonater) (Bolinder et al. 2017).

2.2.1 Mullhalt respektive kolhalt i åkermark

I det översta jordlagret i åkermark finns humus, som består av ofullständigt nedbrutet organiskt material (Bertilsson 2008). Vid mineraliseringen av det organiska materialet blir ungefär 80% till koldioxid som går upp till atmosfären och resterande 20% bildar stabila mullämnen (Bertilsson 2008). Dessa ämnen tar längre tid för mikroorganismerna att bryta ner. Mullämnena finns i organiska rester och består huvudsakligen av kol, väte, syre och små mängder av kväve, fosfor, svavel, kalium, kalcium och magnesium (Agriculture & Food 2020) och kol utgör nästan 60% av mullämnena (Bertilsson 2008).

Jordbrukare använder mullhalt som ett värde i åkermark för att få information om jordens förmåga att mineralisera kväve, dess brukningsegenskaper, mullbalans (till exempel om halm ska skördas eller plogas ner i marken), dosering av jordherbicer, vattenhållande förmåga till bevattningsprognos och för kalkbehovsberäkning (Jordbruksverket 2010). Mullhalten

avser bara det organiska innehållet i åkermarken (Eriksson et al. 2011). En högre mullhalt ger en ökad strukturstabilitet, vattenhållande förmåga, porositet, katjonsbyteskapacitet (CEC), vattengenomsläpplighet och minskad skrymdensitet. Även det växttillgängliga vattnet ökar.

Kolhalten används för att räkna ut mullhalten (Bertilsson 2008). Markens kolhalt analyseras och därefter gånger man procenten kol med faktorn 1,7 (se Tabell 1) och får då fram mullhalten. Relationen mellan mull och kol är 1,7:1, det vill säga att 1,7% kol ger en mullhalt på 2,9% (HIR 2011).

Enligt Persson (2003) bryts årligen 1–2% av mullämnena ner genom mineralisering. Om organiskt material inte tillförs kontinuerligt kommer kolet i marken att minska vilket leder till reducerat skördeutbyte och försämrade jordegenskaper så som packningskador och sämre vattengenomsläpplighet (Bertilsson 2008).

Tabell 1: Gränsvärdena för mull och kol (Data från Bertilsson 2008)

Gränsvärden	Mull (%)	C (%)
Mullfattig (mf)	< 2	< 1,2
Något mullhaltig (nmh)	2-3	1,2-1,8
Måttligt mullhaltig (mmh)	3-6	1,8-3,6
Mullrik (mr)	6-12	3,6-7,2
Mycket mullrik (mkt mr)	12-20	
Mineralblandad mulljord	20-40	
Mulljord	> 40	

Här kommer ett räkneexempel från Bertilsson (2008) på hur kol i åkermark minskar.

En måttligt mullhaltig åkermark innehåller 2% kol och 3 miljoner kg matjord per hektar vilket blir 60 000 kg kol per hektar. Mineraliseringen ligger på 1,5% årligen, därmed blir förlusten 900 kg kol per år. Om resterna från till exempel en halmodling plöjs ner (halmstubb och rötter) ger det 7500 kg extra organiskt material. Andelen kol i det organiska materialet uppges vara 40%, vilket ger 3000 kg kol extra i marken. Eftersom 80% av kolet omsätts och 20% blir kvar som stabila mullämnen är det 600 kg kol som stannar kvar i marken.

Då 900 kg kol försvinner genom mineralisering och 600 kg kol tillkommer genom tillförsel av organiskt material blir det en förlust på 300 kg kol.

Om detta fortsätter kommer mullhalten i åkermarken att sjunka. Även mineraliseringen kommer att minska. Åkermarken kommer slutligen att bestå av 1,3% kol som kommer vara bestående i flera decennier framöver om inte mer mull tillförs.

Den mest använda metoden för att höja kolhalten i åkermark är tillförsel av organiskt material i form av stallgödsel, kompost, röt- och avloppsslam (Cederberg 2012). Det finns också andra metoder för att höja kolhalten. Bland annat har odling av flerårig energiskog och perenna växtslag med stor rotmassa visat på höjande effekt samt att ha en plöjningsfri odling, det vill säga att jordbearbetningen reduceras eller är nästintill obefintlig. Även att odla fånggrödor eller mellangrödor för att sedan plöja ner biomassan i jorden har visat på en ökning av kolhalten i åkermark (Cederberg 2012).

2.2.2 Mineral- och organogena jordar

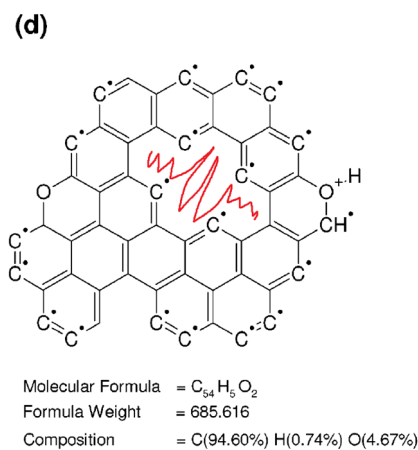
Karaktäristiska drag av mineraljordar och organogena jordar.

Ren mineraljord består av eroderat mineral i olika fraktioner och befinner sig längre ner i markprofilen. Den innehåller max 2% organiskt material och där förekommer nästan inget mikro- eller makroliv (Skogen.se 2020). Däremot består oftast åkermark av mineraljord blandat med olika halter av organiskt material (Tabell 1) (Eriksson et al. 2011). Mineraljord som åkermark kan innehålla allt från 2–40% mull (Jordbruksverket 2010).

Organogen jord består nästan helt av organiskt material som bryts ner under syrefattiga, blöta förhållanden, oftast vid platser där det råder översvämningar (Eriksson et al. 2011). För att kunna användas som åkermark har platsen dikats, det vill säga grävts ut runt den tilltänkta åkermarken för att dräneras på vatten, och den organogena jorden gjorts tillgänglig för att brukas (Berglund & Berglund 2009). Ska åkermark klassas som organogen jord måste den innehålla mer än 40% mull (Jordbruksverket 2010). Åkermark bestående av organogen jord är den jordtyp som bidrar mest till utsläpp av växthusgaserna (Wahlander 2008).

2.3 Biokol

Biokol har en porös struktur med en stor specifik yta (Sohi 2009). Den porösa strukturen gör att biokol har en vatten- och näringshållande förmåga (Sohi 2009) och den stora specifika ytan ger en hög katjonbyteskapacitet (CEC) (Liang et al 2006). Biokolets pH-värde är oftast över 7.0 (Verheijen et al. 2011). Biokolet har en blandad porstorleksfördelning med nano-, mikro- och makroporer (figur 3)(Downie et al 2009). Makroporererna fungerar som habitat till mikroorganismer och mykorrhiza samt att de tillför hydrologiska och ventilerande/luftande egenskaper till marken (Atkinson et al 2010). Mikroporererna är viktiga för molekylernas adsorption och transporter.



Figur 3: En teoretisk bild av hur karboniserad kol med mikroporer kan se ut. Mikroporen är ifyllt med röd streckfärg (Bourke 2007) (Används med upphovspersonens tillstånd).

Biokol i sig har ingen gödslande effekt (Embré 2017; Steiner et al 2007) och enligt en undersökning utförd av Downie et al. (2009) är det biokolets egenskaper som gör att växternas biomassa ökar. Enligt en metaanalys som Verheijen et al. (2011) utförd fanns ingen signifikant skillnad på biomassan mellan laddad biokol och oladdad biokol i åkermark. Biokol som har blandats med näring av till exempel flyt eller fastgödsel har adsorberat näringsämnen och på så sätt blivit laddad. Enligt Verheijen et al. (2011) finns det forskare som rekommenderar att ladda biokol med gödning innan det stoppas i marken, som bland annat Schmidt (2011), men även försäljare av biokol rekommenderar att ladda biokol innan det tillförs i marken (Grillkol.se 2020; Norrlandskol.se 2019; Stockholmvattenochavfall.se

2020). Schmidt (2011) menar att om biokol stoppas ner i marken utan att laddas binder det åt sig näringen ifrån marken och gör den otillgänglig för växterna vilket kan leda till att biomassan minskar. När biokolet har laddat färdigt blir näringen tillgänglig för växterna igen. Detta kan ta upp emot några månader till ett helt år.

Biokol kan minska avgången av lustgas från åkermark genom att minska dess bulkdensitet och göra jorden luftigare och därmed minska på denitrifikationen (Cavigelli 2000).

Detsamma gäller även att biokol kan uppföröka nitrifikationsbakterierna så att denitrifikationen minskar (van Zwieten et al. 2009). Biokol har även visat att det kan höja pH-värdet i sura jordar (Liu et al. 2013) men effekten är kortvarig och biokol måste tillföras kontinuerligt för att bibehålla ett högre pH-värde i marken (Verheijen et al. 2010). Ett högre pH-värde ger ett högre CEC-värde vilket kan bidra till en ökad biomassa.

Enligt Sohi et al. (2010) och Bolinder et al. (2017) erhålls mer kol i marken från grödornas rötter vid tillförsel av biokol, då biokol bidrar till att öka rotmassan (Sohi et al. 2010).

2.3.1 Framställning

Biokol framställs genom pyrolys. Pyrolys är när ett ämne förbränns med hög värme och lite eller ingen tillgång till syre (Lehmann & Joseph 2009). Det finns 4 olika metoder av pyrolys som kallas snabb-, mellan- och långsam pyrolys och förgasning.

Tabell 2: Omritad och översatt av UT. En överskådlig bild av de produkter som bildas vid de fyra olika pyrolyserna (IEA 2006).

Produktion	Temperatur och tid	Tjära	Biokol	Syngas
Snabb pyrolys	Måttlig temperatur, ~500 °C, varm ånga, genomsnittlig tid ~ 1 sek	75%	12%	13%
Mellan pyrolys	Måttlig temperatur, ~500 °C, måttligt varm ånga, genomsnittlig tid ~ 10–20 sek	50%	20%	30%
Långsam pyrolys	Låg temperatur, ~400 °C, mycket lång uppehållstid för fast material	30%	35%	35%
Förgasning	Hög temperatur, ~800 °C, lång ångningstid	5%	10%	85%

Tabell 2 visar att vid förbränning av biomassa bildas tre olika produkter, tjära, gas (främst H_2O , CH_4 , CO , CO_2) och biokol (Rest till bäst 2019). Vid tillverkning av biokol är det långsam pyrolys som används eftersom det ger mest biokol (Verheijen et al. 2011). Det bildas alltid gas oavsett vilken metod av pyrolys som används och gasen kan användas till att driva biokolsanläggningen genom att förbrännas och skapa energi (Verheijen et al. 2011).

Vid tillverkning av biokol ska man försöka undvika att slutprodukten blir för dammig då det lättare flyger iväg vid spridning på fält, men att det också kan inhaleras och innebära en hälsorisk för de som hanterar produkten (Blackwell et al. 2009). Dammig biokol kan också öka risken för självantändning. Biokol kan ha en låg packningsdensitet beroende på vilken storlek biomassan har vid pyrolyseringen (Blackwell et al. 2009). Om biomassan är stor och skrymmande kan den hackas eller pelleteras till mindre fraktioner. Det finns ingen signifikant skillnad på fraktionsstorlek 20 mm och 2 mm enligt Lehmann et al. (2003). Båda storlekarna påvisade samma egenskaper.

C/N kvoten kan bli mycket hög vid framställning av biokol. Enligt en undersökning av Chan & Xu (2009) varierar C/N kvoten mellan 7–400. Om C/N kvoten är under 20 kommer kvävet att mineraliseras och bli växttillgängligt, men om kvoten går över 20 kommer det istället att ske en immobilisering av kvävet (Ögren 2019). Om det finns för mycket kol i förhållande till kväve kommer mikroorganismerna att ta från åkermarkens egna kväveförråd. Därmed kommer kvävet bli otillgängligt för växterna som då kommer drabbas av kvävebrist (Ögren 2019).

Björnberg & Unsbos (2019) undersökning visar att kadmiumrik biomassa som pyrolyseras till biokol kommer ha ett fortsatt högt kadmiuminnehåll. Deras försök att omvandla släke (uppspolad tång och havsväxter) från Gotlands kuster till biokol visar på höga, kvarvarande halter av kadmium. För att få kadmiumet att vaporisera och försvinna från släket behöver pyrolyseringen nå över 800 °C. Därefter leds gasen genom ett filter där kadmiumet tas upp. Deras undersökning visar även att pyrolysering av släke är en energikrävande process då det innehåller mycket vatten.

De undersökningar som utförts av Abbas et al. (2017) och Sui et al. (2018) överensstämmer delvis om att biokol binder in och immobiliserar växttillgängligt kadmium från förorenad

åkermark. Däremot visade även undersökningen av Sui et al. (2018) att i områden som drabbas av mycket regn och översvämningar varvat med torkperioder så frigörs ändå kadmium och blir växttillgängligt. De menar att det är åkermarkens vattenhalt som avgör biokolets förmåga att immobilisera kadmium.

Det finns pyrolysanläggningar i Sverige, där till exempel ett företag använder restprodukter (frörens) från fröproduktionen till att göra biokol av (skånefrö.se 2020; ecoera.se 2020). Anläggningen väntas producera 1500 ton biokol av 5000 ton biomassa och ge 2 GWh (2 000 000 kWh) värme per år från förbränningen (Bioenergitidningen.se 2020). I en jämförelse med Konsumentverket förbrukar en vanlig villa 20 000 kWh/år med eluppvärmning eller 5 000 kWh/år med fjärrvärme (Energimarknadsbyrån 2020). Det betyder att uppemot 100 eluppvärmda eller 400 fjärrvärmda villor kan värmas upp. Försäljning av biokol riktar sig till hobbyodlare, små- och storskaliga odlare och gröna sektorn som inkluderar kommun och diverse anläggningsbranscher (skånefrö.se 2020).

2.3.2 Användningsområden och försök med biokol

Biokol används bland annat vid trädplanteringar i Stockholm stad (Embré 2016). En växtbädd grävs upp som en grop i marken där kolmakadam sedan läggs i (Embré & Alvem 2017). Entreprenören blandar makadam (stenkross storlek 32–63 mm) med biokol, lägger blandningen i växtbädden för att sedan försluta den. Därefter anläggs en väg eller trottoar ovanpå. Att använda biokol i växtbäddar löste en del problem för Stockholm stad med deras döende träd. Makadam kompakteras inte och en inblandning av biokol ökar den närings- och vattenhållande förmågan och är mer bestående än till exempel torv. När kolmakadam används frigörs utrymme för trädens rötter och de kan växa fritt och få mer tillgång till näring och syre (Embré 2016).

Biokol testas för nuvarande i fotbollsplaner för att göra gräset mer slitstarkt och för att minska bevattningsbehovet (Rest till bäst 2019). Samtidigt blir fotbollsplanen en kolsänka. Eftersom jordbearbetning i en fotbollsplan nästan är obefintlig (men det kan förekomma (atl.se 2020)), frigörs det därför ingen koldioxid på dessa platser.

Biokol kan tillföras i kompostering, fast gödsel, flytande gödsel och i biogödsel (Blackwell et al. 2009). Masebinu (2018) har undersökt biogödselns förmåga att bryta ner rötresten i

rötkammare, samt dess förmåga att minska metangasutsläpp. Även förbättrad nedbrytning har konstaterats vid tillförsel av biokol i kompost och fastgödsel (Blackwell et al. 2009) samt bidragit till en reducering av odör (Blackwell et al. 2009; Masebinu 2018).

I Sverige är biokol godkänt som ett jordförbättringsmedel till åkermark (Jordbruksverket 2020). De försök som utförts med biokol i kombination med kvävegödsling har visat en tendens till skördeökning (Laxmar 2017). Det kan bero på att biokol bidrar till att göra kvävet mer växttillgängligt vilket leder till ett förbättrat kväveutnyttjande hos växterna (Laxmar 2017).

Biokol kan blandas ner i åkermark med hjälp av diverse olika jordbruksmaskiner så som jordfräs, harv, plog, tallriksredskap, såmaskiner och olika gödselspridare för både fast- och flytgödsel (Blackwell et al. 2009). Det är formen och storleken på biokolet som avgör hur det ska spridas. Blackwell et al. (2009) ger exempel på att pelleterad biokol kan spridas med konstgödselspridare eller med kombisådd, där biokol tillförs i samband med sådd. Detta gör att groddarnas rötter kan tillgodogöra sig biokolets egenskaper och få en bättre start vid tillväxten.

Vidare beskrivs att vid redan etablerade odlingar, som till exempel frukt- och bärödlingar, kan biokol tillföras både ovan- och underifrån jorden (Blackwell et al. 2009). När biokol tillförs ovan jorden kan det göras för hand, det vill säga att odlaren kastar ut biokol på åkermarken, eller spridas ut med maskin. Därefter kan biokolet myllas ner med plog, harv eller tallriksredskap. När biokol tillförs under jord är det oftast i samband med gödselspridaren, att rännor grävs upp av redskap, gödslet förs ner i åkermarken med hjälp av slangar för att sedan myllas över igen. Det är en fördel att tillföra det under jorden på grund av vindavdriften, men det billigaste och enklaste sättet är att tillföra det ovan jord.

Det kan däremot bli stopp i maskinerna om inte biokolet har en jämn storleksfördelning samt i flytgödselspridarens rör kan det bli stopp när biokol tillsätts i biogödsel på grund av att viskositeten blir högre (Blackwell et al. 2009).

2.3.3 Certifiering

Sverige har ingen egen certifiering när det kommer till biokol. De svenska företag som för nuvarande har certifierat biokol använder European Biochar Foundation (EBC, 2020) eller

International Biochar Initiative (IBI). Detta är två frivilliga, samarbetande organisationer som baserar sina riktlinjer på den senaste forskningen.

Till exempel, i EBC's riktlinjer ska biokol tillverkas av hållbar skog, exempel FSC-certifierad, och att växtmaterial enbart kommer från Europa. Detta är för att skydda de gamla urskogarna och för att det inte ska användas skog från länder som har sämre miljömål, exempelvis USA. EBC har tagit fram en innehållsdeklaration om vilka ämnen samt hur många av dessa ämnen som biokol ska innehålla och inte. Biokol ska innehålla över 50% torrsubstans och får ej innehålla rester av till exempel målarfärg, lösningsmedel samt organiska och ickeorganiska kontamineringsämnen, till exempel kadmium. Det ska finnas en leveranssedel med vid varje leverans där det specificeras om biokolets pH, bulkdensitet, vatteninnehåll och specifik yta. Vid tillverkning av biokol måste varje serie få ett unikt nummer för lättare spårbarhet och det måste tas prover på varje serie innan försäljning.

2.3.4 Beständighet

När det kommer till beständighet har Shnour (1966, från Lehmann et al. 2015) påvisat att även det mest stabila kolet, grafit, kan brytas ned av mikroorganismer. Detta kan även antas om biokol.

Det är viktigt att veta hur lång tid biokol och dess egenskaper finns tillgängliga i marken (Lehmann et al. 2009). Men det är svårt att bestämma hur beständigt biokol är då olika faktorer påverkar biokolets uppbyggnad och nedbrytning (Sohi 2009; Lehmann et al. 2006; Lehmann et al. 2015). Det beror på abiotiska (ickelevande) faktorer så som vilken grad biokolet pyrolyseras och vilket växtmaterial som används, samt markens struktur och mullhalt (Wang 2016). De biotiska (levande) faktorerna innebär vilken närvaro det finns av mikroorganismer och markfauna (Wang 2016). Även regn, vind och vatten påverkar nedbrytningshastigheten.

Ett problem med kunskapen om biokolets beständighet idag är att det inte finns många långliggande försök och att utförandet av försöken inte är standardiserade (Verheijen et al. 2011). Forskare har undersökt *terra preta* som innehåller biokol och kommit fram till att den är 500 till 7 000 år BP (Lehmann et al. 2009). Denna information ger inget svar om biokolets

nedbrytningshastighet men ger däremot en indikation om dess livslängd. Halveringstiden för biokol kan då bli uppemot 3 500 år (egen uträkning).

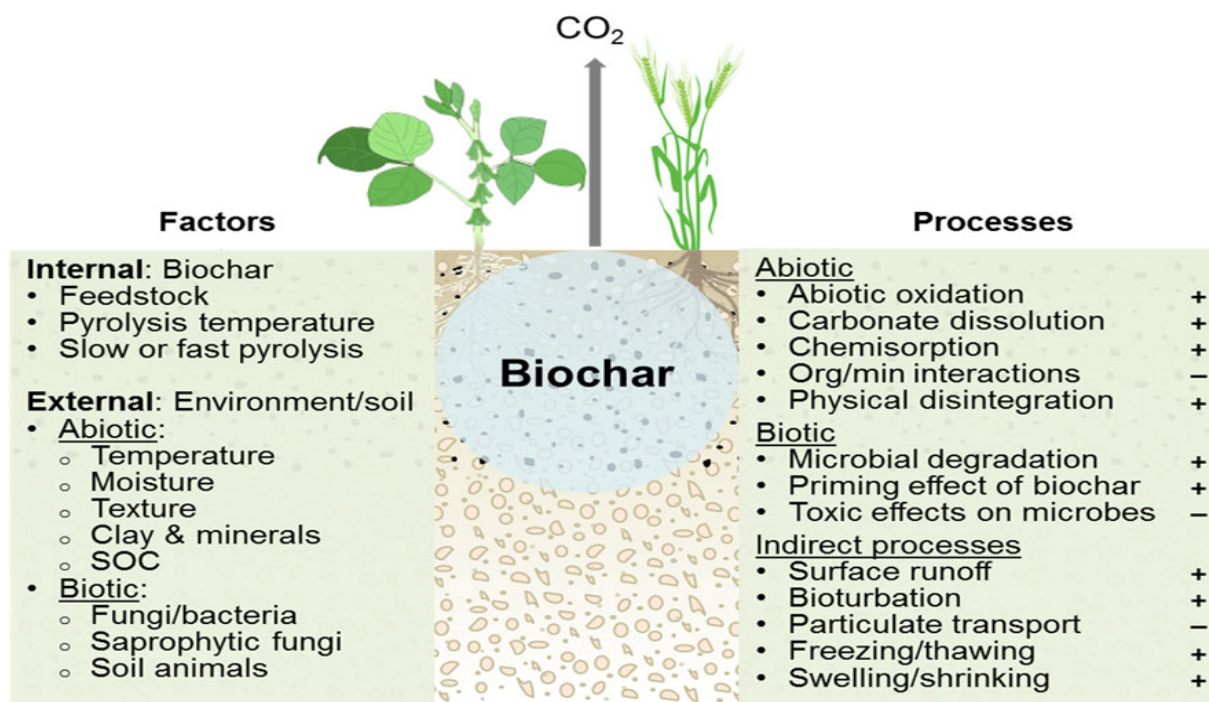
Enligt Nguyen et al. (2008) består biokolets yta av labila ämnen som inom en 5 års period oxideras till CO₂ eller ombildas till organiskt kol. Biokolets kärna är stabilare och bryts ner långsammare under en betydligt längre period.

Det diskuteras att tillförd biokol i marken ökar mineraliseringen av markkolet (Hamer et al. 2004; Wardle et al. 2008). Detta kallas för priming effekt, som innebär en förändring i nedbrytningen av det organiska materialet orsakad av ett tillfört substrat (Bingemann et al. 1953). Det finns positiv och negativ priming. Positiv priming stimulerar mineraliseringen av det organiska materialet och negativ priming dämpar/minskar mineraliseringen (Cheng et al. 2017). Men Liang et al. (2010) menar att det snarare är biokolets labila yta som har mineraliserats och inte markkolet. Deras undersökning visar att närvaro av biokol i jord ökar inbindningen av tillfört organiskt material i organomineralernas fraktioner (nedbrutit organiskt material som innehåller mineraler) med 3–8%. Utan biokol skulle det tillförda organiska materialet mineraliserats. En undersökning av Steiner et al. (2007) visar att i den biokolberikade jorden minskade markkolet med 4 och 8% i jämförelse med jord utan biokol där 27% av markkolet mineraliserades. En undersökning av Zimmerman (2010) visade både positiv och negativ primingeffekt, men den positiva primingeffekten gick senare över till att bli negativ ju längre biokolet låg i marken. Undersökningen visar även att markkol binds både till ytan av biokolet samt inuti dess porer, och skyddar markkolet mot fortsatt nedbrytning. Det biokol som gav utslag för positiv priming effekt producerades i låga temperaturer på 250 och 400 °C och hade biomassa från gräs. Den positiva priming effekten var högst i de första 90 dagarna av inkubationstiden i substrat med lågt innehåll av organiskt kol. Den biokol som gav negativ priming effekt producerades i höga temperaturer på 525 och 650 °C från biomassa av hårda träslag. Den negativa priming effekten var högst i den senare inkubationstiden 250–500 dagar.

Biokol kan förflyttas längre ner i jordmånen med hjälp av bioturbation (jord rörs om av daggmaskar) eller partikeltransportering (Wang 2016). Transportering av biokol ner till djupare jordmån kan öka dess motståndskraft mot nedbrytning (Lorenz & Lal 2014). Wang's (2016) metanalys visade att biokol rör sig neråt i jordmånen med varierande resultat. Till

exempel visar ett resultat att 21–69% av biokolen transporterades från tilläggsunkten 0,3 meter ner till 1,14 meter i torvjord under en 95-årsperiod. Ett annat resultat visade att 3–4% av det tillagda biokolet i en tempererad skog transporterades precis under tilläggsunkten i en 10 månaders period (Wang 2016).

Biokol som utsätts för jordbearbetning och slås sönder vid till exempel harvning och plöjning borde teoretiskt sett mineraliseras fortare (Lehmann et al. 2015) men båda undersökningarna utförda av Skjemstad et al. (2004) och Vasilyeva et al. (2011) pekar på att fallet inte är som sådant. Skjemstad et al. (2004) undersökning visar att åkermark i Australien som innehåller biokol från skogseldning inte minskade avsevärt mycket på de 8–18 åren som marken brukades. Detsamma gäller Vasilyeva et al. (2011) undersökning där biokolet i en 55år gammal åkermark minskade med 6% medan markkolet minskade med 33% på grund av jordbearbetning.



Figur 3: Överblick över faktorer och processer i och ovan jord som påverkar biokolets nedbrytning (Wang 2016)([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

2.3.5 Biokolets påverkan på markorganismer och mykorrhiza

Enligt Verheijen et al. (2011) kan för mycket tillförd biokol (>67 ton/hektar) ha en negativ effekt på dagmaskarna. Forskarnas hypotes är att jordens pH och saltmängd ökar vilket leder till en ökad dödlighet för maskarna. Däremot kunde det skildras att dagmaskar

föredrar olika sorters biokol, bland annat föredrogs biokol gjord av tall mer än biokol gjord av hönsgödsel. Vilken slags substrat som biokol tillförs i har också en stor betydelse.

Daggmaskarna föredrog biokolberikat järnhaltigt substrat över icke biokolberikat järnhaltigt substrat, men det var ingen skillnad mellan biokolberikat kalkrikt substrat mot ej biokolberikat kalkrikt substrat.

När det kommer till mykorrhiza finns det inga definitiva svar om biokol har en positiv eller negativ inverkan, för precis som med daggmaskarna föredrar olika mykorrhizasvampar olika sorters biokol (Koide 2017). Enligt Saito & Marumoto (2002) fungerar biokol som habitat för arbuskulär mykorrhiza och skyddar dem från saprofytiska svampar.

2.5 Kolinlagrande åtgärder (vall, träd m.m)

Bolinder et al. (2017) har sammanställt ett flertal olika kolinlagrande åtgärder genom att räkna ut växternas totala nettoprimärproduktion (NPP), det vill säga summan av den atmosfäriska koldioxiden som binds in som kol i växternas biomassa genom fotosyntes. Den kvarvarande biomassan efter skörd bestämmer kolinflödet i marken. Bolinder et al. (2017) metaanalys visar att odling av vall är den åtgärd som lagrar in mest kol (tabell 3). Detta beror på att vall har en stor rotmängd (Bolinder et al. 2007). Kätterer et al. (2011) undersökning fann att det kol som lagras in i växternas rötter är mer stabilt än den mängd kol som lagras i växternas ovanjordiska delar.

Svartträda (när inget odlas på åkermarken), ger en kolförlust på -530 kg C/ha/år, men eftersom svartträda oftast ingår i en växtföljd, till exempel vart femte år, kan man räkna med en femtedels förlust av kol, det vill säga ca -100 kg C/ha/år (Bolinder et al. 2017). Det negativa värdet uppstår då inget kol tillförs marken via rot- och skörderester och att markorganismernas andning fortsätter.

Lehmann (2007) har beräknat att pyrolysning av biokol från 5,5 ton biomassa/ha/år från 120 miljoner hektar åkermark motsvarar 10% av USA's årliga koldioxidutsläpp. Enligt en uträkning av Cederberg et al. (2012) skulle detta innebära en inlagring av 0,36 ton kol/ha/år. Detta är förutsatt att biokolet tillförs i jorden (Lehmann 2007).

Tabell 3: En sammanställning över kolinlagrande åtgärder och hur mycket kol dessa bidrar med i marken per hektar och år.

Kolinlagrande åtgärd i mark	Antal kilo per hektar och år	Referens
Vall	645 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)
Fastgödsel	540 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)
Energiskog	450 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)
Biokol	360 kg C/ha/år	(Cederberg 2012)
Mellangröda	300 kg C/ha/år	(Poeplau 2015)
Träd och buskar	190 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)
Rötslam	80 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)
Betesmark	60 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)
Träda, svartträda	-100 kg C/ha/år	(Bolinder 2017)

3. Diskussion

När organiskt material bryts ner blir 80% till koldioxid och går upp till atmosfären och 20% bildar stabila mullämnen som har en långsam nedbrytning (Bertilsson 2008). Mullämnen innehåller 60% kol.

Det sker en så kallad bortodling av markkol, där kol försvinner vid skörd och vid jordbearbetning då mineraliseringen ökar på grund av ökad syretillgång (Wahlander 2008). Men enligt Kainiemi et al. (2013) blir det ingen större skillnad i utsläpp att göra om åkermark till en plöjningsfri odling. Det sker istället en omfördelning av markkolet som hamnar längre upp i jordmånen medan markkolet i markprofilens obearbetade alv istället minskar (Meurer et al. 2018). Markkol är hårdare fastlagt ju längre ner i jordmånen den befinner sig (Batjes 1996). En plöjningsfri odling kan också göra att behovet av bekämpningsmedel och mekanisk ogrärensning ökar (Kätterer et al. 2020). Vidare skriver Kätterer et al. (2020) att det finns positiva aspekter med att inte plöja i åkermark och det är att erosionen minskar, markfaunan uppförökas och utsläppen från maskinanvändningen minskar. Den generella uppfattningen under denna studie har varit att en plöjningsfri odling skulle öka kolinnehållet i marken men det har tydligen bara skett en omfördelning av markkolet. Lantbrukare idag planerar redan körningen på åkermark i största mån för att undvika jordpackning och för att ha en så låg bränsleförbrukning som möjligt.

Åkermarken är i jämviktsläge vid en kolhalt på 1,3% (Bertilsson 2008), det vill säga att det binds in lika mycket kol som det avgår (Kätterer 2012). Desto högre kolhalt en åkermark har, desto högre är mullhalten (Bertilsson 2008). Mullhalten ger en rad positiva egenskaper till åkermarken som bland annat mindre packningskador genom en ökad strukturstabilitet, vattenhållande förmåga, porositet, ökad katjonbyteskapacitet (CEC), vattengenomsläpplighet, växttillgängligt vatten och minskad skrymdensitet (Eriksson et al. 2011). Jorden blir mer lättarbetad och växternas ovanjordiska och underjordiska biomassa ökar, vilket leder till en högre avkastning och en större inbindning av kol från atmosfären (Bertilsson 2008). Därför anser jag att det är av stor vikt att bevara eller att skapa en högre mullhalt i åkermarken så att dessa egenskaper inte försvinner. Men för att bevara eller öka mullhalten i åkermark behövs inte biokol. Mull i sig har redan samma egenskaper som biokol och i en fungerande åkermark skulle därför biokol vara överflödigt och enbart tillföra en

extra kostnad. Detta visas tydligt i tabell 3 på sida 24 över de olika kolinlagrande åtgärderna, där vall är den åtgärd som bidrar med mest kol i marken med 645 kg C/ha/år på grund av den stora rotmassa (Bolinder 2017) och rötternas kol är stabilare än ovanjordiska växtodelars kol (Kätterer et al. 2011). Därefter kommer fastgödsel med 540 kg C/ha/år och i mitten av tabellen kommer biokol med 360 kg C/ha/år (Cederberg 2012). Användningen av vall används redan flitigt i jordbruk vilket både IVA (2019), KSLA (2020) och Kätterer et al. (2020) rapporterar om. Vall och fastgödsel är dessutom just nu mer tillgängligt och billigare att använda i jämförelse med biokol.

I tabellen är svartträdan (-100 kg C/ha/år) med för att visa hur mycket utsläpp som sker om marken står bar då åkermarken blir en kolkälla som släpper ut växthusgaser (Bolinder 2017). Detta visar hur viktigt det är med fång- och mellangrödor som får stanna kvar eller planteras ut efter huvudgrödan är skördad (IVA 2019).

Om man vill föra ut biokol i åkermark skulle det kunna blandas ihop med andra kolinlagrande åtgärder som till exempel rötslam, fast- och flyt gödsel och biogödsel. På så sätt kan kolhalten i marken öka samtidigt som biokolet minskar på metan- och lustgasutsläppen från de olika gödselmedlen, som då inte avges till atmosfären. Även odören skulle minska med användning av biokol i gödsel (Blackwell et al. 2009; Masebinu 2018). Genom inblandning kan extra körningar undvikas och likaså de fossila utsläppen från bränsle. Det kan däremot behövas extra gödsel så att biokolet kan laddas upp utan att behöva ta från näringen i marken.

Det som även talar för att använda biokol i åkermark är att vi går mot en högre medeltemperatur och det i sin tur kommer innebära att omsättningen av markkolet kommer att öka, då mikroorganismerna inte längre kommer gå i dvala. Biokol kan vara en del av klimatlösningen att få ner den skadliga halten av växthusgaser från atmosfären då kol binds in hårdare under pyrolysen. Woolf et al. (2010) har beräknat att pyrolysning av biomassa till biokol kan binda in 1,8 Gt CO₂-ekv, vilket då motsvarade 12% av de globala antropogena utsläppen. Åkermark är ett lämpligt ställe att tillföra biokol i och bli en kolsänka. Denna studie visar på att det är inget farligt att använda biokol i åkermark bara man vet vad biokolet består av.

Att bara dumpa en stor mängd biokol rakt ner i marken ger inga större fördelar. Det skulle i slutändan påverka växt- och markdjurslivet negativt då för mycket biokol (>67 ton/hektar) kan öka salthalten och pH-värdet i marken samt att det även skulle bli en enorm engångskostnad att tillföra mycket biokol på en gång (Verheijen et al. 2010). I denna litteraturstudie har det inte framgått tydligt vilka mängder av biokol som kan tillföras i åkermarken. Det kan tänkas att om lantbrukaren enbart vill att åkermarken ska fungera som kolsänka och fastlägga kol i marken kan det användas en mindre mängd biokol årligen. Här skulle det behövas mer forskning om vilken mängd som är lämpligast sett till kostnader och vilken önskad effekt som vill uppnås i åkermarken.

Det finns olika infallsvinklar av biokolets livslängd innan det helt bryts ned till koldioxid och går upp i atmosfären igen. Många faktorer spelar in så som de abiotiska (ickelevande) och biotiska (levande) faktorerna.

De abiotiska faktorerna handlar om vilka grader av pyrolyseringen växtmaterialet utsätts för. Om växtmaterialet utsätts för förgasning (800 °C och uppåt) minskar mängden biokol avsevärt från växtmaterialets ursprungsvikt (IEA 2006). Växtmaterialet bestämmer också livslängden på biokolet då hårt växtmaterial är att föredra framför örtartat växtmaterial. Gräs blir som slutprodukt mestadels till pulvriserat biokol medan hårt växtmaterial som träd och gran blir till större fraktioner och har därmed en lägre nedbrytningshastighet.

De biotiska faktorerna som mikroorganismer och markfauna mineraliserar biokolet. Men biokolet från Sydamerika visar på en halveringstid uppemot 3 500 år vilket betyder att det tar lång tid för mikroorganismerna att bryta ner biokolet. I Sverige kan det vara annorlunda då svenska åkermarker oftast har en högre mullhalt och därmed en större närvaro av mikroorganismer. Däremot har Sverige kallare väder vilket mildrar nedbrytningen av biokol i åkermark då mikroorganismerna går i dvala.

Enligt Skejmland et al. (2004) och Vasilyeva et al. (2011) bryts inte biokol ner snabbare när åkermark jordbearbetas. Vasilyeva et al. (2011) undersökning visade att markkolet mineraliserades med 33% medan biokol mineraliserades med 6% vid jordbearbetning. Biokolet kom från skogsbränder och ogrärensning genom flamning. Frågan är hur mycket mer markkol som hade mineraliserats om inte biokol hade funnits alls i åkermarken då Liang

et al. (2010) kunde påvisa att biokol binder till organomineraler i marken och därmed minskar nedbrytningen av organiskt material med 3–8%. Organiskt material består ungefär av 60% kol. Även Steiner et al. (2007) undersökning visade på liknande resultat där markkolet enbart minskade med 4–8% i biokolberikad jord jämfört med icke biokolberikad jord där hela 27% markkol mineraliserades. Om åkermarken i Vasilyeva et al. (2011) undersökning hade fått en kontinuerlig dos av biokol varje år, hade då mineraliseringen av markkolet minskat? Detta visar även på att biokolets egenskaper stannar kvar länge i marken, trots eld och jordbearbetning.

Biokol används för nuvarande vid etablering av växtbäddar i städer där dess egenskaper har visat bra resultat och minskat svinnet av döende träd (Embré & Alvem 2017). Biokol verkade först vara något av en modefluga att använda i offentliga miljöer, men har med hjälp av flertalet undersökningar bevisat flera positiva effekter. Däremot framgår det inte vad som händer med kolmakadamet om det skulle ske en ombyggnation av den offentliga miljön eftersom det inte har skett än. Kommer kolmakadamet att återanvändas eller kommer det att dumpas, och i så fall var?

Biokol kan dra till sig oönskade ämnen som bland annat kadmium. Det råder delade meningar om hur immobiliserat kadmiumet förblir då det finns forskning som tyder på att mycket regn och översvämningar försämrar biokolets förmåga att immobilisera kadmiumet (Sui et al. 2018). Därför kan biomassa som innehåller kadmium främst användas till att bli syngas. Detta är på grund av att pyrolyseringen måste upp i 800 °C innan kadmiumet vaporiserar och försvinner från biomassan (Björnberg & Unsbo 2019) och slutprodukterna blir till 85% biogas och 15% biokol (IEA 2006). Biokolet kan tillföras i åkermark (Rest till Bäst 2019) men det kan bli en stor skillnad i biokolets egenskaper om det har producerats i 400 °C eller 800 °C. Enligt en undersökning publicerad av Deluca et al. (2009) får biokol ett högre pH-värde vid högre pyrolyseringsgrader.

Biokol kan även ha en hög C/N kvot mellan 7–400 beroende på vilket material som pyrolyseras (Chan & Xu 2009). C/N kvoten bör inte vara högre än 20 för annars immobiliserar kvävet och blir otillgängligt för växterna (Ögren 2019). Eftersom biokolets egenskaper kan skilja sig mycket åt behövs fler undersökningar om vilket växtmaterial och pyrolysmetod som är lämpligast för att producera biokol. En lösning kan vara en

internationell databas så att all information samlas på ett ställe. Detta skulle göra information tillgänglig för alla och lättare att jämföra resultat.

I detta arbete framkommer det att forskarna inte är eniga om biokolets primingeffekt på markkolet, det vill säga om biokol gör att markkol mineraliseras fortare eller inte. Wardle et al. (2008) menar att tillförd biokol har en positiv primingeffekt då deras mätningar visade en ökad omsättning av markkol i det undersökta substratet. Men Liang et al. (2010) motargumenterade deras resultat då Wardle et al. (2008) inte hade använt sig av isotopdata, som visar exakt vilket kol som mineraliseras. När det kommer till Hamer et al. (2004) undersökning menar Liang et al. (2010) att sockerlösning uppför sig annorlunda i jämförelse med komplexa organiska substanser och är därför inte jämförbart. Både Liang et al. (2010) och Steiner et al. (2007) undersökningar visar att tillförd biokol bromsar mineraliseringen av markkol genom att de tillsammans bildar aggregatbildningar. Liknande resultat visade undersökningen av Zimmerman (2010), där det även framgår att det är skillnad på biokol gjort av gräs och trämaterial. Både biokol och markkol förväntas genomgå en viss mineralisering då de bryts ned av mikroorganismer och andra yttre påfrestningar som väder och vind.

Det finns också oenighet om biokol ska vara laddat eller inte vid tillförsel i marken. Skånefrö.se (2020) rekommenderar att lägga ner ogödslad biokol i marken och tillföra extra gödsel ovanpå, och enligt företaget fungerar det bra. Det kan ses som en laddning av biokolet att tillföra extra gödsel. Detta sparar även tid att inte ladda biokolet i en egen behållare utan tillföra det direkt i jorden. Andra aktörer menar att biokol behöver laddas innan det tillsätts i jorden för att inte stjäla näring från grödorna, men det verkar handla om gardering så att kunden inte gör fel och får en minskad skörd/minskad biomassa.

Ett problem som uppdagades i metoddelen i denna studie är ordet biokol (biochar på engelska). Efter en snabb sökning på ordet biochar i SLU bibliotekets databas Primo finns sökresultatet först från år 1996. Biochar var inte allmänt vedertaget och cirkulerar i vissa kretsar hos forskare, mestadels från USA, och det gör att många rapporter och vetenskapliga artiklar förbises och sökningar har blivit begränsade. Ord som använts istället för biochar är till exempel pyrogenic carbon, black carbon, char och char residue.

4. Slutsats

Det är av stor vikt att bevara eller att skapa en hög mullhalt i åkermark så att dess positiva egenskaper på skördeutbyte och bindning av kol i marken inte försvinner

Biokol är gynnsamt att tillföra i åkermark som består av:

- mullfattiga mineraljordar, det vill säga sandig åkermark. Det är av den anledningen att biokol har en förmåga att kunna binda vatten (Sohi 2009). Detta skulle minska bevattningsbehovet och användning av vatten. Biokol kan även tillföras i åkermarker som ligger på platser med låg nederbörd för en jämnare tillgång till vatten för växterna. Till exempel på Gotland som har en årsnederbörd på 600 mm/år och Öland, som är Sveriges torraste landskap, med en årsnederbörd på 500 mm/år (SMHI 2020).
- kompakterade jordar, till exempel lerjordar. Biokol kan användas för att göra jorden mer lucker då biokolets porösa struktur har en luftande effekt och kan minska på skrymdensiteten (Atkinson et al. 2010). En ökad genomluftning av jorden gör att grödornas rötter kan tränga längre ner och det blir ett bättre gasutbyte i marken. Att odla vall är en metod som används för att minska jordkompakteringen (Greppa Näringen 2014) och då skulle biokol kunna ersätta odlingen av vällen för att istället odla en huvudgröda som har ett högre ekonomiskt värde.
- organogena jordar där utsläppen är som störst. Biokol kan binda in metangas (van Zwieten et al. 2009; Cheng et al. 2016) och lustgas (van Zwieten et al. 2009) och därmed minska på utsläppet från åkermarken.

Biokol kan tillföras om åkermarken är i behov av:

- ett högre pH. Vid ett lågt pH kan växterna börja ta upp tungmetaller från åkermarken (Västerviks-Tidningen 2020). Biokol har ofta ett pH värde över 7.0 (Verheijen et al. 2010) och skulle därmed kunna ersätta kalkningsmedel.
- uppförökning av marklivet. Biokolets makroporer utgör ett habitat för mikroorganismer och mykorrhiza (Atkinson et al. 2010) och kan därmed användas för att föra in mer liv i åkermark.

- att öka skördeutbytet. Biokolets egenskaper bidrar till att frigöra kvävet i marken och blir därmed växttillgängligt vilket bidrar till en ökad biomassa både under och ovan jord. Biokol kan även tillföras innan etablering av skogs- och energiskogsplanteringar.

Vall bidrar med 645 kg C ha/år, fastgödsel 540 kg C ha/år, energiskog 450 kg C ha/år, biokol 360 kg C ha/år, mellangröda 300 kg C ha/år, träd och buskar 190 kg C ha/år, röttslam kg C ha/år och betesmark 60 kg C ha/år. De kan bidra med mer kol om biokol blandas med de olika kolinlagrande åtgärderna.

Biokol har en halveringstid på 3 500 år. Biokol påverkas inte avsevärt mycket av jordbearbetning och mineralisering av mikroorganismer.

5. Referenslista

- Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F., Abbas, F., Hannan, F., Rinklebe, J. & Ok, Y.S. (2017). Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140, ss. 37-47.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. & Hipps, N.A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*, 337(1-2), ss. 1-18.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47(2), ss. 151-163.
- Berglund, K. & Berglund, Ö. (2009). Odlade torvjordar läcker växthusgaser. I: Wiklander, G & Aronsson, H. (reds.) *Mark- och miljödagen 2009*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap. s.35-42. Tillgänglig: <urn:nbn:se:slu:epsilon-8-388>
- Bingeman, C.W., Varner, J.E. & Martin, W.P. (1953). The Effect of the Addition of Organic Materials on the Decomposition of an Organic Soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 17(1), ss. 34-38.
- Björnberg, I. & Unsbo, H. (2019) *Biokolsproduktion från släke*. (Examensarbete inom teknik, 2019 19264). Kungliga tekniska högskolan. Arkitektur och samhällsbyggnad.
- Blackwell, P., Riethmuller, G. & Collins, M. (2009). Biochar Application to Soil. I: Lehmann, J. & Joseph, S. (red) *Biochar for Environmental Management*. London: Sterling, ss. 207-226. Tillgänglig: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf>
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A. & VandenBygaart, A.J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 118(1-4), ss. 29-42.
- Bolinder, M. A., Freeman, M. & Kätterer, T. (2017) *Sammanställning av underlag för skattning av effekter på kolinlagring genom insatser i Landbygdsprogrammet*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, institution för ekologi, enhet för Systemekologi. Tillgänglig: https://djur.jordbruksverket.se/download/18.3421fb8e1634d8e3920b1d48/1526305320843/Rapport_kolinlagring.pdf
- Bourke, J., Manley-Harris, M., Fushimi, C., Dowaki, K., Nunoura, T. & Antal, M.J. (2007). Do all carbonized charcoals have the same chemical structure? 2. A model of the chemical structure of carbonized Charcoal. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(18), ss. 5954–5967.
- Cavigelli, R. (2001). Role of denitrifier diversity in rates of nitrous oxide consumption in a terrestrial ecosystem. *Soil biology & biochemistry*, vol. 33 (3), ss. 297–310
- Cederberg, C., Landquist, B. & Berglund, M. (2012) *Potentialer för jordbruket som kolsänka*. (2012:850). Göteborg: Naturskyddsföreningen. Tillgänglig: <diva2:944136>

- Cheng, H.G., Hill, P.W., Bastami, M.S. & Jones, D.L. (2017). Biochar stimulates the decomposition of simple organic matter and suppresses the decomposition of complex organic matter in a sandy loam soil. *Global Change Biology Bioenergy*, 9(6), ss. 1110-1121.
- Cheng, X.Y., Lan, Y., Liu, Z.Q., Liu, X.L., Miao, W., He, T.Y., Yang, X., Meng, J. & Chen, W.F. (2016). Effect of biochar on the greenhouse gas emissions from farmland and its physicochemical properties. *2016 International Conference on Mechatronics, Manufacturing and Materials Engineering (Mmme 2016)*, 63.
- Deluca, H. T., MacKenzie, M. D. & Gundale, J. M. (2009). Biochar Effects in Soil Nutrient Transformations. I: Lehmann, J. & Joseph, S. (red) *Biochar for Environmental Management*. London: Sterling, s 183–206. Tillgänglig: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%202013-01-09.pdf>
- Embré, B. (2016) Planting Urban Trees with Biochar. *The Biochar Journal*, s. 44–47. Tillgänglig: <https://www.biochar-journal.org/en/ct/77>
- Embrén, B., Alvem, B. M., Stål, Ö. & Orvesten, A. (2017). *Växtbäddar i Stockholm stad – En handbok*. 3 uppl., Stockholm: Trafikkontoret Stockholms stad. Tillgänglig: https://leverantor.stockholm/globalassets/leverantor-och-utforare/entreprenad-i-stockholms-stads-offentliga-rum/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar_i_stockholm_2017.pdf
- Eriksson J., Dahlin S., Nilsson I., Simonsson M. (2011) *Marklära*. Malmö, Studentlitteratur. Tillgänglig: 9789144069203
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jörgensen Bracht, H. & Söderström, B. (2015). What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems? *Environmental evidence*, vol. 4 (1). London: Springer Science & Business Media LLC. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1186/s13750-015-0049-0>
- Hamer, U., Marschner, B., Brodowski, S. & Amelung, W. (2004). Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation. *Organic Geochemistry*, 35(7), ss. 823–830.
- IVA - Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (2019). *Vägval för klimatet - delrapport*. (1100-5645). Stockholm: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien. ISBN: 978-91-7082-990-1
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M. & Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 144(1), ss. 175-187.
- Kainiemi, V., Arvidsson, J. & Kätterer, T. (2013). Short-term organic matter mineralisation following different types of tillage on a Swedish clay soil. *Biology and Fertility of Soils*, 49(5), ss. 495-504.
- Kätterer, T., Bolinder, M.A., Andren, O., Kirchmann, H. & Menichetti, L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 141(1-2), ss. 184-192.

Kätterer, T., Bolinder, M.A., Berglund, K. & Berglund, H. (2012). Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, vol 62 (4), s 181–198. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1080/09064702.2013.779316>

Kätterer, T., Börjesson, G. & Bolinder, M.A. (2020) *Odlingssystemens effekter på kolinlagring i jordbruksmark*. I/In: Vallkonferens 2020. 4–5 februari 2020, Uppsala, Sweden. [Konferensbidrag]

Koide, R.T. (2017). Biochar-Arbuscular Mycorrhiza Interaction in Temperate Soils. *Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage*, ss. 461-477.

Laxmar, E. (2017) *Skördeeffekter av biokoltillsats och kompletterande gödsling i två fältförsök*. (2017:03). Sveriges lantbruksuniversitet. Agronomprogrammet – mark/växt. Tillgänglig: https://stud.epsilon.slu.se/10083/1/laxmar_e_170329.pdf

Liu, Z., Zhang, A., Chunying, J., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G. & Paz-Ferreiro, J. (2013). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. *Plant and soil*, vol. 373 (1-2), ss. 583–594. Dordrecht: Springer Science & Business Media LLC. Tillgänglig: [10.1007/s11104-013-1806-x](https://doi.org/10.1007/s11104-013-1806-x)

Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – A review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, vol. 11 (2), s. 403–427.

Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Nature*, 447(7141), ss. 143-144.

Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249(2), ss. 343-357.

Lehmann, J. & Sohi, S. (2008). Comment on "fire-derived charcoal causes loss of forest humus". *Science*, 321(5894).

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.J., Petersen, J. & Neves, E.G. (2006). Black Carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), ss. 1719-1730.

Lehmann, J., Czimczik, C., Laird, D. & Sohi, S. (2009). Stability of Biochar in the Soil. I: Lehmann, J. & Joseph, S. (red) *Biochar for Environmental Management*. London: Sterling, s 183-206. Tillgänglig: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf>

Lehmann, J., Abiven, S., Kleber, M., Pan, G., Singh, B.P., Sohi, S. & Zimmerman, A. (2015) Persistence of biochar in soil. I: Lehmann, J. & Joseph, S. (red) *Biochar for Environmental Management*. Cornwall: TJ International Ltd eller Abingdon: Routledge, s 235–282. Tillgänglig: <https://people.clas.ufl.edu/azimmer/files/Publication-pdf/Lehman15-Persistence-of-Biochar-in-Soil.pdf>

Liang, B.Q., Lehmann, J., Sohi, S.P., Thies, J.E., O'Neill, B., Trujillo, L., Gaunt, J., Solomon, D., Grossman, J., Neves, E.G. & Luizao, F.J. (2010). Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. *Organic Geochemistry*, 41(2), ss. 206–213.

- Lorenz, K. & Lal, R. (2014). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5), ss. 651–670.
- Masebinu, A. (2019). A review of biochar properties and their roles in mitigating challenges with anaerobic digestion. *Renewable & sustainable energy reviews*, vol. 103, s. 291–307. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.048>
- Meurer, K.H.E., Haddaway, N.R., Bolinder, M.A. & Kätterer, T. (2018). Tillage intensity affects total SOC stocks in boreo-temperate regions only in the topsoil-A systematic review using an ESM approach. *Earth-Science Reviews*, 177, ss. 613-622.
- Nguyen, B.T., Lehmann, J., Kinyangi, J., Smernik, R., Riha, S.J. & Engelhard, M.H. (2008). Long-term black carbon dynamics in cultivated soil. *Biogeochemistry*, 89(3), ss. 295–308.
- Niléhn, A. (2009). Billigare lufta planen med myllaren. *ATL*, 11 maj. Tillgänglig: <https://www.atl.nu/teknik/billigare-lufta-planen-med-myllaren/> [2020-03-08]
- Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å. & Kätterer, T. (2015). Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma*, vol. 4, ss. 126–133.
- Poeplau, C., Kätterer, T., Bolinder, & Börjesson, G. (2015). Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments. *Geoderma*, vol. 237–238, ss. 246-255.
- Saito, M. & Marumoto, T. (2002). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: the status quo in Japan and the future prospects. *Plant and Soil*, 244(1-2), ss. 273-279.
- Skjemstad, J.O., Spouncer, L.R., Cowie, B. & Swift, R.S. (2004). Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Australian Journal of Soil Research*, 42(1), ss. 79-88.
- 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*, vol. 105, ss. 47-82. Tillgänglig: [10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Sohi, S. P., Lopez-Capel, E., Krull, E. & Bol, R. (2009) *Biochar, climate change and soil: a review to guide future research*. (1834–6618). Australia: CSIRO. Tillgänglig: <https://doi.org/10.4225/08/58597219a199a>
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J.L.V., Blum, W.E.H. & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291(1-2), ss. 275-290.
- Sui, F.F., Zuo, J., Chen, D., Li, L.Q., Pan, G.X. & Crowley, D.E. (2018). Biochar effects on uptake of cadmium and lead by wheat in relation to annual precipitation: a 3-year field study. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), ss. 3368–3377.
- Vasilyeva, N.A., Abiven, S., Milanovskiy, E.Y., Hilf, M., Rizhkov, O.V. & Schmidt, M.W.I. (2011). Pyrogenic carbon quantity and quality unchanged after 55 years of organic matter depletion in a Chernozem. *Soil Biology & Biochemistry*, 43(9), ss. 1985–1988.

- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos., A.C., van der Valde, M. & Diafas, I. (2011). *Biochars Application to soils: A critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. Luxembourg: Publications Office. Tillgänglig: [10.2788/472](https://doi.org/10.2788/472)
- Wang, J.Y., Xiong, Z.Q. & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Global Change Biology Bioenergy*, 8(3), ss. 512–523.
- Wardle, D.A., Nilsson, M.C. & Zackrisson, O. (2008). Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science*, 320(5876), ss. 629-629.
- Woolf, A., Amonette, J. E., Street-Perrott, A. F., Lehmann, J. & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, vol. 1 (1), ss. 1–9
England: Springer Science and Business Media LLC
- Wahlander, Johan. (2008). *Minska jordbrukets klimatpåverkan*. (1102-3007). Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra08_11.pdf
- Yin, Chan. & Hiu, Xu. (2009) Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. I: Lehmann, J. & Joseph, S. (red) *Biochar for Environmental Management*. London: Sterling, ss. 67–84.
- van Zwieten, L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A. & Chan, K. Y. (2009). Biochar and Emission of Non- CO₂ Greenhouse Gases from Soil. I: Lehmann, J. & Joseph, S. (red) *Biochar for Environmental Management*. London: Sterling, ss. 227-250. Tillgänglig: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf>
- Zimmerman, A.R., Gao, B. & Ahn, M.Y. (2011). Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 43(6), ss. 1169-1179.
- Ögren, Elisabeth. (2019). *Växtnäringsstyrning*. (P9:5:1). Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.5f03313216a89422492f41e6/1557312442361/p9_5_1.pdf [2020-01-13]

Internetsidor

Agriculture & Food (2020). *What is soil organic carbon?* Tillgänglig:

<https://www.agric.wa.gov.au/measuring-and-assessing-soils/what-soil-organic-carbon>
[2020-02-12]

Bertilsson, G. (2008). Mullen i marken – behövs den och vad händer med den? Tillgänglig:

<http://www.greengard.se/mullen2.htm> [2019-12-10]

Bioenergitidningen.se (2020). Skånefrö bygger Sveriges första anläggning för produktion av klimatpositiv fjärrvärme och biokol. *Bioenergitidningen.se*, 19 mars. Tillgänglig:

<https://bioenergitidningen.se/biovarme/skanefro-bygger-sveriges-forsta-anlaggning-for-produktion-av-klimatpositiv-fjarrvarme-och-biokol> [2019-11-12]

EBC (2020). *The European biochar certificate (EBC)*. Tillgänglig: <http://www.european-biochar.org/en/home> [2019-11-19]

ECOERA AB (2020). *Become climate positive*. Tillgänglig: <https://ecoera.se/> [2019-11-14]

Energimarknadsbyrån (2020) Tillgänglig: <https://energimarknadsbyran.se/> [2020-03-03]

Grillskol.se (2020). Tillgänglig: <https://www.grillkol.se/> [2020-03-01]

Hushållningssällskapet (HIR) (2011). *BÖRDIGHET*. Tillgänglig:

http://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2015/04/posterutstallning-borgeby-faltdagar-2011_web.pdf [2019-11-14]

ICOS (2020). *Kolets kretslopp och dess påverkan på vårt klimat*. Tillgänglig: http://www.icos-sweden.se/docs/others/Kolets_kretslopp.pdf [2019-11-14]

IEA (2006). *Annual report 2006*. (2007:01). International Energy Agency. Tillgänglig: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/IEA-Bioenergy-2006-Annual-Report.pdf>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). *Agriculture*. Climate Change 2007 - Mitigation of Climate Change: Working Group III contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Chapter 8 . Cambridge, Cambridge University Press, pp. 497–540.

Tillgänglig: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013>

Jordbruksverket (2010). *Markkartering av åkermark*. Tillgänglig:

https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo10_19.pdf [2020-01-13]

Jordbruksverket (2020). *Biokol i ekologisk odling*. Tillgänglig:

<https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/forskning-om-ekologisk-produktion/arkiv/2020-03-19-biokol-i-ekologisk-odling> [2020-01-13]

LUSTRA (2007). *Kolet, klimatet och skogen – Så funkar det*. [Broschyr]. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet: Tillgänglig: <https://www.mistra.org/wp-content/uploads/2017/10/LUSTRASa%CC%8AFunkarDet2007.pdf> [2019-11-14]

Miljötrender (2002). *Kollagring i åkermark möjlig*. Miljötrender, nr 3–4, s. 7. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/miljo/hall-dig-uppdaterad/miljotrender-arkiv/2002/mt3-4_02.pdf [2019-11-14]

Naturvårdsverket (2020). *Utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-och-upptag-fran-markanvandning/?visuallyDisabledSeries=d9567a66a716cb0a> [2019-11-12]

Norrlands kol (2020). Tillgänglig: <https://www.norrlandskol.se/> [2020-03-01]

Rest till Bäst (2019). Tillgänglig: <https://biokol.org/hur-fungerar-det/pyrolys/> [2019-11-12]

Schmidt, H. P. (2011). *Ways of making terra preta: biochar activation*. Tillgänglig: <http://www.ithaka-journal.net/wege-zu-terra-preta-aktivierung-von-biokohle?lang=en> [2020-02-27]

SIS (2020) Svenska institutet för standarder. Tillgänglig: <https://www.sis.se/> [2021-01-12]

Skogen (2020). *Mineraljord, minerogen jordart*. Tillgänglig: <https://www.skogen.se/glossary/mineraljord-minerogen-jordart> [2019-12-11]

Skånefrö AB (2020). *Om Skånefrö*. Tillgänglig: <https://skanefro.se/om-skanefro/> [2019-11-12]

SMHI (2020). SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/omsmhi> [2020-12-29]

Stockholm Vatten och Avfall (2020). Tillgänglig: <https://www.stockholmvattenochavfall.se/> [2020-03-01]

Västerviks-Tidningen (2020). *Därför kalkar lantbrukarna sina åkrar*. *Västerviks-Tidningen*, 27 augusti. Tillgänglig: <https://vt.se/nyheter/vastervik/darfor-kalkar-lantbrukarna-sina-akrar-om5427105.aspx> [2020-12-03]

Växten & marken (2002). *Förmultning och humusbildning*. Tillgänglig: [http://www-vaxten.slu.se/index2.html](http://www.vaxten.slu.se/index2.html) [2019-11-15]

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt. Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

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

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

